

87
2e)



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**ACIDO SULFURICO
INVESTIGACION DE MERCADOS EN MEXICO
Y ENTORNO MUNDIAL**

**TRABAJO ESCRITO
EDUCACION CONTINUA
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A:
JOSE LUIS LOPEZ LARA**



MEXICO, D. F.

1993

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

ACIDO SULFURICO

INVESTIGACION DE MERCADOS EN MEXICO Y ENTORNO MUNDIAL

I.- INTRODUCCION

II.- GENERALIDADES

**III.- INVESTIGACION DE MERCADOS
Y ANALISIS DE LA DEMANDA
EN MEXICO**

IV.- ENTORNO MUNDIAL

V.- CONCLUSIONES

VI.- BIBLIOGRAFIA

CAPITULO I

INTRODUCCION

El ácido sulfúrico es un "commodity", por lo tanto sus expectativas van muy ligadas a la economía de cada país y al entorno mundial.

El presente trabajo tiene como objetivo establecer la dimensión de la demanda de este producto en nuestro país, las diferentes plantas, y sus capacidades, así como la calidad y origen del producto que ofertan.

Se trabajó sobre un estudio específico alrededor de la producción y los consumos, así como las ventas que reportaron los fabricantes y los consumidores en el año de 1991. Se intenta también hacer la proyección de lo que éste mercado puede ser al futuro considerando los cambios que ocurren en el presente.

Para el presente trabajo se acude a la información estadística mundial para ubicar en este contexto nuestro papel como productores a nivel internacional.

Después se hace una semblanza de aspectos generales propios del producto que es importante mencionar luego se dimensionan los mercados y se plantean conclusiones que se enriquecen con la experiencia de la actividad profesional en el medio. Cabe aclarar que en México no es frecuente encontrar información clara y precisa.

Sin embargo, si se hace un uso adecuado del presente trabajo, será posible aprovecharlo en proyectar volúmenes de producción, variaciones de precio hacia arriba o hacia abajo, posibilidades de exportación o importación, zonificación geográfica y otra serie de variables que influyen en la toma de decisiones ya sea como usuario o productor.

CAPITULO II

GENERALIDADES

Para el presente trabajo se analizó la información escrita para la estadística mundial de producción que se encuentra en el WORLD SULPHUR AND SULPHURIC ACID ATLAS & PLANT LIST así como las informaciones regionales proporcionadas por diferentes empresas involucradas en la comercialización y producción del ácido sulfúrico, para potencialmente hacer un estudio de mercado en la República Mexicana cuya secuencia fue la siguiente:

- a).- Revisión de usos posibles de ácido
- b).- Investigación de clientes potenciales vía directorios de cámaras, asociaciones, publicaciones especializadas, directorios telefónicos, etc..
- c).- Recopilación de datos directamente de los productores y consumidores.
- d).- Clasificación de la información
- e).- Procesamiento final de los datos obtenidos.

Se considera prudente hacer una revisión de algunos aspectos generales que presenta el ácido sulfúrico y que hemos tomado de diferentes libros que a continuación se reproducen textualmente.

I.- GENERALIDADES .

PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS.

El ácido sulfúrico a temperatura ambiente y presión atmosférica es un líquido, viscoso y de apariencia cristalina o transparente; algunas veces presenta apariencia turbia, la que se debe a la presencia de sulfato ferroso, insoluble, en estado coloidal. Normalmente el producto industrial presenta impurezas del orden de ppm de: fierro, arsénico, antimonio, manganeso, cobre, zinc, selenio, platino, níquel, flúor, sustancias reductoras, nitratos, cloro, amonio, materia orgánica y residuo fijo, independientemente del proceso de fabricación; aunque el ácido de azufre presenta niveles más bajos de contaminantes.

Su fórmula química es H_2SO_4 y peso molecular de 98.08. Las propiedades termofísicas del ácido sulfúrico como son: densidad, viscosidad, calor específico, conductividad --

térmica, conductividad eléctrica, índice de refracción, presión de vapor, entalpia, temperatura de congelación y temperatura de ebullición son función de la concentración de la solución y de la temperatura principalmente. El ácido sulfúrico no se comercializa puro, el grado industrial tiene una concentración de 98% en peso; a veces el rango oscila entre 96 y 98.8%, obviamente las propiedades físicas presentan variaciones y aún más cuando se tienen soluciones diluidas, las cuales son muy comunes en la aplicación industrial del producto.

El ácido sulfúrico al 98% de concentración presenta las siguientes propiedades físicas:

Peso específico a 20/4 °C	1.84
Viscosidad a 25 °C Pa s	0.021
Calor específico a 25°C KJ/Kg	0.36
Conductividad térmica	0.18
BTU/(Hr)(ft ³)(°F/ft)	
Conductividad eléctrica a 20°C S/cm	0.05
Presión de vapor, mm de Hg	0.0
Temperatura de ebullición, °C	339.0 desc.
Temperatura de congelación, °C	5.0
Índice de refracción	1.4254

Entalpia @ 20 °C ó cal/Kg.soln.	0.0
Punto azeotrópico	339 °C y 98.3%

A temperatura constante la densidad del ácido sulfúrico se incrementa con la concentración hasta un máximo de 98%, de aquí al 100% disminuye como se muestra en la figura No. 1. También la densidad de sus soluciones se expresa en grados Baumé, presentando variaciones significativas arriba de 0% hasta 93%, por lo cual la determinación de la densidad con densímetro en la escala de grados Baumé se utiliza como medida indirecta de la concentración de la solución. Del 93% al 100%, el valor de la densidad no varía notablemente, de aquí la importancia de hacer un análisis volumétrico para determinar la concentración, aún cuando se cuente con densímetros de lectura digital.

La viscosidad dinámica o absoluta como función de la concentración y temperatura se muestra en la fig. No. 2, se observa que a 25°C aumenta con la concentración hasta alcanzar un máximo de 0.021 Pa s a 84%, posteriormente disminuye y nuevamente a 95% se incrementa alcanzando un valor de 0.024 Pa s a 100%. La viscosidad disminuye al aumentar la temperatura.

En la figura No. 3 se observan varios máximos y mínimos en la temperatura de congelación y se debe a que se forman diferentes hidratos en las soluciones, por ejemplo al 100% la temperatura es de 8°C , a 93.2% es de -29°C , aprovechando esta característica, en Estados Unidos y algunos países europeos donde el clima es muy frío, en épocas de invierno y para evitar congelamiento en tanques de almacenamiento y líneas se maneja y transporta el ácido sulfúrico a esta concentración.

El diagrama de fases para soluciones acuosa de ácido sulfúrico se muestra en la figura No 4, la curva inferior muestra la relación que existe entre la temperatura de saturación de la solución líquida y su concentración, la composición del vapor en equilibrio se muestra en la curva superior. Si una solución acuosa de ácido sulfúrico se calienta hasta alcanzar su temperatura de burbuja, se desprende vapor de agua, cuando se tienen concentraciones debajo de 70%, originado que se concentre la solución; por encima de este valor empieza a existir ácido sulfúrico en la fase vapor. Al llegar a la concentración de 98.3% la temperatura de ebullición de la solución es de 339°C , a presión atmosférica de 760 mm de Hg; en estas condiciones existe un punto azeotrópico, donde las composiciones de la fase líquida y ---

fase vapor son iguales, por lo que no se puede alcanzar la concentración del 100% de ácido sulfúrico. Solamente mediante absorción en una columna a contracorriente con una corriente gaseosa que contenga trióxido de azufre es posible obtener concentraciones del 100% y por encima, ocasionando la formación de óleum de diferentes concentraciones.

La presión de vapor de las soluciones de ácido sulfúrico, figura No. 5, está constituida por las presiones parciales de los dos componentes, por debajo de una concentración de 95% la presión de vapor se debe al agua, y es alta. Del 97% al 98.5% se presenta un descenso muy fuerte, aquí las presiones parciales del agua y del ácido sulfúrico son pequeñas para esas concentraciones, y por lo tanto la presión de vapor de la solución es mínima, lo que facilita la absorción del trióxido de azufre, durante el proceso de fabricación del ácido sulfúrico. Por encima del 99 % de concentración y temperatura alta, la presión de vapor se debe tanto al agua como al ácido sulfúrico.

La conductividad eléctrica de soluciones de ácido sulfúrico representa una propiedad muy importante por su comportamiento debido a diferentes estados de ionización que se presentan. La curva tiene un máximo a 30% con un ----

valor de 0.77 S/cm, de aquí disminuye lentamente y en forma pronunciada hasta alcanzar un valor de 0.07 S/cm a 98%. Esta amplitud de valores se aprovecha en la producción del ácido, ya que la medición de dicha propiedad sirve para controlar la concentración en el proceso. (Fig. No. 6)

El calor específico de soluciones de ácido sulfúrico se representa en las curvas de la fig. 7, en función de la temperatura y concentración, esta última tiene mayor efecto, como se aprecia, ésta disminuye hasta alcanzar un valor de 0.34 Btu/lb °F a 98 % de concentración; para soluciones diluidas de 0 a 20 %, el valor es cercano al agua (1 Btu/lb °F). La variación de la temperatura no es preponderante en el valor de esta propiedad, es útil para balances de energía y transferencia de calor.

En la fig. 8 aparecen las curvas que relacionan los valores de entalpia de soluciones de ácido sulfúrico, como función de la temperatura y concentración. La referencia corresponde a agua (0 % conc.) a 0°C y su valor es de 0 Btu/lb; la tendencia de las curvas es decreciente al aumentar la concentración de 0 hasta un rango de 62 a 70 % dependiendo de la temperatura.

La conductividad térmica de soluciones de ácido sulfúrico se representa en las curvas de la fig. 9, como función también de la concentración y temperatura. Por ejemplo el valor de esta propiedad para ácido sulfúrico a 98 % y 100°C es 0.205 y para agua es de 0.395 Btu/hr ft °F, éste último valor representa el doble, lo que quiere decir que el ácido sulfúrico concentrado conduce el calor aproximadamente la mitad del agua.

Esta propiedad es importante en análisis de fenómenos de transferencia de calor y permite el diseño de equipo, a través del cálculo de coeficientes de película.

ACIDO SULFURICO

DENSIDAD DE SOLUCIONES DE ACIDO SULFURICO A DIFERENTES TEMPERATURAS

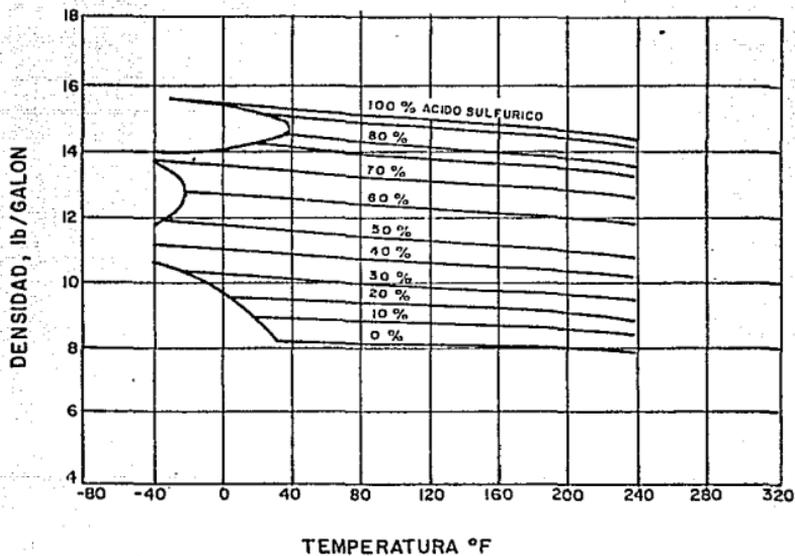
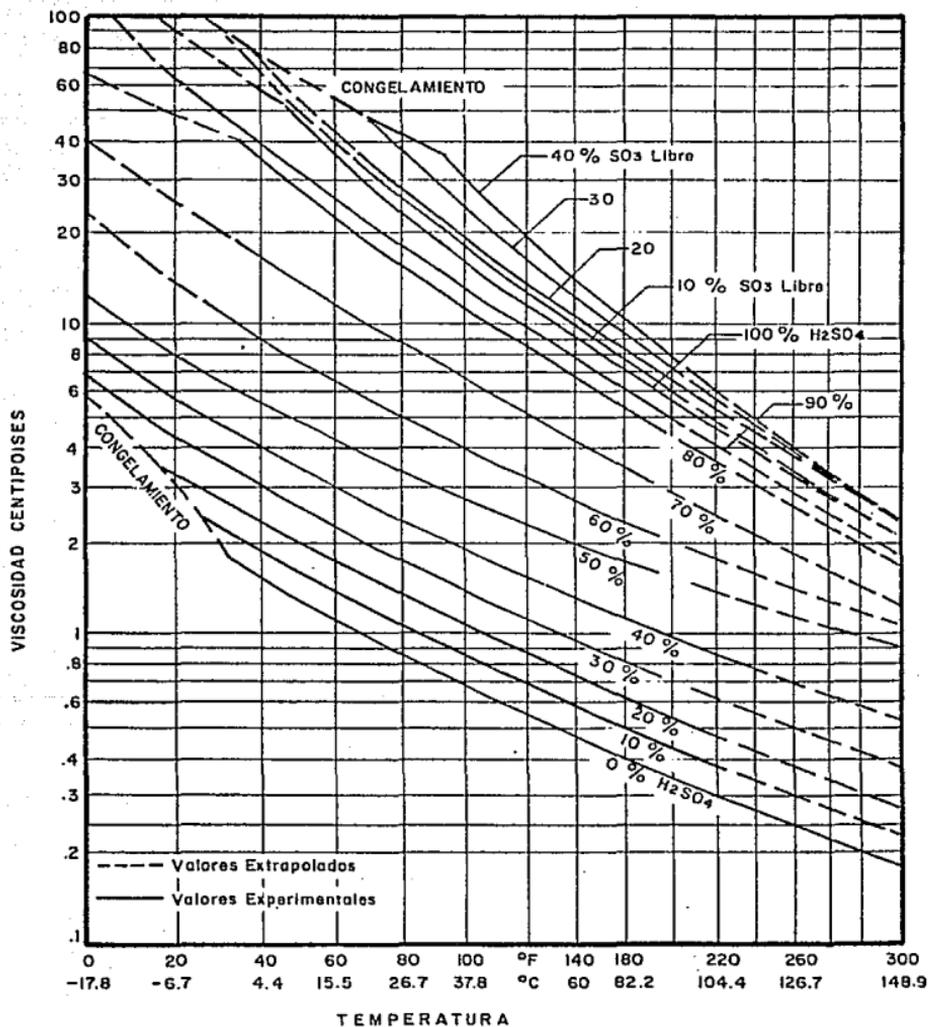


FIG. 1



VISCOSIDAD DE SOLUCIONES DE ACIDO SULFURICO A DIFERENTES TEMPERATURAS.

FIG. 2

TEMPERATURA DE CONGELACION PARA SOLUCIONES DE ACIDO SULFURICO Y OLEUM

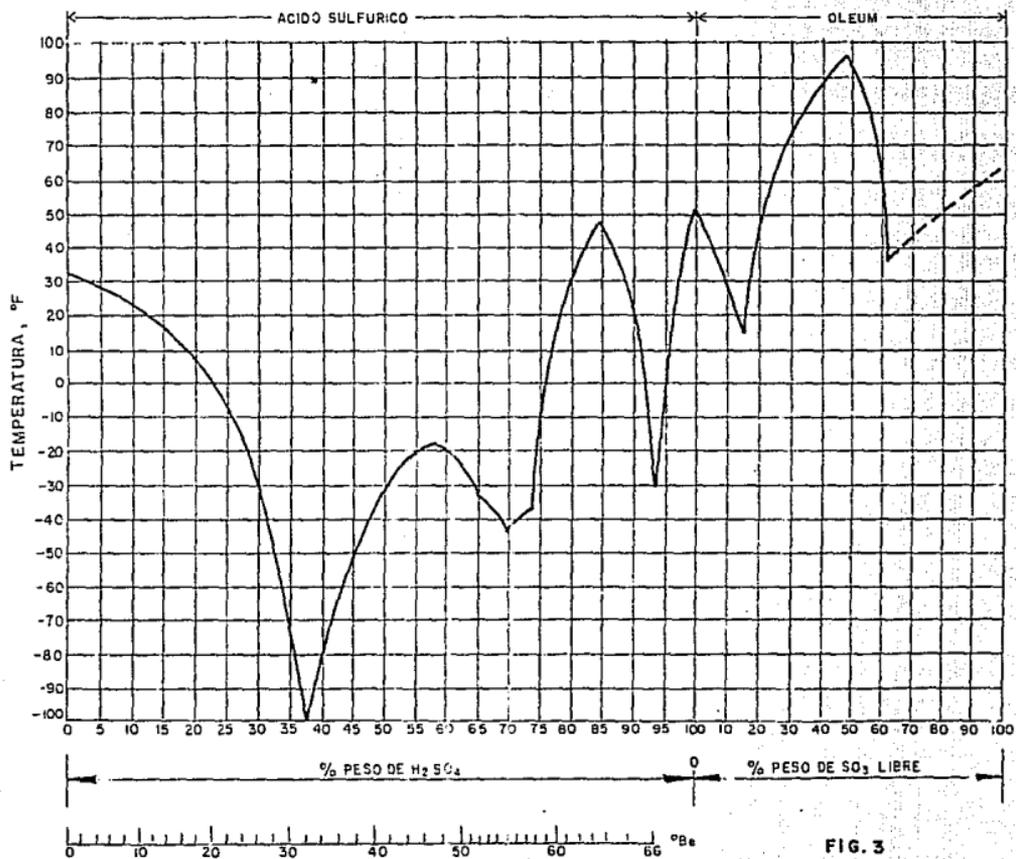


FIG. 3

DIAGRAMA DE FASES PARA SOLUCIONES DE ACIDO SULF. (1013mbar)

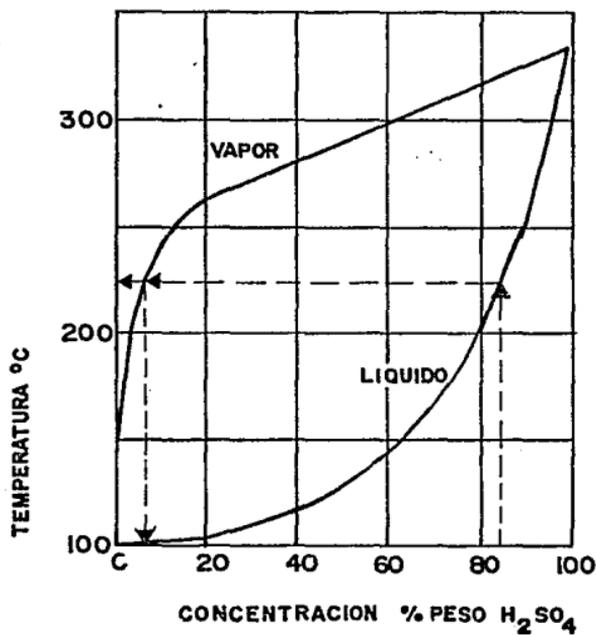


FIG. 4

ACIDO SULFURICO

PRESION DE VAPOR DE SOLUCIONES DE ACIDO SULFURICO

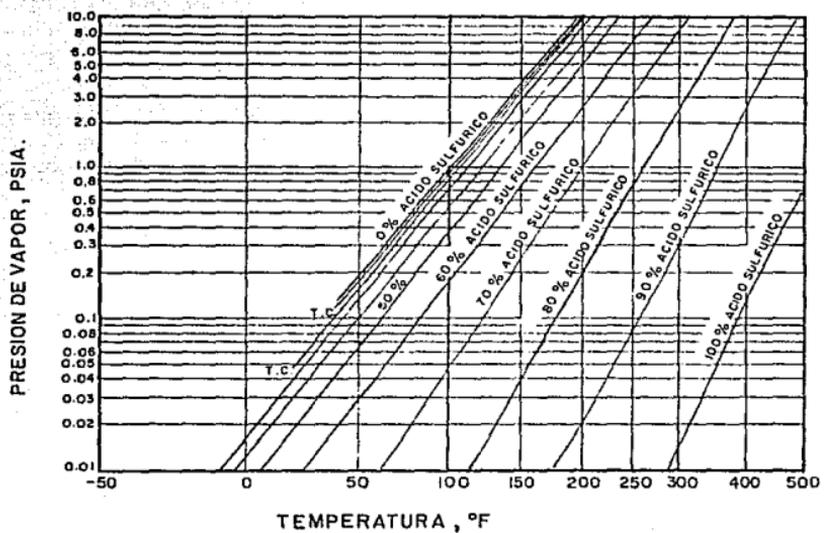


FIG. 5

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA DE SOLUCIONES DE ACIDO SULFURICO Y OLEUM A 20 °C.

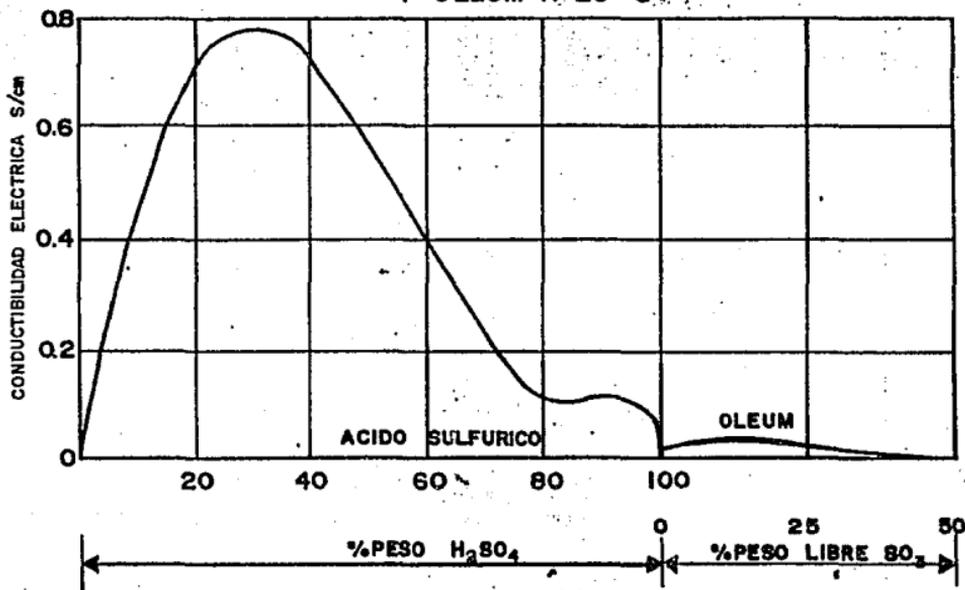
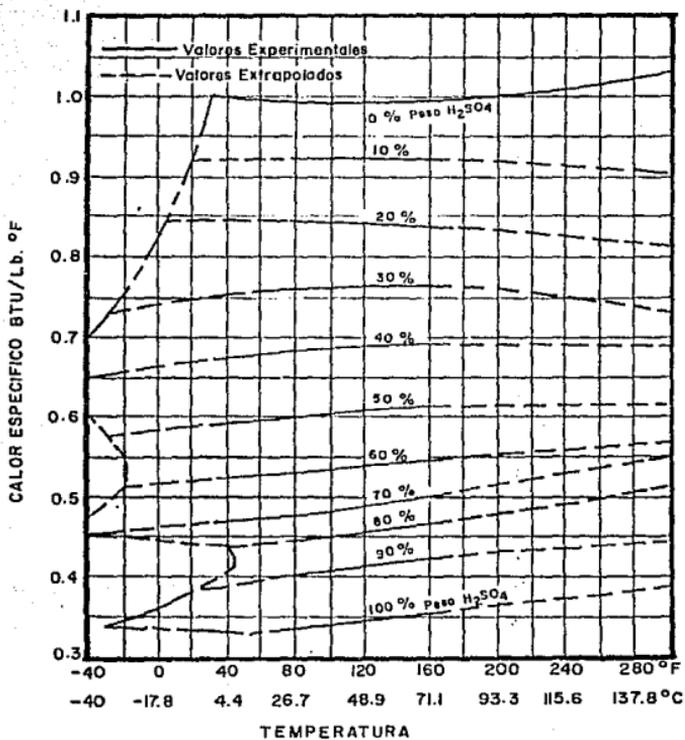
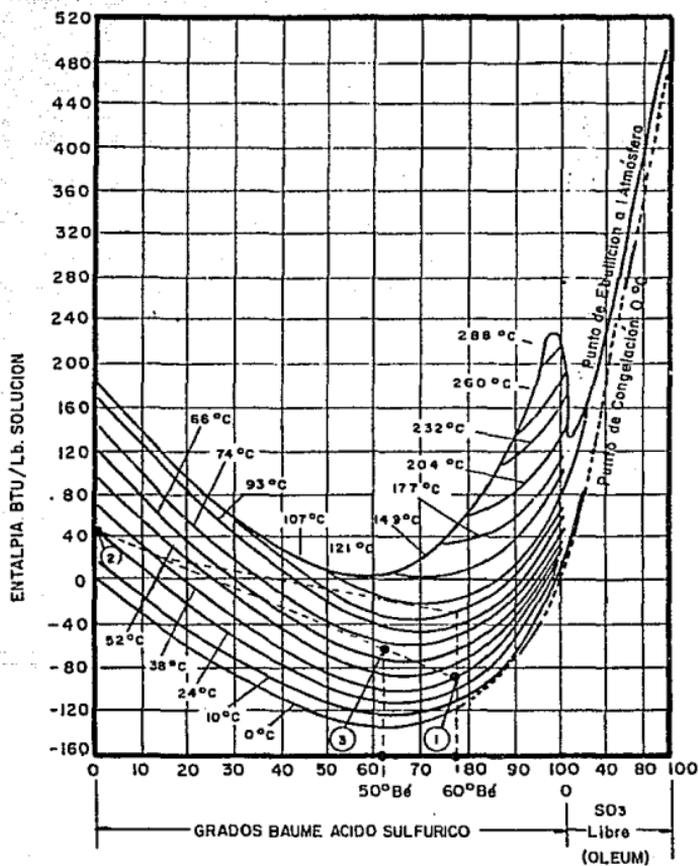


FIG. 6



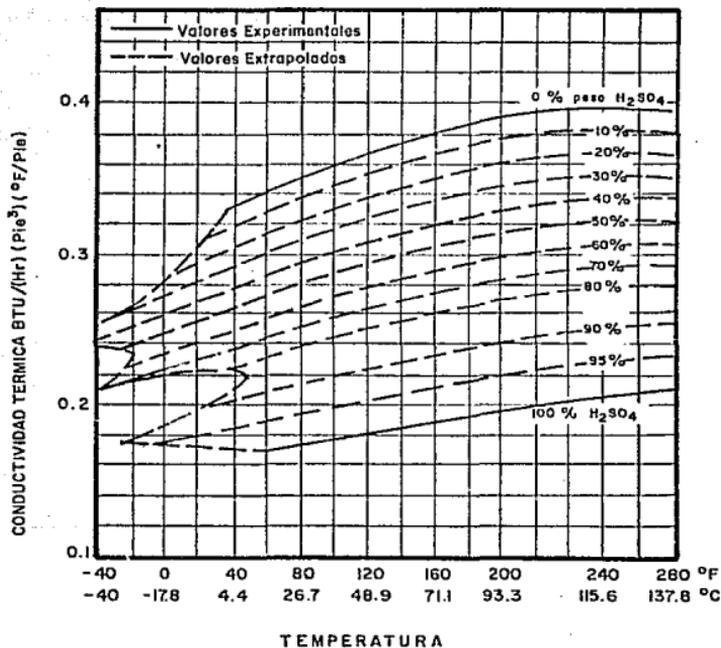
CALOR ESPECIFICO DE SOLUCIONES DE ACIDO
 SULFURICO

FIG. 7



ENTALPIA DE ACIDO SULFURICO Y OLEUM

FIG. 8



CONDUCTIVIDAD TERMICA DE SOLUCIONES DE ACIDO SULFURICO

FIG. 9

PROPIEDADES QUIMICAS.

El ácido sulfúrico es un ácido fuerte con características higroscópicas y propiedades oxidantes. Térmicamente es muy estable, el efecto deshidratante se debe a la formación de hidratos, algunos se han identificado en el estado sólido, los más conocidos son:

$H_2SO_4 \cdot H_2O$ 84.5%

$H_2SO_4 \cdot 2H_2O$ 71.3%

$H_2SO_4 \cdot 3H_2O$ 64.5%

$H_2SO_4 \cdot 4H_2O$ 57.6%

$H_2SO_4 \cdot 6H_2O$ 47.6%

El ácido sulfúrico puro presenta un grado de ionización bajo, de ahí su valor más bajo de su conductividad eléctrica.

Siendo un ácido dibásico fuerte, sus soluciones diluidas reaccionan con todos los metales liberando hidrógeno, formando sulfatos y bisulfatos. Bario y plomo son las excepciones, no porque no reaccionen si no porque sus sulfatos son insolubles y forma una película o capa protectora sobre la superficie del metal, evitando que la reacción continúe.

El ácido sulfúrico caliente tiene un efecto fuertemente oxidante, reacciona con los metales preciosos, el carbón, fósforo y azufre, formando dióxido de azufre (SO_2). Otra característica importante por su temperatura de ebullición elevada es su reactividad con las sales de otros ácidos, formando los ácidos volátiles correspondientes como clorhídrico, fluorhídrico y nítrico. Existen algunas excepciones como las sales de yodo y bromo que cuando se tratan con ácido sulfúrico concentrado caliente, oxida al ion yoduro a yodo elemental y en menor grado al ion bromuro a bromo elemental.

Las reacciones del ácido sulfúrico concentrado con los compuestos orgánicos en muchos casos son de carácter oxidante e higroscópico; los carbohidratos se descomponen hasta la carbonización, los hidrocarburos saturados generalmente son estables a la acción del ácido concentrado, los --

hidrocarburos aromáticos se sulfonan; y en otros casos el carácter oxidante es extremadamente fuerte, con reacción violenta que puede llegar hasta explosión, como es el caso de bases fuertes, acetona, ácido acético, cianhidrina, acetonitrilo, acroleína, acrilonitrilo, alcohol alílico, cloruro de alilo, hidróxido de amonio, 2-amino etanol, anilina, n-butiraldehído, cloratos, ácido clorosulfónico, epiclorhidrina, etilencianhidrina, etilendiamina, etilenglicol, p-nitrotolueno, percloratos, ácido perclórico, permanganatos, óxido de propileno, piridina, entre otros productos químicos.

La reacción del ácido sulfúrico con el agua es fuertemente exotérmica, presentando calores de dilución altos.

PROCESOS DE FABRICACION

La producción industrial de ácido sulfúrico se inicia con el proceso de las cámaras de plomo de óxidos nitrosos, sus orígenes datan de 1746 por ROEBUCK en Birmingham Inglaterra; el proceso se conformó con innovaciones de CLEMENT y DESORMES (1793) HOLKER (1810), GAY LUSSAC (1827) y GLOVER (1859). Su auge mayor se presenta a fines del siglo pasado y hasta la mitad del presente; obteniéndose en este proceso ácido de 70% de concentración.

En 1831 PHILLIPS de Briston Inglaterra, patenta la oxidación de dióxido de azufre a trióxido de azufre a alta temperatura, en presencia de un catalizador a base de platino, lo que constituye el inicio del establecimiento del proceso actual de fabricación del ácido sulfúrico por el método de contacto. El avance en los catalizadores y la creciente necesidad del uso de ácido concentrado para la fabricación de colorantes originó que en 1871 se empezara a tomar en cuenta como método de aplicación industrial.

En 1898 BASF (Badische Anilin and Soda Fabrik) instala en Estados Unidos la primera planta productora de --

ácido sulfúrico por el método de contacto y en 1900 General Chemical construye la primera planta por tostación de minerales. El desarrollo de la catálisis heterogénea y la conformación de las operaciones unitarias en la ingeniería química establecieron la aplicación industrial del método de contacto.

Otros aspectos sobresalientes o innovaciones de este último proceso corresponden a BASF que en 1913 patentó el catalizador de pentóxido de vanadio que reemplazó a los catalizadores de platino, LURGI en 1936 introduce el proceso de gases húmedos en la fabricación de ácido sulfúrico (wet contact process), BAYER en 1960 patenta el proceso de doble catálisis, para una máxima conversión de dióxido de azufre y es LURGI quien en 1964 construye la primera planta de este tipo y en 1970 por regulaciones ambientales se introduce la doble absorción que minimiza la emisión de contaminantes a la atmósfera.

En 1910 cerca del 80% de la producción mundial del ácido sulfúrico era por el método de las cámaras de plomo, en 1950 ya existía una reducción significativa en la producción por este proceso ya que alcanzaba solamente del 20 al 25%, para 1960 solamente cubría el 15% y para 1980 ninguna

planta de estas características se encontraba operando. Actualmente todo el ácido producido es por el método de contacto.

A nivel mundial hay muchas compañías que tienen la tecnología para diseñar y construir este tipo de plantas, cubriendo cualquier necesidad y capacidad de proceso. Entre las más importantes para ingeniería y procura de equipo se encuentran: Monsanto Enviro-Chem System Inc., Chemical Construction Corporation (CHEMICO), Lurgi GmbH, Uhde GmbH, The M. Persons, Titlestad Corporation, Stauffer Chemical, Davy McKee Corp., Nissan Chemical Industries, Atochem, Haldor Topsoe A/S y Kemira Oy entre otras; complementan los proyectos en el área de construcción: Leonard Construction Company, Simon Carves Limited, Panamerican Consulting Company, Mitsui Ship Building & Engineering Co. LTD y Dronzio de Nora. En conjunto estas empresas han puesto en operación cientos de unidades de ácido sulfúrico en todo el mundo durante el presente siglo; las capacidades de las plantas instaladas van desde 100 ton/día hasta mayores de 3000 ton/día.

El ácido sulfúrico se produce a partir de las materias primas siguientes: azufre ya sea de extracción mineral (proceso Frasch) azufre de recuperación (proceso Claus), de

minerales como las piritas (FeS_2) que son sulfuros de hierro, como también de sulfuros de zinc (ZnS , esfalerita) y sulfuros de cobre-ferro (CuFeS_2 , calcopirita). Otros materiales utilizados como alimentación son corrientes de gases amargos (las cuales tiene un alto contenido de ácido sulfhídrico H_2S) provenientes de plantas endulzadoras e hidrosulfuradoras en refinerías de petróleo; también se utilizan ácidos gastados de plantas de alquilación, de procesos de sulfonación, de tratamientos ácidos de plantas de lubricantes, entre otras.

Ya que existe gran diversidad de materias primas para la fabricación del ácido sulfúrico, el diseño de proceso de la planta debe considerar los siguientes aspectos: eficiencia de aprovechamiento de calor, conversión en los equipos de proceso y finalmente, emisión de gases contaminantes a la atmósfera.

Para establecer un panorama general sobre las diferentes opciones de proceso en el método de contacto, MONSANTO agrupa sus plantas en los siguientes tipos: HOT GAS PURIFICATION PROCESS (utiliza azufre de alta pureza) fig.10, WET GAS PROCESS (ácido sulfhídrico) y COLD GAS PURIFICATION PROCESS (plantas de tipo metalúrgicas (Fig No.11) que emplean

gases procedentes de tostación de minerales), que requieren de equipo que eliminen al máximo las impurezas que arrastra los gases como cenizas y partículas de minerales (arsénico, plomo, zinc, selenio, etc). En general, todas las compañías que diseñan plantas hacen una clasificación similar, estableciendo el esquema de proceso de acuerdo a las necesidades del cliente.

En la actualidad la tecnología de estas plantas ha evolucionado al considerar las alternativas de doble absorción y doble catálisis en el proceso, para una mayor eficiencia en la conversión a trióxido de azufre y reducir los niveles de emisión de gases ácidos a la atmósfera.

En nuestro país se utilizan dos variantes del proceso de contacto, la que utiliza azufre, por ejemplo: FERTIMEX, CYDSA, RESISTOL y la que utiliza gases de tostación de minerales por ejemplo: PENOLES, MEXICANA DE COBRE, IMMSA.

DESCRIPCION DEL PROCESO POR EL
METODO DE CONTACTO

Se ha seleccionado la planta por combustión azufre para describir el método de contacto, el diagrama de flujo de proceso se representa en la figs. 10, con la bomba B-1 azufre líquido a 135 °C se alimenta al horno de combustión HC-1, que se inyecta por medio de espreas que atomizan el líquido, la combustión se efectúa formándose bióxido de azufre con aire proveniente del soplador centrifugo SC-1, al que previamente se le ha eliminado la humedad en la torre de secado TS-1. El efluente de salida del horno conteniendo de 8 a 12 % en volumen de bióxido de azufre y a una temperatura de 900 a 1000 °C, pasa a la caldera de generación de vapor EA-1, donde se aprovecha el contenido energético de la corriente para formar vapor de alta presión (40 bar y 400 °C) y bajar la temperatura de los gases de combustión entre 420 °C a 450°C, requerida para entrar al convertidor catalítico CC-1, formado por cuatro camas de catalizador de pentóxido de vanadio donde se efectúa la reacción de bióxido a trióxido de azufre como la reacción es altamente exotérmica, la temperatura a salida de la primera cama catalítica se incrementa a 600 °C lo que afecta ---

negativamente el equilibrio termodinámico, alcanzando 60% de conversión siendo necesario bajar la temperatura de los gases antes de entrar al siguiente paso del convertidor con inyección de aire o con enfriamiento en un economizador o precalentador, para aprovechar el contenido energético de la corriente.

En la salida de los gases en los pasos siguientes también se controla la temperatura hasta alcanzar una conversión final del 99.5 % A 99.7 %.

Los gases efluentes del convertidor a 420 °C se enfrían en intercambiadores de calor, bajando su temperatura a 180 °C, para alimentarse a contracorriente en la torre de absorción TA-1 con ácido sulfúrico del 97.5 % y 80 °C.; donde el agua asociada al producto de entrada al equipo reacciona con el trióxido de azufre formando ácido e incrementándose su concentración hasta un 98.8 %. La corriente líquida de salida del fondo de la columna de absorción, se divide en dos, una parte se diluye y baja su concentración y temperatura, para alimentarse nuevamente a la torre y la otra se envía a la sección de intercambio de calor EA-2, donde se enfría a la temperatura de 60 °C, antes de enviarse al tanque de almacenamiento.

PROCESO DE CONTACTO PARA LA SINTESIS DE ACIDO SULFURICO (A PARTIR DE SULFUROS DE FIERRO, ZINC o COBRE)

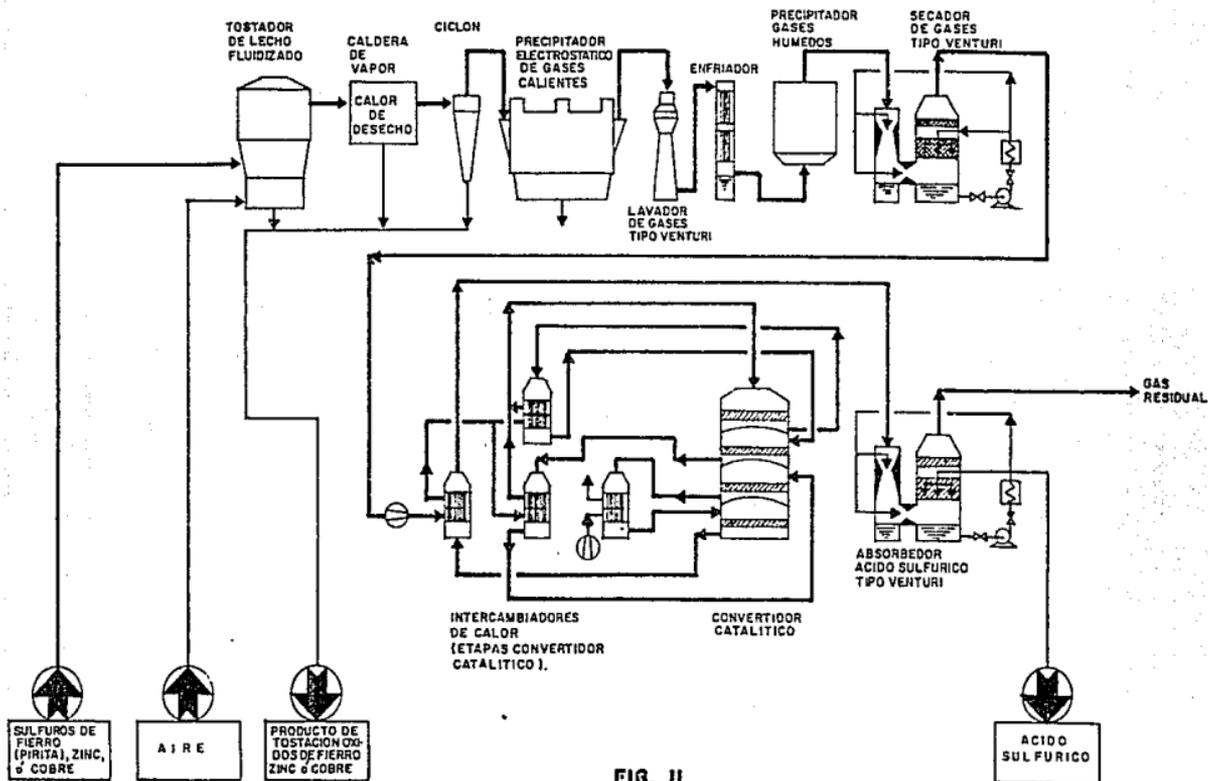


FIG. II

APLICACIONES Y USOS.

El ácido sulfúrico es un producto químico que se produce en grandes volúmenes en muchos países y su gran poder oxidante es la causa de la diversidad de aplicaciones en: fertilizantes fosfatados, refinerías de petróleo, productos químicos, procesamiento de minerales, productos de pulpa y papel, pinturas y pigmentos, fertilizantes nitrogenados, limpieza de acero, industria de fermentaciones y textil, entre otras.

Grandes cantidades de ácido sulfúrico se destinan para la producción de superfosfatos (fosfato monocálcico) a partir de roca fosfórica. El ácido fosfórico producido se utiliza en la fabricación de superfosfato triple, que es un fertilizante más concentrado.

En el país por disponibilidad de amoníaco, se producen grandes cantidades de sulfato de amonio, con ácido sulfúrico.

Se utiliza ácido sulfúrico diluido como electrolito para industrias de extracción electrolítica de metales y plantas de galvanoplastia, por su alta conductividad. Tam-

bién por esta ventaja se usa en los acumuladores de plomo.

Se emplea en la fabricación de sulfato de magnesio (sal de Epsom), sulfato de aluminio, sulfato de cobre, sulfato ferroso, sulfato de zinc y otros. También contribuye en forma importante y directa en la síntesis de ácido cítrico, tartárico, oxálico y acético. Es importante en la limpieza del acero (decapado de metales), antes del galvanizado y estañado. Se utiliza en la refinación y producción de metales (plantas de beneficio), en la elaboración de alcohol de caña de azúcar, en la purificación de productos del petróleo, en fabricación de dióxido de titanio (pigmentos en pinturas), la alquilación de isobutano, en la síntesis del fenol, en la recuperación de ácidos grasos, en la manufactura de jabones. También se emplea en procesos de tratamiento de agua, para regular el pH y para regeneración de cierto tipo de resinas de intercambio iónico. Interviene en la síntesis de muchos productos químicos como el benzaldehído, en procesos de nitración junto con el ácido nítrico, para fabricar nitroglicerina, nitrocelulosa, trinitrotolueno (TNT), y ácido pícrico, todos estos productos explosivos.

Otras aplicaciones son el secado de gases industriales, la síntesis del bisulfato de sodio, y síntesis de productos farmacéuticos como el ácido acetil salicílico

CAPITULO III

INVESTIGACION DE MERCADOS Y ANALISIS DE LA DEMANDA EN MEXICO

En México la información por giro o ramo industrial a veces se obtiene a través de sus cámaras y asociaciones, pero debido a la gran diversidad de usos del ácido sulfúrico, esta labor se dificulta más. El presente trabajo contiene información confirmada de más del 95 % de los consumidores.

En México el ácido sulfúrico se obtiene en 13 plantas a través de azufre y en 3 como subproducto de procesos metalúrgicos. La localización de estas plantas se extiende en buena parte del territorio nacional, para darnos una idea, de la planta de Nacoziari, Sonora a Pajaritos, Veracruz la distancia es de 3000 Kms aproximadamente.

En la actualidad Fertimex se encuentra en proceso de privatización, por lo tanto sigue siendo el proveedor de más capacidad instalada que aparece en la tabla (1).

TABLA No. 1
EN MILES DE TONS. POR AÑO (1991)

PRODUCTOR	CAPACIDAD INSTALADA	PRODUCCION
FERTIMEX	3,6550,000	2,174,200
MEX.COBRE	660,000	372,000
MET-MEX PERDLES	360,000	325,000
QUIMICA FLUOR	247,000	200,000
IND.MINERA MEX.	161,000	141,800
UNIVEX	105,000	104,000
IND.QUIM. DE MEX.	97,000	79,400
IND. RESISTOL	90,000	83,300
FENQUIMIA	48,000	38,500
AZUF.PANAM.	28,000	12,300
CELULOSA Y DERIV.	27,000	26,000
CIA.UNIV.IND.	18,000	0
TOTALES:	5,491,000 tons.	3,556,500 tons.

En 1992 dejaron de operar tres plantas que son Azufrera Panamericana, Celulosa y Derivados y antes Compañía Universal de Industrias.

ANALISIS DE LA DEMANDA

ACIDO FOSFORICO

En México el 43 % de la capacidad instalada se hizo ex-profeso para producción de ácido fosfórico y este se deriva principalmente a la producción de superfosfato triple, fertilizante de uso amplio y en la producción de otros fosfatos como tripolifosfato de sodio, componente importante de los detergentes en polvo y otros fosfatos, se usaron alrededor de 1,100, 000 ton.

SULFATO DE AMONIO

En segundo término, en cuanto a volumen utilizado es la producción de sulfato de amonio, producto que si bien aporta menos unidades de nitrógeno que la urea es de uso mas generalizado. La producción total de sulfato supera las 800.000 toneladas anuales de consumo.

ACIDO FLUORHIDRICO

La demanda de productos finales fluorados ha bajado sensiblemente por razones ecológicas del dominio común, la producción de ácido fluorhídrico requiere en nuestro país mas del 10 % de la producción de ácido sulfúrico esto ligado a la buena localización de los yacimientos de fluorita.

CAPROLACTAMA

La caprolactama que finalmente va a convertirse en fibras sintéticas requiere de cantidades cercanas a las 100 mil toneladas anuales como óleum y aunque se habla de crisis en la industria textil, la demanda de esta en la producción nacional sigue siempre regular.

OLEUM

La sulfonación del dodecil benceno que se convertirá posteriormente en el ingrediente activo de los detergentes, ocupa un volumen cercano a las 70 mil toneladas anuales. Sin embargo los procesos modernos de sulfonación no

parten de óleum sino de azufre directo, otras 34,000 toneladas son usadas en otros procesos como: Colorantes, Acido Clorosulfónico, etc..

TRATAMIENTO DE AGUAS

El tratamiento de aguas requiere de ácido sulfúrico para la regeneración de resinas de intercambio iónico, si pensamos en los volúmenes de agua que se deben tratar para las diferentes industrias tales como refineries de petróleo, termoeléctricas, papeleras y otras industrias, podemos considerar que aproximadamente 300 mil toneladas anuales se destinan a ese uso.

DECAPADO DE METALES

En el decapado de metales el ácido sulfúrico se usa básicamente para tratar el acero. En los metales en general, se usa antes del galvanizado, estañado, consumiéndose en el país mas de 45 mil toneladas anuales para este uso

NITRACION

Haciendo una mezcla sulfonítrica, el ácido sulfúrico interviene en la nitración y la síntesis de compuestos

como: Trinitro tolueno, Nitroglicerina, Nitrobenceno, Acido Pítrico y Nitrocelulosa, con un consumo aproximado de 20,000 toneladas anuales.

SULFATOS

La fabricación de sulfatos, sin incluir el sulfato de amonio, del que se habló anteriormente, ocupa un volumen que rebasa las 150 mil toneladas anuales.

ACUMULADORES

En la industria de los acumuladores se consumen aproximadamente 150 mil toneladas anuales de una calidad muy específica.

FERMENTACIONES

La fermentación como parte de la biotecnología con mucho éxito actual y futuro demanda aproximadamente 40 mil toneladas anuales.

Los datos anteriores están referidos a los usos mas localizados, pero debemos aclarar que existen miles de otros usos como ejemplos citaré: Lixiviación en minería, Síntesis

orgánicas, Nitración para la producción de colorantes y anilinas sintéticas, Reactivo analítico, Purificación de lubricantes y aceites, Fabricación de arcillas clarificantes, Proceso de hule sintético, Secado de gases en general, Tratamiento de pieles.

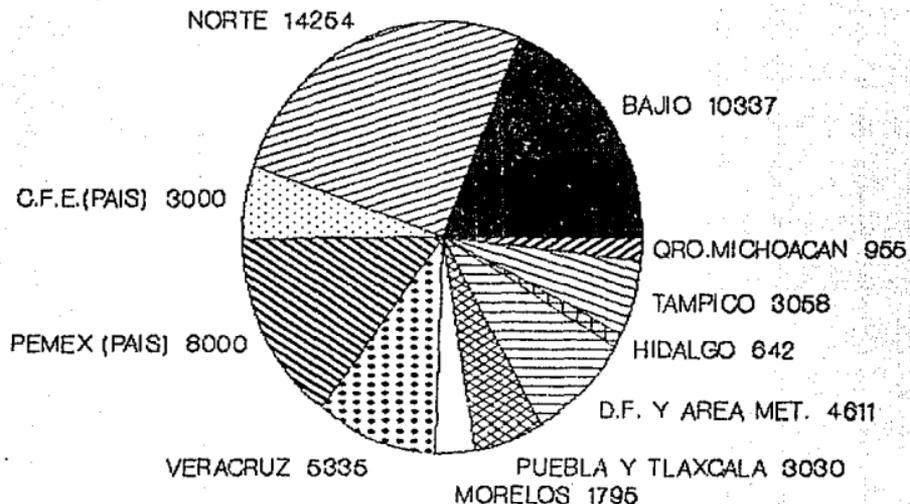
A continuación se presenta en la tabla el análisis anterior.

TABLA No. 2
CONSUMO DE ACIDO SULFURICO POR USO
TONELADS POR AÑO (1991)

PRODUCTO.	CANTIDAD DE ACIDO
AC. FOSFORICO Y FOSTATOS	1,271,000
SULFATO DE AMONIO	881,000
ACIDO FLUORHIDRICO	197,000
CAPROLACTAMA	104,000
OLEUM	100,000
TRATAMIENTO DE AGUAS	300,000
DECAPADO DE METALES	45,000
SULFATOS	150,000
ACUMULADORES	150,000
FERMENTACIONES	40,000
OTROS	104,500
EXPORTACION	214,000
	=====
	3,556,500 TONS.

ACIDO SULFURICO

DEMANDA POR REGIONES



A&O: 1991
TONS /MES
NO INCLUYE ACIDO DE AUTOCONSUMO

CAPITULO V

ENTORNO MUNDIAL

Se dice que el consumo de ácido sulfúrico en un país se puede considerar como un índice de industrialización, se podría agregar que también va muy ligado al desarrollo agrícola de cada uno. Aún más, en algunos países el consumo de ácido sulfúrico se hace en fertilizantes para demanda interna, pero sobre todo para exportación, también existen países que producen grandes excedentes a su consumo forzados por la recuperación de azufre proveniente de petróleo y de la refinación de metales.

En el año de 1991 la producción de básicos excedió en muchas ocasiones a los consumos locales con la consecuente baja internacional a los precios al consumidor, el sulfúrico no fue la excepción y junto con él los precios del azufre bajaron sensiblemente, este último su precio cayó al 50 % de su valor en relación al año anterior, debido también a la cada vez mayor producción de sulfúrico o de sulfatos provenientes de recuperación o refinación.

Se considera que por cada kilogramo de azufre se obtienen aproximadamente 3 kilogramos de ácido sulfúrico y llevamos a un comparativo de costos actuales en la recuperación o refinación, se puede considerar el costo de producción a menos de la tercera parte que si se hiciese con azufre, aun con los precios tan bajos de azufre y calidad competitiva.

A futuro puede pensarse en costos cada vez menores en plantas mas eficientes y cambios de proceso, como ejemplo de esto es la fabricación de sulfato de amonio sin pasar por ácido sulfúrico.

Se observa en la tabla 3, que Marruecos se encuentra en el cuarto lugar de capacidad instalada, esto se debe a que en su territorio existen grandes yacimientos de roca fosfórica, la que procesada con ácido sulfúrico puede obtenerse ácido fosfórico y sus derivados a fertilizantes como son los superfosfatos y otros productos.

Japón ha instalado en los últimos quince años una gran cantidad de refinerías metalúrgicas y desde luego su industria es altamente desarrollada al igual que Alemania, ambas potencias económicas

México ocupa uno de los primeros cinco lugares en yacimientos de azufre, precedido por Estados Unidos, Polonia, Canadá y Venezuela.

Rusia, es notable que sus plantas de azufre apenas rebasan la mitad de su capacidad instalada, esto obedece a que en sus vastos territorios se encuentran grandes yacimientos de metales.

TABLA No. 3

CAPACIDAD INSTALADA DE PRODUCCION DE ACIDO SULFURICO
EN EL MUNDO EN AL AÑO 1988
MILES DE TONS/AÑO

PAIS	AZUFRE	PIRITAS	OTRAS	CAPACIDAD ANUAL	%
1 USA	44,412	3,154	16,924	52,845	23.12
2 URSS	22,537	18,540	15,222	41,976	18.37
3 CHINA	715	9,017	2,813	11,360	4.97
4 MARRUECOS	9,019			9,019	3.95
5 JAPON	1,985	2,200	5,341	8,612	3.77
6 INDIA	6,214	24	805	7,012	3.07
7 MEXICO	4,475		2,032	6,507	2.85
8 ALEMANIA	3,704	1,959	4,434	5,392	2.36
9 CANADA	1,982		3,240	5,222	2.28
10 SUDAFRICA	2,628	1,761	745	5,134	2.25
11 FRANCIA	4,360		1,137	5,133	2.25
12 BRASIL	3,600	419	963	4,863	2.13
13 TUNES	4,603			4,803	2.10
14 POLONIA	3,732	99	1,987	4,240	1.86
15 ESPAÑA		3,103	988	4,021	1.76
16 RUMANIA	1,584	1,548	1,015	3,363	1.47
17 YUGOSLAVIA	1,406	2,486	2,168	3,223	1.41
18 ITALIA	1,447	1,299	569	3,201	1.40
19 AUSTRALIA	2,100		834	2,844	1.24
20 REINO UNIDO	2,520	220		2,740	1.20
21 BELGICA	1,746	405	715	2,711	1.19
22 COREA DEL SUR	1,190		1,310	2,500	1.09
23 TURQUIA	519	784	574	1,877	0.82
24 CHECOSLOVAQUIA	1,665	1,214	33	1,849	0.81
25 FINLANDIA	250	1,018	1,008	1,778	0.78
26 IRAK	1,684			1,751	0.77
27 HOLANDA	1,279		440	1,719	0.75
28 IRAN	1,264			1,524	0.67
29 BULGARIA	18	1,180	273	1,481	0.65
30 TAIWAN	1,068		303	1,371	0.60
31 GRECIA	793	903	430	1,333	0.58
32 CHILE	1,127		998	1,302	0.57
33 JORDANIA	1,188			1,188	0.52
34 FILIPINAS	75	495	430	1,157	0.51
35 SUECIA	39	736	303	1,075	0.47
36 NUEVA ZELANDIA	1,010		99	1,010	0.44
37 ISRAEL	840			880	0.39
38 EGIPTO	831			831	0.36
39 INDONESIA	817			817	0.36
40 HUNGRIA	782	709		782	0.34
41 NORUEGA		325	370	695	0.30
42 PORTUGAL	608	608	30	638	0.28
43 SENEGAL	627			627	0.27

44	ZAMBIA	75	439	549	609	0.27
45	SIRIA	560			560	0.25
46	ARGELIA	467		89	556	0.24
47	AUSTRIA	334		372	372	0.16
48	ARGENTINA	280		72	352	0.15
49	VENEZUELA	330		10	340	0.15
50	ZAIRE			273	273	0.12
51	DINAMARCA	260			260	0.11
52	BANGLADESH	236			236	0.10
53	PERU			235	235	0.10
54	MALASIA	140		66	206	0.09
55	COLOMBIA	149		36	193	0.08
56	NIGER	185			185	0.08
57	CYPRUS				180	0.08
58	SUIZA	160	60		160	0.07
59	ZIMBABWE	158	158		158	0.07
60	TAILANDIA	72		70	142	0.06
61	KUWAIT	132			132	0.06
62	VIETNAM	104			104	0.05
63	ARABIA SAUDITA	100			100	0.04
64	TANZANIA	80			80	0.04
65	NIGERIA	74			74	0.03
66	ALBANIA		70		70	0.03
67	PAQUISTAN	70			70	0.03
68	COSTA RICA	66			66	0.03
69	URUGUAY	66			66	0.03
70	COREA DEL NORTE		33	23	56	0.02
71	KENIA	40			40	0.02
72	BOLIVIA	33	4		37	0.02
73	MOZAMBIQUE	30			30	0.01
74	PUERTO RICO	30			30	0.01
75	JAMAICA	25			25	0.01
76	SINGAPUR	25		20	25	0.01
77	GABON	24			24	0.01
78	TRINIDAD Y TOBAGO	23			23	0.01
79	EL SALVADOR	17			17	0.01
80	BAHRAIN	10			10	0.00
81	HONG KONG	9			9	0.00
82	NAMIBIA	7			7	0.00
83	ECUADOR	5			5	0.00
84	EMIRATOS ARABES	5			5	0.00
85	BURMA	3			3	0.00
86	SRI LANKA	3			3	0.00
87	GINEA	2			2	0.00
TOTAL (MUNDIAL)		147,032	54,970	70,348	228,536	100.00

NOTA: ALGUNAS PLANTA PRODUCTORAS DE ACIDO SULFURICO, TIENEN A LA VEZ DIFERENTES ALTERNATIVAS DE PROCESO , DE AHI QUE LA SUMA NO REPRESENTA EN ALGUNOS CASOS LA CAPACIDAD ANUAL INSTALADA PARA CADA PAIS.

TABLA No. 4

CAPACIDAD INSTALADA DE PRODUCCION DE ACIDO SULFURICO
EN EL MUNDO EN EL AÑO DE 1988
EN MILES DE TONS/AÑO

A) EUROPA

PAIS	AZUFRE	PIRITAS	OTRAS	TOTAL	%
1 URSS	22,537	18,540	15,222	41,976	47.59
2 ALEMANIA	3,704	1,959	4,434	5,392	6.11
3 FRANCIA	4,360		1,137	5,133	5.82
4 POLONIA	3,732	99	1,987	4,240	4.81
5 ESPAÑA		3,103	988	4,021	4.56
6 RUMANIA	1,584	1,548	1,015	3,363	3.81
7 YUGOSLAVIA	1,406	2,486	2,168	3,223	3.65
8 ITALIA	1,447	1,299	569	3,201	3.63
9 REINO UNIDO	2,520	220		2,740	3.11
10 BELGICA	1,746	405	715	2,711	3.07
11 CHECOSLOVAQUIA	1,665	1,214	33	1,849	2.10
12 FINLANDIA	250	1,018	1,008	1,778	2.02
13 HOLANDA	1,279		440	1,719	1.95
14 BULGARIA	18	1,180	273	1,481	1.68
15 GRECIA	793	903	430	1,333	1.51
16 SUECIA	39	736	303	1,075	1.22
17 HUNGRÍA	782	709		782	0.89
18 NORUEGA		325	370	695	0.79
19 PORTUGAL	608	608	30	638	0.72
20 AUSTRIA	334		372	372	0.42
21 DINAMARCA	260			260	0.29
22 SUIZA	160	60		160	0.18
23 ALBANIA		70		70	0.08
TOTAL (M TONS/AÑO)	49,224	36,482	31,494	88,212	100.00

TABLA No. 5

B) AFRICA

PAIS	AZUFRE	PIRITAS	OTRAS	TOTAL	%
1 MARRUECOS	9,019			9,019	40.17
2 SUDAFRICA	2,628	1,761	745	5,134	22.87
3 TUNES	4,803			4,803	21.39
4 EGIPTO	831			831	3.70
5 SENEGAL	627			627	2.79
6 ZAMBIA	75	439	549	609	2.71
7 ARGELIA	467		89	556	2.48
8 ZAIRE			273	273	1.22
9 NIGER	185			185	0.82
10 ZIMBABWE	158	158		158	0.70
11 TANZANIA	80			80	0.36
12 NIGERIA	74			74	0.33
13 KENIA	40			40	0.18
14 MOZAMBIQUE	30			30	0.13
15 GABON	24			24	0.11
16 NAMIBIA	7			7	0.03
17 GINEA	2			2	0.01
TOTAL (M TONS/ANO)	19,050	2,358	1,656	22,452	100.00

TABLA No. 6

C) ASIA

PAIS	AZUFRE	PIRITAS	OTRAS	TOTAL	%
1 CHINA	715	9,017	2,813	11,360	27.12
2 JAPON	1,985	2,200	5,341	8,612	20.56
3 INDIA	6,214	24	805	7,012	16.74
4 COREA DEL SUR	1,190		1,310	2,500	5.97
5 TURQUIA	519	784	574	1,877	4.48
6 IRAK	1,684			1,751	4.18
7 IRAN	1,264			1,524	3.64
8 TAIWAN	1,068		303	1,371	3.27
9 JORDANIA	1,188			1,188	2.84
10 FILIPINAS	75	495	430	1,157	2.76
11 ISRAEL	840			880	2.10
12 INDONESIA	817			817	1.95
13 SIRIA	560			560	1.34
14 BANGLADESH	236			236	0.56
15 MALASIA	140		66	206	0.49
16 CYPRUS				180	0.43
17 TAILANDIA	72		70	142	0.34
18 KUWAIT	132			132	0.32
19 VIETNAM	104			104	0.25
20 ARABIA SAUDITA	100			100	0.24
21 PAQUISTAN	70			70	0.17
22 COREA DEL NORTE		33	23	56	0.13
23 SINGAPUR	25		20	25	0.06
24 BAHRAIN	10			10	0.02
25 HONG KONG	9			9	0.02
26 EMIRATOS ARABES	5			5	0.01
27 SRILANKA	3			3	0.01
28 BURMA	3			3	0.01
TOTAL (M TONS/ANO)	19,028	12,553	11,755	41,890	100.00

TABLA No. 7

D) AMERICA

PAIS	AZUFRE	PIRITAS	OTRAS	TOTAL	%
1 USA	44,412	3,154	16,924	52,845	73.27
2 MEXICO	4,475		2,032	6,507	9.02
3 CANADA	1,982		3,240	5,222	7.24
4 BRASIL	3,600	419	963	4,863	6.74
5 CHILE	1,127		998	1,302	1.81
6 ARGENTINA	280		72	352	0.49
7 VENEZUELA	330		10	340	0.47
8 PERU			235	235	0.33
9 COLOMBIA	149		36	193	0.27
10 URUGUAY	66			66	0.09
11 COSTA RICA	66			66	0.09
12 BOLIVIA	33	4		37	0.05
13 PUERTO RICO	30			30	0.04
14 JAMAICA	25			25	0.03
15 TRINIDAD Y TOBAGO	23			23	0.03
16 EL SALVADOR	17			17	0.02
17 ECUADOR	5			5	0.01
TOTAL (M TON/AÑO)	56,620	3,577	24,510	72,128	100.00

TABLA No. 8

E) OCEANIA

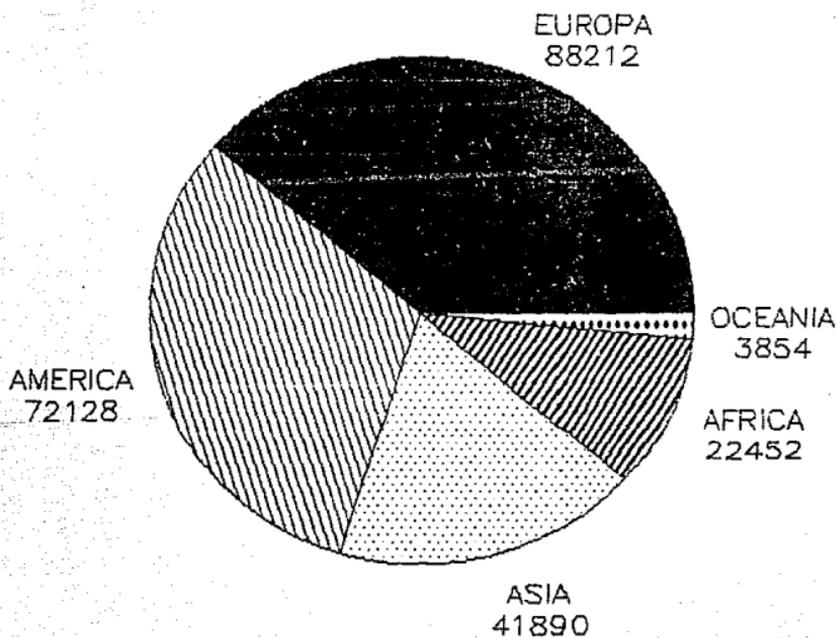
PAIS	AZUFRE	PIRITAS	OTRAS	TOTAL	%
1 AUSTRALIA	2,100		834	2,844	73.79
2 NUEVA ZELANDIA	1,010		99	1,010	26.21
TOTAL (M TONS/AÑO)	3110	0	933	3854	100.00

TABLA No. 9

CAPACIDAD INSTALADA DE ACIDO SULFURICO AL AÑO 1988
POR CONTINENTE

CONTINENTE	AZUFRE	PIRITAS	OTRAS	TOTAL	%
EUROPA	49,224	36,482	31,494	88,212	38.60
AMERICA	56,620	3,577	24,510	72,128	31.56
ASIA	19,028	12,553	11,755	41,890	18.33
AFRICA	19,050	2,358	1,656	22,452	9.82
OCEANIA	3,110	0	933	3,854	1.69
	147,032	54,970	70,348	228,536	100.00

ACIDO SULFURICO CAPACIDAD INSTALADA MUNDIAL



ACIDO SULFURICO

PRODUCCION MUNDIAL

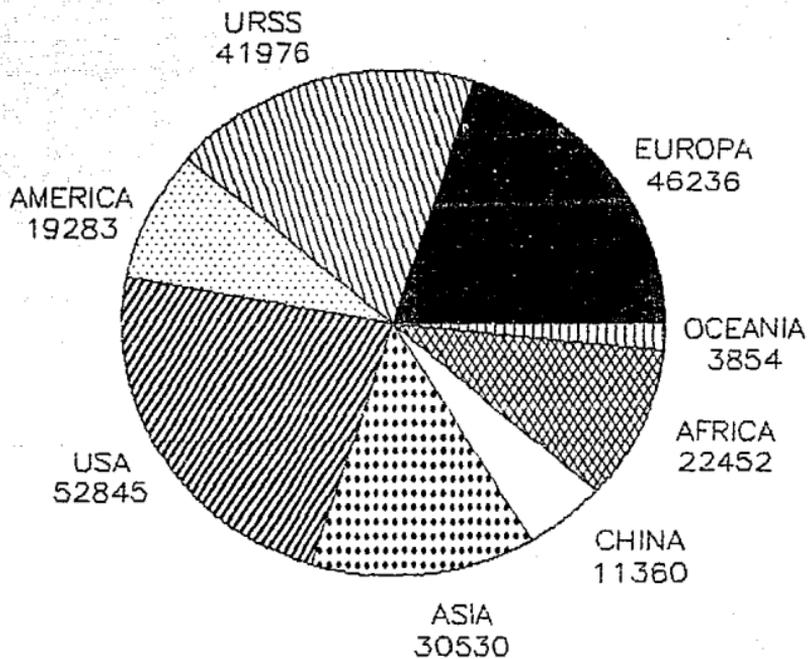


TABLA No. 10

CAPACIDAD INSTALADA EN EL MUNDO EN 1988 PARA LA PRODUCCION DE ACIDO SULFURICO EN CADA UNA DE SUS ALTERNATIVAS DE PROCESO

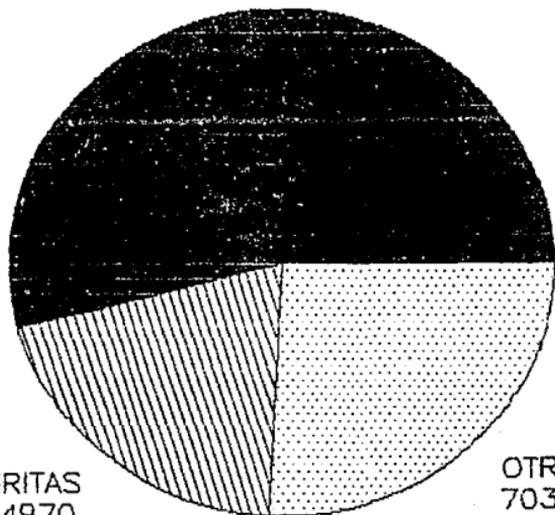
	CAPACIDAD INSTALADA (MT/AÑO)	%
AZUFRE	147,032	64.34
PIRITAS	54,970	24.05
OTRAS	70,348	30.78
TOTAL:	272,350	

NOTA: LA CAPACIDAD TOTAL INSTALADA A NIVEL MUNDIAL ES DE 228,536 M TON/AÑO, ALGUNAS PLANTAS PRESENTAN DIFERENTES OPCIONES DE PROCESO.

ACIDO SÚLFURICO MUNDIAL

CAPACIDAD INSTALADA POR PROCESO

AZUFRE
147032

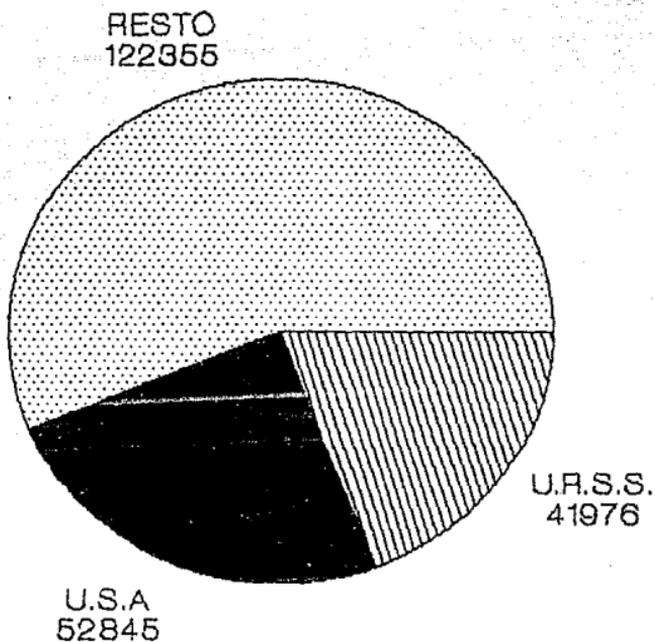


PIRITAS
54970

OTRAS
70368

ACIDO SULFURICO

MAYORES PRODUCTORES MUNDIALES

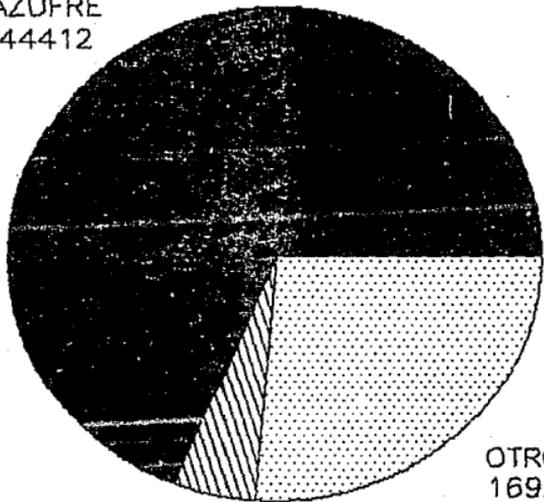


ESTA TESIS NO PUEDE
DE LA BIBLIOTECA

ESTADOS UNIDOS

PRODUCCION TOTAL

AZUFRE
44412

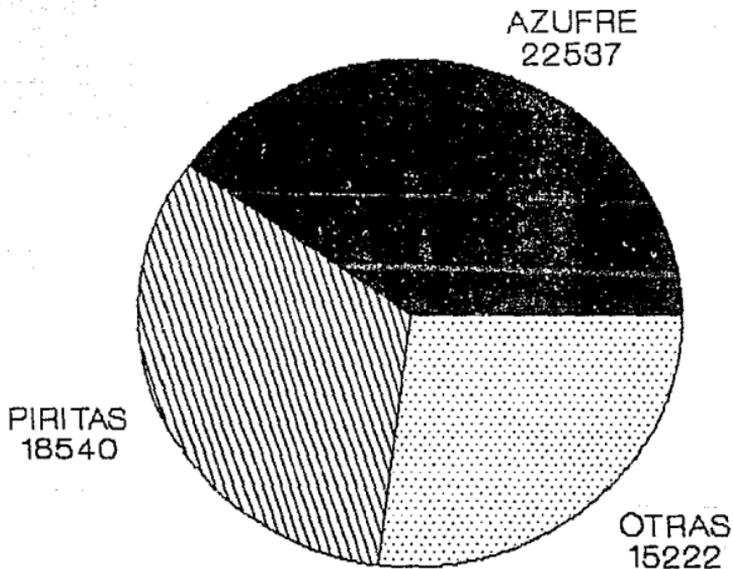


OTROS
16924

PIRITA
3154

U.R.S.S.

TIPO DE PROCESO



NO

EXISTE

PAGINA

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

El resultado final de cruzar datos de los reportes de ventas de todos los fabricantes y sus consumidores, muestra que por lo menos se detecta el 95 % del volumen comprado en ese periodo, por lo tanto se puede afirmar que la información obtenida cumple con su objetivo.

Cabe considerar que los fertilizantes tienen una demanda de acuerdo a los ciclos de siembra y que cuando en México la demanda es baja, en otros países es alta, por lo tanto las expectativas de los fertilizantes van ligadas a la economía mundial.

En el País se instalaron plantas para producción de fertilizantes que rebasa el consumo nacional, esperando como ha sido, colocar volúmenes importantes en el mercado internacional principalmente en Centro y Sudamérica, como lo prueba el ejemplo de FERTICA (Fertilizantes de Centro América) que pertenecía a FERTIMEX.

La capacidad instalada de ácido sulfúrico en México es producto de la inversión del gobierno federal hacia el rubro de los fertilizantes.

Por otra parte, la instalación de plantas de ácido sulfúrico por la iniciativa privada principalmente, va asociada a la fabricación de productos en los cuales se justifica dicha inversión, tal es el caso de QUIMICA FLUOR, UNIVEX, FENOQUIMIA, CELULOSA Y DERIVADOS. También se debe considerar la capacidad instalada de las plantas de refinación metalúrgica, que dicho sea de paso, son obligatorias por aspectos ecológicos.

La capacidad instalada de las plantas de Ferti-mex, las cuales queman azufre, es muy superior en comparación de la capacidad de las otras plantas, en conclusión, en México prácticamente no se produce ácido sulfúrico expreso para venta sino como excedente del consumo interno y como subproducto.

Como se sabe, la producción dependerá siempre del estado físico que tenga la planta y la tecnología de ella misma. Para mantener las plantas en buen estado, es impor--

tante cumplir con los paros de mantenimiento recomendados y en la medida de lo posible modernizarlas. Todo lo anterior que resulta lógico y cotidiano en las plantas de inversión privada, no siempre fue posible como se hubiera deseado en el productor de mayor volumen, que era fertimex. Puesto que estas plantas están en proceso de privatización, cabe esperar sensibles cambios al respecto, por lo que la producción pudiera incrementarse en algunas de las unidades, vía mayor eficiencia o modernización, o en caso contrario, cancelar definitivamente algunas de las plantas que ya tienen algún tiempo en mal estado o que desde su origen tuvieron problemas de diseño.

La producción que bajó sensiblemente en 1992 por la privatización de las plantas de Fertimex, pudiendo recuperar buena parte de la producción en 1993, aunado a esto el posible crecimiento del agro, aunque debieran considerarse los posibles cierres de plantas.

CAPITULO VII

BIBLIOGRAFIA

- 1.- SULPHUR, SULPHUR DIOXIDE AND SULPHURIC ACID
An introduction to their Industrial Chemistry and Technology
U.H.F. Sandor; H. Fisher, U. Rothe; R. Kola.
The British Sulphur Corporation Ltd.
Verlag Chemie International Inc.
1984

- 2.- THE MANUFACTURE OF SULFURIC ACID
Werner W. Duecker and James R. West.
American Chemical Society, Monograph Series.
Robert E. Krieger Publishing Co. Inc.
1977 Reprint.

- 3.- WORLD SULPHUR AND SULPHURIC ACID
ATLAS & PLANT LIST
Fifth Edition
1989 The British Sulphur Corporation Limited.

4.- SHREVEN'S CHEMICAL PROCESS INDUSTRIES

George T. Austin

Mc. Graw-Hill Inc. USA

1988 Fifth Edition.

5.- CHEMICAL ENGINEER'S HANDBOOK

Robert S. Perry / Cecil H. Chilton

Mc. Graw-Hill Book Company

Fifth Edition 1973.