



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

76

Estudio de Factibilidad de una Planta para la Producción de Algunos Derivados Fluorados a Partir de Fluorita

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
PRESENTA
RODOLFO MOCTEZUMA ARROYO
LUIS MANUEL SEDENO REYES
MEXICO, D. F. 1976



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

CLAS. Yesu
ADD. 1926
FECHA 11-1
PROC. 11-1

298



QUINDÍO

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE SEGUN EL TEMA:

PRESIDENTE: Ing. Q. Eduardo Rojo y de Regil
VOCAL: Ing. Q. Emilio Barraquán Hernández
SECRETARIO: Ing. Q. Antonio Valiente Barderas
1er. SUPLENTE: Ing. Q. Mario Ramírez y Otero
2o. SUPLENTE: Q. Alicia Benítez de Altamirano

Sitio donde se desarrolló el tema: Lugares Varios .

Nombre de los sustentantes y firma:

Rodolfo Moctezuma Arroyo

Luis Manuel Sedeño Reyes

Nombre y firma del asesor del tema:

Ing. Q. Emilio Barraquán Hernández

A NUESTROS PADRES

A NUESTROS CONDICIPULOS Y AMIGOS

Con agradecimiento al Ing. Quim.

EMILIO BARRAGAN HERNANDEZ

por su valiosa ayuda.

INTRODUCCION

México es el principal productor mundial de fluorita - (fluoruro de calcio), a pesar de ello, la industria nacional únicamente aprovecha el 2.1 por ciento de esa producción, destinándose el resto a satisfacer las necesidades del exterior.

Es por esto que el objetivo del presente trabajo es tratar de dar a conocer, la posible elaboración de algunos derivados fluorados, utilizando fluorita como materia prima.

Los derivados fluorados que aquí se estudian son: criolita ó hexafluoruro de sodio y aluminio, Na_3AlF_6 ; fluoruro de amonio, NH_4F ; bifluoruro de amonio, NH_4HF_2 ; - fluoruro de potasio, KF ; fluoruro de sodio, NaF ; teniendo como subproductos de las reacciones: sílica gel activa, $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$; sulfato de calcio, CaSO_4 y dióxido de carbono, CO_2 .

Además que con su producción se evitaría la importación tanto de estos derivados fluorados como de la sílica - gel ya que no se producen en el país.

Este estudio está basado en la fluorita que se explota en el Estado de Hidalgo, por lo que se hará referencia a dicho lugar tanto para la localización de la planta, como el abastecimiento de la materia prima.

II GENERALIDADES

- a) IDENTIFICACION DE OPORTUNIDADES
- b) DESCRIPCION DE MATERIAS PRIMAS
- c) DESCRIPCION DE SALES

GENERALIDADES

a) Identificación de Oportunidades. (1)

Los proyectos industriales prometedores, se encuentran normalmente a través de organizaciones dedicadas exclusivamente al desarrollo de este tipo de análisis, ya sea como un grupo independiente para vender estas tecnologías a inversionistas privadas ó como organizaciones asesoras de grupos industriales internacionales ó de los gobiernos. Los criterios que se aplican para justificar este estudio, son los siguientes:

a) Disponibilidad de materias primas y servicios. El contar con materias primas locales así como servicios (electricidad, agua, combustible), favorece tanto el abastecimiento y precio de los mismos.

b) Localización y vías de comunicación. Es importante tener una proximidad geográfica tanto de materias primas como de mercado así como vías de comunicación que facilitan el abastecimiento de las mismas y la distribución de los productos terminados.

c) Mano de obra disponible. Es el análisis de los recursos humanos con que se cuenta en una determinada región. Esto nos permite conocer las habilidades y conocimientos de los individuos.

d) Incentivos adecuados a la industrialización. Es importante conocer si se cuenta con programas de fomento tanto federal como estatal, que faciliten la industrialización de una determinada región.

e) Potencial de exportación. Es el análisis de las demandas de los productos en el extranjero.

b) Descripción de Materias Primas

Fluoruro de Calcio

Abunda en la naturaleza formando el mineral, llamado fluorita, cuya fórmula condensada es: CaF_2 y peso molecular de 78.08. En los depósitos mexicanos, se encuentra comunmente formando vetas y frecuentemente como subproducto de otros minerales. En estado puro, - se encuentra en forma de cristales cúbicos, así también en formas masivas y granular, mostrando tonalidades muy variadas sobresaliendo entre otras los colores amarillo, azul, blanco, café, rojo y violeta. Actualmente la fluorita no tiene sustitutos satisfactorios, tanto en sus aplicaciones metalúrgicas como en la manufactura del ácido fluorhídrico (2)

Obtención:

La principal fuente de obtención es de minas, en México, el proceso para beneficiar o concentrar el fluoruro de calcio es por el procedimiento de flotación y/o gravitación, que usando reactivos especiales, aprovechan la diferencia de gravedad específica entre la fluorita y sus contraminantes. Otra forma de obtener el fluoruro de calcio es por la siguiente reacción:



reacción en la cual se obtienen cristales finos de alta pureza (3).

PROPIEDADES

En estado puro, tiene un punto de fusión de 1403°C , - punto de ebullición 2500°C , dureza en la escala de Mohs de 4.00; su densidad es 3.18 capacidad calorífica 0.212 cal/gmol $^\circ\text{C}$. El espatofluor es un sólido, que cuando está puro es cristalino e incoloro, su solubilidad a 18°C es 0.0016 g/100 g de H_2O , y es ligeramente soluble en ácidos fuertes fríos y bastante soluble en soluciones de sales de aluminio (3,4)

USOS -

La fluorita comercialmente existe en tres grados de pureza; metalúrgico, cerámico y ácido. La de grado metalúrgico se usa como fundente en la manufactura del hierro y del acero aumentando la fluidez de la escoria para eliminar las impurezas. La de grado cerámico se emplea principalmente en la industria del esmalte en donde resulta indispensable para la elaboración del acabado de muebles de baño, de estufas y de refrigeradores. En la industria vidriera se requiere por sus propiedades opalescentes y colorantes, en la industria cerámica se emplea para darle un aspecto vítreo a las vajillas y al ladrillo. La fluorita grado ácido se emplea principalmente en la producción del ácido fluorhídrico y este se destina para la manufactura del flúor y con éste de los derivados fluorados orgánicos (2,3)

TOXICIDAD

El fluoruro de calcio es tóxico, se sienten severos síntomas de envenenamiento cuando se ingieren oralmente de 0.25-0.45 g., teniendo los siguientes síntomas; debilidad muscular, convulsiones, colapso, falla respiratoria y cardíaca. El estado crítico se nota por un moteado - en el esmalte dental. La dosis mortal en el hombre es de 4g, teniéndose los mismos síntomas que anteriormente se describieron (5)

REGIMENES ARANCELARIOS

La fluorita se exporta, y requiere permiso de la Secretaría de Industria y Comercio, existen dos fracciones - arancelarias para su registro: la 261.04.00 que se refiere a la calidad metalúrgica (incluyendo la cerámica) cuando contenga hasta el 97% de fluoruro de calcio con un - precio oficial de \$344.50 por tonelada; y la 261.04.01

que se refiere a la calidad ácida y con un contenido - mayor del 97% de fluoruro de calcio, su precio oficial es de \$546.00 por tonelada, ambas se gravan con el 7.5% Ad Valorem y no tienen impuesto por cuota específica - (2).

ESPECIFICACIONES

En el mercado internacional se comercian tres variedades de fluorita: metalúrgica, cerámica y ácida, en este orden se eleva el contenido de fluoruro de calcio - y el precio del mineral.

La fluorita grado metalúrgico tiene un contenido de - fluoruro de calcio del 70%; SiO_2 5-8%; CaCO_3 7-8%; Fe 0.3%; materia soluble y otros 5% (2,3).

La fluorita grado cerámico, contiene del 93-97% de CaF_2 SiO_2 de 1-2% máximo; CaCO_3 0.2%; Boratos 0.1% y otros 0.5% máximo (2,3)

La fluorita grado ácido, contiene un 97% de CaF_2 como mínimo; con límites máximos de impurezas de SiO_2 1%; CaCO_3 0.05%; CaO 0.002%; metales pesados y otros 0.5% juntos; boratos 0.001% (2,3)

PRINCIPALES PRODUCTORES (6).

Fluoruros de Hidalgo, S. A. ubicada en el Cardonal, Hi dalgo.

Cía. Minera Río Colorado, S. A.

Fluorita de Río Verde, S. A.

Minera Frisco, S. A.

CARBONATO DE SODIO

Tiene como fórmula condensada: Na_2CO_3 y peso molecular de 106.00; se le encuentra en la naturaleza en una salmuera llamada trona, cuya fórmula condensada es: $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

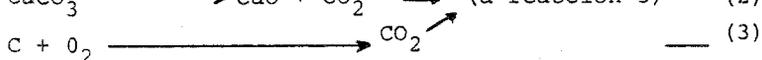
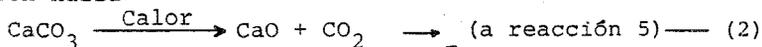
En México, se encuentra un depósito natural de esta salmuera en el Lago de Texcoco, actualmente el carbonato de sodio se produce en el país (3)

OBTENCION

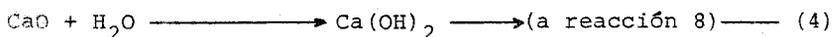
El carbonato de sodio se obtiene por los procesos Solvay y Le Blanc.

(e) El Proceso Solvay consta de las siguientes reacciones: $\text{CaCO}_3 + 2\text{NaCl} \longrightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CaCl}_2$ (I)

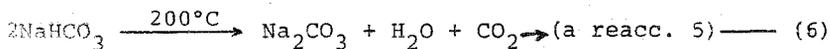
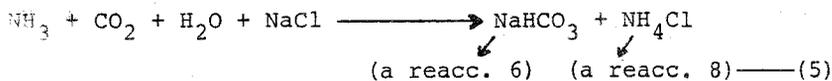
Esta ecuación representa la reacción total del proceso. Esta reacción no se efectúa inmediatamente, sino en varios pasos. La operación es cíclica y para describirla es necesario empezar en un punto arbitrario, conviene considerar como primer paso, la calcinación de la caliza con hulla:



Se saca la cal de horno y se apaga con agua para formar una lechada espesa:

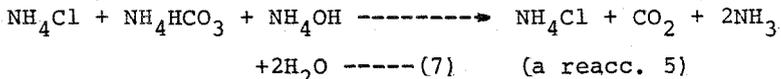


La sal, en forma de salmuera saturada, se trata con amoníaco y dióxido de carbono:

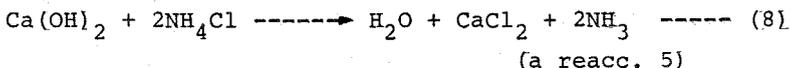


El filtrado de la reacción 5 contiene cloruro amónico,

de cloruro sódico inalterado y el exceso de amoníaco y de dióxido de carbono, éste último probablemente en forma de iones-bicarbonato, pero como el amoníaco se halla en mayor exceso que el dióxido de carbono, debe haber algo de amoníaco en forma de hidróxido de amonio. El separar el amoníaco de esta solución se lleva a cabo en dos tiempos como sigue:



La solución caliente que solo contiene cloruro de amonio, se trata luego con lechada de cal de la reacción 4, como sigue:



Esta se conoce con el nombre de "encalado"

En el proceso Le Blanc reaccionan cloruro de sodio y ácido sulfúrico, el sulfato obtenido se calcina con carbón y piedra caliza, reduciéndose el sulfato a sulfuro el que reacciona con el CaCO_3 , formando el Na_2CO_3 impurificado con CaS , el conjunto es una ceniza negra que se trata con agua, y calentada, se obtiene el Na_2CO_3 , las reacciones son las siguientes: (3)



PROPIEDADES

El carbonato de sodio es un polvo que al exponerlo al aire, absorbe gradualmente una mol de agua, es inodoro, con sabor alcalino, densidad a 20°C de 2.533 g/ml ; capacidad calorífica de $27.13 + 15.62 \times 10^3 - 4.78 \times 10^{-5} - (298-1124^\circ\text{K}) \text{ cal/gmol}^\circ\text{K}$, calor de formación de $-270.3 - \text{Kcal/gmol}$; calor de fusión de 8 Kcal/mol ; punto de ebullición 851°C , empieza a perder CO_2 a los 400°C , funcio

na como una base, reaccionando con los ácidos dándonos las sales correspondientes, agua y bióxido de carbono, solubilidad en agua 70 g/100 g de H₂O, su solución acuosa es alcalina alcanzando un pH de 11.6 (3).

USOS

Tiene una amplia aplicación, algunos de sus usos son: en la elaboración de sales de sodio, del vidrio, jabones para lavar lana, textiles para blanquear lino, algodón y como limpiador general en reblandecimiento de agua, en fotografiay como reactivo en química analítica (3).

TOXICIDAD

El carbonato de sodio es tóxico, ya que su ingestión en forma oral produce corrosión del canal digestivo, vómito, diarrea, colapso circulatorio, sobreviniendo la muerte. En soluciones concentradas al contacto con la piel o los ojos, causa necrosis local, la cantidad mortal para una persona es desde 3 g. en adelante si se ingiere oralmente (3).

ESPECIFICACIONES

El carbonato de sodio comercial en dos grados: técnico y reactivo analítico.

El grado técnico tiene un contenido de Na₂CO₃ del 99%, NaCl 0.2%; Na₂SO₄ 0.02%; Fe 15 p.p.m. máx., y no contiene agua de hidratación.

El grado reactivo analítico tiene un contenido de Na₂CO₃ del 99.9%; con cantidades máximas de NaCl 0.03%; Na₂SO₄ 0.04%; Fe 7 p.p.m.; y se presenta en forma anhidra (3).

PRINCIPALES PRODUCTORES O DISTRIBUIDORES

Sosa Texcoco, S. A., situada en Ecatepec, Edo. de México.
Industrias del Alkali, S. A., situada en Monterrey, Nuevo León.

CARBONATO DE POTASIO

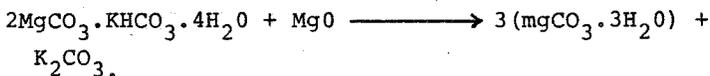
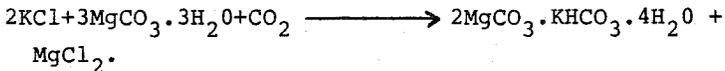
Tiene como fórmula condensada: K_2CO_3 y peso molecular 138.20, se encuentra en forma natural en las cenizas de los vegetales; el consumo de esta sal ha ido en constante incremento a un ritmo del 15% durante los últimos cinco años y no se produce en el país.

Se le encuentra en la forma anhidra (K_2CO_3) y como el sesquihidrato ($K_2CO_3 \cdot 1.5H_2O$) (3).

OBTENCION

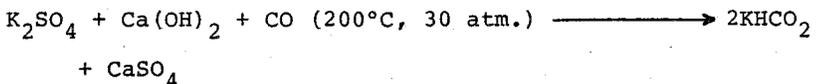
Su fabricación actual se basa en la obtención de hidróxido de potasio por medio de la electrólisis del cloruro de potasio. El hidróxido de potasio se absorbe en dióxido de carbono y se forma el K_2CO_3 .

También se puede producir por el proceso Eugel-Precht como sigue:



el carbonato de magnesio trihidratado en el segundo paso, es recirculado al primero (3).

Otro proceso es el siguiente (3).



PROPIEDADES

El carbonato de potasio anhidro, es un polvo granular, higroscópico, inodoro, densidad 2.29 g/ml, con punto de fusión de 891°C, soluble en 100 g/100g de H_2O a 10°C, es prácticamente insoluble en el alcohol. Sus soluciones acuosas son fuertemente alcalinas con pH=II.60

El sesquihidrato se presenta en forma de pequeños cristales granulares y cuando contiene su total cantidad de

agua, no es higroscópico. Es soluble en 90 g/100 g de H_2O a $20^\circ C$, es prácticamente insoluble en alcohol, su solución acuosa es fuertemente alcalina (3).

USOS

En la manufactura de jabones, vidrio, cerámica, esmaltes y otras sales de potasio; en el proceso de grabado y litografía para terminado del cuero; en shampoos líquidos, para remover agua de líquidos orgánicos, en química analítica y en medicina como alcanizante y diurético (3).

TOXICIDAD

El carbonato de potasio es irritante y caustico, si es ingerido oralmente produce quemadas en el canal digestivo, así como vómito, diarrea, malestar general, a concentraciones de 4.5 g. En caso que una solución concentrada haga contacto con la piel o en los ojos, causará necrosis local. (7).

ESPECIFICACIONES.

Se comercia en dos variedades, :calcinado y licor.

La forma calcinada tiene una concentración de 99.5% de K_2CO_3 ; y contiene los siguientes límites máximos de impurezas, KOH 0.1%; KCl 0.01%; Na 0.02%; Fe 0.002% - - Ni 0.000003% (3).

En forma de licor del 47-50% de concentración del K_2CO_3 , con límites máximos de impurezas de : KOH 0.03%, KCl 0.02% $KClO_3$ 0.01%; Si 0.0005%; Fe trazas (.].

PRINCIPALES DISTRIBUIDORES

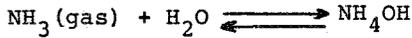
Comreno, S. A.

Compañía Universal de Industrias, S. A.

Productos Corning de México, S. A. de C. V.

HIDROXIDO DE AMONIO

Tiene la siguiente fórmula condensada: NH_4OH , y peso molecular de 35, es el producto de una reacción reversible entre amoníaco y agua como sigue:



Conforme se eleve la temperatura se llevará a cabo la descomposición que se indica de derecha a izquierda de la reacción (3).

OBTENCION

El hidróxido de amonio se obtiene fácilmente, haciendo burbujear el gas amoníaco en agua, y de acuerdo a las condiciones de presión y temperatura se formará la solución que se desee (3)

PROPIEDADES

El hidróxido de amonio tiene fuerte carácter alcalino, densidad a 20°C y al 20% de 0.922, y al 30% de 0.892, punto de congelación -77°C, capacidad calorífica de 37.02 cal/gml°K, calor de formación de $-87.64 \frac{\text{Kcal}}{\text{gmol}}$

es un líquido sin color, con olor y sabor intenso, picante y sofocante, disuelve al cobre y al zinc, es una base débil ya que la magnitud a la cual la solución de amonio se ioniza en agua es de 1/200 en comparación de una solución de hidróxido de sodio (3).

USOS

Como detergente, desmanchador, fertilizante en una amplia variedad de derivados como sulfato de amonio, nitrato de amonio, en dentífricos, en lociones y cosméticos, en la purificación del agua, en la extracción de colores de plantas como archilla, cochinilla y alcaloides y muchos otros usos. (3).

TOXICIDAD

El hidróxido de amonio es irritante a ojos y garganta a una concentración de 698 p.p.m. en el aire, la cantidad mínima detectable al olfato humano es de 53 p.p.m., la inhalación de los vapores causa además en el ducto respiratorio, espasmo en la laringe y asfixia. La exposición por espacio de 1/2 hora a concentración de 2500 p.p.m. en el aire causa asfixia, el paciente afectado tendrá que ser atendido inmediatamente para evitar la muerte. Se recomienda conservar las soluciones en frascos gruesos de vidrio, en botellas de plástico en lugares fríos y no completamente llenos. (7).

ESPECIFICACIONES

Las soluciones de hidróxido de amonio se comercian en dos grados:

La llamada agua amoniacal con un contenido de amoníaco del 10%, piridina 2% máximo, naftaleno 0.03% máximo, materia orgánica 100 p.p.m. como máximo.

Hidróxido de amonio concentrado, con un contenido del 28-29% de amoníaco, piridina 1% máximo, materia orgánica 50 p.p.m. máximo, naftaleno solo trazas (5)

PRINCIPALES PRODUCTORES O DISTRIBUIDORES

Cía. Química Anglo Mexicana, S. A.

Dr. José Polak, S. A.

Centro Químico, S. A.

HIDROXIDO DE ALUMINIO

Tiene la siguiente fórmula condensada: $\text{Al}(\text{OH})_3$ y su peso molecular de 77.97. Se le encuentra en la naturaleza en el estado de hidróxido impuro que es el componente esencial de la bauxita; en México no se han encontrado yacimientos de bauxita por lo que se tiene que importar la alúmina, es decir, la bauxita beneficiada.

OBTENCION

Industrialmente el hidróxido de aluminio se obtiene directamente por el proceso Bayer, el cual consiste en tratar la bauxita con álcali, bajo presión, seguido por descomposición de la solución de aluminato de sodio por dilución y obteniendo el hidrato ya formado. El hidrato aparece en forma de granos relativamente redondos (3).

PROPIEDADES

Es prácticamente insoluble en agua, pero soluble en soluciones alcalinas ó en ácido clorhídrico, sulfúrico y otros ácidos fuertes; su densidad es de 2.42 g/ml, su calor de formación de -304.8 Kcal/gmol; capacidad calorífica de 0.45 cal/g°C, forma geles al contacto prolongado con agua. En el proceso Bayer se le obtiene con un tamaño de partícula de 50-100 micrones (3, 4)

USOS

En la manufactura de aluminato de sodio y de sales de aluminio inorgánicas, en la manufactura del vidrio, en esmaltes vítreos, en cerámica y vidrios - chinos, en la manufactura de la criolita sintética, como abrasivo suave, para el pulido de plásticos y en la medicina como antiácido gástrico en la forma de gel, como mordente en tintes, en antitranspirantes, dentífrico, medio filtrante y absorbente (3)

TOXICIDAD

El hidróxido de aluminio llega a ser tóxico si se abusa al consumirlo, una dosis oral de 100g en forma de gel ocasiona estreñimiento, con los efectos colaterales de dolor ventral y malestar general, solamente ingiriendo cantidades exageradas de la gel se podría llegar a poner a una persona en estado delicado, con falla respiratoria y fuerte dolor abdominal (8)

REGIMENES ARANCELARIOS

Su importación requiere permiso de la Secretaría de Industria y Comercio, causando un impuesto del 15% sobre \$1.20 K.B más \$0.15 K.B., no requiere permiso cuando el producto es originario de los países miembros de la ALALC, causando impuesto del 13% sobre \$1.20 K.B. (9)

ESPECIFICACIONES

El hidróxido de aluminio comercial contiene un mínimo de $AL(OH)_3$ del 99.5%; con límites máximos de impurezas: SiO_2 0.1%; TiO_2 0.01%; Fe trazas; CaO 0.05%; y de 2-3% de otros metales pesados y óxidos de metales.

PRINCIPALES DISTRIBUIDORES

Dr. José Polak, S. A.

Cía. Universal de Industrias, S. A.

Centro Químico, S. A.

Alquimia Mexicana, S. de R. L.

c) DESCRIPCION DE SALES

CRIOLITA (HEXAFLUORURO DE SODIO Y ALUMINIO)

Este mineral tiene la siguiente fórmula condensada: Na_3AlF_6 y su peso molecular es de 210,00, se le encuentra en la naturaleza únicamente en Groelandia en forma muy pura siendo de color blanco transparente, el problema actual es que su explotación resulta insuficiente debido a la creciente demanda por este mineral, por lo que se ha recurrido a nuevas técnicas con el fin de producirlo por vía sintética para cubrir las necesidades mundiales del mismo.

Actualmente no hay producción de criolita en nuestro país, únicamente hay distribuidores de ella, pero la demanda de la misma está en constante aumento. Esta sal es la que va a tener más demanda en un futuro próximo, debido a la creciente expansión de la industria del aluminio, ya que se utiliza en la elaboración de éste, para 1977 la compañía Aluminio, S. A. de C. V. - (10), que produce aluminio primario en forma de lingotes, duplicará su producción de aluminio.

Así también, a fines de 1974 se dió a conocer que los gobiernos de Jamaica y México firmaron un acuerdo en el que se comprometen a integrar un complejo industrial para explotar bauxita, refinar alúmina y producir aluminio. Se ha estimado que la producción anual de aluminio será de 120,000 toneladas, con lo que las necesidades de criolita se cuadruplican en forma tal que para dentro de cuatro años se necesitarán 5000 toneladas de la misma.

OBTENCION

La mayoría de los métodos de obtención de criolita, están basados en la reacción entre el ácido fluorhídrico y aluminato de sodio.



Los reactores con mecanismo de agitación han sido aceptados, recubiertos de hule (caucho), ó bloques de carbón.

La precipitación de la criolita sintética se lleva a cabo generalmente a una temperatura de 85 - 100°C, el calor es suprimido durante las primeras etapas después de las cuáles el calor de reacción es más que adecuado para mantener la temperatura deseada. El producto es luego filtrado, secado y calcinado (11).

PROPIEDADES.

La criolita es un sólido blanco que funde a 1,009°C y - su fusión está acompañada por un incremento sustancial de volúmen, cuando se calienta sufre una transición reversible a 565°C a una modificación isomérica.

La gravedad específica del sólido es de 2.95 - 3.00 y - la del líquido de 2.10 a 1000°C, el calor específico de criolita fundida se estima de 0.38 cal/g/°C, la capacidad calorífica del sólido es de 65 (abajo de 565°C) y - la del líquido de 96.8 a 1,009°C, la solubilidad de la criolita es de 0.042 g/100 g de H₂O a 25°C y de 0.13 - g/100 g de H₂O a 100°C. La densidad del cristal monoclinico es de 2.97 g/ml (3,4).

La acción disolvente de la criolita fundida, particularmente para óxidos metálicos ligeros es una consideración importante en las aplicaciones metalúrgicas de este mineral. La producción electrolítica de aluminio, por ejemplo, depende sobre la relativa solubilidad de alúmina en criolita fundida. La criolita se descompone con los ácidos, por ejemplo:



Y reacciona con las bases como se muestra en las ecuaciones:



Los metales menos electronegativos reaccionan con la criolita a altas temperaturas liberando aluminio.

USOS

La industria cerámica utiliza criolita principalmente - como opacificador y como fundente en la manufactura de esmaltes vítreos. La criolita es usada en bajos porcentajes en la fabricación de vidrio plano y recipientes de vidrio. En la industria del aluminio, la criolita es el principal constituyente de electrolito en el proceso Hall-Héroult, para la reducción del aluminio; en la industria de la cerámica; así como en la agricultura para controlar diversas plagas como lo son el gusano del maíz; la polilla de la papa, y escarabajos, actúa como veneno de estas plagas sin afectar los cultivos. (3,8).

TOXICIDAD

Las propiedades fisiológicas de la criolita residen en su contenido de flúor y la baja solubilidad de la misma, limita su actividad.

En el hombre la toxicidad ha sido reportada como baja, - llegando a soportar más de doscientos miligramos por Kilogramo, y si se llegara a suministrar más dosis puede - eventualmente producir síntomas de fluorosis. En los animales superiores la toxicidad ha sido baja también y las ratas, perros y conejos han sobrevivido a la administración oral de varios cientos de miligramos por Kilogramo de peso (12).

REGIMENES ARANCELARIOS

Su importación requiere permiso de la Secretaría de -
 Industria y Comercio. Tiene un impuesto del 5% sobre
 \$5.90 K.B. más \$0.10 K.B. Ad Valorem (9).

ESPECIFICACIONES

Para criolita grado cerámico: incolora, de aspecto ví-
 tero, dureza 2.5 en la escala de Mohs, contenido de Al:
 12.85%; Na:32.86%; F:54.29%, con un contenido de crio-
 lita del 97% mínimo, óxido fosfórico 0.20%, óxido de -
 magnesio 0.10%, óxido de manganeso 0.20%, sulfatos - -
 0.02%, álcali libre 0.35% (3).

Para criolita grado metalúrgico: polvo cristalino blan-
 co, con punto de fusión de 1000°C, índice de refracción
 1.338, con un contenido de 95% de criolita, sulfatos -
 0.03%, metales pesados (Pb) 0.02%, álcali libre 0.5%,
 óxidos de magnesio, fierro y manganeso 2% juntos, ácido
 libre 0.3%, materia insoluble 0.8%, con humedad no ma-
 yor de 0.5% (3)

BIFLUORURO ACIDO DE AMONIO

Esta sal tiene la siguiente fórmula condensada: NH_4HF_2 y peso molecular de 57.05, en este caso se comenta también el fluoruro de amonio.

Vale la pena hacer notar que el fluoruro de amonio se obtiene como subproducto en el proceso de aquí se estudia y el bifluoruro ácido, se obtiene añadiendo la cantidad equivalente de ácido fluorhídrico para formar la sal doble. Actualmente ninguna de estas dos sales se produce en el país, por lo que se tiene que importar, la demanda de estas dos sales aumenta cada año, teniendo un incremento anual ambas del 15% en promedio durante los últimos cuatro años (3)

OBTENCION

Existen varias formas de preparar el fluoruro de amonio, una puede ser por reacción del ácido fluorosilícico con amoniaco en solución acuosa a baja temperatura; otra forma sería el hacer reaccionar hidróxido de amonio, con ácido fluorhídrico y subsiguiente cristalización (3).

Se obtiene en forma natural en los lugares donde hay actividad volcánica. El bifluoruro ácido de amonio se obtiene tratando amoniaco con fluoruro de hidrógeno en las proporciones en que se combinan para formar NH_4HF_2 . Cuando el producto gaseoso que resulta se enfría a menos de 50°C , se obtiene el producto sólido, también se obtiene haciendo reaccionar soluciones acuosas de amoniaco y de ácido fluorhídrico (3). La solución que resulta se evapora y la solución caliente se bombea a tanques de cristalización donde se deja enfriar, después se centrifugan los cristales hasta sequedad.

PROPIEDADES

La solubilidad del fluoruro de amonio en agua caliente es de 100 g en 100 ml de agua, es ligeramente soluble en alcohol y la solución acuosa es ácida. Esta sal es de color blanco, es inestable y tiene fuerte olor amoniacal, se descompone arriba de 40°C con liberación de amoniaco y la formación de bifluoruro ácido de amonio, no pudiendo volverse a obtener por evaporación de su solución acuosa.

El bifluoruro ácido de amonio es un sólido blanco transparente de ligero olor ácido, con punto de fusión de -126.1°C (), se sublima a temperaturas mayores a esta, su densidad es 1.21 a 12°C, no se conoce ningún hidrato de la sal, siendo ésta muy soluble en agua caliente y fría, siendo sus soluciones ácidas (3).

USOS

El fluoruro de amonio se utiliza en el escarchado de vidrio, como antiséptico en la elaboración de cerveza, como preservador de la madera, ha mostrado ser efectivo contra la polilla (), en estampados y tintes en textiles, en la agricultura para mejorar terrenos que son arenosos y como reactivo analítico en los laboratorios.

El bifluoruro ácido de amonio se utiliza para escarchar artículos de vidrio tales como pantallas de lámparas, accesorios de alumbrado y artículos decorativos, para combatir el desarrollo de levaduras silvestres en cervecías y destilerías, para quitar manchas de hierro de la ropa y en lavanderías para quitar el exceso de álcali antes del enjuague final.

También se usa como mordente en la industria textil (8) en la obtención de flúor por electrólisis de la sal, y como preservador de la madera.

TOXICIDAD

La toxicidad, tanto del fluoruro de amonio, como del bifluoruro ácido de amonio, reside en la facilidad para descomponerse con la temperatura. En el hombre, la toxicidad ha sido reportada como alta, y puede ser mortal si es inhalado o ingerido cualquiera de los dos compuestos. Se tienen severos síntomas de envenenamiento cuando se ingieren oralmente de 0.20 - 0.40 g, causando náuseas, vómito, dolor abdominal, diarrea y debilidad. Cuando se ha ingerido una dosis mortal ó sea de 0.4 g en adelante se tienen síntomas de debilidad muscular, convulsiones, colapso, dificultad para respirar, falla cardíaca, sobreviniendo la muerte.

Cuando se tiene un caso de éstos, debe dársele al paciente un vaso con una solución saturada de hidróxido de calcio o 1% de cloruro de calcio ó bastante leche. Si la quemadura es externa, lave la parte afectada con bastante agua (7).

REGIMENES ARANCELARIOS

La importación del fluoruro de amonio y bifluoruro de ácido de amonio, no requiere permiso, el fluoruro de amonio tiene un precio oficial de: \$6.90 K.L., con una cuota específica de \$0.05 y un 7% por K.B. Ad Valorem.

ESPECIFICACIONES

La composición del bifluoruro ácido de amonio comercial es: 98% de bifluoruro ácido de amonio como mínimo, teniendo como impurezas: SiO_2 0.8%, cloruros 0.15% máximo.

Tienen la forma de cristales blancos y prismas hexagonales obtenidos por sublimación se presenta en - ojuelas de grado técnico, para uso analítico se presenta en agujas delicuescentes con pureza del 99%.

FLUORURO DE SODIO

Esta sal tiene la siguiente fórmula condensada: NaF y un peso molecular de 42.00, la demanda de esta sal ha ido lenta pero en forma constante, durante los últimos años su crecimiento histórico ha sido del 1.4% y se espera que para los años venideros, tenga el mismo ritmo de crecimiento (13).

Actualmente esta sal no se produce en el país, es el único compuesto que se utiliza en la actualidad para la fluoración de aguas municipales, este compuesto - se utilizó en los Estados Unidos cuando concluyeron los estudios sobre su toxicidad y efectos fisiológicos, se encontraba en grandes cantidades comercialmente; como era conveniente para usarse y tenía una solubilidad relativamente alta y constante a través de una gran variedad de temperaturas ha tenido un - amplio campo de aplicación, en México, todavía no se le ha dado ese uso.

OBTENCION

Esta sal se obtiene comercialmente tratando carbonato de sodio y ácido fluorhídrico acuoso como sigue:



La reacción se lleva a cabo en un reactor de plomo, controlando cuidadosamente el PH para obtener el tamaño de cristal deseado, el fluoruro de sodio es - filtrado, secado y pulverizado. Se le obtiene también por descomposición de la criolita con las bases

como sigue:



PROPIEDADES

El fluoruro de sodio, es un polvo cristalino, blanco, inodoro y presenta la forma cúbica, tiene un punto de fusión de 922°C y punto de ebullición de 1704°C, gravedad específica de 2.79, índice de refracción de - 1.3258, su solubilidad es de 4g/100 g de H₂O a 0°C y 5g/100 g de H₂O a 100°C, soluble en alcohol 3:1 (13)

USOS

El fluoruro de sodio es usado en el escarchado del - acero, en composiciones de soldadura y en fusión metalúrgica para decapado de acero inoxidable, es empleado en reacciones de fluoración aún cuando es costoso debido a sus características de solubilidad, como insecticida para combatir el gusano de la papa y otro tipo de larvas de los cultivos; como preservador de la madera evitando la formación de hongos, como conservador biológico y antiséptico en los licores en escarchado de vidrio y como agente fundente para metales (8).

TOXICIDAD

El fluoruro de sodio es germicida y no es tóxico a - concentraciones mayores de 1 p.p.m., a concentraciones mayores es tóxico y ha sido usado como un veneno para cucarachas y ha sido efectivo contra el piojo de las aves. La dosis mortal para un hombre es de 75-150 mg/kg. A concentraciones de 4.4. p.p.m., se - muestran efectos crónicos de fluorosis y en el esqueleto, a 115 p.p.m. es considerado submortal y a concentraciones mayores mortal. La intoxicación en el

hombre va acompañada de dolor estomacal, vómito, diarrea, debilidad muscular, convulsiones, colapso y la muerte por falla respiratoria y colapso cardiovascular. En los conejos y perros ha sido probado soportando hasta una dosis de 80 mg/kg y 100 mg/kg respectivamente.

REGIMENES ARANCELARIOS

Su importación requiere permiso de la Secretaría de Industria y Comercio, causando un impuesto del 3% sobre \$6.35 K.B. más \$0.05 K.B. Ad Valorem.

ESPECIFICACIONES

Para el fluoruro de sodio de uso agrícola: Es un polvo blanco, soluble en alcohol 3:1 y en agua 3.46 g/100 g de H₂O. Con un contenido de fluoruro de sodio del 90%, con no más de 0.6% de materia insoluble, los metales pesados no deben exceder de 0.15%, la humedad no mayor de 0.50%, hierro 0.04% máximo, y óxidos metálicos 3.01% como máximo.

Para el fluoruro de sodio reactivo analítico: Es un polvo blanco soluble en 25 partes de agua e insoluble en alcohol, con cantidad mínima de fluoruro de sodio de 98%, teniendo como límites máximos de impurezas: cloruros 0.010%, ácido libre (HF) 0.2%, sulfatos 0.03%, sulfitos (SO₃), 0.005% y metales pesados (Pb) 0.003%, álcali libre (Na₂CO₃) 0.25% (13).

FLUORURO DE POTASIO

Esta sal tiene la siguiente fórmula condensada: KF y peso molecular de 58.10, se ha utilizado en instalaciones experimentales de tratamiento de aguas, con el mismo equipo que se utiliza para la colaración del agua. En México no se fabrica esta sal, sin embargo, su demanda está aumentando paulatinamente a un ritmo del 15 - 20% anual.

OBTENCION

El fluoruro de potasio se prepara comercialmente por la reacción de neutralización entre el carbonato de potasio y ácido fluorhídrico acuoso.

La solución resultante es evaporada, enfriada y seca da. Si se desea la sal anhidra, el enfriamiento se detiene entre los 50 y 55°C y los cristales son separados por centrifugación a esta temperatura. Si lo que se desea es el dihidrato, la solución es entonces enfriada a temperatura ambiente y los cristales resultantes son centrifugados y empacados en recipientes de vidrio. La sal anhidra es preparada también por calentamiento de la sal hasta sequedad. Es necesario tener extremo cuidado al manejar la sal anhidra para evitar la hidratación de la misma. (3).

PROPIEDADES

El fluoruro de potasio es un sólido, que funde a - 859.9°C, cuando está anhidro y tiene punto de ebullición de 1505°C, su gravedad específica es 2.48, la sal es muy soluble en agua siendo su solubilidad de 92.3 g/100 g de agua a 18°C, la sal forma dos hidratos, la dihidratada: $\text{KF} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ que funde a 42°C y la tetrahidratada: $\text{KF} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ que funde a 19.3°C (13).

USOS

El Fluoruro de potasio anhidro es usado en síntesis orgánicas, en la fabricación de flúor gas, tanto la sal anhidra como el dihidrato son utilizados como fundentes en soldadura, se ha propuesto como un preservador de la madera para proteger a ésta de la acción destructora de los hongos así como bactericida en el tratamiento de aguas municipales, pero resultaría más costosa su aplicación en comparación con el costo del fluoruro de sodio (13,3).

TOXICIDAD

La ingestión de fluoruro de potasio en soluciones hasta de 1 p.p.m. es recomendada para la profilaxis de los dientes de los niños, pero a concentraciones mayores a ésta se tienen síntomas de fluorosis, si se ingieren soluciones al 2% destruyen las células superficiales de la mucosa (13).

La acción local del KF incluye gastroenteritis, vómito, diarrea, debilidad muscular, convulsiones, colapso por falla respiratoria y cardiovascular, la dosis mortal para el hombre es de 200 p.p.m. Los antidotos que pueden suministrarse en caso de ingestión o de contacto externo son los mismos que para el caso del fluoruro de sodio. Los síntomas externos son irritación de la piel, ojos y membranas mucosas (7).

REGIMENES ARANCELARIOS

Su importación requiere permiso de la Secretaría de Industria y Comercio, causando un impuesto del 3% sobre \$11.87 K.B., más \$0.05 por K.B. Ad Valorem (9).

ESPECIFICACIONES

Es un sólido blanco cristalino, con una concentración

de fluoruro de potasio del 98% mínimo y se fabrica - en grado reactivo analítico, con impurezas de materia soluble 0.030% máximo, álcali libre 0.30%, metales - pesados y otros 3.1% máximo, pérdidas por desecación a 150°C, 0.30% máximo sulfatos 0.05% máximo, ácido - libre (HF) 0.2% máx. (3)

DIOXIDO DE SILICIO

Este compuesto tiene la siguiente fórmula condensada: SiO_2 y peso molecular de 60.06. Es el compuesto más común de silicio y oxígeno, los dos elementos de mayor abundancia terrestre, ya que estos componen el - 60% en peso de la corteza terrestre, el consumo de - sílica gel se ha incrementado en una manera constante y uniforme y se produce actualmente en el país, pero en cantidades insuficientes. (3)

OBTENCION

De hecho las diferentes formas en las que se presenta la sílica, depende de la diferente forma en la - que se prepare, ya sea por precipitación, condensación o por neutralización. Hay dos métodos comerciales para la manufactura de sílica gel, estos son: - el de mesa compacta y el de suspensión.

El método de masa compacta consiste de los siguientes pasos:

- a) Un hidrosol de sílica es preparado, mezclando silicato de sodio con un ácido mineral fuerte.
- b) El hidrosol se deja que forme un gel compacta y la masa resultante: el hidrogel, se rompe mecánicamente; la concentración de sílica, la temperatura y el pH de neutralización pueden tener un efecto marcado en el tiempo de gelificación y en las propiedades del gel final como son: densidad, área de superficie y volumen de poro.

c) El hidrogel lavado se seca finalmente y se activa - por medio de calor, las propiedades finales del gel - pueden nuevamente ser alteradas por la velocidad del - secado, la forma de la sílica gel de este proceso, es un producto granular vidrioso. (8).

El proceso de suspensión consiste en mezclar silicato de sodio con un ácido a un pH y concentración de sílice tal que se llegue a formar un precipitado gelatinoso, el mezclado puede hacerse por un proceso batch o - un semicontinuo, este tipo de sílica gel es utilizada como base de catalizadores, el lavado puede hacerse - después de sacarse, y el secado se hace generalmente - por atomización.

PROPIEDADES.

La sílica gel es un sólido transparente, inodoro e insípido que puede estar como polvo fino amorfo o como cristal, la densidad del polvo es 2.2 g/ml y la del - cristal de 2.6 g/ml, es frío al tacto y en la variedad cristalina presenta el fenómeno de birrefringencia.

Es insoluble en agua y en los ácidos, sólo lo disuelve el ácido fluorhídrico el cual la disuelve rápidamente para formar el tetrafluoruro de silicio gaseoso.

Calentando con el magnesio ó el aluminio se descompone y deja en libertad al silicio. Sometido a temperaturas elevadas funde sin sufrir alteración. Por tener un coeficiente de dilatación prácticamente nulo se utiliza en la fabricación de aparatos de precisión y material de laboratorio de alto valor por su gran resistencia.

USOS

La adsorción es el uso primario para la sílica gel y depende de sus propiedades de superficie selectiva. - La sílica gel es usada para sacar aire y otros gases en sistemas en que son estáticos o dinámicos con res-

pecto al movimiento del gas y es usado para sacar - compuestos orgánicos en la fase líquida. Es usado también en la manufactura del vidrio, en cerámica, en refractarios para quitar color o absorber aceites, para la fabricación de aparatos de precisión y como agente laminante en plásticos (3)

TOXICIDAD

La toxicidad de la sílica gel depende de la inhalación de los polvos, ya que una inhalación prolongada de ellos puede producir silicosis, enfermedad de pronóstico delicado ya que este polvo puede causar lesiones de tipo fibrosos en los conductos pulmonares, cuyo carácter y grado, depende de la cantidad y tamaño de las partículas aspiradas (5).

REGIMENES ARANCELARIOS

Su importación requiere permiso de la Secretaría de Industria y Comercio, causa un impuesto del 25% sobre \$6.00 K.L. más \$0.05 Ad Valorem. No requiere permiso cuando el producto viene y es originario de los países miembros de la ALALC, causando un impuesto - del 8% sobre \$6.00 K.L. (9).

ESPECIFICACIONES

La especificación comercial para la sílica Q.P. es la siguiente: contenido de sílice 99.5% mínimo, óxido de fierro 0.035% máx., óxido de sodio, sólo trazas, óxido de calcio 0.03%, pérdida por ignición - 0.13% máx., con humedad máxima de 0.05%, esta especificación corresponde a la clave comercial SJ-20A y si se requieren polvos más finos tienen la clave SJ-FINOS, con una cantidad de sílice mínima de 99% y - sólo trazas de los óxidos metálicos con un tipo de - grano semiangular. Se surten de acuerdo a las nece-

sidades del cliente y se le controlan pureza, coeficiente de uniformidad y diámetro efectivo de acuerdo a un análisis granulométrico (3).

ESTUDIO DE MERCADO

- a) Demanda Histórica
- b) Principales Industrias Consumidoras
- c) Precios de las Materias Primas
- d) Precios de los Productos
- e) Proyección de la Demanda
 - I.- Modelo de recta de mínimos cuadrados.
 - II.- Modelo de Correlación para la recta de mínimos cuadrados.
 - III.- Modelo de Parábola de mínimos cuadrados
 - IV.- Modelo de correlación para la parábola de mínimos cuadrados.

A).- DEMANDA HISTORICA

La tabla I muestra la demanda de los productos en toneladas y en miles de pesos M. N., durante los últimos seis años (14)

TABLA I	<u>1969</u>	<u>1970</u>	<u>1971</u>	<u>1972</u>	<u>1973</u>	<u>1974</u>
<u>Criolita sintética 6 hexa-</u>						
<u>Fluoruro de sodio y aluminio.</u>						
Toneladas métricas	960.00	1080.24	980.00	1132.93	1415.14	1730.00
Miles de pesos, M. N.....	2236.80	2668.20	1244.00	1246.20	1740.62	2249.00
<u>Fluoruro de Sodio</u>						
Toneladas métricas	6.80	8.30	6.83	12.30	13.20	16.27
Miles de pesos, M. N.....	32.98	117.11	84.82	92.86	78.40	101.20
<u>Fluoruro de Potasio</u>						
Tonelada métricas	1.35	2.19	2.29	2.02	2.16	2.18
Miles de pesos, M. N.....	17.78	26.31	29.77	44.74	27.13	28.34
<u>Bifluoruro ácido de amonio</u>						
Toneladas métricas	20.83	38.00	46.11	38.63	47.00	49.10
Miles de pesos, M. N.....	107.70	211.40	264.00	236.60	323.63	350.70
<u>Dióxido de silicio</u>						
Toneladas métricas.....	43.10	74.15	86.20	111.37	100.35	108.80
Miles de pesos, M. N.....	777.50	1244.97	1424.02	1846.51	1639.72	1792.00

B).- PRINCIPALES INDUSTRIAS CONSUMIDORAS.

En la siguiente lista, se presentan las principales industrias consumidoras de los derivados fluorados, así como del dióxido de silicio en el país. En la columna de la derecha figura la cantidad en toneladas métricas correspondiente a 1974 (15)

<u>Hexafluoruro de Sodio y aluminio</u>	<u>CANTIDAD</u>
Aluminio, S.A. de C.V., Jalapa, Ver.	1330.00
<u>Fluoruro de Sodio</u>	
Cxymex, S.A. de C.V., México, D.F.	6.30
Aluminio, S.A. de C.V. Jalapa, Ver.	6.00
Rey Mol, S.A. de C.V., México, D. F.	0.80
Eutectic Mex, S.A. México, D. F.	0.50
<u>Fluoruro de potasio</u>	
Eutectic Mex., S.A. México, D.F.	1.25
Vidriera Monterrey, S.A. Monterrey, N.L.	0.82
<u>Bifluoruro ácido de amonio</u>	
Cía. de Vidrio Industrial, S.A. de C.V., Monterrey, N.L. .	38.60
Alquimia Mexicana S. de R.L., México, D. F.	3.10
Cía. Química Anglo-Mex, S.A. México, D.F.	6.80
<u>Dióxido de silicio</u>	
Guanos y fertilizantes de México, S.A. Edo. de Ver.	35.00
Petróleos Mexicanos, en dif., partes de la República	27.00
Cía. Hulera Euzkadi, S. A. México, D. F.	9.30
Fábrica de calzado Canadá, S.A., Guadalajara, Jal	11.20
Cía. Hulera Goodyear Oxo, S.A., México, D. F.	13.00

C) PRECIOS DE LAS MATERIAS PRIMAS

La tabla II muestra comparativamente los precios de las materias primas al mayoreo en el país, el precio oficial el cual ya tiene incluido la cuota Ad Valorem y el precio internacional publicado (9).

TABLA II

P R E C I O S

MATERIA PRIMA	EN EL PAIS	OFICIAL	MARKETING REPORT O. P. D. R.
CaF ₂	\$ 0.65 K.B.	\$ 0.66 K. B.	\$ 0.40 K. B.
Al(OH) ₃	5.65 K.L.	1.00 K. L.	1.15 K. L.
Na ₂ CO ₃	1.60 K.L.	0.86 K. L.	0.75 K. L.
NH ₃	5.20 K.L.	0.97 K. L.	2.90 K. L.
K ₂ CO ₃	7.80 K.L.	4.02 K. L.	5.50 K. L.
S	1.15 K.L.	8.80 K. L.	0.45 K. L.

D) PRECIOS DE LOS PRODUCTOS.

La tabla III muestra comparativamente los precios de los productos al mayoreo en el país, el precio oficial el cual ya tiene incluido la cuota Ad Valorem y el precio internacional publicado (9)

TABLA III

PRODUCTO	EN EL PAIS	OFICIAL	MARKETING REPORT O. P. D. R.
Na_3AlF_6	\$ 12.50 K.L.	\$ 1.49 K.L.	\$ 4.65 K. L.
NaF	14.15 K.L.	635.00 K.L.	4.65 K. L.
KF	156.00 K.L.	16.10 K.L.	19.60 K. L.
NH_4HF_2	18.35 K.L.	7.93 K.L.	4.90 K. L.
SiO_2	19.60 K.L.	19.55 K.L.	1.25 K. L.
A continuación se presentan los precios de los subproductos:			
CaSO_4	\$ 0.90 K.L.	1.32 K.B.	0.50 K. L.
CO_2	2.04 K.L.	25,30 K.L.	
HF	14.40 K.L.	2.86 K.B.	9.35 K. L.

E) PROYECCION DE LA DEMANDA

Para obtener el crecimiento en el consumo de los productos que aquí se estudian, se hace un análisis por medio de dos métodos estadísticos de proyección de la demanda en un intervalo de seis años.

Los modelos utilizados son el modelo de recta de mínimos cuadrados y el modelo de parábola de mínimos cuadrados.

Posteriormente se comprueban los modelos por medio del coeficiente de correlación y de acuerdo con los resultados que se obtengan, se escoge el modelo más apropiado para cada producto.

Modelo de Recta de Mínimos Cuadrados.

La recta de aproximación por mínimos cuadrados del conjunto de puntos $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n)$ tiene la ecuación:

$$Y_i = a + b X_i \quad \text{--- (III)}$$

Donde: Y_i = Toneladas brutas importadas anualmente.

X_i = Años estimados.

las constantes "a" y "b" se determinan mediante el sistema de ecuaciones: $\Sigma Y = aN + b \Sigma X$ --- (I)

$$\Sigma Y = a \Sigma X + b \Sigma X^2 \quad \text{--- (II)}$$

donde $N =$ número de años estimados

Modelo de parábola de mínimos cuadrados.

La parábola de aproximación de mínimos cuadrados a la serie de puntos $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots (X_n, Y_n)$, tiene la ecuación:

$$Y = a + bX + cX^2 \quad \dots \dots \dots \quad (IV)$$

donde las constantes a , b y c , se determinan resolviendo el sistema de ecuaciones:

$$\Sigma Y = aN + b\Sigma X + c\Sigma X^2 \quad \dots \dots \dots \quad (I)$$

$$\Sigma XY = a \Sigma X + b\Sigma X^2 + c\Sigma X^3 \quad \dots \dots \dots \quad (II)$$

$$\Sigma X^2 Y = a \Sigma X^2 + b\Sigma X^3 + c\Sigma X^4 \quad \dots \dots \dots \quad (III)$$

Estas son las ecuaciones normales para la parábola de mínimos cuadrados.

Las ecuaciones (I), (II) y (III) se recuerdan fácilmente observando que se pueden obtener formalmente multiplicando la ecuación (IV) por 1 , X y X^2 , respectivamente y sumando ambos miembros de las ecuaciones resultantes.

COMPROBACION DE LA CONFIABILIDAD DE METODO

Una vez hecha la proyección de la demanda, se procede a su verificación por medio del cálculo del coeficiente es el de medir el grado de agrupación que hay entre las dos variables que se están utilizando.:

Las toneladas brutas importadas y las calculadas

Si el valor de este coeficiente es cercano a la unidad, ésto nos indica que la proyección de la demanda es entonces confiable, por otro lado, si su valor es cercano a cero, su veracidad estará en duda.

Este coeficiente se define como:

$$r = \frac{(Y_{est.} - \bar{Y})^2}{(Y_{real} - Y)^2}$$

Donde: r = Coeficientd de correlación.

\bar{Y} = Es la media de las Y Toneladas importadas.

Yest. = Toneladas importadas calculadas

Yreal = Toneladas importadas reales



MODELO DE RECTA DE MINIMOS CUADRADOS PARA HEXA -
FLUORURO DE SOBIO Y ALUMINIO.

X	Y	X ²	XY
-2	960.00	4	-1920.00
-1	1080.24	1	-1080.24
0	980.00	0	0.00
1	1132.93	1	1132.93
2	1415.14	4	2830.28
3	1730.00	9	5190.00
3	7298.31	19	6152.97

Sustituyendo estos valores en las ecuaciones (I) y(II)
se tiene.

$$7298.31 = 6a + 3b \quad \dots (I)'$$

$$6152.97 = 3a + 19b \quad \dots(II)'$$

Multiplicando (II)' por (-2), se tiene

$$-12305.94 = -6a -38b \quad \dots(II)''$$

Sumando (I)' con (II)'' resulta:

$$-5007.63 = -35b \quad \dots(i)$$

Por tanto: $b = 143$ \downarrow $\dots(i)'$

Sustituyendo el valor de b en la ecuación (I)' se tiene
que:

$$a = 1144.88$$

Sustituyendo los valores de a y b en la ecuación (III)
se tiene:

$$Y = 1144.88 + 143X_i \quad \dots(III)'$$

Dando valores a "X" y aplicando la ecuación anterior se tiene:

"Y" 1969 =	858.88	"Y" 1975 =	1716.88
"Y" 1970 =	1001.88	"Y" 1976 =	1859.88
"Y" 1971 =	1144.88	"Y" 1977 =	2002.88
"Y" 1972 =	1287.88	"Y" 1978 =	2145.88
"Y" 1973 =	1430.88	"Y" 1979 =	2288.88
"Y" 1974 =	1573.88	"Y" 1980 =	2431.88

COEFICIENTE DE CORRELACION PARA EL HEXAFLUORURO
DE SODIO Y ALUMINIO

La "y" media es: $\bar{Y} = \frac{7298.31}{6} = 1216.38$

$(Y_{est.} - \bar{Y})^2$	$(Y_{real} - \bar{Y})^2$
127806.25	65730.70
46010.25	18534.10
5112.25	55875.50
5112.25	6963.90
46010.25	39505.53
127806.25	263805.50
<hr/>	<hr/>
=357857.50	=450415.23
Σ total	Σ total

Como:

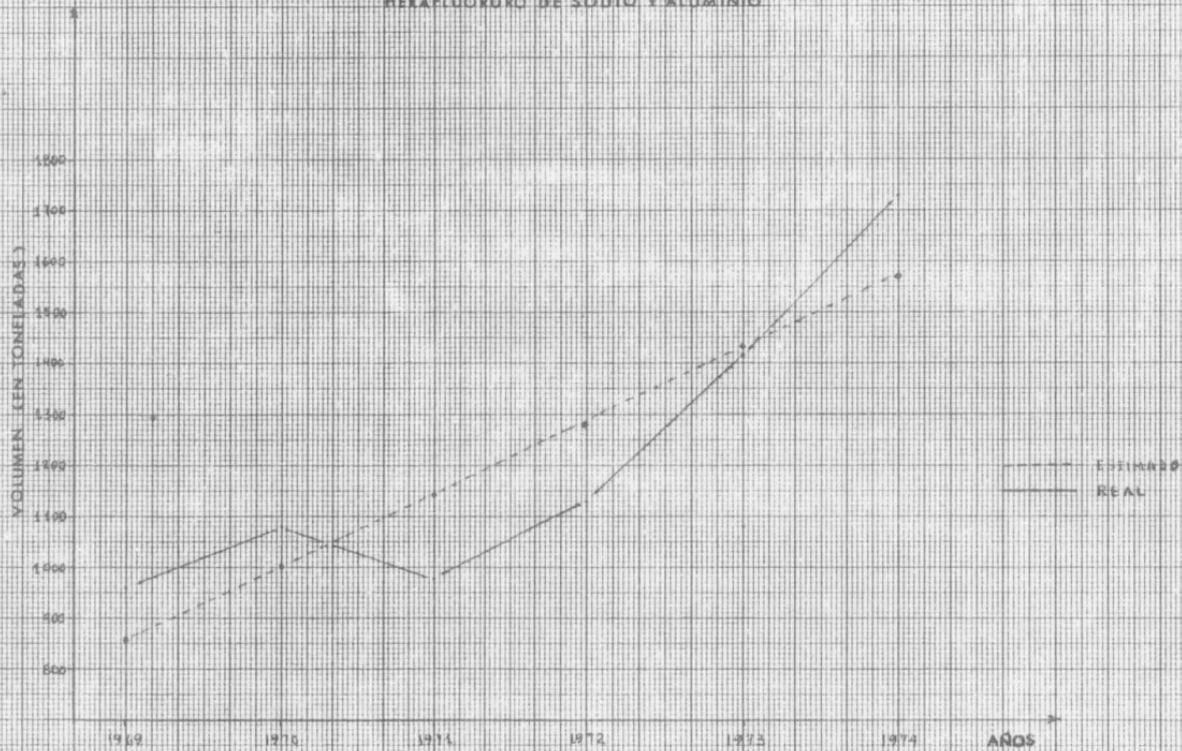
$$r = \sqrt{\frac{(Y_{est.} - \bar{Y})^2}{(Y_{real} - \bar{Y})^2}}$$

Sustituyendo valores se tiene que:

$$r = \sqrt{\frac{357857.50}{450415.23}}$$

$$r = 0.89$$

RECTA PARA HEXAFLUORURO DE SODIO Y ALUMINIO



MODELO DE PARABOLA DE MINIMOS CUADRADOS PARA HEXAFLUORURO DE SODIO
Y ALUMINIO

X	Y	X ²	XY	X ³	X ⁴	X ² Y
-2	960.00	4	-1920.00	-8	16	3840.00
-1	1080.24	1	-1080.24	-1	1	1080.24
0	980.00	0	0.00	0	0	0.00
1	1132.93	1	1132.93	1	1	1132.93
2	1415.14	4	2830.28	8	16	5660.56
3	1730.00	9	5190.00	27	81	15570.00
3	7298.31	19	6152.97	27	115	27283.73

Sustituyendo los resultados obtenidos en las ecuaciones (I), (II). -
y (III)

$$7298.31 = 6a + 3b + 19c \quad \dots(I)'$$

$$6152.97 = 3a + 19b + 27c \quad \dots(II)'$$

$$27283.73 = 19a + 27b + 115c \quad \dots(III)'$$

Multiplicando (II)' por (-2) se tiene:

$$-12305.94 = -6a - 38b - 54c \quad \dots(II)''$$

Sumando (I)' y (II)'' se tiene

$$-5007.63 = -35b - 35c \quad \dots(i) i$$

Despejando "b" de la ecuación anterior:

$$b = \frac{5007.63 - 35c}{35} \quad \dots(i)$$

Si la ecuación (II)' se multiplica por (-6.33) se tiene :

$$-38948.30 = -19a - 120.27b - 170.91c \quad \dots(II)'''$$

Sumando (II)''' con (III)' se tiene:

$$-11664.57 = -93.27b - 55.91c \quad \dots(ii)$$

Despejando "C" de esta ecuación : $C = \frac{11664.57 - 93.27b}{55.91}$..(ii)'

Sustituyendo (i)' en (ii)' se obtiene el valor de "C" : $C = 44.92$
 ahora, sustituyendo el valor de "C" en (i) se obtiene que :

$$b = 98.13$$

Sustituyendo los valores de "b" y "c" en la ecuación (I)' :

$$a = 1025.00$$

Si la ecuación de la parábola es : $Y = a + bx + cx^2$:

Sustituye el valor de las constantes se tiene :

$$Y = 1025 + 98.13X + 44.92X^2 \quad \dots(iii)$$

Dando valores a "X" y aplicando la ecuación (iii) se tiene :

$$"Y" \ 1969 = 1008.42$$

$$"Y" \ 1975 = 2136.24$$

$$"Y" \ 1970 = 971.79$$

$$"Y" \ 1976 = 2638.65$$

$$"Y" \ 1971 = 1025.00$$

$$"Y" \ 1977 = 3230.90$$

$$"Y" \ 1972 = 1168.00$$

$$"Y" \ 1978 = 3913.00$$

$$"Y" \ 1973 = 1400.94$$

$$"Y" \ 1979 = 4684.92$$

$$"Y" \ 1974 = 1723.67$$

$$"Y" \ 1980 = 5546.70$$

COEFICIENTE DE CORRELACION PARA EL HEXAFLUORURO DE SODIO Y ALUMINIO.

$$\bar{Y} = \frac{7298.31}{6} = 1216.38$$

$(Y - \bar{Y})^2$	$(\text{Yest.} - \bar{Y})^2$
65730.70	127720.50
18534.00	45958.80
55875.50	5095.10
6963.90	5129.40
39505.50	46061.70
263805.50	127892.--
$\Sigma_{\text{total}} = 450415.10$	$\Sigma_{\text{total}} = 357857.50$

Como:

$$r = \sqrt{\frac{(\text{Yest.} - \bar{Y})^2}{(Y - \bar{Y})^2}}$$

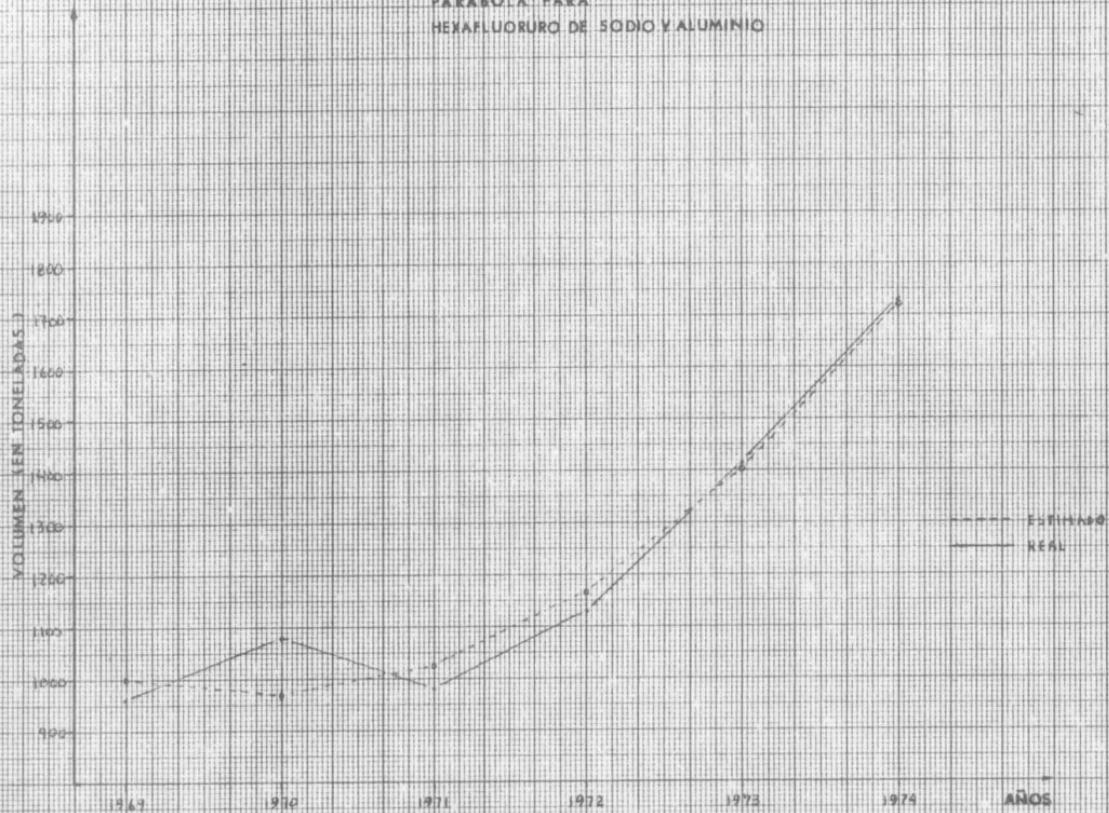
Sustituyendo valores se tiene:

$$r = \sqrt{\frac{357057.50}{450415.10}}$$

$$r = 0.89$$

Esta resultado indica que el cálculo de la proyección de la demanda es confiable, utilizando el modelo de mínimos cuadrados.

PARABOLA PARA
HEXAFLUORURO DE SODIO Y ALUMINIO



MODELO DE RECTA DE MINIMOS CUADRADOS PARA FLUORURO
DE SODIO

<u>X</u>	<u>X (TON)</u>	<u>X²</u>	<u>XY</u>
-2	6.80	4	-13.60
-1	8.30	1	- 8.30
0	6.83	0	0.00
1	12.30	1	12.30
2	13.20	4	26.40
3	16.27	9	48.81
<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>
3	63.70	19	65.61

Sustituyendo los resultados obtenidos en las ecuaciones (I) y (II);

$$63.70 = 6a + 3b \quad \dots (I)'$$

$$65.61 = 3a + 19b \quad \dots (II)'$$

Multiplicando (II)' por (-2) se tiene:

$$-131.22 = -6a - 38b \quad \dots (II)''$$

Sumando (I)' con (II)'' resulta que:

$$-67.52 = -35b \quad \dots (i)$$

$$\text{Por lo tanto: } b = 1.92 \quad \dots (i)'$$

Sustituyendo el valor de b en la ecuación (I)':

$$a = 9.66$$

Sustituyendo los valores de "a" y "b" en la ecuación (III) se tiene:

$$Y = 9.66 + 1.92 X \quad \dots (III)'$$

Dando valores a "X" y aplicando la ecuación (III)',
se tiene:

"Y" 1969 = 5.82	"Y" 1975 = 17.34
"Y" 1970 = 7.74	"Y" 1976 = 19.26
"Y" 1971 = 9.66	"Y" 1977 = 21.18
"Y" 1972 = 11.58	"Y" 1978 = 23.10
"Y" 1973 = 13.50	"Y" 1979 = 25.02
"Y" 1974 = 15.42	"Y" 1980 = 26.94

COEFICIENTE DE CORRELACION PARA FLUORURO DE SODIO

La "Y" media es: $\bar{Y} = \frac{63.70}{6} = 10.61$

$(\text{Yest.} - \bar{Y})^2$	$(\text{Y real} - \bar{Y})^2$
22.944	14.516
8.236	5.336
0.902	14.288
0.940	2.856
8.352	6.708
<u>23.136</u>	<u>32.035</u>

Σ total = 64.510

Σ total=75.739

Como:

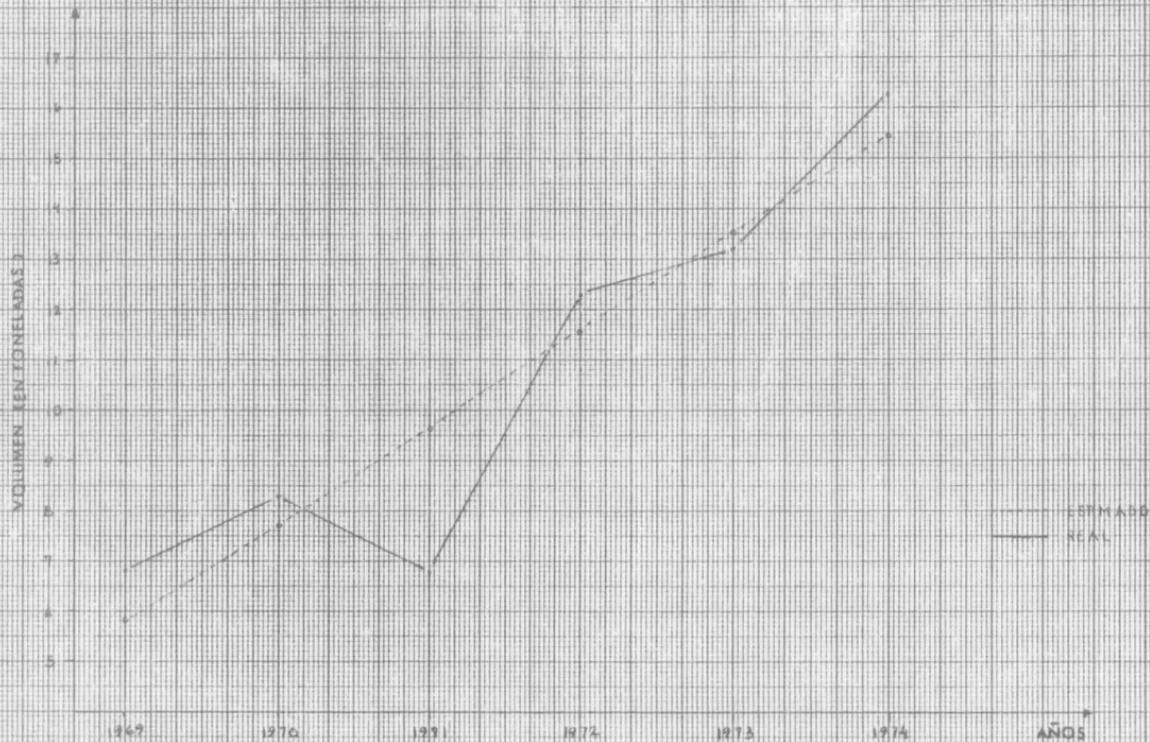
$$r = \frac{(\text{Yest.} - \bar{Y})^2}{(\text{Y real} - \bar{Y})^2}$$

Sustituyendo los valores se tiene que:

$$r = \frac{64.51}{75.739}$$

$r = 0.92$

RECTA PARA
FLUORURO DE SODIO



MODELO DE PARABOLA DE MINIMOS CUADRADOS PARA FLUORURO
DE SODIO

<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>X²</u>	<u>XY</u>	<u>X³</u>	<u>X⁴</u>	<u>X²Y</u>
-2	6.80	4	-13.60	-8	16	27.20
-1	8.30	1	- 8.30	-1	1	8.30
0	6.83	0	0.00	0	0	0.00
1	12.30	1	12.30	1	1	12.30
2	13.20	4	26.40	8	16	52.80
3	16.27	9	48.81	27	81	146.43
3	63.70	19	65.61	27	115	247.00

Sustituyendo los resultados obtenidos en las ecuaciones (I), (II) y (III):

$$63.70 = 6a + 3b + 19c \quad \dots (I)'$$

$$65.61 = 3a + 19b + 27c \quad \dots (II)'$$

$$247.00 = 19a + 27b + 115c \quad \dots (III)'$$

Multiplicando (II)' por (-2) se tiene:

$$-131.22 = -6a -38b -54c \quad \dots (II)''$$

Sumando (I)' y (II)'' se tiene:

$$-67.52 = -35b -35c \quad \dots (I)$$

Despejando "b" de la ecuación anterior:

$$b = \frac{67.52 - 35c}{35} \quad \dots (I)'$$

Si la ecuación (II)' se multiplica por (-6.33) se tiene:

$$-415.31 = -19a -120.27b - 170.91c \quad \dots (II)'''$$

Sumando (II)''' con (III)' se tiene:

$$-168.31 = -93.27b - 55.91c \quad \dots (ii)$$

Despejando "c" de esta ecuación:

$$c = \frac{168.31 - 93.27b}{55.91} \quad \dots (ii)'$$

Sustituyendo (i)' en (ii)' se obtiene el valor de "C"

$$C = 0.32$$

Ahora sustituyendo el valor de "C" en (i) se obtiene que:

$$b = 1.61$$

Sustituyendo los valores de "b" y "c" en la ecuación (I); se obtiene que:

$$a = 8.79$$

Si la ecuación de la parábola es:

$$Y = a + bx + cx^2$$

Sustituyendo el valor de las constantes se tiene:

$$Y = 8.79 + 1.61x = 0.32x^2 \quad \dots (iii)$$

Dando valores a "x" y aplicando la ecuación (iii), se tiene:

"Y" 1969 = 6.85	"Y" 1975 = 20.33
"Y" 1970 = 7.50	"Y" 1976 = 24.84
"Y" 1971 = 8.79	"Y" 1977 = 29.97
"Y" 1972 = 10.72	"Y" 1978 = 35.74
"Y" 1973 = 13.29	"Y" 1979 = 42.12
"Y" 1974 = 16.50	"Y" 1980 = 49.20

COEFICIENTE DE CORRELACION PARA EL FLUORURO DE
SODIO

La "Y" media es: $\bar{Y} = \frac{63.70}{6} = 10.61$

$(Y_{est.} - \bar{Y})^2$	$(Y_{real} - \bar{Y})^2$
14.137	14.516
9.672	5.336
3.312	14.288
0.012	2.856
7.182	6.708
<u>34.692</u>	<u>32.035</u>
Σ total = 69.007	Σ total = 75.739

Como:

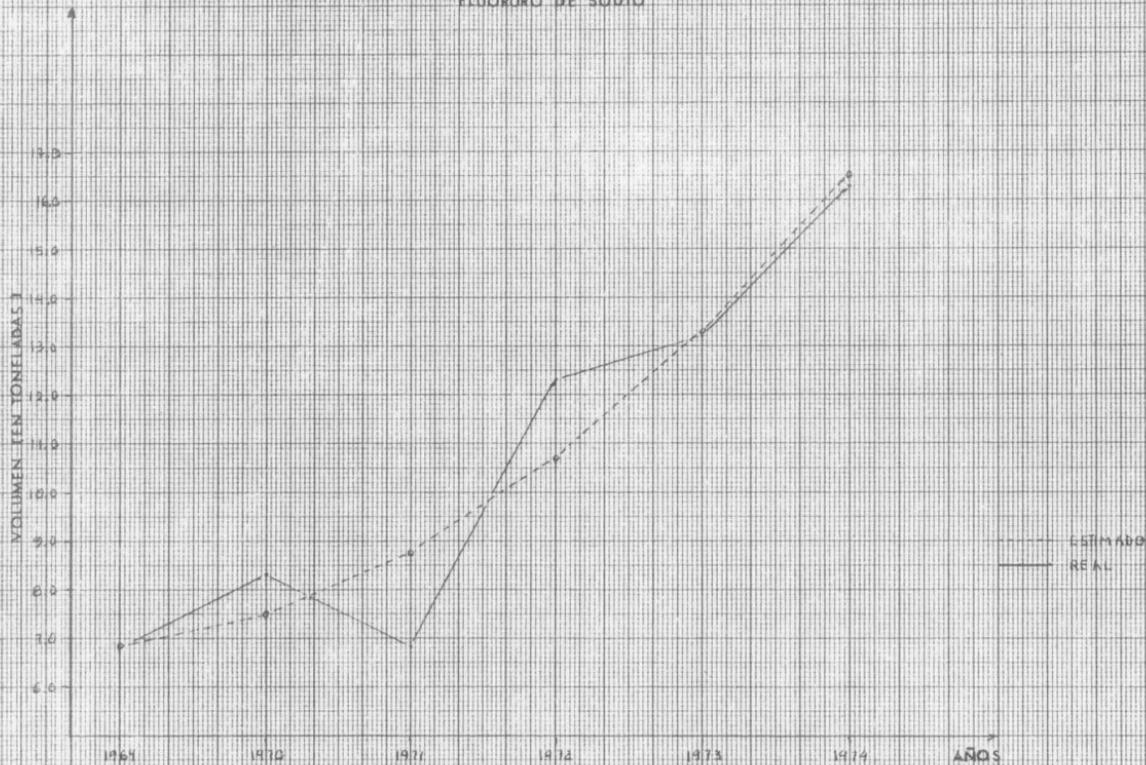
$$r = \sqrt{\frac{(Y_{est.} - \bar{Y})^2}{(Y_{real} - \bar{Y})^2}}$$

Sustituyendo valores se tiene que:

$$r = \sqrt{\frac{69.007}{75.739}}$$

$$r = 0.95$$

PARABOLA PARA
FLUORURO DE SODIO



MODELO DE RECTA DE MINIMOS CUADRADOS PARA FLUORURO
DE POTASIO

<u>X</u>	<u>Y (TON)</u>	<u>X²</u>	<u>XY</u>
-2	1.357	4	-2.714
-1	2.191	1	-2.191
0	2.291	0	0.00
1	2.020	1	2.020
2	2.162	4	4.324
3	2.180	9	6.540
<u>3</u>	<u>12.201</u>	<u>19</u>	<u>7.979</u>

Sustituyendo los valores en las ecuaciones (I) y (II) se tiene:

$$12.201 = 6a + 3b \quad \dots (I)'$$

$$7.979 = 3a + 19b \quad \dots (II)'$$

Multiplicando (II) por (-2), se tiene:

$$-15.96 = 6a - 38b \quad \dots (II)''$$

Sumando (I)' con (II)'' resulta:

$$-3.76 = -35b \quad \dots (i)$$

$$\text{Por lo tanto: } b = 0.10 \quad \dots (i)'$$

Sustituyendo el valor de 'b' en la ecuación (I)' se tiene que:

$$a = 1.98$$

Sustituyendo los valores de a y b en la ecuación (III) - se tiene:

$$Y = 1.98 + 0.10 X \quad \dots (III)'$$

Dando valores a "X" y aplicando la ecuación anterior,
se tiene:

$$"Y" 1969 = 1.78$$

$$"Y" 1970 = 1.88$$

$$"Y" 1971 = 1.98$$

$$"Y" 1972 = 2.08$$

$$"Y" 1973 = 2.18$$

$$"Y" 1974 = 2.28$$

$$"Y" 1975 = 2.38$$

$$"Y" 1976 = 2.48$$

$$"Y" 1977 = 2.58$$

$$"Y" 1978 = 2.68$$

$$"Y" 1979 = 2.78$$

$$"Y" 1980 = 2.88$$

COEFICIENTE DE CORRELACION PARA FLUORURO DE POTASIO.

La "y" media es: $\bar{Y} = \frac{12.201}{6} = 2.03$

$(Y_{est.} - \bar{Y})^2$	$(Y_{real} - \bar{Y})^2$
0.062	0.453
0.022	0.026
0.002	0.068
0.002	0.000
0.022	0.017
0.062	0.022

Σ total=0.172

Σ total=0.586

Como:

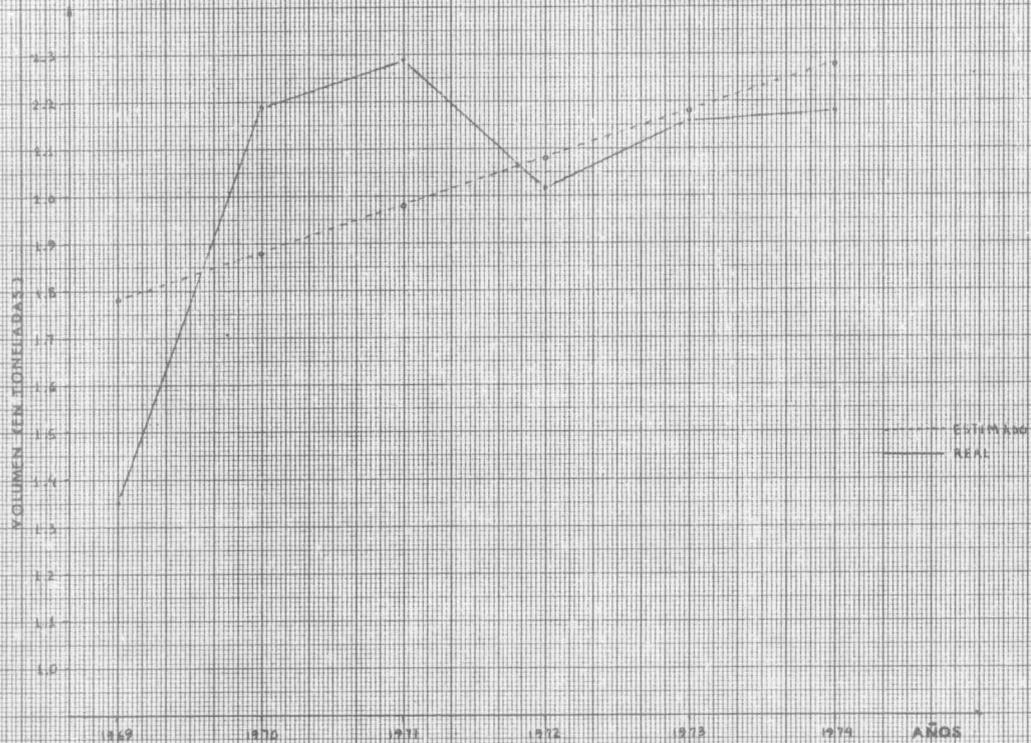
$$r = \sqrt{\frac{(Y_{est.} - \bar{Y})^2}{(Y_{real} - \bar{Y})^2}}$$

Sustituyendo valores se tiene que:

$$r = \sqrt{\frac{0.172}{0.586}}$$

$$r = 0.54$$

RECTA PARA
FLUORURO DE POTASIO



MODELO DE PARABOLA DE MINIMOS CUADRADOS PARA FLUORURO DE POTASIO

X	Y	X ²	XY	X ³	X ⁴	X ² Y
- 2	1.357	4	- 2.714	-8	16	5.428
- 1	2.191	1	- 2.191	-1	1	2,191
0	2,291	0	0.0	0	0	0.00
1	2,020	1	2,020	1	1	2,020
2	2,162	4	4,324	8	16	8,648
3	2,180	9	6,540	27	81	37.907
3	12,201	19	7,979	27	115	37.907

Sustituyendo en las ecuaciones (I), (II) y (III) los valores -
obtenidos, se tiene:

$$\begin{array}{rcll}
 12.201 & = & 6a + 3b + 19c & \dots(I)' \\
 7.979 & = & 3a + 19b + 27c & \dots(II)' \\
 37.907 & = & 19a + 27b + 115c & \dots(III)'
 \end{array}$$

Multiplicando la ecuación (II)' por (-2) se tiene que :

$$-15.958 = -6a - 38b - 54c \quad \dots(II)''$$

Sumando la ecuación (I) y (II) se tiene :

$$-3.757 = -35b - 35c \quad \dots(I)$$

Despejando (b) de la ecuación anterior :

$$b = \frac{3.757 - 35c}{35} \quad \dots(i)$$

Ahora si se multiplica la ecuación (II)'' por (-6.33) se tiene

$$-50.50 = -19a - 120.27c - 170.91c \quad \dots(II)'''$$

Sumando las ecuaciones (II)''' y (III)'' :

$$-12.60 = 93.27c - 55.91c \quad \dots(II)$$

Despejando C de la ecuación anterior se tiene:

$$C = \frac{12.6 - 93.27b}{55.91} \quad \dots(ii)'$$

Sustituyendo (i)' en (ii)' se tiene que :

$$b = 0.09$$

Sustituyendo b en la ecuación (ii)' se tiene que :

$$C = 0.027$$

Sustituyendo b y c en (I)' se tiene que :

$$a = \frac{12.201 - 3(-.002) - 19(.22)}{6} \quad \dots(iii)$$

Si la ecuación de mínimos cuadrados es :

$$Y = a + bx + cx^2$$

Sustituyendo los valores de las constantes a, b y c, se tiene:

$$Y = 1.9 + 0.09x + 0.017x^2 \quad \dots(A)$$

Dandole valores a x , y aplicando la ecuación (A) se tiene:

"Y" 1969 = 1.78	"Y" 1975 = 2.53
"Y" 1970 = 1.79	"Y" 1976 = 2.77
"Y" 1971 = 1.90	"Y" 1977 = 3.05
"Y" 1972 = 2.00	"Y" 1978 = 3.3
"Y" 1973 = 2.14	"Y" 1979 = 3.7
"Y" 1974 = 2.32	"Y" 1980 = 4.08

COEFICIENTE DE CORRELACION PARA EL FLOTOR DE POTASIO

La "Y" media es: $\bar{Y} = \frac{12.201}{6} = 2.03$

$(Y_{\text{est.}} - \bar{Y})^2$	$(Y_{\text{real}} - \bar{Y})^2$
0.025	0.453
0.1024	0.025
0.0169	0.068
0.0009	0.000
0.0121	0.017
0.0841	0.022
<hr/>	<hr/>
= 0.2789	= 0.586
Total	Total

Como:

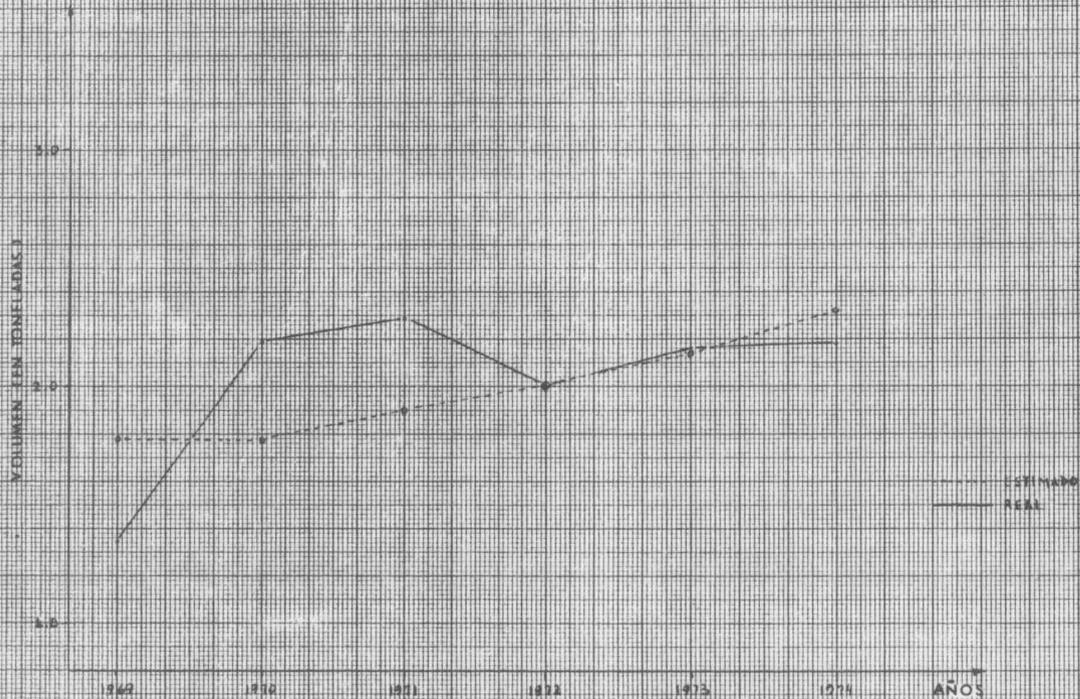
$$r = \frac{\sqrt{(Y_{\text{est.}} - \bar{Y})^2}}{\sqrt{(Y_{\text{real}} - \bar{Y})^2}}$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$r = \frac{\sqrt{0.2789}}{\sqrt{0.586}}$$

$$r = 0.69$$

PARASOLA PARA
FLUORURO DE POTASIO



220 x 280 mm



MODELO DE RECTA DE MINIMOS CUADRADOS PARA BIFLUORURO
ACIDO DE AMONIO

<u>X</u>	<u>Y (TON)</u>	<u>X²</u>	<u>XY</u>
-2	20.83	4	-41.66
-1	38.00	1	-38.00
0	46.11	0	0.00
1	38.63	1	38.63
2	47.00	4	94.00
3	49.10	9	147.30
3	239.67	19	200.27

Sustituyendo los resultados obtenidos en las ecuaciones (I) y (II):

$$239.67 = 6a + 3b \quad \dots (I)'$$

$$200.27 = 3a + 19b \quad \dots (II)'$$

Multiplicando (II)' por (-2) se tiene:

$$-400.54 = -6a - 38b \quad \dots (II)''$$

Sumando (I)' con (II)'' resulta:

$$-160.87 = -35b \quad \dots (I)$$

$$\text{por tanto } b = 4.6 \quad \dots (I)'$$

Sustituyendo el valor de b en la ecuación (I)' se tiene que:

$$a = 37.64 \quad \dots (I)''$$

Sustituyendo los valores de a y b en la ecuación (III) se tiene que:

$$Y = 37.64 + 4.6X \quad \dots (III)'$$

Dando valores a "X" y aplicando la ecuación (III)',
se tiene que:

$$"Y" 1969 = 28.44 \quad "Y" 1975 = 56.04$$

$$"Y" 1970 = 33.04 \quad "Y" 1976 = 60.64$$

$$"Y" 1971 = 37.64 \quad "Y" 1977 = 65.24$$

$$"Y" 1972 = 42.24 \quad "Y" 1978 = 69.84$$

$$"Y" 1973 = 46.84 \quad "Y" 1979 = 74.44$$

$$"Y" 1974 = 51.44 \quad "Y" 1980 = 79.04$$

COEFICIENTE DE CORRELACION PARA BIFLUORURO ACIDO DE
A M O N I O

La "Y" media es: $\bar{Y} = \frac{239.67}{6} = 39.94$

$(Y_{\text{est.}} - \bar{Y})^2$	$(Y_{\text{real}} - \bar{Y})^2$
132.25	365.19
47.61	3.76
5.29	38.06
5.29	1.71
47.61	49.84
132.25	83.90
<hr/>	<hr/>
=370.30	=542.46

Σ total

Σ total

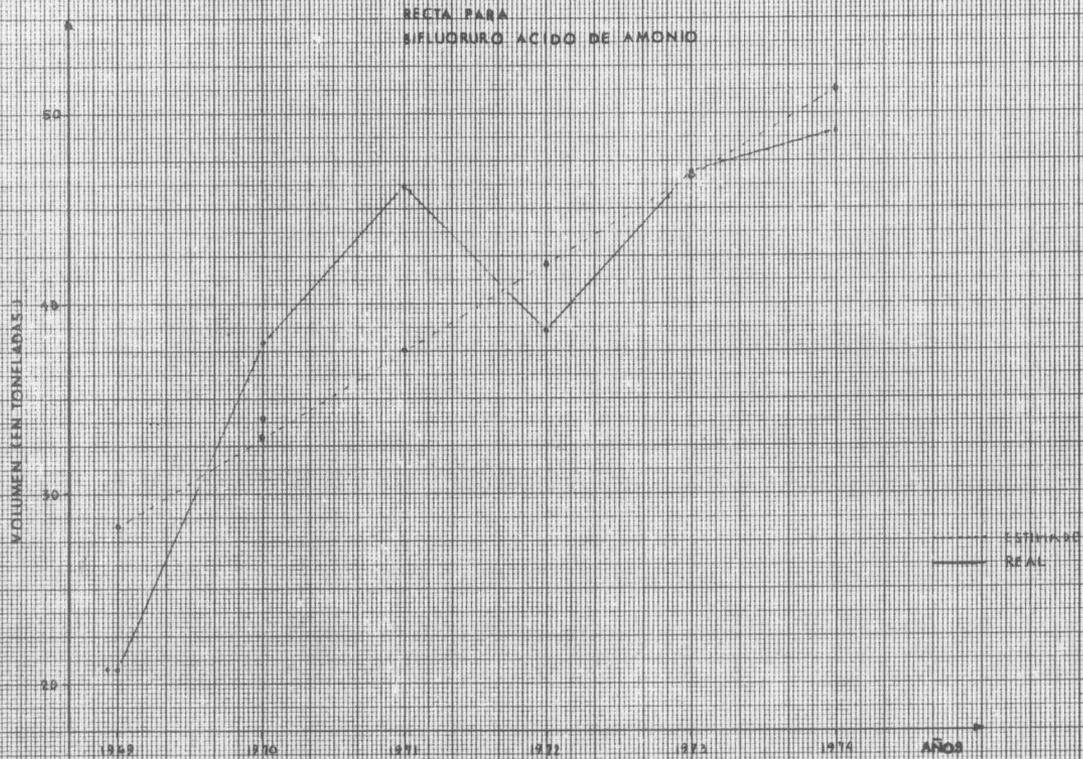
COMO:

$$r = \sqrt{\frac{(Y_{\text{est}} - \bar{Y})^2}{(Y_{\text{real}} - \bar{Y})^2}}$$

Sustituyendo valores se tiene que:

$$r = \sqrt{\frac{370.30}{542.46}}$$

$$r = 0.83$$



MODELO DE PARABOLA DE MINIMOS CUADRADOS PARA BIFLUORURO
ACIDO DE AMONIO

<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>X²</u>	<u>XY</u>	<u>X³</u>	<u>X⁴</u>	<u>X²Y</u>
-2	20.83	4	-41.66	-8	16	83.32
-1	38.00	1	-38.00	-1	1	38.00
0	46.11	0	0.00	0	0	0.00
1	38.63	1	38.63	1	1	38.63
2	47.00	4	94.00	8	16	188.50
3	<u>49.10</u>	<u>9</u>	<u>147.30</u>	<u>27</u>	<u>81</u>	<u>441.90</u>
	239.67	19	200.27	27	115	789.85

Sustituyendo en las ecuaciones (I), (II) y (III) los valores obtenidos se tiene:

$$239.67 = 6a + 3b + 19c \quad \dots (I)'$$

$$200.27 = 3a + 19b + 27c \quad \dots (II)'$$

$$789.85 = 19a + 27b + 115c \quad \dots (III)'$$

Multiplicando (II)', por (-2) se tiene:

$$400.54 = 6a - 38b - 54c \quad \dots (II)''$$

Sumando (I)' con (II)'', se obtiene que:

$$-160.87 = -35b - 35c \quad \dots (i)$$

Despejando "b" tenemos:

$$b = \frac{160.87 - 35c}{35} \quad \dots (i)'$$

Multiplicando (II)', por (-6.33) se tiene:

$$-1267.71 = 19a - 120.27b - 170.91c \quad \dots (II)'''$$

Sumando (II)''', con (III)', se obtiene:

$$-477.86 = -93.27b - 55.91c \quad \dots (ii)$$

Despejando "c" se obtiene:

$$c = \frac{477.86 - 93.27b}{55.91} \quad \dots (ii)'$$

Sustituyendo (i)' en (ii)' se obtiene el valor de "c",
siendo:

$$c = -1.36$$

Ahora, sustituyendo el valor de "c" en (i)' se obtiene
que:

$$b = 5.94$$

Sustituyendo los valores de "b" y "c" en la ecuación (I)'
se tiene que:

$$a = 41.37$$

Como la ecuación de la parábola es:

$$Y = a + bx + cx^2$$

Sustituyendo el valor de las constantes a, b y c, se tiene
ne:

$$Y = 41.37 + 5.94x - 1.36x^2$$

Dando valores a "x" y aplicando la ecuación (iii) se -
tiene:

$$"Y" 1969 = 26.77$$

$$"Y" 1975 = 43.93$$

$$"Y" 1970 = 34.07$$

$$"Y" 1976 = 37.07$$

$$"Y" 1971 = 41.37$$

$$"Y" 1977 = 28.05$$

$$"Y" 1972 = 45.95$$

$$"Y" 1978 = 16.31$$

$$"Y" 1973 = 47.81$$

$$"Y" 1979 = 1.85$$

$$"Y" 1974 = 46.95$$

$$"Y" 1980 = -15.33$$

COEFICIENTE DE CORRELACION PARA BIFLUORURO
ACIDO DE AMONIO.

La "y" media es: $\bar{Y} = \frac{239.67}{6} = 39.94$

$(Y_{est.} - \bar{Y})^2$	$(Y_{real} - \bar{Y})^2$
173.449	365.192
34.457	3.763
2.045	38.069
36.120	1.716
61.937	49.843
49.140	33.905

Total = 357.148

total=542.488

Como:

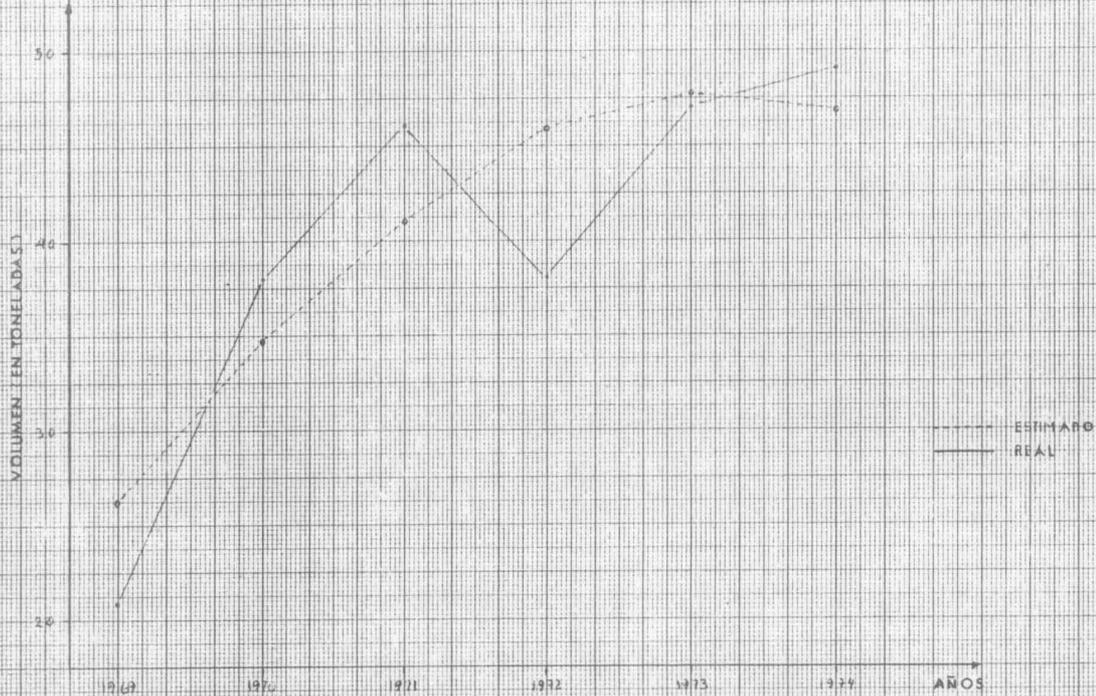
$$r = \sqrt{\frac{(Y_{est.} - \bar{Y})^2}{(Y_{real} - \bar{Y})^2}}$$

Sustituyendo valores se tiene que:

$$r = \sqrt{\frac{357.148}{542.488}}$$

$$r = 0.81$$

PARABOLA PARA
BIFLUORURO ACIDO DE AMONIO



MODELO DE RECTA DE MINIMOS CUADRADOS PARA DIOXIDO DE
SILICIO.

<u>X</u>	<u>Y (TON)</u>	<u>X²</u>	<u>XY</u>
-2	43.10	4	- 86.20
-1	74.15	1	- 74.15
0	86.20	0	110.07
1	111.27	1	111.27
2	100.35	4	200.70
3	108.80	9	326.40
<u>3</u>	<u>523.97</u>	<u>19</u>	<u>478.02</u>

Sustituyendo los resultados obtenidos en las ecuaciones (I)
y (II):

$$523.97 = 6a + 3b \quad \dots (I)'$$

$$478.02 = 3a + 19b \quad \dots (II)'$$

Multiplicando (II)' por (-2) se tiene:

$$-956.04 = 6a - 38b \quad \dots (II)''$$

Sumando (I)' con (II)'' resulta:

$$-432.07 = -35b \quad \dots (i)$$

$$\text{Por lo tanto: } b = 12.35 \quad \dots (i)'$$

Sustituyendo el valor de b en la ecuación (I)' se tiene que:

$$a = 81.15$$

Sustituyendo los valores de a y b en la ecuación (III) se
tiene:

$$Y = 81.15 + 12.35 X \quad \dots (III)'$$

DANDO VALORES A "X" Y APLICANDO LA ECUACION (III)',
SE TIENE

"Y" 1969 = 56.45	"Y" 1975 = 130.55
"Y" 1970 = 68.80	"Y" 1976 = 142.90
"Y" 1971 = 81.15	"Y" 1977 = 155.25
"Y" 1972 = 93.50	"Y" 1978 = 167.00
"Y" 1973 = 105.85	"Y" 1979 = 179.95
"Y" 1974 = 118.20	"Y" 1980 = 192.30

COEFICIENTE DE CORRELACION PARA DIOXIDO DE
SILICIO

La "y" media es: $\bar{Y} = \frac{523.97}{6} = 98.32$

$(Y_{est.} - \bar{Y})^2$	$(Y_{real} - \bar{Y})^2$
952.95	1955.40
342.99	173.44
38.06	1.25
38.19	573.60
343.36	169.78
953.57	461.39
Σ total=2669.12	Σ total= 3334.86

Como:

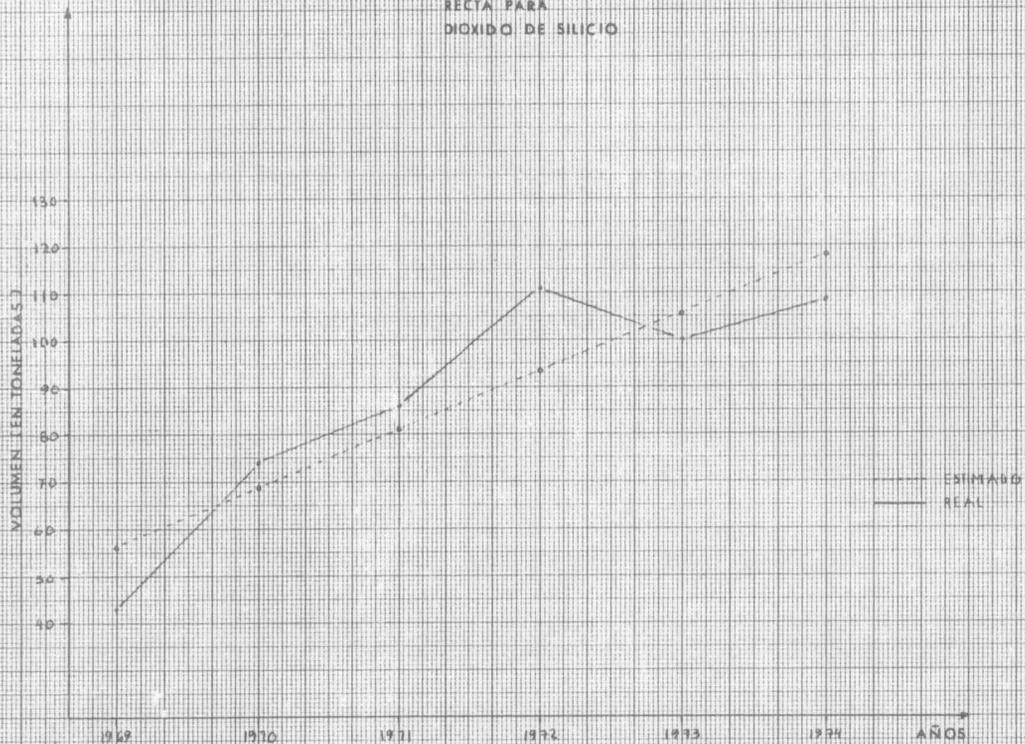
$$r = \sqrt{\frac{(Y_{est.} - \bar{Y})^2}{(Y_{real} - \bar{Y})^2}}$$

Sustituyendo valores se tiene que:

$$r = \sqrt{\frac{266.12}{3334.86}}$$

$$r = 0.90$$

RECTA PARA
DIOXIDO DE SILICIO



MODELO DE PARABOLA DE MINIMOS CUADRADOS PARA DIOXIDO
DE SILICIO

X	Y	X ²	XY	X ³	X ⁴	X ² Y
-2	43.10	4	-86.20	-8	16	172.40
-1	74.15	1	-74.15	-1	1	74.15
0	86.20	0	0.00	0	0	0.00
1	111.27	1	111.27	1	1	111.27
2	100.35	4	200.70	8	16	401.40
3	108.80	9	326.40	27	81	979.20
3	523.97	19	478.02	27	115.	1738.42

Sustituyendo los resultados obtenidos en las ecuaciones (I),

(II) y (III):

$$523.97 = 6a + 3b + 19c \quad \dots (I)'$$

$$478.02 = 3a + 19b + 27c \quad \dots (II)'$$

$$1738.42 = 19a + 27b + 115c \quad \dots (III)'$$

Multiplicando a (II)' por (-2) : $956.04 = -6a -38b -54c$

... (II)''

Sumando (I)' con (II)'', se obtiene que:

$$-432.07 = 35b -35c \quad \dots (i)$$

Despejando "b" : $b = \frac{432.07 - 35c}{35}$

... (i)'

Multiplicando (II)'' por (-6.33) se tiene:

$$-3025.86 = -19a -120.27b -170.91c \quad \dots (II)'''$$

Sumando (II)''' con (III)' se obtiene:

$$-1287.44 = -93.27b -55.91c \quad \dots (ii)$$

Despejando "C" se obtiene: $C = \frac{1287.44 - 93.27b}{55.91}$

... (ii)'

Sustituyendo (i)' en (ii). se obtiene el valor "C" :

siendo : $C = -3.64$ ahora sustituyendo el valor de -

"C" en (i)' se obtiene que: $b = 15.99$

Sustituyendo los valores de "b" y "c" en la ecuación (I) se tiene:

$$a = 90.86$$

Como la ecuación de la parábola es : $Y = a + bx + cx^2$

Sustituyendo el valor de las constantes a, b, c: se tiene:

$$Y = 90.86 + 15.99x - 3.64x^2 \quad \dots \text{ (iii)}$$

Dando valores a "x" y aplicando la ecuación (iii) se tiene:

"Y" 1969 = 44.32	"Y" 1975 = 96.62
"Y" 1970 = 71.23	"Y" 1976 = 79.81
"Y" 1971 = 90.86	"Y" 1977 = 55.76
"Y" 1972 = 103.21	"Y" 1978 = 23.03
"Y" 1973 = 108.23	"Y" 1979 = -14.10
"Y" 1974 = 106.07	"Y" 1980 = -148.93

COEFICIENTE DE CORRELACION PARA DIOXIDO DE SILICIO

La "Y" media es: $\bar{Y} = \frac{523.97}{6} = 87.32$

$(Y_{est.} - \bar{Y})^2$	$(Y_{real} - \bar{Y})^2$
1842.06	1955.40
258.88	173.44
12.53	1.25
252.50	573.60
439.32	169.78
351.56	461.39

Σ total = 3163.79

Σ total = 3334.86

Como:

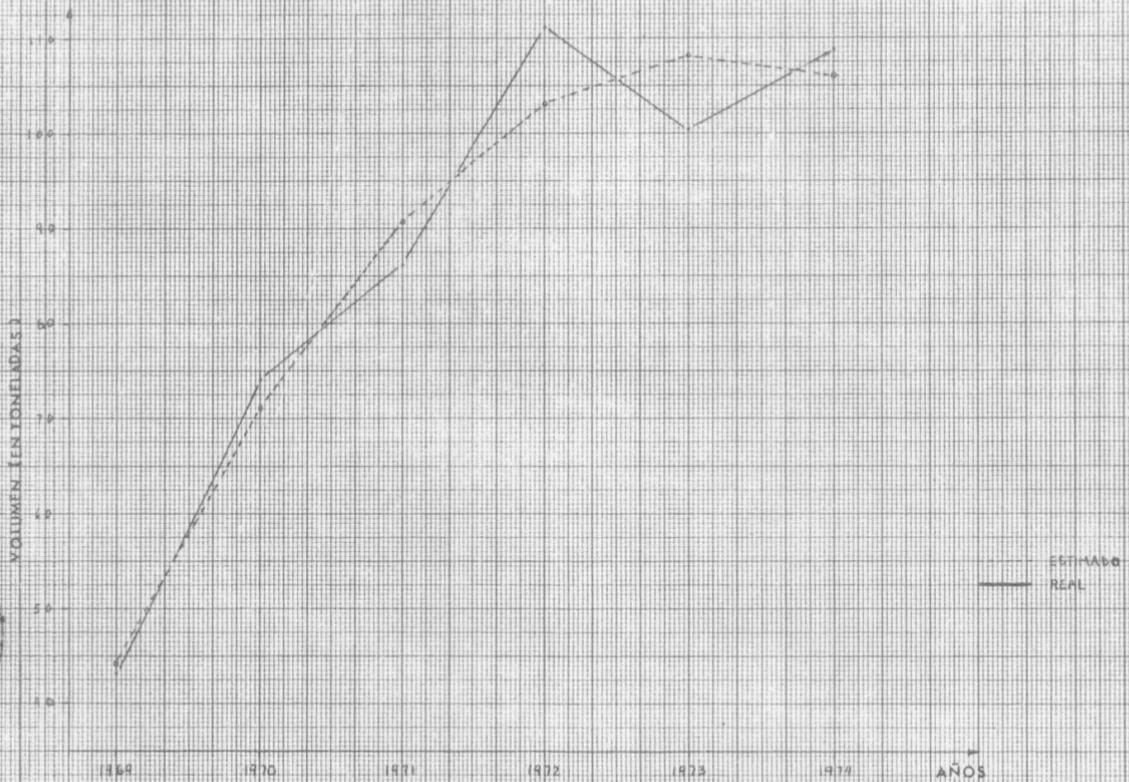
$$r = \sqrt{\frac{(Y_{est.} - \bar{Y})^2}{(Y_{real} - \bar{Y})^2}}$$

Sustituyendo valores se tiene que:

$$r = \sqrt{\frac{3163.79}{3334.86}}$$

$$r = 0.9700$$

PARABOLA PARA
DIOXIDO DE SILICIO



A continuación se presenta una tabla en el cuál se comparan los valores obtenidos de los coeficientes de correlación de los dos modelos matemáticos utilizados por cada uno de los productos:

COEFICIENTE DE CORRELACION

	MODELO RECTA MIN. CUADRADOS	MODELO PARABOLA MIN. CUADRADOS.
Hexafluoruro de Sodio y Aluminio (Na_3AlF_6)	0.89	0.89
Fluoruro de Sodio (Na F)	0.92	0.95
Fluoruro de Potasio (KF)	0.54	0.69
Bifluoruro ácido de amonio (NH_4HF_2)	0.83	0.81
Dióxido de Silicio (SiO_2)	0.90	0.97

De acuerdo a los resultados de la tabla anterior, los modelos más apropiados para la proyección de la demanda - que presentan los valores más cercanos a la unidad y los cuáles se tomarán en cuenta para este estudio.

ESTUDIO DE INGENIERIA

El siguiente estudio pretende únicamente dar una idea de los equipos que se utilizarían en este tipo de proceso, algunos equipos no fueron calculados, sino que únicamente se especifican en los costos, otros fueron calculados en base a los datos proporcionados por los fabricantes o distribuidores de equipo en México.

Las reacciones que se llevan a cabo en el proceso, se consideran ideales donde no hay acumulación. Los rendimientos estan basados en las reacciones que se llevan a cabo en procesos similares.

Los coeficientes de transferencia que se utilizaron, son los recomendados por algunos autores como Ludwig y Perry

El proceso que aqui se presenta, es el resultado de varios procesos existentes para la producción de los derivados fluorados aquí estudiados.

II.- DESCRIPCION DEL PROCESO

El proceso consta fundamentalmente de dos etapas; la primera es la obtención de HF y H_2SiF_6 ; esta etapa consiste en hacer reaccionar fluorita, grado metalúrgico con ácido sulfúrico en un reactor enchaquetado, calentado a $200^\circ C$ y una atmósfera (la reacción es endotérmica). De este reactor salen una mezcla de gases que son: HF, H_2SiF_6 , H_2SO_4 , H_2O y pequeñas cantidades de CO_2 a una temperatura aproximada de $125^\circ C$. Por la base del reactor, sale un residuo que es $CaSO_4$ con una pureza considerable.

Los gases que salen del reactor pasan a un condensador en el cuál se separa la mayor parte del ácido sulfúrico, éste es recirculado nuevamente al reactor 1. El condensador enfría los gases 125° a $25^\circ C$ y usa como medio de enfriamiento, agua. Posteriormente los gases que son en su totalidad HF y H_2SiF_6 son separados en un condensador, en el cuál se enfrían hasta $-25^\circ C$, por la parte del domo sale el ácido fluorosilésico y por la base sale el ácido fluorhídrico líquido. El medio de enfriamiento, Amoníaco.

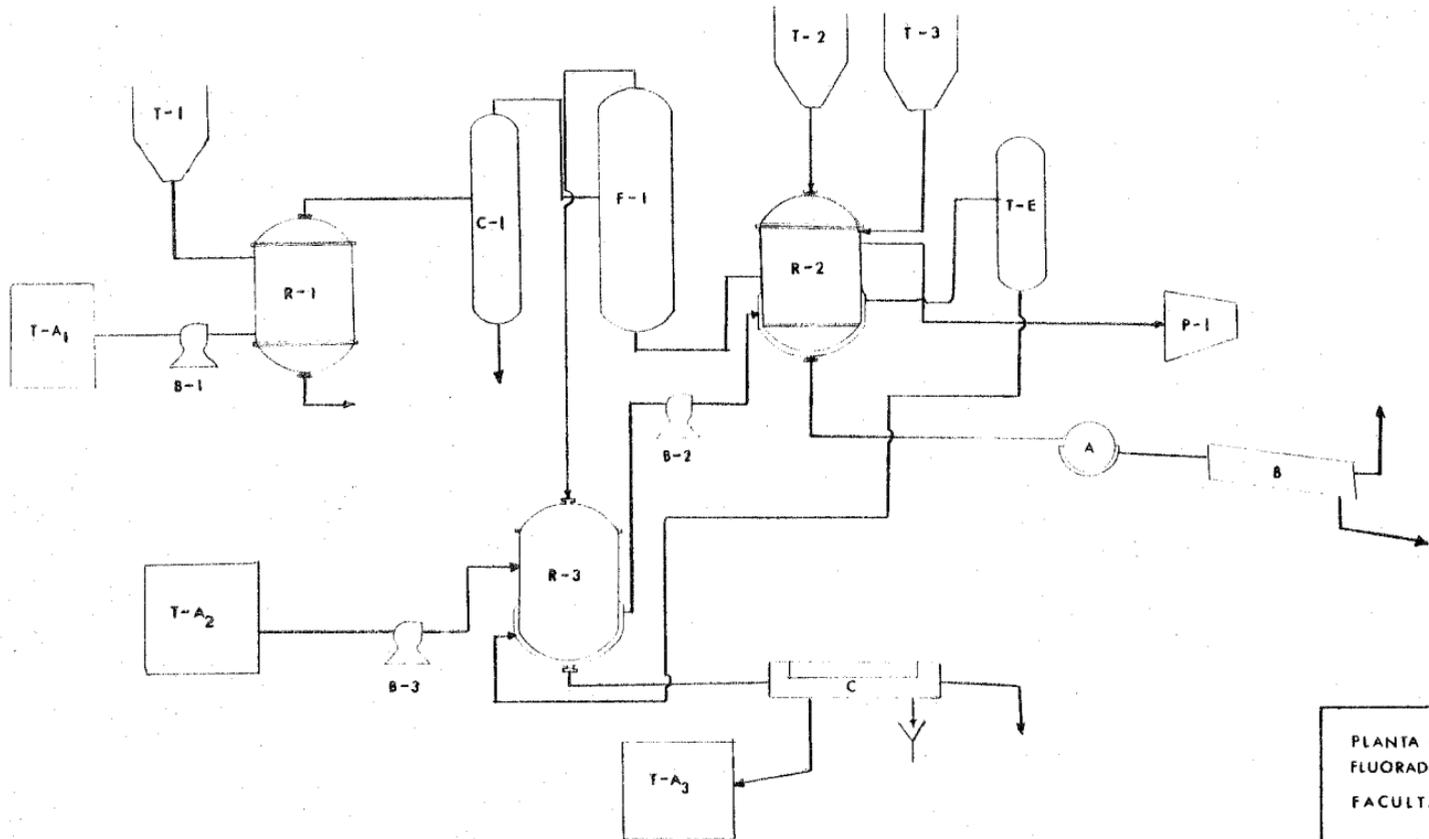
En la segunda etapa la corriente de HF, que tiene aproximadamente un 90% de pureza, se lleva al reactor 1, se mezcla mecánicamente con hidróxido de aluminio y carbonato de sodio para formar criolita (la reacción es exotérmica)

La criolita que va en forma de lodo, pasa por un secador al vacío rotatorio y posteriormente a un calcinador, en el cuál se calcina de 500 a $700^\circ C$ directamente y a contracorriente. La criolita calcinada se enfría y se transporta por medio de un elevador de polvos a la bodega de almacenamiento, donde se pesa y se envasa

La fabricación de KF y NaF se efectúa bajo el mismo procedimiento, con el cuál se fabricó criolita.

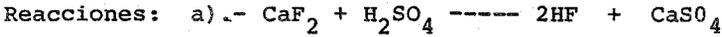
El H_2SiF_6 pasa al reactor 3, donde se reacciona NH_3 en solución para formar el SiO_2 y tener una solución de NH_4F , el SiO_2 es filtrado y secado, mientras la solución de NH_4F pa-

sa a un tanque de almacenamiento, donde parte será acidificada para formar el $\text{NH}_4 - \text{HF}_2$ (bifloruro ácido de amonio).



PLANTA DE DERIVADOS
 FLUORADOS.
 FACULTAD DE QUIMICA
 U.N.A.M.

REACTOR 1



BALANCE DE MATERIA

Base de cálculo: 1 ton. de HF.

Rendimiento: 90 % Basados en CaF_2 ó H_2SO_4 -----(3)

Pureza de los reactivos: Fluorita con $\text{CaF}_2 = 93\%$ con un contenido en sílice igual al 3 % ; H_2SO_4 al 96 %.

Relaciones estequiométricas:

Reacción(a).

$$\frac{\text{HF}}{\text{CaF}_2} = \frac{20 \times 2}{78} = 0.513 \times 0.837 = 0.429$$

$$\frac{\text{CaSO}_4}{\text{CaF}_2} = \frac{136}{78} = 1.743 \times 0.837 = 1.46$$

$$\frac{\text{H}_2\text{SO}_4}{\text{CaF}_2} = \frac{98}{78} = 1.256 \times \frac{.93}{.96} = 1.216$$

Reacción(b) HF se consume.

$$\frac{\text{HF}}{\text{CaF}_2} = \frac{\text{HF}}{\text{SiO}_2} \times \frac{\text{SiO}_2}{\text{CaF}_2} = \frac{120}{60} \times 0.03 = 0.06$$

$$\frac{\text{H}_2\text{SiF}_6}{\text{CaF}_2} = \frac{\text{H}_2\text{SiF}_6}{\text{SiO}_2} \times \frac{\text{SiO}_2}{\text{CaF}_2} = \frac{144}{60} \times 0.03 = 0.072$$

$$\frac{\text{H}_2\text{O}}{\text{CaF}_2} = \frac{\text{H}_2\text{O}}{\text{SiO}_2} \times \frac{\text{SiO}_2}{\text{CaF}_2} = \frac{36}{60} \times 0.03 = 0.018$$

Para HF el total es:

$$\frac{\text{HF}}{\text{CaF}_2} = 0.429 - 0.06 = 0.369$$

Tomando el inverso tenemos : $\frac{\text{CaF}_2}{\text{HF}} = 2.707$

Tabla de resultados (toneladas).

ENTRADAS		SALIDAS			
Fluorita =	2.71	HF =	1.000	Impurezas =	0.367
H ₂ SO ₄ =	3.30	CaSO ₄ =	3.952	H ₂ SO ₄ =	0.448
Total =	6.01	H ₂ SiF ₆ =	0.195		
		H ₂ O =	0.048		
		Total =	6.01		

La producción de criolita por hora es de 1 tonelada por lo que se requiere una producción de HF = 0.705 ton/Hr de acuerdo con - esto se tienen los siguientes resultados (toneladas).

ENTRADAS		SALIDAS			
Fluorita =	1.9205	HF =	0.705	Impurezas =	0.260
H ₂ SO ₄ =	2.320	CaSO ₄ =	2.784	H ₂ SO ₄ =	0.320
Total =	4.2405	H ₂ SiF ₆ =	0.137		
		H ₂ O =	0.034		
		Total =	4.240		

BALANCE DE ENERGIA

El balance de energía se efectuó por medio de la siguiente expresión matemática:

$$Q = \Sigma H_p + \Delta H_R - \Sigma H_r + Q_1 \text{ ----- (16)}$$

Donde:

ΣH_p = Suma de los calores de los productos.

ΔH_R = Calor de reacción en condiciones normales.

ΣH_r = Suma de los calores de los reactivos.

Q_1 = Calor por pérdidas.

Temperatura base: 25°C

Cálculo de los calores de los reactivos:

Temperatura de entrada del H₂SO₄ y CaF₂ es: 18°C.

$$H_{CaF_2} = m C_p \Delta T = 2.71 \times 10^6 \times 0.2 \times -7 = -3.794 \times 10^6 \text{ cal/tonHF}$$

$$H_{H_2SO_4} = m C_p \Delta T = 3.3 \times 10^6 \times 0.34 \times -7 = -7.889 \text{ "}$$

$$H_r = -11.683 \times 10^6 \text{ cal/ton HF}$$

Cálculo del calor de reacción:

$$\Delta H_R = \Sigma H_{fp} - \Sigma H_{fr}$$

Donde:

H_{fp} = Calores de formación de los productos (kcal/gmol) en condiciones normales.

H_{fr} = Calores de formación de los reactivos (kcal/gmol) en condiciones normales.

De acuerdo a la reacción tenemos:

$$\Delta H_R = [2(-64.2) + (-340.0)] - [(-290.0) + (-194)] = 15.6 \frac{\text{kcal}}{2\text{gmolHF}}$$

$$\Delta H_R = 7.8 \text{ kcal/gmolHF} \times 10^6 / 20\text{g/gmol} = 39 \times 10^4 \text{ kcal/tonHF}$$

$$\Delta H_R = 390 \times 10^6 \text{ cal / tonHF}$$

Cálculo de los calores de los productos.

Temperatura de salida = 125°C.

$$H_{\text{CaF}_2} = m \text{ Cp} \Delta T = 0.367 \times 10^6 \times 0.2 \times 100 = 7.34 \times 10^6 \text{ cal/tonHF}$$

$$H_{\text{H}_2\text{SO}_4} = m \text{ Cp} \Delta T = 0.448 \times 10^6 \times 0.34 \times 100 = 15.2 \times 10^6 \text{ "}$$

$$H_{\text{HF}} = m \text{ Cp} \Delta T = 1 \times 10^6 \times 2.4 \times 100 = 240.0 \times 10^6 \text{ "}$$

$$H_{\text{H}_2\text{SiF}_6} = m \text{ Cp} \Delta T = 0.195 \times 10^6 \times 0.42 \times 100 = 8.19 \times 10^6 \text{ "}$$

$$H_{\text{CaSO}_4} = \text{ " " " } = 3.952 \times 10^6 \times 0.26 \times 100 = 102.7 \times 10^6 \text{ "}$$

$$H_{\text{H}_2\text{O}} = \text{ " " " } = 0.042 \times 10^6 \times 1 \times 100 = 4.8 \times 10^6 \text{ "}$$

$$H_p = 378.31 \times 10^6 \text{ cal/tonHF}$$

El calor debido a las pérdidas será el 20% de la suma de los calores anteriores.

$$Q_1 = (\Sigma H_p + \Delta H_R - \Sigma H_r) \cdot 0.20 = [378.1 + 390 - (-11.68)] \cdot 10^6$$

$$Q_1 = 780 \times 10^6 \times 0.20 = 156 \times 10^6 \text{ cal/tonHF}$$

El calor total es:

$$Q = 780 \times 10^6 + 156 \times 10^6 = 936 \times 10^6 \text{ cal/tonHF}$$

El calor total por hora es:

$$Q = 936 \times 10^6 \text{ cal/tonHF} \times 0.705 \text{ TonHF/Hr} = 659.88 \times 10^6$$

$$Q = 659.88 \times 10^6 \text{ cal/Hr.}$$

REACTOR 2

Reacción:



BALANCE DE MATERIA

Base de cálculo: 1 ton. de criolita (Na_3AlF_6)

Rendimiento de la reacción: 90 % en base al HF; 98 % en base al

 $\text{Al}(\text{OH})_3$ ó Na_2CO_3 .Pureza de los reactivos: HF = 90 % ; tanto el $\text{Al}(\text{OH})_3$ como el Na_2CO_3 se consideran puros.

Relaciones estequiométricas:

$$\frac{\text{HF}}{\text{Na}_3\text{AlF}_6} = \frac{12 \times 40}{420} \times \frac{1}{0.81} = 0.705$$

$$\frac{\text{Al}(\text{OH})_3}{\text{Na}_3\text{AlF}_6} = \frac{156}{420} \times \frac{1}{0.98} = 0.379$$

$$\frac{\text{Na}_2\text{CO}_3}{\text{Na}_3\text{AlF}_6} = \frac{318}{420} \times \frac{1}{0.98} = 0.772$$

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{Na}_3\text{AlF}_6} = \frac{132}{420} = 0.314$$

$$\frac{\text{H}_2\text{O}}{\text{Na}_3\text{AlF}_6} = \frac{162}{420} = 0.385$$

Tabla de resultados (en toneladas).

ENTRADAS		SALIDAS	
Reactivos		Productos	no reaccionan
HF = 0.705		$\text{Na}_3\text{AlF}_6 = 1.00$	$\text{Na}_2\text{CO}_3 = 0.0154$
$\text{Na}_2\text{CO}_3 = 0.772$		$\text{H}_2\text{O} = 0.385$	$\text{Al}(\text{OH})_3 = 0.0076$
$\text{Al}(\text{OH})_3 = 0.379$		$\text{CO}_2 = 0.314$	HF = 0.134
Total = 1.856		Total = 1.856	

BALANCE DE ENERGIA

El balance se llevó a cabo por medio de la siguiente expresión :

$$Q = \Sigma H_p + \Delta H_R^\circ - \Sigma H_r + Q_1 \quad \text{----- (16)}$$

Donde :

ΣH_p = suma de los calores de los productos

ΣH_r = suma de los calores de los reactivos

ΔH_R° = calor de reacción a las condiciones normales

Q_1 = calor debido a pérdidas

Temperatura base de cálculo : 25°C

Temperatura de entrada del Na_2CO_3 y $\text{Al}(\text{OH})_3 = 18^\circ\text{C}$

Temperatura de entrada del HF = -10 °C en estado líquido.

Cálculo de los calores de los reactivos.

$$H_{\text{HF}} = m C_p \Delta T = 0.705 \times 0.589 \times -35 = -14.53 \times 10^6 \text{ cal}$$

$$H_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = m C_p \Delta T = 0.772 \times 0.26 \times -7 = -1.40 \times 10^6 \text{ cal}$$

$$H_{\text{Al}(\text{OH})_3} = m C_p \Delta T = 0.379 \times 0.45 \times -7 = -1.193 \times 10^6 \text{ cal}$$

$$H_{\text{vap HF}} = \lambda m = 84.82 \times 0.705 = -59.79 \times 10^6 \text{ cal}$$

$$\Sigma H_r = -76.92 \times 10^6 \text{ cal}$$

Cálculo del calor de reacción

El cálculo se efectúa de la forma siguiente:

$$\Delta H_R^\circ = \Sigma \Delta H_{fp}^\circ - \Sigma \Delta H_{fr}^\circ \quad \text{----- (17)}$$

$\Sigma \Delta H_{fp}^\circ$ = suma de calores de formación de los productos. (kcal/gmol)

$\Sigma \Delta H_{fr}^\circ$ = suma de calores de formación de los reactivos (kcal/gmol)

$$\Delta H_R^\circ = 3(-94.05) + 2(-788.9) - 9(-68.32) - 12(-64.2) + 2(-304) + 3(270)$$

$$\Delta H_R^\circ = -2474.83 + 2189.3 = -285.53 \text{ kcal/2gmol de criolita}$$

$$\Delta H_R^\circ = -142.765 \text{ kcal/gmol de criolita}$$

$$\Delta H_R^\circ = -142.765 \times 10^6 \times 1/210 = 0.679 \times 10^6 \text{ kcal/ton} = 679 \times 10^6 \text{ cal/ton}$$

Cálculo de los calores de los productos.

Temperatura de salida 60°C.

$$H_{\text{Na}_3\text{AlF}_6} = M C_p \Delta T = 1. z 0.31 \times 35 = 10.84 \times 10^6 \text{ cal.}$$

$$H_{\text{H}_2\text{O}} = " " " = 0.385 \times 1 \times 35 = 13.46 \times 10^6 \text{ cal.}$$

$$H_{\text{CO}_2} = " " " = 0.20 \times 0.314 \times 35 = 2.19 \times 10^6 \text{ cal.}$$

$$H_{\text{HF}} = " " " = 0.134 \times 2.4 \times 35 = 11.24 \times 10^6 \text{ cal.}$$

$$H_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = " " " = 0.0154 \times 0.26 \times 35 = 0.14 \times 10^6 \text{ cal.}$$

$$H_p = 38.00 \times 10^6 \text{ cal.}$$

$$Q_1 = 0$$

$$Q = 38 + (-679) + 76.92 = -564 \times 10^6 \text{ cal/ton de criolita}$$

$$Q = -5.64 \times 10^5 \text{ kcal/hora}$$

REACTOR 3



BALANCE DE MATERIA

Base de cálculo: 1 ton de H_2SiF_6 .

Rendimiento: 95 % en base H_2SiF_6 ó NH_4OH

Los reactivos se consideran puros.

Relaciones:

$$\frac{\text{NH}_4\text{OH}}{\text{H}_2\text{SiF}_6} = \frac{35 \times 6}{144} = 1.458$$

$$\frac{\text{SiO}_2}{\text{H}_2\text{SiF}_6} = \frac{60}{144} \times 0.95 = 0.395$$

$$\frac{\text{NH}_4\text{F}}{\text{H}_2\text{SiF}_6} = \frac{222}{144} \times 0.95 = 1.463$$

$$\frac{\text{H}_2\text{O}}{\text{H}_2\text{SiF}_6} = \frac{72}{144} \times 0.95 = 0.475$$

Tabla de resultados dada en toneladas.

ENTRADAS	SALIDAS	
$\text{H}_2\text{SiF}_6 = 1.000$	$\text{SiO}_2 = 0.395$	$\text{NH}_4\text{OH} = 0.0728$
$\text{NH}_4\text{OH} = 1.458$	$\text{NH}_4\text{F} = 1.465$	$\text{H}_2\text{SiF}_6 = 0.05$
Total = 2.458	$\text{H}_2\text{O} = 0.475$	Total = 2.458

Tabla de resultados por hora de producción. (toneladas)

$\text{H}_2\text{SiF}_6 = 0.100$	$\text{SiO}_2 = 0.0395$	$\text{NH}_4\text{OH} = 0.0072$
$\text{NH}_4\text{OH} = 0.145$	$\text{NH}_4\text{F} = 0.1465$	$\text{H}_2\text{SiF}_6 = 0.005$
Total = 0.2458	$\text{H}_2\text{O} = 0.0475$	Total = 0.2458

BALANCE DE ENERGIA

La fórmula empleada es la siguiente :

$$Q = \Sigma H_p + \Delta H_R - \Sigma H_r - Q_1$$

Donde la terminología es la misma que se empleó en los balances anteriores.

Temperatura de entrada de los reactivos:

$$H_2SiF_6 \text{ (g)} = -10^\circ C$$

$$NH_4OH \text{ (l)} = 18^\circ C$$

Temperatura base: $25^\circ C$.

Cálculo de los calores de los reactivos.

$$H_{H_2SiF_6} = m C_p \Delta T = 1 \times 10^6 \times 0.42 \times -35 = -14.7 \times 10^6 \text{ cal}$$

$$H_{NH_4OH} = m C_p \Delta T = 1.458 \times 10^6 \times 0.89 \times -7 = -9.08 \times 10^6 \text{ cal.}$$

$$H_r = 23.78 \times 10^6 \text{ cal/ton.}$$

Cálculo del calor de reacción.

$$H_R = \Sigma \Delta H_{fp} - \Sigma \Delta H_{fr}$$

$$\Delta H_R = [-205.4 + 6(-110) + 4(-68.32)] - [374 + 6(-87.6)] =$$

$$\Delta H_R = -987.08 \text{ kcal/gmolH}_2\text{SiF}_6.$$

$$\Delta H_R = -987.08 \frac{\text{kcal}}{\text{gmolH}_2\text{SiF}_6} \times \frac{10^6 \text{ g/ton}}{144 \text{ g/gmolH}_2\text{SiF}_6} = -6.85 \times 10^6 \frac{\text{kcal}}{\text{tonH}_2\text{S}}$$

$$\Delta H_R = -6.85 \times 10^6 \frac{\text{kcal}}{\text{tonH}_2\text{SiF}_6}$$

Cálculo del calor de los productos.

Temperatura de salida : $38^\circ C$.

$$H_{SiO_2} = 0.395 \times 10^6 \times 0.24 \times 13 = 1.23 \times 10^6 \text{ cal}$$

$$H_{NH_4F} = 1.465 \times 10^6 \times 0.8 \times 13 = 15.23 \times 10^6 \text{ cal}$$

$$H_{H_2O} = 0.475 \times 10^6 \times 1.0 \times 13 = 6.17 \times 10^6 \text{ cal}$$

$$H_{NH_4OH} = 0.072 \times 10^6 \times 0.89 \times 13 = 0.83 \times 10^6 \text{ cal}$$

$$H_{H_2SiF_6} = 0.05 \times 10^6 \times 0.42 \times 13 = 0.27 \times 10^6 \text{ cal.}$$

$$\Sigma H_p = 23.73 \times 10^6 \text{ cal/tonH}_2\text{SiF}_6$$

El calor generado en el reactor es:

$$Q = 0.02373 = 6.85 + 0.02378 = - 6.80 \times 10^6 \text{ kcal/tonH}_2\text{SiF}_6. \text{ Por hora:}$$

$$Q = - 6.8 \times 10^6 \text{ kcal/tonH}_2\text{SiF}_6 \times 0.1 \text{ tonH}_2\text{SiF}_6/\text{hr.} =$$

$$Q = -6.8 \times 10^5 \text{ kcal/hr.}$$

REACTOR 2-A



BALANCE DE MATERIA

Base de cálculo : 1 kg de NaF

Rendimiento : 95 %

Pureza de los reactivos : HF al 9 % ; el Na_2CO_3 se considera puro.

Relaciones estequiométricas:

$$\frac{\text{HF}}{\text{NaF}} = \frac{20}{42} \times 1/.855 = 0.555$$

$$\frac{\text{Na}_2\text{CO}_3}{\text{NaF}} = \frac{106}{84} \times 1/.95 = 1.327$$

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{NaF}} = \frac{44}{84} = 0.523$$

$$\frac{\text{H}_2\text{O}}{\text{NaF}} = 18/84 = 0.2142$$

Tabla de Resultados dada en kilogramos.

ENTRADAS	SALIDAS
HF = 0.555	NaF = 1.00
$\text{Na}_2\text{CO}_3 = 1.327$	$\text{CO}_2 = 0.523$
Total = 1.882	$\text{H}_2\text{O} = 0.214$
	HF = 0.080
	$\text{Na}_2\text{CO}_3 = .065$
	Total = 1.882

BALANCE DE ENERGIA

La ecuación empleada es la siguiente:

$$Q = \Sigma H_p + \Delta H_R - \Sigma H_r$$

Temperatura base: 25°C.

$$\Delta H_R = - 17.835 \text{ kcal/gmolNaF}$$

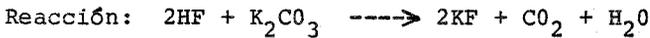
$$\Sigma H_r = - 0.710 \text{ kcal/gmolNaF}$$

$$\Sigma H_p = 1.39 \text{ kcal/gmolNaF}$$

$$Q = 1.39 + (- 17.835) - (-0.710) = 15.735 \text{ kcal/gmolNaF}$$

$$Q_t = 15.735 \times 1/42 \times 1000 = 374.6 \text{ kcal/kgNaF}$$

REACTOR 2-B



BALANCE DE MATERIA

Base de cálculo : 1 kilogramo de KF.

Rendimiento : 95 %

Pureza de los reactivos: HF al 90 %; el K_2CO_3 se considera puro.

Relaciones estequiométricas :

$$\frac{\text{HF}}{\text{KF}} = \frac{20}{58} \times 1/.855 = 0.402$$

$$\frac{\text{K}_2\text{CO}_3}{\text{KF}} = \frac{138.2}{58 \times 2} \times 1/.95 = 1.251$$

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{KF}} = \frac{44}{116} = 0.379$$

$$\frac{\text{H}_2\text{O}}{\text{KF}} = \frac{18}{116} = 0.155$$

Resultados: (kg)

ENTRADAS	SALIDAS
HF = 0.402	KF = 1.00
K_2CO_3 = 1.251	CO_2 = 0.378 HF = 0.058
	H_2O = 0.154 K_2CO_3 = 0.062
Total = 1.653	Total = 1.653

BALANCE DE ENERGIA

La ecuación empleada es la siguiente :

$$Q = \Sigma H_p + \Delta H_R - \Sigma H_r \quad \text{Temp. base: } 25^\circ\text{C}$$

$$\Delta H_R^\circ = - 14.7 \text{ kcal/gmolKF}$$

$$\Sigma H_r = - 0.711 \text{ kcal/gmolKF}$$

$$\Sigma H_p = 1.421 \text{ kcal/gmolKF}$$

$$Q = 1.421 + (- 14.7) - (- 0.711) = -12.66$$

$$Q = 12.66 \text{ kcal/gmolKF}$$

$$Q_t = -12.66 \times 1/58 \times 1000 = - 218.2 \text{ kcal/kg de KF.}$$

NOMENCLATURA

H_R° = calor de reacción en condiciones normales (25°C y 1 atmósfera).

H_r = Entalpia de los reactivos.

H_p = Entalpia de los productos.

Q = Calor total de la reacción por gmol.

Q_t = Calor total de la reacción por tonelada o kilogramo.

Q_1 = Calor perdido.

CAMBIADOR DE CALOR 1

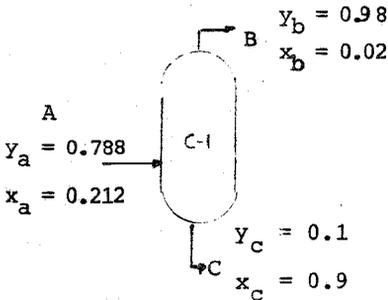
BALANCE DE MATERIA.

Consideraciones: 1. El equipo se considera como un equipo de destilado. 2.- Se fijan las concentraciones tanto del domo como de la base. 3.- La composición de los más volátiles se denomina con "y" y la de los menos volátiles con "x". 4.- Se propone que todo el ácido fluorosilícico salga por el domo. 5.- El balance de agua se hace por separado. (16)

Los gases del reactor 1 tienen la siguiente composición :

Gas	Cantidad	Fracción en peso	
HF	0.705 ton.	0.660	El HF y H_2SiF_6 se consideran como un solo gas
H_2SO_4	0.227 "	0.212	
H_2SiF_6	0.137 "	0.128	

Total	1.069 "	1.000	
H_2O	0.0928 "		



De acuerdo a la regla de la palanca tenemos:

$$\frac{B}{A} = \frac{y_a - y_c}{y_b - y_c} = \frac{0.788 - 0.10}{0.98 - 0.10} = 0.782$$

$$C = 0.218$$

Resultados en base una tonelada de A

gas	A	B	C
HF	0.660		
H_2SiF_6	0.128	0.766	0.022
H_2SO_4	0.212	0.016	0.196

El balance de agua se hace de acuerdo a su presión de vapor.

$$P_{H_2O} = 18 \text{ mm de Hg a } 25^\circ\text{C} \quad \overline{PM} = 23.8$$

$$\frac{P_{H_2O}}{P_t - P_{H_2O}} = \frac{18}{586 - 18} = 0.0307 \quad \frac{\text{gmol } H_2O}{\text{gmol gas}}$$

$$0.0307 \times \frac{18}{23.8} = 0.0232 \quad \frac{\text{ton } H_2O}{\text{ton gas}}$$

$$0.0232 \frac{\text{ton } H_2O}{\text{ton gas}} \times 0.836 \text{ tons de gas} = 0.019 \text{ ton de } H_2O$$

El balance total considerando A = 1.069 en toneladas.

ENTRADAS		SALIDAS	
Gas		domo	base
HF	0.705	0.681	0.024
H ₂ SiF ₆	0.137	0.137	0
H ₂ SO ₄	0.227	0.018	0.209
H ₂ O	0.0928	0.02	0.0728

BALANCE DE ENERGIA

El balance de calor será la suma de los calores de cada uno de los gases. Este calor es el que se necesita extraer al gas para llevar lo de 125°C a 25°C. La fórmula empleada es $\Delta H = m C_p \Delta T$ donde:

ΔH = Calor del gas

m = masa del gas

C_p = capacidad calorífica del gas a presión constante.

ΔT = la diferencia de temperaturas.

A la suma de los calores se le agregará el calor latente de condensación del H₂SO₄ al 70 % más el calor latente de condensación del HF. (16)

$$H_{HF} = 0.705 \times 10^6 \times 2.4 \times 100 = 168 \times 10^6 \text{ calorías}$$

$$H_{H_2SO_4} = 0.227 \times 10^6 \times 0.34 \times 100 = 7.72 \times 10^6 \text{ cal.}$$

$$H_{H_2SiF_6} = 0.137 \times 10^6 \times 0.42 \times 100 = 5.75 \times 10^6 \text{ cal.}$$

$$H_{H_2O} = 0.092 \times 10^6 \times 0.46 \times 100 = 4.268 \times 10^6 \text{ cal.}$$

$$\Sigma H_{T_{C-1}} = 185.7 \times 10^6 \text{ calorías.}$$

El calor latente de condensación es :

$$H_{\text{lat}} = \lambda_{\text{m}}^{\text{H}_2\text{SO}_4} + \lambda_{\text{HF}}^{\text{m}} = (683 \times 0.0728 + 80 \times 0.209) 10^6 = 66.37 \times 10^6$$

calorías.

El calor total es :

$$Q_{\text{t}} = (185.7 + 66.37) 10^6 = 252.1 \times 10^6 \text{ calorías/hr.}$$

CONDENSADOR 1

BALANCE DE MATERIA

En este equipo se puede considerar que únicamente el H_2SiF_6 ($2\text{HF} + \text{SiF}_4$) sale en forma de gas por ser no condensable. Los demás gases salen en estado líquido. La tabla siguiente dá los resultados (ton)

ENTRADAS		SALIDAS	
Gas		liquido	gas
HF = 0.681		HF = 0.681	$\text{H}_2\text{SiF}_6 = 0.1$
$\text{H}_2\text{SiF}_6 = 0.137$		$\text{H}_2\text{SiF}_6 = 0.037$	
$\text{H}_2\text{SO}_4 = 0.018$		$\text{H}_2\text{SO}_4 = 0.018$	
$\text{H}_2\text{O} = 0.02$		$\text{H}_2\text{O} = 0.02$	

BALANCE DE ENERGIA

Los gases que vienen del cambiador de calor 1 entran a 25°C al condensador para ser llevados hasta -22°C . En el balance de energía se tomó como base de cálculo la temperatura de 20°C . A esta temperatura se llevaron los gases para ser condensados y posteriormente enfriados a -22°C .

Cálculo del calor sensible para llevar los gases de 25°C a 20°C :

la fórmula empleada es la misma que se usó para el cálculo del calor sensible en el cambiador 1.

$$H_{\text{HF}} = 0.681 \times 2.76 \times 5 = 9.4 \times 10^6$$

$$H_{\text{H}_2\text{SiF}_6} = 0.137 \times 0.42 \times 5 = 0.287 \times 10^6$$

$$H_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 0.018 \times 0.34 \times 5 = 0.030 \times 10^6$$

$$H_{\text{H}_2\text{O}} = 0.02 \times 0.46 \times 5 = 0.046 \times 10^6$$

$$\Sigma H_{\text{con-1}} = 9.763 \times 10^6 \text{ calorías.}$$

Calor latente de condensación. El HF se considera puro.

$$\frac{1700}{20} = 85 \text{ cal/g.}$$

$$Q_{\text{tlat.}} = 85 \text{ cal/g} \times 0.681 \times 10^6 = 57.89 \times 10^6 \text{ cal.}$$

El calor sensible para llevar de 20°C a -22°C, en estado líquido se calculó únicamente para el HF. También se calculó para el H_2SiF_6 (gas) los demás se consideran despreciables.

$$H = 0.681 \times 10^6 \times 0.612 \times 43 = 18.75 \times 10^6 \text{ cal.}$$

$$H = 0.1 \times 10^6 \times 0.43 \times 43 = 1.9 \times 10^6 \text{ cal.}$$

El calor total que hay que remover en el condensador es :

$$Q_t = 88.30 \times 10^6 \text{ cal/hr.}$$

REACTOR 1

El modelo que se propone para el reactor 1 es el de un cilindro con paletas mezcladoras y transportadoras. El reactor estará encharquetado y aislado. Las paletas girarán a 5 RPM, teniendo para el material un tiempo de residencia de 1 hora. En la parte superior del reactor se colocarán tubos para la salida y recolección de los gases.

Para el cálculo se dividió el reactor en 2 zonas. La primera zona es de precalentamiento en donde los materiales son calentados de -18°C a 200°C . La segunda zona es de reacción permaneciendo la temperatura aproximadamente 200°C . El medio de calentamiento es aceite a 260°C .

Debido a que la reacción es endotérmica el cálculo de las dimensiones dependerán del área que este suministre para la transferencia del calor.

Cálculos de la Zona 1.

El calor necesario para calentar los reactivos de 18°C a 200°C es 0.210×10^6 kcal/hr. La temperatura de salida del aceite en esta etapa es de 80°C . (18)

La U recomendada es de 592.8 kcal/Hr $\text{m}^2 \text{C}$

$$\text{El LMTD} = \frac{(260 - 200) - (80 - 18)}{\ln \frac{60}{62}} = 62.5^{\circ}\text{C}$$

$$A_1 = \frac{0.210 \times 10^6}{592.8 \times 62.5} = 5.6 \text{ m}^2$$

Cálculo de la zona 2.

El calor que hay que suministrar en esta zona es el calor de la reacción menos el calor de la zona 1. La temperatura de salida del aceite es de 230°C .

$$Q = (0.659.88 - 0.210) 10^6 = 0.460 \times 10^6 \text{ kcal/hr.}$$

La U recomendada es de 592.8 kcal/hr $\text{m}^2 \text{C}$.

$$\text{El LMTD} = \frac{(260 - 200) - (230 - 200)}{\ln \frac{60}{30}} = 43.2^{\circ}\text{C}$$

$$A_2 = \frac{0.460 \times 10^6}{592.8 \times 43.2} = 18 \text{ m}^2$$

El área total es : $A_T = A_1 + A_2 = 23.6 \text{ m}^2$

Conociendo el área total se propone un diámetro de 1.5 m. por lo que se tendrá la siguiente longitud :

$$\pi D L = 23.6 ; L = \frac{23.6}{\pi \times 1.5} = 5 \text{ m.}$$

Ahora bien el área efectiva para la transmisión de calor es de la parte media hacia abajo. Por lo tanto la longitud para la transferencia es :

$$L = 5 \times 2 = 10 \text{ m}$$

A esta longitud se le agregan de 2 a 4 metros como factor de seguridad. La longitud total será de 12 a 14 m.

Cálculo de la potencia del motor.

La carga en el reactor es de 4.24 toneladas esta carga se moverá - 0.75 m. (radio de las paletas) por lo tanto el trabajo desarrollado es de :

$$W = 4.24 \times 10^3 \text{ kg} \times 0.75 \text{ m} = 3.18 \times 10^3 \text{ kg-m.}$$

En un minuto la carga se moverá 10 veces ya que por cada revolución son dos paletas las que trabajan. Por segundo quedan:

$$3.18 \times 10^3 \times 10 / 60 = 0.503 \times 10^3 \frac{\text{kg-m}}{\text{seg}}$$

Sí: $75.8 \text{ kg-m} = \text{HP - seg}$

$$\text{HP} = 503 / 75.8 = 6.7$$

Este tratamiento no considera la viscosidad ni las fricciones del material por lo que se recomienda multiplicar por un factor de corrección en este caso será de 1.5

$$6.7 \times 1.5 = 10 \text{ HP}$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{HP}}{e} = \frac{10}{.75} = 13.3$$

Se puede colocar un motor de 15 HP con su respectivo reductor de velocidad. (18)

Diseño del reactor 2.

El reactor consta de 2 etapas: en la primera se forma una solución de HF al 25% y se agrega $\text{Al}(\text{OH})_3$ para formar el $\text{AlF}_3 \cdot 3\text{HF}$ en esta etapa la temperatura se eleva a 50°C , teniendo un tiempo de residencia de 60 minutos, la presión de trabajo es la atmosférica.

En la segunda etapa la solución pasa a otro recipiente donde se agrega Na_2CO_3 para precipitar el Na_3AlF_6 aquí la temperatura se eleva a 60°C y la presión a 5 atmósferas. El tiempo de residencia es de 60 minutos.

Nota: a la concentración de 25 % tenemos la máxima solubilidad de $\text{Al}(\text{OH})_3$ y es de 19.5 g/100g de solución a 25°C .

La cantidad de agua que se agrega para formar la solución de HF al 25 % es :

$$0.705 \times 0.9 = 0.634 \text{ ton/hr.}$$

$$0.634 \text{ ----- } 25$$

$$x \text{ ----- } 75$$

$$x = 1.9 \text{ ton de H}_2\text{O/hr.}$$

El calor de dilución es de 214 cal/g por lo tanto el calor total que se desprende es:

$$214 \text{ cal/g} \times 0.634 \times 10^6 = 135 \times 10^6 \text{ cal/hr.}$$

El calor que consume el agua para elevar su temperatura de 18°C a 50°C es :

$$1.9 \times 10^6 \times 32 = 60.8 \times 10^6 \text{ cal/hr.}$$

El calor que se elimina por las paredes del reactor es:

$$135 \times 10^6 - 60.8 \times 10^6 = 74.2 \times 10^6 \text{ cal/hr.}$$

El área necesaria para eliminar el calor anterior, teniendo en cuenta que el agua entra a 18°C y sale a 30°C , es de: (18, 19)

$$A = \frac{Q}{U \times \text{LMTD}}$$

La U recomendada es de $70 \text{ Btu/ft}^2\text{hr } ^\circ\text{F} = 345.8 \text{ Kcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$.

LMTD = 25.23°C

$$A = \frac{74.2 \times 10^6 \text{ kcal/hr}}{345.8 \times 25.23} = 8.50 \text{ m}^2.$$

Cálculo del volúmen para la primera etapa.

La forma del recipiente para esta primera etapa es cilíndrica con una altura igual a 1.5 veces el diámetro. Si la densidad promedio es 1.25 ton/m^3 tenemos:

$$(0.705 + 1.9 + 0.379)/1.25 = 2.38 \text{ m}^3$$

El diámetro será igual a :

$$D = \sqrt[3]{\frac{2.38 \times 4}{1.5 \times \pi}} = 1.26 \text{ m.}$$

La altura será :

$$h = 1.90 \text{ m.}$$

El área disponible para eliminar calor es de:

$$A = 1.5D^2\pi + \pi D^2/4 = 12.5 \text{ m}^2$$

En la segunda etapa al agregar el Na_2CO_3 se desprende la siguiente cantidad de calor:

$$10^5(5.64 - 1.35) = 4.29 \times 10^5 \text{ kcal/Hr.}$$

El calor que consume el agua es:

$$1.9 \times 10 / \times 10 = 19 \times 10^6 \text{ cal/Hr.} = 0.19 \times 10^5 \text{ kcal/Hr.}$$

Calor que hay que eliminar por las paredes es:

$$4.29 \times 10^5 - 0.19 \times 10^5 = 4.1 \times 10^5 \text{ kcal / Hr.}$$

La forma del tanque para la segunda etapa es igual al de la primera únicamente que estará sometido a presión. El volumen deberá ser un poco mayor al de la primera etapa ya que se agrega 0.772 ton. de Na_2CO_3 (19,24)

El diámetro y la altura son respectivamente:

$$D = 1.35 \text{ m}$$

$$h = 2.025 \text{ m}$$

$$\text{Volumen} = 2.9 \text{ m}^3$$

El área disponible es:

$$A = 1.5\pi (1.35)^2 + (1.35)^2 \pi/4 = 14.31 \text{ m}^2$$

El calor que puede salir por las paredes del reactor es:

$$Q = AU \cdot \text{LMTD} = 14.31 \times 395 \times 35.66 = 201.56 \times 10^3 \text{ kcal/Hr}$$

El calor restante se eliminará por medio de un serpentín.

$$4.1 \times 10^5 - 2.0156 \times 10^5 = 2.084 \times 10^5 \text{ kcal/Hr.}$$

La U recomendada para serpentines sumergidos es de $790 \text{ kcal/m}^2\text{ }^\circ\text{C Hr.}$

La temperatura del agua de enfriamiento es a la entrada 18°C y a la salida 30°C por lo tanto el LMTD = 35.66 °C

El área necesaria es:

$$A = \frac{2.084 \times 10^5}{790 \times 35.66} = 7.4 \text{ m}^2$$

El área disponible de un tubo de 1 in. de diámetro es: $0.08\text{m}^2/\text{m}$

La longitud del tubo es: $\frac{7.4 \text{ m}^2}{0.08\text{m}^2/\text{m}} = 92.5 \text{ m}$

Si el diámetro del serpentín es de 1 m. tenemos:

$$\frac{92.5}{\pi} = 29.5 \approx 30 \text{ vueltas}$$

El espacio entre tubos es de 2.5 cm.

$$30 \times 0.05 = 1.5 \text{ m}$$

Cálculo de los agitadores.

En la parte 1 el agitador que se recomienda es el de turbina.

De acuerdo a la siguiente relación tenemos:

$$\frac{\text{diámetro del tanque}}{\text{diámetro del impulsor}} = 1.6 \alpha 3.2 \quad \text{--- (18)}$$

En este caso se escoge 2.5 por lo tanto:

$$\text{Diámetro del impulsor} = \frac{1.26}{2.5} = 0.504 \text{ m} = 20 \text{ in.}$$

Si las RPM= 120 tenemos de acuerdo a la figura 5-4 pag. 173 tomo - I del libro Applied Process Design For Chemical And Petrochemical Plants, un impulsor de 2.3 HP si:

$$\text{BHP} = \frac{\text{HP}}{e} = \frac{2.3}{0.8} = 3 \text{ HP}$$

En la etapa 2 se recomienda igualmente un agitador de turbina en este caso tenemos la siguiente relación:

$$\frac{\text{Diam. de tanque}}{\text{Diam. del impulsor}} = 2 \text{ a } 3.2$$

Se escoge 2.6 por lo tanto:

$$\text{Diam. del impulsor} = \frac{1.35}{2.6} = 0.52 \text{ m}$$

Si las revoluciones por minuto son iguales a 100 tenemos de acuerdo a la figura anterior un impulsor de 2 HP. La potencia del motor será de 3 HP.

REACTOR 3

El reactor consta de 2 fases. En la primera fase se forma una solución al 20 % de H_2SiF_6 y se hace reaccionar con NH_4OH al 24 % en peso permitiendo que la temperatura se eleve a 80°C . Esta fase se lleva en un reactor cilíndrico, cerrado y con agitación interna. En la segunda fase se agrega NH_4OH hasta alcanzar un PH de 9-9.5, es el PH donde se tiene la mínima solubilidad de la sílica, bajando la temperatura a 38°C esta fase se lleva a cabo en un recipiente cilíndrico cerrado y con agitación interna.

La cantidad de agua necesaria para formar la solución de H_2SiF_6 al 20% es: (20,21)

$$\begin{array}{r} 0.1\text{ton} \quad \text{-----} \quad 20\% \\ x \quad \quad \quad \text{-----} \quad 80\% \end{array}$$

$$x = 0.4 \text{ ton de } \text{H}_2\text{O}$$

La cantidad de agua necesaria para formar la solución al 24% de NH_4OH es:

$$\begin{array}{r} 0.1458 \quad \text{-----} \quad 24\% \\ x \quad \quad \quad \text{-----} \quad 76\% \end{array}$$

$$x = 0.4617 \text{ ton de } \text{H}_2\text{O}$$

La cantidad total de H_2O es: 0.8617 ton.

El calor generado, de acuerdo al balance de energía, es de 6.8×10^5 kcal/hr. - ahora bien en la fase 2 se baja la temperatura de 80°C a 38°C por lo tanto el calor removido en esta fase es de:

$$Q = m \text{ Cp} \Delta T$$

$$Q = 1.1075 \times 10^6 \times 1 \times 42 = 0.465 \times 10^5 \text{ kcal/hr.}$$

Aquí la masa es la masa total de la solución.

En la fase 1 el calor que debe eliminar es el calor de reacción menos el calor eliminado en la fase 2.

$$Q = (6.8 - 0.465) \times 10^5 = 6.335 \times 10^5 \text{ kcal/hr.}$$

Cálculo de área para la fase 1.

La U recomendada es 1000 kcal/hr $\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

$$\text{LMTD} = \frac{(80-18) - (80-40)}{\text{Ln} \frac{62}{40}} = 50.5$$

$$A = \frac{6.335 \times 10^5}{100 \times 50.5} = 11.4 \text{ m}^2$$

Las dimensiones aproximadas del recipiente de la fase 1 es:

$D = 1.15$ y $h = 1.15$ metros; donde D es el diámetro y h la altura del cilindro.

Por lo tanto el área disponible es: $A = \pi D^2 / 4 + \pi D^2 = 5.2 \text{ m}^2$

Será necesario colocar un serpentín que nos proporcione el área restante: $11.4 - 5.2 = 6.2 \text{ m}^2$

Se sabe que un tubo de 1" (2.54cm.) dá $0.08 \text{ m}^2/\text{m}$ por lo tanto la longitud del tubo será:

$$\frac{6.2}{0.08} = 77.5 \text{ m.}$$

Si el diámetro del serpentín es de 1 m. el número de vueltas será:

$$\frac{77.5}{\pi \times 1} = 25 \text{ vueltas}$$

El pitch o distancia entre tubo y tubo es: $1/2"$ por lo tanto la altura total del serpentín es de 94 cm.

En la fase 2 las dimensiones del reactor serán : diámetro igual a 1 m., altura igual 1 m.

El área disponible será = $1.25 \pi = 3.95 \text{ m}^2$

Para esta fase el LMTD = $\frac{(59 - 18) - (59 - 38)}{\ln 41/21} = 30 \text{ }^\circ\text{C.}$

La U recomendada es $494 \text{ kcal}/\text{Hr m}^2\text{ }^\circ\text{C.}$

El área necesaria es = $\frac{0.465 \times 10^5}{494 \times 30} = 3.15 \text{ m}^2$ por lo tanto se puede utilizar únicamente las paredes del reactor.

Cálculo de los agitadores.

El agitador para la fase 1 es el de turbina el diámetro de este agitador es de 0.46 m. (18") de acuerdo a las tablas de recomendación del libro Applied Process Design For Chemical and Petrochemical Planta de Ernest. E. Ludwig. La potencia de acuerdo al diagrama que presenta dicho libro en la página 173 tomo I, considerando $\text{RPM} = 250$, es de 1.7 Hp.

$$\text{BHP} = \frac{1.7}{.85} = 2$$

Para la fase 2, de acuerdo al diagrama anterior, teniendo $\text{RPM} = 100$, la potencia es de 0.7 HP.

$$\text{BHP} = \frac{0.7}{.85} = 1.0$$

CAMBIADOR DE CALOR 1

El cambiador de calor deberá ser capaz de desalojar una carga total de calor = 2.41×10^5 Kcal/hr, se dispone de agua a 18°C y a la salida se fija a 68°C . La temperatura de entrada de los gases es de 115°C y la de salida de 25°C . Tendrá además una salida para condensados.

Cálculo del volumen de los gases que entran:

Gas

$$\text{HF} = 0.705 \times 10^6 / 20 = 0.0352 \times 10^6 \text{ gmol/hr.}$$

$$\text{H}_2\text{SiF}_6 = 0.137 \times 10^6 / 144 = 9.5 \times 10^2 \text{ gmol/hr}$$

$$\text{H}_2\text{SO}_4 = 0.30 \times 10^6 / 98 = 3.0 \times 10^3 \text{ gmol/hr.}$$

$$\text{total} = 0.0391 \times 10^6 \text{ gmol/hr.}$$

$$V = \frac{n RT}{P} = \frac{0.039 \times 10^6 \times 82.06 \times 398}{0.8} = 1596.25 \text{ m}^3/\text{hr.}$$

Cálculo del agua de enfriamiento:

$$M = \frac{Q}{c_p T} = \frac{2.52 \times 10^5}{50} = 5.02 \times 10^3 \text{ Kg.}$$

Si la densidad del agua es 1 g/cm^3 el volumen de agua es:

$$V = 5.02 \text{ m}^3/\text{hr.}$$

Cálculo del área:

La U recomendada para un sistema agua - gas es de $296.4 \text{ Kcal/hr m}^2\text{ }^\circ\text{C}$ el LMTD es igual a:

$$\frac{(125 - 68) - (25 - 18)}{\text{Ln } \frac{57}{7}} = \frac{50}{2.08} = 24^\circ\text{C}$$

El área será igual, de acuerdo a la siguiente relación, a:

$$A = \frac{Q}{\text{LMTD } U} = \frac{2.52 \times 10^5}{24 \times 2.96 \times 10^2} = 35.5 \text{ m}^2.$$

El diseño físico del cambiador de calor dependerá del fabricante o casa que distribuya este tipo de equipo. (18,25)

CONDENSADOR 1

El equipo estará diseñado para eliminar una cantidad de calor igual a 8.83×10^4 kcal/hr desde una temperatura de 25°C hasta -22°C .

Por definición tenemos que 12000 Btu/Hr = 1 tonelada de refrigeración, por lo tanto las toneladas de refrigeración que debe proporcionar el equipo son:

$$8.83 \times 10^4 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}} \left(\frac{1 \text{ Btu}}{0.252 \text{ kcal}} \right) = 35.04 \times 10^4 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}}$$

$$\frac{35.04 \times 10^4}{12000} = 29.2 \text{ ton. de refrigeración.}$$

Para este caso el refrigerante recomendado es NH_3 y de acuerdo a la tabla de sus propiedades termodinámicas o mollier se tiene que a -29°C la presión de vapor es 1.22 atm. y la entalpia del vapor saturado es 335 kcal/kg (a). El amoníaco es comprimido hasta 12.2 atm. y 138°C teniendo una entalpia de 416 kcal/kg(b) de aquí se enfría y condensa a 32.2°C , el líquido saturado tiene una entalpia de 79 kcal/kg (c). El líquido es expandido isoentálpicamente hasta 1.22 atm. bajando su temperatura a -29°C (d). De este punto se dirige hacia el punto (a) para repetir nuevamente el ciclo.

Cálculo de la cantidad de NH_3 . De acuerdo al mollier de amoníaco tenemos que el calor absorbido por 1 kg. de amoníaco es: (22,23)

$$335 - 79 = 256 \text{ kcal/kg } \text{NH}_3$$

Por lo tanto la cantidad de amoníaco será :

$$\frac{8.83 \times 10^4 \text{ kcal/hr}}{256 \times 10^2 \text{ kcal/kg } \text{NH}_3} = 344 \text{ kg } \text{NH}_3/\text{hr}$$

Cálculo del condensador de NH_3 .

El medio de enfriamiento será agua a 18°C saliendo a 31°C .

De acuerdo al perfil de temperaturas tenemos una temperatura desconocida. Esta temperatura se encuentra de la siguiente forma:

Para la zona de enfriamiento el calor que hay que eliminar es de 22600 kcal/hr. Para la zona de condensación es 93000 kcal/hr.

La cantidad de calor total es :

$$(93000 + 22600) \text{ kcal/hr} = 115600 \text{ kcal/hr}$$

La cantidad de agua será:

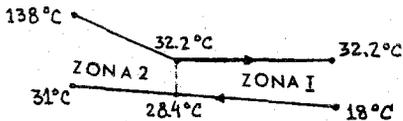
$$m = \frac{Q}{C_p \cdot T} = \frac{115600}{(31 - 18)1} = 8900 \text{ kg H}_2\text{O/hr}$$

La temperatura desconocida será:

$$t_2 - t_1 = \frac{93000}{8900 \times 1} = 10.4$$

$$t_2 = 10.4 + 18 = 28.4^\circ\text{C}$$

El perfil de temperaturas queda:



Cálculo del área para la zona 1.

La U recomendada es de 1230 kcal/Hr $\text{m}^2\text{°C}$

$$\text{LMTD} = \frac{(32.2 - 18) - (32.3 - 28.4)}{\text{Ln} \frac{14.2}{3.8}} = 8^\circ\text{C}$$

$$A_1 = \frac{93000}{1230 \times 8} = 9.5 \text{ m}^2$$

Cálculo del área para la zona 2.

La U recomendada es de 148 kcal/Hr $\text{m}^2\text{°C}$

$$\text{LMTD} = \frac{(138 - 31) - (32.2 - 28.4)}{\text{Ln} \frac{107}{3.8}} = 27.7^\circ\text{C}$$

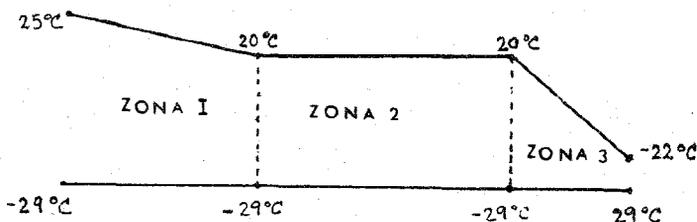
$$A_2 = \frac{22600}{27.7 \times 148} = 5.5 \text{ m}^2$$

El área total es : $A_t = 9.5 + 5.5 = 15 \text{ m}^2$

Cálculo del evaporador de NH_3 . (18)

El área del evaporador de NH_3 se calculó de la forma siguiente :

De acuerdo al perfil de temperatura el evaporador se dividió en 3 Zonas.



Zona 1. La U recomendada es 98.5 kcal/hrm²°C

$$\text{LMTD} = \frac{-(25+29) - (20+29)}{\text{Ln} \frac{54}{49}} = 55.5^{\circ}\text{C}$$

$$A_1 = \frac{9.763 \times 10^3 \text{ kcal/hr}}{98.5 \times 55.5} = 1.78 \text{ m}^2$$

Zona 2. La U recomendada es 820 kcal/hr m²°C

$$\text{LMTD} = 49^{\circ}\text{C}$$

$$A_2 = \frac{57.89 \times 10^3 \text{ kcal/hr}}{49 \times 820} = 1.44 \text{ m}^2$$

Zona 3. La U recomendada es 198 kcal/hr m²°C

$$\text{LMTD} = \frac{(20 + 29) - (-22 + 29)}{\text{Ln} \frac{49}{7}} = 22.8^{\circ}\text{C}$$

$$A_3 = \frac{20.65 \times 10^3 \text{ kcal/hr}}{198 \times 22.8} = 4.6 \text{ m}^2$$

El área total del evaporador es:

$$1.78 \text{ m}^2 + 1.44 \text{ m}^2 + 4.6 \text{ m}^2 = 7.82 \text{ m}^2$$

Estimación del compresor de NH₃.

De acuerdo al diagrama tenemos un aumento de entalpia de: 81 $\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$

la masa de NH₃ es 344 kg/hr por lo que el trabajo efectuado será de:

$$81 \text{ kcal/kg} \times 344 \text{ kg/hr} = 27800 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$$

La potencia desarrollada por el compresor será:

$$27800 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}} \times 4.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kcal}} = 123000 \frac{\text{kJ}}{\text{hr}}$$

$$\frac{123000 \frac{\text{kJ}}{\text{hr}}}{3600 \frac{\text{kJ}}{\text{kw-hr}}} = 34.2 \text{ kw} \left(\frac{1 \text{ Hp}}{0.746 \text{ kw}} \right) = 46 \text{ Hp}$$

La potencia del motor será :

$$\text{BHP} = \frac{\text{HP}}{e} = \frac{46}{.85} = 54.$$

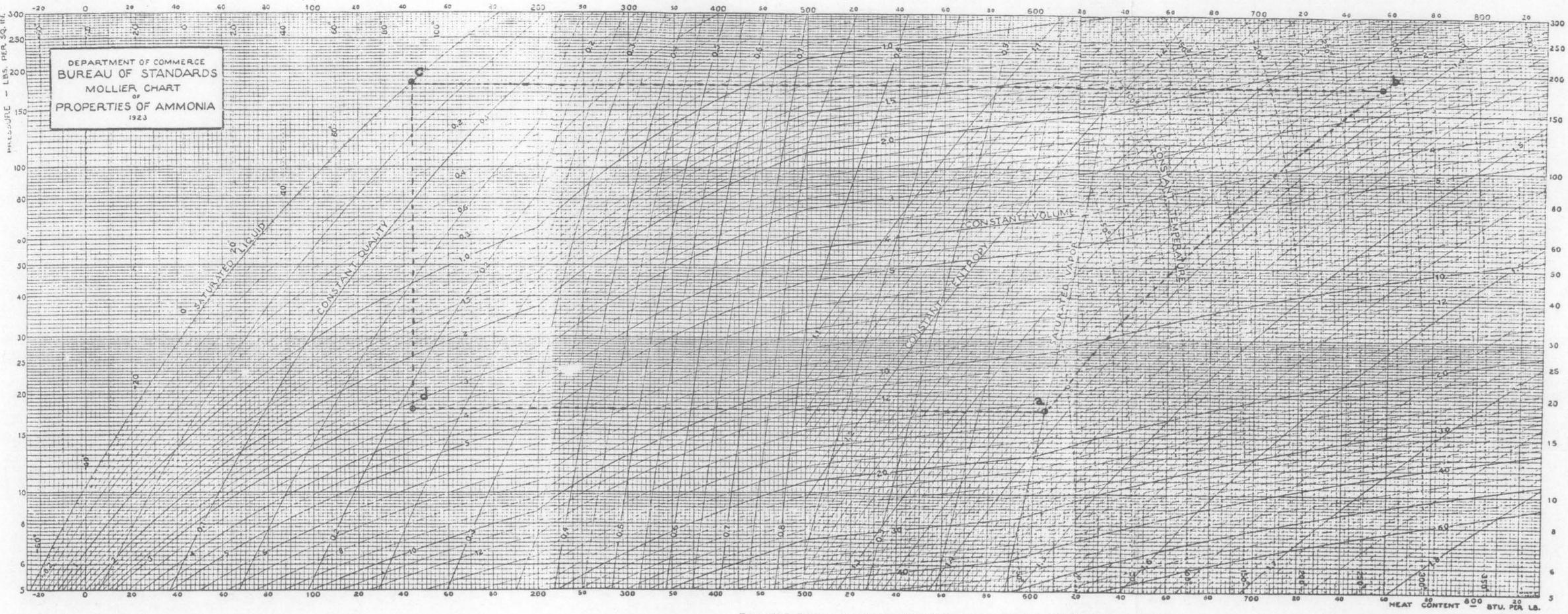


FIGURE 20-5 Permission to reprint given by the National Bureau of Standards, U. S. Department of Commerce.

COMPRESOR DE CO₂

El gas de salida del reactor 2 es CO₂. Este gas puede considerarse sin impurezas. La presión y temperatura de salida es aproximadamente de 4.42 atm. y 60°C. El gas es pasado por un cambiador de calor para bajar su temperatura a 30°C permitiendo una caída de presión de 0.32 atm. por lo tanto las condiciones de succión al compresor son 4.1 atm. y 30°C (a). La compresión se llevará a cabo en dos pasos.

De acuerdo al Mollier del CO₂ tenemos en el primer paso una compresión isoentrópica hasta 17 atm. y 149°C (b) este gas lo enfriamos a 51.6°C (c). Del punto (c) nuevamente se comprime hasta 61.22 atm. y 154°C isoentrópicamente (d). En este paso el gas pasa por un enfriador para ser licuado y almacenado (e).

Del diagrama se observa que la diferencia $h_2 - h_1$ es aproximadamente igual en los dos pasos por lo tanto la potencia total del compresor será la potencia de un paso multiplicada por dos. (22,23)

Cálculo de la potencia.

La potencia de la compresora será evaluada de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{BHP} = \frac{778}{33000} M (h_2 - h_1) L_o F_1 \quad (18)$$

Donde:

M = Velocidad del flujo (lb/min.).

L_o = Factor de pérdidas. (13)

F₁ = Factor de pérdidas del motor.

h₂ = Entalpia a la salida del compresor.

h₁ = Entalpia a la entrada del compresor.

$$M = 0.314 \text{ ton/Hr.} \times \frac{2200 \text{ lb}}{1 \text{ ton.}} \times \frac{1 \text{ Hr}}{60 \text{ min.}} = 11.5 \text{ lb/min.}$$

$$L_o = 1.2 \quad h_2 = 217 \text{ Btu/lb} \quad (\text{de acuerdo al mollier})$$

$$F_1 = 1.05 \quad h_1 = 175 \text{ Btu/lb} \quad (\text{de acuerdo al mollier}).$$

$$\text{BHP} = \frac{778}{33000} \times 11.5 (217 - 175) \times 1.2 \times 1.05 = 14.36$$

$$\text{BHP} = 15$$

La potencia total será de : 30 HP.

La dimensión del cilindro de cada paso así como las revoluciones por minuto del compresor son generalmente especificados por el fabricante.

CARBON DIOXIDE PRESSURE-ENTHALPY DIAGRAM

S = Specific Entropy, Btu/lb.°R T = Temperature, °F
 V = Specific Volume, cu. ft./lb.
 DATUM: C (graphite) and O₂ (gas) at 0°R and 0 psia
 H = 0, S = R ln P = 0

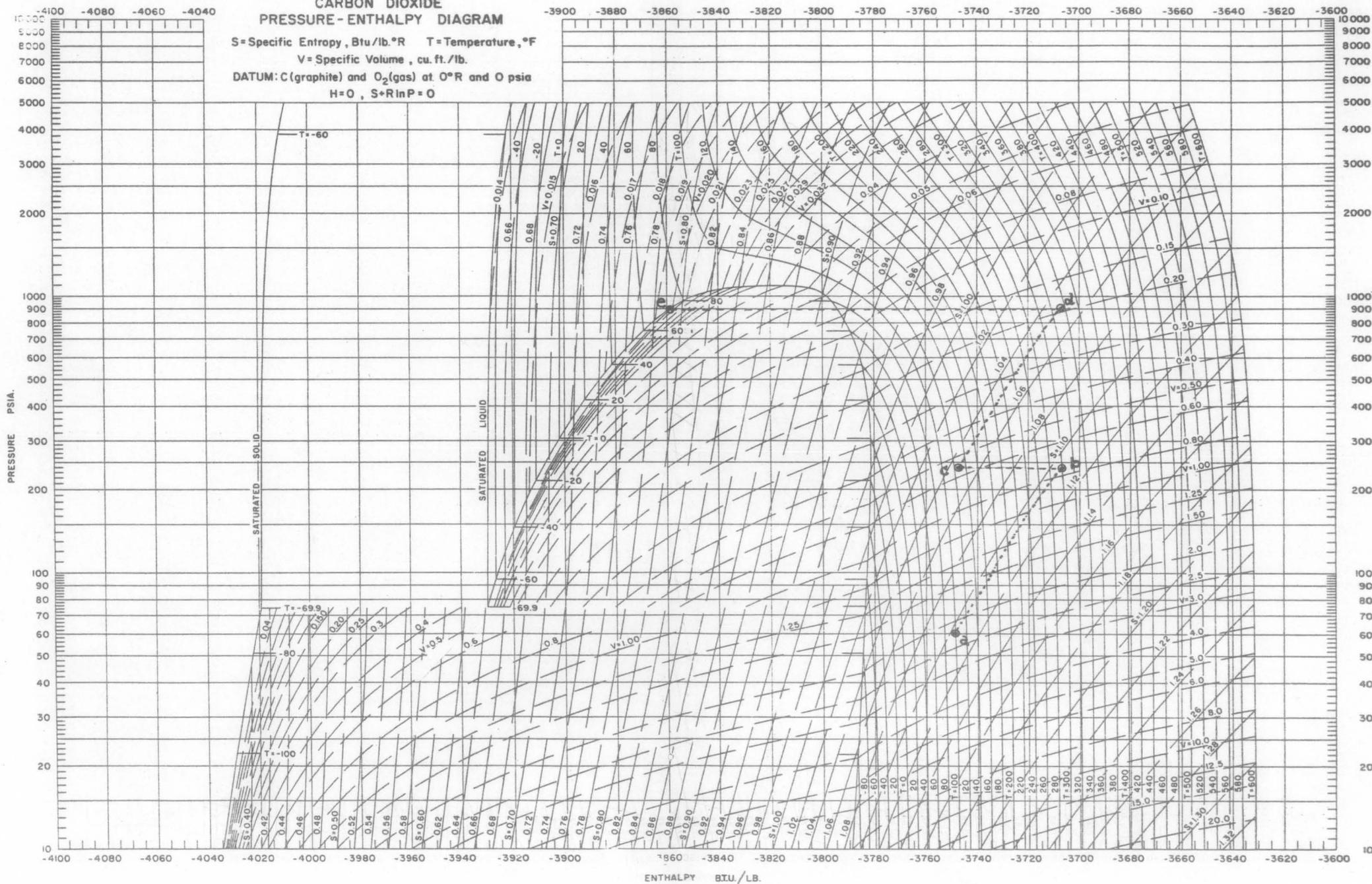


Tabla de propiedades.

Compuesto	Fórmula	PM	H°f	Cp
Ac. Fluorhídrico	HF	20	- 64.2	2.4
Ac. Fluorosilísico	H ₂ SiF ₆	144	374	0.42
Ac. Sulfúrico	H ₂ SO ₄	98	-194	0.34
Agua	H ₂ O	18	- 68.32	1.00
Bióxido de Carbono	CO ₂	44	- 94.05	0.20
Carbonato de Potasio	K ₂ CO ₃	138	-273.4	0.21
Carbonato de Sodio	Na ₂ CO ₃	106	-270.3	0.26
Fluoruro de Amonio	NH ₄ F	37	-110.0	0.8
Fluoruro de Calcio	CaF ₂	78	-290.0	0.20
Fluoruro de Potasio	KF	58	-134.4	0.186
Fluoruro de Sodio	NaF	42	-136.0	0.24
Criolita	Na ₃ AlF ₆	210	-788.9	0.31
Hidróxido de aluminio	Al(OH) ₃	78	-304.0	0.45
Hidróxido de amonio	NH ₄ OH	35	- 87.6	0.89
Oxido de sílice	SiO ₂	60	-205.4	0.24
Sulfato de calcio	CaSO ₄	136	-340.0	0.266

PM = Peso molecular

H°_f = Calor de formación en kcal/gmol a las condiciones estandar.

Cp = Capacidad calorífica en cal/g °C.

E S T U D I O E C O N O M I C O

- I.- COSTO DEL EQUIPO DE PROCESO
- II.- CALCULO DE LA INVERSION TOTAL
- III.- COSTOS Y GASTOS
- IV.- ESTADO DE RESULTADOS PROFORMA
- V.- GRAFICA DEL PUNTO DE EQUILIBRIO
- VI.- BALANCE PROFORMA
- VII.- RENTABILIDADES

I) COSTO DEL EQUIPO DE PROCESO. El costo aproximado de los equipos de proceso se lista a continuación: (29)

1.- Reactor 1 (R-1)	\$ 400,000
2.- Reactor 2 (R-2)	200,000
3.- Reactor 3 (R-3)	100,000
4.- Cambiador de calor $A=35m^2$ (C-1)	130,000
5.- Sistema de ref. 30 ton. (F-1)	165,000
6.- Tolva CaF_2 (T-1)	15,000
7.- Tolva Na_2CO_3 (T-2)	8,000
8.- Tolva $Al(OH)_3$ (T-3)	5,000
9.- Tanque de Almacenamiento H_2SO_4 (40 m^3) (T-A ₁)	180,000
10.- Tanque de Almacenamiento NH_4OH (5 m^3) (T-A ₂)	70,000
11.- Tanque de Almacenamiento NH_4F (5 m^3) (T-A ₃)	70,000
12.- Torre de enfriamiento $100m^3/hr$ (T-E)	150,000
13.- Compresor CO_2 (P-1)	98,000
14.- Filtro Silica al Vacío (C)	40,000
15.- Filtro Criolita (A)	65,000
16.- 1 Bomba H_2SO_4 LHP (B-1)	20,000
17.- 1 Bomba 5 Hp H_2O (B-2)	15,000
18.- 1 Bomba NH_4OH 1/2 Hp (B-3)	9,000
19.- 1 Calcinador (B)	200,000

Costo total del equipo . . \$1,940,000

Estos costos fueron proporcionados por diferentes proveedores y por cotizaciones proporcionadas por fabricantes de equipo y de acuerdo a catálogos especializados en equipo.

II.- CALCULO DE LA INVERSION TOTAL DE LA PLANTA.

La inversión total de la planta, se compone de los siguientes puntos:

- a) Inversión fija ó costo de la planta.
- b) Activo circulante.
- c) Cargos diferidos.

a) CALCULO DE LA INVERSION FIJA O COSTO DE LA PLANTA

La estimación de la inversión de la planta, está basada en el costo del equipo entregado y se desglosa en los siguientes renglones:

ELEMENTOS	VALOR ESTIMADO	COSTO M. N.
Costo del equipo de proceso entregado.	Ce	1,940,000
Costo del equipo instalado	1.4Ce	2,716,000
Tubería de Proceso	0.4Ce	776,000
Instrumentación	0.11Ce	213,400
Edificios	0.55Ce	1,067,000
Servicios	0.35Ce	679,000
Terreno incluso acondicionamiento	0.25Ce	485,000
Líneas de distribución de servicios	0.02Ce	38,800
Drenajes	0.02Ce	38,800
Líneas de Alimentación	0.01Ce	19,400
Instalación para Seguridad y control de incendios.	0.04Ce	77,600
Ingeniería	0.4Ce	776,000
Supervisión directa de construcción	0.3Ce	582,000
Comisiones a contratistas	0.3Ce	582,000
Costo total físico de la Planta	<hr/>	8,051,000
Contingencias	0.4Ce	776,000
		INVERSION FIJA = 8,827,000

b) CALCULO DEL ACTIVO CIRCULANTE

El activo circulante esta dado por:

Efectivo para la operación	(1 mes de costos y gastos)	1,822,615
Cuentas por Cobrar	(1 mes de producción al precio de Venta)	1,900,000
Inventarios:		
Materias primas	(1 mes de consumo de materias primas y servicios)	1,105,988
Producto en Proceso y terminado	(1 mes de costos y gastos)	1,822,615
Material para Mantenimiento	_____	50,000

EL ACTIVO CIRCULANTE= \$ 6,701,218

c) CARGOS DIFERIDOS.

Dentro de los cargos diferidos se tomaron en cuenta los gastos de preoperación y arranque, gastos notariales y licencias. Se estimó en \$ 1,200,000

La inversión total de la planta es por consiguiente:

	Valor M. N.
Costo de la Planta	8,827,000
Activo Circulante	6,701,218
Cargos Diferidos	1,200,000

TOTAL \$16.728,218

III.- COSTOS Y GASTOS

Los costos y gastos de producción se componen de los siguientes renglones:

- a) Costos variables de producción
- b) Costos fijos de producción
- c) Gastos

a) ESTIMACION DE COSTOS VARIABLES DE PRODUCCION

De acuerdo a la importancia por el volúmen de producción, se tiene en primer término al Na_3AlF_6 (Criolita), NaF , KF , $\text{NH}_4\text{-HF}_2$, NH_4F . Para las últimas dos sales ($\text{NH}_4\text{-HF}_2$, NH_4F), no se incluyen los costos de servicios, ya que estos se incluyen en las 3 primeras (Na_3AlF_6 , NaF , KF) (26)

Costos directos de producción del Na_3AlF_6 (Criolita)

MATERIAS PRIMAS	PRECIO UNITARIO \$ / KG	CONSUMO (TON) /TON	\$ / TON
CaF_2	0.60	1.92	1152
H_2SO_4	0.55	2.32	1276
Na_2CO_3	1.40	0.772	1081
Al(OH)_3	1.15	0.38	431
			<u>3949</u>
Empaque	50	5Kg/ton	250
Servicios			
Electricidad	0.25 \$/Kw-hr	200Kw-hr/ton	50
Vapor	0.015 \$/Kg	2.5×10^3 Kg/ton	37.75
Agua de Enfriamiento	\$250 / 1000m^3	1000m^3 /ton	25
Agua de Proceso	1200/ 1000m^3	0.5m^3 /ton	0.6
Combustible	0.65 \$/Kg	70 Kg/ton	45.5
			<u>158 95</u>

Costos Directos de Producción del NaF

MATERIAS PRIMAS	PRECIO UNITARIO	CONSUMO (TON) /TON	\$/TON
CaF_2	0.60	1.5	900
H_2SO_4	0.55	1.83	1006.5
Na_2CO_3	1.40	1.326	1856.4
			<u>3762.9</u>
Empaque	50	5Kg/ton	250
Servicios			
Electricidad	0.25\$/Kw-hr	200Kw-hr/ton	50

Vapor	0.015\$/Kg	200-Kw-Hr	57.75
Agua de Enfriamiento	250\$/1000m ³	2.5 x 10 ³ Kg	25.00
Agua de Proceso	1200\$/1000m ³	100m ³ /Ton	0.6
Combustible	0.65\$/Kg	0.5m ³ /Ton	<u>45.5</u>
			158.85

Costos Directos de Producción de KF

MATERIA PRIMAS	PRECIO UNITARIO	CONSUMO (TON)/TON	\$ TON
CaF ₂	0.60	1.09	650
H ₂ SO ₄	0.55	1.332	732.6
K ₂ CO ₃	6.00	1.250	<u>7500.</u>
			8882.6
Empaque	50\$/Kg	5Kg/Ton	250
Servicios			
Electricidad	0.25\$/Kw-hr	200-Kw-H/Ton	50
Vapor	0.015 \$/hr	2.5X10 ³ Kg/Ton	37.75
Agua de Enfriamiento	250\$/1000m ³	100m ³ /Ton	25
Agua de Proceso	1200 \$/1000m ³	05m ³ /Ton	0.6
Combustible	0.65 \$/Kg	70.0Kg/Ton	<u>45.5</u>
			158.85

Costos Directos de Producción de NH₄.HF₂

MATERIAS PRIMAS	PRECIO UNITARIO	CONSUMO TON/TON	\$/Ton
CaF ₂	0.60	0.953	577.8
H ₂ SO ₄	0.55	1.15	632.5
NH ₄ F	3.00	0.65	<u>1950.00</u>

Costos Directos de Producción de NH₄F

MATERIAS PRIMAS	PRECIO UNITARIO	CONSUMO (TON)/TON	\$/TON
NH ₄ OH	3.00	1	3000.00

CALCULO DE LOS COSTOS VARIABLES EN LOS PROXIMOS AÑOS:

(1977)	<u>TONS</u>	<u>\$/TON</u>	<u>PESOS</u>	<u>M. N.</u>
Na ₃ AlF ₆	3233.00 X	4357.85	=	\$ 14,089,414.00
NaF	30.00 X	4171.00	=	125,130.00
KF	2.60 X	9291.00	=	24,156.00
NH ₄ HF ₂	65.00 X	3760.30	=	244,400.00
NH ₄ F	586.00 X	3000.00	=	1,758,000.00
				<u>TOTAL \$ 16,241,000.00</u>

(1978)	<u>PESOS</u>	<u>M. N.</u>
Na ₃ AlF ₆	\$17,052,226.00	
NaF	150,156.00	
KF	25,085.00	
NH ₄ HF ₂	263,200.00	
NH ₄	2,160,000.00	
	<u>TOTAL \$19,650,600.00</u>	

(1979)	<u>PESOS</u>	<u>M. N.</u>
Na ₃ AlF ₆	\$20,416,527.00	
NaF	175,182.00	
KF	26,015.00	
NH ₄ HF ₂	278,240.00	
NH ₄ F	2,802,000.00	
	<u>TOTAL \$23,698,000.00</u>	

(1980)	<u>PESOS</u>	<u>M. N.</u>
Na ₃ AlF ₆	\$24,172,994.00	
NaF	233,576.00	
KF	26,944.00	
NH ₄ HF ₂	285,760.00	
NH ₄ F	3,060,000.00	
	<u>TOTAL \$27,779,000.00</u>	

b) COSTOS FIJOS DE PRODUCCION

Los costos fijos de producción están comprendidos por:

- a) Mantenimiento
- b) Mano de Obra
- c) Administración de la Planta
- d) Laboratorio de control
- e) Depreciación
- f) Amortización

Estos costos únicamente dependen del tiempo, más no de la capacidad de producción, por lo que para estimarlos se establece la base de una capacidad de planta del 100%

a) Mantenimiento. El costo de mantenimiento comprende los materiales para llevar a cabo la operación (GRASAS, ACEITES, HERRAMIENTAS, ETC) así como la mano de obra. Se estimó como un porcentaje del costo de la planta, para este caso fué del 5% - anual. (27)

Costo de Mantenimiento = $10,149,850 \times 0.05 = 507,492.5$ ANUAL

b) Mano de Obra. La mano de obra comprende a 10 obreros por - cada turno, pagándosele a cada obrero \$200.00 diarios. En estos \$200.00 pesos, se incluye Infonavit, Seguro Social, etc.

Costo de mano de obra = $\$200 \times 30$ (3 turnos) $\times 365 = \$2,190,000$

c) Administración de la planta. La administración de la planta comprende:

SUELDO MENSUAL

1 Gerente			\$ 25,000
4 Supervisores	15,000 X 4	=	60,000
2 Secretarias	3,000 X 2	=	6,000
1 Ayudante			3,000
1 Contador			10,000
3 Vigilantes	4,000 X 3	=	12,000
1 Chofer	5,000	=	5,000

Costo de Administración de Planta = $121,000 \times 12 = \$1,452,000.00$

d) Laboratorio de Control. Se compone de:

		SUELDO MENSUAL
2	Laboratoristas (Quím.)	12,000 X 2 = \$ 24,000
1	Ayudante	5,000 X 1 = <u>\$ 5,000</u>
		\$ 29,000

Costos de lab. de control = \$29,000 X 12 = \$348,000

e) Depreciación		
Equipo		\$333,460
Edificio		<u>\$173,727</u>
		\$507,197
f) Amortización		\$ 60,000

Resúmen de Costos 6 Fijos de Producción (Anual)

a) Mantenimiento	\$ 507,492.00	
b) Mano de Obra	2,190,000.00	
c) Admon. de Planta	1,452,000.00	
d) Lab. de Control	348,000.00	
e) Depreciación-Equipo	333,460.00	
Edificio	173,727.00	
f) Amortización	60,000.00	
 TOTAL DE COSTOS FIJOS	 \$5,064,680.00	 MONEDA NACIONAL

c) GASTOS.

C.1) Gastos de Ventas

Los gastos de ventas se componene de los siguientes puntos:

- 1) Salarios y comisiones para los vendedores
- 2) Publicidad y literatura promocional
- 3) Servicio Técnico de ventas
- 4) Gastos involucrados en muestrarios de productos.
- 5) Gastos de supervisión de ventas
- 6) Gastos de representación, viáticos y transportación
- 7) Oficinas de representación

Estos gastos se estimaron como un porcentaje de las ventas, en este caso el 4%

C.2) Gastos de Administración

Estos gastos se estiman como un porcentaje de las ventas, para este caso se estimó en el 5%

C.3) Gastos Financieros

Se estimó como un porcentaje de las ventas, para este caso se tomó el 2.5%

IV. ESTADO DE RESULTADOS PROFORMA

Las ventas netas para los próximos años se calculan de la forma siguiente:

PRODUCTO	\$/TONELADA	TONS. (1977)	TOTAL
Na ₃ AlF ₆	5000	3233	16,165.000
NaF	6000	30	180.000
KF	10000	2.6	26.000
NH ₄ HF ₂	5500	65	358.000
NH ₄ F	6000	586	3,516.000
SiO ₂	12000	162	1,944.000
CaSO ₄	350	9004	3,152.000
CO ₂	2500	1015	<u>2,538.000</u>
VENTA NE			\$27,879.000 (1977)

Las ventas netas totales para los demás años son:

1978	1979	1980
\$ 33,750,000.00	\$ 40,771,000.00	\$ 47,736,000.00

De acuerdo con ésto, se tiene la siguiente tabla de resultados (en miles de pesos)

AÑOS	1	2	3	4
Ventas Netas	27,879	33,750	40,771	47,736
Costos variables	16,241	19,650	23,698	27,779
Costos fijos	5,100	5,100	5,100	5,100
Gastos de Venta	1,115	1,350	1,631	1,909
Gastos de Admon.	1,394	1,688	2,039	2,387
Gastos financieros	697	844	1,020	1,193
UTILIDAD BRUTA	3,512	5,112	7,283	9,367
Impuesto	50%	50%	50%	50%
UTILIDAD NETA	1,775	2,706	3,642	4,684

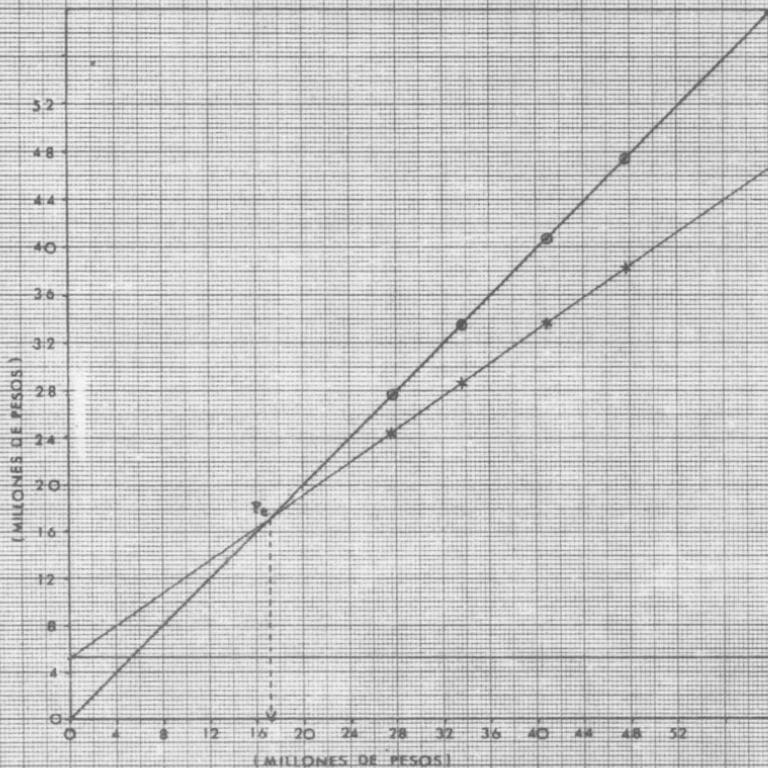
VI.- BALANCE PROFORMA.

<u>AÑO.</u>	<u>INICIAL</u>	<u>MILES DE PESOS.</u>			
		<u>1977</u>	<u>1978</u>	<u>1979</u>	<u>1980</u>
<u>ACTIVO CIRCULANTE</u>					
Efectivo para Ope ración.		3481	2386	2791	3197
Cuentas por Co - brar.		4646*	5624	6196	7956
Inventarios.		3400	4024	4766	5512
TOTAL.	6701				
<u>MUEBLES, PLANTA Y EQUIPO</u>					
	8827	8827	8827	8827	8827
Depreciación.		507	1014	1521	2028
<u>CARGOS DIFERIDOS</u>	1200	1200	1200	1200	1200
Amortización.		60	120	180	240
<u>PASIVO.</u>					
A Largo Plazo.	6000	4800	3600	2400	1200
A Corto Plazo. (Proveedores)		2484	2983	3629	4244
Otros.		1200	1200	1200	1200
<u>CAPITAL CONTABLE</u>	10728	12503	13144	14850	17780
Capital Social.	10728	10728	10728	10728	10728
Superávit ó Déficit		1775	2416	4122	7052

* Para el primer año (1977) las cuentas por cobrar se consideran igual a 2 meses de producción al precio de venta.

V.

GRÁFICA DEL PUNTO DE EQUILIBRIO



VII.- RENTABILIDADES.

Las rentabilidades esperadas para este proyecto, van a ser sobre las ventas, así como sobre la inversión.

La primera se define como:

$$\text{Rentabilidad sobre ventas} = \frac{\text{Utilidad Neta}}{\text{Ventas Netas}} \times 100$$

y tiene un mínimo del 10%

para	1977	se tiene	$\frac{1775}{27879}$	x 100 = 6.4 %
para	1978	se tiene	$\frac{2706}{33750}$	x 100 = 8 %
para	1979	se tiene	$\frac{3642}{40771}$	x 100 = 9 %
para	1980	se tiene	$\frac{4684}{47736}$	x 100 = 9.8 %

La siguiente relación se define como :

$$\text{Rentabilidad sobre la Inversión:} = \frac{\text{Utilidad Neta}}{\text{Capital Contable}} \times 100$$

Mínimo 15%

Para	1977	se tiene	$\frac{1775}{12503}$	x 100 = 14.0 %
para	1978	se tiene	$\frac{2706}{13144}$	x 100 = 20.0 %
para	1979	se tiene	$\frac{3642}{14850}$	x 100 = 24 %
para	1980	se tiene	$\frac{4684}{17780}$	x 100 = 26 %

CONCLUSIONES .

- 1.- De acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio de mercado, se nota un marcado incremento en la demanda de los derivados fluorados inorgánicos, especialmente los estudiados en el presente trabajo.
- 2.- El hecho de que en el país existan yacimientos de fluorita permite al industrial tener una amplia disponibilidad de este producto, base para la elaboración de todos los derivados fluorados.
- 3.- El Estado de Hidalgo es un lugar apropiado para la localización de la planta de derivados fluorados, ya que cuenta con:
 - a.)- Yacimientos de este mineral.
 - b.)- Vías de comunicación con los principales centros de consumo que son en orden de importancia : Jalapa, Veracruz, México, D. F. y Monterrey, N. L.
 - c.)- Servicios apropiados para que una planta de esta naturaleza pueda operar.
- 4.- El estudio económico muestra que se pueden obtener buenos rendimientos en una planta de este tipo, pudiendo en un caso determinado, ser un buen atractivo para el inversionista.

RECOMENDACIONES.

- I.- Por lo anteriormente expuesto, se hace imperiosa la necesidad del establecimiento de una planta de derivados fluorados como la aquí presentada, ya que con ello se evitaría en parte, la indiscriminada exportación de esta materia prima, pudiendo así el industrial mexicano aprovechar sus recursos no renovables y evitar cuantiosas fugas de dinero por este concepto.
- II.- Es de hacerse notar que estudios como el presente pretende dar únicamente una idea del tipo de proceso que se requiere, así como del monto en la inversión inicial necesaria.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Manual para desarrollo, Transferencia y Adaptación de Tecnología Química Apropiada. José Giral. México 1974.
- 2.- El Comercio Exterior, Revista mensual, Marzo de 1970.
- 3.- Kirk & Othmer. Enciclopedia of Chemical Technology, Vols. I y II Año 1970.
- 4.- International Critical Tables, Vols. I , III y V.
- 5.- Index Merck
- 6.- Comisión del Fomento Minero.
- 7.- Handbook of Toxicology. Vol. II - III. Spector Williams S.
- 8.- Diccionario Enciclopédico Quillet. Vol. VIII. pag. 589
- 9.- Información Aduanera de México, S. A.
- 10.- Aluminio, S. A. de C. V.
- 11.- Anton Reinhart: Recovery of Active Silica Cut Cost of Cryolite Route. Chemical Engineering, Dec. 10, 1973.
- 12.- Selective Toxicity and Related Topic. Albert Adrien.
- 13.- Sheppard and T. Powell. Acondicionamiento de aguas - para la industria, México 1970, pag. 131-135
- 14.- Anuario Estadístico de los E. U. M. Años 1969 a 1974
- 15.- Instituto Mexicano del Comercio Exterior.
- 16.- Material And Energy Balances. Alois x. Schmidt and - Harvey L. List
- 17.- Physical Chemistry. Gillbert Castellan
- 18.- Applied Process Design for Chemical and Petrochemical - Plants. Tomo I y III by Ernest E. Ludwig.
- 19.- Chemical Engineer's Handbook. Perry and Chilton. Quinta Edición. Mc. Eraw Hill
- 20.- Química General. Teoría y Problemas. Quinta Edición. Daniel Schaums, B. S.
- 21.- Química General. Lee-Van Orden. Segunda Edición Interamericana.
- 22.- Termodinamic, Quinta Edición. Virgil Morning Faires
- 23.- Chemical Process Principles (Termodinamics). O.A. -