

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas.

**ANTEPROYECTO DE UNA PLANTA
PARA PRODUCCION DE
NITRATO DE AMONIO.
PARA FERTILIZANTE**



TESIS

que presenta

Ernesto González Vidales

para obtener el título de

INGENIERO QUIMICO INDUSTRIAL

México, D. F. 1963

**A mis padres, Sr. Daniel González y
Sra. Ana María Vidales de González,
en sentido homenaje a su sacrificio y
abnegación para legarme una carrera.**

SOLO LECTURA

**A mis hermanos, Salvador y Daniel,
por su apoyo y estímulo.**

**A mi querida E.S.I.Q.I.E. y al
Instituto Politécnico Nacional.**

**MI AGRADECIMIENTO AL ING.
ABRAHAM MARILES LOMELÍ,
POR SU VALIOSA Y ACERTADA
ORIENTACIÓN PARA LLEVAR A
CABO ESTE TRABAJO.**

**A MIS MAESTROS, COMPAÑEROS
Y AMIGOS, CON RESPETO Y
ESTIMACIÓN.**

calor, en donde cede calor al amoníaco para vaporizarlo y el condensado pasa por el precalentador de ácido nítrico, donde deja parte de su calor sensible.

La solución formada llena todo el reactor y cae - por un reboso a un aparato de concentración, donde se eleva su concentración a 95%, valor óptimo para la granulación.

El concentrador es un envase con serpentines de vapor saturado y con un sistema de distribución de aire - soplado que tiene la función de reducir la temperatura de ebullición de la solución concentrada, por efecto de la disminución de la tensión de vapor.

La solución concentrada pasa al granulador, donde por medio de espreas se mezcla con el polvillo que procede de las sucesivas operaciones de clasificación de la sal.

El calor de cristalización del nitrato, causa la evaporación de la casi totalidad del agua contenida en los granos formados; la humedad residual se elimina en un secador rotatorio.

El nitrato de amonio desecado pasa a un sistema - de cribas, que separan los productos finos, que vuelven a los granuladores.

El nitrato granular en dimensiones de 2 a 3 mm se introduce en un tambor rotatorio, donde los gránulos se - recubren con una sutil capa de cal en polvo procedente de unos silos de depósito. Este recubrimiento constituye una

CONTENIDO

INTRODUCCION

- I.- GENERALIDADES
 - II.- ESTUDIO DEL MERCADO
 - III.- LOCALIZACION DE LA PLANTA
 - IV.- SELECCION Y CALCULO DEL EQUIPO
 - V.- CONTROL DE LA PLANTA
 - VI.- ANALISIS ECONOMICO
 - VII.- CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

El crecimiento de los vegetales como el de los animales, requiere de la alimentación para su normal desarrollo; los vegetales extraen del suelo las materias que les son necesarias. Los minerales y las materias orgánicas que constituyen los suelos, determinan el grado de productividad para los cultivos que son posibles en él.

Muchos de los suelos son ricos o medianos en cuanto a la totalidad de sus nutrientes, pero pobres en cuanto a elementos inmediatamente utilizables. Ahora bien, todo suelo pobre por la cantidad de sus nutrientes, lo será también por la cantidad de sus elementos asimilables de inmediato, a menos que haya recibido fertilizante.

Los elementos indispensables para las plantas verdes, se clasifican teniendo en cuenta la cantidad en que éstas los consumen, en tres grupos que son:

1.- Macro elementos, que son los que en mayor cantidad requieren los cultivos. Ellos son el carbono, el hidrógeno y el oxígeno que lo toman las plantas del aire y del agua y además el nitrógeno, fósforo y potasio que los toma del suelo.

2.- Nutrientes secundarios: ellos son el azufre, calcio y magnesio. Se les llama así porque las plantas los requieren en cantidades menores.

3.- Micro elementos, llamados también elementos - traza, es decir que las plantas los absorben en pequeñas -

cantidades. Ellos son el fierro, boro, zinc, cobre, manganeso, molibdeno y cloro.

Todos y cada uno de estos elementos, son necesarios para la planta a una dieta adecuada, mostrando síntomas característicos cuando uno o más de estos elementos falta o no está presente en cantidades adecuadas, ya que desempeña cada uno cierta función en el crecimiento. La insuficiencia de nitrógeno ocasiona por lo general la pérdida del vigor de la planta, hojas pequeñas y coloración verde pálida o amarillenta.

El nitrógeno es absorbido del suelo bajo la forma amoniacal o nítrica y se combina con compuestos del carbono para formar aminoácidos, esenciales en la formación del protoplasma y en la fotosíntesis.

El contenido de nitrógeno fijo en el suelo puede aumentarse por la aplicación de una gran variedad de fertilizantes derivados del amoníaco. El amoníaco mismo, ya sea en forma anhídrida o en solución, puede ser agregado directamente. Ahora bien, el amoníaco anhidro debe transportarse bajo presión en fase líquida, lo cual trae consigo la necesidad de equipo adecuado para su almacenamiento y transporte. Además en terrenos montañosos o de origen volcánico no es fácil ni económica la mecanización que va aparejada a la aplicación de amoníaco; ésta entre otras razones hace que se emprenda la producción de formas sólidas de compuestos de amonio, para la fertilización de tie--

rras con deficiencia de nitrógeno.

HISTORIA DE LOS FERTILIZANTES NITROGENADOS.

Las investigaciones arqueológicas demuestran que el hombre ha cultivado la tierra desde hace diez o doce -- mil años. Desde esos remotos tiempos supo que la aplicación de desechos animales y otras materias incrementaba el rendimiento de las tierras. Los Céltas y otros pueblos europeos conocían el uso de cenizas de madera, estiércol, etc., en sus labores agrícolas desde muchos años antes de Cristo. En América los primeros navegantes europeos encontraron que los indios sudamericanos ya se habían dado cuenta del valor fertilizante del guano de aves marinas.

Sin embargo el uso en gran escala de materias fertilizantes nitrogenadas empezó alrededor del cambio de -- siglo. El primer fertilizante inorgánico usado fué el nitrato de sodio, que se obtenía casi por completo de los depósitos minerales de Chile, razón por la que se le llamatambién Nitro de Chile. Por esa época se disponía también -- de apreciables cantidades de sulfato de amonio proveniente de la recuperación del amoníaco subproducto del coke. Esta recuperación empezó en 1893 y se incrementó en los años sucesivos.

En la década anterior a la I Guerra Mundial, los -- procesos químicos de fijación de nitrógeno se desarrollaron y cuando ésta estalló, se intensificó la construcción -- de plantas de este tipo para usos bélicos, por los impedi--

mentos para abastecerse de nitratos chilenos.

El desarrollo de los procesos de síntesis de amoníaco y otros compuestos a partir de nitrógeno atmosférico, han abierto un campo prácticamente inextinguible al suministro de nitrógeno.

NITRATO DE AMONIO.

Las guerras tienen efectos muy importantes en los pueblos. Muchas de sus consecuencias pesan gravemente sobre la conciencia de la humanidad y sobre la economía de los pueblos, pero también grandes adelantos técnicos se han obtenido de ellas. Un ejemplo de esto es el desarrollo y uso del nitrato de amonio, que tuvo aplicación importante en la fabricación de explosivos y actualmente en la de fertilizantes.

El nitrato de amonio se ha fabricado con fines bélicos desde hace más de 50 años, ya que es uno de los principales componentes de los explosivos que se emplearon en la I Guerra Mundial; el amatol contiene 80% de nitrato de amonio y 20% de T.N.T., el ammonal está compuesto principalmente de nitrato de amonio, con pequeñas cantidades de aluminio y a veces carbón de madera.

El primer interés serio en el nitrato de amonio como fertilizante, empezó después de la I Guerra Mundial cuando en 1919 el Departamento de Agricultura de EE. UU. en cooperación con el Departamento de Guerra, llevó a cabo en el laboratorio pruebas de fijación de nitrógeno, --

para obtener información sobre el valor fertilizante de va
rios productos nitrogenados.

Este trabajo demostró la completa utilidad del ni--
trato de amonio como alimento nitrogenado inorgánico, pe
ro las muestras absorbían humedad y se hacían pasta de --
tal manera que el producto se clasificaba desfavorablemente
por sus propiedades físicas. Por otra parte era costoso
y se disponía de otras fuentes de nitrógeno. La posibilidad
de usar el nitrato de amonio permaneció en receso hasta --
1935 en que se empezó a usar en solución para amoniar el -
superfosfato.

Mientras tanto en Europa se desarrollaban técnicas
para elaborarlo en gran escala. Los ingleses durante la --
guerra habían amoniado el nitrato de Chile, convertido el -
nitrato de calcio a nitrato de amonio y habían hecho reac--
cionar el sulfato de amonio con nitro chileno, obteniendo --
nitrato de amonio de la solución, por cristalización fracciona
da.

Mientras se acercaba la II Guerra Mundial, los alema
nes afirmando que el ácido sulfúrico era de mucho valor
para usarlo en fabricar sulfato de amonio y de que produ--
cía una condición ácida más desfavorable en los suelos que
los nitratos, desarrollaron procesos satisfactorios para --
neutralizar el amoníaco del gas de coke con el ácido nítri--
co.

En Australia, al principiar la II Guerra Mundial. --

Cresswick patentó una adaptación del método de metatesis que los ingleses usaron anteriormente. Su método emplea la reacción del sulfato de amonio con el nitrato de sodio a 58 - 62° C. con un gran exceso de nitrato de sodio; en lugar de cristalizar fraccionadamente el nitrato de amonio, ambos se extraen con alcohol desnaturalizado.

Los rusos han investigado minuciosamente las propiedades físicas del nitrato de amonio y métodos para producir un material no hidroscópico. (Este trabajo en una planta para granular nitrato de amonio, se describe en un artículo por Dubovtzkii).

Parallman sugirió que secando los cristales abajo de 0° C. podía prevenir el empastamiento; Ross y Miller discuten las propiedades del material granular monocristalino. Varios métodos se han adoptado para vencer esta característica, incluso cierto número de tipos de recubrimiento como caolín, cera, diatomita, fosfato tricálcico, etc. Hauff y Holmes proponen mezclar los gránulos de nitrato de amonio con una proporción pequeña del amino producto que resulta de la reacción del nitrato de amonio con el óxido de zinc. Las mezclas de nitrato de amonio con carbonato de calcio, comunmente se llevan a cabo en Europa como medida de seguridad contra el empastamiento.

Debido a la II Guerra Mundial, una serie de factores revivieron en EE. UU. el interés por el nitrato de amonio sólido. Las deficiencias del tipo de producto manufac-

turado durante la guerra anterior, se redujeron por cambios en los procesos para dar partículas más grandes (para exponer menos superficie de humidificación a la atmósfera) y las partículas se recubrieron con un agente antiempastante y con o sin un repelente a la humedad, para introducirlo al mercado de los fertilizantes.

A partir de 1943 entró al mercado el nitrato de amonio en cantidades tales que hizo sentir su importancia económica y es hoy una de las mayores fuentes de nitrógeno nutriente, por su gran solubilidad y rápida asimilación.

EL NITRATO DE AMONIO EN MEXICO.

El nitrato de amonio es uno de los fertilizantes que se han usado en México desde hace muchos años, pero no fué sino hasta 1959 cuando se empezó a producir en el país por "Fertilizantes de Monclova, S. A.". Posteriormente en 1961, "Fertilizantes del Istmo, S. A." puso en operación su planta de nitrato de amonio en Minatitlán, Ver. Sin embargo, debido a la tecnificación de las labores agrícolas en nuestras tierras de labor, la producción nacional de nitrógeno asimilable es todavía insuficiente para poder satisfacer la creciente demanda, teniendo que cubrirse el déficit con importaciones; por lo que debe emprenderse la instalación de nuevas plantas productoras de fertilizantes nitrogenados que reduzcan dichas importaciones.

En el presente trabajo se discuten los aspectos técnicos y económicos tendientes a la instalación de una plan-

ta de nitrato de amonio para uso fertilizante, en la República Mexicana, atendiendo a una mejor distribución de los fertilizantes nitrogenados en el mercado nacional.

SOLO LECTURA

CAPITULO I

GENERALIDADES

El nitrato de amonio es una sal proveniente de la neutralización del ácido nítrico y el amoníaco:



Fué preparado por primera vez por Glaubert, quien lo llamó "Nitrum Flamans" (explota de repente al calentarlo), deflagra con una llama amarilla por encima de los 250°C . como se muestra en la siguiente reacción:



Esta reacción es controlable, pero a temperaturas superiores se efectúa la reacción:



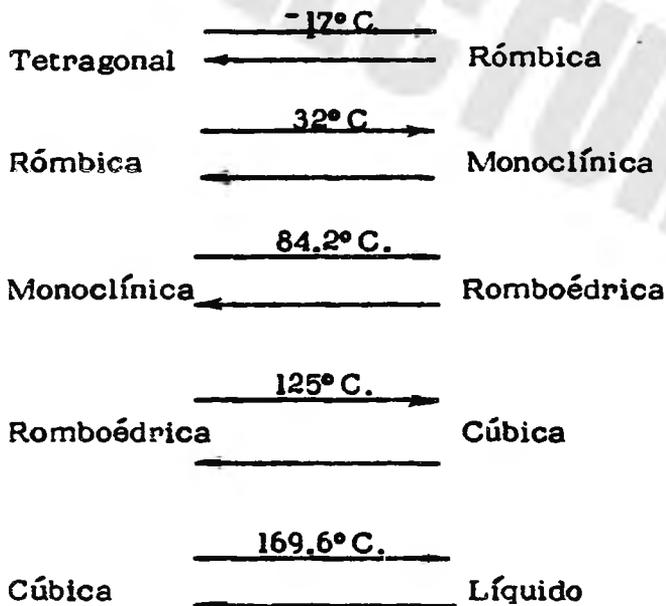
Los productos de esta reacción son gaseosos y la reacción es tan violenta que produce una explosión. Uno de los productos es oxígeno y si hay presente materia orgánica u otro material oxidable, la velocidad de detonación, la fuerza de explosión y lo que es más importante, la facilidad de iniciación de la explosión se incrementan. De aquí su uso en la industria bélica.

Su composición, con un contenido de nitrógeno asimilable por las plantas de 35% (17.5% como nitrógeno amoniacal y 17.5% bajo la forma nítrica) le han hecho un fertilizante muy importante en la actualidad.

Tiene otros usos menores pero importantes, en la fabricación de óxidos de nitrógeno para uso anestésico. - Este gas se forma calentando el nitrato bajo condiciones bien controladas a temperaturas superiores a 200°C .

Se disuelve fácilmente en agua con absorción de calor, por ello se ha usado como refrigerante, alcanzándose una baja temperatura cuando se disuelve una gran cantidad de sal en poca agua.

Es un sólido blanco que se presenta en cristales bien definidos, que existen en 5 formas cristalográficas diferentes, con temperaturas transicionales bien definidas como se muestra en el siguiente esquema:



El nitrato de amonio funde a 169,6°C. al estado - - anhidro. La temperatura de fusión de la sal ordinaria que contiene un poco de humedad, está representado en la gráfica No. 1, en función del por ciento de humedad contenido.

A continuación se dan algunas de las constantes físicas de esta sal:

Fórmula	NH_4NO_3
Peso molecular	80,05
Calor de disolución	-6,47 Kcal/mol
Calor de fusión	1 460 cal/mol
Peso específico (sólido)	1,66
Calor específico a presión constante, Cp.	31,8 cal/g mol °C.

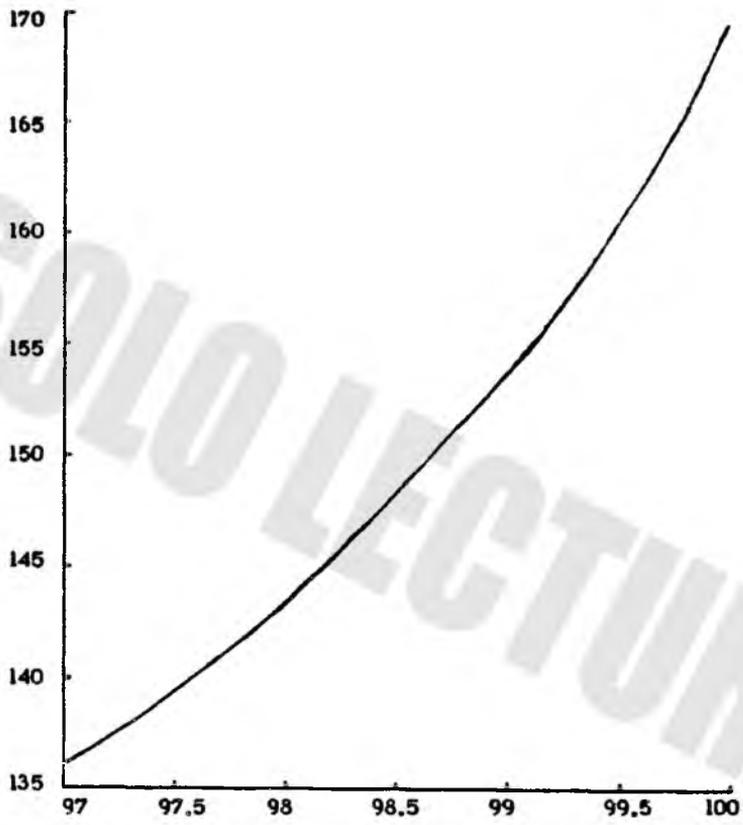
Para soluciones de nitrato de amonio, los valores - del calor y del peso específico están representados en las gráficas 2 y 3.

La solubilidad del nitrato de amonio varía con la - temperatura como en la siguiente tabla:

Tabla No. 1.- Solubilidad del nitrato de amonio a diferentes temperaturas. (g. en 100 g. de agua)

Temp. °C.	g	Conc. %	Temp. °C.	g	Conc. %
0	118,3	54,2	60	421	80,4
20	192,0	65,2	70	499	83,5
30	241,8	71,1	80	580	85,2
40	297,0	74,8	90	740	88,1
50	344,0	77,7	100	871	89,6

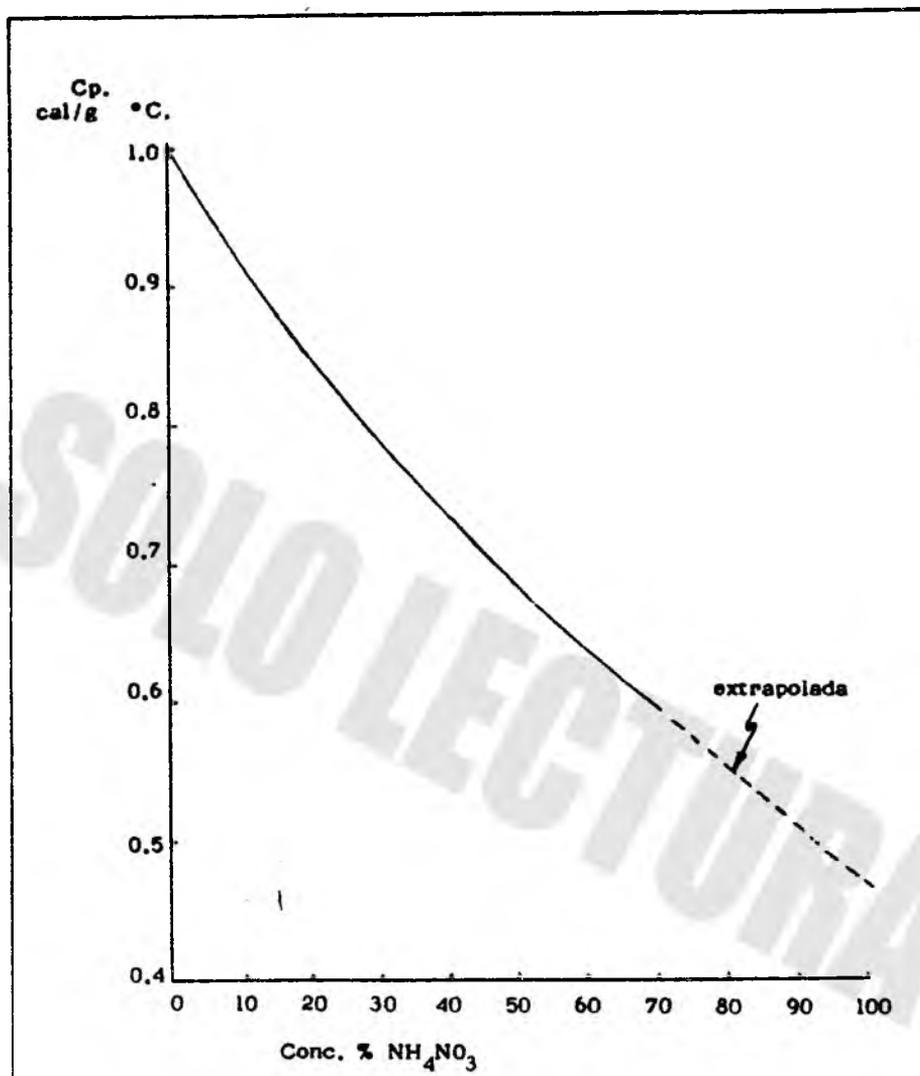
Temp. °C.



% NH₄NO₃

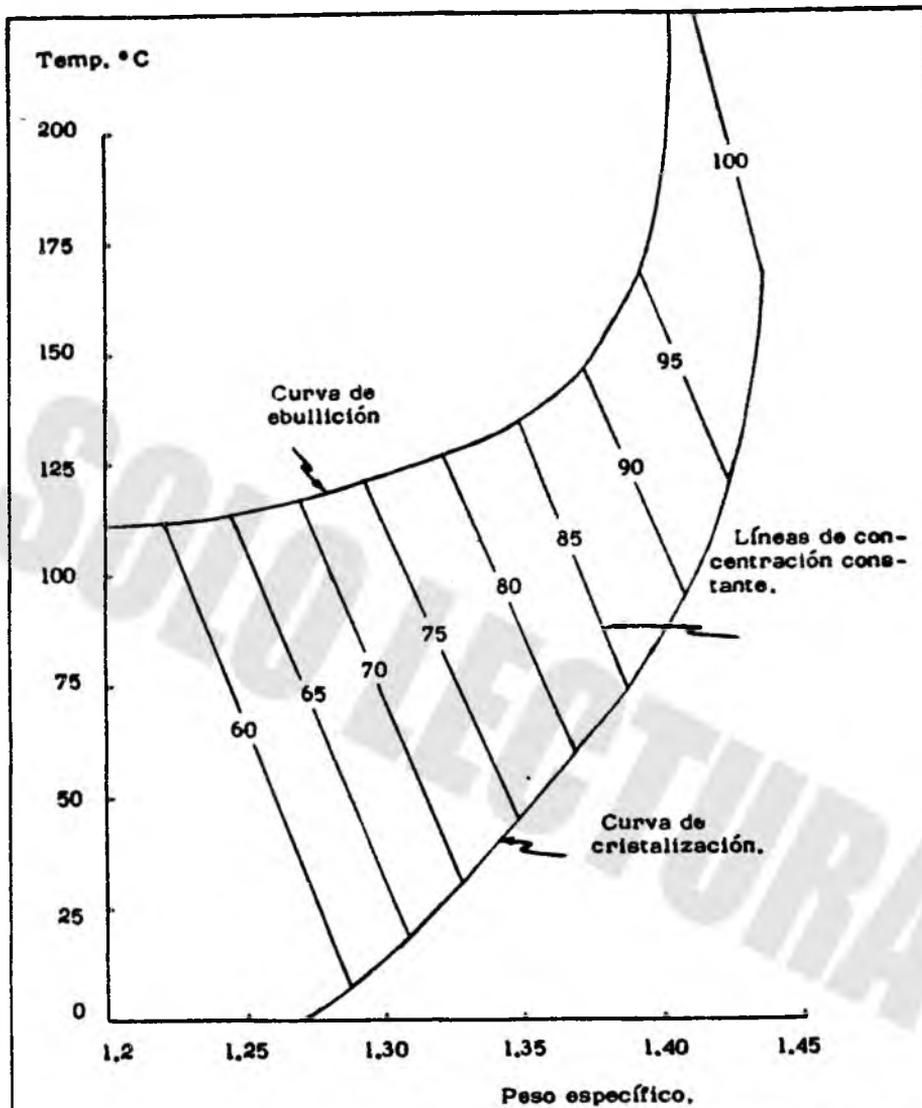
Graf. No. 1.- CURVA DE CRISTALIZACION DE SOLS. DE NITRATO DE AMONIO.

I.P.N.	E. González
E.S.I.Q.I.E.	Teels prof.



Graf. No. 2.- CALOR ESPECIFICO VS. CONCENTRACION - DE SOLUCIONES DE NITRATO DE AMONIO.

I.P.N.	E. González
E.S.I.Q.I.E.	Tesis prof.



Graf. No. 3.- PESO ESPECIFICO, CURVAS DE EBULLICION Y CRISTALIZACION PARA SOLS. DE NITRATO DE AMONIO

I.P.N.	E. González
E.S.I.Q.I.E.	Tesis prof.

La temperatura de ebullición de las soluciones de nitrato de amonio se incrementa con la concentración, como se muestra en la gráfica No. 3.

OBTENCION INDUSTRIAL.

El nitrato de amonio se obtiene a partir de 2 materias primas; el amoníaco y el ácido nítrico. El ácido nítrico se obtiene también del amoníaco, por oxidación de él en presencia de un catalizador de platino. Así pues el amoníaco es el punto de partida para elaborar nitrato de amonio. Frecuentemente las plantas necesarias para obtener las dos materias primas y el producto final, se construyen en el mismo predio.

Actualmente se han desarrollado y se tienen operando cuatro procesos comerciales para elaborar este poderoso fertilizante, presentándolo cada uno de ellos en diferente forma. Ellos son:

1.- Proceso Stengel.- que produce el nitrato de amonio en forma irregular.

2.- Proceso Fauser Montecatini.- que lo presenta en forma de granulado. Este proceso es muy usado en Europa.

3.- Proceso Prilling.- cuyo producto es en forma de perdigones, o sea esferitas de 2 a 3 mm de diámetro. Este proceso iniciado en Canadá, es el más usado actualmente en América.

4.- Proceso por cristalización al vacío.- que como su nombre lo indica, presenta el producto en forma de cristales regulares.

Cada uno de estos procesos se describirá aquí brevemente.

PROCESO STENDEL.

En el proceso Stengel la reacción se efectúa en un reactor tubular empacado, sin más adición de agua que la contenida en el ácido nítrico. Los empaques sirven como superficie de reacción y condensación.

El ácido nítrico se bombea al reactor a través de un precalentador de acero inoxidable y de un calentador de tántalo. La proporción de flujo de ácido nítrico se regula por medio de rotámetros, de acuerdo a la cantidad de amoníaco que entre al reactor, el cual se ha vaporizado y sobrecalentado previamente.

El nitrato de amonio sale del reactor por la parte inferior a través de un separador que elimina el vapor de agua y el amoníaco que no ha reaccionado. La parte de centrifugación del separador colecta la solución que fluye hacia la parte empacada del separador. El nitrato pasa a través de la sección empacada en contracorriente con aire previamente calentado y filtrado que se alimenta al separador por la parte baja; el aire al subir por entre los empaques arrastra el vapor de agua reduciendo el contenido de humedad a aproximadamente 0.2%. Del separador

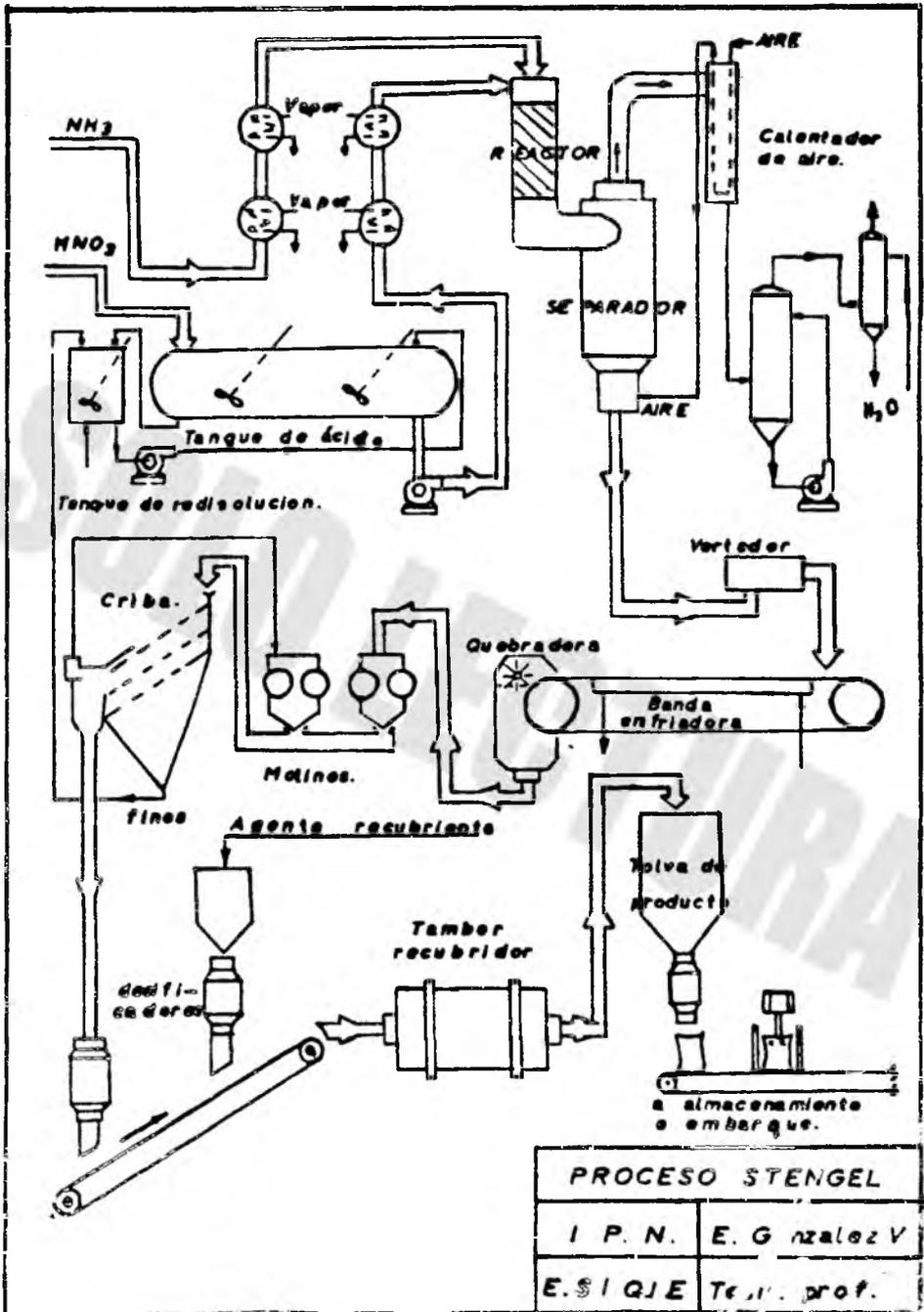
el nitrato de amonio va al tanque de balance.

El vapor que arrastra el aire pasa por el calentador de aire y va a un condensador parcial, donde se le quita el nitrato de amonio que arrastró la corriente de vapor. Este condensador mantiene una recirculación de condensados a través de él hasta que la concentración de nitrato llega a ser suficientemente alta. Un controlador de peso específico manda el flujo al tanque de carga de ácido nítrico. Los vapores pasan luego al condensador final - - donde se enfrían con agua.

El tanque de balance divide la corriente de nitrato de amonio en 4 corrientes menores e iguales, que van a 4 bandas de acero inoxidable, las bandas son de 80 cm de ancho y 0.1 cm de espesor, con una longitud efectiva de enfriamiento de 12 m. La velocidad de la banda puede regularse entre 6 y 30 m/min. (20 y 100 pies por minuto). Por la parte baja de la banda se encuentra un recipiente con agua de enfriamiento de tal manera que la superficie del agua está en contacto con la cara interior de la banda. La sal se endurece formando una hoja continua de - - 60 cm a 65 cm de ancho y 0.3 cm de espesor.

Al final de la banda la hoja pasa a una quebradora que tiene un eje rotatorio con paletas radiales, que rompen la hoja en pedazos para facilitar su manejo.

Los pedazos de nitrato de amonio se llevan por medio de un transportador de banda a un molino de marti



llos, para reducir su tamaño y de ahí pasan a un tamiz vibratorio, el cual da un producto de 5 a 20 mallas; los pedazos grandes se devuelven al molino mientras los chicos se disuelven y se bombean al tanque de carga de ácido nítrico.

El producto va a un dosificador de balanza que descarga automáticamente partidas de 45 Kg de nitrato de amonio a una banda transportadora. Un segundo dosificador descarga 1.5 Kg de tierra diatomácea que se usa como agente recubriente. El transportador descarga en un tambor rotatorio, donde las partículas de nitrato se cubren completamente y de aquí se pasa el producto por medio de un elevador de canjilones a la tolva de empaque, donde se descarga en sacos de papel, en cargas de 50 Kg.

PROCESO FAUSER MONTECATINI.

El amoníaco, proveniente de la planta que lo produce, pasa por un vaporizador antes de entrar al reactor. El ácido nítrico de 53 % de concentración se introduce al reactor después de ser precalentado a expensas del calor de reacción, al igual que el amoníaco.

El reactor es un cuerpo cilíndrico de eje vertical con el fondo abombado, que contiene un cabezal para la distribución de amoníaco y de una tolva para la entrada del ácido nítrico. La reacción es exotérmica, generándose vapor de agua que va hacia la parte superior y después de atravesar un separador de niebla llega a un cambiador de

calor, en donde cede calor al amoníaco para vaporizarlo y el condensado pasa por el precalentador de ácido nítrico, donde deja parte de su calor sensible.

La solución formada llena todo el reactor y cae por un reboso a un aparato de concentración, donde se eleva su concentración a 95%, valor óptimo para la granulación.

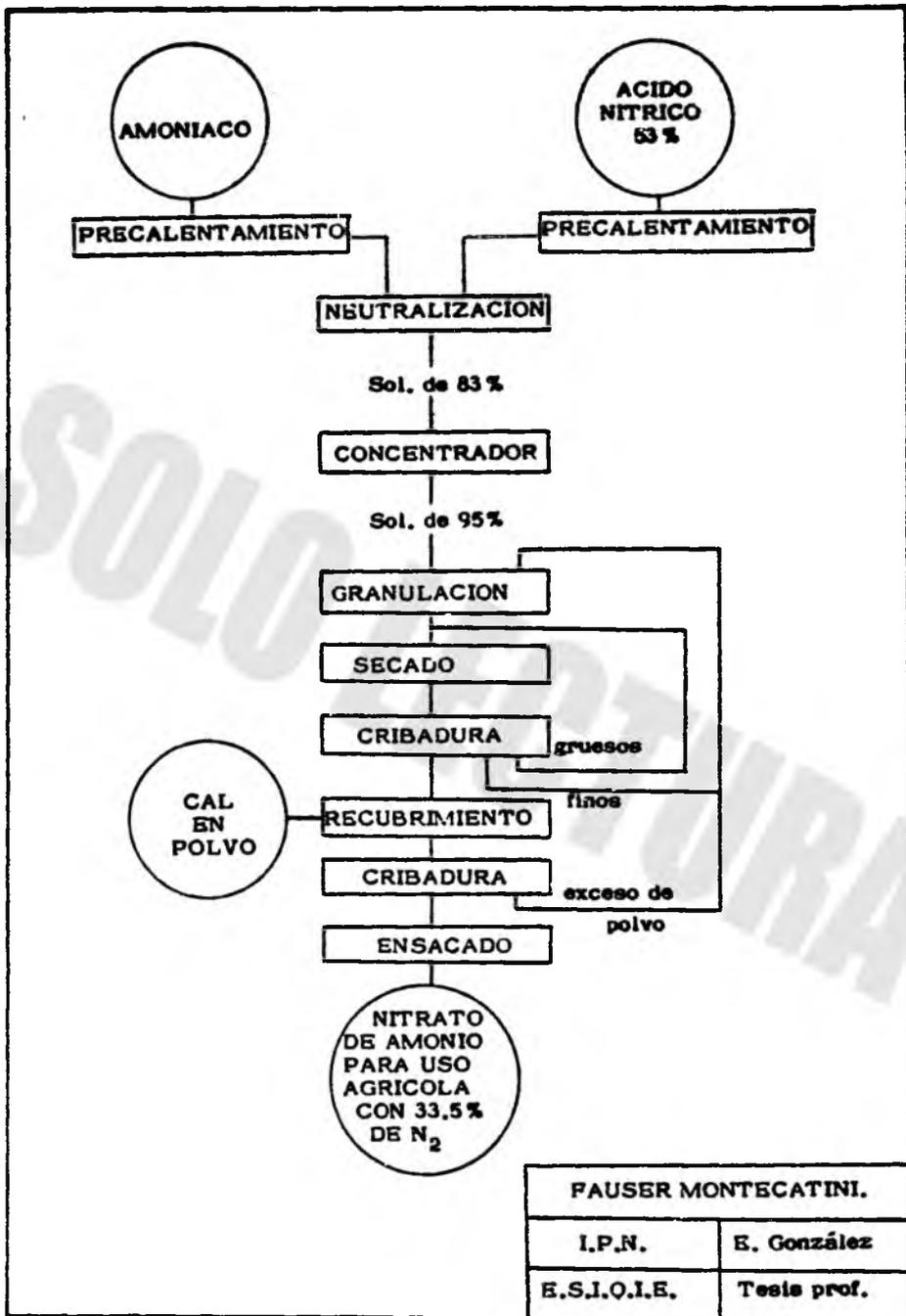
El concentrador es un envase con serpentines de vapor saturado y con un sistema de distribución de aire soplado que tiene la función de reducir la temperatura de ebullición de la solución concentrada, por efecto de la disminución de la tensión de vapor.

La solución concentrada pasa al granulador, donde por medio de espreas se mezcla con el polvillo que procede de las sucesivas operaciones de clasificación de la sal.

El calor de cristalización del nitrato, causa la evaporación de la casi totalidad del agua contenida en los granos formados; la humedad residual se elimina en un secador rotatorio.

El nitrato de amonio desecado pasa a un sistema de cribas, que separan los productos finos, que vuelven a los granuladores.

El nitrato granular en dimensiones de 2 a 3 mm se introduce en un tambor rotatorio, donde los gránulos se recubren con una sutil capa de cal en polvo procedente de unos silos de depósito. Este recubrimiento constituye una



FAUSER MONTECATINI.	
I.P.N.	E. González
E.S.I.Q.I.E.	Tesis prof.

protección contra la humedad atmosférica.

El exceso de cal se separa en el curso de una segunda operación de cribadura; este polvillo y el obtenido en la primer cribadura se envían por medio de un transportador a los granuladores, donde se empastan con la solución procedente de los granuladores para formar más gránulos.

El producto terminado se envasa en sacos impermeables y sellados.

PROCESO PRILLING.

Esencialmente este proceso consiste en alimentar a unas regaderas solución de nitrato de amonio concentrada y caliente, las regaderas, situadas en lo alto de una torre permiten a las gotas caer por el interior de ésta donde se enfrían y solidifican mientras caen, produciendo unas esferitas de 2 a 3 mm que se denominan "prills" o perdigonos.

La primera planta de este tipo fué construída por la Nitrogen Products Ltd, como una manera de crear partículas esféricas uniformes en un proceso continuo y contaba con una torre de 2 metros cuadrados de area y 23 m de altura; actualmente la Canadian Research and Developments Ltd, usa aún el proceso básico, sin embargo se han hecho varias modificaciones al proceso original y actualmente existen torres de 15 a 65 m de alto y con diferentes sistemas de aspersión.

Con el tremendo crecimiento del uso del nitrato de amonio como fertilizante, el proceso Prilling es el más importante en los EE. UU., ya que a una mejor presentación añade la verdad de que partículas de forma y tamaño uniforme reducen la posibilidad de empastamiento.

La planta consta esencialmente de un neutralizador, donde se forma el nitrato de amonio a partir de sus dos componentes, amoníaco y ácido nítrico.

El ácido nítrico de concentración de 53 a 57% se bombea al neutralizador de unos tanques verticales de almacenamiento en la planta de ácido. El amoníaco, proveniente de la planta que lo produce, entra el neutralizador después de haber pasado por un cambiador de calor que lo vaporiza; puede usarse también el amoníaco residual de una planta de urea, que frecuentemente se construye cercana a esta planta.

El neutralizador es un tanque cilíndrico, al fondo del cual se introduce el amoníaco y el ácido nítrico por dos tubos distribuidores rectos y horizontales con perforaciones de 0.64 cm (1/4 pulg.) para el amoníaco y de 0.32 cm (1/8 pulg.) para el ácido, distantes 5 cm (2 pulg.) entre sí. La agitación se lleva a cabo por medio de la entrada de reactantes y del vapor generado por la reacción, que mantiene la solución en ebullición; la velocidad de reacción es muy rápida, por tanto la operación de neutralización se controla con la velocidad de adición de reactantes; la reac

ción puede efectuarse a cualquier temperatura, sin embargo una vez que ha alcanzado el neutralizador 130°C . - se mantiene isotérmicamente, concentrando la solución - de 6l a 83 % .

El vapor generado por la reacción sale por un separador de niebla a la chimenea del neutralizador, que lo lleva al vaporizador de amoníaco que ya se mencionó anteriormente.

Existe un serpentín de vapor en la parte baja del neutralizador que se emplea solamente cuando se para la unidad y que se necesita mantener la solución caliente. - Al arrancar se requiere también meter vapor vivo a la chimenea del neutralizador para vaporizar el primer amoníaco que entrará al neutralizador.

La solución de nitrato de amonio sale del neutralizador por una tubería de derrame a 2,40 m (8 pies) del fondo, por tanto los dos distribuidores están a una presión hidrostática de unos 2,10 m (7 pies) de solución que previene pérdidas de ácido por la chimenea.

Es interesante comparar la similitud de este proceso con el Fauser Montecatini, usado en Italia y otras partes de Europa, en el proceso Fauser Montecatini el calor de reacción se utiliza para efectuar toda la concentración de la solución; la temperatura de ebullición del ácido nítrico es menor que el de la solución de nitrato y Fauser llevó a cabo su proceso original a 8-9 atm. de pre

sión, posteriormente modificó su proceso para utilizar también la presión hidrostática de la solución.

La solución rebosa pues del neutralizador al tanque de bombeo de solución de 83 %; una pequeña parte de amoníaco se introduce aquí para mantener la solución neutra o ligeramente alcalina, ya que soluciones ácidas representan un peligro mayor de descomposición en el evaporador, siguiente paso del proceso, adonde se le envía para su concentración; de este tanque puede enviarse también la solución a otras unidades que elaboren mezclas fertilizantes más complejas o para formar con más amoníaco, la solución conocida como "ammonia nitro ammonia".

El evaporador es del tipo de película de escurrimiento (falling film) con tiro forzado de aire, recomendables para soluciones sensibles a la temperatura alta. La solución entra al evaporador por la parte superior a un distribuidor y baja en forma de película por dentro de unos tubos verticales que actúan como superficie de calefacción, por fuera de los tubos, vapor de 13.6 Kg/cm^2 (200 lb/pulg²) proporciona el calor necesario; el agua evaporada es arrastrada con aire caliente que fluye a contracorriente rumbo a la chimenea.

El aire es alimentado al evaporador por medio de un ventilador, después de pasar por un cambiador de calor que calienta el aire con vapor.

Del fondo del evaporador se obtiene nitrato de amonio con un contenido de humedad de 0.4% aproximadamente.

El proceso original ocupaba un evaporador al vacío, que trabajaba a 445 mm de Hg de presión absoluta, — manteniéndose el vacío por medio de un eyector con vapor, obteniéndose una concentración de 95%; procesos — posteriores utilizan evaporadores de doble efecto, con una concentración intermedia de 93% y una final de 95% a las que una vez solidificadas se les reduce la humedad a — — — 0.2% en varios secadores en serie.

La solución concentrada que sale del evaporador — se recibe en el tanque de solución concentrada, de donde — se bombea al tanque superior, en la parte alta de la torre, del fondo del cual sale el nitrato por varios distribuido— res a las regaderas. Ambos tanques y todas las tuberías que conducen la solución concentrada tienen camisa de va— por para evitar la solidificación de la solución dentro de — ellos.

Las gotas de nitrato de amonio caen a lo largo de la torre en contracorriente con aire inducido por medio — de ventiladores colocados en la parte superior de la torre el prill se enfría y solidifica antes de llegar al fondo de la torre.

El calor que cede la cristalización del nitrato de — amonio, evapora parte de la humedad residual y en el fon— do de la torre se obtienen perdigones con 0.2% de hume—

dad o menos, los cuales se remueven de ahí por medio de un transportador oscilatorio que los alimenta al enfriador.

Dentro de la torre suelen formarse acumulaciones de nitrato por diversas causas; esos terrones se eliminan por medio de un enrejado colocado encima del transportador, que los envía a un tanque de redisolución.

En las plantas donde se efectúa el prilado con soluciones de 95% de concentración, se obtiene el prill con 4% de humedad, los cuales se alimentan a un presecador rotatorio, donde en contracorriente con aire reduce su humedad a 2% y de ahí va a un secador también rotatorio y de dimensiones semejantes al anterior, de donde se obtiene un producto con 0.6% de humedad y de ahí entra al enfriador.

Con el proceso reciente se han eliminado estos enormes tambores (2 m de diámetro por 12 ó 15 m de largo) a más de reducción en el equipo, (transportadores, elevadores, ventiladores, etc...) con lo que se ha simplificado el proceso y se han reducido los costos de inversión y mantenimiento considerablemente.

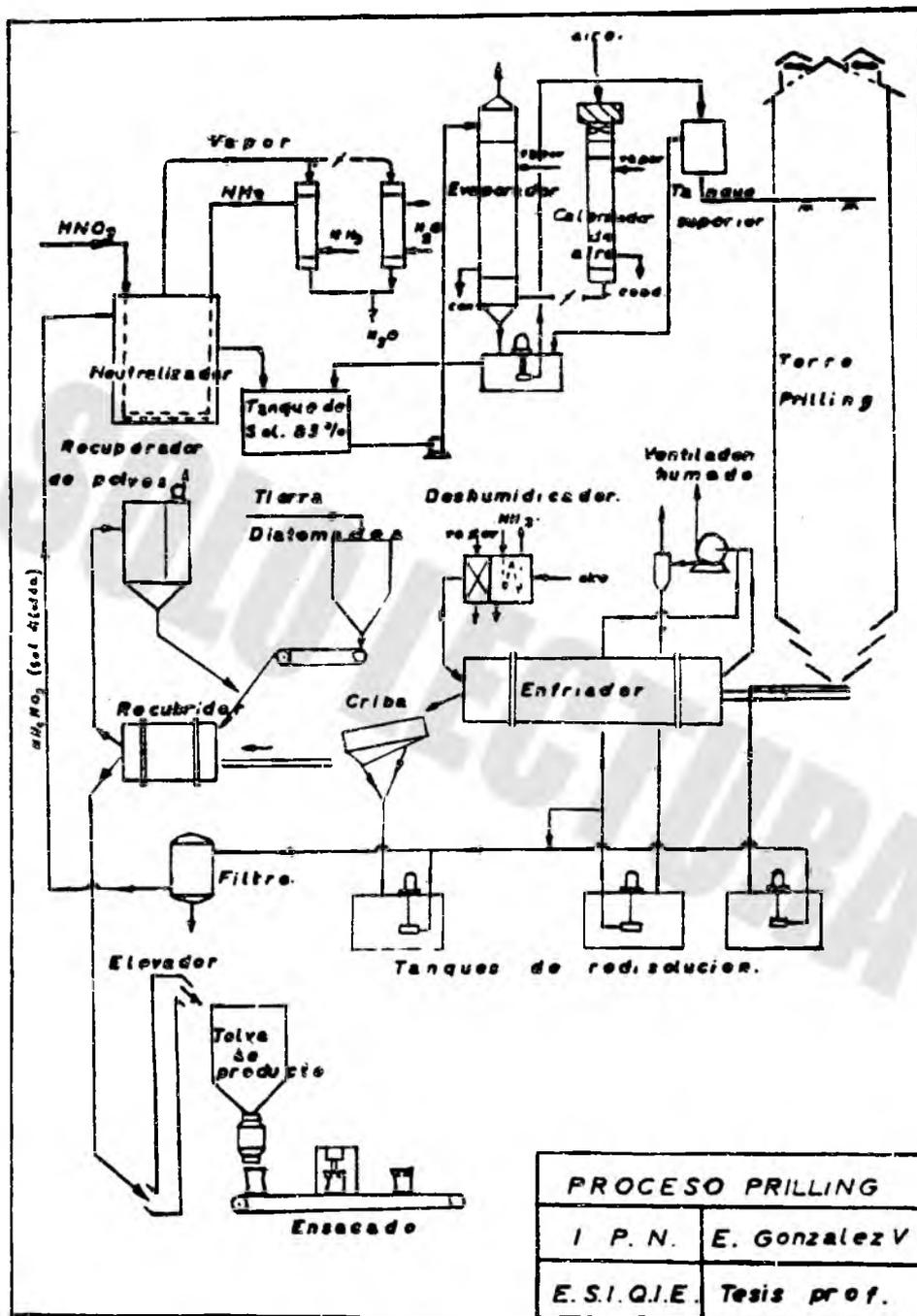
El enfriador es también un tambor rotatorio, en que el aire que se hace circular a contracorriente pasa antes por un deshumidificador-calentador, donde se cuenta con un serpentín de refrigeración con amoníaco, que condensa parte de la humedad del aire y después otro ser

pentín con vapor que calienta el aire a 35° C. antes de entrar al enfriador. El aire es inducido por un ventilador de tipo húmedo que descarga en un ciclón, donde se disuelven los polvos finos que arrastró el aire. La solución se envía a un segundo tanque de redisolución, de donde se recircula al ventilador húmedo.

Del enfriador los prilles salen a una temperatura de 40° C. aproximadamente y van a una criba clasificadora, aquí se separan las partículas de 5 a 20 mallas y las mayores y menores de ese tamaño se redisuelven en un tercer tanque. Las soluciones de estos tres tanques, cuando han alcanzado una concentración de 60% se envían al neutralizador para su recuperación.

De la clasificadora el nitrato es alimentado por medio de un transportador oscilatorio al recubridor, que es un tambor rotatorio de dimensiones más chicas que el enfriador (1,80 m de diámetro y 5 m de largo) donde se alimenta también tierra diatomácea en cantidad regulada por una banda cuya velocidad puede ser controlada por un reductor de velocidad variable, de acuerdo a la cantidad de nitrato alimentado al recubridor. De este tambor el producto sale recubierto y se envía a través de un elevador y una banda a la tolva de ensacado.

La temperatura del producto en los últimos pasos debe ser por lo menos 5° C. superior a la temperatura ambiente, para reducir la posibilidad de absorción de hume--



PROCESO PRILLING	
I P. N.	E. Gonzalez V
E.S.I.Q.I.E.	Tesis prof.

dad antes del ensacado, el cual se hace por medio de una máquina cosedora y un mecanismo de unión con papel en gomado, en sacos de multibolsas de papel, la interior encerada o con revestimiento plástico.

El exceso de tierra que pueda alimentarse al recubridor, se recupera por medio de un colector de polvos y un ventilador que extrae dicho polvo a la salida del recubridor; el polvo recuperado se recircula.

Las plantas de reciente construcción usando este proceso, han reducido considerablemente el costo físico de la planta así como el de mantenimiento (al reducir sus operaciones de evaporación y secado) en más de un 25% - lo que ha hecho que este proceso sea el más usado en --- América.

PROCESO POR CRISTALIZACION AL VACIO.

La producción de nitrato de amonio en planta piloto por cristalización al vacío, ha sido descrita por Miller y Laerman (22), su trabajo condujo a la construcción de una planta en Willson Dam., Alabama por la Tennessee Valley Authority (T.V.A.) para disponer de un proceso más seguro que el proceso de granulación que había estado en uso.

Los pasos de operación de la planta son neutralización, purificación y concentración del producto; el material estandar de construcción de la planta es acero --- inoxidable tipo 430 A.I.S.I.

Todo el equipo con excepción del tanque de almacenamiento y el tanque de asentamiento están bajo techo, la parte del edificio que protege a los cristalizadores está aislada y se mantiene a 40° C. de temperatura desde un cuarto central de control.

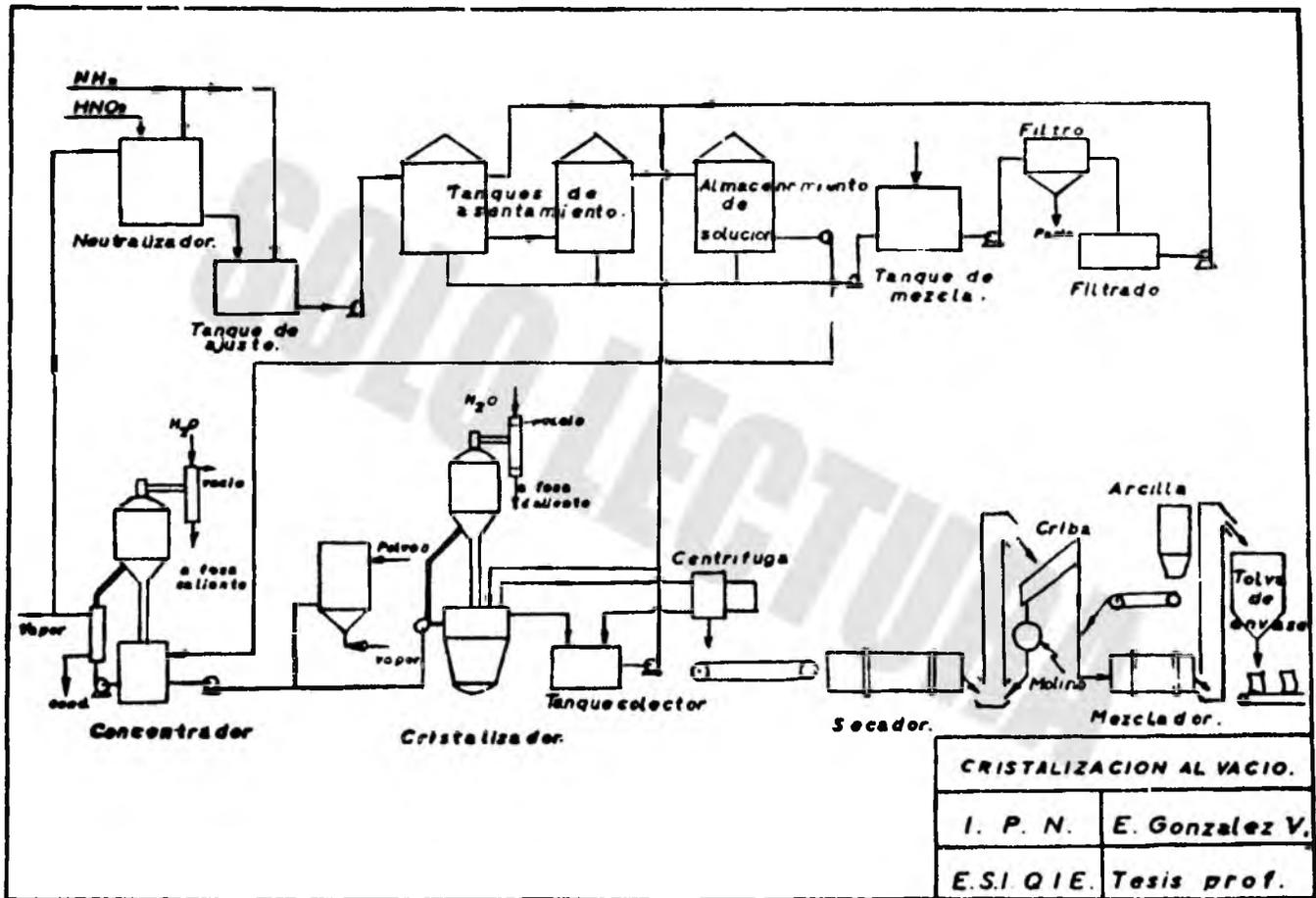
Neutralización.- La reacción se lleva a cabo en cuatro neutralizadores operados en paralelo, que son tanques cilíndricos de 3 m de diámetro y 3 m de alto; el amoníaco entra cerca del fondo a través de una regadera y el ácido nítrico de 42% entra arriba de él. La adición de reactantes se regula automáticamente por un controlador de p.H. para producir una solución que tenga un p.H. de 0.7; la solución fluye continuamente a un tanque de ajuste, en donde se agrega amoníaco para completar la neutralización y llevar el p.H. de la solución a 6.4 por medio de un control automático. El calor de reacción mantiene la solución en ebullición, obteniéndose una solución de 56% de concentración.

Purificación.- La solución neutralizada contiene 0.03% de hidróxidos de fierro y aluminio precipitados, los cuales afectan adversamente la cristalización al permitirseles acumularse; estas impurezas se separan como lodos en los tanques de asentamiento, los lodos, que contienen 0.7% de sólidos se les agrega filtro ayuda y se les bombea a través de un filtro a presión para recuperar la solución de nitrato; la pasta filtrada se lava, se le agrega agua y se descarga al drenaje. Las impurezas --

proviene de las torres de ladrillo de la planta de ácido que existe en esa fábrica de la T.V.A. en Alabama; es probable que un ácido de una planta más moderna pueda ser suficientemente puro para evitar este paso.

Concentración.- La solución purificada se concentra en cuatro evaporadores al vacío de circulación forzada operados en paralelo, que trabajan a 63 mm de Hg; el control de la temperatura de los evaporadores se lleva a cabo por regulación automática del vapor y la concentración del licor se controla por reguladores de flujo al condensador barométrico; el licor normalmente deja los evaporadores a 60° C. y 79 % de concentración; 1 % abajo de la saturación.

Cristalización.- La planta tiene 5 cristalizadores al vacío que operan en paralelo para producir 200 toneladas diarias de nitrato de amonio; la solución proveniente del evaporador se alimenta a la bomba de recirculación que la envía al vaporizador, ahí se provoca una sobresaturación por medio de evaporación y enfriamiento y la solución sobresturada se alimenta a la parte inferior del tanque de suspensión con suficiente velocidad (2-3 m/seg) para evitar que los cristales se depositen; se mantienen alrededor de 40 000 Kg. de cristales en suspensión con objeto de promover el crecimiento de cristales claros y grandes. La solución se recircula al vaporizador y el producto se extrae continuamente del tanque de suspensión por medio de inyección de aire.



La temperatura de la solución se mantiene a 38°C, por medio de un control automático, temperatura satisfactoria para la cristalización.

El peso de los cristales en suspensión se registra y se mantiene a menos de 0,05%; se ha encontrado que — cuando se excede este valor, el tamaño de los cristales — disminuye.

Secado y manejo.— Gran parte del agua que traen los cristales se elimina por medio de centrifugas que operan a 350 r.p.m.; no se usa lavado y los cristales se secan hasta 1-2% de humedad, reduciéndose ésta posteriormente a 0,05% en un secador rotatorio con circulación de aire caliente a contracorriente.

Del secador los cristales pasan a través de una — zaranda para eliminar los pedazos mayores de 4 mallas y después el producto se acondiciona para evitar el empastamiento durante su almacenamiento, mediante una mezcla con 4% de arcilla en un depósito de mezcla. Los cristales así acondicionados se embolsan en sacos de 50 Kg. y se garantizan con un mínimo de 33% de nitrógeno.

BREVE DISCUSION DE LOS PROCESOS.

De los procesos aquí descritos puede decirse que — tienen 3 pasos esenciales que son: neutralización, evaporación y cristalización, que se usarán cor. — base de comparación entre ellos desde 3 puntos de vista; inversión inicial, gastos de operación y seguridad.

1.- Neutralización.- Stengel hace la neutralización en un reactor empacado que le permite la recuperación más amplia del calor de reacción, logrando toda la concentración de la solución a base de este calor. Sin embargo el monto de inversión es más alto que el necesario en los procesos Prilling y Fauser Montecatini, que utilizan solo tanques cilíndricos y que recuperan también gran parte del calor de reacción. Por otro lado, como puede verse en la tabla No. 2 el aprovechamiento de ese calor no representa un ahorro considerable de vapor en la planta. La neutralización en el proceso por cristalización al vacío se efectúa en 2 pasos; esto permite operar a más bajas temperaturas con menores pérdidas de amoníaco, pero se requiere un equipo más costoso y más material en proceso. Además la temperatura en los reactores Fauser y Prilling están bastante lejos de la temperatura de descomposición del nitrato. El proceso Stengel, aún cuando opera a temperaturas cercanas a los 190°C . la capa de vapor que cubre la sal fundida durante su permanencia en el reactor y el separador, lo hacen exento de peligro.

2.- Evaporación.- La evaporación la efectúa Stengel en un cuerpo empacado y el proceso Prilling en un evaporador de película, logrando ambos concentraciones muy altas, lo cual elimina la operación de secado a la que tienen que enfrentarse los otros 2 procesos.

3.- Cristalización.- La operación de cristaliza--

ción es la responsable de la forma y de la presentación final del producto. El proceso Prilling produce partículas más uniformes que disminuyen las posibilidades de formación de terrones y ofrecen una mejor presentación. La operación de granulación es la más costosa y problemática, a más de que se obtiene un producto con gran variedad de tamaños.

La cristalización en el proceso de la T.V.A., produce partículas redondas o cilíndricas con los ejes redondeados, pero la obtención del tamaño y forma uniformes no se han llegado a controlar satisfactoriamente.

Por otra parte, este proceso (T.V.A.) mantiene una gran cantidad de material en proceso, haciendo que aumente no sólo la inversión inicial en tanques y equipos voluminosos, sino que también incrementa los costos directos de producción.

Hay otras operaciones comunes en los procesos de fabricación de nitrato de amonio como son clasificación, recubrimiento, ensacado etc., cuyas características no afectan por sí solas la selección del proceso a usar.

Los requerimientos de los servicios auxiliares de operación son diferentes en cada proceso, así como el tipo de agente recubriente usado. Una comparación de dichos requerimientos se hace en la Tabla No. 2.

Tabla No. 2.- Requerimientos de operación para - la fabricación de nitrato de amonio por diferentes proce- sos.

	Stengel	Prilling	Fauser Montecatini	crist. al vacío
Energía eléctrica (KWH/Ton.)	85	54	70	45
Vapor (Kg/Ton.)	167	185	250	1 110
Agua (m ³ /Ton.)	50	15	38	36
Mano de obra (hombres/turno)	4	4	3	4
Cal molida (Kg/Ton)	-	-	60	-
Diatomita (Kg/Ton)	20	20	-	-
Arcilla (Kg/Ton.)	-	-	-	40

Según estudios de Shearon y Dunwoody (21) quienes compararon estos procesos sobre plantas instaladas y en operación, la suma de los costos de inversión y operación del Proceso Prilling es la más baja y ofrece una seguridad intermedia con respecto a los otros. Shearon y Dunwoody tomaron como comparación del Proceso Prilling la planta de la Mississippi Chemical Corp., que aún usa presecador y secador, así pues las plantas Prilling sin ese equipo tendrán más bajos costos tanto de inversión como de operación.

Por estas razones el proceso a elegirse es el Prilling, ya que ofrece más elasticidad en el proceso y uniformidad del producto.

CAPITULO II

ESTUDIO DEL MERCADO

Respecto a la calidad de nuestras tierras en la República Mexicana, puede decirse en general que son pobres. El Nitrógeno es deficiente en la generalidad de los suelos, prácticamente esa deficiencia existe en todos los terrenos de las mesetas norte, centro y sur y hay suficiente sólo en algunas zonas costeras, sobre todo del Golfo y en la península de Yucatán. Los suelos de La Laguna, que representan el tipo medio de nuestras tierras de labor, contienen de 0.4 a 0.7 por mil de nitrógeno, cuando la dotación de nitrógeno en una tierra buena es de 1 a 2 por mil, siendo muy raros los campos de nuestro país que llegan a esa proporción.

Un reflejo de esto es que el mayor volumen de consumo de fertilizantes corresponde al nitrógeno, pues al examinar las cifras estadísticas se observa que en 1950 se consumieron 12 930 toneladas de nutrientes, de las cuales el 71.8% fué nitrógeno. Para 1960 el consumo se elevó a 189 630 toneladas de fertilizante expresados como nutrientes, correspondiendo 139 418 a nitrógeno.

Por otro lado, México es también pobre en tierras agrícolas desde el punto de vista cuantitativo, ya que de 196.8 millones de hectáreas que comprende el territorio nacional, sólo 26.9 millones son susceptibles de aprovechamiento agrícola. El resto está ocupado por cadenas montañosas que recorren en casi toda su longitud el territorio -

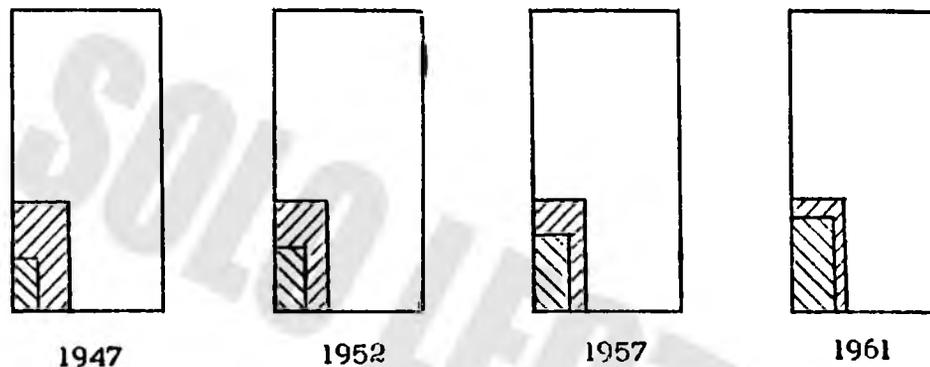
nacional; por las áreas desérticas del norte; por los suelos de drenaje insuficiente en el sureste; por tierras fuertemente alcalinas en el centro y las costas y por zonas fuertemente erosionadas.

En el año de 1961 se cultivaron 19.1 millones de -- Has., lo que según reportes del Departamento de Economía Agrícola de la Secretaría de Agricultura y Ganadería es halagüeño, así como también lo es la relación de superficie cultivada por habitante, que han aumentado en relación con otros años, como lo muestra la siguiente tabla.

Tabla No. 3.- Desarrollo agrícola en la República Mexicana.

Año	Sup. cultivada (mill. de Has)	% del territorio nacional.	Sup. cult./hab.
1947	6.5	3.4	0.28
1952	9.3	4.6	0.34
1957	14.2	7.2	0.47
1961	19.1	9.7	0.53

Sin embargo estudios hechos en E.E. UU. muestran que es necesario disponer de una Ha. cosechable por habitante para que la población reciba el abastecimiento de productos alimenticios necesarios. Como la superficie de cultivo de nuestro país es muy pequeña (13.5% del total de la República) y la población continúa incrementándose rápidamente (35 millones de habitantes y una tasa de crecimien-



- Territorio nacional.
- Superficie cultivada.
- Superficie apta para el cultivo.

Graf. No. 4.- DESARROLLO AGRICOLA EN LA REPUBLICA MEXICANA

I.P.N.	E. González
E.S.I.Q.I.E.	Tesis prof.

to demográfico de 3.3% anual), no es fácil pensar en la consecución de ese índice, por lo que se prefiere la posibilidad de incrementar el rendimiento de las tierras cultivadas por medio de fertilización adecuada al tipo de tierra, cultivo e irrigación.

LA AGRICULTURA Y LA INDUSTRIA EN MEXICO.

La actividad del campo debe recibir el respaldo — de los demás sectores de la economía nacional. Sólo con ese concepto de equilibrio podrá México desarrollarse.

El Gobierno de México concede prioridad al equilibrio entre la agricultura y la industria, ya que es de gran importancia tanto el progreso social como el desarrollo económico, llevando la cooperación hasta la realización — de proyectos que al mismo tiempo que atiendan necesidades sociales, contribuyan a aumentar la productividad y el desarrollo industrial.

Sería desde luego demasiado laborioso investigar o por lo menos enumerar todas las ramas de la productividad que redundan en beneficio social y que no se llevan a cabo en el país, teniéndose que importar, con la consabida fuga de divisas que tanto daña la economía y eleva — los costos en perjuicio del consumidor y de la industrialización del país, al no permitir la creación de nuevas — factorías de las que México necesita en alto grado.

Estando el presente trabajo relacionado con la industria de los fertilizantes nitrogenados, se hará notar —

que en el año de 1960 se consumieron 139 418 toneladas de nitrógeno en fertilizantes, de los cuales el 81% fué importado. De acuerdo con la población de la República ese consumo de nitrógeno corresponde a 3.98 Kg per cápita por año; esa proporción existió en EE.UU., en el período de 1915-1920, siendo actualmente de 8.7 Kg. Según esta comparación nuestro déficit es patente, sin embargo tomemos en cuenta que en 1950 nuestro consumo de nitrógeno fertilizante fué de solo 362 g per cápita por año, así entonces aunque la producción anual nacional ha aumentado considerablemente no ha podido mantener el ritmo impuesto por el incremento aún mayor de la demanda, gracias al desarrollo de modernos métodos de trabajo que se han implantado en nuestras tierras de labor, que van haciendo del mercado potencial una realidad.

El nitrógeno nutriente consumido por la agricultura a partir de fertilizantes químicos, proviene actualmente de sulfato de amonio y nitrato de amonio principalmente. En los últimos años la urea y el amoníaco en aplicación directa a los suelos han adquirido importancia, utilizándose también aunque en cantidades menores nitrato de sodio, fosfato de amonio, nitrosulfato de amonio, cianamida de calcio, etc., tendiendo el consumo a desplazarse hacia compuestos con mayor contenido de nutrientes por unidad de peso, de acuerdo a la constitución de la tierra y tipo de cultivo.

El nitrato de amonio, por su gran solubilidad y sus

formas amoniacal y nítrica, ha demostrado ser especialmente apto para los cultivos de algodón, maíz, frijol, garbanzo, pasturas, etc., sobre tierras más o menos permeables por su fácil y rápida asimilación por las plantas. Así mismo el precio de este fertilizante ofrece estabilidad y buen margen de beneficios, pues la inversión inicial y los costos unitarios de producción son comparativamente más bajos que los de otros fertilizantes nitrogenados. -
(15)

TENDENCIA DEL MERCADO.

El estudio de la tendencia del mercado se ha hecho con base a las cifras históricas de la oferta y la demanda de los fertilizantes nitrogenados en general y del nitrato de amonio como una parte de ellos, con el fin de poder apreciar la probable situación futura de la demanda y su satisfacción.

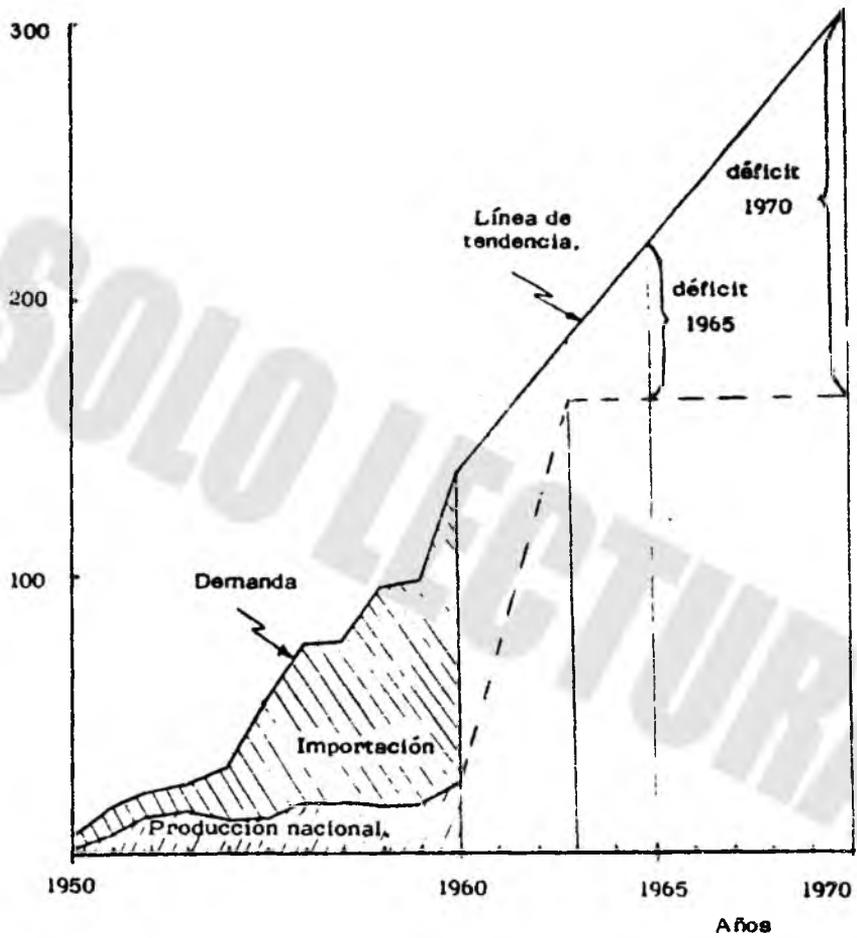
El consumo de nitrógeno nutriente en la República Mexicana ha venido en aumento en forma impresionante. Para poder satisfacerlo, en virtud de la insuficiente producción nacional, ha sido menester importar fuertes cantidades de éstos, significando esta aportación exterior un alto porcentaje del consumo como puede apreciarse en la tabla No. 4.

Tabla No. 4.- Oferta del nitrógeno según su origen. (Tons.)

Año	Producción Nacional.	% del total	Importaciones	% del total	total
1950	1 433	15,4	7 840	84,6	9 273
1951	7 819	45,8	9 226	54,2	17 075
1952	14 685	62,6	8 783	37,4	23 468
1953	16 073	60,8	10 350	39,2	26 423
1954	12 516	39,1	19 460	60,9	31 976
1955	13 518	23,9	43 044	76,1	56 562
1956	18 025	23,5	57 741	76,5	75 766
1957	18 325	23,7	58 899	76,3	77 224
1958	18 134	18,9	77 888	81,1	96 022
1959	18 228	18,5	80 515	81,5	98 773
1960	26 450	19,0	112 968	81,0	139 418

Puede observarse que la instalación de una planta de sulfato de amonio en Cuautitlán en 1951, permitió una mejoría transitoria en la participación de los productos fabricados en el país. En los siguientes años hubo otros aumentos de la producción nacional de escasa influencia. -- Posteriormente en 1959 y 1961, la instalación de 2 plantas de nitrato de amonio en Monclova y Minatitlán y la próxima producción de urea y fertilizantes complejos de alto análisis en Minatitlán y Salamanca, harán nuevamente subir el porcentaje de la aportación nacional, pero sólo un -

N₂ en fertilizantes
miles de Ton/año.



**Graf. No.- 5 TENDENCIA DEL -
MERCADO DE FERTILIZANTES
NITROGENADOS EN MEXICO.**

I.P.N.	E. González
E.S.I.Q.I.E.	Tesis prof.

esfuerzo sostenido que considere el fuerte incremento - del consumo, permitirá en el futuro una reducción substancial y definitiva de la importación de fertilizantes nitrogenados.

No se tienen noticias de posibles ampliaciones — de las instalaciones ya existentes, ni otras promociones además de las mencionadas, aunque se ha hablado de la construcción de una planta de amoníaco en el Estado de Chihuahua, pero aún no ha sido aprobada oficialmente; — con lo que la oferta nacional probable de fertilizantes nitrogenados para 1963 se estima en 162 988 Tons/año (19).

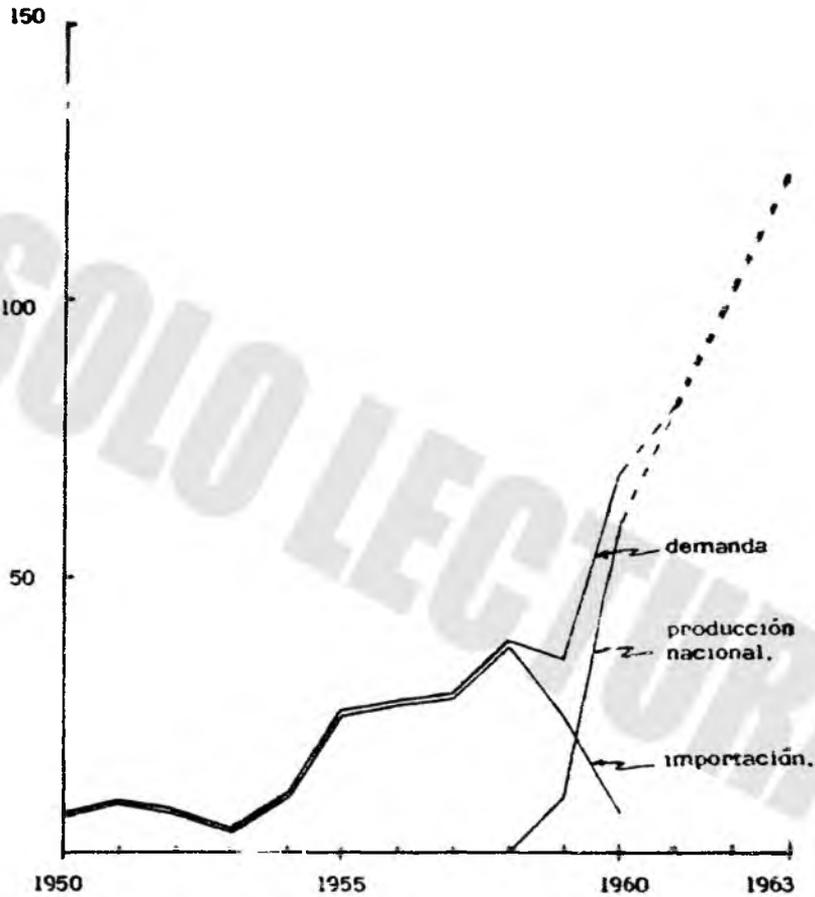
Respecto a la oferta nacional del nitrato de amonio y la proveniente del exterior, ha venido evolucionando en la forma siguiente:

Tabla No. 5.- Oferta del nitrato de amonio.

Año	Importación	Producción	Consumo
1950	7 465	-	7 465
1951	9 686	-	9 686
1952	7 832	-	7 832
1953	4 156	-	4 156
1954	10 909	-	10 909
1955	25 583	-	25 583
1956	27 524	-	27 524
1957	28 921	-	28 921
1958	38 007	-	38 007
1959	24 936	10 000	34 936
1960	7 626	60 000	67 626

NH_4NO_3

miles de Ton/año



Graf. No. 6.- OFERTA Y DEMANDA DEL NITRATO DE AMONIO EN MEXICO

I.P.N.	E. González
E.S.I.Q.I.E.	Tesis prof.

En 1959 empezó a trabajar la planta de nitrato de amonio de "Fertilizantes de Monclova, S. A." situada en Monclova, Coah., en ese año produjo 10 000 toneladas de este compuesto, para 1960 su producción se estimó en -- 60 000 toneladas y a partir de 1961 puede producir hasta 105 000 toneladas; a fines de 1961 la empresa "Fertilizantes del Istmo, S. A." inició la operación de su planta de nitrato de amonio con amoníaco importado y produjo en ese año alrededor de 20 000 toneladas; su producción a partir de 1962, en base a su capacidad nominal, es de -- 66 000 toneladas anuales.

Cabe señalar que fertilizantes de Monclova planea vender 6 600 toneladas de amoníaco y que Fertilizantes del Istmo ocupará a partir de 1963 parte de su producción de nitrato de amonio en la elaboración de fertilizantes -- complejos, con lo que la oferta nacional de este producto se reduce a 121 500 toneladas anuales, equivalentes a --- 40 702 toneladas de nitrógeno (19).

En la tabla No. 5 puede verse que al iniciarse la - producción nacional de nitrato de amonio, la importación se redujo considerablemente e hizo que de 1959 a 1960 ca si se duplicara el consumo, por lo que es posible pensar que no sólo ha cubierto su consumo sino que además lo - ha estimulado, ya sea por ampliación del mercado a zo-- nas agrícolas donde todavía no se usaban fertilizantes, o bien por substitución de otros fertilizantes con menor --

contenido de nitrógeno o de más lenta acción, reduciendo también sus respectivas importaciones.

En estas condiciones, las perspectivas para años futuros se harán para todos los fertilizantes nitrogenados con el propósito de satisfacer una parte con nitrato de amonio y dar cabida a otros fertilizantes de fabricación nacional.

En estudios hechos por el Departamento de Investigaciones Industriales del Banco de México, se preve el consumo de fertilizantes nitrogenados para 1965 por 4 diferentes métodos que son:

1.- Método de los mínimos cuadrados para tendencias rectilíneas.

2.- Determinación basada en tasas de incremento en diferentes períodos.

3.- Correlación del producto nacional bruto y el consumo de nitrógeno, ambos per cápita, (tendencias rectilínea y no rectilínea).

4.- Correlación no rectilínea entre el ingreso nacional y el consumo de nitrógeno, ambos per cápita.

De las diferentes hipótesis se llegó a seleccionar como cifra probable de consumo para 1965, la cantidad de 218 900 toneladas y se calculó como consumo máximo al que podría llegar sea de 283 300 toneladas para el mismo año. (19).

Aplicando las ecuaciones deducidas en ese trabajo del Banco de México, se extrapoló la línea de tendencia hasta el año de 1970, encontrándose que puede esperarse que el consumo de nitrógeno nutriente podrá ser de 304 300 toneladas y como máximo posible 396 000 toneladas,

Con base en los datos anteriores puede decirse que para 1965 habrá un déficit de 55 912 toneladas de nitrógeno y de 141 312 para 1970 y aún mayores si se presentara la demanda máxima indicada en el párrafo anterior, que la producción nacional no podrá cubrir, aún aprovechando al máximo la capacidad de las plantas existentes y en construcción actualmente. Es por tanto necesario tomar todas las medidas tendientes a cubrir dicho déficit, mediante promociones nuevas, tomando en cuenta la distribución geográfica de la demanda y atender mejor las áreas más alejadas de los actuales centros de producción.

No sería desde luego lógico pensar en cubrir este déficit de nitrógeno a base de nitrato de amonio exclusivamente, ya que a la producción de éste va aparejada la de otros compuestos nitrogenados como amoníaco, ácido nítrico y en ocasiones urea y fertilizantes complejos; así pues en el siguiente capítulo se expondrán los factores más importantes para la erección de una planta de nitrato de amonio, como parte de un conjunto de unidades pro

ductoras de fertilizantes.

Dado el carácter de estimaciones que tienen las cifras aquí anotadas, no debe descartarse la posibilidad de un déficit mayor o menor del esperado, por lo que deben tomarse en cuenta todos los factores que influyan — en el consumo de fertilizantes, para pensar en el aumento de la producción de amoníaco y fertilizantes, no solo a partir de gas natural sino también de los gases producto de la coquización de la hulla, así como estudiar las posibilidades de ampliación del mercado a la zona latinoamericana de libre comercio, que podría ofrecer oportunidad de colocar estos productos en esos países, con efecto favorable en nuestra balanza comercial con el exterior.

CAPITULO III

LOCALIZACION DE LA PLANTA.

Para poder plantear la instalación de la planta, las consideraciones anotadas en el capítulo anterior deberán estar balanceados con otro factor también muy importante, que es el referente a la disponibilidad de las materias primas, que es quizá el que determine la localización más adecuada para la planta.

Ya que la materia prima fundamental para la producción de nitrato de amonio es el amoníaco, la planta deberá localizarse junto a una planta productora de amoníaco y la de ácido nítrico también, ya que ambas consumen amoníaco por las características de su proceso; así pues las tres unidades deberán situarse en la misma comunidad y de ser posible en terrenos contiguos.

Podría llevarse el amoníaco en carros tanque, pero sería un problema adicional el suministro constante de amoníaco, además del costo del flete y amortización del equipo especial para su movimiento y descarga a los tanques de almacenamiento estacionarios; otro tanto puede decirse del ácido nítrico y agregar que el equipo para transportarlo y manejarlo debe ser de un material ácido-resistente, que hace aún más alto el costo de ese equipo.

Plantas de amoníaco existen en la República en las siguientes localidades:

- 1.- Planta de "Guanos y Fertilizantes de México, -

S. A." en Cuautitlán, Mex. con capacidad de 50 toneladas diarias; todo el amoníaco que ahí se produce lo utiliza la misma empresa para la elaboración de sulfato de amonio y en ocasiones frecuentes tiene que comprar más, para poder satisfacer la demanda de su producto fertilizante.

2.- Planta de "Fertilizantes de Monclova, S. A. " en Monclova, Coah., que aprovecha los gases del coke para hacer amoníaco, que posteriormente se convierte en nitrato de amonio.

3.- Planta de "Petróleos Mexicanos" en Minatitlán Ver., de 200 toneladas diarias de capacidad, que vende la totalidad de su producción a "Fertilizantes del Istmo, S. A." para la elaboración de nitrato de amonio, urea, y fertilizantes complejos de alto análisis.

4.- Planta de "Petróleos Mexicanos" en Salamanca, Gto., cuya producción la utilizará en parte "Fertilizantes del Bajío, S. A." para elaborar urea y el resto se utilizará en fertilización directa, ya que en esa zona abundan las tierras planas que facilitan el manejo del equipo de nitrógenación de tierras con amoníaco directamente.

Como puede apreciarse, todo el amoníaco producido en la República Mexicana tiene uso y comprador definido y excepto cantidades menores dedicadas a otros usos - (en la fabricación del nylon, como neutralizante de la acidez en las refinerías, etc.) casi todo el amoníaco se usa para fines fertilizantes.

Todas estas plantas están situadas en la República Mexicana en forma tal que aseguran una distribución uniforme de fertilizante en todo el territorio nacional, excepto en la zona noroeste, o sea la comprendida por los Estados de Sonora, Chihuahua, Durango, Sinaloa y la Península de Baja California, donde según informes oficiales de sus propios gobiernos, se hace patente la necesidad de una planta del tipo que nos ocupa. Así por ejemplo el programa de Gobierno del Estado de Sonora (Proyecto 1957) dice al texto, "El consumo de fertilizantes en el Estado es bajo, debido a que estos productos alcanzan un precio de adquisición demasiado alto, ya que al suyo se tiene que agregar el de los fletes que origina su traslado, que lo elevan al 150% y hasta el 200% de su precio original"

En ese mismo trabajo se propone la instalación de plantas elaboradoras o mezcladoras de fertilizantes como solución a ese problema, que en esa zona donde la agricultura está sujeta a métodos de trabajo más modernos se justifica, si se considera la verdad axiomática de que la inversión en fertilizantes, proporciona ingresos adicionales, resolviéndose por esta vía el problema de los rendimientos y todavía se puede decir que su uso sobre bases técnicas, evita el agotamiento de las tierras.

Sin embargo la instalación de una planta de amoníaco en esa zona no ha sido posible hasta ahora, por la falta de gas natural que es la materia prima necesaria, —

pero este entorpecimiento del desarrollo económico del noroeste se eliminará con la próxima construcción de un gasoducto de 1950 Km de longitud que proyecta Petróleos Mexicanos construir de Reynosa Tams., a Mexicali, B. C.

El objeto de este gasoducto, según informa Pemex - será transportar gas natural de los campos de Texas a consumidores de Los Angeles, Cal. EE. UU., pero el gasoducto será de su propiedad y manejado por la misma empresa y tendrá derecho a vender a través del mismo, el gas natural que tenga disponible, después de satisfacer las necesidades del país. Pemex podrá así suministrar gas natural a ciudades y poblaciones de costa a costa en el norte de México, que actualmente no son accesibles a este combustible. Además estimulará y de hecho ya ha estimulado la exploración en busca de gas natural en los estados del norte de la República, donde hay excelentes posibilidades de descubrir reservas adicionales de este producto.

Al mismo tiempo, en oficinas técnicas de "Petróleos Mexicanos" se discute el proyecto de la instalación de su tercera planta de amoníaco, posiblemente en el Estado de Chihuahua.

Los factores que tomará en cuenta Pemex para localizar su planta de amoníaco, naturalmente que incumben a ella misma, pero ya que en este trabajo se afirma la necesidad de que la planta de nitrato de amonio deba locali-

zarse en la misma comunidad que la planta de amoníaco, se considerarán aquí de una manera general algunos de los factores que deberán estimarse para la selección del lugar más apropiado.

Una cuidadosa consideración de todos los factores relacionados con este tipo de industria, supone normalmente la discusión de los siguientes puntos:

1.- Proximidad de las materias primas.- Las plantas podrán localizarse en cualquier punto a lo largo del gasoducto, solamente escogiendo un lugar que cumpla con los demás requisitos y de preferencia en la zona sub-urbana de alguna población que cruce dicho gasoducto.

2.- Proximidad del mercado.- Ya se ha discutido anteriormente la necesidad de fertilizantes nitrogenados en México, así como el gran incremento de la demanda de ellos y que en el noroeste la distribución de fertilizante es cara, debido a la falta de una planta que los produzca en esa región.

3.- Servicios auxiliares.- Por necesidades de proceso, se requiere un lugar con una fuente de energía eléctrica y agua (potable y para uso en la operación) que nos asegure un suministro constante y suficiente; ambos servicios en el noroeste se presentan ligados entre sí, ya que por ejemplo en el Estado de Chihuahua, más del 80% de la energía eléctrica es de origen hidroeléctrico, contándose entre las mayores la de la presa de "La Boquilla" o "Lago

Toronto", con un vaso de 1 200 millones de metros cúbicos de capacidad, alimentado por el río Conchos, uno de los más grandes del Estado, donde existe una planta hidroeléctrica con 25 000 KW de producción.

Ahora bien, con el paso del gasoducto la generación de corriente eléctrica por fuente térmica será posible y esto hace que la disponibilidad de este servicio resulte secundaria.

4.- Comunicaciones.- En este aspecto no hay problema, ya que el sistema de carreteras que une a esa región con el resto del país es satisfactorio; por otro lado el Ferrocarril del Pacífico facilita la salida del producto hacia Sonora, Baja California y toda la zona costera y el Ferrocarril de Chihuahua comunica con el centro de la República a la mayoría de los municipios de ese Estado. La planta pues, deberá localizarse en algún punto contiguo a la carretera o al ferrocarril, o de ser posible próximo a algún cruce de ambos.

5.- Leyes gubernamentales.- Actualmente la mayoría de los Estados de la República, entre ellos Chihuahua y Sonora, conceden exención de impuestos de 5 a 20 años, dependiendo del monto de la inversión, del tipo de industria y del Estado en particular.

6.- Otras empresas en la región.- La industria de transformación en el noroeste consta de grandes despepitadoras de algodón, fábricas de aceites vegetales, indus--

trías textiles, molinos de trigo, empresas vinícolas, enlatadoras de carne, etc., todas ellas aprovechan las mate rias primas que se producen en la región; materias pri mas que dependen del rendimiento agrícola, por lo que no sólo el medio agrícola recibirá con beneplácito la instala ción de una planta de fertilizantes, sino también los círcu los industriales.

Además de estos factores habrán de tomarse en cuenta otras consideraciones como facilidad de almacena miento y embarque, facilidad de eliminación de desechos, mano de obra, condiciones de vida, clima, etc., que deter minarán el lugar exacto donde se instalará la planta de amoníaco y consecuentemente la de nitrato de amonio, - - que como ya se dijo, necesariamente debe estar junto a la planta de amoníaco.

CAPITULO IV

SELECCION Y CALCULO DEL EQUIPO

CAPACIDAD DE LA PLANTA.- En principio puede decirse que una planta de capacidad de 100 toneladas -- diarias o menor, no puede ser competitiva a los niveles -- de los precios actuales para este producto y por tanto no -- es económica. Por otra parte se acepta con carácter ge-- neral que una capacidad de 200 toneladas diarias, ofrece -- la operación más económica y los costos más bajos de pro-- ducción. (15) Plantas de mayor capacidad, aunque lo justifi-- ficara el mercado, no serían costeables, por su alto costo de amortización, depreciación y mantenimiento, dada la -- corrosividad del nitrato de amonio. En un caso dado sería mejor tener dos plantas de 200 toneladas, que puedan parar para reparaciones independientemente, que una de 400 to-- neladas; así pues se tomará como base para los cálculos -- una capacidad de 200 toneladas diarias.

MATERIALES DE CONSTRUCCION.- La corro-- sión presenta un serio problema en la planta de nitrato de amonio, dada la naturaleza de los materiales que en ella -- se manejan.

Las tuberías para flujo de ácido nítrico, así como todo el equipo y líneas en contacto con soluciones de nitrato de amonio, deberán ser de acero inoxidable 304 ELC. -- (designación A.I.S.I.), el equipo de manejo de amoníaco, -- vapor, agua y aire puede ser de hierro, con pintura antio-- xidante en el exterior (o aislante térmico si así lo requie

pe) para protegerlo del ataque de la intemperie o gases corrosivos.

El nitrato de amonio seco no presenta problemas de corrosión en todo el equipo en que se le maneja en ese estado. Esto se atribuye a que los perdigones permanecen en ese equipo secos y a una temperatura arriba de la temperatura de rocío. Sin embargo cuando pequeñas partículas de nitrato de amonio, caen sobre una superficie metálica y toma humedad del ambiente, forma soluciones muy corrosivas. Se ha encontrado al aluminio ser el metal más resistente y económico en las plantas de nitrato de amonio; todas las estructuras y partes metálicas expuestas a esos polvos o salpicaduras de solución, deberán ser de aluminio, en tanto que el equipo que maneja nitrato seco, puede construirse de hierro.

La sección del proceso que maneja el nitrato de amonio seco, debe construirse bajo techo para evitar exponerlo a la lluvia o cualquier otra fuente de humedad. — Este edificio puede construirse con estructura de hierro cubierto con lámina comercial de aluminio o de asbesto cemento, la otra sección, para manejo de nitrato de amonio en solución, se construirán a la intemperie de hierro y aluminio; lavados periódicos de este equipo y construcción reducen la corrosión a un mínimo.

Antes de empezar la construcción, las estructuras y el equipo de hierro debe recibir dos o tres capas de pin

tura anticorrosiva y una más después de colocadas. Las bases de concreto son atacadas por la solución de nitrato, por lo que deberán cubrirse con algún material asfáltico o con ladrillo ácido resistente. El drenaje deberá ser -- también de cerámica ácido resistente, pues circularán por él ácido o soluciones de nitrato.

SERVICIOS AUXILIARES

Para la producción de nitrato de amonio se requieren energía eléctrica y vapor y en menores cantidades aire y agua potable y de enfriamiento.

Sobre la base de que esta planta de nitrato de amonio será parte de un conjunto de unidades productoras de fertilizantes, utilizará algunos de los servicios generales para todo el conjunto, así como servicios que puedan proporcionarle otras plantas; así por ejemplo el vapor necesario en esta planta, lo pueden suministrar las de amoníaco y ácido nítrico; la energía eléctrica la suministrará un generador o una subestación general, contándose en la planta sólo con una estación de interruptores, el aire y el agua -- potable y de enfriamiento se tomarán de las tuberías generales a otras plantas que los utilizan en mayores cantidades. En el presente trabajo los servicios auxiliares se -- consideran pues provenientes de fuente externa y no se incluyen cálculos para ellos.

CALIDAD DE LAS MATERIAS PRIMAS.

1.- Amoníaco.- debido a necesidades en el proceso de elaboración de amoníaco, es posible que el amoníaco -- arrastre aceite de los compresores o de algún otro equipo mecánico, sin embargo es esencial que el amoníaco para - uso en la planta de nitrato de amonio sea de bajo contenido de aceite, el cual no debe exceder de 5 ppm, puesto que la materia orgánica hace que el nitrato de amonio sea más - susceptible de explosión, así como que puede acumularse - en tuberías o equipos obstruyéndolos. Puede usarse amoníaco comercial de 99.5% de pureza o amoníaco residual - de una planta de urea, que frecuentemente se construye en el mismo predio, pero en este trabajo se considerará sólo amoníaco comercial, del obtenido en las plantas de síntesis.

2.- Acido nítrico.- la concentración de ácido usado en este proceso es la del grado comercial obtenido de - las plantas de oxidación de amoníaco, es decir de 53 a 57% con un contenido de ácido nitroso menor de 0.15% y menos de 5 ppm. de cloruros.

La presencia del ácido nitroso en el ácido nítrico - es indeseable, ya que en la neutralización se pierden sus - dos nitrógenos, como se muestra en la siguiente reacción:



aunque no es peligrosa esta evolución de nitrógeno, si de-

crementa la eficiencia del proceso.

Los cloruros son la impureza contra la que probablemente haya que tomar más precauciones, ya que puede actuar como catalizador en la descomposición del nitrato y que en forma de ácido clorhídrico se combina con el nítrico para producir una mezcla sumamente corrosiva.

3.- Agente recubriente.- La efectividad de un recubriente va íntimamente ligada a su tamaño de partícula y a su densidad aparente, ya que un material finamente dividido es liviano y tiene una gran superficie por unidad de peso y por tanto se requiere menor cantidad de recubriente para prevenir el empastamiento. La tierra diatomácea para recubrimiento debe tener un tamaño de partícula de 325 -- mallas, una densidad aparente de 225 Kg/m^3 y una humedad menor del 3% para que tenga buena fluidez y propiedades adherentes al perdigón de nitrato de amonio.

CALIDAD DEL PRODUCTO.

El nitrato de amonio considerado como un producto aceptable por el mercado de fertilizantes, es aquel de un tamaño lo suficientemente grande para que no sea arrastrado por el viento u otros agentes y tan pequeño que pueda distribuirse uniformemente sobre las tierras de labor. Las especificaciones establecidas para el tamaño de partícula son de 5 a 20 mallas. El proceso Prilling produce partículas esféricas, de las que un 80% son de un tamaño de 8 a 12 mallas y el resto está también dentro de los límites especificados.

La finalidad del recubrimiento es evitar el empastamiento o formación de terrones, debido a la formación de puentes continuos de solución o cristales de nitrato, pero la excesiva adición de este agente, pudiera decirse que diluye el contenido de nitrógeno asimilable. Por tanto debe usarse la menor cantidad necesaria para evitar el empastamiento del producto. El producto comercial obtenido por este proceso, tiene generalmente de 2 a 3% de agente recubriente, una humedad residual de 0.5% en peso como máximo y se garantiza con un mínimo de 33.5% de nitrógeno.

CALCULO DEL EQUIPO PRINCIPAL

Para este fin se tomará como base la producción de 200 toneladas diarias de un producto con la siguiente composición:

Nitrato de amonio,	96.5%
Agente recubriente.	3.0%
Humedad residual,	0.5%

Consideraremos también una eficiencia de la planta de 96%, que es la eficiencia a la que operan las plantas de este tipo ya instaladas, debido a pérdidas de amoníaco y nitrato de amonio en diversas partes de la planta.

Además, tomando en cuenta que la planta estará localizada en el Estado de Chihuahua, se considerará una presión atmosférica de 630 mm de Hg. correspondiente a

poblaciones como la Capital del Estado y Casas Grandes, con una altitud de 1 450 m sobre el nivel del mar y representativa de la presión barométrica promedio en las poblaciones de dicha entidad.

Neutralizador

La construcción y el funcionamiento del neutralizador ya fué descrito en el Capítulo I; para los efectos de la estimación de las dimensiones, deben considerarse las siguientes condiciones:

El neutralizador operará en flujo continuo.

La agitación la provee la entrada de reactantes y la propia reacción.

Operará isotérmicamente, ya que se mantiene la solución hirviendo a 130° C., temperatura de ebullición de la solución de 83 % .

La ebullición y por tanto la concentración de la solución, se verán favorecidas por la rápida remoción del vapor generado. El vaporizador y el condensador cumplen esta función, manteniendo dentro de la cámara de vapor del neutralizador la presión atmosférica.

Ya que la reacción provee el calor necesario para la ebullición, el neutralizador deberá tener aislante térmico.

En operación normal no se requiere sistema de —

calentamiento, pero debe ponerse un serpentín de vapor para cuando la unidad se para, evitar la solidificación de la solución que quede dentro.

El material de construcción será como ya se discutió, acero inoxidable 304 ELC.

La reacción es instantánea y completa, por tanto la velocidad de reacción se controla con la adición de reactantes en forma estequiométrica, en que la variable independiente es el amoníaco y el ácido se controla automáticamente con un potenciómetro acoplado al flujo de ácido, que mantiene la solución a un pH. de 3.8 a 4 que corresponde a una solución neutra de nitrato de amonio.

Los flujos de material, que entra y sale del neutralizador, se calcularán con el siguiente balance de materia, en función de los pesos moleculares.

Amoníaco	P.M. = 17
Acido nítrico	P.M. = 63
Nitrato de amonio.	P.M. = 80

Las toneladas de amoníaco por hora necesarios son:

$$\text{NH}_3 = \frac{200 \times 0.965}{24 \times 0.96} \times \frac{17}{80} = 1.78 \text{ Ton/h.}$$

La cantidad de ácido nítrico de 55% de concentración es:

$$\text{HNO}_3 = \frac{200 \times 0,965}{24 \times 0,96} \times \frac{63}{80} \times \frac{1}{0,55} = 12,0 \text{ Ton/h.}$$

La cantidad de nitrato de amonio en solución de 83 % de concentración es:

$$\text{Sol. de 83 \%} = \frac{200 \times 0,965}{24 \times 0,96 \times 0,83} = 10,1 \text{ Ton/h.}$$

La cantidad de agua evaporada será entonces:

$$\text{Vapor} = 12 \times 0,45 - 10,1 \times 0,17 = 3,68 \text{ Ton/h.}$$

La altura del licor dentro del neutralizador, deberá ser la necesaria para mantener una presión hidrostática que impida la ebullición del ácido nítrico; éste a presión atmosférica hierve a 117° C., y a 1.4 Kg/cm² lo hace a 145° C., con lo que sometido a esa presión se le da un margen de seguridad de 15° C.; por tanto la presión hidrostática será de 0.4 Kg/cm², que corresponde a una altura de:

$$\text{Altura } h = \frac{\text{Presión hidrostática}}{\text{Densidad de la solución}}$$

$$\rho = 1,34 \text{ Kg/lt (para solución de 83 \%)}$$

$$h = \frac{0,4 \text{ Kg}}{\text{cm}^2} \times \frac{\text{lt} \times 1000 \text{ cm}^3}{1,34 \text{ kg}} = 298 \text{ cm}$$

A esto se le adicionarán 40 cm para dar cabida a los distribuidores y al serpentín de vapor. Considerando

la altura del líquido el 75% de la altura total, ésta será:

$$\text{Altura total } H_t = \frac{2.98 + 0.4}{0.75} = 4.50 \text{ m}$$

El diámetro del tanque no deberá ser tan reducido que la ebullición y el vapor generado por la reacción arrastren solución por la chimenea, ni tan grande que resulte antieconómica su construcción; tratándose de un tanque cilíndrico con tapa, la construcción económica del neutralizador, para una capacidad dada, sería aquella en que el diámetro es igual a la altura ($D = H$), sin embargo se ha encontrado en la práctica en plantas similares, que se obtiene una ebullición suave y se reducen a un mínimo el arrastre de la solución, con un diámetro de 3.00 m.

Para el cálculo de equipos posteriores, es necesario hacer un balance de calor en el neutralizador, con base en los siguientes datos:

Amoníaco.-

Gasto	1 780 Kg/h.
Presión	12.2 Kg/cm ² .
Temperatura	60° C .
Estado	Vapor sobrecalentado
Entalpía	368 Kcal/kg.
Calor de formación	-10.96 Kcal/mol.

Acido nítrico.-

Gasto	12 000 Kg/h.
Temperatura	30° C.
Concentración	55 %
Calor específico	0.635 Kcal/Kg.
Calor de formación	-49.21 Kcal/mol.

Nitrato de amonio.-

Gasto	10 100 Kg/h.
Temperatura	130° C.
Concentración	83 %
Calor específico	0.545 Kcal/Kg °C.
Calor de formación	-80.89 Kcal/mol.

Agua.-

Gasto	3 680 Kg/h.
Presión	Atmosférica (630 mm de Hg)
Temperatura	95° C
Estado	Vapor saturado.
Entalpía	635 Kcal/Kg.

El calor con que entra el amoníaco será:

$$q_1 = W h = 1\,780 \times 368 = 654\,000 \text{ Kcal/h.}$$

Calor de entrada del ácido:

$$q_2 = W C_p \Delta t = 12\,000 \times 0.635 \times 30$$

$$q_2 = 228\,000 \text{ Kcal/h.}$$

La entalpía de reacción, la calcularemos con los calores de formación:

$$H_R = -80.89 - (-10.96 + -49.21) = -20.72 \text{ Kcal/mol}$$

El calor liberado por la reacción por unidad de -- tiempo será entonces:

$$q_R = \frac{200 \times 0.965}{24 \times 0.96} \times 10^6 \times \frac{20.72}{80}$$

$$q_R = 2\,175\,000 \text{ Kcal/h.}$$

La solución de nitrato de amonio se lleva tanto -- calor como:

$$q_3 = 10\,100 \times 0.545 \times 130 = 719\,000 \text{ Kcal/h.}$$

Calor del agua evaporada por la reacción:

$$q_4 = 3\,680 \times 635 = 2\,320\,000 \text{ Kcal/h.}$$

La suma de calores que entran, más el liberado -- por la reacción, es igual a los calores que salen:

$$q_1 + q_2 + q_R = q_3 + q_4$$

$$654\,000 + 228\,000 + 2\,175\,000 =$$

$$= 719\,000 + 2\,320\,000$$

$$3\,057\,000 = 3\,057\,000$$

Tanque de solución de NH_4NO_3 al 83 %

Este tanque es el receptáculo de la solución que rebosa del neutralizador y sirve para mantener una alimentación constante a la bomba que envía la solución al evaporador. Deberá tener sólo el volumen necesario para 2 horas de operación, para poder asegurar que la planta no pare por falla momentánea de los reactantes, o para no interrumpir la reacción por pequeñas averías en la planta, que ameriten sólo un paro corto; este tanque servirá pues de balance entre las operaciones del neutralizador y el evaporador, dándole elasticidad al proceso. Un indicador de nivel ayudará en esta operación de balance, puesto que el tanque deberá tener tapa, para evitar la contaminación de la solución.

Considerando el volumen del líquido el 75% del volumen total del tanque, éste será:

$$V_t = \frac{10,1 \times 2}{1,34 \times 0,75} = 20,1 \text{ m}^3.$$

Para la construcción económica de tanques con tapa, como éste debe seguirse la relación:

$$D = H$$

$$V_t = 0,785 D^2 H$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{V_t}{0,785}}$$

El diámetro del tanque será entonces:

$$D = \sqrt[3]{\frac{20.1}{0.785}} = 2.95 \text{ m}$$

Puede construirse un tanque de 3.00 m de diámetro y 3.00 m de altura.

Al igual que el neutralizador, este tanque será de acero inoxidable 304 ELC. y deberá estar aislado térmicamente; un serpentín de vapor acoplado a un control de temperatura, mantendrá la solución a 125-130°C. para evitar su congelación, Un termómetro es también necesario.

Vaporizador de amoníaco

Este equipo tiene como finalidad el cambiar de fase líquida a vapor el amoníaco y darle un grado de sobrecalentamiento, para evitar que entre amoníaco líquido al neutralizador, pues la reacción sería tan violenta que podría originar desperfectos en él.

Consiste esencialmente de un haz de tubos encerrados en una envolvente cilíndrica vertical, dentro de la cual se vaporiza el amoníaco, por dentro de los tubos parte del vapor generado por la reacción suministra el calor necesario; este vapor puede arrastrar un poco de nitrato de amonio, por lo que los tubos deberán ser de acero inoxidable para evitar la corrosión. La envolvente puede construirse de acero.

El vaporizador estará aislado térmicamente y contará con una válvula de seguridad del lado del amoníaco - y con un manómetro y termómetro en las tuberías de entrada y salida del amoníaco.

El flujo de vapor se controla por medio de una -- válvula de mariposa que envía el resto del vapor de reacción rumbo al condensador del neutralizador.

En operación normal el nivel de amoníaco se mantiene dentro del vaporizador de tal manera que se vaporiza en la parte inferior de los tubos y se sobrecalienta al circular por la parte superior; tanto el nivel de amoníaco como el grado de sobrecalentamiento se controlan con la válvula de mariposa.

El amoníaco proveniente del tanque de almacenamiento entra a 12.2 Kg/cm^2 de presión manométrica -- (180 lb/pulg²) y a su temperatura de saturación a esa presión, 35°C., sale a 60°C., y a la misma presión; por los - tubos entra vapor a 95°C., y sale condensado a la misma temperatura.

Se usarán tubos de acero inoxidable 304 de 1/2 -- pulg. cédula 40, con arreglo en triángulo de 1 pulg. de centro a centro y de 1.50 m (5 pies) de largo; para el cálculo del área de calefacción, se dividirá el vaporizador en dos secciones, la inferior de vaporización y la superior de sobrecalentamiento de amoníaco, basados en los siguientes datos:

Amoníaco.-

Gasto	$W_1 = 1\,780 \text{ Kg/h.}$
Entalpía inicial (NH₃ líquido)	$h_1 = 83 \text{ Kcal/Kg.}$
Entalpía de saturación (vapor saturado)	$h_2 = 351 \text{ Kcal/Kg.}$
Entalpía final (vapor sobrecalentado)	$h_3 = 368 \text{ Kcal/Kg.}$

Vapor.-

Entalpía inicial	$h_v = 635 \text{ Kcal/Kg.}$
Entalpía final	$h_c = 95 \text{ Kcal/Kg.}$

Calor que recibe el amoníaco al vaporizarse:

$$q_1 = W_1 (h_2 - h_1) = 1\,780 \times (351 - 80)$$

$$q_1 = 482\,000 \text{ Kcal/h} = 134\,000 \text{ cal/seg.}$$

Calor que recibe el amoníaco en la zona de sobre calentamiento:

$$q_2 = W_1 (h_3 - h_2) = 1\,780 \times (368 - 351)$$

$$q_2 = 30\,200 \text{ Kcal/h.} = 8\,400 \text{ cal/seg.}$$

Calor total cedido por el agua:

$$q_1 + q_2 = 482\,000 + 30\,200 = 512\,200 \text{ Kcal/h.}$$

La cantidad de vapor condensado será entonces:

$$W_2 = \frac{q_v}{(h_v - h_c)} = \frac{512\,200}{(635 - 95)} = 950 \text{ Kg/h.}$$

Los coeficientes de transmisión de calor se encontraron con el auxilio de tablas, gráficas y fórmulas publicadas (7) que se han obtenido a partir de ecuaciones empíricas y que proporcionan un método simplificado para poder estimar estos coeficientes con suficiente exactitud. — Dado que en esa publicación se utilizan unidades inglesas, se harán algunas consideraciones en ese sistema, que se convertirán al sistema métrico al obtener los coeficientes correspondientes, con los siguientes factores:

$$1 \text{ cal/seg cm}^2 \text{ }^\circ\text{C.} = 0.000135 \text{ Btu/h pie}^2 \text{ }^\circ\text{F.}$$

$$1 \text{ cal/seg cm}^2 \text{ }^\circ\text{C/cm} = 0.00413 \text{ Btu/h pie}^2 \text{ }^\circ\text{F/pie}$$

Asimismo, al hacer mención de las gráficas y tablas, se indicará su número correspondiente en esa publicación.

Ya que no se conocen datos como temperatura de la pared metálica, velocidad de condensación, etc., resulta necesaria la solución por tanteos; en el presente traba

jo se incluyen sólo las suposiciones que concordaron con los resultados obtenidos.

Del lado del vapor, el coeficiente laminar de transmisión de calor se calcula como en el caso 22 (7) condensación de vapores sobre tubos o placas verticales, suponiendo un régimen de condensación w , de 19 lb/pie² h.; que para tubos de 5 pies, el producto $w N = 19 \times 5 = 95$ está -- abajo del valor crítico, por lo que se aplica la ecuación:

$$h_1 = 0.29 h_0 F_t F_N$$

donde:

h_1 = coeficiente laminar del lado del vapor.

h_0 = valor base del coeficiente laminar, obtenido de la fig. 36 (7) para $w = 19$ lb/pie² h.

$$h_0 = 1\,900 \text{ Btu/h pie}^2 \text{ }^\circ\text{F.}$$

F_t = factor de corrección por temperatura, de la tabla 37 (7) para vapor de agua a 200° F = 1.47

F_N = factor de corrección por altura del tubo, de la tabla 43 (7) para 5 pies = 1.28

El coeficiente laminar de transmisión de calor será por tanto:

$$h_1 = 0.29 \times 1900 \times 1.47 \times 1.28 \times 0.000135$$

$$h_1 = 0.14 \text{ cal/seg cm}^2 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Valor válido a todo lo largo del tubo.

Del lado del amoníaco, en la parte inferior, el coeficiente parcial de transmisión de calor se encontrará como en el caso 24 (7) líquidos en ebullición sobre tubos -- verticales, con la ecuación:

$$h_2 = 1.25 h_0 F_p$$

donde:

h_2 = coeficiente parcial de transmisión de calor - en la zona de vaporización.

h_0 = valor base del coeficiente, obtenido de la -- fig. 38 (7) sobre la línea de amoníaco y para una temperatura de pared supuesta de 50°C. , es decir:

$$\Delta t_a = 50 - 35 = 15^\circ\text{C. (27}^\circ\text{F.)}$$

$$h_0 = 420 \text{ Btu/h pie}^2 \text{ }^\circ\text{F.}$$

F_p = factor de corrección por presión extraído - de la tabla 44 (7) para 12 atmósferas = 1.54

El valor del coeficiente parcial de transmisión de calor será entonces:

$$h_2 = 1.25 \times 420 \times 1.54 \times 0.000135$$

$$h_2 = 0.109 \text{ cal/seg cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

El coeficiente total de transmisión de calor, se determina, con la siguiente ecuación:

$$U_1 = \frac{1}{\frac{1}{h_1 \frac{D_1}{D_r}} + \frac{L}{k \frac{D_m}{D_r}} + \frac{1}{h_2 \frac{D_2}{D_r}}}$$

donde:

U_1 = coeficiente total de transmisión de calor.

h_1 y h_2 = coeficientes parciales de transmisión - de calor.

L = espesor de la pared metálica = 0.109 pulg.

k = conductividad térmica del acero inoxidable - 304 = 9.4 Btu/h pie² °F/pie

D_1 = diámetro interior del tubo = 0.622 pulg.

D_2 = diámetro exterior del tubo = 0.840 pulg.

D_m = diámetro medio del tubo = 0.731 pulg.

D_r = diámetro de referencia.

Substituyendo valores y usando como diámetro de referencia el interno de los tubos, se tiene:

$$U_1 = \frac{1}{\frac{1}{0.14} + \frac{0.109 \times 2.54}{9.4 \times 0.00413 \frac{0.731}{0.622}} + \frac{1}{0.109 \frac{0.840}{0.622}}}$$

$$U_1 = \frac{1}{7.15 + 6.1 + 6.8} = \frac{1}{20.05}$$

$$U_1 = 0.499 \text{ cal/seg cm}^2 \cdot \text{C.}$$

El área de transmisión de calor en la zona de -- ebullición del amoníaco, puede calcularse con la ecuación:

$$q_1 = U_1 A_1 \Delta t_1 \quad A_1 = \frac{q}{U_1 \Delta t_1}$$

donde:

Δt_1 = diferencia de temperaturas entre el amoníaco y el condensado = $95 - 35 = 60^\circ \text{C.}$

$$A_1 = \frac{134\,000}{0.499 \times 60} = 44\,800 \text{ cm}^2 = 4.48 \text{ m}^2.$$

En la parte superior del vaporizador, es necesario suponerle al amoníaco vaporizado una velocidad no -- menor de 5 pie/seg (152 cm/seg) a fin de asegurarle un -- régimen turbulento y el coeficiente de transmisión de ca--

lor pueda calcularse como en los casos 9 y 3 (7) líquidos o gases calentados o enfriados fuera de tubos en grupo, - dirección de flujo paralelo a los tubos, en que se usará - un diámetro equivalente determinado mediante la fig. 29 (7) para tubos de 1/2 pulg con arreglo en triángulo de -- 1 pulg de centro a centro:

$$x = 1 \text{ pulg}; \quad d = 0.84 \text{ pulg}; \quad \frac{x}{d} = \frac{1}{0.84} = 1.19$$

$$\text{por tanto } D_e = 0.5 \text{ pulg.}$$

Con la velocidad supuesta, el valor de la masa v_e locidad será:

$$G = V \rho = \frac{V}{v_e} = \frac{5}{1.678} = 2.98 \text{ lb/pie}^2 \text{ seg.}$$

$$v_e = 1.678 \text{ pie}^3/\text{lb. (NH}_3 \text{ a } 12.2 \text{ Kg/cm}^2 \text{ y } 60^\circ \text{C.)}$$

Este valor de G es superior al mínimo permisible en el caso 3 (7) por lo que el coeficiente de transmisión - de calor puede determinarse con la ecuación:

$$h_2' = h_o F_t F_d$$

donde:

h_2' = coeficiente parcial de transmisión de calor para la zona de sobrecalentamiento de amoníaco.

h_o = valor base del coeficiente, extraído de la -
fig. 24 (7) para $G = 2.98$ sobre la línea de amoníaco

$$h_o = 15 \text{ Btu/h pie}^2 \cdot \text{°F.}$$

F_t = factor de corrección por temperatura, de -
la tabla 14 (7) para amoníaco a una temperatura media de
47°C. (115°F.) = 1.0

F_d = factor de corrección por diámetro, de la -
tabla 15 (7) para $D_e = 0.5$ pulg = 1.15

Por tanto el coeficiente parcial de transmisión de
calor será:

$$h_2^i = 15 \times 1.0 \times 1.15 \times 0.000135$$

$$h_2^i = 0.00233 \text{ cal/seg cm}^2 \cdot \text{°C.}$$

El coeficiente total de transmisión de calor en la
zona de sobrecalentamiento será entonces:

$$U_2 = \frac{1}{\frac{1}{0.14} + \frac{0.109 \times 2.54}{9.4 \times 0.00413 \frac{0.731}{0.622}} + \frac{1}{0.00233 \frac{0.346}{0.622}}}$$

$$U_2 = 0.00305 \text{ cal/seg cm}^2 \cdot \text{°C.}$$

Para el cálculo del área de transmisión de calor,
la Δt que se utilizará será la media entre las Δt -

en los extremos de la zona de sobrecalentamiento:

	Vapor	amoníaco	Δt
parte superior	95	60	35
parte inferior	95	35	60

$$\Delta t_2 = \frac{60 + 35}{2} = 47.5 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

$$A_2 = \frac{8\,400}{0.00305 \times 47.5} = 58\,000 \text{ cm}^2 = 5.8 \text{ m}^2.$$

El área total de transmisión de calor del vaporizador de amoníaco, será la suma:

$$A_t = A_1 + A_2 = 4.48 + 5.8 = 10.28 \text{ m}^2$$

El área interna de un tubo de 1.50 m de largo - - (5 pies) de 1/2 pulg cédula 40 es:

$$a = 0.622 \times 2.54 \times 3.14 \times 1.50 = 745 \text{ cm}^2$$

El número de tubos en el vaporizador serán:

$$\text{No de tubos} = \frac{A}{a} = \frac{10.28}{0.0745} = 138 \text{ tubos.}$$

que de acuerdo a las dimensiones de los tubos y - al arreglo, pueden caber en una envolvente de 15 pulg. - - (8).

Hasta aquí el cálculo del vaporizador, pero es ne-

cesario verificar los valores supuestos de w para el vapor, Δt_a para el amoníaco en ebullición y V para el amoníaco vaporizado.

La velocidad de condensación real del lado del vapor es:

$$w = \frac{W}{A} = \frac{950}{10.28} = 92.4 \text{ Kg/h m}^2 = 18.9 \text{ lb/h pie}^2$$

La Δt_a del lado del amoníaco vaporizándose, se comprobará con el principio:

$$\frac{\Delta t_1}{R_1} = \frac{\Delta t_a}{R_a}$$

donde R_1 y R_a son las resistencias térmicas total y del lado del amoníaco respectivamente.

$$\frac{\Delta t_1}{R_1} = \frac{45}{20.05} = 2.24$$

$$\frac{\Delta t_a}{R_a} = \frac{15}{6.8} = 2.21$$

La velocidad del amoníaco vaporizado, está en función del gasto volumen Q y de la sección transversal del lado del amoníaco; el gasto volumen será:

$$v_e = 1.678 \text{ pie}^3/\text{lb} = 104.5 \text{ cm}^3/\text{g}.$$

$$Q = \frac{1780 \times 1000 \times 104,5}{3600} = 51700 \text{ cm}^3 / \text{seg.}$$

La sección transversal se calcula con la ecuación:

$$D_e = 4 \frac{S}{p}$$

Donde S es la sección transversal y p el perímetro mojado; este último es la suma del perímetro exterior de los tubos, más el interior de la envolvente:

$$p = (138 \times 0,822 + 15) \times 2,54 \times 3,14 = 1040 \text{ cm}$$

La sección transversal será pues:

$$S = \frac{0,5 \times 2,54 \times 1040}{4} = 330 \text{ cm}^2$$

La velocidad del amoníaco es entonces:

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{51700}{330} = 156 \text{ cm/seg.}$$

Todos estos valores calculados, concuerdan aproximadamente con los supuestos, por lo que los cálculos pueden considerarse correctos.

Condensador del neutralizador.

El vapor de reacción excedente de la vaporización de amoníaco, se condensa, como ya se ha dicho, para favorecer la remoción del vapor del neutralizador y con ésto -

la ebullición y concentración de la solución; esta condensación se efectúa en un cambiador de calor vertical con agua de enfriamiento.

Al igual que en el vaporizador de amoníaco, el vapor de reacción se condensa en el interior de tubos de acero inoxidable, saliendo condensado a 95°C . y del otro lado el agua fluirá en cantidad tal que sólo se le permite una - - elevación de temperatura de 15°C .; de 20 a 35°C .

También usaremos tubos de $1/2$ pulg de cédula 40, - con distribución en triángulo a una pulgada de distancia de centro a centro; el condensador se calculará para condensar todo el vapor, para tener un margen de seguridad cuando se pare o reduzca la capacidad de la planta. El cálculo se hará partiendo de los siguientes datos:

Vapor.-

Gasto	$W_s = 3\ 680\ \text{Kg/h.}$
Calor total del vapor	$q_{s_1} = 2\ 320\ 000\ \text{Kcal/h.}$
Entalpía del condensado	$h_c = 95\ \text{Kcal/Kg.}$

Agua de enfriamiento.-

Temperatura de entrada	$t_{a_1} = 20^{\circ}\text{C.}$
Temperatura de salida	$t_{a_2} = 35^{\circ}\text{C.}$

Calor que se lleva el condensado:

$$q_{s_2} = W_s h_c = 3\,680 \times 95 = 350\,000 \text{ Kcal/h.}$$

El calor cedido al agua es:

$$q_a = q_{s_1} - q_{s_2} = 2\,320\,000 - 350\,000$$

$$q_a = 1\,970\,000 \text{ Kcal/h} = 548\,000 \text{ cal/seg.}$$

La cantidad de agua necesaria será por tanto:

$$W_a = \frac{q_a}{C_p \Delta t} = \frac{1\,970\,000}{1 \times 15} = 131\,300 \text{ Kg/h.}$$

$$= 36.5 \text{ lt/seg.}$$

Se usará también el método simplificado de Stoe-
ver, para estimar los coeficientes de transmisión de ca-
lor, para lo que será necesario también hacer tanteos.

A fin de limitar la caída de presión del agua de en-
friamiento en el condensador, se recomienda que la velo-
cidad del agua no exceda de 75 cm/seg (2.5 pie/seg) y el
coeficiente laminar de transmisión de calor h_1 , puede cal-
cularse como en los casos 1 y 9 (7) líquidos calentados fue-
ra de tubos en grupo, dirección de flujo paralelo a los tu-
bos, flujo turbulento; por medio de la ecuación:

$$h_1 = 0.023 k \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.4}$$

donde:

h_o = valor base del coeficiente de transmisión de calor, obtenido de la fig. 22 (7) para $V = 2.5$ pie/seg. sobre la línea para agua = $650 \text{ Btu/h pie}^2 \text{ }^\circ\text{F}$.

F_t = factor de corrección por temperatura, de la tabla 8 (7) = 0.9

F_d = factor de corrección por diámetro, para $D_e = 0.5$ pulg de la tabla 9 = 1.15

Por tanto el valor de h_1 será:

$$h_1 = 650 \times 0.9 \times 1.15 \times 0.000135$$

$$h_1 = 0.091 \text{ cal/seg cm}^2 \text{ }^\circ\text{C}.$$

El coeficiente laminar para el vapor puede determinarse por el caso 22 (7) suponiéndole una velocidad de condensación de 40 lb/h pie^2 y un largo de tubos de 6 pies; el producto $w N = 40 \times 6 = 240$, está arriba del valor crítico, por lo que la ecuación aplicable es:

$$h_2 = h_o F_t F_N$$

donde:

h_o = valor base del coeficiente, de la fig. 36 (7) para $w = 40$, sobre la línea de vapor = $370 \text{ Btu/h pie}^2 \text{ }^\circ\text{F}$.

F_t = factor de corrección por temperatura, de la tabla 41 (7) para vapor a $200^\circ\text{F} = 2.62$

F_N = factor de corrección por altura del tubo, de la tabla 42 (7) para $N = 6$ pies vale 0.82

El coeficiente laminar del lado del vapor es pues:

$$h_2 = 370 \times 2,62 \times 0,82 \times 0,000135$$

$$h_2 = 0,107 \text{ cal/seg cm}^2 \text{ }^\circ\text{C.}$$

El coeficiente total de transmisión de calor, tomando como diámetro de referencia el interno de los tubos será entonces:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{0,091 \frac{0,840}{0,622}} + \frac{0,109 \times 2,54}{9,4 \times 0,00413 \frac{0,731}{0,622}} + \frac{1}{0,107}}$$

$$U = 0,0425 \text{ cal/seg cm}^2 \text{ }^\circ\text{C.}$$

La Δt_m se encontrará en función de las Δt a la entrada y salida de los materiales:

	Vapor	Agua	Δt
Parte superior	95	35	60
Parte inferior	95	20	75

$$\Delta t_m = \frac{75 + 60}{2} = 67,5 \text{ }^\circ\text{C.}$$

El área de transmisión de calor será entonces:

$$A = \frac{q}{U \Delta t_m} = \frac{548\,000}{0.0425 \times 67.5} = 191\,000 \text{ cm}^2 \\ = 19.1 \text{ m}^2$$

El número de tubos de 1/2 pulg cédula 40 de 1.80 m de largo ($a = 0.0895 \text{ m}^2/\text{tubo}$) correspondiente a esa área será:

$$\text{No de tubos} = \frac{19.1}{0.0895} = 214 \text{ tubos.}$$

Los cuales, arreglados en triángulo y con 1 pulg. de distancia de centro a centro, caben en una envolvente de -- 18 pulg (8)

Verificando el valor de la velocidad de condensación supuesta de 40 lb/h pie^2 .

$$w = \frac{W}{A} = \frac{3\,680}{19.1} = 192.7 \text{ Kg/h m}^2 = 39.4 \text{ lb/h pie}^2.$$

La velocidad del agua de enfriamiento supuesta de 75 cm/seg se verificará en función del gasto volumen de 36,5 lt/seg y la sección transversal calculada con la ecuación:

$$D_e = 4 \frac{S}{p} \quad S = \frac{p D_e}{4}$$

Donde el perímetro mojado vale:

$$p = (214 \times 0.840 + 18) \times 2.54 \times 3.14 = 1570 \text{ cms.}$$

La sección transversal del lado del agua será enton

ces:

$$S = \frac{0.5 \times 2.54 \times 1570}{4} = 500 \text{ cm}^2$$

La velocidad real del agua es por tanto:

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{36\,500}{500} = 73 \text{ cm/seg.}$$

Los valores de w y de V fueron supuestos con bastante exactitud, por tanto el cálculo del condensador se considera correcto.

Evaporador

La solución de nitrato de amonio de 83 % de concentración, es necesario concentrarla hasta 99,6% o más para su posterior solidificación; dicha concentración se efectuará en un evaporador, el cual debe ser cuidadosamente seleccionado de acuerdo a las propiedades de la solución la capacidad de evaporación necesaria y las ventajas que reporte el uso de algún tipo de evaporador en especial.

Como ya se ha mencionado, el nitrato de amonio es un material sensible a las altas temperaturas, ya que a más de 250° C. se descompone produciendo una explosión. También ya se ha dicho que esta descomposición puede efectuarse a temperaturas más bajas si en la solución existe materia orgánica, material oxidable, exceso de ácido o presencia de cloruros; esta peligrosidad puede ser contrarrestada evitando la contaminación de la solución y-

alimentando al evaporador soluciones ligeramente alcalinas.

-Para la evaporación de soluciones como ésta, los evaporadores más adecuados son los llamados de película de escurrimiento, de un solo paso; la solución entra -- por la parte superior del evaporador a unos tubos verticales, que son generalmente de 5 a 25 cm (2 a 10 pulgadas) - de diámetro interno y de 4 a 8 m (12 a 24 pies) de largo, - (en este caso de acero inoxidable 304). La solución se hace bajar por el interior de los tubos en forma de película, donde hierve y se concentra por medio de vapor que circula por fuera de los tubos; dentro de los tubos, a contracorriente con la solución se hace pasar aire, que barre el vapor liberado, hacia la chimenea del evaporador, a través de un separador de niebla de fibra metálica.

Obviamente, la buena distribución de la solución - en los tubos es muy importante para la buena transmisión de calor, para lograrlo se han ideado varios sistemas, tales como poner una serie de placas horizontales perforadas, entre el punto de alimentación y la parte superior de los tubos; poner una obstrucción en la entrada de los tubos de tal manera que sólo se permita el flujo de la solución - alrededor del tubo; usar espreas en forma tal que lancen - la solución radialmente dentro de cada tubo; o poner extensiones a los tubos, con hendiduras que permitan la entrada tangencial de la solución al interior del tubo; este último -

Este método es el más adecuado cuando, como en este caso, se usa aire a contracorriente. En todos los casos la distribución de la solución debe ser tal que no inunde los tubos ni deje superficies de calefacción sin aprovechar.

El aire de arrastre debe previamente calentarse hasta la temperatura de la solución concentrada, para evitar la cristalización de la solución en el extremo inferior de los tubos, o concentraciones bajas, ambas condiciones indeseables. El aire circula a una velocidad de 9.15 a 10.7 m/seg (30 a 35 pie/seg) y para evitar retenciones de la solución por el flujo de aire, los tubos tienen el extremo inferior saliente y en corte diagonal.

Las ventajas que ofrece el uso de este tipo de evaporador por sus características de construcción y operación, son las siguientes:

1.- Corto tiempo de exposición de la solución al calor (de 6 a 10 seg) ya que de un solo paso se obtiene la concentración deseada, permitiendo seguridad en la operación.

2.- Poco material en proceso, aún para grandes capacidades.

3.- La presión a la que se efectúa la ebullición es uniforme a todo lo largo del evaporador, lo que elimina la elevación del punto de ebullición por concepto de presión hidrostática.

4.- La delgada película en movimiento y el flujo de aire a contracorriente, permiten la fácil eliminación del vapor.

5.- Permiten la operación continua por largos períodos de tiempo sin inspección o limpieza de la unidad, ya que las posibilidades de cristalización de la solución son mínimas.

La solución de 83% entra al evaporador a su temperatura de ebullición (130° C) o muy cercana a ella y se concentra a medida que baja por los tubos, aumentando su temperatura de ebullición de acuerdo a la gráfica No. 3 y la solución concentrada abandona el evaporador a su temperatura de ebullición (182° C).

Con el fin de evitar sobrecalentamiento de la solución, la temperatura de ésta no debe exceder al punto de ebullición de la concentración máxima; el uso de vapor saturado de 13.6 Kg/cm² (200 lb/pulg²) con una temperatura de 192° C. asegura una Δt mínima de 10° C. en el fondo del evaporador, que asegura la transmisión de calor y la concentración deseada.

Balance de materia y de calor.- Para el cálculo del evaporador será necesario hacer un balance de materia y de calor, basados en los siguientes datos:

Sol. de nitrato de amonio.-

Alimentación	$W_i = 10\ 100\ \text{Kg/h.}$
Concentración inicial	$C_i = 83\ \%$
Temp. inicial	$t_{e_i} = 130^\circ\text{C}$
Calor específico inicial	$C_{p_i} = 0.53\ \text{Kcal/Kg } ^\circ\text{C.}$
Concentración final	$C_f = 99.6\ \%$
Temp. final	$t_{e_f} = 162^\circ\text{C}$
Calor específico final	$C_{p_f} = 0.465\ \text{Kcal/Kg } ^\circ\text{C.}$
Presión de operación	Atmosférica (630 mm de Hg)
Entalpía de vaporización del agua	$h_v = 635\ \text{Kcal/Kg.}$
Calor específico del vapor a 630 mm de Hg	$C_{p_v} = 0.45\ \text{Kcal/Kg } ^\circ\text{C.}$

Vapor.-

Presión	$P = 13.6\ \text{Kg/cm}^2$
Calor latente del vapor	$\lambda = 460\ \text{Kcal/Kg.}$
Temperatura	$t_s = 192^\circ\text{C.}$

Aire.-

Temperatura	182° C
Presión	Atmosférica.
Velocidad	9,15 m/seg (30 pies/seg)

La cantidad de solución concentrada que se obtiene es:

$$W_f = 10\ 100 \times \frac{0,996}{0,83} = 8\ 450 \text{ Kg/h.}$$

El agua evaporada será entonces:

$$W = 10\ 100 - 8\ 450 = 1\ 650 \text{ Kg/h}$$

Calor con que entra la solución de 83 %:

$$q_1 = W_1 C_{p1} \Delta t_1 = 10\ 100 \times 0,53 \times 130$$

$$q_1 = 695\ 000 \text{ Kcal/h.}$$

Calor con que sale la solución concentrada:

$$q_2 = 8\ 450 \times 0,465 \times 182 = 715\ 000 \text{ Kcal/h.}$$

El calor que se lleva el vapor, puede calcularse -- con la ecuación:

$$q = W \left[h_v + 0,45 (t_{e_s} - t_{e_{H_2O}}) \right]$$

es decir que está compuesto por el calor de vapori-

zación del agua, más el calor correspondiente a la elevación del punto de ebullición, el cual es igual al calor específico del vapor, multiplicado por la diferencia de temperaturas de ebullición de la solución y la del agua a la presión de trabajo; dado que la temperatura de ebullición de la solución varía a lo largo de los tubos, se utilizará una t_{e_s} media :

$$t_{e_s} = \frac{182 + 130}{2} = 156 \text{ }^\circ\text{C.}$$

$$q_3 = 1\ 650 \left[635 + 0.45 (156 - 95) \right]$$

$$q_3 = 1\ 091\ 000 \text{ Kcal/h.}$$

El calor transmitido por el vapor de calentamiento será entonces:

$$q_s = q_2 + q_3 - q_1$$

$$q_s = 715\ 000 + 1\ 091\ 000 - 695\ 000$$

$$q_s = 1\ 111\ 000 \text{ Kcal/h} = 309\ 000 \text{ cal/seg.}$$

La cantidad de vapor de 13.6 Kg/cm^2 necesaria para el suministro de este calor es:

$$V = \frac{q_s}{\lambda} = \frac{1\ 111\ 000}{460} = 2\ 420 \text{ Kg/h}$$

El coeficiente de transmisión de calor de este evaporador, está afectado por las propiedades de la solución y el tipo de flujo, por los coeficientes del lado del vapor y del líquido, además de la conductividad del metal y de los coeficientes de incrustación a ambos lados del tubo. Si del lado del vapor se eliminan efectiva y rápidamente los incondensables y el condensado, el valor del coeficiente total de transmisión de calor, está fuertemente influenciado por el correspondiente del lado del licor en ebullición. Pero este coeficiente no es uniforme a lo largo de todo el evaporador, ya que siendo una función de Δt , va decreciendo a medida que baja la solución por los tubos.

Dado que los evaporadores de película son equipo especial y tienen por tanto una demanda reducida, para la evaluación del coeficiente parcial de transmisión de calor del lado de la solución no se ha llegado a encontrar una relación matemática satisfactoria. Por esa razón se acostumbra usar coeficientes totales de transmisión de calor que se han encontrado experimentalmente en evaporadores similares. Para el caso de evaporadores de película como el que nos ocupa, manejando el mismo material y en condiciones similares, dicho coeficiente puede estimarse en $70 \text{ Btu/h pie}^2 \text{ }^\circ\text{F}$. ($0.00945 \text{ cal/seg cm}^2 \text{ }^\circ\text{C}$.)

Usando como ya se anotó, vapor de 13.6 Kg/cm^2 con una temperatura de saturación de 192°C ., el valor de

Δt_m se estimará en función de las Δt en las partes superior e inferior del evaporador.

	Vapor	Solución	Δt	
Parte superior	192	130	62	Δt_1
Parte inferior	192	182	10	Δt_2

Puesto que el cociente $\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}$ es mayor de 2, -

la Δt_m será la logaritmica:

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{2.3 \log \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{62 - 10}{2.3 \log \frac{62}{10}}$$

$$\Delta t_m = 28.6^\circ \text{C.}$$

El área de transmisión de calor del evaporador es entonces:

$$A = \frac{Q}{U \Delta t_m} = \frac{309\,000}{0.00945 \times 28.6}$$

$$A = 1\,145\,000 \text{ cm}^2 = 114.5 \text{ m}^2$$

Usando tubos de 2 pulg cédula 40 de acero inoxidable 304 de 6 m de largo, la cantidad de tubos necesarios - será:

$$D_i = 2\,067 \text{ pulg.}$$

$$\begin{aligned} \text{área/tubo} &= 2,067 \times 2,54 \times 3,14 \times 600 \\ a &= 9\,900 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{No de tubos} = \frac{114,5}{0,99} = 116 \text{ tubos}$$

Ya que la solución que baja en forma de película, - ocupa un volumen muy pequeño en los tubos, la cantidad de aire necesario puede calcularse, sin incurrir en un error apreciable, considerando la sección transversal interna de los tubos, como el área de paso del aire; si como ya se ha dicho, la velocidad del aire es de 30 pies/seg. la cantidad - de aire necesario será:

$$S = (2,067 \times 2,54)^2 \times 0,785 \times 116 = 2\,490 \text{ cm}^2$$

$$\text{Gasto volumen } Q = V S = 2\,490 \times 30 \times 30,5$$

$$Q = 2\,280\,000 \text{ cm}^3/\text{seg} = 8\,200 \text{ m}^3/\text{h.}$$

El peso de este volumen de aire es:

Densidad del aire a las condiciones normales,

$$(0^\circ \text{C. y 1 atm.}) = 1,2928 \text{ Kg/m}^3$$

Corrigiendo por temperatura y presión y multipli-- cando por la densidad, se obtiene que el peso del aire nece-- sario es:

$$W_a = 8\,200 \times \frac{273}{182 + 273} \times \frac{630}{760} \times 1,2928$$

$$W_a = 5\,300 \text{ Kg/h.}$$

Calentador de aire,

El objeto de este calentador es el de elevar la temperatura de las 5,3 Tons/h. de aire, de la temperatura ambiente, hasta 182° C., antes de alimentarlo al evaporador. Consiste esencialmente de un cambiador de calor vertical, al que se le hace circular aire por dentro de los tubos y vapor de calentamiento fuera de ellos.

El flujo de aire se logra por medio de un ventilador de tipo axial, que toma el aire del medio ambiente a través de un filtro de fibra metálica y lo alimenta al calentador. En la parte inferior, una válvula de mariposa regula la entrada de aire caliente al evaporador, de acuerdo a la concentración deseada y a la operación del evaporador.

Se considerará el aire de entrada, a 20° C de temperatura, 50% de humedad relativa y 630 mm de Hg de presión barométrica.

El vapor a usar será también de 13,6 Kg/cm² (200 lb/pulg²) para poder elevar la temperatura del aire hasta el valor deseado, 182° C.

Balace de calor y materia.- La cantidad de calor necesario puede calcularse mediante el calor húmedo del aire $C_s = 0,244 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C.}$

$$q = W_a C_{p_a} (t_2 - t_1)$$

$$q = 5\,300 \times 0,244 \times (182 - 20)$$

$$q = 209\,000 \text{ Kcal/h.} = 58\,200 \text{ cal/seg.}$$

El vapor necesario que suministre este calor es:

$$V = \frac{q}{\lambda} = \frac{209\,000}{460} = 455 \text{ Kg/h.}$$

El coeficiente de transmisión de calor se determinará por el método de Stoever, por el caso No. 4 (7) gases a la presión atmosférica calentados o enfriados dentro de tubos horizontales o verticales, flujo turbulento; dado que el coeficiente de transmisión de calor del lado del aire es muy bajo y por tanto influye en que el coeficiente total también lo sea, se le asignará al aire una velocidad media de 30.5 m/seg (100 pie/seg) para lograr la turbulencia que favorezca el incremento del coeficiente de transmisión de calor. Esta condición se logra cuando la sección transversal de los tubos sea:

Volumen del aire a una temperatura media de 100°C

$$Q = 2\,280\,000 \times \frac{373}{455} = 1\,870\,000 \text{ cm}^3/\text{seg.}$$

$$S = \frac{Q}{V} = \frac{1\,870\,000}{100 \times 30,5} = 614 \text{ cm}^2$$

Con el fin de no ofrecer excesiva resistencia al flujo de aire y de acuerdo a un balance económico, se usarán tubos de 1 1/4 pulg. tipo BWG del No. 12 ($D_i = 1.032$ pulg)

con lo que se requerirán tantos tubos como:

$$\text{Sección/tubo} = (1.032 \times 2.54)^2 \times 0.785 = 5.4 \text{ cm}^2$$

$$\text{No. de tubos} = \frac{614}{5.4} = 114 \text{ tubos.}$$

que arreglados en forma de triángulo, con 1 9/16 pulg de distancia de centro a centro, caben dentro de una envolvente de 21 pulg (8).

Del lado del aire, el valor del coeficiente parcial de transmisión de calor h_1 , se encontrará con la ecuación:

$$h_1 = h_o F_t F_d$$

donde:

h_o = valor base del coeficiente parcial, de la fig. 25 (7) para $V = 100$ pie/seg = $18 \text{ Btu/h pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$.

F_t = factor de corrección por temperatura, para aire a 100°C . (212°F) = 0.9

F_d = factor de corrección por diámetro, para $D = 1.032$ pulg vale 1.0

El valor de h_1 es por tanto;

$$h_1 = 18 \times 0.9 \times 1.0 \times 0.000135$$

$$h_1 = 0.00228 \text{ cal/seg cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

El coeficiente de transmisión de calor del lado -- del vapor es muy alto comparado con el del aire, por lo -- que afecta muy poco el coeficiente total U, así pues en -- vez de determinar su valor exacto, se le supondrá uno de 0.1 cal/seg cm² °C. (valor aproximado a los encontrados para el vaporizador y el condensador); el coeficiente total será pues, tomando como diámetro de referencia el inter- no de los tubos:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{0.00228} + \frac{0.109 \times 2.54}{26 \times 0.00413 \frac{1.141}{1.032}} + \frac{1}{0.1 \frac{1.250}{1.032}}}$$

$$U = 0.00222 \text{ cal/seg cm}^2 \text{ °C.}$$

La Δt_m se encontrará en función de las Δt en los extremos del calentador.

	Vapor	Aire	Δt
Parte superior	192	20	172
Parte inferior	192	182	10

$$\Delta t_m = \frac{172 - 10}{2.3 \log \frac{172}{10}} = 57^\circ \text{C.}$$

El área de transmisión de calor será entonces:

$$A = \frac{q}{U \Delta t_m} = \frac{58\,200}{0.00222 \times 57} = 460\,000 \text{ cm}^2 = 46.0 \text{ m}^2$$

Puesto que se usarán 114 tubos de 1 1/4 pulg. el largo de ellos será:

$$\text{Perímetro total} = 114 \times 1.032 \times 2.54 \times 3.14$$

$$P = 940 \text{ cm}$$

$$\text{Largo} = \frac{\text{Area}}{\text{Perímetro}} = \frac{46.0}{9.40} = 4.90 \text{ m.}$$

Ventilador.- La capacidad del ventilador se determina en función de la cantidad de aire manejado y de la diferencia de presión creada; esta presión es la suma de la presión dinámica necesaria para dar al aire la velocidad deseada y la presión estática necesaria para vencer la fricción.

El volumen del aire a 20° C. y 630 mm de Hg. es:

$$Q = \frac{5\,300}{3\,600 \times 1.2928} \times \frac{293}{273} \times \frac{760}{630} = 1.47 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

La presión dinámica puede calcularse con la ecuación:

$$h_d = \frac{v^2}{2g} \times \frac{d_{\text{aire}}}{D_{\text{agua}}}$$

donde:

h_d = presión dinámica en cm de agua.

v = velocidad del aire en cm/seg.

g = aceleración de la gravedad en cm/seg².

d y D = densidad del aire y del agua, respectivamente, en g/cm^3 .

$$h_d = \frac{(100 \times 30.5)^2}{2 \times 981} \times \frac{0.001}{0.9983} = 5.6 \text{ cm de agua.}$$

La presión estática se considerará estimativamente en un 30% de la presión dinámica calculada para la velocidad de 100 pie/seg, considerando que se obtendrá una presión estática adicional con la expansión del aire por el calentamiento y que al pasar el aire por secciones mayores a la del calentador, se reduce la velocidad y parte de la presión dinámica se convierte en estática. La presión total del ventilador será pues:

$$h_t = 5.6 \times 1.3 = 7.3 \text{ cm de agua.}$$

La potencia del ventilador se calculará con la --- ecuación:

$$\text{Potencia} = \frac{Q h_t D}{7.604 \eta} \quad (11)$$

donde:

Q = Gasto volumen de aire en m^3/seg .

h_t = Elevación de presión en cm de agua.

D = Densidad del agua a la temperatura del aire en $\text{g/cm}^3 = 0.9983$

η = eficiencia mecánica del ventilador = 0.4

$$\text{Potencia} = \frac{1.47 \times 7.3 \times 0.9983}{7.604 \times 0.4} = 3.55 \text{ HP.}$$

De acuerdo a estos resultados, se usará un ventilador axial, con capacidad de 3 100 pie³/min. (1.47 -- m³/seg) y 3 pulg de agua de presión (7.6 cm), manejado por un motor de 5 HP., con un diámetro de ducto de 21 pulg, para acoplarlo directamente al calentador.

Tanque de solución concentrada.

La solución concentrada sale del evaporador por gravedad y entra a un tanque receptor, que deberá ser de acero inoxidable y estar provisto de camisa de vapor de 13.6 Kg/cm² (200 lb/pulg²) y aislamiento térmico para evitar el enfriamiento y cristalización de la solución. Deberá contar con las siguientes tuberías y accesorios:

- 1.- Entrada de la solución concentrada proveniente del evaporador.
- 2.- Retorno de la solución del tanque superior, - que mantiene el nivel constante en ese tanque.
- 3.- Dos bombas centrifugas verticales, de impulsor sumergido (para trabajar alternativamente) con tubería de descarga al tanque superior.
- 4.- Tubería de drene al tanque de solución de --- 83 % (cerrada en operación normal).
- 5.- Tubería de reboso, que retorna parte de la so

lución al tanque de 83 %, para mantener la temperatura en aquél, evitar derrames en éste y mantener el nivel necesario para la succión de las bombas; además sirve para recircular la solución al evaporador, cuando así lo requiera la operación de la planta.

6.- Un termómetro de carátula, que indica la temperatura de la solución e indirectamente la concentración de la solución.

Todas las tuberías deberán tener también camisa de vapor y aislamiento térmico y además conexiones para poder soplar vapor por la tubería al iniciar y parar el flujo a través de ellas, para evitar taponaduras por solución cristalizada.

Dadas las condiciones riesgosas de la solución concentrada, se debe mantener en este tanque y en la planta en general, la menor cantidad de ella posible, por lo que las dimensiones de este tanque serán sólo las suficientes para dar cabida a las bombas y 1 m^3 de solución como máximo; un tanque cilíndrico de 1.50 m de alto por 1.20 m de diámetro cumple con esta condición satisfactoriamente.

Torre Prilling.

La solución bombeada del tanque de solución concentrada, va un sistema de aspersion en lo alto de la to

re, de donde cae en forma de gotas por el interior de ella, que al enfriarse se solidifican formando partículas esféricas sólidas de un tamaño de 5 a 20 mallas, proceso denominado "prilado"; el medio de enfriamiento es aire que circula a contracorriente, inducido por medio de ventiladores instalados en el techo de la torre.

El fondo de la torre está formado por dos grupos de persianas de hule, que permiten la entrada de aire y acumulan el producto en el centro de la torre, para de ahí alimentarlo al enfriador por medio de un transportador oscilatorio; entre las persianas se instalará un serpentín de vapor para calentar ligeramente el aire de entrada y reducir así su humedad relativa, con el objeto de evitar la condensación de esa humedad sobre el producto seco.

Las torres generalmente se construyen de sección cuadrada, aunque también existen torres cilíndricas para evitar espacios muertos; esto aparentemente da muy pocas diferencias en los resultados obtenidos. Las torres se construyen de aluminio, usando lámina de 0.48 cm (3/16 pulg) de aleación 3SF, reforzadas por el exterior con ángulos de 10 x 10 cm (4 x 4 pulg) de aluminio 61ST y soportadas por estructura del mismo material en viguetas de 25 x 25 cm (10 x 10 pulg); a esta estructura puede adicionarse la necesaria para escaleras

y para soportar equipos como el evaporador, vaporizador de amoníaco, calentador de aire, etc..

Se han desarrollado varias técnicas para la operación de prilado, basados en el sistema de aspersión, y las condiciones a las que deba manejarse la solución y el aire de enfriamiento, con objeto de obtener un tamaño de partícula uniforme.

Para la aspersión se han usado aspersores fijos y rotatorios, tubos con orificios y regaderas; éstas últimas han tenido más éxito, usándose generalmente duchas con 53 orificios del No. 70 (0.64 mm) (0.025 pulg) - que se instalan en tubos distribuidores (manifolds). El número de regaderas depende de la capacidad de diseño y de la producción deseada; plantas de 200 toneladas diarias de nitrato de amonio operan con 20 - 26 duchas a un tiempo, pero tienen instaladas hasta 40 para poder limpiarlas o repararlas sin alterar la producción. Se ha probado también prilar con duchas inclinadas, pero los resultados demuestran que el ángulo de inclinación no es un factor crítico.

Para la operación eficiente de las duchas, se requiere cierta presión de la solución dentro de ellas; el equipo que provee esa presión, en forma de presión hidrostática es el tanque superior, que es un tanque cilíndrico, pequeño y angosto, al fondo del cual se acopla el -

sistema de distribución a las duchas; la presión hidrostática de 1,20 a 1,50 m (4 a 5 pies) de solución es suficiente, ya que origina perdigones del tamaño deseado de 5 a 20 mallas. Presiones mayores producen partículas más pequeñas. La solución se alimenta al tanque por la parte superior, proveniente del tanque de solución concentrada; una tubería de reboso mantiene el nivel constante y recircula el remanente al tanque de solución concentrada. El tanque, el sistema de distribución y las tuberías de solución deberán tener camisa de vapor y aislamiento térmico.

Las propiedades de la solución, como temperatura, concentración y pH., son factores muy importantes en la operación de la torre; la temperatura mínima de la solución debe ser por lo menos 10°C., superior a la temperatura de cristalización para evitar que se solidifique en las tuberías, sin embargo el límite máximo de temperatura depende de la altura efectiva de la torre y de la temperatura del aire de enfriamiento.

La concentración de la solución debe mantenerse bajo límites muy restringidos, ya que bajas concentraciones producen perdigones pegajosos que tienden a formar acumulaciones o terrones; concentraciones altas originan perdigones pequeños, probablemente debido a un aumento en la tensión superficial.

III

Las soluciones alcalinas indican la presencia de amoníaco libre en ellas, que al someterlas a prilado liberan el amoníaco produciendo un sólido poroso y que bradizo; con soluciones ácidas se obtienen perdigones pegajosos y con características muy semejantes a la baja concentración.

La cantidad de aire de enfriamiento necesario, depende de la temperatura y humedad del aire ambiente, así como de la temperatura de la solución y del tiempo de caída del perdigón, además dicho aire deberá circular por la torre a la velocidad máxima posible para lograr el enfriamiento deseado, pero sin originar el arrastre hacia arriba de las partículas sólidas.

Todas estas variables hacen de la operación de prilado un problema complejo, cuya resolución está sujeta a datos experimentales que interrelacionen las innumerables variables, para determinar las condiciones óptimas de operación. Desgraciadamente la mayor parte de esos datos experimentales están en manos de los fabricantes de este tipo de equipos y en la literatura actualmente disponible no se cuenta con una base firme de diseño; esto nos limita a utilizar los escasos datos accesibles de instalaciones probadas exitosamente con anterioridad. Unas condiciones típicas de la solución manejada en plantas de nitrato de amonio operando satisfacto

riamente, puede ser el siguiente:

Concentración 99,6 %

Temperatura 182° C.

pH. 3,8 - 4

Por otro lado, la Commercial Solvents Corp. - (24) ha patentado una torre de 50 pies (15 m) de altura efectiva, donde alimenta una solución casi anhidra de nitrato de amonio a 360° F (182° C) en contracorriente con aire que circula a una velocidad máxima de - - - - 650 pie/min. (3,3 m/seg) obteniendo en el fondo de la torre perdigones con un contenido de humedad de 0,3 %, un tamaño de 10 a 20 mallas y una densidad aparente de 925 Kg/m³.

Con una temperatura de 182° C. de la solución y una temperatura del aire mucho más baja, la superficie de cada gota se enfría y solidifica en forma de una capa casi inmediatamente, por otro lado, aunque el calor liberado por el nitrato al cristalizarse evapora todavía parte de la humedad residual, esta transferencia de masa es tan pequeña, que su exclusión de -- los cálculos no introducirá errores apreciables.

Como ya se ha dicho en el Capítulo II, el nitrato de amonio existe en 5 formas cristalográficas diferentes, dependiendo de la temperatura; en estas temperaturas de cambio de forma cristalina, ocurre también

una variación brusca en el volumen (2l) que puede contribuir a la desintegración del perdigón; si se obtiene un producto sólido en el fondo de la torre a 80° C. y no se le permite enfriar a menos de 35° C. durante todo el período de enfriamiento, clasificación, recubrimiento y ensacado, se mantiene el producto en estado monoclínico, sin cambio - cristalográfico.

El cálculo de la torre se hará con base a las anteriores consideraciones y a los siguientes datos:

Nitrato de amonio.-

Gasto	$W_1 = 8.45 \text{ Ton/h.}$
Temperatura inicial	$t_1 = 182^\circ \text{C.}$
Temperatura de cristalización	$t_c = 169.6^\circ \text{C.}$
Temperatura final	$t_2 = 80^\circ \text{C.}$
Calor específico (sol. 99.6%)	$C_{p1} = 0.46 \text{ Kcal/Kg}^\circ \text{C.}$
Calor de cristali- zación	$C_c = 1460 \text{ cal/g mol.}$ $= 18.2 \text{ Kcal/Kg.}$
Calor específico (sólido)	$C_{p2} = 0.398 \text{ Kcal/Kg}^\circ \text{C.}$

Aire.-

Temperatura inicial	$t_2^i = 20^\circ \text{C.}$
---------------------	------------------------------

Temperatura final	$t_1' = 30^\circ\text{C}$
Humedad relativa	$H_r = 50\%$
Calor húmedo	$C_s = 0.244 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C.}$
Velocidad	$V_a = 3.3 \text{ m/seg.}$

El calor transmitido del nitrato al aire, se efectúa en 3 formas:

- 1.- Enfriamiento de la solución hasta la temperatura de cristalización.
- 2.- Liberación del calor de cristalización.
- 3.- Enfriamiento del sólido hasta la temperatura de salida de la torre.

Todo ese calor entra al aire en la forma de calor sensible, elevando su temperatura.

El calor cedido por el nitrato de amonio en la torre es:

$$q = 8\,450 \left[0.46 \times (182 - 169.6) + 18.2 + 0.398 \times (169.6 - 80) \right]$$

$$q = 503\,200 \text{ Kcal/h.}$$

La cantidad de aire necesario es entonces:

$$W_a = \frac{q}{C_s (t_1' - t_2')} = \frac{503\,200}{0.244 \times (30 - 20)}$$

$$W_a = 206\,000 \text{ Kg/h.}$$

Este aire medido a 30° C. y 630 mm de Hg. de presión, tendrá un volumen de:

$$Q = \frac{206\ 000}{1,2928} \times \frac{273 + 30}{273} \times \frac{760}{630}$$

$$Q = 213\ 000 \text{ m}^3/\text{h.}$$

La sección transversal de la torre será entonces:

$$S = \frac{Q}{V} = \frac{213\ 000}{3\ 600 \times 3,3} = 18 \text{ m}^2.$$

Si se construye una torre de sección cuadrada, el lado de ella será:

$$L = \sqrt{S} = \sqrt{18} = 4,25 \text{ m.}$$

La altura de la torre es una función de la velocidad de transmisión de calor y puede calcularse con la ecuación:

$$q = U_a S z (t_s - t_g) m$$

donde:

U_a = coeficiente volumétrico de transmisión de calor.

S = Sección transversal de la torre.

z = Altura de la torre

t_s y t_g = temperaturas del sólido y del gas respectivamente.

Dado que las partículas sólidas caen en el seno de un gas frío, la superficie de transmisión de calor es una función de la superficie de las partículas expuestas al aire, y del tiempo de caída del perdigón, más que de la superficie de la misma torre y la evaluación del coeficiente volumétrico de transmisión de calor es también empírica; un valor de $15 \text{ Kcal/h m}^3 \text{ }^\circ\text{C}$., para este coeficiente, es una elección dentro de los valores usuales en este tipo de equipos.

La Δt_m se calculará en función de las condiciones extremas de la torre:

	Nitrato	Aire	Δt
Parte superior	182	30	152
Parte inferior	80	20	60

$$\Delta t_m = \frac{152 - 60}{2.3 \log \frac{152}{60}} = 99^\circ\text{C}.$$

La altura de la torre será por tanto:

$$z = \frac{q}{Ua S \Delta t_m} = \frac{503 \ 200}{15 \times 18 \times 99} = 18.8 \text{ m}.$$

Ventiladores.- Dado que la velocidad del aire es muy baja y la sección transversal de la torre muy grande, tanto la presión estática como la dinámica del flujo de aire son muy reducidos, por lo que pueden usarse ven

tiladores con 1/2 pulg de agua de presión de operación, -
con lo que la potencia total de los ventiladores será:

$$\text{Potencia} = \frac{213\ 000 \times 0.5 \times 2.54 \times 0.998}{3\ 600 \times 7.604 \times 0.4}$$

$$\text{Potencia} = 24.6 \text{ HP.}$$

Pueden usarse 4 ventiladores que manejen hasta 35 000 pie³ /mín. (238 000 m³ /h en total) con una presión de succión de 1/2 pulg (1.27 cm) de agua y acoplados a motores de 7 1/2 HP., con persianas en la succión para poder regular la cantidad de aire de acuerdo a la operación de la torre y a las condiciones del aire ambiente.

Enfriador.

Del fondo de la torre se obtienen los perdigones - todavía muy calientes, los cuales deben enfriarse antes - de someterlos a las operaciones de clasificación, recu- brimiento y ensacado, para obtener así el producto ter- minado.

El equipo apropiado para el enfriamiento de par- tículas uniformes, de fácil fluidez, como es el caso del - nitrato de amonio obtenido por este método, es el enfria- dor rotatorio, que es de construcción similar a los seca- dores rotatorios, es decir es un cilindro montado sobre un sistema de rodamiento, con una ligera inclinación con respecto a la horizontal; el perdigón entra caliente por - el extremo más alto y por el otro extremo se introduce -

a contracorriente aire de enfriamiento; unas aletas soldadas a la superficie interna del cilindro, levantan y esparcen los perdigones en el seno del aire, en forma de cascada.

Como ya se ha dicho, el nitrato de amonio seco no presenta problemas de corrosión, por lo que el enfriador puede construirse de hierro, sin embargo, dada la calidad hidrosfópica del nitrato de amonio, el aire de enfriamiento se pasa antes por un deshumidificador, el cual consta de un serpentín de refrigeración con amoníaco que condensa parte de la humedad del aire y un recalentador que eleva la temperatura del aire a 35°C. El contenido de humedad del aire así obtenido, es tan pequeño, que puede considerarse como aire seco, sin incurrir en considerable error.

Los principios aplicables a la transferencia de calor en los secadores rotatorios, puede aplicarse igualmente para el cálculo de este enfriador, con la única diferencia de que el calor se transmite del sólido al aire, en lugar del aire al sólido como ocurre en la operación de secado; para el cálculo del enfriador, se considerarán los siguientes datos:

Nitrato de amonio.-

Gasto	8.45 Ton/h.
Temperatura de entrada	80°C.

Temperatura de salida.	40° C
Calor específico	0,398 Kcal/Kg °C.

Aire de enfriamiento.-

Temperatura de entrada	35° C.
Temperatura de salida	55° C.
Calor específico	0,24 Kcal/Kg° C.

Calor cedido por el nitrato al aire:

$$q = 8\,450 \times 0,398 \times (80 - 40) = 135\,000 \text{ Kcal/h.}$$

Cantidad de aire necesario:

$$W_a = \frac{135\,000}{0,24 \times (55 - 35)} = 28\,100 \text{ Kg/h.}$$

El aire debe alimentarse al enfriador a la velocidad máxima posible, sin arrastre considerable de polvos, para lograr el enfriamiento adecuado; esta velocidad máxima es diferente para cada material y debe establecerse sobre base experimental; Saeman y Mitchell, (25) investigaron el mecanismo del transporte de materia y --- transferencia de calor en secadores y enfriadores rotatorios, manejando nitrato de amonio de 16 a 20 mallas y en contraron para ese material una masa velocidad máxima permisible de 1 200 lb/h pie² (5 870 Kg/h m²); la sec---

ción transversal y el diámetro del enfriador serán pues:

$$S = \frac{W_a}{G} = \frac{28\ 100}{5\ 870} = 4.8\ \text{m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{S}{0.785}} = \sqrt{\frac{4.8}{0.785}} = 2.47\ \text{m} \\ = 8.1\ \text{pie}$$

La longitud del enfriador es una función de la --- transmisión de calor; en el estudio de Saeman y Mitchell (25) se dice que esa transmisión depende de la cantidad - de material que cae en cascada por unidad de tiempo y - proponen la siguiente ecuación:

$$\frac{Q}{L \Delta t_m} = C (0.6 + e^{-4.8 M})$$

Donde el primer miembro de la ecuación repre-- senta un coeficiente de transmisión de calor por unidad - de longitud de enfriador, en Btu/min pie²°F; C es la cantidad de material en cascada; e es la base de los logarit-- mos neperianos y M la altura radial de las aletas.

A su vez, la cantidad de material en cascada, de-- be calcularse con la ecuación:

$$C = A N R$$

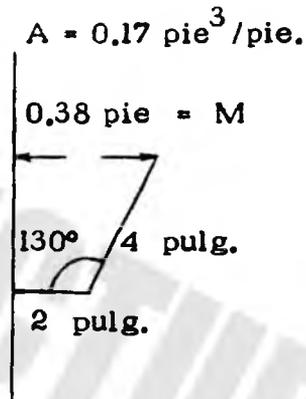
donde:

A = capacidad volumétrica de las aletas, en - - - pie³/pie.

N = número de aletas en el enfriador.

R = velocidad del enfriador en rev./min.

La capacidad de una aleta dada, varía según el material manejado, dependiendo de la densidad aparente, del ángulo de reposo, etc., se utilizarán aletas semejantes a las utilizadas por Saeman y Mitchell en su trabajo, cuyas características se indican en el esquema de la derecha, -- con el objeto de utilizar el dato de la capacidad de esta aleta llena de nitrato de amonio.



El número de aletas en los secadores y enfriadores, fluctúa entre $2D$ y $3.5 D$ (6) estando D en pies; con objeto de mantener poco material retenido en el enfriador se utilizará la relación mínima y se instalarán por tanto 16 aletas.

Los secadores y enfriadores rotatorios usualmente operan a velocidades periféricas de 30 a 150 pie/min (6); se le asignará a este enfriador una velocidad de --- 5 rev/min con lo que se logra una velocidad periférica de 125 pie/min.

La cantidad de material en cascada será entonces:

$$C = A N R = 0,17 \times 5 \times 16 = 13,6 \text{ pie}^3 / \text{min pie.}$$

El coeficiente de transmisión de calor valdrá entonces:

$$\begin{aligned} C (0,6 + e^{-4,8M}) &= 13,6 \times (0,6 + 2,72^{-4,8 \times 0,38}) \\ &= 10,3 \text{ Btu/min pie}^\circ\text{F.} \\ &= 15,3 \text{ Kcal/min m}^\circ\text{C.} \end{aligned}$$

La Δt_m se estimará en función de las condiciones extremas del aire y del sólido en el enfriador.

$$\Delta t_1 = 80 - 55 = 25^\circ\text{C.}$$

$$\Delta t_2 = 40 - 35 = 5^\circ\text{C.}$$

$$\Delta t_m = \frac{25 - 5}{2,3 \log \frac{25}{5}} = 12,4^\circ\text{C.}$$

La longitud del enfriador será entonces:

$$L = \frac{q}{U \Delta t_m}$$

$$L = \frac{135\,000}{60 \times 15,3 \times 12,4} = 11,85 \text{ m.}$$

Este resultado concuerda con la relación establecida de que L/D va de 4 a 10 (6) para este tipo de equipos;

puede usarse un enfriador rotatorio de 2,50 m de diámetro por 12 m de largo.

Ventilador húmedo.- El aire de enfriamiento se hace circular por el sistema por medio de un ventilador centrífugo, al que se le lava continuamente su interior por medio de una aspersión de solución diluída de nitrato de amonio, para evitar que el polvo de nitrato arrastrado se acumule sobre las superficies metálicas del ventilador, así como para su recuperación; el ventilador descarga la solución con parte de aire por la parte inferior en un ciclón que los separa y el resto de aire directamente a la atmósfera. La solución obtenida en el ciclón baja por gravedad a un tanque, de donde se recircula al ventilador, hasta que la concentración llega a 60%, entonces se envía al neutralizador.

La mayor parte de la resistencia al flujo de aire, se presenta en el equipo auxiliar del enfriador, como son el deshumidificador y el ciclón; la caída de presión en el enfriador es posible que sea de un 10 a un 50% de la caída de presión total; para los fines de la estimación de la potencia del motor del ventilador, se considera que puede esperarse una caída de presión total en todo el sistema de 10 cm (4 pulg) de agua, con lo que la potencia necesaria será:

Volumen de aire a 55° C. y 630 mm de Hg:

$$Q = \frac{28\,100 \times 760 (273 + 55)}{1,2928 \times 630 \times 273} = 31\,400 \text{ m}^3/\text{h.}$$

Densidad del agua a 55° C. = 0.985 g/cm³.

$$\text{Potencia} = \frac{31\,400 \times 4 \times 2,54 \times 0,985}{3\,600 \times 7,604 \times 0,4}$$

$$= 28,6 \text{ HP.}$$

Equipo de manejo de sólidos

Las instalaciones para el manejo de sólidos son - muy importantes en la industria química, algunas de ellas muy costosas, por ello el diseño completo de este equipo debe hacerlo una persona experimentada en ese campo, - haciendo un cuidadoso análisis de todas las variables, - tanto del material como del equipo mecánico, sin embargo el Ingeniero Químico debe estar capacitado para elegir el tipo de equipo más adecuado, en función de las características del material, la capacidad deseada, el espacio disponible, etc., es conveniente además consultar a - los fabricantes y enviarles muestras, de ser ésto posible.

En este trabajo se indicarán sólo algunas reglas - simples, por medio de las cuales podrá darse una idea - del equipo requerido.

El equipo de manejo del perdigón de nitrato de -- amonio, deberá calcularse para manejar unas 8.5 Ton/h.

de un material con una densidad aparente de 925 Kg/m^3 y un ángulo de reposo de 24° , para operar en flujo continuo; el equipo para manejo de la tierra diatomácea puede estimarse sobre la base de 6 Ton/día de un polvo de 225 Kg/m^3 y 35° de ángulo de reposo.

Transportadores oscilatorios.- Para el transporte del nitrato de amonio sin recubrir, el transportador oscilatorio es el más adecuado para evitar que se formen acumulaciones o terrones; de este tipo serán pues los transportadores del fondo de la torre al enfriador y del clasificador al recubridor; la velocidad media de estos transportadores usualmente es de 9.15 m/min (30 pies/min) (26), con lo que la sección transversal del transportador será:

Volumen del material:

$$Q = \frac{8\,450 \text{ Kg}}{h \times 925 \text{ Kg}} \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 9.15 \text{ m}^3/\text{h}.$$

$$= 0.152 \text{ m}^3/\text{min}.$$

$$S = \frac{Q}{V} = \frac{152\,000 \text{ cm}^3}{\text{min} \times 915 \text{ cms}} \frac{\text{min}}{\text{min}} = 166 \text{ cm}^2.$$

Pueden construirse los transportadores con una sección del canal de 200 cm^2 ; el largo de ellos dependerá de la distancia entre los equipos.

Criba clasificadora.- Para un material de fácil -

fluidez, forma regular y no abrasivo, una criba oscilatoria es la más aconsejable, por tanto se usará una criba del tipo Rotex, cuyas características principales se describen en la pag. 957 del Perry (6), con 2 mallas, la superior de 5 mallas por pulgada y la inferior de 20 mallas por pulgada (clasificación Tyler Standard Sreen Scales). El área de las mallas está determinado por la capacidad de cribado de la más pequeña, o sea la de 20 mallas, esta capacidad, dada en $\text{Kg}/\text{h m}^2$, depende a su vez del tipo de material, de la cantidad de alimentación, así como del porcentaje de finos y gruesos en ella; aunque se han publicado capacidades de cribado de diferentes materiales (6), no se dan datos utilizables para el nitrato de amonio. Se estima que un área de 4 m^2 puede utilizarse para nuestro caso, pero como ya se ha dicho, debe consultarse a los fabricantes y hacer pruebas.

Tanques de redisolución y filtro.- En operación normal de esta planta, el nitrato de amonio que es necesario disolver es una cantidad muy pequeña, por lo que pueden usarse tanques pequeños (de 1 ó 2 m^3 cuando mucho), los cuales deberán ser de acero inoxidable y equipados con serpentín de vapor, ya que la disolución del nitrato de amonio es endotérmica; la solución se bombea caliente al neutralizador para su recuperación, a través de un filtro, el bombeo puede hacerse intermitente o continuamente; el filtro será del tipo Oliver, Niagara, o de cual-

quier otro tipo que permita colocar una capa de filtro ayuda sobre una tela metálica de acero inoxidable, para enviar al neutralizador la solución clara y libre de impurezas sólidas.

Recubridor.- Un tambor rotatorio con aletas pequeñas, para lograr un buen recubrimiento del nitrato de amonio con el agente recubriente, es entre los equipos de mezclado el más apropiado a este caso; las dimensiones de este tambor, serán las necesarias para darle a los materiales un tiempo de contacto de unos 10 minutos; si se considera que el volumen de los materiales sea un 15% del volumen del recubridor y que se adicionará un 3% en peso de agente recubriente, el volumen del recubridor será:

Volumen del nitrato de amonio:

$$\frac{8\ 450}{925} \times \frac{10}{60} = 1.52 \text{ m}^3$$

Volumen del agente recubriente:

$$\frac{8\ 450 \times 0.03 \times 10}{225 \times 60} = 0.188 \text{ m}^3$$

Volumen del recubridor:

$$V_t = \frac{1.52 + 0.188}{0.15} = 11.4 \text{ m}^3$$

Puede usarse un tambor rotatorio de 1.80 m de --

diámetro por 4.50 m de largo y controlar el tiempo de residencia con la pendiente del tambor, la velocidad y otras variables de operación del equipo.

Tolva de agente recubriente y dosificador.- El volumen de esta tolva deberá ser el necesario para poder cargarla en forma intermitente una vez por turno, tendrá entonces un volumen de:

$$V = \frac{6\,000}{3 \times 225} = 8,9 \text{ m}^3.$$

Podrá construirse de 10 m³ y de forma cilíndrica y con fondo cónico, cuya inclinación con respecto a la horizontal sea un poco mayor del ángulo de reposo de la tierra diatomácea, digamos unos 45°, para evitar el estacionamiento del material.

La tolva descarga por gravedad el agente recubriente sobre un transportador de banda, que le sirve a la vez de fondo, el cual está impulsado por un motor acoplado a un regulador de velocidad para controlar manualmente la cantidad de recubriente, de acuerdo a la cantidad de perdigón alimentado al recubridor. La banda dosificadora es pues un instrumento de control; el ancho de la banda y la abertura de salida en el fondo de la tolva están supeditados a las características mecánicas de la instalación.

Sistema de recuperación de polvos.- El exceso de tierra alimentado al recubridor, debe recuperarse en el

extremo de descarga del recubridor, por las siguientes razones:

- 1.- Evitar el exceso de tierra en el producto, que diluya el contenido de nitrógeno en el fertilizante.
- 2.- Evitar su permanencia en el ambiente en forma de una nube de polvo, perjudicial a la salud del personal.
- 3.- Recuperarlo y recircularlo nuevamente por el recubridor.

Tratándose de un polvo inerte, manejado a la temperatura ambiente y con un tamaño de partícula promedio de 20μ , se usará un colector de polvos de bolsas de tela con sistema de sacudimiento, como el descrito en la pag. 1032 del Perry (6) usando bolsas de tela de algodón satina da, con un tamaño de poro de 0.025 cm (0.01 pulg).

La superficie de la tela filtrante, puede estimarse en función de la cantidad de aire manejado. En filtros comerciales, el volumen de aire por pie² de tela, normalmente es de 2 pie³/min, (11) si el sacudido de las bolsas es frecuente y la remoción del polvo recuperado es rápida.

El colector se conectará al recubridor por medio de un ducto; el transporte neumático de la tierra diatomácea, debe hacerse a una velocidad de 3000 a 4000 pie/min

y el diámetro del ducto será entonces el punto de partida de todos los cálculos. Así por ejemplo, si se necesita un ducto de succión de 30,5 cm (12 pulg) de diámetro, - - ($S = 0,785 \text{ pie}^2$), se requieren $3000 \times 0,785 = 2\,350 \text{ pie}^3 / \text{min}$ de aire ($4\,000 \text{ m}^3 / \text{h.}$) y el área de filtrado será de - $2350/2 = 1\,175 \text{ pies}^2$ (110 m^2) y si la caída de presión en todo el sistema es de unas 9 ó 10 pulg. de agua, como es de esperarse, la potencia del motor del ventilador será de 10 HP.

Elevador.- El perdigón que sale del recubridor se lleva a la altura de la alimentación de la tolva de producto, con un elevador de canjilonos continuos, el mas adecuado para manejar materiales granulares frágiles; de acuerdo a tablas publicadas (6), que relacionan la capacidad con el tamaño de los canjilonos, puede usarse un elevador con canjilonos de 20,3 x 12,7 x 19,7 cm. (8 x 5 x 7 3/4 pulg), considerándolos llenos a un 75% de su capacidad y circulando a una velocidad de 38 m/min (125 pie/min). La altura y la potencia del motor, dependerán de la distancia entre los puntos de alimentación y descarga.

Transportador del producto a la tolva.- El elevador puede descargar directamente a la tolva de producto, pero en caso que esta tolva esté en un edificio aparte, el producto debe transportarse hasta allá; este transportador puede ser de banda, la cual debe ser combada, dado el bajo ángulo de reposo del nitrato; para su estimación -

se han publicado cartas o gráficas (10) que relacionan el peso del material y su densidad aparente, con el ancho - y la velocidad de la banda; de acuerdo a nuestras necesidades, se estima a partir de esa carta, que una banda de 30 cm (12 pulg) de ancho, corriendo a 30 m/min (100 pie/min), puede servir para este caso.

Tolva de producto.- El objeto de esta tolva es el de mantener una alimentación constante al sistema de ensacado y deberá tener el volumen necesario para 2 horas de operación:

$$V = \frac{8\,450 \times 2}{925} = 18.3 \text{ m}^3.$$

Puede construirse un recipiente de 20 m^3 , de forma cilíndrica con fondo cónico, cuya inclinación será - también de 45° , ya que parte del agente recubriente puede desprenderse del nitrato y debe evitarse que se acumule en esta tolva.

Equipo de ensacado.- Este constará de 2 máquinas pesadoras, manuales o automáticas y 2 máquinas cosedoras de sacos, con papel sellante sobre la costura y - deberán ser capaces de llenar unos 200 sacos de 50 Kg. - por hora.

CAPITULO V

CONTROL DE LA PLANTA

A.- INSTRUMENTACION

La operación de la planta depende de la medida y control de las variables del proceso; cada paso debe pues controlarse en todo tiempo dentro de las condiciones más eficientes y seguras. A continuación se enumeran los -- instrumentos de indicación y de control más importantes con los que se debe contar.

1.- Medidores de amoníaco y ácido nítrico.- Con el objeto de establecer la cantidad de reactantes que en-- tran a la planta, para control de costos y determinación de la eficiencia de operación, se pondrán medidores re-- gistradores de flujo á la entrada de estos materiales a la planta.

2.- Indicadores de flujo.- A más de los anterio-- res medidores de consumo total de reactantes, deberá -- contarse con rotámetros que indiquen en todo momento -- la relación en que están entrando al proceso, con objeto -- de controlar la reacción en el neutralizador lo más cer-- cana a la estequiométrica, para evitar pérdidas de algún reactante o condiciones anormales de operación; a más -- de su indicación en el instrumento en sí, pueden instalarse cartas registradoras de estos flujos en el lugar desti-- nado al control de la planta.

3.- **Indicadores de nivel.**- El control del nivel está íntimamente relacionado al control de flujo, ya que - - frecuentemente uno influye en el otro y que muy altos o - muy bajos niveles de amoníaco, ácido nítrico, soluciones de nitrato de amonio o agua de condensados, pueden ocasionar problemas extras a los inherentes al manejo de - la planta.

4.- **Control de flujos.**- Atendiendo a los datos que los indicadores de flujo y nivel suministran, el personal de operación u otros instrumentos acoplados a los primeros, podrán mantener la planta trabajando sin problemas; así pues deben instalarse válvulas de control neumático - o eléctrico en las líneas de amoníaco y ácido nítrico, así como en la línea de alimentación al evaporador, que pueden ser de operación manual o automática.

5.- **Control del p.H.**- Esta propiedad química de la solución puede medirse exactamente por medio de un - potenciómetro adecuado y controlarse por medio de instrumentos automáticos conectados a los controles de flujo de los reactantes.

6.- **Indicadores de presión. (manómetros).**- El control de la presión es un factor importante en muchos equipos y tuberías en la planta, no solo para obtener las condiciones de operación deseadas, sino también para percatarse de algunos defectos ocurridos en las instalaciones. El tanque de amoníaco debe mantenerse a presión -

constante para poder controlar a partir de ésta la presión del amoníaco vapor que entra al neutralizador. El instrumento adecuado para esta necesidad es un control automático de presión acoplado a un calentador con vapor y de manera auxiliar se instalarán manómetros en el propio tanque y en las tuberías de amoníaco líquido y vaporizado.

Además deberán instalarse manómetros en las tuberías de ácido nítrico, de nitrato de amonio y de agua de condensados, para poder apreciar si las bombas que impulsan estos líquidos a través de estas tuberías operan perfectamente, o bien si no hay fugas o taponamientos en ellas con materias extrañas ó por solidificación de la propia solución.

Antes y después del condensador del neutralizador y del enfriador, habrá también manómetros que indicarán una diferencia de presión de agua y de aire respectivamente, que permitirá descubrir obstrucción o resistencia excesiva al flujo o algún desperfecto mecánico en las bombas de agua o en el ventilador húmedo.

La presión del vapor para uso general y en especial la del vapor al evaporador, deben vigilarse muy de cerca, ya que de ellas depende la concentración y la temperatura de la solución de nitrato de amonio y en función de esto el peligro de cristalización o de descomposición del nitrato, con el consiguiente riesgo para el personal y

el equipo.

7.- Indicadores de temperatura. (termómetros).- Estos instrumentos son quizá los más importantes, ya que la temperatura influye considerablemente en la reacción, la concentración de la solución, el buen manejo del nitrato de amonio sólido y la seguridad de la planta; será pues necesaria la instalación de termómetros en muchos sitios, tales como las tuberías de amoníaco y ácido nítrico, el neutralizador, el tanque de solución de 83%; - en la tubería de salida de solución del evaporador, en el tanque de solución concentrada y el tanque superior; antes y después del condensador en la tubería de agua; antes y después del enfriador en la tubería de aire; en los transportadores del perdigón antes y después del enfriador; etc...

Si la presión de vapor se mantiene constante y en su valor normal de trabajo, la solución no alcanzará nunca temperaturas peligrosas. Sin embargo, en el neutralizador la temperatura puede subir por alta temperatura o alta concentración del ácido ó por contaminación con aceites, grasas o materia orgánica en general; por tanto ahí y en el tanque de bombeo de solución de 83% debe vigilarse continuamente la temperatura, por lo que en esos tanques se instalarán termopares con lectura en el centro de controles.

8.- Alimentador de agente recubriente.- Otro ins

trumento importante en la planta, es el regulador de la velocidad de la banda alimentadora de agente recubriente al recubridor, que puede operarse manualmente.

B.- CONTROL QUIMICO.

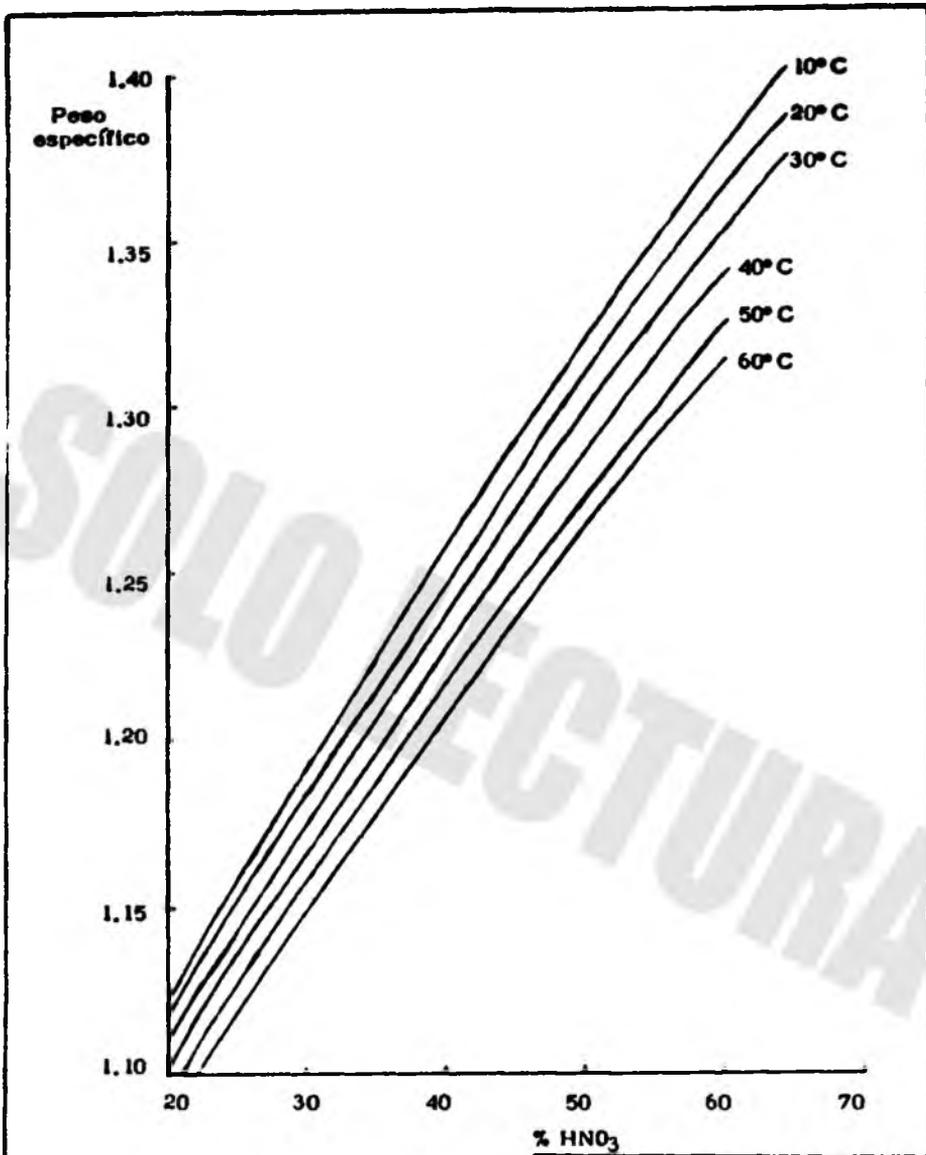
A más de los instrumentos, los datos que se obtengan de muestras extraídas de distintos sitios de la planta, servirán también para operar la planta segura y económicamente.

Algunos de los análisis químicos deben hacerse en la propia planta e inmediatamente que se obtenga la muestra; otros más, de carácter periódico, se harán en el laboratorio.

I.- Análisis en la planta.

1.- Acido nítrico.- Es necesario saber en todo momento la concentración del ácido que se bombea al neutralizador, para poder prever cualquier cambio que pueda ocurrir en las condiciones de operación de éste; por tanto deben hacerse determinaciones regularmente, de la concentración del ácido en función de su peso específico y de su temperatura; con estos datos se determina la concentración en la gráfica No. 7.

2.- Concentración de la solución.- La reacción en el neutralizador es exotérmica, el calor liberado es capaz de evaporar gran cantidad de agua, pero el neutralizador opera isotérmicamente a 130° C., la temperatura de -



Graf. No. 7.- PESO ESPECÍFICO VS. CONCENTRACION -- DEL ACIDO NITRICO.

I.P.N.	E. González
E.S.I.Q.I.E.	Tesis prof.

ebullición de la solución de 83% de concentración; así -- pues mientras la temperatura en el neutralizador no va-- ríe, la concentración tampoco lo hará, sin embargo de-- ben sacarse muestras periódicamente y comprobar la - concentración por medio de la gráfica No. 3 ayudados -- por un hidrómetro y un termómetro.

El tanque de bombeo de solución de 83%, recibe a más de la solución del neutralizador, recirculación -- del tanque de solución concentrada, por lo que la concen-- tración en ese tanque dependerá de la mayor o menor -- cantidad de solución de recirculación, así pues debe -- también determinarse frecuentemente la concentración - en este tanque (del mismo modo que la del neutralizador) pues de ella depende el funcionamiento del evaporador.

La solución concentrada, o sea la que se maneja desde la salida del evaporador hasta su solidificación - en la torre, se mantiene a temperaturas arriba de su -- temperatura de cristalización, para evitar que solidifi-- que dentro del equipo, esa temperatura de cristaliza--- ción, que es función de la concentración de la solución - está representada en la gráfica No. 1 y de ella nos val-- dremos para determinar la concentración de la solución que se envía a la torre de prilado.

Los tanques de redisolución de terrones, de los finos del enfriador y de los finos y gruesos que separa la criba clasificadora, se concentran hasta 60-70% y de

ahí se envían al neutralizador para reprocesarlos; con el objeto de no mandar al neutralizador soluciones demasiado diluídas o demasiado concentradas, debe vigilarse la concentración de estos tanques, del mismo modo que las soluciones del neutralizador y el tanque de 83%.

3.- p.H. de la solución.- Aunque se tiene un aparato destinado a este fin en el neutralizador, debe comprobarse su correcto funcionamiento por medio de muestreo y determinación del p.H. ya sea con un potenciómetro o con papel p.H. Debe determinarse también el p.H. en el tanque de 83%, en el tanque de solución concentrada y en el tanque superior pues estos p.H. son tan importantes como aquél, ya que soluciones ácidas en el evaporador pueden producir perlas grasas pues se descomponen a temperaturas más bajas que las neutras y que soluciones ácidas o alcalinas producen perdigones con características indeseables Vgn.: con soluciones ácidas se obtienen perlas con consistencia húmeda, pegajosas, con características muy semejantes a la baja concentración, que tienden a acumularse en el fondo de la torre p.H. alcalinos en la solución, al someterlos a perlado, eliminan el exceso de amoníaco formando perlas bofo y quetradizos.

4.- Tamaño del perdigón.- Varios factores influyen en el tamaño que se obtiene de perdigones de normal de amorfo, como la concentración de la solución, la temperatura de las regillas, etc., debe proveerse al personal de

operación de un juego de mallas de diferentes tamaños para que pueda descubrir anomalías del proceso, o desperfectos en el equipo, como rompimiento de alguna malla en la criba.

5.- Humedad del perdigón.- Es conveniente determinar la humedad en el perdigón a la salida del enfriador y antes de salir de la planta; si es excesiva, puede deberse a baja concentración de la solución o a alta humedad — en el aire ambiente. Esta determinación se hace por medio de un "registrador" de humedad que comprime por medio de un pistón y un cilindro, una muestra de nitrato y determina la humedad en función de una constante dieléctrica.

6.- Cantidad de recubrimiento.- Ya que el producto será ensacado, almacenado, embarcado, etc., es necesario que cuando vaya a ser usado conserve sus condiciones de sequedad, fluidez, etc., por lo que debe de ir bien recubierto; la cantidad de agente recubriente que debe tener el producto debe ser de 3%, lo cual puede determinarse en el laboratorio gravimétricamente, sin embargo en la planta pueden correrse pruebas rápidas de asentamiento, centrifugación o de turbidez de soluciones del perdigón ya recubierto, que indique rápidamente aunque no muy exactamente, la cantidad de agente recubriente — que lleva el producto terminado.

II.- Análisis en el laboratorio.

Además de los análisis que se hacen en la planta, - los cuales debe verificar el laboratorio con cierta frecuencia, éste debe hacer también los siguientes análisis:

1.- Acido nítrico.- Como ya se dijo anteriormente se debe vigilar del ácido nítrico la concentración, el contenido de ácido nitroso y de cloruros, La concentración - se determina por acidimetría, el contenido de ácido nitroso se determina por manganimetría, oxidando el HNO_2 - con ácido sulfúrico al titular con el permanganato de potasio, efectuándose la reacción:



Los cloruros en el ácido, aunque se determinan colorimétricamente en el agua de condensados que va a la torre de absorción en la planta de ácido, debe comprobarse su baja concentración en el ácido, esto se hace titulando con sosa hasta vire del azul de bromotimol y una muestra igual neutralizada con la misma cantidad de sosa, se titula por argentometría.

2.- Amoníaco.- De este material, el único dato - que se vigila en el laboratorio es el contenido de aceite, - que se determina gravimétricamente, por evaporación del amoníaco.

3.- Nitrato de amonio.- Tanto al nitrato de amo-

nio en solución o sólido en proceso, como al producto terminado se le determina la acidez o alcalinidad libre que contiene, por acidimetría o alcalimetría, según el caso, con rojo de metilo como indicador; por supuesto el nitrato de amonio sólido deberá disolverse y el recubriente filtrarse también, ya que el agente recubriente puede alterar el resultado de la determinación.

4.- Agua de condensados.- Al agua de condensados proveniente del vaporizador de amoníaco y del condensador del neutralizador, se le determina el amoníaco que pueda arrastrar sin reaccionar del neutralizador por el vapor generado en la reacción; esta determinación también se efectúa por alcalimetría con rojo de metilo como indicador.

5.- Agente recubriente.- Tan pronto como se recibe el agente recubriente en la planta y periódicamente, debe determinarse la humedad en él, para asegurarse que está dentro de las especificaciones; la determinación se efectúa gravimétricamente.

C.- SEGURIDAD

Todos los materiales que se requieren en la fabricación del nitrato de amonio, presentan ciertos riesgos — que es conveniente advertir, pero al igual que otros materiales peligrosos, observando unas cuantas y muy simples precauciones puede manejarse, teniendo además siempre —

disponible y listo para usarse el equipo de seguridad necesario.

El amoníaco, el ácido nítrico y la solución caliente de nitrato de amonio, están clasificados como compuestos químicos peligrosos y deben observarse muchos cuidados en el manejo seguro de estos materiales.

El amoníaco líquido causa quemaduras muy serias y dolorosas cuando cae sobre la piel, debido a la combinación de sus acciones corrosiva y refrigerante; es particularmente peligroso en los ojos y una salpicadura en ellos puede ocasionar la pérdida permanente de la vista. Las quemaduras de amoníaco líquido deben lavarse inmediatamente con agua fría en abundancia y las quemaduras deben tratarse sin dilación por un médico.

Los vapores de amoníaco son solo ligeramente tóxicos, pero son muy irritantes a las membranas nasales y en altas concentraciones puede causar sofocación. Pueden inhalarse bajas concentraciones de estos vapores por largos períodos sin efectos dañinos, pero deben evitarse en todo lo posible las exposiciones a estos vapores.

El ácido nítrico es extremadamente corrosivo a todas las partes del cuerpo humano y causa serias quemaduras en la piel y ojos con un corto contacto. Los primeros auxilios consisten de un lavado inmediato con grandes cantidades de agua y un tratamiento médico.

Una salpicadura de ácido nítrico, libera también - cierta cantidad de vapores rojizos de dióxido de nitrógeno que es muy tóxico y debe ser tratado con mucho respeto; pueden inhalarse fatales cantidades de NO_2 con muy poca molestia, los efectos se presentan hasta casi 24 horas después. El personal expuesto a estas inhalaciones peligrosas deben inhalar oxígeno puro y estar bajo vigilancia médica.

Las soluciones de nitrato de amonio no son tóxicas ni corrosivas a la piel, pero las soluciones calientes causan serias quemaduras; cuando salpican sobre la piel levantan ampolla casi inmediatamente, esto los hace compararse con las quemaduras de cera fundida sobre la piel. Este es el tipo de herida más común en las plantas de nitrato de amonio y pueden producir pérdidas de tiempo excesivas por motivo de accidentes; estas quemaduras debe tratarlas inmediatamente un médico.

El personal de operación debe usar camisa de manga larga, casco y guantes y zapatos de hule, debe de cargar consigo en todo tiempo gafas de seguridad.(goggles)

Deben instalarse regaderas de seguridad en zonas accesibles y donde se supone que puedan ocurrir accidentes que requieren un lavado inmediato del cuerpo así como lavajos con dos chorros suaves pero abundantes de agua y debe comprobarse su buen funcionamiento periódicamente.

Deben ponerse cajas con máscaras contra gases y aún aparatos de respiración de oxígeno en puntos estratégicos; una de las estaciones obligatorias para una máscara contra gases es el cuarto de la torre de pilado, donde puede quedar atrapado un hombre con altas concentraciones de amoníaco. Las máscaras con cartucho químico (cannister) para uso general son satisfactorias para cortas exposiciones tanto de vapores de amoníaco como de dióxido de nitrógeno, pero debe tenerse un respirador de línea de aire o de tanque de aire para trabajos de rescate en áreas con alta concentración de gases. Las cajas deben contener máscaras con cartuchos nuevos y debe ponerse a la máscara un cartucho nuevo una vez que la máscara ha dejado de usarse.

Debe tenerse también un casillero con ropa de protección y una cuerda de 25 ó 30 m de largo para usos de emergencia.

La tierra diatomácea usada como agente recubriente es un material de sílice ligero, pero muy finamente dividido que cuando se le maneja levanta considerable polvo en el aire; el personal que descarga la tierra a la tolva de almacenamiento debe usar un respirador con filtro de aire para evitar la inhalación de ese polvillo. La tierra diatomácea normalmente no se considera peligrosa, pero la respiración prolongada del polvo fino puede ocasionar serias congestiones pulmonares.

El fuego es definitivamente un peligro en la planta de nitrato de amonio y debe de contarse con el equipo adecuado para combatirlo y evitarlo, así como entrenar al personal para emergencias de incendio.

El agua es el mejor material para combatir los incendios de nitrato de amonio y debe proveerse por tanto de mangueras en varios puntos de la planta; también deben tenerse extinguidores secos para incendios de origen eléctrico, donde es muy peligroso usar agua.

Deben hacerse todos los esfuerzos posibles para eliminar la materia orgánica de la planta, ya que su presencia aumenta considerablemente el peligro de un incendio de nitrato de amonio. Debe tenerse siempre en mente que el fuego de nitrato de amonio no puede sofocarse puesto que el nitrato ardiendo se provee a sí mismo de oxígeno para la combustión.

Aunque es muy poco probable que el nitrato de amonio pueda explotar en condiciones como las de la planta tipo Prilling, es siempre recomendable observar que el nitrato de amonio encerrado en un equipo, tales como bombas, filtros, etc., nunca alcance una temperatura mayor de 190° C., pueden alcanzarse temperaturas mayores a este valor a veces en bombas trabajando con la válvula de descarga cerrada o casi cerrada, o en camisas de vapor en que por alguna razón la temperatura del vapor exceda la de los límites normales de control. Arriba de esa tempe-

ratura el nitrato de amonio se descompone, volando empaques y desalojando grandes cantidades del peligroso gas, dióxido de nitrógeno.

El personal de mantenimiento trabajando en esta área debe protegerse también con el mismo equipo suministrado al personal de operación. Es responsabilidad de estos últimos, que todas las tuberías y equipo deben estar limpias de materiales peligrosos antes de empezar algún trabajo de reparación y no debe empezarse ninguno de soldadura o hacer fuego sin un permiso especial.

No debe permitirse fumar en la planta, pero deben fijarse zonas en la fábrica para este fin.

D.- MANTENIMIENTO.

Uno de los factores más importantes para mantener la planta de nitrato de amonio operando continua y eficientemente es el establecer un concienzudo programa de mantenimiento preventivo. Se requieren solo muy pequeños esfuerzos para mantener el equipo en servicio adecuado, que a fin de cuentas producen muy buenos dividendos.

Un programa típico de mantenimiento preventivo puede ser el siguiente:

1.- Limpieza.- Una planta limpia indica una planta bien organizada; los pisos deben mantenerse limpios, así como el equipo, por dentro y por fuera.

Deben evitarse las salpicaduras de solución de nitrato de amonio y cuando éstas ocurran, deben limpiarse lo más pronto posible. Los filtros y el equipo que tiende a formar acumulaciones que puedan obstruir el paso del material, deben lavarse y limpiarse frecuentemente.

Eventualmente deben lavarse pisos y plataformas, pero cuidando evitar mojar o salpicar equipo que por estar en contacto con material seco y sólido, pueda perjudicar tanto al mismo material como al equipo que puede corroerse por la acción de la humedad, especialmente si se trata de solución de nitrato de amonio, que tiene una fuerte acción corrosiva sobre los metales; este equipo debe limpiarse en seco.

Deben programarse paros cortos para limpieza interna del equipo, donde pueden formarse acumulaciones, como en el enfriador, elevadores, etc., o para limpiar el equipo mecánico en movimiento, como cadenas, engranes, piñones, etc.

Una planta limpia, también es una planta segura, así pues debe evitarse material o piezas de desecho o de reemplazo en escaleras, corredores y en general en todo lugar donde hay paso de personas.

2.- Pintura.- La pintura del equipo, al igual que la limpieza, hace que una planta presente un aspecto agradable, así como que es indispensable para la buena conservación de la misma.

Un programa de pintado periódico, tanto del equipo como de las estructuras metálicas, con pinturas apropiadas, le agregan vida de trabajo a la planta por muy bajo costo. Esto aunado naturalmente a pintar tan rápidamente como sea posible el equipo que lo necesite, tanto en paros programados como en operación normal de la planta, si ésta lo permite.

3.- Lubricación.- Debe vigilarse constantemente el equipo mecánico, para proporcionarle la lubricación que requiere y con la frecuencia que lo necesita, utilizando en cada uno la grasa o aceite apropiada; sin embargo, debe evitarse el exceso de lubricantes, que haga que éstos caigan al suelo, pues pueden originar resbalones fatales, o explosiones, o incendios al mezclarse con el nitrato de amonio y existir condiciones favorables para ello.

4.- Mantenimiento preventivo.- Una práctica muy usada en las plantas químicas modernas, es la de realizar inspecciones periódicas a las instalaciones en general, con el objeto de prever posibles descomposturas del equipo; como producto de esas inspecciones, se programarán paros cortos para corregir pequeñas anomalías como ajustar bandas y cadenas, cambiar empaques, etc., revisar o cambiar piezas muy gastadas o corroídas, etc., para evitar que se tengan paros de mayor importancia -- por descompostura.

CAPITULO VI.

ANALISIS ECONOMICO

La evaluación final de la conveniencia de instalación de la planta de nitrato de amonio que aquí se propone, se hará por medio de su atractivo económico. Con objeto de visualizar todos los factores relativos a costos y utilidades, este análisis conducirá a la determinación de 3 aspectos económicos que son:

- A) Inversión total necesaria.
- B) Costos de producción.
- C) Rentabilidad.

A) INVERSION TOTAL NECESARIA.

Entiéndese por inversión, la cantidad monetaria necesaria para la erección y operación de una unidad productora; la inversión incluye 2 tipos de capital, el capital fijo, o sea el costo de las instalaciones y el capital circulante o de trabajo, o sea los fondos económicos necesarios para sufragar los gastos que mantengan la unidad en operación productiva.

CAPITAL FIJO

El capital fijo incluirá la consideración de los siguientes costos:

COSTO DEL EQUIPO.- Los valores aquí citados se obtuvieron de diversas fuentes, algunos fueron extraf-

dos de la literatura especializada (12) con datos válidos para 1955, que se corregirán a su valor actual en función de los índices de costos que son 185 para 1955 y de 225 para 1962, estimativamente se ha considerado 20% del costo del equipo en EE. UU. para transporte a México y pago aduanal; otros valores se obtuvieron de abastecedores y otros más son estimaciones personales.

Neutralizador.

Volumen	31,8 m ³ = 8 400 Gal.
Material	Acero inoxidable 304 ELC.
Construcción	Cilindro vertical con distribuidores sumergidos.
Presión	Atmosférica
Costo	197 000 pesos.

Tanque de sol. de 83 %

Volumen	21,2 m ³ = 5 600 Gal.
Material	Acero inoxidable 304 ELC.
Construcción	Cilindro vertical.
Presión	Atmosférica.
Costo	125 000 pesos.

Vaporizador de amoníaco.

Tipo	Cambiador de calor vertical
Material	Tubos de ac. inox. y envolvente de ac. al carbón.
Superficie de calefacción.	10,28 m ² = 110 pie ² .

Presión	12.2 Kg/cm ² en la envolvente y atmosférica en los tubos.
Costo	55 000 pesos.

Condensador del neutralizador.

Tipo	Cambiador de calor vertical
Material	Tubos de ac. inox. y envolvente de ac. al carbón.
Superficie de calefacción	19.1 m ² = 205 pie ² .
Presión	5 Kg/cm ² en la envolvente - y atmosférica en los tubos.
Costo	73 000 pesos

Bomba de sol. de 83 %

Tipo	Centrífuga horizontal
Capacidad	225 lt/min.
Material	Acero inoxidable
Potencia del motor	10 HP.
Bombas necesarias	2
Costo	30 000 pesos

Evaporador.

Tipo	De película
Material	Ac. inox. los tubos y ac. al carbón la envolvente.
Superficie de calefacción	110 m ² = 1 180 pie ² .

Presión	13.6 Kg/cm ² en la envolvente y atmosférica en los tubos.
Costo	915 000 pesos.

Calentador de aire.

Tipo	Cambiador de calor vertical.
Material	Acero al carbón.
Superficie de calefacción	44.5 m ² = 480 pie ² .
Presión	13.6 Kg/cm ² en la envolvente y atmosférica en los tubos.
Capacidad del ventilador	86.5 m ³ /min = 3050 pie ³ /min.
Potencia del motor	5 HP.
Costo	84 000 pesos.

Tanque de sol, concentrada.

Volumen	1.4 m ³ = 370 Gal.
Material	Ac. inox, con camisa de ac. al carbón.
Presión	Atmosférica (vapor en la camisa de 13.6 Kg/cm ²)
Costo	43 500 pesos.

Bomba de sol, concentrada.

Tipo	Centrífuga vertical impulsor sumergido
Capacidad	130 lt/min.

Potencia del motor	10 HP.
Material	Acero inoxidable.
Bombas necesarias	2
Costo	40 000 pesos.

Tanque superior.

Volumen	0.2 m ³ = 50 Gal.
Construcción	Cilindro vertical con camisa de vapor.
Material	Acero inoxidable con camisa de ac. al carbón.
Presión	Atmosférica (vapor en la - camisa a 13.6 Kg/cm ²).
Costo	15 000 pesos.

Torre Prilling.

Tipo	Con circulación de aire de enfriamiento.
Construcción	Cuadrada, soportada por armadura de aluminio, con regaderas en lo alto y persianas colectoras en el fondo.
Material	Aluminio
Dimensiones	Alto 19 m; Lado 4.25 m.
Número de ventiladores	4
Capacidad de los ventiladores	990 m ³ /min. cada uno

Potencia de los motores 7 1/2 HP.

Costo 1 640 000 pesos.

Transportador al enfriador.

Tipo Oscilatorio.

Capacidad 8.5 Ton/h.

Potencia del motor 5 HP.

Costo 18 500 pesos.

Enfriador.

Tipo Tambor rotatorio

Material Acero al carbón

Dimensiones L = 12 m; D = 2.50 m.

Area periférica $95 \text{ m}^2 = 1 020 \text{ pie}^2$.

Potencia del motor 20 HP.

Costo 550 000 pesos

Ventilador húmedo.

Tipo Centrífugo

Material Acero inoxidable

Capacidad 525 m³/min.

Potencia del motor 30 HP.

**Accesorios Deshumidicador y ciclón
separador**

Costo 280 000 pesos.

Criba clasificadora.

Tipo Oscilatoria

Número de malias 2 (de 5 y 20 mallas/pulg)

**Material Mallas de ac. inox. y caja
de lámina de acero.**

Area de cribado	4,0 m ² = 43 pie ² .
Potencia del motor	3 HP.
Costo	45 000 pesos.

Transportador al recubridor.

De características y dimensiones similares al transportador al enfriador; por tanto:

Costo	18 500 pesos.
-------	---------------

Recubridor.

Tipo	Tambor rotatorio.
Material	Acero al carbón.
Dimensiones	L = 4,50 m; D = 1,80 m.
Area periférica	25,4 m ² = 273 pie ² .
Potencia del motor	10 HP.
Costo	164 000 pesos.

Elevador del producto.

Tipo	Canjilones continuos.
Canjilones	20,3 x 12,7 x 19 cm = = 8 x 5 x 7 3/4 pulg.
Potencia del motor	1 HP.
Costo	22 000 pesos.

Banda a la tolva de producto.

Tipo	Banda sinfin de hule
Ancho	30,5 cm. = 12 pulg.
Largo	20m.

Costo 36 500 pesos.

Tolva de producto

Tipo Cilíndrica vertical
con fondo cónico.

Volumen 20 m³.

Material Acero al carbón.

Costo 55 000 pesos.

Elevador de ag. recubriente.

Similar al elevador de producto.

Costo 22 000 pesos.

Tolva de ag. recubriente.

Tipo Cilindro vertical
con fondo cónico.

Volumen 10 m³.

Material Acero al carbón

Costo 37 000 pesos.

Banda de alimentación de ag. rec.

Tipo Banda sinfin de hule.

Ancho 45,7 cm = 18 pulg.

Largo 4 m.

Accesorios Regulador de velocidad.

Potencia del motor 1 HP.

Costo 25 000 pesos.

Sistema de recuperación de polvos.

Tipo	Filtrado en bolsas de tela, con sacudimiento.
Material	Acero al carbón
Medio filtrante	Bolsas de algodón satinado.
Area de filtrado	110 m ² = 1 175 pie ² .
Capacidad del ventilador	66.5 m ³ /min = 2350 pie ³ /min
Potencia del motor	10 HP.
Costo	65 000 pesos.

Tanques de redisolución.

Volumen	2 m ³ = 530 Gal.
Material	Acero inoxidable 304
Tanques necesarios	3
Costo	37 500 pesos.

Bombas de sol. diluída.

Tipo	Centrífugas verticales impulsor sumergido.
Material	Acero inoxidable.
Capacidad	120 lt/min.
Potencia del motor	7 1/2 HP.
Bombas necesarias	3
Costo	30 000 pesos.

Filtro de sol. diluída.

Tipo	De hojas verticales.
Area filtrante	6 m ² .
Material	Acero inoxidable.
Medio filtrante	Malla de ac. inox.
Costo	45 000 pesos.

Tanque de condensados.

Tipo	Cilindro vertical
Volumen	1.5 m ³ .
Material	Acero al carbón.
Presión	Atmosférica
Costo	8 000 pesos.

Bombas de condensados.

Tipo	Centrífugas horizontales.
Capacidad	50 lt/min.
Material	Acero al carbón.
Potencia del motor.	1.5 HP.
Bombas necesarias	2
Costo	6 000 pesos.

Máquinas pesadoras.

Tipo	Automática, 50 Kg. por carga.
Capacidad	100 sacos/hora
Básculas necesarias	2
Costo	30 000 pesos.

Máquinas cosedoras.

Tipo	Con sello sobre la costura
Potencia del motor	0,5 HP.
Máquinas necesarias	2
Costo	18 000 pesos.

Transportador de sacos.

Tipo	Banda-sinfin de hule.
Potencia del motor	0,5 HP.
Ancho	25 cm.
Largo	3,0 m.
Transportadores necesarios	2
Costo	<u>10 000 pesos.</u>

COSTO TOTAL DEL EQUIPO 4 740 500 pesos.

El costo de la instalación del equipo se estimará en un 20% del costo del mismo.

INSTALACION DEL EQUIPO = 948 100 pesos.

COSTO DE LOS INSTRUMENTOS.- Otro factor importante en la estimación del costo físico de la planta, es el costo de los instrumentos; en la siguiente tabla se enumeran los instrumentos necesarios y sus costos:

Cantidad	Instrumento	Costo total
4	Válvula neumática	12 000
2	Regulador de presión	1 000
1	Potenciómetro	7 000
1	Tablero de control de proceso, con alarmas	15 000
1	Transmisor de presión	6 000
9	Manómetros	1 350
12	Termómetros industriales	1 440
2	Termómetros de tubo capilar	1 600
3	Medidores de consumo (de NH ₃ , HNO ₃ y vapor)	120 000
1	Indicador de nivel (tanque de sol. 83 %)	700
1	Indicador de nivel (tolva de producto)	700
3	Válvulas de seguridad	1 500

COSTO TOTAL DE INSTRUMENTOS = 168 290 pesos.

El costo de la instalación de los instrumentos, - se estimará en un 30% de su costo.

INSTALACION DE INSTRUMENTOS = 50 487 pesos.

TUBERIAS.- En la siguiente tabla se ha estimado el costo de la tubería instalada, que se requiere en la planta de nitrato de amonio.

Diam. Nominal (pulg.)	Material	Longitud en m. (estimada)	Costo (pesos)
8	ac. inox.	40	36 000
4	"	150	63 000
2	"	50	9 100
1	"	200	18 600
8	ac. al carbón	100	7 500
4	"	270	9 450
2	"	150	2 250
1	"	300	2 400
1/2	"	500	2 750

TUBERIA INSTALADA

= 151 050 pesos.

VALVULAS.- En la planta se utilizan válvulas de diferentes tipos; en la siguiente tabla se estiman los costos de ellas, en base sólo a su material de construcción y su diámetro nominal.

Diam. Nominal (pulg)	Material	Cantidad	Costo (pesos)
8	ac. inox.	2	9 000
4	"	6	18 000
2	"	4	8 000
1	"	30	28 500
8	ac. al carbón	4	11 200
4	"	6	7 800
2	"	8	4 160
1	"	85	21 200
1/2	"	20	3 600

VALVULAS INSTALADAS = 111 460 pesos.

ACCESORIOS.- El costo de los accesorios de las tuberías, se estima en un 30% de la suma de los costos de tubería y válvulas.

ACCESORIOS INSTALADOS = 78 753 pesos.

AISLANTE.- Solo algunos equipos estarán aislados térmicamente, se estima el costo del aislamiento instalado en un 8% del costo del equipo en cuestión, 3% por concepto de Material y 5% por mano de obra de instalación.

Equipo	Costo del aislante (pesos)
Neutralizador	15 750
Tanque de sol. de 83 %	10 000
Vaporizador de NH ₃	4 400
Evaporador	73 200
Calentador de aire	6 720
Tanque de sol. conc.	3 500
Tanque superior	1 200
Líneas de vapor condensados y solución	15 000

AISLANTE INSTALADO = 129 770 pesos.

COSTO DEL TERRENO.- Se requieren aproximadamente 2 000 m², a un precio estimado de 20 pesos / m².

COSTO DEL TERRENO = 40 000 pesos.

CONSTRUCCION CIVIL.- Aunque en el costo de la torre Prilling se ha incluido el valor de la armadura que lo sostiene, el cual sirve a la vez de soporte de gran

parte del equipo es la sección donde se maneja el nitrato en solución, se construye un edificio para la otra sección, la de nitrato seco, la cual se estimará en un 20% del costo del equipo.

CONSTRUCCION CIVIL ▪ 948 100 pesos.

INSTALACIONES ELECTRICAS.- En este trabajo no se incluye la subestación eléctrica, sólo un centro de interruptores, arrancadores, instalación para el equipo e iluminación, lámparas contactos, interruptores, etc., este costo se estima en un 10% del costo del equipo.

INSTALACION ELECTRICA ▪ 474 050 pesos.

El costo físico de la planta, será la suma de los costos hasta ahora considerados.

Costo del equipo	4 740 500
Instalación del equipo	948 100
Instrumentación	168 290
Instalación de los instrumentos	50 487
Tuberías, válvulas y accesorios instalados.	341 263
Aislante	129 770
Terreno	40 000
Construcción	948 100
Instalación eléctrica	<u>474 050</u>

COSTO FISICO DE LA PLANTA 7 840 560 pesos.

INGENIERIA Y CONSTRUCCION.- Los gastos correspondientes al diseño, supervisión e inspección de la construcción, se estiman para costos de equipo menores a los 12 millones de pesos, en un 30% del costo físico de la planta; la suma representa el costo directo.

INGENIERIA Y CONSTRUCCION	= 2 352 170 pesos.
	<hr/>
COSTO DIRECTO	= 10 192 730 pesos.

El capital fijo total de inversión, se estimará con base al costo directo, aumentándole un 4% por concepto de honorarios a contratistas y para un número reducido de contingencias se añadirá un 10% más.

HONORARIOS A CONTRATISTAS	= 407 708 pesos.
CONTINGENCIAS	= 1 019 273 pesos.
	<hr/>
<u>CAPITAL FIJO TOTAL</u>	<u>= 11 619 711 pesos.</u>

CAPITAL DE TRABAJO

El capital de trabajo estará constituido por los siguientes factores:

MATERIAS PRIMAS.- Dado que esta planta estará localizada cerca de una planta de amoníaco y otra de ácido nítrico, la reserva de materias primas de que es necesario disponer, o el dinero para adquirirlas, pue

de considerarse para 15 días de operación como mínimo; el amoníaco tiene un precio en el mercado de \$1,000.00 - por tonelada, la tonelada de ácido nítrico 100% cuesta - - \$600.00 y la tierra diatomácea se cotiza a \$400.00 la tonenelada; los consumos de estos materiales en la planta -- son 42.5 Ton.diarias de amoníaco, 287 Ton.de ácido nítrico de 55% de concentración y 6 Ton.diarias de tierra diatomácea. El inventario de materias primas será pues:

$$\text{NH}_3 = 42.5 \times 15 \times 1000 = 637\ 500 \text{ pesos.}$$

$$\text{HNO}_3 = 287 \times 15 \times 600 \times 0.55 = 1\ 420\ 000 \text{ pesos.}$$

$$\text{T.D.} = 6 \times 15 \times 400 = 36\ 000 \text{ pesos.}$$

MATERIALES EN PROCESO.- Las cantidades - de materias primas en proceso son muy pequeñas, sin -- embargo hay nitrato de amonio que se mantiene en el e-- quipo en diferentes estados y concentraciones; se estima rá de acuerdo a un ciclo de fabricación de 4 horas y un - precio de 1 052 pesos por tonelada; que importa:

$$8.45 \times 4 \times 1\ 052 = 35\ 600 \text{ pesos.}$$

PRODUCTO TERMINADO EN ALMACEN.- Se -- asumirá que deberá tenerse en bodega como máximo, la cantidad de producto correspondiente a 15 días de producción, con un monto de:

$$\text{NH}_4\text{NO}_3 = 200 \times 15 \times 1\ 052 = 3\ 160\ 000 \text{ pesos.}$$

La suma de los valores anteriores, representa el inventario de materiales.

INVENTARIO DE MATERIALES = 5 289 100 pesos.

CAPITAL DISPONIBLE EN CAJA.- Debe contarse con dinero en efectivo disponible para el pago de salarios, gastos de administración, venta o representación, - cuentas menores, etc., se estimará en un 10% del inventario de materiales.

CAPITAL DISPONIBLE EN CAJA = 528 910 pesos.

CUENTAS POR COBRAR.- Dentro del capital de trabajo debe considerarse también el crédito extendido a los compradores; se estimará en una cantidad igual a la del párrafo anterior, dinero en caja.

CUENTAS POR COBRAR = 528 910 pesos.

El capital de trabajo será la suma de estos valores:

Inventario de materiales	5 289 100
Dinero en efectivo	528 910
Cuentas por cobrar	528 910
	<hr/>
<u>CAPITAL DE TRABAJO</u>	<u>= 6 346 920 pesos.</u>

La inversión total necesaria es la suma del capital fijo más el capital de trabajo.

Capital fijo total	11 619 711
Capital de trabajo	6 346 920

INVERSION TOTAL NECESARIA 17 966 631 pesos

B) COSTOS DE PRODUCCION

La suma de todos los gastos necesarios para producir el nitrato de amonio, se denomina costo de elaboración o producción; que será la suma de los costos directos, costos indirectos y gastos fijos de fabricación. Se tomará como base de tiempo un año de 330 días de producción efectiva.

COSTOS DIRECTOS.

Costos directos son todos aquéllos que están directamente ligados a la producción; incluye la consideración de los siguientes costos:

MATERIAS PRIMAS.- El costo de las materias primas será:

$\text{NH}_3 = 42.5 \times 330 \times 1000 =$	14 025 000 pesos
$\text{HNO}_3 = 287 \times 330 \times 600 \times 0.55 =$	31 250 000 pesos
T.D. = $6 \times 330 \times 400 =$	792 000 pesos

MANO DE OBRA.- Se requieren 4 hombres por turno, laborándose 3 turnos, los cuales cobran a un promedio de \$4.00 la hora, por supuesto se les pagan los - -

365 días del año.

Mano de obra = $4 \times 3 \times 4 \times 24 \times 365 = 420\,500$ pesos.

SERVICIOS.- Se considerarán las necesidades - para el proceso Prilling mencionados en el Capítulo I como base para el cálculo del costo de servicios, es decir, 54 KWH., 185 Kg de vapor y 15 m^3 de agua por tonelada - de producto, además para servicios de limpieza y operación de algunos equipos menores, se estima un consumo de aire de 75 m^3 de aire comprimido a 8 Kg/cm^2 por día; los costos unitarios de estos servicios son:

Energía eléctrica	\$ 0,20/KWH.
Vapor	\$ 26,20/Ton.
Agua	\$ 0,20/ m^3 .
Aire	\$ 0,15/ m^3 .

Los costos de los servicios son entonces:

Energía eléctrica = $54 \times 66\,000 \times 0,2$	= 712 800 pesos.
Vapor = $0,185 \times 66\,000 \times 26,2$	= 320 000 pesos.
Agua = $15 \times 66\,000 \times 0,2$	= 198 000 pesos.
Aire = $75 \times 330 \times 0,15$	= 37 125 pesos.

ENVASE.- El nitrato de amonio se envasa en cargas de 50 Kg. en multibolsas de papel, la interna con recubrimiento de cera o polietileno, que tienen un costo unitario de 3,00 pesos; el costo anual de los envases será:

$$\text{Envase} = \frac{66\,000 \times 1\,000 \times 3}{50} \quad 3\,960\,000 \text{ pesos.}$$

MANTENIMIENTO.- El costo anual de mantenimiento se estima en un 8% del capital fijo; 50% de él, de materiales y 50% por mano de obra.

MANTENIMIENTO ▪ . 929 575 pesos.

El costo directo de producción, será la suma de todos estos factores:

Amoníaco	1 4 025 000
Acido nítrico	3 1 250 000
Tierra diatomácea	792 000
Mano de obra	420 500
Servicios	1 267 925
Envase	3 960 000
Mantenimiento	929 575

COSTOS DIRECTOS 52 647 000 pesos.

COSTOS INDIRECTOS.

Costos indirectos son los que estando ligados a la operación productiva, no varían en forma directa a la capacidad de producción; en este aspecto se incluyen los siguientes factores:

PRESTACIONES.- Son los gastos originados por pago de vacaciones, jubilaciones, seguro social, seguros de vida, gratificaciones, etc., aunque cada uno de ellos puede estimarse independientemente, se estimará el total

de ellos como un 20% de la mano de obra.

PRESTACIONES ■ 84 100 pesos.

LABORATORIO DE CONTROL.- Tanto el control de proceso como el control de la calidad de materias primas y productos, son gastos que deben cargarse al de -- producción; se estimarán como un 20% de la mano de - - obra.

LABORATORIO DE CONTROL ■ 84 100 pesos.

SUPERVISION.- Los salarios del personal responsables de la operación productiva de la planta, se estiman en un 50% del costo de la mano de obra.

SUPERVISION ■ 21 0 250 pesos.

ADMINISTRACION.- El costo del personal administrativo y demás servicios que no son de operación, se estimarán en una cantidad semejante a la de supervisión.

ADMINISTRACION ■ 21 0 250 pesos.

UTILERIA DE LA PLANTA.- Deben considerarse también aquí los gastos por materiales diversos usados en la planta como mangueras, escobas, palas, tarros de muestreo, termómetros, hidrómetros, etc., los cuales no se tomaron en cuenta dentro de los gastos de mantenimiento y laboratorio, se estimará como un 10% del costo - de mantenimiento.

GASTOS DE UTILERIA ▪ 92 960 pesos.

El total de estos 5 factores, nos representan los costos indirectos.

COSTOS INDIRECTOS 681 660 pesos.

GASTOS DE FABRICACION

Son gastos fijos de fabricación los que reflejan - el capital fijo de inversión inicial, los cuales son constantes con respecto al tiempo, independientemente de la capacidad de producción; lo integran los siguientes costos:

AMORTIZACION.- Considerando el método de - amortización en línea recta, una vida útil de la planta de 10 años y un valor de salvamento de un 10% del capital fijo de inversión, se tiene:

$$\text{Amortización} = \frac{11\ 619\ 711 - 1\ 161\ 971}{10} = 1\ 045\ 774 \text{ pesos.}$$

INTERES.- Los gastos fijos deben incluir también el pago de intereses sobre el capital que constituye la inversión total; se estimarán en un 10% de dicha inversión.

INTERESES ▪ 1 796 663 pesos.

DERECHOS DE PATENTE.- Algunos de los equi

Costo unitario de producción = $\frac{56\ 752\ 082}{66\ 000}$

COSTO UNITARIO DE PRODUCCION. = 860 pesos.

C) RENTABILIDAD.

Entiéndese por rentabilidad, a la relación, expresada en por ciento, de las utilidades netas anuales con respecto al capital de inversión; para el efecto se harán las siguientes consideraciones:

INGRESO ANUAL.- El producto de la producción anual por el precio de venta, nos dará el ingreso total anual por ventas.

Ingreso anual = 66 000 x 1 052

INGRESO ANUAL = 69 432 000 pesos.

A estos ingresos habrá que restarles el costo de producción, así como los gastos de distribución propaganda y venta y el impuesto sobre ingresos mercantiles, para obtener la utilidad neta contable.

Los gastos de venta se expresan normalmente como un 3 % del costo de producción.

GASTOS DE VENTA = 1 702 562 pesos.

Los impuestos sobre ingresos mercantiles, serán

de un 3% de los ingresos por ventas.

IMP. SOBRE INGRESOS

MERCANTILES = 2 082 960 pesos.

Las deducciones al ingreso anual serán pues:

Costo anual de producción	56 752 082
Gastos de venta	1 702 562
Imp. sobre ingr. mercantiles	2 082 960

Deducciones = 60 537 604 pesos.

La utilidad neta contable será entonces:

Ingreso anual	69 432 000
Deducciones	60 537 604

UTILIDAD NETA CONTABLE 8 894 396 pesos.

Sobre esta cantidad se gravará el impuesto sobre la renta, para obtener así la utilidad neta económica.

Los impuestos sobre la renta para actividades productivas, (Cédula II), varían de 0 a 40% de la utilidad neta contable, dependiendo de las posibilidades de exención de impuestos; aquí se estimarán como un 10%.

IMP. SOBRE LA RENTA = 889 439 pesos

La utilidad neta económica es pues

Utilidad neta contable 8 894 396
 Imp. sobre la renta 889 439

UTILIDAD NETA = 8 004 957 pesos.

Rentabilidad = $\frac{\text{Utilidad neta}}{\text{Inversión total}} \times 100$

= $\frac{8\ 004\ 957 \times 100}{17\ 966\ 631}$

RENTABILIDAD = 44,5% anual.

Esta alta rentabilidad significa que las perspectivas económicas de la recuperación monetaria de la inversión, son magníficas.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES.

De acuerdo a investigaciones agrícolas realizadas en la República Mexicana, las tierras de cultivo en nuestro país son escasas y pobres en cuanto a elementos nutritivos, en especial nitrógeno; un programa adecuado de fertilización, cultivo y riego, hará incrementar el rendimiento de nuestras tierras de labor, para que puedan suministrar los productos alimenticios necesarios para nuestra población, que crece rápidamente.

La actividad del campo debe ser respaldada por los demás sectores de la economía nacional, para que el país se desarrolle equilibradamente; la industria de los fertilizantes, es uno de los medios de lograr este equilibrio.

Un análisis del mercado nacional de fertilizantes nitrogenados, revela un enorme crecimiento de la demanda y hace prever un consumo probable para años futuros, que la producción nacional no podrá satisfacer a menos que se tomen en cuenta nuevas promociones para producir más nitrógeno asimilable.

El nitrato de amonio, entre los fertilizantes sólidos nitrogenados, ha demostrado ser de gran utilidad en numerosos cultivos, por su rápida asimilación y su alto contenido de nitrógeno en las dos formas asimilables, la nítrica y la amoniacal.

Se describieron y discutieron los diferentes procesos de fabricación de nitrato de amonio y se encontró que el proceso Prilling ofrece más economía en su inversión y operación, así como que el producto tiene un precio muy estable en el mercado mundial de los fertilizantes.

La capacidad de la planta se fijó en 200 toneladas diarias de nitrato de amonio, ya que según estudios económicos se obtienen costos más bajos de producción y más economía en la operación que plantas de mayor o menor capacidad.

De particular interés, es el observar que los costos de las materias primas, influyen considerablemente en los costos de producción y elevan el monto del capital de trabajo, por tanto cualquier economía en ellas redundará en mayores utilidades, o abatimiento del precio del producto, en beneficio del consumidor, en este caso el medio agrícola y a fin de cuentas de la economía general del país. Así pues, la instalación de esta planta al lado de una de amoníaco y otra de ácido nítrico, que también utiliza amoníaco en su proceso, formarían un conjunto que reduciría costos, tanto de fletes o equipo costoso de transportación de materias primas, como de operación, ya que aquellas plantas pueden proveer a la de nitrato de amonio de servicios como vapor, aire comprimido, etc., pudiéndose contar con otros servicios en común, como

subestación eléctrica o unidad generadora, torre de enfriamiento, etc., además, los gastos de ventas en las plantas de amoníaco y ácido nítrico, no existirían o serían mínimos, con el consiguiente efecto benéfico en la operación económica del conjunto.

Por otro lado, dado que en la planta de amoníaco se obtiene también dióxido de carbono en cantidad, se puede instalar una planta de urea, recuperándose los gases de desecho de esa planta en la de nitrato de amonio; una planta de fertilizantes complejos de alto análisis, completaría un conjunto para poder suministrar a nuestra agricultura el nitrógeno nutriente en la forma que más se adapte a sus necesidades.

Ahora bien, desde el punto de vista de la distribución uniforme de fertilizantes en el país, se propone la instalación de esta planta o conjunto de plantas en el noroeste de la República Mexicana, donde el gasoducto Reynosa - Mexicali que proyecta "Petróleos Mexicanos" proveerá a la planta de amoníaco de su materia prima y desde donde se podrá surtir a los agricultores de esa región de fertilizantes a bajo precio.

Finalmente, de acuerdo a un análisis económico, la instalación de esta planta de nitrato de amonio ofrece un gran atractivo económico, ya que se obtiene una rentabilidad de 44.5%, lo que significa un buen margen de beneficios.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- The chemistry and technology of fertilizers.
Vicent Sauchelli. Am. Chem. Series., (1960).
- 2.- Commercial fertilizers.
Coolings, 5th Ed., p. 69, (1955).
- 3.- Using commercial fertilizers.
Malcolm H. McVickar., (1952).
- 4.- El uso eficaz de los fertilizantes.
Harold J., (1959).
- 5.- Tratado de química inorgánica.
J.R. Partington. p. 686, (1952).
- 6.- Chemical engineer's handbook.
John H. Perry. McGraw Hill. 3 th Ed. (1950).
- 7.- Transmisión de calor y sus aplicaciones.
H.J. Stoever., Editorial Sudamericana.(1961).
- 8.- Process heat transfer.
Q.D. Kern., p. 841, McGraw Hill. (1950).
- 9.- Unit operations of chemical engineering.
W.L. McCabe and J.C. Smith, McGraw Hill.(1956).
- 10.-Introduction to chemical engineering.
W.L. Badger and J.T. Banchero.,McGraw Hill.
(1955).
- 11.- Desig of industrial exhaust sistems.
J.L. Alden, The Industrial Press. (1948).

- 12.- Chemical engineering cost estimation.
R.S. Aries and R.D. Newton., McGraw Hill.
(1955).
- 13.- Anuario estadístico del comercio exterior de los
Estados Unidos Mexicanos, Dirección General
de estadística. (Archivo).
- 14.- Informe de labores 60/61 de la S.A.G.
- 15.- Estudio sobre fertilizantes. (O.E.A.)
- 16.- Programa de trabajo del Edo. de Sonora. (1957).
- 17.- Obras y servicios públicos, Edo. de Chihuahua.
Banco Nacional Hipotecario y de Obras Públi-
cas. (1960).
- 18.- Ammonium nitrate, Operating Manual.
Chem. and Ind. Corp., (1960).
- 19.- Fertilizantes químicos. Desarrollo de la produc-
ción y demanda nacional. Banco de México.
Depto. de Investigaciones Industriales.
- 20.- Ammonium nitrate, Stengel process.
Ind. & Eng. Chem. Vol. 46, No. 4, p. 622,
April, 1954.
- 21.- Ammonium nitrate, W.H. Shearon and W.B. Dunwoody.
Ind. & Eng. Chem. Vol. 45, No. 3, p. 497,
March 1953.

- 22.- Continous vacuum crystallization of ammonium nitrate.
P. Miller and W.C. Saeman.
Chem. Eng. Progress, Vol. 43, No. 12, p. 667,
Dec. 1947.
- 23.- Evaporation. Lindsey E.
Chem. Eng. Vol. 60, No. 6, p. 227, 1953.
- 24.- Chemical Abstracts., 16762 d, August, 1960.
- 25.- Rotary dryers and coolers performance.
W.C. Saeman and T.R. Mitchell Jr.
Cem. Eng. Progress. Vol. 50, No. 9, p. 467,
Sep. 1954.
- 26.- Conveyors and elevators. H.L. Strube.
Chem. Eng. Vol. 16, No. 4, p. 195, April 1954.