

Facultad de Química

U. N. A. M.

AMPLIACION DE LA PLANTA DE FERTILIZANTES COMPLEJOS
DE FERTILIZANTES DEL ISTMO, S. A.

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

MIDORI UYEJI UYEJI

México, D. F.

1966



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

A la memoria de mi padre

A mi madre

A mis hermanos

*Deseo hacer patente mi sincero agradecimiento
al Sr. Ing. Saúl Tamayo Pérez por su
desinteresada colaboración al elaborar el
Presente trabajo*

*Al Sr. Ing. Guillermo Cortina Anciola
Con sincero agradecimiento*

INDICE

	Pag.
INTRODUCCION	1
GENERALIDADES	3
PRINCIPIOS BASICOS DEL PROCESO PEC	5
CALCULO DE FORMULACIONES	13
DESCRIPCION DEL PROCESO	29
BALANCE DE MATERIALES	32
BALANCE TERMICO DEL ESFERODIZADOR	37
CARACTERISTICAS DE LOS EQUIPOS ADICIONALES	39
COSTOS DE EQUIPOS	47
ESTIMACION DE LA INVERSION	49
ESTADO COMPARATIVO DE LOS COSTOS DE PRODUCCION	50
CONCLUSIONES	52
BIBLIOGRAFIA	53

INTRODUCCION.

El incremento de la producción nacional de fertilizantes no ha corrido paralelamente a la demanda interna sufrida.

A lo largo del territorio del país hay instaladas una serie de plantas industriales dedicadas a la elaboración de fertilizantes químicos, su desarrollo ha hecho posible el mayor uso de ellos en el campo mexicano, pero han sido impotentes, hasta la fecha, de autoabastecer a las necesidades de nuestra agricultura.

El consumo total de fertilizantes en unidad de nutrientes en 1960 fué de - 168,047 toneladas, y la producción nacional sólo fué de 72,297 toneladas; en 1964 el consumo ascendió a 309, 759 toneladas y la producción aumentó solamente a 171,254 toneladas anuales.

Es decir, la proporción de la producción sobre el consumo total aumentó de 43% a 55% en 4 años.

Fertilizantes del Istmo, S. A., inició sus operaciones en agosto de 1961 con la instalación de una unidad productora de nitrato de amonio aperdigonado, con una capacidad de producción de 66,000 TM al año; a fines del siguiente año se instalaron, la planta de urea con una capacidad de producción de 50,000 toneladas anuales y una unidad productora de fertilizantes complejos con 105,000 TM/año de capacidad de producción.

La planta de fertilizantes complejos fué construída por Chemical and In-
dustrial Corporation, con base en el proceso PEC.

La instalación inicial de la planta de complejos fué hecha previendo el -
aumento de capacidad posterior por el incremento en la demanda de fertilizantes en México.

En la actualidad tanto el mercado como la situación financiera de Fertiliz-
antes del Istmo, S. A., permiten continuar con el programa de expansión proyectado duran-
te el período de planeación inicial de la empresa, con algunas modificaciones, como conse-
cuencia de la experiencia adquirida através de los años en la operación de la planta.

El objeto del presente trabajo es el de determinar las características de -
los equipos necesarios, la estimación de la inversión requerida y la comparación de costos -
de producción antes y después de la ampliación.

GENERALIDADES.

Los elementos esenciales para la nutrición de las plantas son 16, de los -- cuales dos son tomados del aire a través de las hojas, como bióxido de carbono. El resto -- es absorbido por los vegetales del suelo, por medio de las raíces.

El nitrógeno, que es uno de los principales elementos nutrientes de las -- plantas, es tomado por las mismas por medio de sus raíces y junto con el fósforo y el potasio deben reponerse a la tierra si se desea que no se empobrezca.

Le siguen en importancia, el azufre, el calcio y el magnesio, seguidos -- de los llamados pequeños nutrientes, o sean el hierro, zinc, manganeso, cobre, boro, molib -- deno y cloro, que son importantes para el desarrollo del vegetal pero requeridos en pequeñas -- proporciones, y la mayor parte de los suelos los contienen en suficiente cantidad.

La industria de los fertilizantes ha sido establecida principalmente con el -- objeto de suministrar materiales que contengan, nitrógeno, fósforo y potasio individualmen -- te o en combinación.

La aplicación de estos elementos a los suelos se pueden hacer en forma de -- solución o en forma de sólido, y deben ser solubles en agua o en ácido para poder ser asimi -- lados por las plantas.

La simplicidad de las plantas de fertilizantes líquidos debido a la elimi-

nación de operaciones tales como, granulación, secado, clasificación, molienda, etc., - hacen que el costo de producción sea relativamente bajo.

Por otro lado, la desventaja principal para fertilizantes líquidos, es el costo de transporte y almacenaje de producto, el cual es normalmente el doble que el del producto sólido, haciendo incostrable su uso en las áreas alejadas de los medios de producción.

En consecuencia los productos de mayor demanda son en forma de sólido.

La producción de los fertilizantes sólidos se puede hacer mediante mezclas de sales que contengan nitrógeno, fósforo y potasio, en relación necesaria.

Como las sales mezcladas, normalmente tiene diferentes densidades y son de tamaños diferentes, los productos obtenidos carecen de uniformidad, produciendo bajos rendimientos por unidad de fertilizantes usados. Además, las sales mezcladas llevan elementos inertes que disminuyen el contenido de nutrientes por unidad de peso, aumentando el costo de manejo de la fórmula.

En vista de estas dificultades, se han desarrollado diferentes procesos en el que se hacen reaccionar ácidos, bases o sales de alto contenido en elementos nutrientes, con los que se obtienen fertilizantes homogéneos y de menor costo de manipulación por su mayor contenido en nutrientes.

Los procesos de obtención de fertilizantes basados en el principio anterior son los PEC, y se describen en el siguiente capítulo.

PRINCIPIOS BASICOS DEL PROCESO PEC

En vista de que un fertilizante completo requiere la presencia de nitrógeno nítrico y compuestos de fósforo, se podría preparar éste por disolución de la roca fosfórica en ácido nítrico, en lugar de usar ácido sulfúrico como se hace normalmente, puesto que, este último no tiene gran valor como fertilizante.

Como resultado de lo anterior se tienen tres ventajas :

- 1.- Economía de ácido sulfúrico.
- 2.- Eliminación de la cantidad considerable de sulfato de calcio, producción de este por lo tanto, un fertilizante más concentrado.
- 3.- Mezcla íntima de los ingredientes inherentes.

Después de la acidulación del fosfato natural con ácido nítrico, la acidez se neutraliza con el amoníaco a la vez que se suministra la cantidad de nitrógeno amoniacal necesaria. El ácido fosfórico estaría presente en forma de fosfato dicálcico.

Sin embargo, este proceso simple tiene la desventaja de originar nitrato de calcio en el producto, que representa un gran inconveniente por la alta higroscopicidad de este compuesto.

Por lo tanto, para obtener un fertilizante que pueda ser almacenado por un período razonable, es necesario que el nitrato de calcio sea eliminado o convertido a una sal

no higroscópica.

La primera solución de este problema fué alcanzada en el proceso ODDA, en el cual el fosfato natural se ataca con un ligero exceso de ácido nítrico de 45 - 55 %.

La solución obtenida es filtrada, para eliminar los elementos insolubles y enfriada a -10°C para acelerar la cristalización del nitrato de calcio, que posteriormente se separa en un filtro al vacío.

En el proceso Norsk Hydro, el nitrato de calcio se separa por cristalización en la forma de una sal doble, $5\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{NH}_4\text{NO}_3 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$, por adición a la solución de -- cierta cantidad de nitrato de amonio.

Todos los procesos que usan el método de filtración tienen dos grandes desventajas :

1. - La dificultad de filtrar la solución de acidulación, la cual, no solamente es viscosa a baja temperatura, sino que además contiene partículas en estado coloidal, - la cual requiere aparatos complicados.

2. - La presencia de nitrato de calcio, del cual se obtienen de 3 a 5 toneladas por cada tonelada de P_2O_5 soluble.

La alternativa de solucionar el problema mediante la transformación de nitrato de calcio en sales no higroscópicas, ha sido la base de numerosos experimentos.

Potasse et Engrains Chimiques, fue una de las primeras firmas que llevó a cabo el estudio e investigación de esta naturaleza, encontrando varias alternativas para la conversión del nitrato de calcio, que pueden ser :

1.- Por iones SO_4 = (ácido sulfúrico + amoníaco o sulfato de amonio o sulfato de potasio).

2.- Por iones PO_4 = (ácido fosfórico + amoníaco o fosfato de amonio).

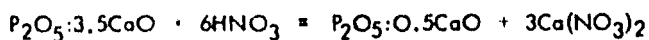
Todos los procesos están basados sobre el mismo tipo de reacción, que pueden resumirse como sigue :

I.- ACIDULACION DE FOSFATO NATURAL CON ACIDO NITRICO

El fosfato natural es atacado por el ácido nítrico. Este se usa normalmente solo y dá una solución fluída extremadamente ácida.

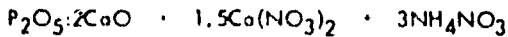
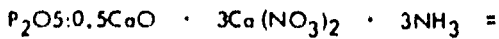
La ausencia de sulfato de calcio facilita la extracción de gases y el riesgo de combustión o de explosión debido a la presencia de nitrato de amonio se elimina.

La reacción es :



II.- PRECIPITACION DE FOSFATO DICALCICO

La solución obtenida es ácida, puesto que contiene ácido fosfórico libre. Esta acidez, la cual no debe estar presente en el fertilizante, se utiliza para fijar el amoníaco, efectuándose la precipitación de fosfato dicálcico de acuerdo con la siguiente reacción :



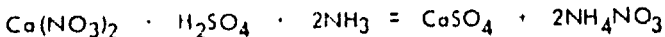
III.- CONVERSION DE NITRATO DE CALCIO REMANENTE POR
PRECIPITACION DEL CALCIO EN FORMA DE SAL INSOLU-
BLE

Como se estableció arriba, esta precipitación puede ser obtenida por el uso de agentes diversos :

A.- PRECIPITACION EN FORMA DE SULFATO DE CALCIO

a) El proceso original de PEC, conocido como el proceso sulfonítrico hace uso del sulfato de amonio. Un aspecto especial del sistema PEC, es aquel en que el sulfato de amonio puede ser obtenido directamente en la reacción por la adición simultánea de ácido sulfúrico y amoníaco.

La reacción puede escribirse como sigue :



En la práctica, el ácido sulfúrico se agrega gradualmente durante la amoniatión iniciada en el paso II.

b) Otro proceso PEC, llamado proceso sulfopotásico, usa sulfato de potasio, como tal o como se produce en la reacción $H_2SO_4 + KCl$, en una unidad separada, se-

gún la reacción :

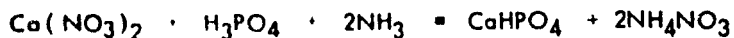


En la práctica, la mezcla obtenida después de la precipitación del fosfato dicálcico en el paso II se mezcla con sulfato de potasio, hasta que la reacción se complete.

B. - PRECIPITACION EN LA FORMA DE FOSFATO DICALCICO.

Un proceso PEC posterior llamado proceso fosfonítrico, usa una técnica similar a la descrita en el proceso sulfonítrico, empleando ácido fosfórico en lugar de ácido sulfúrico.

La reacción se puede escribir :



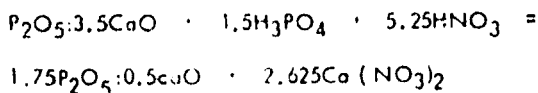
Este proceso se caracteriza por un alto costo neto de los materiales básicos, -- pero esto hace posible la producción de fertilizantes de alta concentración en nutrientes -- con baja relación de N/P₂O₅.

ACIDULACION MEZCLADA

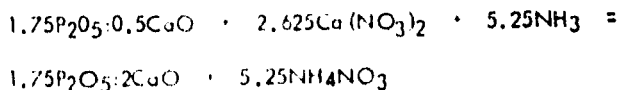
Aun cuando, las tierras y las cosechas requieren una relación básica de nitrógeno a P_2O_5 en el fertilizante mayor de uno, hay casos especiales como en el caso del crecimiento de los vegetales, donde la proporción deseada es más baja.

Potasse et Engrais Chimiques, consideró por lo tanto que sería conveniente resolver este problema variando sus procesos, de tal manera que, cuando se use ácido sulfúrico o ácido fosfórico como agente de conversión para el nitrato de calcio, sea posible hacer que este ácido tome parte en la disolución inicial de la roca fosfórica.

En el caso del ácido fosfórico es suficiente con mezclarlo con fosfato natural y ácido nítrico en los equipos de reacción. Las reacciones que coexisten son las siguientes :



Reacción de neutralización con amoniaco :



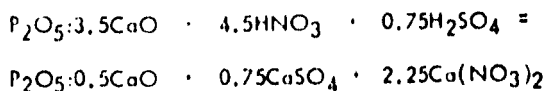
En el caso del ácido sulfúrico, el problema es diferente. Por un lado, la fuerte acidez que resulta de la mezcla de ácido nítrico y ácido sulfúrico ataca al acero inoxidable, y por otro lado, la precipitación de sulfato de calcio durante el curso de la acidulación hace a la mezcla espesa y dificulta la degasificación.

La oxidación por el ácido nítrico de materiales orgánicos que siempre están presentes en el fosfato natural producen un gran desprendimiento de gases nitrosos, los cuales, si permanecen en la mezcla, en el curso de la amoniatación pueden causar la formación de pequeñas cantidades de nitrato de amonio, que tiene el peligro de explotar en los aparatos de secado o durante el almacenaje posterior.

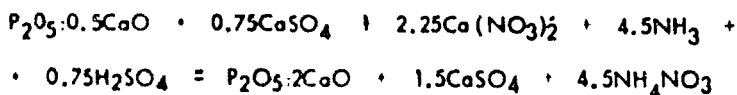
Esta dificultad ha sido vencida como sigue : en el primer paso de la reacción se hace reaccionar a la totalidad de la roca fosfórica con una cantidad de ácido nítrico que corresponda a la mitad de la cantidad de nitrógeno requerida en la fórmula. (El límite es una relación de $N/P_2O_5 = 6/10$). En este paso la solución obtenida, que únicamente contiene partículas en suspensión de roca sin atacar, es fácilmente degasificada, eliminando todos los vapores nitrosos producidos.

La acidulación de la roca fosfórica se completa con el ácido sulfúrico en un segundo paso.

La reacción completa de acidulación puede expresarse como sigue :



Finalmente la amoniatación se lleva a cabo junto con la adición de ácido sulfúrico complementario :



Debido a que los procesos PEC de fertilizantes complejos, usan el mismo equipo standard, es posible combinar varios de ellos, aumentando así la flexibilidad de la planta y permitiendo la obtención de un rango amplio de formulaciones. Por ejemplo, la proporción de nitrógeno en el fertilizante puede ser aumentada cuando se requiera, usando para la acidulación mayor proporción de ácido nítrico que lo estrictamente necesario para disolver la roca. El exceso se neutraliza después con amoníaco.

CALCULO DE FORMULACIONES

Los procedimientos para el cálculo de formulaciones dependen del producto que se desea obtener, según el porcentaje de P_2O_5 soluble en agua deseado, o el alto o bajo contenido de proporciones de nitrógeno en forma amoniacal.

Con las ecuaciones de reacciones químicas de los principios del proceso, se obtienen las fórmulas binarias básicas, que combinadas unas con otras y acompañadas del empleo eventual de exceso de ácido fósfórico, permitirá dar un rango amplio de fertilizantes manufacturados con relación de N/P_2O_5 de 0.37 a mayor de uno.

La fórmula que se desea producir, se puede obtener de diferentes formas, algunas dan como resultado fórmulas más económicas que otras y pueden ser también más o menos difíciles de producir.

Si la fórmula deseada contiene potasio, el primer paso es determinar la fórmula binaria que se tiene que mezclar con el muriato o sulfato para dar la fórmula deseada y calcular de cuántas por mezcla la binaria.

Como el cálculo de la fórmula necesaria a partir de las fórmulas básicas se puede hacer por mezcla de 2 binarios o mezcla de 3, se describirán los dos métodos.

CALCULO POR MEZCLAS DE DOS BINARIAS BASICAS

Paso No. 1 :

Si la fórmula deseada se puede obtener por mezcla de dos binarias se debe satisfacer la siguiente relación :

$$N_1 \cdot \frac{(N_2 - N_1) (P_1 - P_1)}{P_2 - P_1} \cong N_1$$

En donde :

N_1 = % de nitrógeno en binaria 1.

N_2 = % de nitrógeno en binaria 2.

P_1 = % de P_2O_5 en binaria 1.

P_2 = % de P_2O_5 en binaria 2.

P_1 = % de P_2O_5 en la fórmula deseada.

N_1 = % de nitrógeno en la fórmula deseada.

Según el valor de esta relación se pueden presentar 3 casos :

1. - Si el primer miembro de la relación anterior es igual al segundo, la binaria deseada se puede obtener directamente.

2. - Si el primer miembro es mayor que el segundo, se puede obtener la fórmula, pero hay que agregar relleno.

3. - Si el primer miembro de la fórmula es menor que el segundo, la fórmula - no se puede obtener por mezcla de las dos binarias.

Paso No. 2 :

Si se presenta el primer caso, la cantidad de fórmula 2 que hay que usar está dada por la siguiente relación :

$$\% \text{ de } 2 = \frac{P_1 - P_1}{P_2 - P_1} \times 100$$

El % de fórmula 1 será :

$$\% \text{ de } 1 = 100 - \% \text{ de } 2.$$

Si se presenta el segundo caso (primer miembro mayor que el segundo).

$$\% \text{ de } 2 = \frac{100 N_1}{\frac{(P_1 - P_2)}{(P_1 - P_1)} N_1 \cdot N_2}$$

$$\% \text{ de } 1 = \frac{100 N_1 (P_2 - P_1)}{N_1 (P_2 - P_1) \cdot N_2 (P_1 - P_1)} - \% \text{ de } 2$$

$$\% \text{ de inerte} = 100 - \% \text{ de } 1 - \% \text{ de } 2.$$

En general este tipo de mezcla se usa para subir el nitrógeno o el P_2O_5 de una de las fórmulas que se hacen por ataque de roca, y para producir fórmulas mediante nitrato de amonio y mezclas de fosfatos mono y diamónicos.

Aunque también en algunos casos se puede usar para mezcla de dos fórmulas con ataque de roca, que son las más económicas.

La máxima cantidad de nitrógeno que puede contener la fórmula deseada para una relación fija de N/P_2O_5 está dada por :

$$N_t = \frac{N_2}{1 + \frac{N_2}{P_1 R_1} - \frac{R_1}{R_t}}$$

En la cual :

$$R_1 = \frac{N_1}{P_1} \quad \text{y} \quad R_t = \frac{N_t}{P_t}$$

MEZCLA DE TRES BINARIAS BASICAS

Este tipo de mezclas se usan para subir el porcentaje, tanto de nitrógeno como de pentóxido de fósforo de una de las fórmulas producidas por ataque de roca, con el objeto de bajar el costo de la fórmula, ya que también se pueden producir por mezcla de nitrato

to y fosfatos mono y diamónicos.

Con este método se puede obtener cualquier fórmula que tenga una relación - fija de N/P_2O_5 de 0.37 mínimo.

El máximo contenido de N y de P_2O_5 que se puede obtener en el proceso - para una relación fija de N/P_2O_5 está dado por la ecuación :

$$N_1 = \frac{35 R_1}{R_1 + 0.3385}$$

$$P_1 = \frac{N_1}{R_1}$$

En donde :

N_1 = % de nitrógeno en formulación deseada.

P_1 = % de P_2O_5 en la misma formulación.

R_1 = % de N/P_2O_5 en la misma formulación.

Si llamamos A, B y C las fórmulas que se van a mezclar, la cantidad de la -- fórmula B que hay que alimentar será :

$$\% B = \frac{(N_3 - N_1)(P_3 - P_1) - (P_3 - P_1)(N_3 - N_1)}{(P_3 - P_1)(N_2 - N_3) - (P_2 - P_3)(N_3 - N_1)} \times 100$$

De la fórmula "A" será:

$$\% A = \frac{(N_3 - N_1) \cdot B(N_2 - N_3)}{N_3 - N_1} \times 100$$

De la fórmula "C" será:

$$\% C = \frac{N_1 - BN_2 - AN_1}{N_3} \times 100$$

En las cuales:

N_1 , N_2 , N_3 y N_4 representan el porcentaje de nitrógeno en la fórmula A, B, C y la fórmula deseada respectivamente.

P_1 , P_2 , P_3 y P_4 representan el porcentaje de P_2O_5 en las fórmulas A, B, C y la fórmula deseada respectivamente.

CALCULO DE LOS PORCENTAJES DE LAS MATERIAS PRIMAS

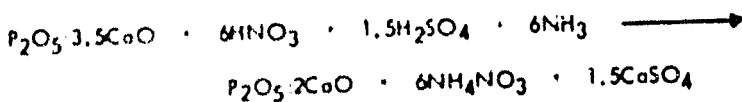
Para calcular los porcentajes de materias primas necesarias para la fórmula, basta con multiplicar los porcentajes de cada una de las binarias básicas por el porcentaje de la fórmula binaria necesaria en la fórmula final y el producto por cada uno de los porcentajes de materia prima que intervienen en las binarias básicas, calculadas de acuerdo con las reacciones químicas.

Después de reducir las cantidades de materias primas iguales, se tendrá la fórmula para 100 toneladas por unidad de tiempo, base seca.

Para sacar el valor base húmedo, es necesario conocer el agua que acompaña a cada uno de los reactivos.

FORMULAS BINARIAS BASICAS

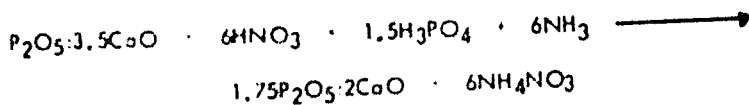
1.- Proceso sulfonitrico :



Fórmula : 15.9 - 13.4 - 0;

$$\text{N}/\text{P}_2\text{O}_5 = 1.19$$

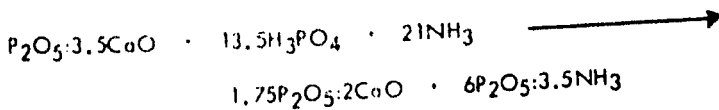
2.- Proceso fosfonitrico :



Fórmula : 15.8 - 23.0 - 0;

$$\text{N}/\text{P}_2\text{O}_5 = 0.69$$

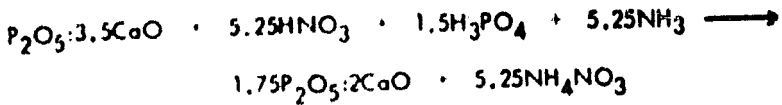
3.- Proceso acidulación con ácido fosfórico :



Fórmula : 13.8 - 34.3 - 0;

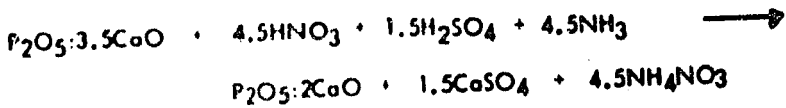
$$\text{N}/\text{P}_2\text{O}_5 = 0.40$$

4.- Proceso acidulación mezclada de $\text{HNO}_3 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$:



Fórmula : 14.5 - 24.3 - 0; N/P₂O₅ = 0.60

5.- Proceso acidulación mezclada de HNO₃ + H₂SO₄ :



Fórmula : 13.4 - 15.2 - 0; N/P₂O₅ = 0.88

6.- Proceso de neutralización de HNO₃ :



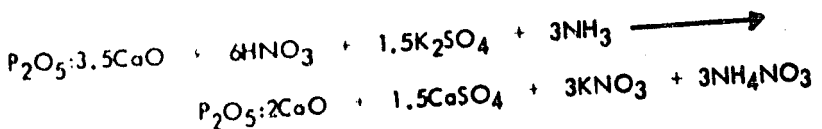
Fórmula : 35 - 0 - 0.

7.- Proceso de neutralización de H₃PO₄ :



Fórmula : 18.4 - 49.2 - 0; N/P₂O₅ = 0.37

8.- Proceso sulfonítrico modificado :



Fórmula : 12.3 - 15.6 - 15.5; N/P₂O₅ = 0.78

APLICACION DEL METODO DE CALCULO PARA LA FORMULA :

$$\underline{15 - 15 - 15 (15.2 - 15.2 - 15.2)}$$

Paso No. 1

Cálculo de muriato de potasio necesario :

$$\frac{15.2}{0.60} = 25.3$$

Paso No. 2 :

Fórmula binaria necesaria :

100 - muriato - recubrimiento - humedad = binaria necesaria.

$$100 - 25.3 - 3 = 71.7$$

$$\text{Nitrógeno} = \frac{15.2}{71.7} = 21.2$$

$$\text{P}_2\text{O}_5 = \frac{15.2}{71.7} = 21.2$$

Fórmula : 21.2 - 21.2 - 0;

Relación N/P₂O₅ = 1

Paso No. 3 (Formulacion con 2 fórmulas básicas).

Como la relación N/P₂O₅ necesaria en la fórmula a calcular es mayor que -

las existentes menos el proceso sulfonitríco, que es poco usual, es necesario agregar nitrógeno en forma de nitrato de amonio para elevarlo.

Si es posible obtener la fórmula mediante la mezcla de una binaria básica y nitrato, se debe cumplir las siguientes relaciones :

$$P_1 > P_r$$

$$P_1 R_1 + 35(1 - P_r/P_1) = N_r$$

En donde :

P_1 = % de P_2O_5 en binaria necesaria.

R_1 = Relación N/ P_2O_5 en binaria básica.

P_r = % de P_2O_5 en binaria básica.

N_r = % de nitrógeno en binaria necesaria.

Fórmula	Relación
2	17.39
4	17.20
5	20.05
7	27.79

De las relaciones anteriores se tiene que la única posibilidad es mezclar la fórmula 7 con nitrato de amonio.

Paso No. 4. - Cálculo de los % de fórmulas para dar la binaria necesaria.

$$\% \text{ de fórmula 7} = \frac{P_1}{P_1} = \frac{21.2}{49.2} = 43.1$$

$$\% \text{ de nitrato} = \frac{N_1 - P_1 R_1}{35} = \frac{21.2 - 21.2 \times 0.303}{35} = 42.2$$

$$\% \text{ de inerte} = 100 - 85.3 = 14.7$$

Paso No. 5 :

Cálculo de % de constituyentes en la fórmula a producir.

% de fórmula 7	=	43.1	x	71.7	=	30.9
% de nitrato	=	42.2	x	71.7	=	30.3
% de inerte	=	14.7	x	71.7	=	10.5
% de muriato	=				=	25.3
% de humedad	=				=	1.0
% de recubrimiento	=				=	2.0
TOTAL					=	100.0

MATERIAS PRIMAS EN TONS/100 TONS DE FORMULA

	Base seca	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
H ₃ PO ₄	20.98		15.20	
NH ₃	5.59	4.60		
NH ₄ NO ₃	30.30	10.60		
Muriato	25.30			15.2
Lodos	4.33			
Relleno	10.50			
Recubrimiento	2.00			
Humedad	1.00			
TOTAL	<u>100.00</u>	<u>15.2</u>	<u>15.2</u>	<u>15.2</u>

Ejemplo de cálculo de la fórmula 15-15-15 por mezcla de tres binarias básicas.

Fórmula binaria necesaria 21.2 - 21.2 - 0; $R_f = 1.0$

Paso No. 1 :

El primer paso es determinar si la fórmula es posible hacerse.

$$N_f = \frac{35 R_f}{R_f + 0.3385} = \frac{35}{1.3385} = 26.14$$

$$P_f = \frac{N_f}{R_f} = 26.14$$

Como los valores de N y P_2O_5 deseados son menores que estos, la fórmula es posible.

Paso No. 2.

En este paso se seleccionan tres fórmulas y se hace la determinación de porcentajes.

Como es necesario subir el N de cualquiera de las fórmulas básicas producidas por ataque con roca, una de las fórmulas debe ser nitrato de amonio (No. 6), como ninguna de las básicas producidas por ataque de roca, da la fórmula deseada cuando se mezclan con NH_4NO_3 , se deduce que es necesario subir también el P_2O_5 por lo que hay que usar la No. 7.

La tercera fórmula será cualquiera de las obtenidas por ataque de roca 1, 2, -
465.

MEZCLA DE 2, 6 y 7

Fórmula 2 : 15.8 - 23.0 - 0 (A)

Fórmula 7 : 18.4 - 49.2 - 0 (B)

Fórmula 6 : 35.0 - 0 - 0 (C)

Fórmula deseada: 21.2 - 21.2 - 0

$$\% B = \frac{(35.0 - 15.8) - (-21.3) - (-23)(35 - 21.2)}{(-23)(18.4 - 35) - (49.2)(35 - 15.8)} \times 100$$

$$\% B = \frac{(19.2)(-21.2) - (-23)(13.8)}{(-23)(-16.6) - (49.2)(19.2)} \times 100 = 15.9$$

$$\% A = \frac{(35.21.2) + 0.159(18.4 - 35.0)}{(35 - 15.8)} \times 100$$

$$\% A = \frac{13.8 + 0.159(-16.6)}{19.2} = 58.1$$

$$\% C = \frac{21.2 - 0.159(18.4) - 0.581(15.8)}{35} = 26.0$$

COMPROBACION :

$$A + B + C = 100$$

$$58.1 + 15.9 + 26.0 = 100.0$$

% de fórmula No. 2 :	58.1 x 71.7 =	41.7
% de fórmula No. 7 :	15.9 x 71.7 =	11.4
% de fórmula No. 6 :	26.0 x 71.7 =	18.6
% de KCl :	=	25.3
% de recubrimiento :		2.0
% de humedad :		<u>1.0</u>
TOTAL		100.0

	BASE SECA	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Roca :	16.60		5.48	
H ₃ PO ₄	13.41		9.72	
HNO ₃	14.55	3.23		
NH ₃ :	6.58	5.42		
LODOS :	0.98			
H ₂ SO ₄ :	0.98			
NH ₄ NO ₃ :	18.60	6.51		
KCl :	25.30			15.2
R + H :	<u>3.00</u>	<u>15.2</u>	<u>15.2</u>	<u>15.2</u>
TOTAL	100.00	15.2	15.2	15.2

DESCRIPCION DEL PROCESO.

El proceso para su descripción se puede dividir en dos secciones:

- a) Sección de reacción.
- b) Sección de esferodizado.

SECCION DE REACCION:

Esta sección consta de un tren de 16 reactores en forma de "U" con agitación doble para una mezcla completa que permita la completa reacción química de los ingredientes.

El flujo de material se efectúa por derrame de un reactor al siguiente.

La roca fosfórica y el ácido nítrico son alimentados al reactor #1, donde el ácido nítrico digiere la roca, en los reactores del 4 al 14, se efectúa la amoniatación, y la adición de ácido fosfórico o sulfúrico si lo necesita el proceso, en el reactor # 14 se adiciona el nitrato de amonio, y en el reactor # 15 se alimenta el KCl o el K_2SO_4 .

La cantidad adecuada de ácidos, nitrato de amonio y amoniaco, se alimentan a los reactores para producir una pasta en el reactor # 14 que tenga el pH y el análisis requerido (menos el potasio), para la fórmula que se produce.

El producto que no tenga el análisis adecuado debe aislarse y reprocesar

El control de pH en la pasta es muy importante por varias razones, algunas fórmulas tienden a espesarse a ciertos valores de pH, lo cual debe evitarse. Otras fórmulas están sujetas a reversión de la roca fosfórica a su forma insoluble.

El exceso de amoniaco causa pérdidas de esta materia prima a través del sistema de humos y también produce productos con fuerte olor a amoniaco, que se pierde -- por evaporación.

Si el pH es bajo (abajo de 5), el producto corre el peligro de ignición en el esferodizador o se descompone espontáneamente con desprendimiento de humos tóxicos. Además, el producto de bajo pH está sujeto a formar tortas y tiende a deteriorar las bolsas en el almacén.

El lodo producido en los reactores es descargado al tanque de pasta con agitación, para de allí ser bombeado al extremo seco.

SECCION DE ESFERODIZADO:

En el extremo seco, la pasta se esferodiza, se seca, se enfría y se recubre con antiapelmazante.

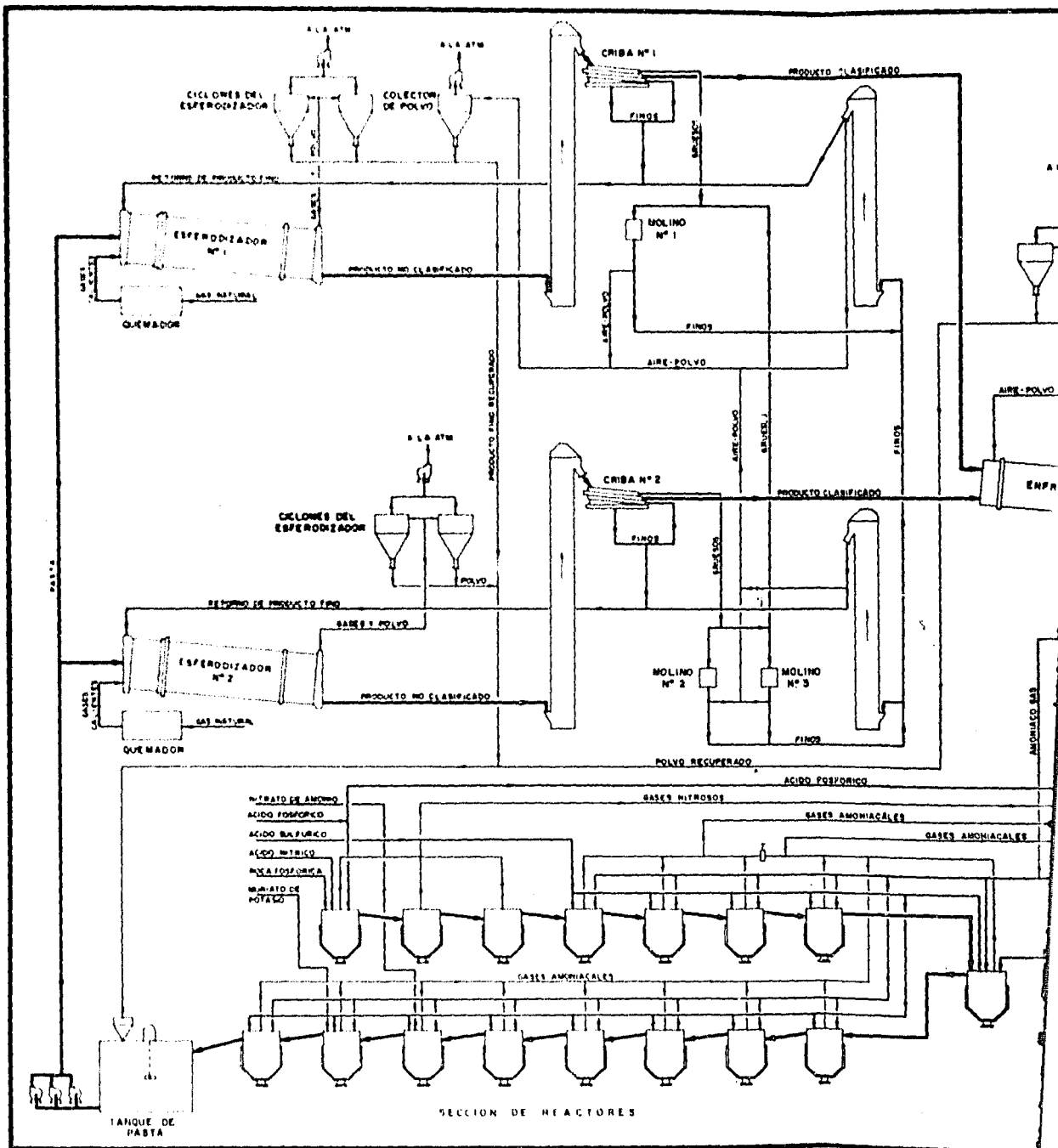
La esferodización se logra haciendo incidir a la pasta atomizada con aire, sobre una cortina de producto fino que gira en un tambor rotatorio en corriente paralela, -- con gases calientes producto de un quemador de gas natural.

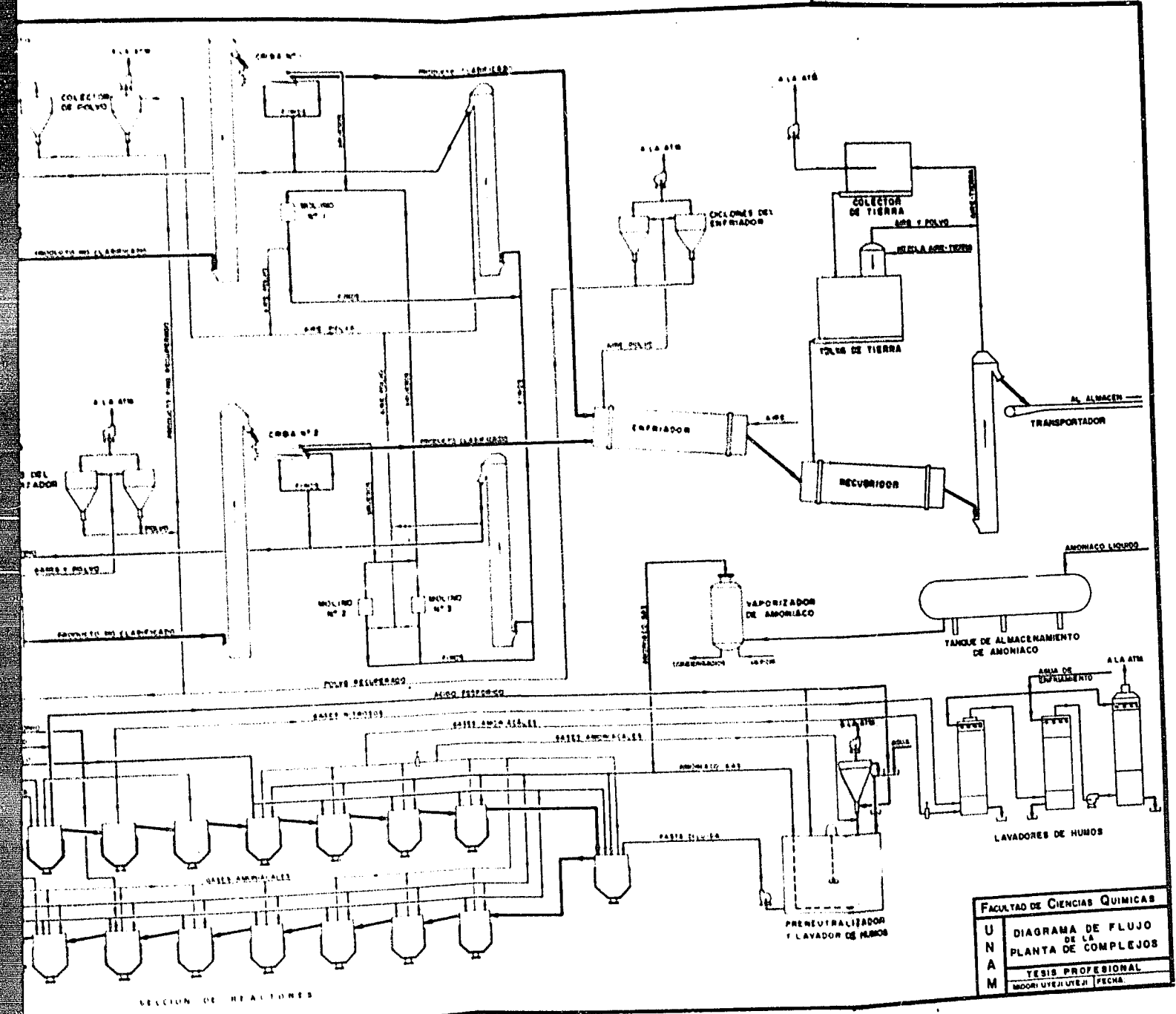
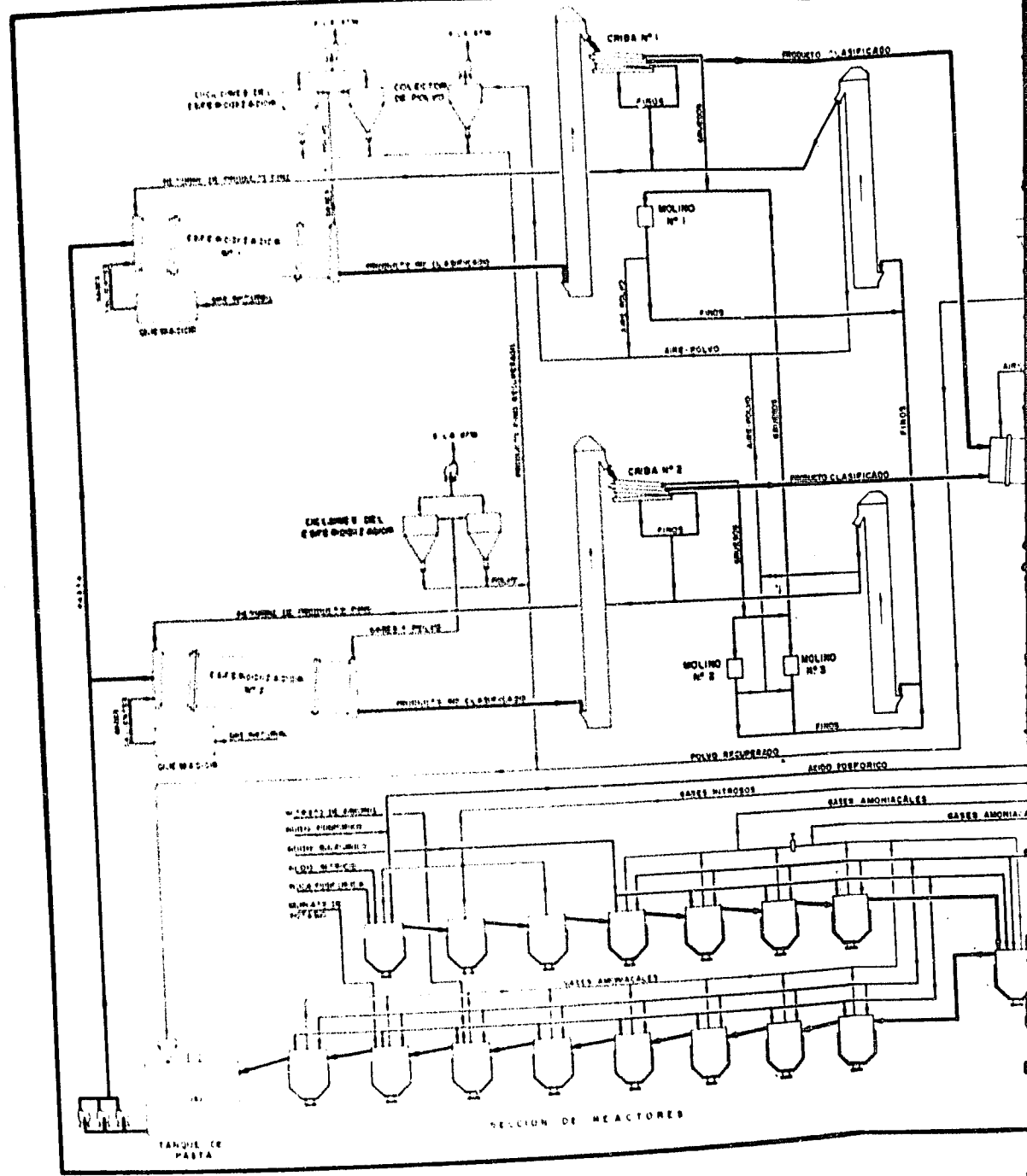
El producto que deja los esferodizadores se clasifica, mandando al producto que pasa especificaciones al enfriador, el producto fino se regresa al esferodizador y al producto de mayor tamaño se le envía a un sistema de molienda, donde se muele hasta tener

un producto fino que se alimenta al esferodizador.

El enfriador es un tambor rotatorio con flujo de aire y producto a contracorriente, el polvo del producto arrastrado por el aire se recupera mediante un separador -- ciclónico y se envía al tanque de pasta.

Del enfriador el producto pasa al recubridor que es un tambor rotatorio - similar al enfriador, y en donde recibe un baño de tierra de diatomáceas para evitar el apel mazamiento, y de aquí se envía al almacén a granel.





FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
 U N A M
 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA DE COMPLEJOS
 TESIS PROFESIONAL
 MODIFICACIONES: FECHA:

BALANCE DE MATERIALES.

Bases de cálculo:

Capacidad de producción: 700 TM/día con 2 secadores granuladores.

Análisis granulométrico de producto terminado: 100% (-8 + 12 Mesh).

Análisis granulométrico de producto descargado por el granulador secador:

22.7% (+ 8 Mesh).

33.1% (+ 8 - 12 Mesh)

44.2% (- 12 Mesh).

Relación de reciclo a producto: 1.67
Fórmula: 15 - 15 - 15
Proceso: Nitrofosfórico.
Eficiencias:

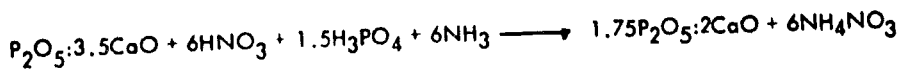
De nitrógeno nítrico: 96.0%

De nitrógeno amoniacal: 96.0%

De P_2O_5 : 98.5%

De K_2O : 99.0%

Reacciones que se efectúan en este proceso.



Las alimentaciones en base húmeda a los reactores de acuerdo con las --
reacciones químicas y las eficiencias establecidas serán las siguientes:

	TM/dfa	lb/hr
Roca (33% de P_2O_5)	116.20	10,674
H_3PO_4 (30% de P_2O_5)	226.67	20,821
HNO_3 (50%)	203.66	18,708
NH_3	46.06	4,231
Impurezas de H_3PO_4	13.72	1,260
NH_4NO_3 (80%)	162.75	14,950
KCl (60%)	177.10	16,268
Recubrimiento	14.00	1,286
Total alimentado	960.16	88,198

El producto en forma de pasta que sale de los reactores, es una mezcla-
de los siguientes compuestos:

	TM/dfa	lb/hr	%
$P_2O_5:2CaO$	120.02	11,025	14.5
NH_4NO_3	256.17	23,531	30.8
$P_2O_5:3.5NH_3$	55.77	5,123	6.7
KCl	177.10	16,268	21.3
Inertes	70.94	6,516	8.5
Humedad	151.00	13,871	18.2
Pasta producida en los reactores:	831.00	76,334	100.00

ANALISIS DE LA PASTA.

(Base seca).

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
P ₂ O ₅ :2CaO	-	67.10	-
NH ₄ NO ₃	89.67	-	-
P ₂ O ₅ :3.5NH ₃	16.47	39.30	-
KCl	-	-	106.26
Total:	<u>106.14</u>	<u>106.40</u>	<u>106.26</u>
Fórmula:	15.6	15.6	15.6

El análisis es alto porque falta considerar la humedad y el recubrimiento.

La pasta a medida que va pasando por los reactores va perdiendo agua, y al pasar del tren de reactores al tanque de pasta, debe tener una humedad de 18% para poder ser bombeada al esferodizador.

De aquí en adelante el contenido de nutrientes por tonelada permanece constante y por lo tanto los sólidos que se manejan.

Para facilitar el balance se llamará NPK a los sólidos.

ALIMENTACION A LOS ESFERODIZADORES.

	TM/dfa	lb/hr
NPK (Pasta)	680	62,463
H ₂ O (Pasta)	151	13,871
NPK (Reciclo)	1373	126,121
H ₂ O (Reciclo)	15	1,378
Total	<u>2219</u>	<u>203,833</u>

SALIDA DEL ESFERODIZADOR.

	T.M./dfa	lb/hr.
NPK (Granulado)	2053	188,584
H ₂ O (En NPK)	23	2,113
H ₂ O (Evaporada)	<u>143</u>	<u>13,136</u>
Total:	2219	203,833

El producto se envía por medio de un elevador a la criba para ser clasificado.

ALIMENTACION A LAS CRIBAS.

	T.M./dfa	lb/hr.
NPK	2053	188,584
H ₂ O (En NPK)	23	2,113
Total:	<u>2076</u>	<u>190,697</u>

SALIDA DE LAS CRIBAS

	T.M./dfa	lb/hr.
Producto grueso al molino:	466	42,806
H ₂ O en el producto grueso:	5	459
Producto clasificado al enfriador:	680	62,463
H ₂ O del producto al enfriador:	7	643
Producto fino:	907	83,315
H ₂ O en el producto fino:	<u>11</u>	<u>1,010</u>
Total:	2076	190,696

ALIMENTACION AL ENFRIADOR

	TM/dfa	lb/hr
NPK	680	62,463
H ₂ O	7	643
Total:	<u>687</u>	<u>63,106</u>

ALIMENTACION AL RECUBRIDOR.

	TM/dfa	lb/hr
NPK	680	62,463
H ₂ O	7	643
Recubrimiento	14	1,286
Producto terminado al almacen:	<u>701</u>	<u>64,392</u>

BALANCE TERMICO DEL ESFERODIZADOR.

BASES DE CALCULO:

Una hora de operación.

ALIMENTACION:

PASTA:

38,041 lb.

Composición: 88% sólidos.
18% agua.

Temperatura: 210°F

RECICLO:

70.097 lb.

Composición: 99% sólidos.
1% agua.

Temperatura: 140°F

PRODUCTO:

101,606 lb.

Composición: 99% sólidos.
1% agua.

Temperatura: 185°F

AGUA EVAPORADA:

Cantidad: 6052 lb.

CALOR QUE ENTRA:

Pasta: $q_1 = 31,509 \times 0.27 (210 - 32) = 1,514,322 \text{ BTU}$

Reciclo: $q_2 = 70,097 \times 0.27 (140 - 32) = 2,044,008 \text{ BTU}$

Agua de la pasta $q_3 = 6,532 \times 178.06 = 1,163,088 \text{ BTU}$

Gases $q_4 = m \times 0.25 (450 - 32)$

Total $Q_0 = = 4721,418 + 104.5 \text{ m}$

CALOR QUE SALE:

Producto: $q_1 = 101,606 \times 0.27 (185 - 32) = 4,197,344 \text{ BTU}$
Vapor de agua: $q_2 = 6,532 \times 1,145.8 = 7,484,366 \text{ BTU}$
Aire: $q_3 = m \times 0.25 (200 - 32) = 42 \text{ m}$
Total: $Q_s = = 11,681,710 + 42 \text{ m}$
De donde: $m = 111,365 \text{ lb.}$

CARGA TERMICA DEL QUEMADOR:

Calor del aire: $Q_a = 111,365 \times 0.25 (450 - 77) = 10,384,786 \text{ BTU}$
Pérdidas por radiación (10%) = 1,038,479 "
Total = 11,423,265 "

CALOR TRANSFERIDO AL MATERIAL:

Al agua: $q_1 = 7,484,366 - 1,163,088 = 6,321,278 \text{ BTU}$
Pasta + reciclo: $q_2 = 4,197,344 - 2,044,008 - 1,514,322 = 639,014 \text{ BTU}$
Total: = 6,960,292 "

EFICIENCIA TERMICA DEL SECADOR QUEMADOR:

$$nt = \frac{6,960,292}{11,423,265} = 60.9 \%$$

CARACTERISTICAS DE LOS EQUIPOS ADICIONALES

EXTRACTOR DE HUMOS :

Tipo : Centrifugo.
Material : Acero inoxidable 316, en contacto con los gases.

Utilizando un valor de $50 \text{ ft}^3/\text{min}/\text{ft}^2$ de sección y un área total de reactores preneutralizador de 386 ft^2 , la capacidad del extractor deberá ser de $20,000 \text{ ft}^3/\text{min}$.

La potencia, estimando una caída de presión de 20 cm. será :

$$\frac{20,000 \times 20}{2.54 \times 635 \times 0.52} = 47 \text{ BHP}$$

La potencia del motor a 92 % de eficiencia será de 50 HP.

EXTRACTOR DEL ESFERODIZADOR :

Tipo : Centrifugo.
Capacidad : (Del balance de materiales): 33,000 CFM, 8.66 pulg. de H_2O ,
Material : Acero al carbón.
Motor : Eléctrico de 100 HP

Potencia del extractor :

$$\text{BHP} = \frac{\text{cfm} \times \text{presión en pulg. de } \text{H}_2\text{O} (60^\circ\text{F})}{6356 \text{ Es}}$$

$$\text{BHP} = \frac{33,000 \times 8.66}{6,356 \times 0.56} = 97$$

COMPRESOR DE AIRE PARA ATOMIZACION :

Tipo : Alternativo de una etapa, enfriado por --
agua.
Capacidad : 364 CFM
Motor : Eléctrico de 100 HP
Material de construcción : Acero al carbón.
Presión de descarga : 115 psig.

$$\text{BHP} = \frac{0.0154 \text{ Q} \text{ P}_1 \text{ X}}{\text{Eficiencia adiabática}}$$

$$\text{BHP} = \frac{0.0154 \times 364 \times 14.7 \times 0.8529}{0.81} = 86.7$$

Potencia del motor = 100 HP.

BOMBA DE LODOS AL ESFERODIZADOR :

Tipo : Centrífugo.
Material : Aleación 20.
Capacidad : 50 GRM mínimo, 100 GRM máximo.
Motor : 25 HP.

$$\text{BHP} = \frac{\text{lb/min.} \times \text{pies de carga}}{33,000 \times \text{Eficiencia}}$$

$$\text{BHP} = \frac{1271 \times 160}{33,000 \times 0.34} = 18.1$$

CICLON DEL ESFERODIZADOR :

Tipo : Centrifugo doble.

Material : Acero al carbón.

Cálculo del diámetro del ciclón:

Con la fórmula 16, pag. 1026 del Perry.

$$D_p \text{ min} = \sqrt{\frac{9 A B_c}{\pi N_1 V_c \rho_s - \rho}}$$

En donde :

$$A_c = B_c H_c = \frac{D_c^2}{8}$$

$$B_c = \frac{D_c}{4}$$

$$H_c = \frac{D_c}{2}$$

$$V_c = \frac{8G}{D_c}$$

Sustituyendo :

$$D_p = \sqrt{\frac{9 \pi D_c^3}{32 \pi N_1 G (\rho_s - \rho)}}$$

- D_p = Diámetro mínimo de partícula = 3.2808×10^{-6} pie
 μ = Viscosidad del aire = 0.1411×10^{-4} lb/pie-seg.
 B_c = Ancho del ducto de entrada (pie)
 V_c = Velocidad de entrada al ciclón (pie/seg.),
 H_c = Altura del ciclón (pie)
 D_c = Diámetro del ciclón (pie)
 π = 3.1416
 G = Gasto = 700 pies / seg.
 N_1 = = 5
 ρ_s = Densidad del sólido = 101 lb/pie³
 ρ = Densidad del aire = 0.06 lb/pie³

$$D_p = \sqrt{\frac{9 \times 0.411 \times 10^{-4} D_c^3}{32 \times 3.14 \times 5 \times 700 (101 - 0.06)}}$$

$D_c = 6.7$ pies.

CICLON DEL MOLINO :

Tipo : Centrifugo
Material : Acero al carbón.

Con la misma fórmula anterior :

G = 116 pies por segundo

$$D_p = \sqrt[3]{\frac{9 \times 0.124 \times 10^{-4} D_c^3}{32 \times 3.14 \times 5 \times 116 (101 - 0.06)}}$$

Dc = 3.90 pies.

CRIBA DE PROCESO :

Tipo : Vibratorio.
Capacidad : 43TM/hr.
Material : Estructura de acero al carbón y malla de -
acero inoxidable.

MOLINO :

Tipo : De martillos con alimentador rotatorio.
Capacidad : 9.7 TM/hr.
Material : Acero al carbón con envolvente recubier-
to de hule.

CALENTADOR DE AIRE DEL ESFERODIZADOR :

Tipo : Quemador de gas de un paso con pared -
doble.
Capacidad : 50.5 TM/hr. de aire.
Material : Acero al carbón.

ESFERODIZADOR :

Tipo : Cilindrico horizontal giratorio inclinado,
provisto de alimentadores helicoidales, -
aletas y boquillas aspersoras.

Volumen : 3783 pies cúbicos.

Calor total transferido : 6,960,292 BTU.

Ecuación: $Q_t = U_o V \Delta tm.$

De donde :

$$V = \frac{Q}{U_o \Delta tm}$$

$U_o = 20 \text{ BTU/pie}^3 \text{ of}$

$$V = \frac{6,960,292}{20 \times 92} = 3783 \text{ pie}^3$$

$L/D = 2.5$

$$D = (V/1.962)^{1/3}$$

$$D = 12.5 \text{ pies.}$$

$$L = 31.25 \text{ pies.}$$

TANQUE PRENEUTRAUZADOR :

Tipo : Cilíndrico vertical agitado.
Dimensiones : 12 pies de β x 16 pies de alto.
Material : Acero inoxidable 316 L

ELEVADOR DE PROCESO :

Tipo : Continuo de cangilones.
Capacidad : 14 TM/hr.
Material : Acero al carbón.

ELEVADOR DE FINOS :

Tipo : Centrífugas de cangilones.
Capacidad : 30 TM/hr.
Material : Acero al carbón.

TRANSPORTADOR DE TRANSFERENCIA DE COMPLEJOS :

Tipo : Oscillante.
Capacidad : 14,6 TM/hr.
Material : Acero inoxidable 304

TRANSPORTADOR DE FINOS :

Tipo : De banda con rodillos inclinados a 20°
Capacidad : 30 TM/hr.
Material : Acero al carbón.

TRANSPORTADOR DE DESCARGA DEL MOLINO :

Tipo : Helicoidal.
Material : Acero al carbón.
Capacidad : 9,8 TM/hr.

COSTO DE EQUIPO

Extractor de humos:	₡	25,000.00
Extractor del esferodizador:	"	47,500.00
Compresor de aire:	"	75,000.00
Bombas de lodos al esferodizador: (3)	"	40,000.00
Bombas de lodos al preneutralizador: (2)	"	13,750.00
Lavador de humos:	"	100,000.00
Chimenea:	"	22,500.00
Ciclón del esferodizador:	"	41,250.00
Ciclón del molino:	"	8,750.00
Criba de proceso:	"	56,250.00
Molinos: (3)	"	18,750.00
Calentador de aire al esferodizador:	"	75,000.00
Esferodizador:	"	4,683,000.00
Reactor de amoniatación	"	500,000.00
Preneutralizador:	"	63,000.00
Tolva de material de rellenos:	"	145,000.00
Báscula para material de relleno:	"	87,500.00
Elevador de proceso:	"	43,750.00
Elevador de finos:	"	31,250.00
Transportador de transferencia de complejos:	"	18,750.00
Transportador de finos:	"	35,000.00
Transportador de recarga:	"	35,000.00

Transportador de recarga helicoidal:	\$	18,750.00
Alimentador de relleno:	"	137,500.00
Pesadoras de finos	"	87,500.00
Transportador del molino	"	31,250.00
Transportador de relleno	"	8,750.00
		<hr/>
T O T A L	\$	5,469,375.00

$$\frac{\text{Indice actual}}{\text{Indice de año de publicación de las gráficas}} = 1.037$$

$$\text{Costo de equipo} = 5,469,375.00 \times 1.037 = 5,672,000.00$$

Datos obtenidos del Azies and Newton y de los CE Cost file de Chemical Engineering.

ESTIMACION DE LA INVERSION

	%		
Equipo mayor:	25	₪	5,672,000.00
Instalación:	12	"	2,722,560.00
Tuberías:	11	"	2,495,680.00
Instrumentación:	3	"	680,640.00
Aislamiento:	2	"	453,760.00
Instalación eléctrica:	3	"	680,640.00
Edificio:	9	"	2,041,920.00
Servicios auxiliares:	9	"	2,041,920.00
COSTO FISICO DE PLANTA:			" 16,789,120.00
Ingeniería y construcción:	15	"	3,403,200.00
Contingencias:	11	"	2,495,680.00
CAPITAL FIJO:			" 22,688,000.00
Capital de trabajo	15	"	3,403,200.00
CAPITAL INVERTIDO :			₪ 26,091,200.00

ESTADO COMPARATIVO DE LOS COSTOS DE PRODUCCION

	<u>Bajo costo</u>		<u>Alto costo de materias</u>
	<u>Mat. primas</u>	<u>Mat. primas</u>	<u>primas</u>
Condiciones	Anterior	Actual	Ampliada
Materias primas	653.57	704.74	653.57
Mano de obra	5.58	7.38	4.40
Supervisión	3.87	4.67	2.34
Mantenimiento	36.56	38.24	26.23
Suministros planta	0.77	0.26	0.26
Servicios auxiliares	16.19	16.43	18.74
Costo directo de Producción	716.54	771.72	705.54
Sobrecargos weldas	1.86	1.97	1.33
Laboratorio	4.58	6.79	3.52
Gastos administrativos	16.69	17.74	12.37
Ensacado	134.02	168.39	168.39
Embarques	6.87	6.87	6.87
Costo indirecto de Producción	164.02	201.76	192.48
Depreciación	25.80	25.80	24.74
Impuestos	- -	0.06	0.06
Seguros	0.60	0.66	0.58
Costo fijo de producción	26.40	26.52	25.38
COSTO TOTAL DE PRODUCCION :	906.96	1000.00	923.40

La comparación es con el fin de ver la diferencia relativa a diferentes condiciones, tomando como base las condiciones actuales.

CONCLUSIONES

El aumento de producción permitirá a Fertilizantes del Istmo, S. A., mantener o con ligeras modificaciones su precio de venta, no obstante, los aumentos de los costos de materias primas y mano de obra.

Además, mantiene la tendencia de la producción nacional, lo que favorecerá el desarrollo de la producción agrícola de México.

BIBLIOGRAFIA

1. - ARIES R. S. & NEWTON R. D.
Chemical Engineering Cost Estimating.
McGraw Hill Book Company, Inc.
New York, 1955.
2. - BROWN G. G. & ASSOCIATES.
Unit Operations.
John Wiley Sons, Inc.
New York, 1956.
3. - CLARK L. & DAVISON R. L.
Manual for Process Engineering Calculations.
Second Edition .
McGraw Hill Book Company, Inc.
4. - DIAMMONIUM PHOSPHATE : New Plant ushers in process refinements.
Chemical Engineering Reprint.
March 19, 1962.
5. - DIAMMONIUM PHOSPHATE FERTILIZER, from wet process phosphoric acid.
Reprinted from Agricultural and Food Chemistry.
Vol. 3, No. 1 Pag. 43, January, 1966.

- 6.- HAPPEL J.
Chemical Process Economics.
John Wiley & Sons, Inc.
New York, 1958.
- 7.- Importancia del amoníaco anhidro en la agricultura.
Petróleos Mexicanos.
Salamanca, Gto.
- 8.- JACOB K. D.
Fertilizer Technology and Resources in the United States.
Academic press Inc., publishers.
New York, 1953.
- 9.- LANGGUTH R. P.
Formulating Liquid Fertilizers.
Reprinted from Journal of Agricultural and Food Chemistry.
Vol. 3, August 1955, Pag. 656 - 662.
- 10.- PERRY H. J. Editor.
Chemical Engineers' Handbook.
Fourth edition.
McGraw Hill Book Co.
New York, 1963.
- 11.- PERRY H. J. Editor.
Chemical Engineers' Handbook.
Third Edition.
McGraw Hill Book Co., Inc.
New York, 1950.

12. - RASE H. F. & BARROW M. H.
Project Engineering of Process plants.
John Wiley & Sons, Inc.
London, 1964.
12. - SCHMIDT A. X. & LIST H. L.
Material and Energy Balances.
Prentice-Hall, Inc.
Englewood Cliffs, N. J.
14. - SLACK, A. V.
Production and use of Liquid Fertilizers.
Reprinted from Agricultural and Food Chemistry.
Vol. 3, July 1955, Pag. 568 - 574.
15. - THE SULPHUR INSTITUTE
Phosphatic Fertilizers, Properties and Processes.
A study of technological, economic and agronomic considerations.
Washington, D. C.
16. - TVA PROCESS FOR PRODUCTION OF GRANULAR DIAMMONIUM
PHOSPHATE.
Reprinted from Agricultural and Food Chemistry.
Vol. 10, Nov/Dic. 1962. Pag. 442-7.
17. - WINS OVER ECONOMIC ODDS.
Reprinted from Chemical Engineering.
McGraw Hill publishing Co. Inc. New York.