



9  
2-g.

**Universidad Nacional Autónoma de México**

**Escuela Nacional de Estudios Profesionales  
"ZARAGOZA"**

**"ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LAS  
TECNOLOGÍAS EN LA INDUSTRIA DE  
LOS FERTILIZANTES"**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO QUÍMICO**

P R E S E N T A N:

**MARTÍNEZ ALONZO LUIS**

**VELÁZQUEZ GUTIÉRREZ DAVID**

**VILLEGAS ROJAS ISMAEL**

México, D. F.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**1989**



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 está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

## C O N T E N I D O

### INTRODUCCION.

- I. MARCO DE REFERENCIA.
  - I.a. Importancia de los fertilizantes.
  - I.b. Clasificación de los fertilizantes.
  - I.c. Factores que intervienen en el uso de los fertilizantes.
  - I.d. Reseña histórica de la industria de los fertilizantes.
  - I.e. Posición intersectorial.
  - I.f. Factores que afectan a esta industria.
  
- II. TECNOLOGIAS EXISTENTES EN MEXICO.
  - II.a. Localización de las zonas donde se encuentra esta industria.
  - II.b. Procesos de producción de fertilizantes en las diferentes zonas industriales de México.
  - II.c. Evolución tecnológica de los fertilizantes.
    - Materiales empleados como fertilizantes durante el siglo XIX.
    - Expansión de la industria de los fertilizantes durante el siglo XX.
    - Primeros procesos químicos usados en la producción de los fertilizantes.
    - Influencia de la primera guerra mundial sobre el desarrollo de la industria de los fertilizantes.
  - II.d. Evolución de la tecnología de producción de los fertilizantes.
    - Urea.
    - Nitrato de amonio.
    - Sulfato de amonio.
    - Fosfato de amonio.

- Superfosfato simple y triple.
- Fertilizantes mezclados (nPK).
- Mezclado a granel o en volúmen.
- Fertilizantes fluidos.
- Fertilizantes potásicos.

II.e. Evolución de la producción y la demanda de fertilizantes en México.

### III. ENFOQUE A NIVEL INTERNACIONAL.

III.a. Tendencia de la industria mundial de los fertilizantes.

III.a.1. La estructura de la industria de los fertilizantes.

III.a.2. Comportamiento histórico de patentes en el sector de fertilizantes.

III.b. Estructura del consumo, producción y comercio mundial de los fertilizantes.

- Los países en desarrollo en la economía mundial de los fertilizantes.
- Consumo y producción de fertilizantes; situación de los países en desarrollo.
- Materias primas para la producción de fertilizantes.
- Comercio de fertilizantes.

### IV. COMPARACION DE LOS PROCESOS DE FABRICACION DE FERTILIZANTES.

- Metodología para la comparación de procesos tomando como ejemplo la urea.

IV.a.1. Procesos de fabricación de urea.

- Diversas tecnologías.
- Comparación de los procesos de fabricación de urea.

IV.a.2. Procesos para la producción de nitrato de amonio.

- IV.a.3. Procesos para la producción de sulfato de amonio.
- IV.a.4. Procesos para la producción de fosfato de amonio.
- IV.a.5. Procesos para la producción de superfosfato triple.
- IV.b. Empresas que investigan y desarrollan tecnología en la industria de los fertilizantes, así como principales proveedores transnacionales de tecnología y equipo en esta área.
- IV.c. Consideraciones importantes en la planeación y proyección del consumo de fertilizantes.

**Posicionamiento actual de la industria de los fertilizantes.**

## INTRODUCCION

La tecnología de los fertilizantes ha tenido una historia varia da. En el inicio de esta industria, que cubre el período com prendido por el inicio de producción de fosfato en 1831 y el inicio de producción de amoníaco por el proceso Haber en los Es tados Unidos en 1921, la marcha de su desarrollo fue muy lenta. La industria antigua de un simple tratamiento (curado o fragua- do) de subproductos de otras industrias como materias primas en la producción de fertilizantes, jugaron un papel muy importante. Durante las tres décadas siguientes nuevas salidas fueron más comunes, pero la producción principal de fertilizantes fue qui- zá más de mezclado y manejo manual de materiales que una indus- tria química. En los inicios de 1950 se tuvo un aceleramiento en el ritmo de nuevos desarrollos; de hecho parece justificado decir, que la mitad del siglo presente es el dato más importan- te en la historia de la producción de fertilizantes, marcando el inicio de un período en el cual creció la importancia de los fertilizantes y también se incrementaron las investigaciones y desarrollos, empujando así la manufactura de fertilizantes a una posición principal entre las principales industrias del mun do. Hoy el tratamiento primitivo de las materias primas de ferti- lizantes ha casi desaparecido, y aunque las operaciones de mez- clado del pasado son quizá una parte principal de la industria, és

tas son ahora más sofisticadas. Esto es particularmente verdad con respecto a criterios para los materiales usados en el mezclado, con consecuentes incrementos en complejidad de los procesos para la manufactura de los materiales. Hay también un contínuo crecimiento en la producción de los fertilizantes "químicamente-mezclados", los cuales involucran operaciones químicas para todas las etapas de manufactura, incluyendo la producción del producto final.

Por otro lado, el consumo de fertilizantes se está incrementando a un ritmo acelerado. Las principales causas de éste, es el rápido cambio en la manera de cultivar las tierras, que parte de una actividad de subsistencia, llevada principalmente sobre una base tradicional, a una operación comercial de producción de alimentos, incorporando métodos eficientes tales como los usados en cualquier otra empresa próspera. Los agricultores de hoy son más concientes del valor de fertilizar como una herramienta eficiente de aumentar la producción que sus antecesores. Por otra parte, esta industria se ha ido incrementando constantemente al utilizarse para una mayor producción de alimentos, debido al crecimiento desmedido de la población mundial. Especialistas en cuestiones de demografía y de alimentos, concuerdan en que el control poblacional no se lograra a tiempo, antes de evitar que el hambre se generalice en el próximo siglo, y que el incremento en la población de alimentos por maneras más eficientes de cultivo -del cual la fertilización es una parte

importante- debe atacar este problema en el futuro inmediato.

La aceptación general de esto, lo confirman los programas amplios de construcción de plantas de fertilizantes en los países en desarrollo, en donde el problema de sobrepoblación es más intenso. En el pasado, la industria de fertilizantes no fue solamente una simple industria, sino que también estaba fragmentada (no integrada). Hubo una industria de nitrógeno, una industria de fosfato mineral, una industria de potasa mineral y una industria de mezclamiento de fertilizantes -cada una de ellas separada e independiente.

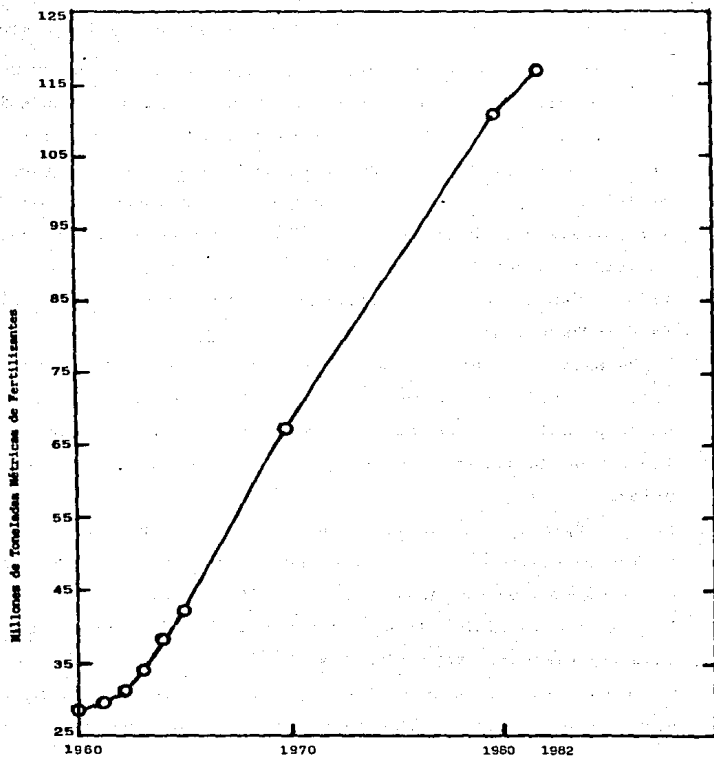
Desde hace tres décadas, se ha desarrollado una integración en esta industria, en el sentido de que ahora una compañía no sólo se ocupa del procesamiento y acabado de los fertilizantes, sino también de la explotación o adquisición directa de las materias primas.

El principio de esta integración se debe a la entrada de las compañías petroleras, con sus materias primas para la producción de nitrógeno, en el campo de los fertilizantes.

El crecimiento físico de la industria de los fertilizantes ha sido especialmente rápido en las dos últimas décadas, particularmente durante los últimos 25 años, y es una buena razón para proyectar este ritmo de incremento en un futuro cercano. Lo anterior se muestra en la figura A.

Lo descrito trata de enfatizar la importancia que tiene la investigación y desarrollos en el campo de los fertilizantes. La posición presente de la manufactura de fertilizantes como una in-





Año

Figura A

Consumo Mundial de Fertilizantes

FUENTE: Fertilizer Developments and Trends  
Park Ridge, New Jersey USA 1968

Los Niveles de Producción Agrícola  
Folleto #8 668 FAO, Roma 1984

industria química principal o tal vez una de las principales se debe principalmente a la gran cantidad de investigaciones y desarrollos hechos en los últimos años. La tecnología de los fertilizantes del pasado no se compara a la tecnología de fertilizantes de hoy, del mismo modo los procesos antiguos no dan la economía necesaria para soportar el creciente ritmo de consumo. La investigación por muchas organizaciones -comerciales, universidades y gubernamentales- ha hecho posible desarrollar nuevos productos y procesos necesarios para construir una industria más actualizada.

Por lo expuesto anteriormente, el presente trabajo tiene como finalidad primordial el dar a conocer de manera general la evolución de la tecnología mundial de los fertilizantes y, al mismo tiempo, la tecnología que utiliza México, para posteriormente dar la posición que ésta guarda con respecto a la mundial. Tenemos la intención de que el trabajo sirva de aliciente para realizar un estudio más profundo en un área tan importante como lo es el campo de los fertilizantes.

## I MARCO DE REFERENCIA

## I. a IMPORTANCIA DE LOS FERTILIZANTES

Desde su origen, la población humana se ha enfrentado al problema más apremiante de su existencia: el de asegurar su alimentación. En la actualidad, debido al vertiginoso crecimiento de la población, es necesario también incrementar la producción de alimentos en una proporción directa al aumento demográfico. Tal incremento puede lograrse de varias formas: al ampliar las áreas cultivables, mejorando las variedades de semillas destinadas a los cultivos; proporcionando a los cultivos los nutrimentos necesarios para incrementar la masa de producto por unidad de superficie o al combinar las alternativas mencionadas.

Los agrónomos han elegido, para aumentar la producción de alimentos, incrementar los rendimientos de producto por unidad de superficie; es decir, aumentar la masa de producto por hectárea. Para lograrlo, han recurrido a un estudio profundo de los efectos de la aplicación de nutrimentos a los cultivos, en combinación con el uso de variedades de semillas mejoradas, sin perder de vista los factores del clima, del suelo, además de los biológicos que afectan a la planta en su desarrollo (características genéticas de cada planta).

El grado de fertilidad del suelo se define por su capacidad de suministrar nutrientes a la vegetación que sobre él crece. Así como existen suelos con alta fertilidad, se pueden encontrar suelos de baja fertilidad, dependiendo del material parental del

que se formaron, de los procesos de formación, de las condiciones climatológicas, de la edad, de los procesos erosivos y del grado de explotación a que hayan sido sometidos.

En el caso de los suelos pobres, es posible mejorar o restituir el grado de fertilidad con el uso de fertilizantes químicos y abonos orgánicos, considerando la cantidad de humedad disponible para su aprovechamiento, los métodos de aplicación y los requerimientos nutrientes del cultivo.

La manera más eficiente, rápida y económica de aumentar la fertilidad del suelo es a través de la aplicación de fertilizantes que proporcionan de inmediato a los cultivos los nutrientes indispensables para su óptimo desarrollo y rendimiento.

Como productos, los fertilizantes son usados para suministrar elementos nutrientes indispensables para el crecimiento de las plantas; éstas requieren de tres sustancias básicas para su desarrollo: carbono, hidrógeno y oxígeno, que se sustraen del agua y del aire. Los doce elementos nutrientes esenciales para su desarrollo los adquieren del suelo y se clasifican en:

PRIMARIOS: Nitrógeno, fósforo y potasio

SECUNDARIOS: Calcio, magnesio y azufre

OTROS: Cobre, manganeso, hierro, boro, zinc y molibdeno.

Sin embargo, en explotaciones agrícolas y forestales, la reposición natural de estos nutrientes no es suficiente para compensar su consumo, por lo que es necesario agregar cantidades com

plementarias de éstos, principalmente aquellos compuestos con alto contenido de nitrógeno, fósforo y potasio.

En los suelos mexicanos se observa deficiencia de los nutrientes primarios, principalmente de nitrógeno. Las deficiencias en elementos secundarios son menos frecuentes y severas. Los últimos nutrientes, son elementos requeridos por las plantas en muy pequeñas cantidades. Sus deficiencias son muy características y en zonas específicas los rendimientos pueden decrecer considerablemente.

La acción de los fertilizantes se manifiesta de manera directa, a través de una respuesta vegetativa y en el incremento de grano o de fructificación, cuando la aplicación abastece la necesidad del cultivo en nitrógeno, nitrógeno y fósforo o nitrógeno, fósforo y potasio, para favorecer y sostener la formación de materia orgánica de la planta.

El nitrógeno, al ser componente de la clorofila, de los aminoácidos y de las proteínas, entre otros integrantes de las plantas, al contener los suelos cantidades muy limitadas de este elemento, se convierte en el nutriente clave de la agricultura nacional.

La mayor parte del territorio nacional cultivable, no se fertiliza y, aún en las zonas donde se hace, es inadecuado e irracional el empleo de los fertilizantes, aunado a un subdesarrollo tecnológico. Lo anterior se pone de manifiesto al comparar los rendimientos de dos toneladas por hectárea de maíz que se obtie

nen en México, mientras en los Estados Unidos de Norteamérica son de siete toneladas por hectárea para zonas de riego.

El uso de los fertilizantes en la agricultura moderna o tecnificada, ha tenido y puede y debe traer como resultado el aumento de la productividad agrícola, mejoramiento nutricional del producto de cosecha, ingresos redituables al productor, utilización de técnicas industriales complementarias, desarrollo socio-cultural de la comunidad y tecnológico del agricultor.

COMPOSTA.- En la producción agrícola y de jardinería se produce un gran número de sustancias que no se utilizan para la alimentación del hombre y de los animales, pero tampoco pueden usarse para la nutrición de las plantas como son: El bagazo de caña de azúcar, lodos, hierbas, basuras, cenizas, etc. Con el tratamiento de los materiales citados, se obtienen compostas que se conocen como estiércoles artificiales, y pueden emplearse en lugar del estiércol del establo.

LEGUMINOSAS.- También se conocen como abonos verdes las plantas cultivadas que se entierran para enriquecer el suelo con sustancias orgánicas y nitrógeno. En general, se emplean leguminosas porque son ricas en compuestos nitrogenados; constituyen una fuente de nitrógeno orgánico; liberan y movilizan las sustancias minerales del suelo, incrementan la actividad microbiana; abastece al subsuelo con materia orgánica y, por último, son medios de defensa contra la erosión.

TURBA.- Es obtenida por la descomposición natural de residuos vegetales que cubren la superficie del suelo. Este manto incrementa la penetración de las raíces en capas superiores del suelo, cuya riqueza en nutrimentos es mayor. Ello conduce también al mejor aprovechamiento de los nutrimentos de los fertilizantes.



## FERTILIZANTES INORGANICOS

Los fertilizantes inorgánicos contienen uno o más nutrientes, que están contenidos en forma concentrada y fácilmente soluble. Casi la totalidad de ellos contiene una cierta cantidad de nutrimientos, por ejemplo: sulfatos, cloruros, calcio, etc., que en parte favorecen también el crecimiento de la planta.

Los fertilizantes inorgánicos, se pueden clasificar en la siguiente forma:

NITROGENADOS

FOSFATADOS

POTASICOS

NITROGENADOS.- El nitrógeno no se halla en las rocas ni en los minerales primarios de la corteza terrestre. Todo el nitrógeno del suelo proviene de la atmósfera, a través de los procesos de fijación que producen la combinación de este elemento con el hidrógeno o el oxígeno. La atmósfera contiene casi el 78% de nitrógeno; sin embargo, no puede ser utilizado directamente por las plantas superiores, ya que requiere la previa combinación con hidrógeno o con oxígeno. Los fertilizantes nitrogenados se pueden caracterizar de acuerdo con la forma en que se presente este elemento, a saber:

Fertilizantes nítricos (nitrato de sodio, nitrato de calcio, nitrato de potasio)

Fertilizantes amoniacales (sulfato de amonio, cloruro de amonio, soluciones amoniacales)

Fertilizantes amidos (urea).

FOSFATADOS.- La materia prima para la obtención de la mayoría de los fertilizantes derivados del ácido fosfórico son los fosfatos naturales, principalmente la fosforita y la apatita: por su composición las apatitas se diferencian en fluorapatitas e hidroxilapatitas. Los fosfatos naturales se evalúan principalmente por su contenido de  $P_2O_5$ .

Semejante al caso de los fertilizantes nitrogenados, los fosfatados se pueden subdividir en dos grupos según sea la forma de combinación y grado de aprovechamiento que presente en  $P_2O_5$ .

Fertilizantes solubles en agua: superfosfato simple (16-20% de  $P_2O_5$ ) superfosfato triple (43-49% de  $P_2O_5$ ).

Fertilizantes fosfatados solubles en ácido cítrico o citrato de amonio: escorias; fosfato dicálcico (39% de  $P_2O_5$ ).

POTASICOS.- Los fertilizantes potásicos se caracterizan por presentar su potasio en forma soluble en agua y de ser fácilmente asimilados por la planta. No obstante, a este nutrimento se le clasifica según el contenido de potasio y clase de anión que lo acompaña. Su contenido potásico se da, convencionalmente, en forma de óxido o sea  $K_2O$ . Los tipos de mayor importancia son: Cloruro de potasio (50-60% de  $K_2O$ ) Sulfato de potasio (48-52% de  $K_2O$ )

## I. b.2 DE ACUERDO AL CONTENIDO DE NUTRIMENTOS

Clasificación de los nutrimentos.

Considerando los elementos que las plantas requieren en mayor o menor proporción, o bien que más frecuentemente escasean en la superficie arable, se clasifican en:

MACRONUTRIMENTOS y

MICRONUTRIMENTOS

MACRONUTRIMENTOS.- Estos se dividen en mayores y menores.

Mayores.- Los nutrimentos que las plantas requieren en mayor cantidad son: nitrógeno (N); fósforo como anhídrido fosfórico o pentóxido de fósforo ( $P_2O_5$ ); y potasio, como óxido de potasio ( $K_2O$ ).

a.- Nitrógeno: es un componente de los aminoácidos que, junto con el magnesio, son los únicos elementos en la molécula de la clorofila. Una deficiencia de ella puede causar clorosis; es decir, poco contenido de clorofila. El crecimiento de la planta está asociado con la adecuada dosificación de nitrógeno, ya que juega un papel importante en la división celular de la planta. Una deficiente nutrición de nitrógeno limita el crecimiento de los cultivos; sin embargo, una cantidad excesiva puede causar acumulación no protéicas de nitrógeno, produciendo contracciones tóxicas de nitratos.

b.- Fósforo: aunque las plantas no requieren grandes cantidades de este elemento en comparación con el nitrógeno, su ausencia

limita el crecimiento de la planta. Tiene influencia en muchas funciones vitales como la fotosíntesis, la utilización de azúcares y almidones, y en procesos de transferencia de energía. La calidad y facilidad de maduración de las semillas está ligada a la buena nutrición de fósforo. Las plantas jóvenes absorben fósforo muy rápidamente; adecuadas cantidades de él incrementan el tamaño de las raíces.

c.- Potasio: El potasio es el tercer nutrimento mayor de las plantas. Actúa como un catión libre; es decir, no forma parte de compuestos, como el nitrógeno y el fósforo. Es esencial en procesos como la fotosíntesis y en el período de formación de la fruta, además de dar resistencia a la planta contra enfermedades en la época de invierno. Desempeña un papel importante en la transformación de los azúcares y otros productos, además de ser necesario para la formación de aminoácidos y proteínas. Menores.- El calcio y el magnesio tienen la función de actuar como bases para neutralizar la acidez de los fertilizantes, en tanto que el azufre se emplea, por su efecto acidificante, en los fertilizantes alcalinos. Reduciendo la acidez del fertilizante se incrementa la actividad microbiana, además de que el calcio disminuye la solubilidad y toxicidad de elementos como el manganeso, cobre y aluminio.

El azufre es absorbido por las plantas como ión sulfato ( $\text{SO}_4^{=}$ ), cuya deficiencia en las plantas produce efectos similares a la falta del nitrógeno, ya que es un componente importante de las

proteínas y de otros compuestos.

MICRONUTRIMENTOS.- Estos son el boro (B), zinc (Zn), hierro (Fe), molibdeno (Mo), manganeso (Mn), cobre (Cu). El efecto de cada micronutriente en la planta es complejo. En términos generales juegan un papel importante en el metabolismo y en la función genética de la planta. La deficiencia de boro, entre los micronutrientes, es la que con mayor frecuencia ocurre en los cultivos agrícolas, su presencia es necesaria en las partes de la planta donde se verifica una actividad celular. La disponibilidad y asimilación de boro, cobre, hierro, manganeso y zinc aumenta en suelos que tienen un PH entre 5 y 7.

#### CLASIFICACION DE LOS FERTILIZANTES COMERCIALES

Son considerados fertilizantes comerciales los que contienen nitrógeno, fósforo y potasio. De acuerdo con ello, se clasifican industrialmente según el elemento que aporten en: fosfatos, potásicos, nitrogenados; fórmulas complejas y mezclas físicas.

NITROGENADOS.- Los fertilizantes nitrogenados inicialmente se obtuvieron de fuentes orgánicas como la sangre, los desechos animales o vegetales, y mediante la siembra de leguminosas. Por otra parte, como fuentes adicionales de nitrógeno, el guano, el nitrato de sodio natural de Chile, el sulfato de amonio subproducto de gas de hulla y la cianamida cálcica. Como conse-

cuencia de la síntesis del amoníaco la producción de fertilizantes nitrogenados se ha incrementado notablemente.

En la actualidad se dispone de una gran variedad de fertilizantes nitrogenados como el sulfato de amonio (20.5% N); cloruro de amonio (24% N); urea (46% N); fosfato diamónico (18% N), y derivados del ácido nítrico, como el nitrato de amonio (33.5% N) nitrato de calcio (15.5% N); y nitrofosfatos, además de las fórmulas complejas NPK.

En México, el mayor consumo de fertilizantes nitrogenados corresponde al amoníaco anhidro, sulfato de amonio, urea, nitrato de amonio y fosfato diamónico. El sulfato de amonio es el producto que más se consumió en un principio, debido a las importaciones del mismo y porque fue el primer fertilizante nitrogenado que se produjo en el país. Posteriormente, la necesidad de usar fertilizantes nitrogenados de mayor concentración (% de nitrógeno por fórmula), trajo consigo la producción y consumo de la urea y el amoníaco anhidro, aunque este último sólo se aplica en zonas donde la mecanización está bastante avanzada.

En términos generales los fertilizantes nitrogenados son bastante solubles en agua; en el suelo se hidrolizan y se descomponen en amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), ión amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) y nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ). Los  $\text{NO}_2^-$  rápidamente se transforman en nitratos por oxidación. El  $\text{NH}_4^+$  es absorbido por algunas plantas, aunque más comúnmente se transforman en  $\text{NO}_3^-$ .

Las reacciones de los fertilizantes nitrogenados tienen efectos

residuales que es necesario considerar. El nitrato de amonio, sulfato de amonio, cloruro de amonio y fosfato monoamónico incrementan la acidez del suelo. La reacción inicial del fosfato diamónico tiene un efecto alcalino, en tanto que la del nitrato de potasio, nitrato de sodio y nitrato de cobre es neutra. Al aplicar la urea la reacción inicial de hidrólisis tiene un efecto alcalino.

FOSFATADOS.- El superfosfato simple (20%  $P_2O_5$ ) fue el primer fertilizante fosfatado que se produjo en el país. Al iniciarse la producción de ácido fosfórico fue posible obtener productos diferentes al superfosfato simple, como el superfosfato triple (46% de  $P_2O_5$ ) y las fórmulas complejas NPK. Actualmente los fertilizantes fosfatados de mayor consumo son el fosfato diamónico, superfosfato simple y superfosfato triple. El mayor consumo corresponde al fosfato diamónico, debido principalmente a su elevado contenido de fósforo (46%  $P_2O_5$ ) y a su mayor disponibilidad. Además contiene otro nutrimento: en nitrógeno, en una concentración del 18%.

Existen también otros compuestos fosfatados que se usan actualmente, como los perifosfatos (fosfatos condensados) 95%  $P_2O_5$  y los polifosfatos.

La asimilación de los fertilizantes fosfatados por las plantas dependen de su solubilidad, del PH y de la presencia de hierro, aluminio y calcio en el suelo. En los suelos con PH menor de 6.5 y mayor de 7.5, los fosfatados se fijan con mayor rapidez;

por el lado ácido esa fijación es rápida si hay aluminio y hierro. Por el lado alcalino la fijación es buena con el calcio.

POTASICOS.- En México la demanda de potasio se satisface principalmente a partir del sulfato de potasio (50%  $K_2O$ ) y el cloruro de potasio (60%  $K_2O$ ), los cuales se aplican, sin combinar como mezclas físicas o bien como fertilizantes complejos. El consumo de fertilizantes potásicos es menor en comparación con el de los fertilizantes nitrogenados y fosfatados, debido a la naturaleza de los suelos del país, y a las cantidades que de ellos requieren las plantas, por lo que se usan en forma general en todos los cultivos. Además del sulfato de potasio y el cloruro de potasio, hay otros fertilizantes potásicos como el carbonato y bicarbonato de potasio (68% y 47%  $K_2O$  respectivamente), nitrato de potasio (44%  $K_2O$ ), los sulfatos de potasio y magnesio (26 a 30%  $K_2O$ ), siendo el cloruro de potasio el de mayor consumo.

El suelo puede tener una gran cantidad de potasio, sin embargo, sólo una porción pequeña es asimilable por las plantas. Las condiciones óptimas del suelo para fijar el potasio se dan en un PH ligeramente alcalino o neutro.

FORMULAS COMPLEJAS.- Son productos que contienen nitrógeno, fósforo y potasio preparados mediante reacción química de compuestos nitrogenados en fosfatados y un agregado físico de compuestos potásicos. Normalmente las fórmulas se obtienen en forma de gránulos, donde todos ellos tienen una composición química



similar. Una de las ventajas del uso de estos productos consiste en que es que contienen los dos o tres nutrimentos mayores de las plantas en un solo producto. En estos productos por ejemplo la fórmula 13-13-13, el primer número se refiere al porcentaje de nitrógeno total (N), el segundo al porcentaje total de fósforo como pentóxido de fósforo ( $P_2O_5$ ) y el tercero al porcentaje de potasio como óxido de potasio ( $K_2O$ ).

En la actualidad se elaboran fórmulas con proporciones de nutrimentos muy variadas, como: 1-1-1, 2-1-1 y 1-2-1, por ejemplo las fórmulas 15-15-15, 20-10-10 y 15-30-15, todas ellas en función de las necesidades del agricultor, fijadas por la recomendación de dosis que se le ha señalado.

**MEZCLAS FISICAS.**- Son productos, como su nombre lo indica, resultado de una mezcla de dos o más productos fertilizantes que contiene cualquiera o todos los nutrimentos. En la elaboración de las mezclas físicas, se toman en cuenta la compatibilidad, tanto del tamaño como del comportamiento químico de los productos, ya que si no se hace, se presentan separaciones físicas entre ellos, que pueden afectar la homogeneidad de la fórmula. En consecuencia, la distribución de los nutrimentos en el cultivo no sería equitativa, o bien ocurrirían reacciones químicas entre ellos para formar compuestos no solubles, que difícilmente serían asimilables por la planta. De acuerdo a lo anterior en la preparación de las mezclas físicas deben considerarse las reglas citadas a continuación o bien guiarse por la Fig. 1.

Cloruro de potasio	Sulfato de potasio	Sulfato de amonio	Nitrato de amonio	Nitrato de potasio y sodio	Nitrato de calcio	Cianamida de calcio	Urea	Superfosfato simple o triple	Fosfato de amonio	Escorias básicas	Carbonato de calcio
□	□	□	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	□	□	□	□
□	□	□	⊗	⊗	⊗	⊗	□	□	□	□	□
□	□	□	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	□	□	■	■
⊗	⊗	□	□	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	□	□
⊗	⊗	□	□	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	□	□
⊗	⊗	■	■	⊗	□	⊗	⊗	■	■	□	□
⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	□	⊗	⊗	□	□	□	□
□	□	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	□	□	□	■	■
□	□	□	□	⊗	⊗	⊗	⊗	□	□	□	□
□	□	■	■	□	□	⊗	⊗	■	■	□	□

□	Fertilizantes que pueden mezclarse
⊗	Fertilizantes que pueden mezclarse inmediatamente antes de usarse
■	Fertilizantes que no se deben mezclar (por razones químicas)

La harina de hueso puede mezclarse con todos los fertilizantes.

Fig. 1 COMPATIBILIDAD DE LOS FERTILIZANTES

Fuente: The fertilizer Institute.  
The fertilizer handbook 1972.

- No mezclar los fertilizantes fosfatados con los compuestos que contengan cal, pues ello insolubiliza el pentóxido de fósforo.
- Durante la aplicación la mezcla de fertilizantes debe conservar su homogeneidad por ejemplo: el fosfato diamónico con el sulfato de amonio.
- No mezclar los fertilizantes amoniacales con los compuestos alcalinos, como la cal, ya que ello puede ocasionar pérdidas de nitrógeno en forma de amoníaco libre.

#### I. b.3 EN FUNCION DEL ASPECTO FISICO

De acuerdo a su aspecto físico, los fertilizantes se clasifican en sólidos y fluidos.

SOLIDOS.- Estos se pueden presentar en forma de gránulos o polvos.

En polvo.- En algunos casos es conveniente que el fertilizante se presente en forma de sólido, para que se distribuya bien en el suelo, con objeto de obtener mejores resultados y mejor aprovechamiento. Lo anterior es deseable para fertilizantes poco solubles; además es recomendable que se mezclen perfectamente con el suelo, para que al reaccionar con él, se hagan más fácilmente asimilables por las plantas. En todos los demás casos en que no existe el problema de solubilidad no es recomendable el uso de los fertilizantes en polvo.

En gránulos.- Los fertilizantes granulados presentan buenas condiciones para su manejo y distribución, tanto manual como mecánica. Estos productos vienen normalmente, recubiertos con sustancias que los protegen de la humedad, evitando su apelmazamiento o disolución durante el manejo. Dentro de esta clasificación se distinguen dos tipos de productos, de acuerdo con el equipo usado para su obtención: granulados y aperdigonados. Los granulados se obtienen en tambores rotatorios y los aperdigonados en torres. El aspecto exterior de los gránulos es más irregular que el de los aperdigonados, mientras que el tamaño de los últimos es más uniforme.

FLUIDOS.- Con este nombre se denomina a los fertilizantes líquidos, que son empleados en sustitución de los sólidos donde se cuenta con los medios para su transportación y aplicación, se requieren tanques y conductos apropiados para ello. La producción y el empleo de los fluidos ha adquirido gran importancia, debido a que presentan varias ventajas sobre los sólidos; homogeneidad en su composición química, no presentan problemas de segregación o apelmazamiento, se pueden aplicar con plaguicidas o herbicidas, cuando se requiera en los cultivos.

Tanto los fertilizantes fluidos como los sólidos, pueden contener uno, dos o tres nutrimentos mayores, es decir, tener la fórmula NPK en las proporciones requeridas por el agricultor. Desde el punto de vista agronómico, los fertilizantes fluidos son adecuados para todos los cultivos; sin embargo, su uso se

justifica solamente en donde se tenga que aplicar en grandes extensiones de cultivo, con equipo mecanizado y a poca distancia de la planta productora de dichos fertilizantes. Se producen dos tipos de fertilizantes fluidos: los líquidos claros y las suspensiones.

Líquidos claros.- Son todos los fertilizantes que no contienen sólidos en suspensión y en general, son disoluciones de sales solubles en agua, a excepción del amoníaco y del agua amoniacal.

Amoníaco anhidro.- Puede ser aplicado al suelo como tal o bien con el agua de riego. Contiene de 81% a 82% de nitrógeno y es el fertilizante de más alta concentración de nitrógeno. Su aplicación requiere de un alto grado de capacitación técnica en el agricultor, de una nivelación adecuada del terreno y de la disponibilidad de maquinaria apropiada. La aplicación directa del amoníaco anhidro es una práctica generalizada en las zonas más tecnificadas del país.

Las disoluciones nitrogenadas se preparan a partir de amoníaco del nitrato de amonio o en forma separada o en combinación.

De acuerdo a su presión de vapor se clasifican en: sin presión y con presión.

Sin presión.- Las disoluciones que no contienen amoníaco libre o solo en pequeñas cantidades. A temperaturas normales la presión de vapor debida al amoníaco que contiene es nula.

Con presión.- Las disoluciones de amoníaco en agua o en diso-

luciones de urea de nitrato de amonio o la combinaci3n de 3s-  
tas. De acuerdo a su presi3n de vapor, se clasifican en: de  
baja presi3n (menores de  $1.4 \text{ Kg/cm}^2$ ), de presi3n media (de  $1.4$   
a  $7.0 \text{ Kg/cm}^2$ ) y de presi3n alta (mayores de  $7.0 \text{ Kg/cm}^2$ ) a  $40^\circ\text{C}$ .  
Suspensiones.- Estos fertilizantes contienen parte de sus com-  
ponentes en forma lquida y parte en suspensi3n en forma s3li-  
da. A menudo se emplean los t3rminos "fertilizantes en suspen-  
si3n" y "fertilizantes en pasta" (slurries) en forma intercambi-  
able para designar a todos los fertilizantes lquidos que  
contienen s3lidos en suspensi3n. Sin embargo, estos productos  
tienen diferencias importantes que es necesario conocer. Los  
fertilizantes en suspensi3n son mezclas lquidas de materiales  
s3lidos y lquidos, en los cuales los s3lidos no sedimentan r3-  
pidamente y pueden resuspenderse f3cilmente mediante agitaci3n.  
En la fabricaci3n de estos productos a menudo se emplean cier-  
tos tipos de arcillas como agentes suspensores.  
Los fertilizantes en pasta son mezclas lquidas de materiales  
s3lidos y lquidos, en las cuales los s3lidos sedimentan r3pi-  
damente en la ausencia de agitaci3n, para formar una capa fir-  
me que es difcil de resuspender. Los fertilizantes en suspen-  
si3n se obtienen b3sicamente de tres maneras, que se conocen  
como: el de mezclado caliente, que implica la reacci3n de neu-  
tralizaci3n de 3cido fosf3rico con el amoniaco, con adici3n o  
sin ella, de materias primas suplementarias; el de mezclado se-  
micliente, mediante el cual se obtienen fosfatos de amonio de

la reacción directa del ácido fosfórico y del amoníaco, en tal proporción que se requiere poco enfriamiento. Por último, el de mezclado frío consiste en una operación de mezclado generalmente de cloruro de potasio y dos disoluciones bases. En ésta no se genera calor de reacción.

#### I. c. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL USO DE FERTILIZANTES

Para usar y aplicar los distintos fertilizantes comerciales de que dispone el mercado, debe realizarse un estudio del suelo, del clima y de la planta por fertilizar, debido a que influyen en el aprovechamiento de los fertilizantes.

##### I. c.1. SUELO

Las propiedades del suelo y los efectos de la fertilización guardan estrechas relaciones; la correcta dosificación de los fertilizantes contribuye esencialmente al aumento de la fertilidad del suelo.

La finalidad de cada tratamiento fertilizante no es solamente la de alcanzar un aumento temporal de los rendimientos, sino de mantener y mejorar, simultáneamente, la fertilidad del suelo.

Para tal fin deben considerarse los siguientes parámetros:  
Reacción del suelo (pH).- Los valores de PH comprendidos entre 6 y 7, resultan ser los más favorables para el aprovechamiento de la mayoría de los nutrimentos. Sin embargo, es necesario tomar en consideración las exigencias específicas de las plantas. El buen encañado del suelo y el cambio de pH que ello ocasiona, son necesarios para la obtención de una favorable respuesta a los fertilizantes.

En los suelos ácidos deberá dárseles prioridad a los fertilizantes alcalinos (escorias básicas, harina de hueso, fosfatos) en tanto que los suelos de reacción alcalina habrán de emplearse, preferentemente, fertilizantes ácidos (sulfato de amonio, nitrato de amonio, superfosfatos).

El efecto y el aprovechamiento de muchos nutrimentos, particularmente del fósforo y de los menores, depende ampliamente del pH prevaleciente en el suelo. Dentro de los límites de intensa acidez el fósforo se precipita en forma de fosfato de hierro o aluminio irreversible, en tanto que dentro de los límites de alcalinidad hay peligro de que sea fijado en forma de fosfato tricálcico. En suelo de reacción alcalina los fertilizantes amoniacales son capaces de producir efectos tóxicos, debido al desprendimiento de amoniaco libre.

Textura del suelo.- La textura hace referencia a la proporción relativa, que hay en un suelo de partículas minerales clasificadas por tamaño, de mayor a menor; de las que se establecen



tres fracciones: arena, limo y arcilla. Empero, la fracción de arena se subdivide en 5 grupos. En consecuencia, resultan en total siete grupos de tamaños que se designan como separados del suelo. Las distintas combinaciones entre arena, limo y arcilla forman los diferentes tipos de textura.

Si en el suelo hay mayor proporción de elementos gruesos, como la arena, se tendrá un suelo de textura gruesa; si predominan los elementos finos como la arcilla, se hablará de textura fina. Cuando un equilibrio entre los tres tipos de partículas o al menos hay dos en gran proporción, se denominan suelos francos, que son los más adecuados para el cultivo y el uso de los fertilizantes.

**Humedad del suelo.**- La humedad, considerada como la capacidad del suelo para retener el agua, es un factor importante en el crecimiento de los microorganismos y en la velocidad de descomposición de la materia orgánica; además favorece la disolución de los fertilizantes y de esa manera las plantas pueden absorber los nutrimentos contenidos en estos productos. Aunque el estado de humedad del suelo varía constantemente se pueden distinguir los siguientes tipos:

**Suelo saturado.**- Se da cuando el agua ocupa todos los espacios libres del suelo, lo que ocurre después de un riego o de una lluvia. En caso de que el suelo no sea muy permeable o si tiene mucha pendiente, el agua escurrirá por la superficie sin ser aprovechada y causará daños al suelo al arrastrar (erosión)

las partículas de la superficie. Tal estado no es conveniente para el desarrollo de los cultivos, ya que las raíces carecen de aire para su respiración.

Capacidad de campo.- Cuando por gravedad el suelo ha eliminado toda el agua en exceso, tiene entonces la máxima cantidad de agua que es capaz de retener, pues ocupa los microporos, en tanto que el aire ocupa los macroporos. Este es el óptimo estado para la aplicación de los fertilizantes, ya que el agua diluye la cantidad máxima de los nutrimentos contenidos, que pueden ser fácilmente aprovechados por las plantas.

Suelo semihúmedo.- Este es el caso más frecuente. El suelo tiene una humedad inferior a la capacidad de campo, debido a la evaporación-transpiración. La superficie del suelo se halla seca por efecto de la evaporación y cada vez es menor la cantidad de agua que rodea las partículas del suelo.

El uso de los fertilizantes se limita, para el mejor aprovechamiento de nutrimentos por las plantas, al regadío del suelo. El punto óptimo de humedad varía entre 50 a 100 de la capacidad de campo del suelo. La humedad está íntimamente ligada a la textura del suelo y desde este punto de vista, los suelos arcillosos son los más adecuados.

Manejo del suelo.- Todas las condiciones del suelo anotadas se determinan mediante un análisis realizado a una muestra representativa de cierta área de terreno.

Para que los análisis de suelos ofrezcan garantías deben cum-

plirse las dos condiciones siguientes:

- a) Que la muestra sea representativa, lo mejor posible, de la parcela o zona a estudiar.
- b) Que los métodos de análisis que se utilicen estén suficientemente respaldados por experiencias con diferentes cultivos, de modo que haya una relación directa entre resultado de análisis y la respuesta al cultivo. En tal caso, si el resultado del análisis nos dice que el suelo es pobre en fósforo, esto debe indicar que la cosecha, en un determinado cultivo, aumentará o responderá considerablemente a la aplicación de fertilizantes fosfatados.

Toma de muestras.- A fin de obtener una muestra representativa del suelo en estudio, se deberán considerar las reglas siguientes:

- 1.- Profundidad. Para la mayor parte de los cultivos la muestra se tomará entre 25 y 30 cm. de profundidad; para praderas y céspedes entre 5 y 10 cm. En otros cultivos de raíces profundas y árboles, conviene tomar muestras del suelo entre 0 y 30 cm. y del subsuelo entre 30 y 60 cm.; ambas se deberán almacenar por separado.
- 2.- Herramienta. Se empleará una barrena o media caña y si no se dispone de ella puede utilizarse de una pala. La herramienta se deberá limpiar cada vez que se tome una muestra nueva.
- 3.- Superficie. No deberá tomarse la muestra que represente

una superficie mayor de cuatro hectáreas. Deberán elegirse zonas uniformes, tomando muestras distintas para las que difieren en producción, color y textura del suelo, haciendo recorridos sobre la parcela en zig-zag o formando cuadros.

4.- Precauciones. No tomar muestras en lugares especiales; canales, zonas erosionadas, límites de campo o lugares donde se depositó estiércol, cal, fertilizantes, etc.

5.- Composición de la muestra. Hacer, en cada zona elegida, de doce a veinte tomas de igual cantidad de muestra y mezclarlas bien sobre un plástico, para reducir la muestra total que represente al conjunto.

Análisis de muestras.- Las determinaciones que se realizan, normalmente, son las siguientes:

TEXTURA

pH

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

MATERIA ORGANICA

NUTRIMENTOS: N, P, K, Ca, Mg Y OTROS EN CASO NECESARIO

Pueden considerarse, además, problemas especiales, como la salinidad, el exceso de sodio, la toxicidad por ciertos elementos, etc.

## 1. c.2 CLIMA

El clima influye de manera determinante sobre el aprovechamiento

to de los fertilizantes, debido a la luz solar, la humedad y la temperatura de suelo y del ambiente.

Temperatura.- La velocidad con que transcurren los procesos metabólicos depende de la temperatura reinante. Las condiciones óptimas de temperatura bajo las que se presentan el anabolismo y el catabolismo, varían de acuerdo al tipo de planta de que se trate. En ello, además de la temperatura absoluta, es de gran importancia, la relación que guardan entre sí las temperaturas diurnas y nocturnas. En general, en las regiones donde las temperaturas diurnas son elevadas, mientras las nocturnas son bajas (suponiendo que los factores restantes sean favorables), la planta puede emplear mayores cantidades de fertilizantes que en las zonas donde predominan elevadas temperaturas nocturnas. En el caso de muchos cultivos tropicales, especialmente el arroz, se ha comprobado que la dosis óptima de nitrógeno es mayor que en las regiones frías.

Precipitaciones.- Desde el punto de vista de la planta, una fertilización en forma sólida puede ser únicamente efectiva, cuando los nutrimentos son disueltos por el agua, puesto que los vegetales lo asimilan solamente de la fase líquida. Cada suelo, así como cada planta que dispone de una precipitación pluvial natural limitada, puede aprovechar solamente una cantidad de fertilizantes equivalentes a la lluvia recibida. Si las lluvias superan los 1000 mm, la posibilidad de sequía es tan poco probable que el empleo de fertilizantes carece de

riesgo. Sin embargo, el empleo de fertilizantes se ha visto limitado por las sequías periódicas en las zonas entre 750 y 1000 mm. Un suelo que recibe tal cantidad de agua es mucho más fértil que el más de 1000 mm. El empleo de fertilizantes en zonas de precipitación inferior a 650-750 mm. se halla limitado al suelo con regadío. Toda cantidad de fertilizantes que exceda de los límites correspondientes deja de tener valor, ya que la insuficiencia de agua impide la correcta absorción y traslación de los nutrimentos por los vegetales. Si la planta cuenta con posibilidades de ser irrigada será mayor la cantidad de nutrimentos que pueda asimilar.

Luz solar.- La luz solar suministra la energía que requiere la planta para sus reacciones metabólicas o sea, para la síntesis de los carbohidratos a partir del bióxido de carbono y del agua, bajo la acción de los nutrimentos. Sin embargo, la asimilación de ciertos nutrimentos, especialmente el potasio, no suele modificarse con el cambio de intensidad luminosa. Por otro lado, la deficiencia de luz resulta ser, con frecuencia, un factor a considerar para la dosificación del nitrógeno. El fósforo y el potasio actúan hasta cierto grado en forma contraria al nitrógeno, pues permite a la planta realizar un mejor aprovechamiento de la luminosidad.

### I. c.3 PLANTA

La planta se halla muy relacionada con las características genéricas de la variedad de que se trate, ello determina que no todas las plantas se comporten de la misma manera en condiciones determinadas.

Por ejemplo, existen plantas que absorben del suelo grandes cantidades de nitrógeno e inclusive lo toman del aire con ayuda de bacterias nodulares para satisfacer sus necesidades nutritivas. Existen también plantas que no tienen respuesta adecuada a la fertilización.

Actualmente la genética brinda nuevas variedades con mayor capacidad de producción, de más calidad, más resistencia a las enfermedades, pero más delicadas y más exigentes de nutrientes.

#### I.d. RESEÑA HISTORICA DE LA INDUSTRIA DE LOS FERTILIZANTES

Fertilizantes Mexicanos, S.A., nació con el nombre de Guanos y Fertilizantes de México, S.A., según Decreto Presidencial del 10 de junio de 1943, que se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 17 del mismo mes y año, con una aportación de capital de diez millones de pesos, que suscribieron el Gobierno Federal en un 50% y Nacional Financiera, S.A., el 50% restante. De acuerdo al Decreto, el propósito de la sociedad era aprovechar el guano de las zonas guaneras de los litorales de los

distritos norte y sur de la Baja California, y de los estados de Sonora, Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán y Guerrero, hasta el puerto de Acapulco. Para estos propósitos se incorporaron al patrimonio de la Comisión de Fomento Minero las zonas guaneras mencionadas y los yacimientos de guano de aves marinas y de guano de murciélagos existentes en el territorio nacional.

Por virtud de la reservación de estas zonas, a la Comisión de Fomento Minero, se ordenó que ésta celebrase contrato de explotación con la empresa que se forma, la que además de estos objetivos sociales tuvo el de elaborar fertilizantes a bajo costo en beneficio de la agricultura nacional.

Con motivo de esta disposición legal, se creó la sociedad Guanos y Fertilizantes de México, S.A., con el fin de producir fertilizantes orgánicos, distribuirlos y venderlos, así como difundir las prácticas para su mejor utilización y cuadyuvar al aumento de la producción de alimentos para satisfacer la demanda de los mismos.

Como se mencionó, inicia sus actividades con la explotación de las zonas guaneras del país cuyas regiones ricas en estos yacimientos orgánicos, por haber sido habitada desde tiempos remotos por el cormorán, ave que hasta hace muy poco tiempo sirvió como símbolo comercial.

Por ser este producto orgánico rico en nitrógeno y fósforo permitió fertilizar una buena porción de tierras abiertas al cultivo en el país.



Las expectativas de producción agrícola en ese entonces, aunadas a las labores que la Empresa llevó a cabo para difundir el uso de los fertilizantes, trajeron como resultado que la demanda del producto fuera superior a la oferta. Por ello, la Empresa, consciente de su responsabilidad en el desarrollo agrícola nacional, en la década de los años cuarentas, diversificó sus actividades, pues además de la recolección de guano, construyó las unidades de producción México en 1945 y Guadalajara en 1949, para producir harina de hueso.

En 1947 dentro del programa original que la Empresa pone en marcha para producir los fertilizantes que el país demandaba, inicia sus operaciones la Unidad San Luis Potosí, cuyo objetivo principal fue elaborar superfosfato simple, a partir de roca fosfórica importada de Florida, EUA. Con lo anterior, la Empresa se incorpora a la naciente dinámica de la industria química y marca la pauta, que a partir de entonces habría de seguir la industria de los fertilizantes.

En 1948, se inicia la construcción de la Unidad Cuautitlán en el Estado de México, para producir sulfato de amonio, superfosfato simple de calcio, ácido sulfúrico y amoniaco anhídrido y que constituyó el primer complejo establecido en América Latina y fue hasta la década de los años sesentas los fertilizantes que más se consumían en el país, utilizando como materias primas gas natural, roca fosfórica importada y azufre de la desulfuración del gas.

El 15 de octubre de 1948, un nuevo Decreto Presidencial modifica la escritura de la empresa, y le confiere las funciones de: comprar, fabricar, vender, importar y exportar toda clase de fertilizantes.

El Gobierno Federal, alentó a la iniciativa privada a participar en el campo de los fertilizantes, fue así como se constituyó Fertilizantes de Monclova, S.A. (FERTIMON), en 1956 para que se aprovechara el gas de los hornos de Mexcoke (Compañía Mexicana de Coke y Derivados, S.A.), fabricando ácido nítrico y nitrato de amonio y que más tarde empezaría a producir complejos (fostado de amonio y NPK) todo esto en Monclova, Coahuila. Como consecuencia de que la producción de amoníaco de Pémex fue puesta a disposición de la iniciativa privada, surgieron nuevas compañías en los lugares donde se disponía de amoníaco, así nacieron Fertilizantes del Istmo en 1960 en Minatitlán, para producir ácido nítrico, fosfórico y sulfúrico, así como urea, nitrato de amonio y complejos NPK: Fertilizantes del Bajío en 1963 en Salamanca, Gto., para producir urea, utilizando amoníaco y bióxido de carbono de las instalaciones de Pémex. Fertilizantes Delta, S.A., en Cortazar, Gto., en 1964 para producir sulfato de amonio y que dejó de operar en 1967.

Mientras tanto en 1962 Guanos y Fertilizantes de México, S. A., con el fin de aprovechar los yacimientos de azufre del Istmo de Tehuantepec, pone en operación su Unidad Industrial de Coatzacoalcos para elaborar ácidos sulfúrico y fosfórico.

En 1966 PEMEX establece dos nuevas plantas de amoníaco, en Camargo, Chih., y otra en Minatitlán Ver., y Guanos y Fertilizantes de México, S.A., con el fin de aprovechar el ácido sulfúrico que Metalúrgica Mexicana Peñoles obtenía como subproducto, constuyó la planta productora de sulfato de amonio Unidad Torreón, Coah., y otra en Coatzacoalcos, Ver., produciendo también sulfato de amonio.

En 1965, la industria mexicana de los Fertilizantes, afrontaba problemas de baja producción, deficiente distribución, interferencias de actividades comerciales, multiplicidad de administraciones; que en su conjunto obstruía la elaboración y ejecución de planes agrícolas nacionales.

Para solucionar esos problemas y con el propósito de lograr la integración total de la Empresa, con aquéllas que se dedicaban a la fabricación y venta de fertilizantes, se tomó la decisión de fusionar todas las empresas particulares productoras de fertilizantes a la empresa paraestatal Guanos y Fertilizantes de México, S.A., para ello se acordó fusionar el 31 de agosto de 1965 a Fertilizantes de Monclova, S.A., a Fertilizantes Delta, S.A., el primero de febrero de 1966; a Fertilizantes del Istmo, el 28 de febrero de 1967; en 1968 la acción es seguida por Industrias Petroquímica Nacional y en 1970 Montrose Mexicana, S.A. Y Lerma Industrial, S.A., son adquiridas para su fusión con la Empresa.

Cabe destacar que este proceso de integración, se logró gracias

a la acción participativa y económica de Nacional Financiera en diversas empresas y desde luego por la política económica que consideró más viable la existencia de una sola institución para lograr la autosuficiencia de fertilizantes.

Las plantas de Fertilizantes Delta, S.A., así como la antigua Unidad México, dejaron de funcionar, pero esto dio origen a la creación de nuevas unidades de producción como Torreón, quien inició actividades en 1966 y Camargo que lo hizo en el año de 1968.

Con la consolidación e integración de la industria de los fertilizantes, la Empresa pudo reducir los precios de los productos, lo cual significó una mejor canalización de recursos hacia el sector agropecuario, logrando al mismo tiempo modificar la estructura de los tradicionales medios de comercialización.

En 1977 se fusionó a Guanos y Fertilizantes de México, S.A., la empresa Fertilizantes Fosfatados Mexicanos, S.A., con lo que se logró la integración total de la industria de los fertilizantes y, atendiendo a razones de carácter técnico, el 22 de noviembre del mismo año, se cambió la razón social por la de Fertilizantes Mexicanos, S.A.

Durante el segundo semestre del año de 1979 y como resultado de la incorporación de las plantas procedentes de Fertilizantes Fosfatados Mexicanos, el retiro de la Empresa del mercado Centroamericano donde operaba a través de FERTICA (debido a malos manejos administrativos) en los países de: Panamá, Costa Rica,

Nicaragua, Honduras, El Salvador y Guatemala, hubo de reorientar a la Empresa hacia el mercado nacional, integrándose solamente la planta ubicada en Tecún Umán (Guatemala) a FERTIMEX y al complejo de unidades industriales; la operatividad y capacidad productiva de esta planta permite de disponer de mayores productos de fertilizantes y cubrir satisfactoriamente las demandas de la región sureste del País, ya que su producción no es para exportación, sino para consumo interno nacional.

El crecimiento de la industria de los Fertilizantes en México, se muestra a continuación:

- 1953 Se crea GUANOMEX
- 1945 Inicia operaciones una planta de superfosfato triple en en Estado de México.
- 1946 Se construye la Unidad México para producir harina de hueso.
- 1947 Puesta en marcha de una planta de superfosfato simple en la hoy Unidad San Luis Potosí.
- 1949 Inicio de operaciones de la Unidad Guadalajara.
- 1951 Montaje de la Unidad Cuautitlán.
- 1962 Construcción de la Unidad Coatzacoalcos en el estado de Veracruz.
- 1965 Inicio de la integración de la industria al incorporarse Fertilizantes Monclova, S.A. a GUANOMEX.
- 1966 Creación de la Unidad Turreon en el estado de Coahuila, la Empresa crece también al integrarse Fertilizantes del

Bajfo, S.A., y de Fertilizantes Delta, S.A.

- 1967 En el estado de Veracruz se incorpora Fertilizantes del Istmo, S.A., hoy Unidad Minatitlán.
- 1968 Al fusionarse a GUANOMEX, Industria Petroquímica Nacional, S.A., se constituye en la Unidad Ecatepec en el Estado de México y en Chihuahua se construye la Unidad Camargo.
- 1970 Se integran a la organización, Lerma Industrial, S. A., y Montrose Mexicana, S.A. en el estado de Guanajuato.
- 1978 En enero se cambia la razón social de la Empresa a Fertilizantes Mexicanos, S.A.; se fusiona a la organización Fertilizantes Fosfatados Mexicanos, S.A., e inicia operaciones la Unidad Querétaro.
- 1979 Se inaugura una planta de sulfato de amonio en la Unidad del Bajfo.
- 1980 Se inaugura la planta de urea en la Unidad Bjafo.
- 1982 Inicia operaciones la Unidad Pajaritos Nitrogenados, en el Estado de Veracruz.

#### I. e. POSICION INTERSECTORIAL

Una de las medidas para la implementación de la Reforma Administrativa fue la agrupación de las distintas entidades del Sector Público en Coordinaciones Sectoriales, con la finalidad primordial de atender la planeación global del Gobierno Federal.

En este contexto Fertilizantes Mexicanos, S.A., quedó inscrita en el sector coordinado por la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, pero vinculado también con sectores ajenos ya que para el abastecimiento y transporte de sus principales insumos, para la distribución y venta de sus productos y el suministro de materias primas depende de otras empresas tales como:

Petróleos Mexicanos: compra de gas natural y amoniaco.

Comisión Federal de Electricidad: compra de energía eléctrica

Azufrera Panamericana, S.A., : compra de azufre.

Azufres Nacionales Mexicanos, S.A. de C.V.: compra de azufre.

Roca Fosfórica Mexicana, S.A. de C.V.: compra de roca fosfórica.

Minerales Industriales, S.A. de C.V.: compra de roca fosfórica.

Productos Químicos e Industriales del Bajío: comercializa en el centro del país diversos productos que fabrica. la paraestatal FERTIMEX.

Transportes Centrales, S.A.: movilización de insumos en las Unidades Industriales, etc.

Respecto a su relación con otros sectores:

A).- Con la Secretaría de Comercio

Para la fijación de los precios de las materias primas e insumos necesarios, permisos de importación y exportación, uso de tecnología y el Gobierno Federal, a través del Comité Especial de Precios y Tarifas del Sector Público, dependiente de esta Secretaría, determina y fija los niveles de precios oficiales de los fertilizantes en base a los estudios, costos, precios tota-

les que realiza la Empresa y que tienen como objetivo fundamental mantener el punto de equilibrio en la operación, con lo que se busca afectar lo menos posible los costos de producción de campesinos y agricultores.

Una vez fijado el precio oficial, las Secretarías de Patrimonio y Fomento Industrial, de Programación y Presupuesto y de Agricultura y Recursos Hidráulicos establecen, en base a las decisiones de apoyo al campo y a los programas de fertilización, el precio que deberá pagar el consumidor final, el cual todavía es menor que el establecido por la Secretaría de Comercio. Resulta por tanto un diferencial entre el precio que paga el público y el establecido oficialmente por las autoridades, el que se cubre con un subsidio que otorga el Gobierno Federal vía precios de venta de los fertilizantes a los agricultores y campesinos. Se ha venido otorgando por conducto de BANRURAL, un descuento que absorbe también el Gobierno Federal a través de dicha institución bancaria, con lo que el subsidio al precio de venta no sólo es el diferencial antes mencionado, sino también este último descuento, que es aproximadamente de un 30%.

Por otra parte, debido a la necesidad de comprar en el exterior productos finales que complementen la oferta nacional, la empresa recibe un subsidio que es aplicado para resarcirle la diferencia resultante entre el costo de importar dichos insumos y el costo de producción de los mismos.

Este subsidio se otorga con el objeto de que los productos traí



dos del exterior se vendan en las mismas condiciones de precio, que los producidos en el país, reconociéndose esta transferencia por parte de las autoridades como un subsidio de operación.

B).- Secretaría de Hacienda y Crédito Público.

En la obtención de los fondos necesarios para la operación de la Empresa, y en la supervisión de los créditos internos y externos utilizados. Con el Banco Nacional Rural para suministrar a las organizaciones campesinas que financia dicha institución, los fertilizantes necesarios.

C).- Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Con Ferrocarriles Nacionales de México, para el transporte de materias primas y productos terminados, así como la utilización en menor proporción de autotransporte de carga.

D).- Secretaría del Trabajo.

Para regular las relaciones obrero-patronales, registro de contratos colectivos de trabajo, Comisiones Mixtas de Seguridad e Higiene Industrial, Capacitación y Adiestramiento, solución de conflictos en materia laboral.

E).- Gobierno de las Entidades Federativas

Para la creación y operación de organismos descentralizados de los gobiernos estatales dedicados a la distribución de los fertilizantes, para programar sus demandas anuales, asesorarlos en la determinación de la cuota que aportará el agricultor para los patronatos de fertilización estatal.

## **F).- Internacionales**

Dentro de las relaciones de Fertilizantes Mexicanos, S.A., con organismos internacionales, destaca su vinculación con la Asociación para el Desarrollo de la Industria de los Fertilizantes de América Latina, A.C. (ADIFAL), la cual es un organismo técnico consultivo creado en 1975 por acuerdo de un grupo de empresas latinoamericanas de fertilizantes, por iniciativa y auspiciada por Guanos y Fertilizantes de México, S.A.

La participación de Fertimex en ADIFAL, ha sido de cooperación en el aspecto técnico y comercial, para promover la producción y el uso de los fertilizantes en Iberoamérica; esto ha favorecido las operaciones internacionales de la Empresa con los productores y comercializadores del área latinoamericana.

Del entrelazamiento que tiene esta industria con los diferentes sectores, resalta el vínculo entre la industria petroquímica y la utilización de sus productos, para mejorar la producción agrícola, y de ahí mejorar la producción de alimentos.

## **I. f. FACTORES QUE AFECTAN A ESTA INDUSTRIA.**

### **A.- Transporte**

Este factor es uno de los principales problemas que afectan a esta industria en sus diferentes niveles; desde un punto de vista exterior, la falta de suministro de transporte por parte de ferrocarriles, ya que éstos no cuentan con el número sufi-

ciente de furgones y góndolas, y condiciones favorables requeridas; ocasionando que esta industria se haya visto en la necesidad de prorrogar los contratos que celebra con empresas de EU, quienes le proporcionan en alquiler carros-tanque para movilizar materias primas, incrementando sus gastos.

Desde el punto de vista interior, esta industria reciente en sus plantas de producción y en los puertos marítimos, la escasez de furgones y góndolas ocasionando que en las unidades de producción, se afectara la recepción de diversas materias primas, como la distribución de productos terminados. En lo referente a la distribución de los fertilizantes a consumidores, se tiene el problema de entregarlo oportunamente por falta de furgones. En lo que respecta a los problemas de transporte en puertos marítimos, la escasez del transporte ferroviario comenzó a provocar demoras en los buques y por consiguiente fuertes gastos por mayores tiempos de estadía de los barcos.

#### B).- Financiamiento

Otro problema importante es la situación financiera de esta industria, ya que en función de las tasas inflacionarias que se han presentado tanto a nivel nacional como internacional, afectando directamente los costos de los fertilizantes y de acuerdo a la política de precios controlados para estos productos (ya que los fertilizantes en México valen 18% menos, en lo general que en el mercado internacional), se han afectado seriamente los márgenes de rentabilidad de esta industria, deterio-

rándose considerablemente la situación financiera. Con el propósito de subsanar esta situación, el Gobierno Federal ha brindado una serie de apoyos que se han canalizado por medio de inversiones, incrementos de precios para compensar los costos (esto se ha dado con más énfasis en los últimos años para tratar de guardar una situación real con los gastos de producción) subsidios, aportaciones de capital y bajos precios de materias primas (esto se refiere al aportado por PEMEX directamente, ya que el alza de precios de las materias primas que se importan han afectado el costo de producción). Sin embargo, estas medidas no han producido los efectos que se esperaban, ya que la productividad y la eficiencia no compagina con lo esperado, provocando un aumento de costos y una continua dependencia de los apoyos directos e indirectos.

Todos los problemas anteriores de esta industria, junto con la fuerte deuda externa contraída por el sector, hacen que esta industria tenga una posición financiera débil.

C).- Maquinaria, Equipo y Tecnología.

En lo que respecta a la adquisición de la tecnología, ésta siempre se ha adquirido en el extranjero, repercutiendo en el aspecto financiero de esta industria, sin embargo, se ha logrado disponer de oferta nacional para tecnología referente a fluidos auxiliares y equipos complementarios.

En lo referente a maquinaria y equipo, también se han tenido problemas en la adquisición sobre todo si es extranjero, causando problemas de tipo operativo.

## BIBLIOGRAFIA

USO Y APLICACION DE FERTILIZANTES.- Gerencia General de Administración y Relaciones Públicas. Centro de Capacitación y Desarrollo de Personal. Fertimex. Serie Capacitación No. 13. 1981.

FERTILIZANTES/INDUSTRIA/MEXICO.- Gerencia General de Administración y Relaciones Públicas. Centro de Capacitación y Desarrollo de Personal. Fertimex. 1981.

TESTIMONIO DE UNA ADMINISTRACION. Gerencia General de Administración y Relaciones Públicas. 1976-1982.

LOS FERTILIZANTES EN MEXICO. Segura Gutiérrez y José Eduardo. Tesis 1978. UNAM.

FERTILIDAD DE LOS SUELOS Y FERTILIZANTES. Tisdale L. Samuel y Nelson L. Werner. Editorial Uteha 1982. México.

FERTILIZANTES COMERCIALES SUS FUENTES Y SUS USOS. Collings H. Gilbert. Salvat Editores, S.A. 1958. España.

MANUAL DE RIEGEL DE QUIMICA INDUSTRIAL. Kent. A. Sames. Editorial CECSA 1974. España.

FERTILIZANTES Y SUS USOS. Cooke G. Editorial Continental, 1964, México.

LOS NIVELES DE PRODUCCION AGRICOLA Y EL EMPLEO DE FERTILIZANTES. Folleto # 8 668 . FAO, Roma, 1984.

EL USO DE LOS ABONOS Y FERTILIZANTES EN LA AGRICULTURA. Riveroll Jimenez Fausto. Tesis 1978. UNAM.

## **II TECNOLOGIAS EXISTENTES EN MEXICO**

## INTRODUCCION

A continuación se da la ubicación de las distintas Unidades In  
dustriales, así como una relación de las patentes usadas en la  
manufactura de fertilizantes producidos en México, año de arran  
que y la descripción de los diversos procesos involucrados.  
Todo esto es con el fin de dar a conocer las tecnologías utili  
zadas en cada una de las Unidades Industriales en la producción  
de fertilizantes. Lo que posteriormente nos servirá para dar  
la posición de la tecnología utilizada en México con respecto  
a la Mundial.

II.a LOCALIZACION DE LAS ZONAS EN DONDE SE ENCUENTRA  
ESTA INDUSTRIA

Fertilizantes Mexicanos, S.A., cuenta en la actualidad con 16 Unidades Industriales, en donde se producen productos finales e intermedios, los cuales se enlistan en la Tabla 1, dando además el número de plantas en operación y la ubicación geográfica.

TABLA 1 UNIDADES INDUSTRIALES DE QUE  
FERTIMEX,S.A. DISPONE ACUTALMENTE

UNIDAD INDUSTRIAL	No. DE PLANTAS EN OPERACION	UBICACION GEOGRAFICA
1. Bajío	4	Salamanca, Gto.
2. Camargo	1	Cd. Camargo, Chih.
3. Coatzacoalcos	5	Coatzacoalcos, Ver.
4. Cuautitlán	6	Cuautitlán, Estado de México
5. Ecatepec	10	Ecatepec, Estado de México
6. Guadalajara	7	Guadalajara, Jal.
7. Minatitlán	11	Minatitlán, Ver.
8. Monclova	5	Monclova, Coah.
9. Pajaritos Fosforados	6	Pajaritos, Ver.
10. Pajaritos Nitrogena- dos	5	Pajaritos, Ver.



11. Querétaro	6	Querétaro, Qro.
12. Salamanca	14	Salamanca, Gto.
13. San Luis Potosí	1	San Luis Potosí, SLP
14. Torreón	2	Torreón, Coah.
15. Tecún Umán	2	Tecún Umán, Guatemala
16. Lázaro Cárdenas	10	Lázaro Cárdenas, Mich.

La figura 1, muestra un mapa del territorio Mexicano y la ubicación de éste, de las diferentes Unidades Industriales con que cuenta México.

La figura 2, muestra la concentración geográfica de la capacidad instalada de fertilizantes nitrogenados para el año de 1983.

Esta capacidad instalada no ha sufrido variaciones.

La última Unidad Industrial de Fertilizantes Mexicanos, S. A., que está todavía bajo pruebas de operación (1986), es el complejo industrial de fertilizantes en Lázaro Cárdenas, Mich.

Los estados de Michoacán, Guerrero, Jalisco, Nayarit, Colima, Sinaloa, Sonora y Baja California, son los mercados regionales de los productos que se producirán en este complejo. Asimismo esta instalación contará con facilidades portuarias y su ubicación en el Pacífico, representa un punto estratégico para sus operaciones hacia mercados nacionales e internacionales.

La infraestructura que construyó el Gobierno Federal, junto con otras instalaciones industriales hacen de la región Lázaro Cárdenas, un polo de desarrollo, de gran importancia nacional.



Figura 1

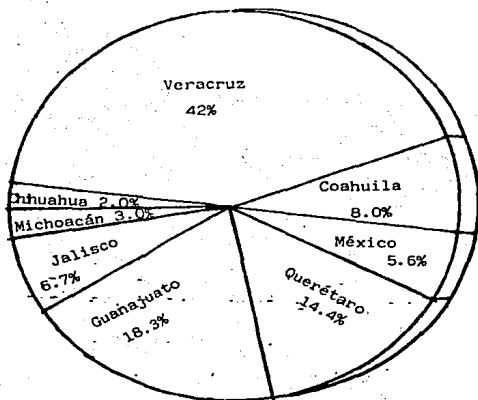
Nota: estos números están referidos  
a la tabla 1, anterior

Figura 2.

CONCENTRACION GEOGRAFICA DE LA CAPACIDAD INSTALADA DE  
FERTILIZANTES NITROGENADOS

(% de la capacidad instalada)

1 9 8 3



TOTAL: 4'155,440 Toneladas

Fuente: COMISION PETROQUIMICA MEXICANA. SEMIP.

TECNOLOGIAS UTILIZADAS EN LAS PLANTAS PRODUCTORAS DE FERTILIZANTES Y PRODUCTOS INTERMEDIOS.

Producto	Proceso	País	Contratista	País	Unidad	Año de Arranque	Capacidad
Amoniaco	Habert Bosch Nitrogen	USA	Chemico	USA	Cuautitlán	1951	22,000
Acido Sulfúrico	Monsanto	USA	Chemico	USA	Cuautitlán	1951	49,500
	Monsanto	USA	Chemico	USA	Coatzacoalcos	1962	60,000
	Monsanto	USA	Girdler Ltd.	USA	Minatitlán	1962	50,000
	Monsanto	USA	Girdler Ltd.	USA	Minatitlán	1966	50,000
	Monsanto	USA	Chemico	USA	Guadalaajara	1968	99,000
	Monsanto	USA	Chemico	USA	Guadalaajara	1968	44,550
	Monsanto	USA	Wellman Lord.	USA	Pajaritos	1969	472,600
	Monsanto	USA	Wellman Lord.	USA	Pajaritos	1969	472,500
	Monsanto	USA	Chemico	USA	Cuautitlán	1972	198,000
	Monsanto	USA	Girdler Ltd.	USA	Minatitlán	1978	330,000
Acido Nítrico	Parson	USA	Parson	USA	Tecún Uman	1978	33,000
	Lurgi	Alemania	Lurgi-Chemie	Alemania	Querétaro	1978	198,000
	Parson	USA	Fertimex-Latasa	USA	Querétaro	1983	660,000
	Dupont	USA	Chemical Ltd.	USA	Minatitlán	1962	50,000
	Dupont	USA	Chemical Ltd.	USA	Minatitlán	1966	50,000
Acido Fosfórico	Societe Belge del Azote	Bélgica	Saint Gobain	Francia	Monclova	1959	55,000
	Dorr-Oliver	USA	Dupont	USA	Coatzacoalcos	1962	17,000
	Rhone Poulenc Petrochimic	Francia	Chemico	USA	Minatitlán	1962	39,600
	Pechine Saint Gobain	Francia	Pechiney Saint-G	Francia	Monclova	1965	18,000
	Sam Prayon	Bélgica	Wellman Lord	USA	Pajaritos	1969	172,500
Acido Fosfórico Grado Técnico	Sam Prayon	Bélgica	Wellman Lord	USA	Pajaritos	1969	172,500
	Israel Mining Industries	Israel	Litwin Frenkel	Israel	Pajaritos	1971	105,000
Solución de Nitrato de Amonio	Canada Develop Inc.	Canadá	Girdler Ltd	USA	Minatitlán	1962	127,000
	Saint Gobain	Francia	Saint Gobain	Francia	Monclova	1959	68,000
Nitrato de Amonio Sólido	Prilling Development	Canadá	Girdler Ltd	USA	Minatitlán	1962	100,000

Producto	Proceso	País	Contratista	País	Unidad	Año de Arranque	Capacidad	
Urea	Toyo Koatsu	Japón	C&I Girdler Ltd	USA	Minatitlán	1962	54,500	
	Lonna Lummus	Suiza	The Lummus	USA	Bajío	1963	56,000	
	Toyo Koatsu	Japón	C&I Girdler Ltd	USA	Camargo	1968	75,000	
	Snaprogetti	Italia	Snaprogetti	Italia	Minatitlán	1971	247,500	
	Stamicarbón	Holanda	Foster Wheeler	USA	Bajío	1980	330,000	
	Snaprogetti	Italia	Snaprogetti	Italia	Itamo	1982	495,000	
					Itamo		495,000	
Sulfato de Amonio	Chemico	USA	Chemico	USA	Cuautitlán	1951	100,000	
	Chemico	USA	Chemico	USA	Coatzacoalcos	1966	50,000	
	Chemico	USA	Chemico	USA	Torreón	1966	100,000	
	Struther Wells	USA	Struther W.	USA	Guadalajara	1968	128,700	
	Chemico	USA	Chemico	USA	Bajío	1969	60,000	
	Chemico	USA	Chemico	USA	Cuautitlán	1972	135,000	
	Chemico	México	Chemico	USA	Querétaro	1978	190,000	
	Fertimex	México	Fertimex	México	Bajío	1979	100,000	
	Fertimex	México	Fertimex	México	Guadalajara	1979	150,000	
	Fertimex	México	Fertimex	México	Coatzacoalcos	1979	150,000	
	Fertimex	México	Fertimex	México	Torreón	1979	100,000	
	Fertimex	México	Fertimex	México	Querétaro	1981	198,000	
	Fertimex	México	Fertimex	México	Querétaro	1981	198,000	
	Fosfato de Amonio	Dorr-Oliver	USA	Girdler Ltd	USA	Coatzacoalcos	1969	82,500
Complejos NPK		PEC	Francia	Girdler Ltd	USA	Minatitlán	1966	140,000
		TVA	USA	Saint Gobain	Francia	Monclova	1963	66,000
					Tecún Uman	1971	66,000	
Superfosfato Simple	Sturtenvant	USA	Chemico	USA	San Luis Potosí	1947	62,500	
	Sturtenvant	USA	Chemico	USA	Cuautitlán	1953	120,000	
	Saint Gobain	Francia	Saint Gobain	Francia	Guadalajara*	1968	90,000	
	Superflos ket	USA	Pedone	USA	Querétaro	1978	300,000	
Superfosfato Triple	Dorr-Oliver	USA	Wellman Lord	USA	Pajaritos	1969	270,000	
	Fertimex	México	Fertimex	México	Guadalajara	1980	40,000	

\* Esta Unidad en caso de producir Superfosfato triple será de 40,000 toneladas.

Fuente : Gerencia de Planeación, Departamento de Asesoría Técnica. FERTIMEX.

II.b. PROCESOS DE PRODUCCION DE FERTILIZANTES EN LAS DIFERENTES UNIDADES INDUSTRIALES DE MEXICO.

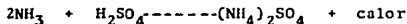
II.b.1. UNIDAD INDUSTRIAL TORREON

Localización.- La Unidad Industrial Torreón se halla ubicada en el estado de Coahuila, en el municipio de Torreón. Se levanta en un predio de 10 hectáreas.

Actualmente la Unidad trabaja con dos plantas que producen 200,000 toneladas al año de sulfato de amonio.

a).- Descripción del proceso. La tecnología es de procedencia Estadunidense.

El sulfato de amonio se obtiene por neutralización de ácido sulfúrico con amoníaco anhidro. La reacción de formación del sulfato es la siguiente:



Debido a que la reacción es fuertemente exotérmica, se alimenta agua al sistema reaccionante para disipar el calor generado. Además del objetivo anterior, el agua sirve para mantener en suspensión a los cristales y poder manejar éstos por medio de bombeo. Se tiene una bomba de recirculación principal que toma la suspensión de la parte superior del cristizador y la descarga en la parte cónica con objeto de mantener una masa reaccionante homogénea y evitar puntos de sobresaturación que son desfavorables en el crecimiento de los cristales.

La alimentación de amoníaco en forma líquida se efectúa mediante un inyector especial, situado en la descarga de la bomba antes mencionada. La alimentación del ácido sulfúrico se hace en la parte cónica del cristalizador en forma tangencial, ligeramente arriba de la descarga de la recirculación principal.

En la corona del cristalizador se tiene un difusor de aire con objeto de mantener en suspensión los cristales como función secundaria, sirve para clasificar los cristales.

Una bomba succiona la suspensión de la parte inferior del cristalizador y la envía a la centrífuga.

La centrífuga, de tipo continuo, separa los cristales del licor madre. En este equipo se realiza una alimentación de agua que sirve para lavar los cristales y disolver los muy pequeños. Los cristales separados en la centrífuga se reciben en una banda transportadora que los descarga en el alimentador del secador. El licor madre cae por gravedad al tanque de aguas madres, de donde por bombeo se envía a la parte superior del cristalizador. Los cristales húmedos de sulfato de amonio, provenientes de la centrífuga, viajan en corriente paralela junto con los gases de secado, en un secador tipo tambor rotatorio.

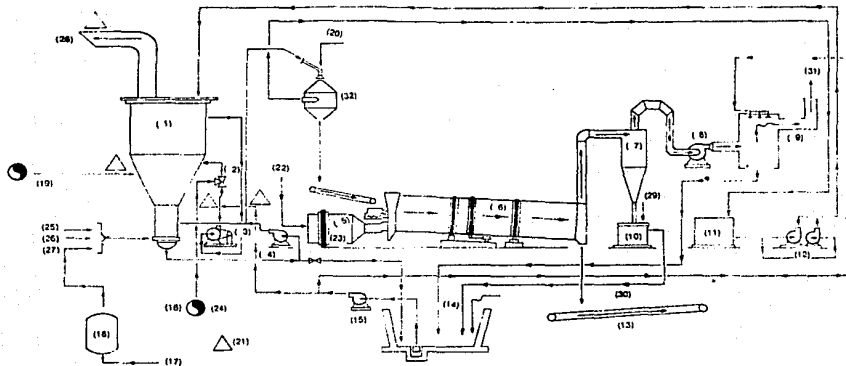
Los cristales que descarga el secador se reciben en una banda que los envía al almacén de producto terminado. Los gases que salen del secador, junto con los polvos finos arrastrados, pasan por un colector ciclónico húmedo para recuperar vapores, y por medio de un extractor se envían a la atmósfera a través de

una torre lavadora, en donde nuevamente se eliminan los polvos que consiguieron escapar del colector ciclónico. Todo el sulfato de amonio en forma sólida o en suspensión que cae al piso de la planta, se lava y se recupera en la fosa de licor, la cual también recibe licor proveniente de los colectores de polvo. El licor de esta fosa se bombea de nuevo al colector ciclónico húmedo y a la torre lavadora, como medio de dilución de polvos; otra parte se alimenta al cristalizador por medio de la línea de recirculación principal. (Ref. II.1).



## UNIDAD INDUSTRIAL TORREON

- |  |   |   |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) CRISTALIZADOR</li> <li>(2) INYECTOR DE AMONIACO</li> <li>(3) BOMBA DE RECIRCULACION PRINCIPAL</li> <li>(4) BOMBA DE RECIRCULACION DE MAGMA</li> <li>(5) CAMARA DE COMBUSTION</li> <li>(6) SECADOR ROTATORIO</li> <li>(7) CICLON COLECTOR DE POLVOS TIPO HUMEDO</li> <li>(8) EXTRACTOR DE GASES</li> <li>(9) LAVOR DE GASES</li> <li>(10) TANQUE DE BELLO</li> <li>(11) TANQUE DE AGUAS MADRES</li> <li>(12) BOMBAS DE AGUAS MADRES</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>(13) TRANSPORTADOR DEL PRODUCTO</li> <li>(14) FOJA DE LICOR</li> <li>(15) BOMBA DE LICOR DE LA FIBRA</li> <li>(16) TANQUE DE AIRE COMPRESADO</li> <li>(17) COMPRESOR</li> <li>(18) EVAPORADOR DE AMONIACO</li> <li>(19) ACIDO SULFURICO</li> <li>(20) AGUA DE LAVADO</li> <li>(21) TEMPERATURA</li> <li>(22) GAS</li> <li>(23) MAGMA</li> <li>(24) AMONIACO</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>(25) VAPOR</li> <li>(26) AGUA</li> <li>(27) AIRE</li> <li>(28) VAPOR</li> <li>(29) AGUA</li> <li>(30) SULFATO DE AMONIO A BODEGA</li> <li>(31) GASES</li> <li>(32) CENTRIFUGA</li> </ul> |
|--|---|---|



Fuente: Revista "Fertilizantes Mexicanos S.A.  
Gerencia General de Operación Industrial" 1980

PLANTA DE SULFATO DE AMONIO

## II.b.2. UNIDAD INDUSTRIAL QUERÉTARO

Localización.- La Unidad Industrial Querétaro se encuentra localizada en el Estado de Querétaro, Municipio del mismo nombre en el kilómetro 5.5 de la carretera que va de la capital del Estado a la población de Tlacote el Bajo.

Actualmente la Unidad cuenta con las siguientes plantas y capacidades:

PLANTA	CAPACIDAD INSTALADA T.M.A.
Acido sulfúrico I	200,000
Acido sulfúrico II	660,000
Sulfato de amonio I	200,000
Sulfato de amonio II	200,000
Sulfato de amonio III	200,000
Superfosfato simple	300,000
TOTAL	1'760,000

La producción de la Unidad Querétaro se puede dividir en dos grupos: intermedios y finales, como se muestra a continuación

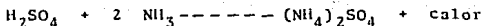
PRODUCTOS INTERMEDIOS:	PRODUCTOS FINALES:
Acido Sulfúrico	Sulfato de Amonio
	Superfosfato simple de calcio

### a).- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

a.1 Proceso CHEMICAL CONSTRUCTION CORP para el sulfato de amonio, se aplica en las tres plantas.

El sulfato de amonio se produce por reacción entre el ácido sulfúrico y amoníaco vaporizado, con desprendimiento de calor, se-

gún la siguiente reacción:



La reacción se efectúa en un reactor-cristalizador al vacío, el que es alimentado por las materias primas en un flujo continuo.

El amoníaco se introduce por medio de un inyector y se combina con el ácido sulfúrico formando el sulfato de amonio, que cristaliza por sobresaturación de la solución.

El calor de la reacción se disipa por desprendimiento de vapor, que se extrae junto con los gases incondensables, por un sistema de vacío tipo condensador-eyector de vapor.

El magma formado por la solución y cristales se mantiene en recirculación, de tal manera que sólo los cristales de mayor tamaño se sedimentan en el fondo del reactor, de donde son extraídos para su posterior separación.

La separación de la solución-cristales se realiza en una centrifuga.

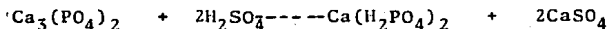
La parte líquida se revierte al reactor y los cristales se secan y se enfrían antes de ser enviados al almacén a granel.

El sulfato de amonio se utiliza como fuente de nitrógeno en los cultivos de maíz, trigo y sorgo.

La planta de sulfato de amonio es operada por cuatro técnicos y veintidós trabajadores.

a.2. Proceso SUPER FLO SACKETT para el superfosfato simple de calcio.

El proceso utilizado en la reacción es el Sackett "Super Flo", el equipo complementario fue diseñado por Pedone Engineering, Inc. El superfosfato simple se obtiene a partir de la roca fosfórica y ácido sulfúrico, de acuerdo con la siguiente reacción:



En la Unidad se recibe la roca fosfórica en góndolas y furgones de ferrocarril, que se descargan mecánicamente en un almacén de 20,000 T.M., de capacidad.

La roca es pulverizada en un molino de rodillos "Raymond" hasta un tamaño tal que 85% del material pasa la malla 200, antes de hacerla reaccionar con ácido sulfúrico.

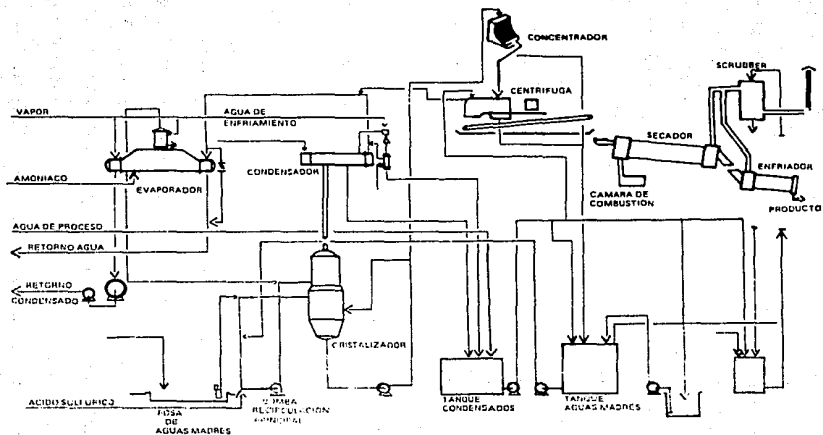
La roca pulverizada es llevada a una máquina pesadora continua conectada a un embudo "TVA" para su acidulación primaria con un flujo medido de ácido sulfúrico previamente diluido a 70% y calentado a 60°C. El lodo así formado pasa a una máquina mezcladora en donde es sometido a la acidulación secundaria.

Después de llegar al mezclador, la corriente acidulada, que para entonces ya tiene una buena consistencia, es descargada a una banda solidificadora colocada abajo del mezclador.

Los gases emanados son extraídos por un eyector-lavador que los purifica antes de ser descargados en la atmósfera.

En la banda solidificadora, la masa se endurece durante su lento movimiento hacia el cortador. El cortador es una máquina gi.

UNIDAD INDUSTRIAL QUERETARO



Fuente: Revista "Fertilizantes Mexicanos S.A."  
 Gerencia General de Operación Industrial 1980

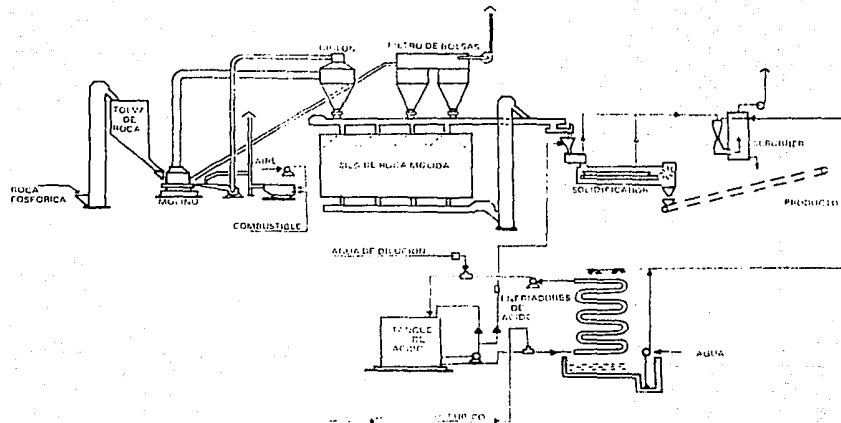
PLANTA DE SULFATO DE AMONIO

ratoria con aspas y dientes endurecidos reemplazables, que corta la masa endurecida.

El material cortado es transportado al almacén para su curado posterior.

El tiempo que tardan en efectuarse las reacciones químicas que se inician en el mezclador y cortador y continúan durante el almacenamiento a granel, se designa "cura" o fraguada. Esta fase puede tardar de 21 a 30 días, antes de que el superfosfato pueda ser envasado para su envío al campo. (Ref. II.2 y II.14).

UNIDAD INDUSTRIAL QUERETARO



fuente: revista "Fertilizantes Químicos",  
 oficina general de asesoría técnica

PLANTA DE SUPERFOSFATO SIMPLE

### II.b.3 UNIDAD INDUSTRIAL CAMARGO.

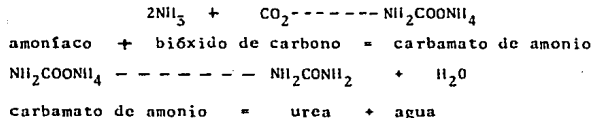
Localización.- La Unidad Industrial Camargo se halla en el Estado de Chihuahua, Municipio de Camargo, cercana a la carretera Panamericana, a la altura del kilómetro 1504. Ocupa una superficie aproximada de 152 hectáreas.

La Unidad está constituida por la planta de urea, con todos los servicios e instalaciones necesarias para una operación eficiente. Su capacidad de diseño es de 75,000 T.M.A.

#### a).- DESCRIPCION DEL PROCESO

Proceso Toyo Koatsu de reciclaje total para la producción de urea.

El proceso utiliza amoníaco anhídrido líquido y dióxido de carbono, que reacciona a alta presión y temperatura (225 Kg/cm<sup>2</sup> y 190°C) para producir carbamato de amonio que parcialmente se deshidrata y se convierte en urea. Las reacciones en este proceso son:



De las reacciones de síntesis se obtiene una mezcla formada por urea, carbamato de amonio, agua y un exceso de amoníaco.

Los pasos siguientes en el proceso serán encaminados a separar la urea del resto de los productos, a la recuperación de éstos y por último, a concentrar la solución acuosa de urea y a la formación de los perdigones.

Las dos primeras operaciones se llevan a cabo en las secciones



de descomposición y recuperación.

La solución que sale del reactor a  $225 \text{ Kg/cm}^2$  se pasa por una serie de tres equipos denominados descompositor primario, descompositor secundario y separador de gases. Estos tres equipos son en construcción y funcionamiento, completamente similares; en ellos se reduce la presión de la solución a 17.2 y 0.3  $\text{Kg/cm}^2$ . respectivamente: esto, aunado a un precalentamiento de la solución, hace que el carbamato de amonio se descomponga en amoniaco y bióxido de carbono.

Estos gases salen por la parte superior del equipo y son recuperados por el enfirador de alta presión, enfriador de baja presión y condensador de gases, respectivamente, en los cuales dichos gases son enfriados y se forma carbamato de amonio, que es nuevamente alimentado al reactor.

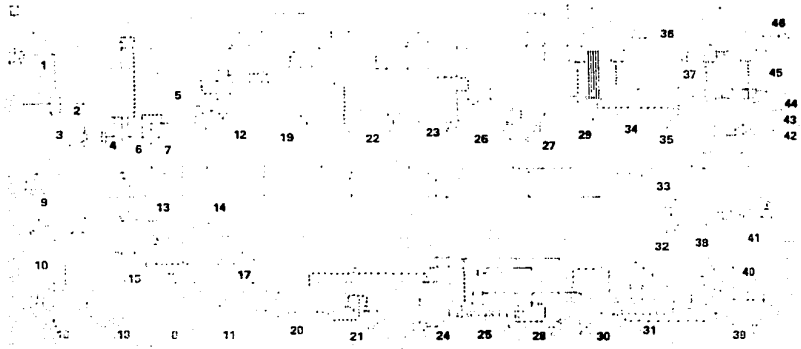
La solución que sale del último equipo de la sección de descomposición, o sea del separador de gases, consiste en una solución acuosa de urea con una concentración aproximada de 70%, que se envía a la sección de evaporación, la cual consta de un concentrador y un evaporador, equipos similares tanto en construcción como en la función que desempeñan. Aquí la solución es concentrada de tal manera que a la salida del evaporador se tiene un producto que consiste en 90% de urea. 0.8% de biuret y 0.2% de agua. Esta urea pasa a unas duchas que se encuentran en la parte inferior de la torre de aperdigonar en un colector en el que los perdigones de urea son enfriados por medio de aire en una cama fluidizada. De aquí la urea es enviada al almacén de producto terminado y por último se procede a su envasado. (Ref. II.3) .

UNIDAD INDUSTRIAL CAMARGO

FUENTE:

Revista "Fertilizantes  
Mexicanos S.A."  
Gerencia General de Operación  
Industrial 1980

- |                                    |   |                                       |
|------------------------------------|---|---------------------------------------|
| (1) COMPRESORES AIRE PROCESO       | (17) ENFRIADOR MEZCLADOR                | (33) COLECTOR UREA APERDIGONADA       |
| (2) SEPARADOR HUMEDAD              | (18) BOMBAS REFUERZO AMONIACO           | (34) CALENTADOR AIRE CONCENTRADOR     |
| (3) COMPRESOR CO <sub>2</sub>      | (19) DESCOMPOSITOR BAJA PRESION         | (35) BOMBA ALIMENTACION AL EVAPORADOR |
| (4) SEPARADOR DE ACEITE            | (20) ENFRIADOR ALTA PRESION             | (36) SOPLOADOR AIRE CONCENTRADOR      |
| (5) TANQUE CONDENSADO ALTA PRESION | (21) BOMBAS CIRCULACION CARBAMATO       | (37) EVAPORADOR                       |
| (6) REACTOR                        | (22) SEPARADOR GASES                    | (38) TORRE APERDIGONAR                |
| (7) PRECALENTADOR DE AMONIACO      | (23) BOMBA ALIMENTACION AL CONCENTRADOR | (39) BOMBAS RETORNO CONDENSADO        |
| (8) BOMBAS AMONIACO                | (24) BOMBAS SOLUCION RECUPERADA         | (40) TANQUE CONDENSADO BAJA PRESION   |
| (9) BOMBA CONDENSADO               | (25) ENFRIADOR BAJA PRESION             | (41) BASCULA                          |
| (10) PURGADOR INERTES              | (26) TANQUE COLCHON UREA                | (42) REGADERAS TANQUE CABEZA          |
| (11) ABSORBEDOR                    | (27) BOMBA TANQUE COLCHON UREA          | (43) TANQUE CABEZA                    |
| (12) DESCOMPOSITOR ALTA PRESION    | (28) BOMBA ABSORBENTE ALTA PRESION      | (44) COLADOR                          |
| (13) ENFRIADOR SOLUCION AMONIACA   | (29) CONCENTRADOR                       | (45) CALENTADOR AIRE EVAPORADOR       |
| (14) SEPARADOR DE LIQUIDO          | (30) BOMBA ABSORBENTE BAJA PRESION      | (46) SOPLOADOR AIRE EVAPORADOR        |
| (15) CONDENSADOR AMONIACO          | (31) CONDENSADOR GAS                    |                                       |
| (16) RECIPIENTE AMONIACO           | (32) SOPLOADOR TORRE APERDIGONAR        |                                       |



PLANTA DE UREA

#### II.b.4 UNIDAD INDUSTRIAL MINATITLAN.

Localización.- La Unidad está situada a 5 km. de Minatitlán, estado de Veracruz y aproximadamente a 20 kilómetros del puerto de Coatzacoalcos. Ocupa un área de 35.7 hectáreas y está adyacente a las instalaciones del complejo petroquímico Cosoleacaque de Pémex.

Actualmente la Unidad cuenta con las siguientes plantas y capacidades:

PLANTA	CAPACIDAD INSTALADA T.M.A.
Acido fosfórico	39,600
Acido nítrico No. 1	50,000
Acido nítrico No. 2	50,000
Solución de nitrato de amonio	127,000
Acido sulfúrico No. 1	55,000
Acido sulfúrico No. 2	55,000
Acido sulfúrico No. 3	330,000
Nitrato de amonio (33.5%N)	100,000
Urea No. 1	54,500
Urea No. 2	247,500
Complejos NPK	140,000

Los productos que se elaboran en la Unidad se dividen en dos grupos que son:

#### PRODUCTOS INTERMEDIOS:

Acido nítrico  
Solución de nitrato de amonio  
Acido sulfúrico  
Acido fosfórico

#### PRODUCTOS FINALES:

Nitrato de amonio (33.5%)  
Urea (46%N)  
Fórmulas complejas NPK

#### a).- DESCRIPCION DEL PROCESO

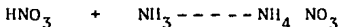
- a.1. Proceso PRILLING de la Canada Development LTD para la solución de nitrato de amonio y nitrato de amonio

granulado.

Este proceso está basado en la neutralización de ácido nítrico con amoníaco vaporizado a presión atmosférica. El proceso por su naturaleza se divide en extremo húmedo y extremo seco, llevando a cabo en el primero la neutralización, concentración y solidificación; la neutralización en tanques verticales, la concentración en evaporadores tipo película y la solidificación en la torre de prilado a contra corriente con aire. En el extremo seco se enfría, se clasifica y se recubre con tierra diatomácea.

Tanto el enfriamiento como el recubrimiento se llevan a cabo en tambores rotatorios. El producto sale con un contenido de 33.5% de nitrógeno.

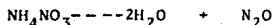
La neutralización del ácido de 54% de concentración se lleva a cabo con amoníaco vaporizado que proviene de amoníaco líquido de tanques o bien de gases de cola provenientes de la planta de urea con un contenido de amoníaco del 30%.



La reacción es exotérmica con un desprendimiento de calor de 12.3 Kcal.

Los flujos de los reactivos se controlan tomando en cuenta el pH de neutralización del nitrato (3.5), ésto se explica por el hecho de ser una reacción entre un ácido fuerte y una base débil, de aquí que si se tiene un pH superior al de neutraliza-

ción, el exceso de amoníaco que se está inyectando se desperdicia, mientras que si el pH es inferior a (3.5) la solución tendrá un exceso de ácido que puede implicar serios problemas, ya que en soluciones ácidas y a temperaturas superiores a 200°C el nitrato de amonio se descompone:



Sin embargo, ésta no se considera peligrosa. Otra reacción que puede llevarse a cabo es:



Esta es muy violenta y puede resultar en una explosión.

La presencia de cloruros es también un factor que debe tenerse en cuenta principalmente, debido a la formación de cloratos; finalmente, el amoníaco usado debe estar libre de aceites.

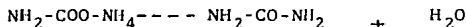
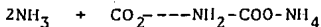
a.2. Proceso TOYO KOATSU para la producción de Urea.

La síntesis de la urea es llevada a cabo con reciclo y se desarrolla en las siguientes etapas:

- Síntesis de la urea
- Purificación de la urea y recuperación
- Concentración de la urea
- Prilado

Síntesis de la urea.- Esta se lleva a cabo en un reactor de acero tensado cubierto con una lámina de acero inoxidable tipo 316; el  $\text{CO}_2$  y el amoníaco se introducen a la presión de 250  $\text{kg/cm}^2$ ; la temperatura del reactor es de 190°C, la solución

de carbamato es recirculada por medio de una bomba de pistones; los efluentes de la reacción, compuestos de urea, carbamato y agua son enviados a un separador en el cual se desprenden los gases que no reaccionaron ( $\text{CO}_2$  y  $\text{NH}_3$ ). Se envía al fondo de la columna de absorción la solución de urea, carbamato de amonio y  $\text{H}_2\text{O}$  producto de la reacción.



La solución se envía a la siguiente etapa, derivando una parte a formar la solución absorbente para la columna de absorción, a la que se le mezcla también amoníaco.

Purificación de la urea y recuperación.- La solución entra al primer descompositor, en el cual se descompone el carbamato en urea y agua a una presión de 18  $\text{Kg/cm}^2$  y  $140^\circ\text{C}$ , usando vapor saturado de 15  $\text{Kg/cm}^2$ ; el  $\text{CO}_2$  y el  $\text{NH}_3$  desprendido van a la columna de absorción; la solución pasa al segundo descompositor, en el cual se desarrolla también la descomposición del carbamato que queda, usando vapor; los gases ( $\text{NH}_3$  y  $\text{CO}_2$ ) van a un pre-neutralizador de la planta de nitrato de amonio; la urea de 70% pasa al concentrador.

Los gases que llegan a la columna de absorción son absorbidos con la solución derivada del reactor y mezclada con amoníaco para rectificar el  $\text{CO}_2$ ; la solución de carbamato que sale del fondo de la columna se recicla al reactor y el amoníaco pasa a los

condensadores para su recuperación.

Inyección de aire.- La solución de urea es puesta en contacto con una corriente de aire y calor suficiente para vaporizar el agua, el aire es introducido por un soplador de baja presión.

Cristalización.- Se llevan a cabo en unos cristalizadores de hélice.

Secado.- Se lleva a cabo en un secador rotatorio saliendo el producto con concentración de 99.8%.

Prilado.- El prilado de la urea se lleva a efecto en una torre donde previamente se funde la urea y luego pasa a unas "regaderas" donde se distribuyen las gotitas que en contracorriente con aire frío se solidifican y enfrían.

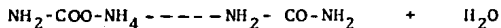
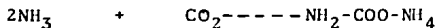
a.3. Proceso "SNAM PROGETTI" para la producción de urea. Está basado en el proceso de Stripping con amoníaco. La producción se realiza mediante cuatro operaciones fundamentales que son las siguientes:

- Síntesis de la urea y recuperación a alta presión.
- Purificación de la urea y recuperación a baja presión.
- Concentración de la urea
- Prilado de la urea.

Síntesis de la urea y recuperación a alta presión.- La urea es producida por síntesis a partir del amoníaco líquido y anhídrido carbónico gaseoso, llevándose a cabo la reacción en un reactor a una temperatura de 180-185°C y presión de 140-150 atmósferas. La mayor parte del CO<sub>2</sub> entra al reactor mientras que

otra cantidad es desviada a mezclarse con los efluentes gaseosos del "stripper" y conducidos a los condensadores de carbamato.

El amoníaco de reacción se bombea a 235 atmósferas y sirve de fluido motor en un eyector para introducir al reactor el carbamato procedente de los condensadores; así, la mezcla  $\text{NH}_3$ -carbamato llega a la presión del reactor.



Las reacciones son reversibles pasando a través de un compuesto intermedio (carbamato de amonio); la primera reacción es exotérmica y la segunda (formación de urea partiendo de carbamato) es endotérmica.

De la cabeza del reactor sale un efluente líquido que está compuesto de urea-carbamato-amoníaco-agua. Ese efluente entra en el stripper (cambiador de calor). El calor de descomposición está suministrado por vapor saturado a 26 atmósferas. El  $\text{CO}_2$  que se libera durante la descomposición es "strippado" por un flujo de amoníaco gaseoso.

La operación de "stripping" sucede en el cambiador de película que opera a la misma presión del reactor, en el cual se realiza la contracorriente entre el amoníaco del stripping y la solución. Como se dijo, los efluentes gaseosos del stripper ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ) e inertes, junto con el  $\text{CO}_2$  desviado del reactor se



unen a la solución del carbamato de reciclo que proviene de la columna de absorción, donde reaccionan formando carbamato de amonio, en los condensadores; este carbamato es alimentado al reactor a través del inyector.

De la cabeza del segundo condensador se descargan los incondensables constituidos por gases inertes que contienen el amoníaco y el anhídrido carbónico no reaccionados en los condensadores y que serán recuperados en la columna de absorción.

Durante el ciclo de reacción, solamente una parte de los reactivos se transforma en urea; por lo tanto, el  $\text{CO}_2$  y el  $\text{NH}_3$  ligados con carbamato deben ser recuperados y reciclados.

Purificación de la urea y recuperación a baja presión.- La purificación de la urea se efectúa en tres etapas, operando sucesivamente a presiones decrecientes: Primera etapa a presión de 18 atmósferas. Segunda etapa a presión de 4.5 atmósferas. Tercera etapa a presión de 0.8 atmósferas.

Los cambiadores en que sucede la purificación se llaman descompositores porque en ellos sucede la descomposición en  $\text{CO}_2$  y en  $\text{NH}_3$  del carbamato residual.

Los gases ricos en  $\text{NH}_3$  y  $\text{CO}_2$  que salen de los descompositores son enviados a una columna para la recuperación con carbamato proveniente de la sección de recuperación, en donde es absorbido casi totalmente el  $\text{CO}_2$ , mientras la fase gaseosa que sube del baño está constituida por una corriente de inertes saturados de  $\text{NH}_3$  y  $\text{CO}_2$ .

El amoníaco que sale con los inertes de la columna es condensado en un refrigerante y los inertes descargados a la atmósfera. La solución que sale del fondo del segundo descompositor es expansionada a la presión de 0.8 atmósferas y entra en el tercer descompositor alimentado con vapor a 3.5 atmósferas.

La fase mixta que sale del descompositor entra al separador, en el cual se separa la parte gaseosa de la fase líquida que tiene una concentración de urea de 76%, que prosigue para la sección de concentración.

A la tercera etapa de depuración sigue la etapa de recuperación de los efluentes gaseosos que contienen  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$  y los inertes. Estos gases son enfriados lo más posible en el condensador, del que sale una fase líquida y una fase gaseosa conteniendo todavía amoníaco.

La fase líquida y la fase gaseosa entran separadamente en otra columna de absorción. La columna tiene la función de recuperar totalmente el amoníaco contenido en el gas y la absorción se hace recirculando, por medio de la bomba centrífuga, la misma solución del fondo oportunamente enfriada en un cambiador de calor unido al ciclo frigorífico.

Los gases inertes se extraen de la cabeza de la columna mediante un eyector.

Una parte de la solución débil de carbamato mediante una bomba centrífuga, es enviada a la presión de 4.5 atmósferas al condensador del carbamato para seguir el reciclo de recuperación

de la sección precedente.

Concentración de la urea.- Para poder prilar la urea, es necesario concentrar la solución hasta el 99.8%; ésto se obtiene en dos etapas de concentración bajo vacfo.

La solución al 76% que sale del último descompositor es envia da mediante una bomba a un filtro y pasa al primer concentrador bajo vacfo a 0.3 atmósferas; el calor es suministrado con vapor a 5.5 atmósferas. La fase mixta entra en el secador des de el cual los gases son extraídos por un grupo de vacfo.

La solución pasa para el segundo concentrador, que opera a 0.03 atmósferas; también se usa vapor de 5.5 atmósferas. La urea fundida está lista para ser prilada.

Prilado de la urea.- La urea fundida se bombea a una canasta rotativa; la urea que sale de la canasta en forma de gotas cae a lo largo de la torre de prilado en contra corriente de aire frío que provoca la solificación.

La urea sólida es transportada por una cinta de caucho y envia da al almacén.

#### a.4. Proceso "PEC" de la firma Potase et Engrais Chimiques para la producción de complejos NPK.

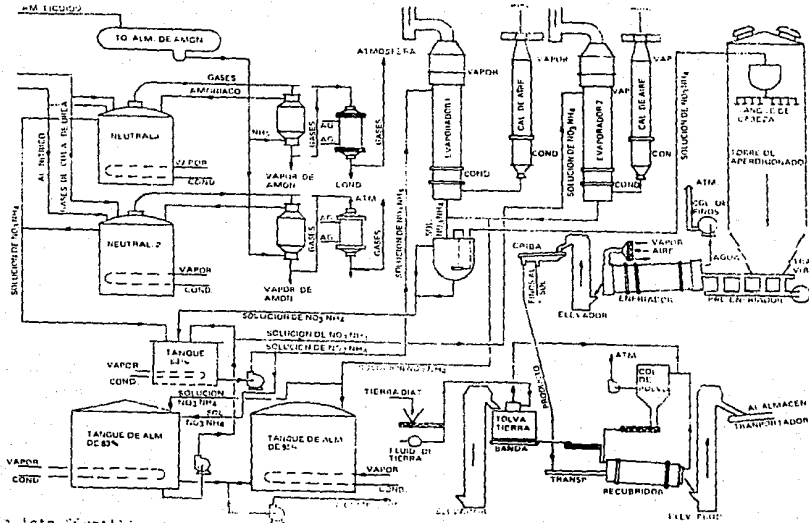
Esta planta es muy versátil, ya que se pueden elaborar fórmulas utilizando ácido nítrico para el ataque de la roca fosfórica, ácido sulfúrico, amonfaco, así como sales de potasio, o bien usando ácido fosfórico, amonfaco y sales de potasio, así

como urea y solución de nitrato de amonio. Actualmente las formulaciones se llevan a cabo utilizando como fuente de aportación de fósforo el ácido fosfórico grado mercantil; principalmente se elaboran las siguientes: (18-9-19), (18-46-0), (17-17-17), (15-30-15), (15-15-23) y (25-25-0).

La planta está dividida en dos secciones: extremo húmedo y extremo seco; el primero está formado por 16 reactores que operan en serie y en los que tiene lugar la formación de una pasta con un porcentaje de nutrientes deseado; las formulaciones se llevan a cabo mediante la alimentación de reactantes para formar fosfatos diamónicos y sulfato de amonio, complementándose cuando se requiere con solución de nitrato de urea, así como sales de potasio (cloruro o sulfato).

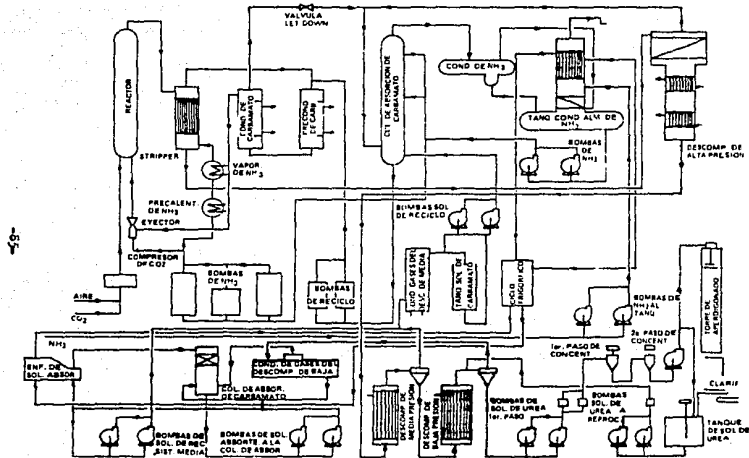
El segundo paso o sea el extremo seco está formado principalmente por dos esferodizadores, dos cribas clasificadoras, un enfriador rotatorio y un recubridor. La pasta obtenida en la reacción se atomiza sobre una cortina de producto fino dentro del esferizador, que es un granulador secador, con corrientes paralelas de gases calientes y producto. El producto granulado se clasifica en las cribas que retornan el producto fino al esferodizador y los gruesos a los molinos; el producto de tamaño adecuado se enfría y se recubre con tierra diatomácea para ser enviado al almacén. (Ref. II.4).

UNIDAD INDUSTRIAL MINATITLAN



PLANTA DE NITRATO DE AMONIO

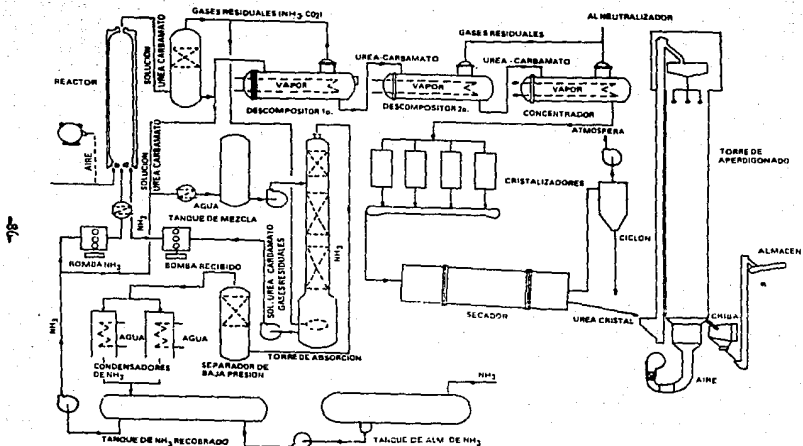
UNIDAD INDUSTRIAL MINATITLAN



FUENTE: Revista "Fertilizantes" editada S.A.  
 Gerencia General de Operación Industrial 1980

PLANTA DE UREA I

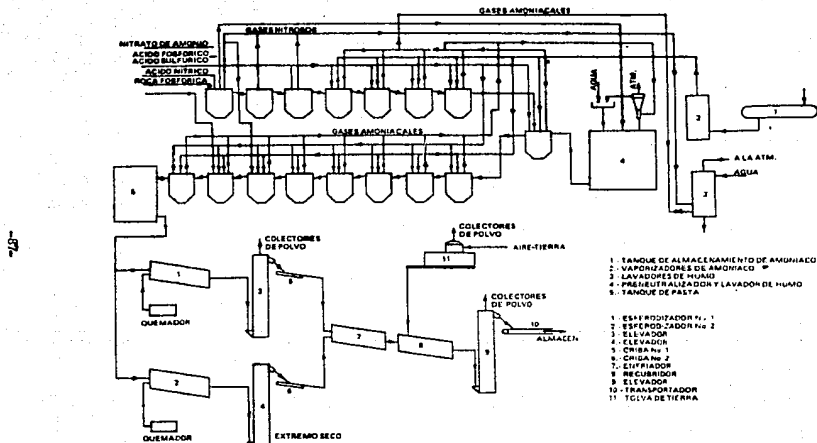
UNIDAD INDUSTRIAL MINATITLAN



FUENTE: Revista Fertilizantes Mexicanos S.A.  
Gerencia General de Operación Industrial 1970

PLANTA DE UREA II

UNIDAD INDUSTRIAL MINATITLAN



Fuente: (Revista Fertilizantes Mexicanos S.A. Gerencia General de Operación Industrial 1980

PLANTA DE COMPLEJOS



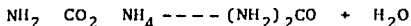
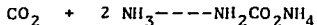
## II.b. 5 UNIDAD INDUSTRIAL BAJIO

Localización.- La Unidad Bajío se encuentra a 6 kms. aproximadamente de Salamanca, en la llamada ruta de la independencia y ocupando una superficie de alrededor de 32 hectáreas, con acceso directo a la carretera Panamericana.

### a).- DESCRIPCION DEL PROCESO

a.1. Proceso LONZA LUMMUS para la fabricación de urea. Este proceso comenzó a utilizarse como "proceso de recirculación" en 1944, en la Planta Lonza en Viep, Suiza y se divide en tres partes:

I.- Síntesis. Incluye conversión de amoníaco y anhídrido carbónico a urea y purificación de la solución de urea.



2.- Recuperación de gases no convertidos. Incluye la separación de amoníaco y anhídrido carbónico y la recirculación de los subproductos no convertidos a la etapa de síntesis.

3.- Terminación. Incluye la concentración de la solución pura de urea y la preparación del producto final en forma aperdigonada.

I. Síntesis. El amoníaco líquido y el anhídrido carbónico se reciben de PEMEX a través de tuberías; una vez dentro de la planta se comprimen hasta una presión de  $250 \text{ kg/cm}^2$  y se introducen al reactor, manteniendo una proporción de amoníaco-

CO<sub>2</sub> de 4.5 a 1.

La mezcla existente en la parte superior del reactor está compuesta de un exceso de amoníaco, carbamato de amonio sin reaccionar, agua y urea, la cual se pasa a purificación. Este proceso utiliza un sistema de purificación en tres etapas para producir una solución de urea casi pura. Un análisis típico de esta solución muestra alrededor de 0.15% de amoníaco y menos de 0.2% de carbamilurea o biuret.

La primera etapa de purificación consiste en la disminución de la presión de 15 kg/cm<sup>2</sup> y el calentamiento del residuo para descomponer el carbamato de amonio. Al reducirse la presión, la mayor parte del exceso de amoníaco se evapora al mismo tiempo que se descompone gran parte del carbamato que no ha reaccionado. La segunda etapa consiste en el paso de la solución de urea desde el primero al segundo tanque de descomposición, donde es mantenida a una presión de cerca de 1kg/cm<sup>2</sup>. El calor descompone la pequeña cantidad de carbamato de amonio, que no reaccionó en el primer tanque. La tercera etapa consiste en enfriar la solución de urea y evaporar todo el amoníaco presente en ella, al punto de reducir su concentración a simples trazas. Esta etapa se efectúa al vacío en el tercer tanque de descomposición.

2. Recuperación. Todos los gases de desecho son lavados antes de descargarlos a la atmósfera. La solución de amoníaco resultante es usada en el sistema de absorción, para recuperar el

amoníaco desprendido en el primer tanque de descomposición. Todo el anhídrido carbónico no reaccionante existente en los gases de desecho, es absorbido por una solución de amoníaco y agua en la torre de absorción primaria, en donde el anhídrido carbónico reacciona formando carbamato de amonio. Este último es rebombeado al reactor en forma de solución. Las condiciones de operación de la torre de absorción primaria son cuidadosamente controladas para reducir al mínimo la recirculación de agua. Los vapores desprendidos en la primera torre de absorción consisten prácticamente en amoníaco puro. Estos vapores son condensados, mezclados con amoníaco puro y bombeados al reactor. Los vapores de baja presión desprendidos en el segundo tanque de descomposición son también absorbidos por una solución amoniacal en la torre de absorción secundaria.

Los vapores desprendidos en el descompositor a vacío contienen gran cantidad de agua y es posible condensarlos directamente. La solución diluida de la torre de vacío pasa a la torre de absorción secundaria, que actúa como un medio absorbente de los gases desprendidos en el segundo tanque de descomposición. La solución obtenida en la torre de absorción secundaria es recirculada al primer tanque de descomposición.

3. Terminación. En esta etapa, la solución de urea es clasificada para eliminar vestigios de aceite o sustancias insolubles. La solución clasificada es concentrada en un evaporador de do-

ble efecto hasta que el contenido de urea resulte superior al 99.5%. La urea fundida es distribuida en forma de gotitas por medio de un canasto rotatorio, colocado en la parte superior de la torre granuladora. El producto del granulador es enfriado a temperatura apropiada para su almacenaje, luego tamizado para quitar finos y residuos y finalmente transportado al depósito de urea. Los finos y residuos son disueltos en agua y retornados al evaporador.

#### a.2. Proceso STAMICARBON para producción de urea

Para su descripción se divide en 6 etapas:

ETAPA DE COMPRESION. El bióxido de carbono proporcionado por Pémex es adicionado con una pequeña cantidad de aire para minimizar la corrosión, principalmente en la etapa de síntesis. El amoníaco líquido es tomado de la esfera de almacenamiento por bombas recíprocantes que elevan su presión a  $185 \text{ kg/cm}^2$  y se descarga a la etapa de síntesis.

ETAPA DE SINTESIS. La característica más importante de este proceso es que casi la totalidad del amoníaco y  $\text{CO}_2$  sin convertir son separados de la solución de urea producida a la misma alta presión del reactor. De esta manera, la mayor parte del  $\text{CO}_2$  y del amoníaco sin convertir es reciclada al reactor sin necesidad de utilizar bombas. La urea es producida por síntesis, a partir del amoníaco y anhídrido carbónico, llevándose a cabo la reacción en un reactor a  $140 \text{ kg/cm}^2$  y  $180^\circ\text{C}.$ , en el reactor la corriente de alimentación es inducida a fluir en

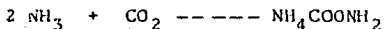
forma de película descendente, por las paredes internas de los tubos verticales.

El  $\text{CO}_2$  y el aire entran por el fondo del reactor, separándose el  $\text{NH}_3$  conforme el  $\text{CO}_2$  asciende por los tubos, en contracorriente con el flujo que desciende de solución de urea. A medida que el  $\text{NH}_3$  se separa de la solución de urea, el carbamato de amonio se descompone generando  $\text{NH}_3$  y  $\text{CO}_2$  para reemplazar el  $\text{NH}_3$  eliminado.

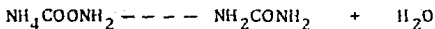
A medida que el  $\text{NH}_3$  se separa de la solución de urea, el carbamato de amonio se descompone generando  $\text{NH}_3$  y  $\text{CO}_2$  para reemplazar el  $\text{NH}_3$  eliminado. El calor utilizado en la descomposición del carbamato y vaporización del amoníaco es suministrado en la carcasa del cambiador de calor, generalmente a  $20 \text{ kg/cm}^2$ .

El calor utilizado en la deshidratación endotérmica del carbamato de amonio a urea dentro del reactor, es suministrado por el calor de condensación de los gases de alimentación del mismo.

La reacción de formación del carbamato es:



Conforme el carbamato asciende en el interior del reactor, se convierte parcialmente en urea, de acuerdo con la reacción:



El vapor residual, los gases de  $\text{NH}_3$  y  $\text{CO}_2$  que no reaccionaron, gases inertes y oxígeno, se separan del líquido en la parte

superior del reactor, el líquido que constituye el efluente principal del reactor, fluye por el interior del tubo de rebosado hasta salir por el fondo hacia el cambiador de calor (stripper), en donde se lleva a cabo la separación del carbamato de amonio y amoníaco de la solución de urea. El gas separado en el tope del reactor fluye hasta llegar a la parte superior del lavador de gases donde la mayor parte del  $\text{NH}_3$  y  $\text{CO}_2$  son absorbidas por la solución de carbamato de amonio reciclada mediante las bombas de carbamato de alta presión.

RECIRCULACION. La solución de urea fluye hacia el tope de una columna rectificadora, en la cual se produce la presión de síntesis a  $1.4 - 2.5 \text{ kg/cm}^2$ . En la parte superior se produce la expansión rápida de la solución (flash) por efecto de la reducción de presión, lo que provoca pérdida de agua en forma de vavor.

La solución de urea remanente es distribuida en una columna empacada, en la cual el  $\text{NH}_3$  y  $\text{CO}_2$  son separados del agua, para tener finalmente una solución con 75% de urea y 0.6% de  $\text{NH}_3$  aproximadamente, la cual se envía al tanque para almacenamiento de urea.

La solución de carbamato, junto con los vapores residuales que no se absorbieron, salen hacia la sección colectora de nivel del lavador de gases de ventoo, en el cual el vapor separado fluye hacia arriba pasando a través de una columna empacada, instalada en la parte superior del lavador. En la zona empa-

cada se absorbe el  $\text{NH}_3$  que lleva el vapor por medio de una solución diluída de carbamato de amonio, la cual se recircula en el lavador de gases, la solución recirculante se mantiene a  $45^\circ\text{C}$  para prevenir la cristalización del carbamato de amonio.

Esta solución se recicla al lavador de gases, por medio de las bombas de carbamato de alta presión, en esta torre, sustancialmente todo el  $\text{NH}_3$  se recupera en dos etapas de lavado. El gas lavado fluye hacia el tope del absorbedor para mandarse a la atmósfera. La solución de carbamato formado pasa al fondo del absorbedor, para de ahí ser enviado al condensador de carbamato y de éste se alimenta al lavador de gases, reciclándose finalmente el circuito de síntesis.

ETAPA DE EVAPORACION. La evaporación del agua que contiene la solución de urea del tanque de almacenamiento se efectúa en dos etapas de vacío. Primeramente la solución de urea se envía al fondo del evaporador primario y fluye en forma ascendente a través de los tubos verticales hasta llegar al separador del evaporador primario. La solución de urea, con 5% de agua residual, pasa a través de los tubos verticales del evaporador secundario hasta llegar al separador del evaporador secundario. La urea fundida, con menos del 0.3% de agua residual, fluye a la succión de la bomba de urea fundida, con la que se alimenta a la torre de aperdigonar.

ETAPA DE CONDENSADO. El condensado del proceso contiene amoníaco (en forma de carbamato) y urea y es tratado para reducir

ambos contaminantes antes de descargar el condensado como líquido. Con este sistema, el  $\text{NH}_3$  y  $\text{CO}_2$  son separados primeramente de la solución y reciclados al área de síntesis, al separarse el  $\text{NH}_3$  y  $\text{CO}_2$  la solución residual (agua y urea) caliente se alimenta al sistema lavador en la torre de aperdigonado donde se evapora el agua. La urea originalmente presente, más la recuperada en el lavado de aire que fluye en la torre de aperdigonar, se envía al tanque para almacenamiento de urea.

El condensado de proceso normalmente contiene cerca de 2% de  $\text{NH}_3$ .

ETAPA DE APERDIGONADO Y LAVADO EVAPORATIVO. La urea fundida, se alimenta a la canastilla de aperdigonamiento, en el tope de la torre de aperdigonar, la canastilla dispersa la urea fundida en pequeñas gotas que descienden por gravedad en el interior de la torre, las gotas forman perdigones durante la caída libre como resultado del calor removido por el aire que fluye en contracorriente. Los perdigones de urea son recolectados en el fondo de la torre de aperdigonar y de ahí se alimentan al transportador y se envían al almacén de urea a granel. Cuando la canastilla no esté en condiciones de servicio, la alimentación de urea fundida a la torre de aperdigonar se recirculará al tanque de almacenamiento de urea, que alimenta a la sección de evaporación. El aire que se calienta en la operación de aperdigonado es soplado hacia el fondo del lavador evaporativo instalado arriba de la torre de aperdigonar. En este dispositivo se usa una solu-



ción de urea para lavar al aire y quitarle el polvo de urca que lleva. Al mismo tiempo una cantidad de agua equivalente a condensado del proceso se vaporiza y se ventea con el aire.

a.3. Proceso CHEMICO para la producción de Sulfato de Amonio (2 plantas).

Este proceso consiste en hacer reaccionar ácido sulfúrico con amoníaco con agitación hasta formar una solución pastosa que contiene una cantidad considerable de cristales de sulfato de amonio. La solución se succiona por una bomba para hacerla pasar a través de una máquina centrifugadora, en donde se separan los cristales de la solución, la que regresará a la circulación principal y por consiguiente al cristizador.

La inyección de materias primas (amoníaco y  $H_2SO_4$ ) se realiza normalmente en la descarga de la bomba de recirculación principal, mecanismo que agita constantemente los reactantes y descarga en el fondo del cristizador o reactor.

Este proceso se realiza con dos variantes con el propósito de mejorar el proceso:

La inyección de amoníaco en una planta se realiza en fase gaseosa, a diferencia de la inyección que se hace en la otra planta la cual es en fase líquida. La operación es más eficiente en esta última. Las centrifugadoras (2) de la primera planta anteriormente mencionada son verticales a diferencia de la otra en la que es horizontal (Ref. II.5)

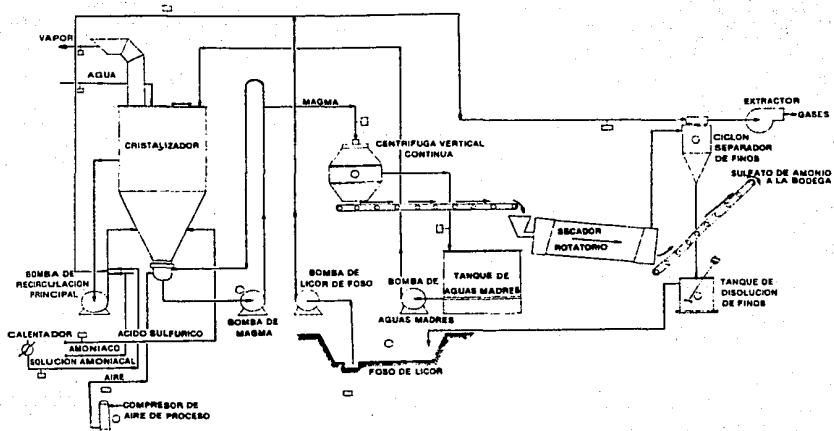
b) Diagramas de Flujo

1.-Proceso Lonza Lummus

2.-Proceso Stamicarbon

3.-Proceso Chemico (2 plantas)

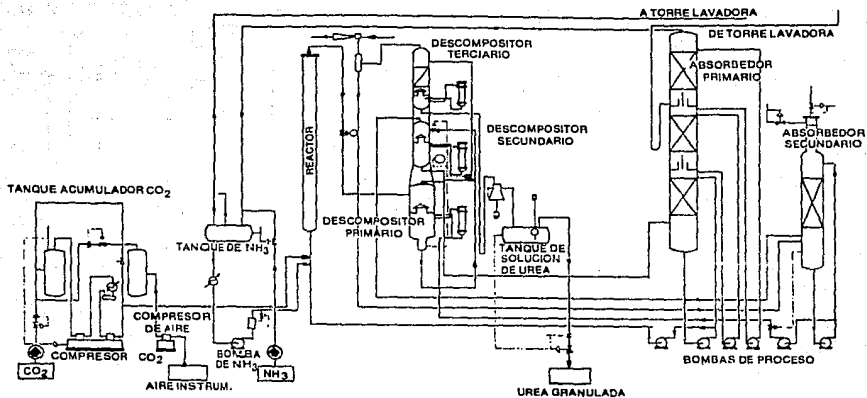
UNIDAD INDUSTRIAL BAJIO



FUENTE: Mexicana Fertilizantes Mexicanas S.A.,  
 Gerencia General de Operación Industrial 1980

PLANTA DE SULFATO DE AMONIO

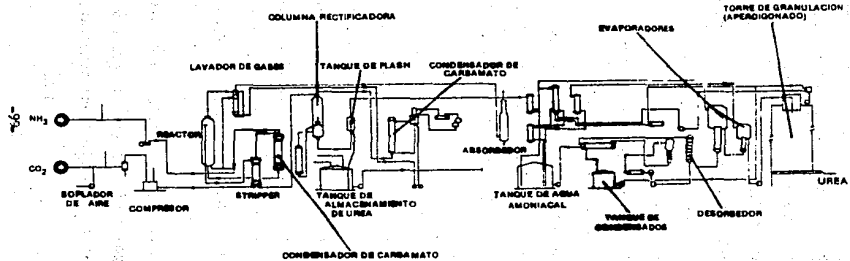
UNIDAD INDUSTRIAL BAJIO



FUENTE : Revista Fertilizantes Mexicanos S.A.  
 Gerencia General de Operación Industrial 1980

PLANTA DE UREA I

UNIDAD INDUSTRIAL BAJIO



FUENTE : Revista Fertilizantes Mexicanos S.A.  
Gerencia General de Operación Industrial 1980

PLANTA DE UREA II

## II.b. 6 UNIDAD INDUSTRIAL SAN LUIS POTOSI

Localización.- Esta Unidad se ubica en la ciudad de San Luis Potosí, estado del mismo nombre, en la parte norte, cercana al cruce de las carreteras México-Laredo, México-Ciudad Juárez, Tampico-Barra de Navidad. Ocupa una superficie aproximada de 4.4 hectáreas. Esta Unidad cuenta actualmente con una planta de superfosfato de calcio simple con una capacidad de 62500 tons. a).- DESCRIPCION DEL PROCESO

### a.1. Proceso de producción STURTEVANT para el superfosfato de calcio simple.

La roca fosfórica llega en forma granulosa, variando el tamaño desde polvo fino a gránulos de 1/2" y 3/4" de diámetro, que se envía a una criba que separa las partes finas de las gruesas. Los polvos los manda a un separador centrífugo en donde mediante una corriente de aire se clasifica el polvo fino del producto de mayor tamaño. Este y el grueso que se separó en la criba pasan al molino y de éste a un elevador donde se juntan con el producto que se está alimentando, para recomenzar el ciclo. El polvo fino, arrastrado por la corriente de aire, se separa y se envía a un silo para almacenarse. La corriente de aire se regula con el fin de obtener un producto fino que pase de 80-85% por malla No. 100.

El ácido sulfúrico que se recibe es de 98% de concentración. Se diluye con agua a 77% con gran desprendimiento de calor, por lo que es necesario enfriarlo a una temperatura de 55°C. aproxima-

damente. De aquí pasa a una segunda dilución donde se ajusta a 70% y a una temperatura de 60°C aproximadamente.

La roca fosfórica molida se envía a una báscula donde se pesa una cantidad predeterminada. El  $H_2SO_4$  de 70% también es pesado para conocer la cantidad necesaria que debe reaccionar formando una magna espesa que posteriormente se pasa a un depósito llamado DEN, que tiene forma de caja rectangular en donde se juntan 10 cargas pesadas, al DEN ya cargado y solidificado se le separan las paredes laterales y se levanta una compuerta en el lado frontal; la pared posterior y el piso están sobre un juego de ruedas a manera de carro que se hace levantar lentamente hacia un cortador rotatorio que lo desmorona, enviándose en esta forma a la bodega por medio de un elevador y un transportador de banda.

En la bodega se almacena durante un período de 30 días aproximadamente hasta su maduración, quedando listo para su distribución (Ref. II.6).

b) Diagrama de flujo

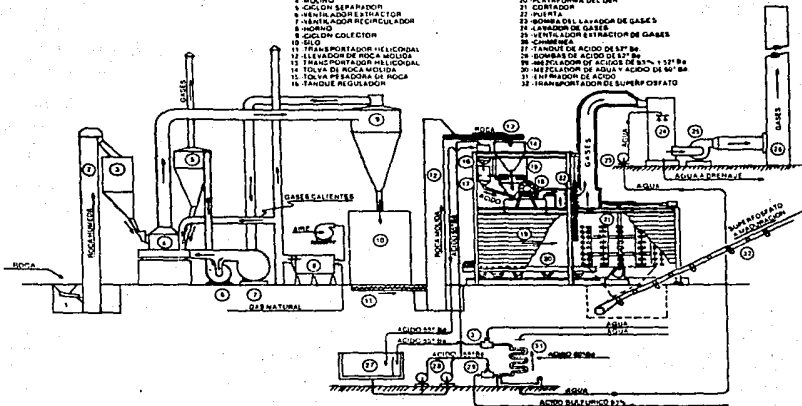
b.1) Proceso Sturtevant

UNIDAD INDUSTRIAL SAN LUIS POTOSI

— DESCRIPCIÓN —

- 1-ALIMENTADOR DE ROCA
- 2-ELEVADOR DE ROCA
- 3-TOIVA PARA ALIMENTACION DEL MOLINO
- 4-MOLINO
- 5-CALDON SEPARADOR
- 6-VENTILADOR EXTRACTOR
- 7-VENTILADOR RECIRCULADOR
- 8-MOTOR
- 9-CALDON COLECTOR
- 10-SILO
- 11-TRANSPORTADOR HELICOIDAL
- 12-ELEVADOR DE ROCA ACILIDA
- 13-TRANSPORTADOR HELICOIDAL
- 14-TOIVA DE ROCA MOLIDA
- 15-TOIVA PESADORA DE ROCA
- 16-TANQUE REGULADOR

- 17-TANQUE PERFORADOR DE ACIDO
- 18-MIXCLADOR
- 19-DEA
- 20-PLATEFORMA DEL DEA
- 21-CORTEADOR
- 22-PISTA
- 23-BOMBA DEL LAVADOR DE GASES
- 24-CARBON DE GASES
- 25-VENTILADOR EXTRACTOR DE GASES
- 26-CAMBIADOR
- 27-TANQUE DE ACIDO DE 50° BÉ
- 28-BOMBAS DE ACIDO DE 12° BÉ
- 29-ABECILLADOR DE ACIDOS DE 80° Y 130° BÉ
- 30-MIXCLADOR DE AGUA Y ACIDO DE 50° BÉ
- 31-DEFUMADOR DE ACIDO
- 32-TRANSPORTADOR DEL SUPERFOSFATO



FUENTE : Revista Fertilizantes Mexicanos S.A.  
 Gerencia General de Operación Industrial 1980

PLANTA DE SUPERFOSFATO DE CALCIO

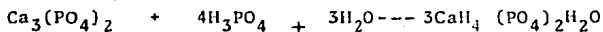
## II.b. 7 UNIDAD INDUSTRIAL PAJARITOS

Localización.- Esta Unidad se localiza en el municipio de Coatzacoalcos, Estado de Veracruz; km. 5 de la carretera Coatzacoalcos-Villahermosa. Esta Unidad cuenta con las plantas productoras de ácido sulfúrico (2), ácido fosfórico (2), superfosfato triple granulado (1) y ácido fosfórico grado técnico (1).

### a).- DESCRIPCION DEL PROCESO

#### a.1. Proceso DORR OLIVER para la producción de superfosfato triple granulado.

En este proceso, la reacción básica se realiza con ácido fosfórico proveniente del proceso húmedo, a una concentración aproximada de 40% de contenido de pentóxido de fósforo y la roca fosfórica. La reacción química es:



Fundamentalmente, se pretende obtener un compuesto de fósforo, fertilizante en polvo, con un contenido equimolar de ácido ortofosfórico y óxido de calcio que se llama comúnmente superfosfato triple granulado y que contiene un 46% de valor fertilizante en términos de pentóxido de fósforo disponible. El superfosfato se obtiene con roca fosfórica molida con una finura de 200 mallas, cuya partícula de esta característica sea un mínimo del 80%.

En el reactor se agrega el ácido fosfórico en cantidades suficientes para producir la relación necesaria de pentóxido de fósforo a óxido de calcio de 2.2 a 1. La cantidad neta de áci



do se determina fundamentalmente por la concentración del lodo obtenido, la cual se aproxima en un 40% de pentóxido de fósforo.

La reacción se efectúa con vapor directo para mantener la temperatura entre 82 y 93°C. El vapor empleado condensa y produce alguna dilución.

La reacción se completa en un segundo reactor, que actúa como tanque de residencia, principalmente para mantener cierta flexibilidad en la operación misma del proceso, particularmente en los granuladores que se utilizan para distribuir uniformemente el lodo obtenido, para evitar la formación de aglomerados húmedos.

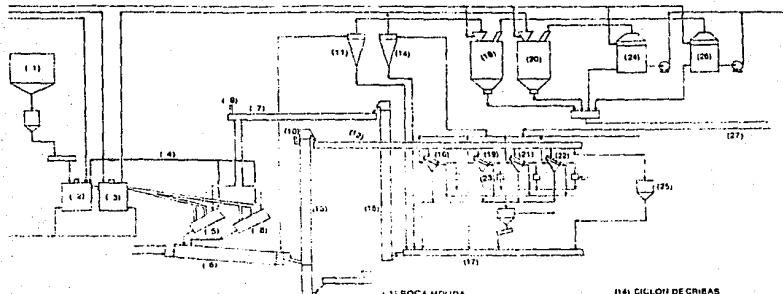
La masa húmeda se pasa a un secador para disminuir a un nivel entre 1.3 y 2.3%. La temperatura que adquiere el producto en el secador oscila entre 88 y 99°C. En realidad la reacción en tre la roca y el ácido se completa en el secador y la evolución de gases fluorados se produce en este punto, mezclado con el agua evaporada. Para el correcto secado final del producto y control de los gases fluorados, por lo que se tiene un sistema de ciclones para asegurar que la operación sea eficiente y sobre todo libre de polvo y de gases nocivos.

El producto se tamiza en un sistema especial de mallas dobles para asegurar el tamaño de partícula, las partículas fuera de especificación se descargan del tamiz superior y se envían a molinos de cadenas, el producto con tamaño de partícula menor del especificado se recircula al sistema para su reproceso.

(Ref. II.7)

b.1) Proceso Dorr Oliver

UNIDAD INDUSTRIAL PAJARITOS



FUENTE: Novista Fertilizantes Mexicanos S.A.  
 Dirección General de Operación Industrial  
 1980

- |   |   |
|---|---|
| (1) ROCA MOLIDA                             | (14) CICLÓN DE CRIBAS                   |
| (2) NO. REACTOR                             | (15) ELEVADOR DE RECICLO                |
| (3) REACTOR                                 | (16) CRIBA - A                          |
| (4) VANGUERA                                | (17) TRANSPORTADOR DE RECICLO           |
| (5) GRANULADOR                              | (18) PRIMER LAVADOR DEL SEGADOR         |
| (6) SECADOR                                 | (19) CRIBA - B                          |
| (7) TRANSPORTADOR DE RECICLO A GRANULADOR   | (20) PRIMER LAVADOR DE CRIBAS Y MOLINO  |
| (8) GRANULADOR                              | (21) CRIBA - C                          |
| (9) VENTILADOR                              | (22) CRIBA - D                          |
| (10) VENTILADOR                             | (23) MOLINOS                            |
| (11) CICLÓN DEL SECADOR                     | (24) 2º LAVADOR DE CRIBAS Y MOLINO      |
| (12) TRANSPORTADOR DE ALIMENTACION A CRIBAS | (25) 3º PASO DE RECICLO                 |
| (13) ELEVADOR DEL SECADOR                   | (26) 2º LAVADOR Y SECADOR               |
|   | (27) DE COLECCIONES DE POLVO            |
|   | (27) ELEVADOR Y TRANSPORTADOR DEL POLVO |

PLANTA DE SUPERFOSFATO TRIPLE GRANULADO

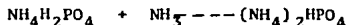
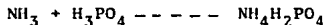
## II. b. 8 UNIDAD INDUSTRIAL COATZACOALCOS

Localización.- Esta Unidad se localiza en el Estado de Veracruz, municipio de Cosoleacaque y cuenta con una superficie aproximada de 650 hectáreas. La Unidad cuenta con cinco plantas, dos que producen productos intermedios y las otras productos terminados y son: ácido sulfúrico; ácido fosfórico (como  $P_2O_5$ ); fosfato de amonio y sulfato de amonio (2).

### a).- DESCRIPCION DEL PROCESO

a.1. Proceso DORR OLIVER para la producción de fosfato de amonio.

Originalmente fue diseñada por Dorr Oliver para producir 150 tmd de superfosfato simple y en 1969 se hicieron las modificaciones necesarias, también con ingeniería de dicha firma, para producir fosfato diamónico incrementándose la capacidad. Las reacciones químicas principales involucradas en la fabricación son:



La modificación de la planta principalmente involucró el sistema húmedo: equipo de neutralización, manejo de material líquido, y lavado de humos.

Básicamente el ácido fosfórico reacciona con amoníaco para producir una pasta de fosfato de amonio. La pasta se mezcla con gránulos de fertilizantes recirculados en el granulador, donde se agrega amoníaco suplementario. El fertilizante granulado

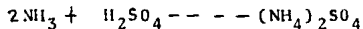
luego fluye al sistema de recirculación donde se seca y se criba. Una porción del material cribado seleccionado se saca continuamente como producto final y se envía a la bodega. Los gránulos finos se regresan al granulador y los gruesos se muelen y son también recirculados.

Cabe señalar que la neutralización del ácido fosfórico en el preneutralizador y granulador disipa una importante cantidad de calor que a su vez produce vapor. Los gases de venteo conteniendo vapor y amoníaco del preneutralizador y granulador se lavan con ácido en un lavador ciclónico. De manera similar, el vapor del secador y el polvo del sistema de recuperación de polvos se lavan en el lavador Doyle. El amoníaco recuperado y polvos se regresan al preneutralizador en la solución recuperada.

a.2. Proceso CHEMICO para la producción de sulfato de amonio (2 plantas).

Se cuenta con dos cristalizadores atmosféricos; uno de  $75\text{m}^3$  y otro de  $25\text{m}^3$ .

En estos cristalizadores se hace reaccionar ácido sulfúrico y amoníaco de acuerdo a la siguiente reacción:



Dichos cristalizadores donde se forma el sulfato de amonio se encuentran llenos con una solución sobresaturada del mismo con 50 a 60% de cristales. Esa solución se está circulando constantemente mediante bombeo.

El amoníaco y ácido sulfúrico introducidos se combinan entre sí para formar sulfato de amonio que sobresatura la solución, originando la formación constante de nuevos cristales.

Las condiciones en que se lleva a cabo la reacción y el tiempo que tardan en sedimentarse los cristales hasta llegar al fondo del cristalizador determina su forma y tamaño.

El calor generado en la reacción se disipa en forma de calor latente en el vapor que se desprende juntamente con el aire introducido para agitar.

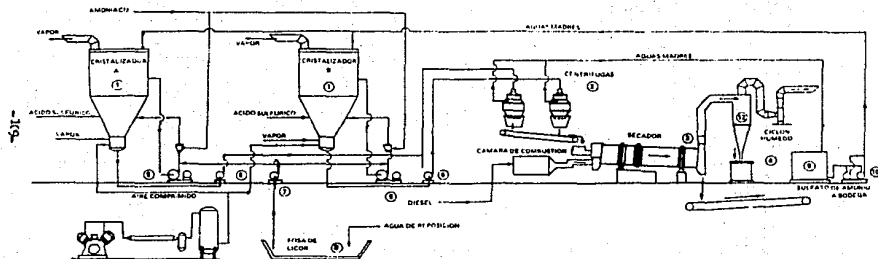
El magma, formado por cristales y aguas madres se extraen por el fondo del cristalizador a las centrifugas y en éstas se separan los cristales de las aguas madres. Las aguas madres van a un tanque de almacenamiento de donde se bombean para devolverlas al cristalizador. Los cristales que salen de la centrifuga pasan a un secador y de aquí se transportan a la bodega. (Ref. II.8).

b) diagrama de flujo

b.1 ) proceso Dorr Oliver

b.2 ) proceso Químico

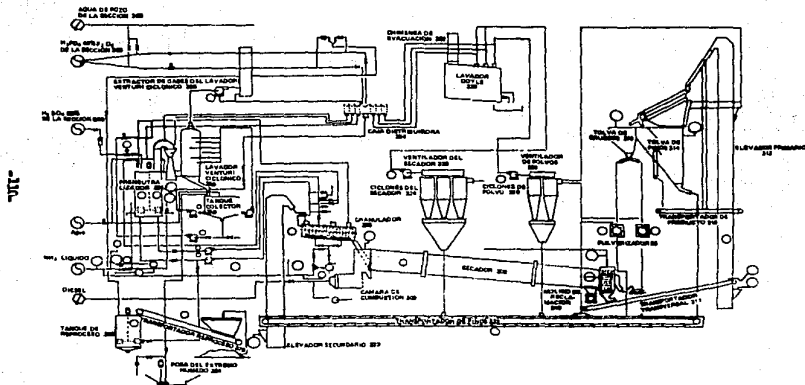
UNIDAD INDUSTRIAL COATZACOALCOS



FUENTE : Revista Fertilizantes Mexicanos S.A.  
 GERENCIA GENERAL DE OPERACION INDUSTRIAL 1960

PLANTA DE SULFATO DE AMONIO

UNIDAD INDUSTRIAL COATZACOALCOS



FUENTE : Revista Fertilizantes Mexicanos S.A.  
 Gerencia General de Operación Industrial 1980

PLANTA DE FOSFATO DE AMONIO

### 11. b. 9 UNIDAD INDUSTRIAL GUADALAJARA.

Localización.- La Unidad Industrial Guadalajara se localiza en el municipio de Tlaquepaque, perteneciente al Estado de Jalisco, ocupa una superficie aproximada de 200,000 m<sup>2</sup>.

La Unidad Guadalajara fue la tercera que se estableció (después de la de México y la de San Luis Potosí) enfocando sus actividades al beneficio de guano y a la fabricación de mezclas físicas, continuando con esas actividades hasta 1968 posteriormente dedicándose a la producción de fertilizantes químicos.

Esta Unidad inició sus operaciones con una planta de ácido sulfúrico de 135 toneladas al día, pero el 14 de mayo de 1968 arrancó la planta de sulfato de amonio y el 11 de septiembre de ese año se puso en operación la segunda de ácido sulfúrico de 300 toneladas al día. En junio de 1979 la planta de sulfato de amonio se amplió a un poco más del doble de su capacidad. La Unidad opera con tres plantas de ácido sulfúrico, dos plantas de sulfato de amonio, una planta de superfosfato simple o superfosfato triple; sus capacidades son:

PLANTA:	CAPACIDAD INSTALADA (TONS.)
Acido sulfúrico I	99,000
Acido sulfúrico II	44,550
Acido sulfúrico III	198,000
Sulfato de amonio I	128,700
Sulfato de amonio II	150,000
Superfosfato simple o	90,000
Superfosfato triple	40,000

Los productos que se elaboran en la Unidad se pueden dividir en intermedios, como el ácido sulfúrico; y finales siendo éstos

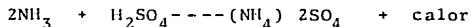


el superfosfato simple o triple y el sulfato de amonio.

a. Proceso de Producción de SULFATO DE AMONIO

Proceso Químico Construction. El sulfato de amonio se obtiene por reacción directa del ácido sulfúrico y del amoníaco líquido en los cristalizadores, los cuales tienen una sección cilíndrica vertical con una sección cónica inferior, pudiendo ser fabricados de acero al carbón con recubrimiento interno de acero inoxidable. Al cristalizador que originalmente contiene agua, se le va introduciendo ácido sulfúrico y amoníaco, con lo cual aumenta la concentración de sulfato de amonio en solución.

Al llegar al punto de saturación se inicia la formación de pequeños cristales que crecen en tamaño y proporción hasta llegar a constituir 60% de la solución, punto en el cual deben ser extraídos. La reacción efectuada es la siguiente:



Esta reacción es exotérmica y para disipar el calor se adiciona constantemente agua, que se evapora y se desaloja hacia la atmósfera a través de la chimenea del cristalizador.

El amoníaco se introduce por medio del inyector de amoníaco sobre la línea de descarga de la bomba de recirculación.

Para mantener una agitación conveniente dentro del cristalizador que propicia el crecimiento de los cristales se introduce también vapor y aire comprimido.

El magma de cristales, por medio de la bomba de magma se envía a la centrífuga, en donde se separan los cristales de las aguas

madres. Las aguas madres van al tanque de almacenamiento de éstas, de donde se bombean para devolverlas al cristalizador. Los cristales que salen de la centrífuga son conducidos por dos transportadores al secador, por donde pasan en paralelo una corriente de gases calientes originados en el horno alimentado con diesel.

Los gases que salen del secador entran en un ciclón separador, donde se colectan los finos arrastrados, enviándose al tanque de disolución de finos de donde son regresados disueltos en agua al foso de licor y de ahí al cristalizador.

El ventilador extractor situado a continuación del ciclón separador de polvos succiona y arroja los gases a la atmósfera. Los cristales que salen del secador caen al transportador de banda, que los lleva a la bodega de almacenamiento.

Proceso Struther Wells. Este proceso difiere del anteriormente descrito únicamente en el diseño del cristalizador, el cual consiste de dos cuerpos cilíndricos uno sobre otro y conectados por medio de una pierna barométrica. El vapor de agua producido por la disipación del calor de la reacción es condensado en el condensador, que envía el agua caliente a una torre de enfriamiento.

El magma de cristales es bombeado a las centrífugas integrándose de aquí en adelante con el resto de los equipos de la planta.

## b. Proceso de Producción de SUPERFOSFATO SIMPLE

Proceso Saint. Gobain. La roca fosfórica es alimentada al molino, en donde se ajusta su granulometría a una finura que permita una reacción eficiente con el ácido sulfúrico.

La roca fina es transportada neumáticamente al ciclón del molino y de ahí a la tolva de roca molida. El aire del ventilador antes de salir de la atmósfera, pasa por un filtro de bolsas que retiene y regresa los finos colectados a la tolva.

El aire es sacado a la atmósfera por el extractor, libre de finos, de la tolva de roca molida pasa por medio de un transportador-repartidor al elevador de roca fina y de éste al transportador-distribuidor, que la envía al dosificador.

De aquí se alimenta al mezclador roca/ácido, a este mezclador llega también ácido sulfúrico, medido en el dosificador de ácido concentrado, diluido en agua (98 a 70%) en el tanque de dilución y enfriado en la torre de enfriamiento.

El mezclador roca/ácido es un cilindro horizontal con flecha central en la cual están unidas las paletas que además de mezclar la roca con el ácido, empujan el producto hacia el digestor que es un gran cilindro horizontal con una ligera pendiente y que gira a una muy baja velocidad, permitiendo que se continúe la reacción iniciada en el mezclador. Como la consistencia del producto en esta fase es pastosa y muy adherente, el digestor tiene internamente un cortador helicoidal consistente en una flecha que corre a lo largo del digestor, la cual tiene montada

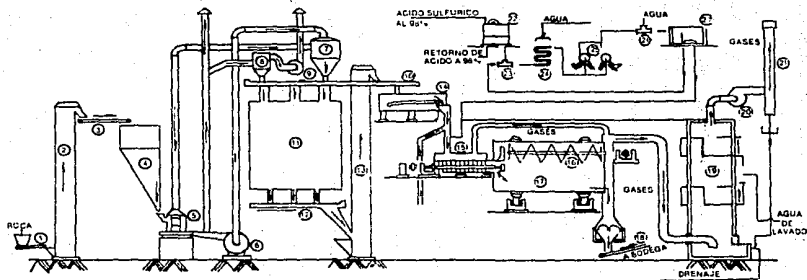
una solera de acero inoxidable en forma de espiral que constantemente raspa la parte superior del digestor desprendiendo el producto adherido.

Por la pendiente del digestor el producto avanza lentamente hasta que es descargado en un transportador de banda que lo conduce a la bodega de almacenamiento en donde el producto reposa aproximadamente 20 días para permitir que concluya la reacción. En la reacción se generan una gran cantidad de gases que son recogidos por un sistema colector y conducidos para ser fijados en agua en la torre lavadora.

Los gases que esta torre arroja a la atmósfera son fundamentalmente aire y vapor de agua; los gases producto de la reacción salen de la torre disueltos en agua y se envían por gravedad a las fosas de sedimentación.

Posteriormente las aguas son tratadas con cal y sometidas a una segunda sedimentación antes de enviarlas al drenaje industrial una vez cumplidos los requisitos dispuestos por los controles de contaminación. (Ref. II.9)

UNIDAD INDUSTRIAL GUADALAJARA

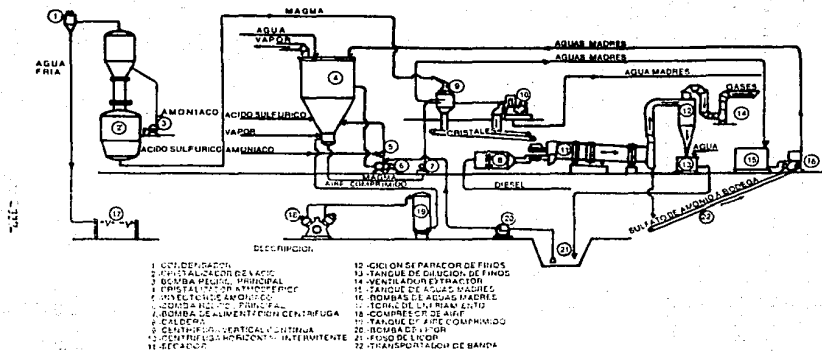


- DESCRIPCION
- |  |  |
|--|--|
| 1.-TRANSPORTADOR ROCA GRUESA EN BODEGA     | 14.-DOSIFICADOR ROCA A ML. CA              |
| 2.-ELEVADOR ROCA GRUESA EN BODEGA          | 15.-MEZCLADOR ACIDO CONCENTRADO            |
| 3.-TRANSPORTADOR ROCA GRUESA AL MOLINO     | 16.-CORBATADOR HELICOIDAL DEL DIGESTOR     |
| 4.-TOLVA DE ROCA GRUESA AL MOLINO          | 17.-REACTOR DEL DIGESTOR                   |
| 5.-MOLINO DE ROCA                          | 18.-TRANSPORTADOR ACIDO FOSFORICO A BODEGA |
| 6.-VENTILADOR DE AIRE AL MOLINO DE ROCA    | 19.-TORRE LAVADORA DE GASES                |
| 7.-CICLON DE MOLINO DE ROCA                | 20.-REACTOR TORRE LAV. DE GASES            |
| 8.-FILTRO DE BOLSAS ROCA MOLIDA            | 21.-EMBUENERA DE TORRE LAV. DE GASES       |
| 9.-EXTRACTOR DE FILTRO DE BOLSAS           | 22.-DOSIFICADOR DE ACIDO CONCENTRADO       |
| 10.-TRANSPORTADOR DISTRIBUIDOR ROCA MOLIDA | 23.-MEZCLADOR ACIDO-ACIDO                  |
| 11.-TOLVA DE ROCA MOLIDA                   | 24.-ENFRIADOR DE ACIDO                     |
| 12.-TRANSPORTADOR REPARTIDOR ROCA MOLIDA   | 25.-BOMBAS RECIRCULACION DE ACIDO          |
| 13.-ELEVADOR ROCA MOLIDA.                  | 26.-MEZCLADOR ACIDO-AGUA                   |
|  | 27.-TANQUE ACIDO DILUIDO                   |

FUENTE: Revista Fertilizantes Mexicanos S.A.  
Ingeniería General de Operación Industrial 1940

PLANTA DE SUPERFOSFATO SIMPLE DE CALCIO

UNIDAD INDUSTRIAL GUADALAJARA



FUENTE : Revista Fertilizantes Mexicanos S.A.  
 Gerencia General de Operación Industrial 1980

PLANTA DE SULFATO DE AMONIO

## II.b. 10 UNIDAD INDUSTRIAL CUAUTITLAN

Localización.- La Unidad Industrial Cuautitlán se encuentra ubicada en el kilómetro 31.5 de la antigua carretera México-Cuautitlán, dentro del Estado de México y concretamente en el Municipio de Cuautitlán de Romero Rubio.

La Unidad Cuautitlán fue la cuarta que se estableció y es también el primer complejo industrial que se construyó con la idea de producir sus propios productos intermedios para autoabastecer la fabricación de los productos finales que se elaboran en esta Unidad; además es la primera en contar con una planta productora de amoníaco en Latinoamérica.

Esta Unidad se inauguró en mayo de 1951 con la planta de amoníaco. En la actualidad esta Unidad cuenta con plantas en las que se obtienen productos intermedios y productos finales cuyas capacidades son las siguientes:

PLANTA *	CAPACIDAD INSTALADA
Amoníaco anhidro	22,000
Acido sulfúrico (Monsato 1)	49,500
Acido sulfúrico (Monsato 2)	198,000
Sulfato de amonio I	100,000
Sulfato de amonio II	135,000
Superfosfato simple	120,000
Mezclas fertilizantes	60,000
Total	<u>684,500</u> Ton.

La producción obtenida significa una utilización de la capacidad instalada del 98%.

\* Esta Unidad dejó de operar por cuestiones de contaminación a finales de 1985.

#### a) PROCESO DE PRODUCCION DE SULFATO DE AMONIO

El sulfato de amonio se obtiene mediante la combinación del amoníaco anhidro y el ácido sulfúrico, la cual se efectúa en unos recipientes cilíndricos verticales, cuya sección inferior es un cono invertido. Estos recipientes llamados cristalizadores están llenos de una solución de sulfato de amonio sobresaturado rica en cristales de la misma sal.

A cada cristalizador llegan en forma continua amoníaco gaseoso y ácido sulfúrico, que concentran más aún la solución.

Por la parte inferior de los cristalizadores se succiona por medio de una bomba, la solución que contiene los cristales para alimentar las centrífugas, en donde son separados del líquido. Después pasan al secador, donde una corriente de gases calientes termina por secar el producto.

Una vez seco el transportador lo deposita en el área de almacenamiento.

#### b) PROCESO DE PRODUCCION DE SUPERFOSFATO SIMPLE

La elaboración del superfosfato simple consiste en mezclar la roca fosfórica molida con ácido sulfúrico de 70% en cierta proporción para transformar el fosfato tricálcico de la roca en fosfato monocálcico asimilable.

La roca se introduce a un molino por medio de una tolva, una vez molida, es succionada por medio de un ventilador que la envía a un ciclón para almacenarse después en el silo.

De aquí se envía a la báscula de roca en la cantidad convenient-



te para la mezcla.

Por otro lado, en el tanque pesador de ácido se mide éste en proporción a la roca y ambos se vierten simultáneamente al mezclador, el cual se mantiene en movimiento para uniformizar la mezcla, que es fluída al principio pero que rápidamente se endurece; antes de que se haga demasiado pastosa se abre la descarga del mezclador que se encuentra en la parte inferior del mismo y el contenido se vierte al reactor.

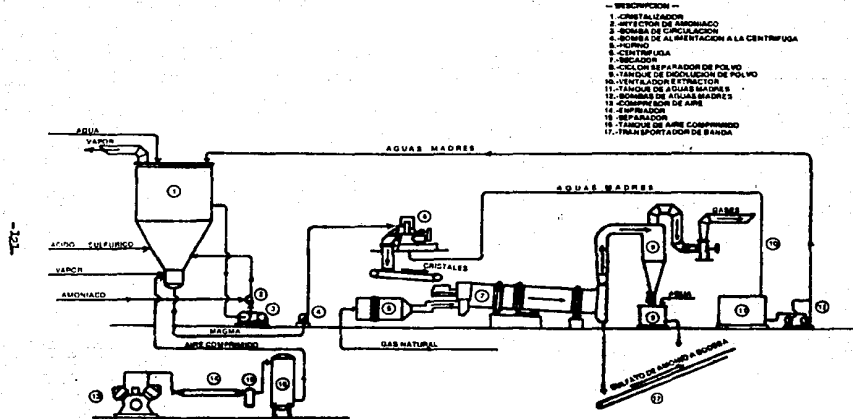
Este consiste en una caja rectangular cuyo fondo es una plataforma móvil y cuyas paredes pueden separarse a los lados.

Otra de sus paredes la forma una puerta corrediza que se mueve verticalmente.

Una vez lleno este reactor con determinado número de cargas, se deja reposar el material para que frague y forme un bloque que pueda sostenerse por sí mismo sin ningún apoyo.

Luego se hace avanzar el bloque hacia un cortador en movimiento. Las cuchillas del cortador deshacen el bloque de superfosfato que recibe en una tolva y de aquí un transportador lo lleva a la bodega de maduración. (Ref. II.10).

UNIDAD INDUSTRIAL CUAUTITLAN

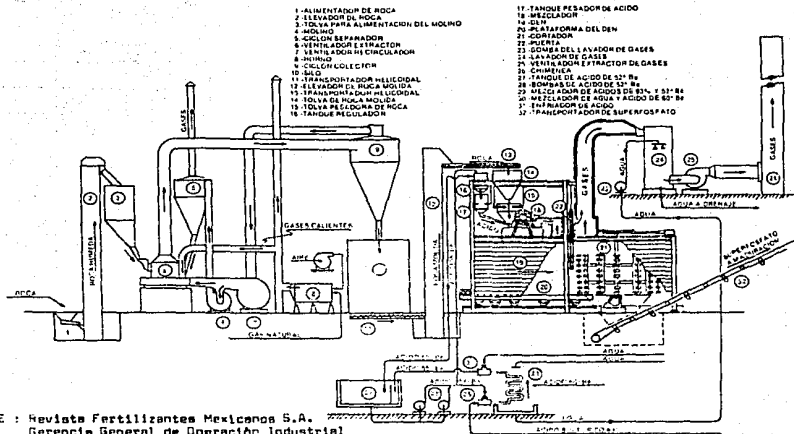


Fuente: Revista Fertilizantes Mexicanos S.A.  
Gerencia General de Operación Industrial 1980

PLANTA DE SULFATO DE AMONIO

# UNIDAD INDUSTRIAL CUAUTITLAN

122



FUENTE : Revista Fertilizantes Mexicanos S.A.  
 Gerencia General de Operación Industrial  
 1960

PLANTA DE SUPERFOSFATO

## II.b.11 UNIDAD INDUSTRIAL MONCLOVA

Localización.- La Unidad Industrial Monclova se ubica en el Estado de Coahuila, municipio de Monclova, cercana a la carretera Monclova-Piedras Negras. Ocupa una superficie de 39 hectáreas aproximadamente.

La Unidad se constituyó en junio de 1956 bajo el nombre de Fertilizantes de Monclova, S.A.

Ese año inició sus operaciones con la fabricación de ácido nítrico y nitrato de amonio; el primer semestre de 1961 arrancó la planta de amoníaco que tuvo que suspender sus operaciones el 7 de noviembre de 1970 debido al grave problema que se tenía con el abastecimiento de materias primas que la hacían antieconómica.

En el mes de abril de 1963 comenzó la producción de fertilizantes complejos y en junio de 1965 la de ácido fosfórico.

Actualmente la Unidad dispone de cinco plantas, a saber:

PLANTA	CAPACIDAD INSTALADA
Acido nítrico	55,000
Solución de nitrato de amonio	68,000
Nitrato de amonio (granulado)	68,000
Acido fosfórico	18,000
Fórmulas complejas	66,000
TOTAL	275,000 Ton.

La producción que se obtiene en esta Unidad significa una utilización del 99% de la capacidad instalada.

### a) PROCESO DE PRODUCCION DE NITRATO DE AMONIO

Proceso Pechiney Saint Gobain. El nitrato de amonio es el resul

tado de la reacción directa entre el amoníaco anhidro y el ácido nítrico.

Esta Unidad está formada por dos secciones:

- i) Preparación del nitrato de amonio en forma de solución concentrada.
- ii) Preparación del nitrato de amonio sólido con secado, selección de tamaño, recubrimiento, enfriamiento y almacenamiento.

La primera de estas operaciones se lleva a cabo en un saturador, en donde por contacto directo de los dos reactantes (ácido nítrico al 54% y amoníaco vaporizado) se consigue la formación de la solución de nitrato de amonio al 82-84% que se concentra hasta 96-98%, calentando con vapor en un evaporador al vacío.

La segunda operación se realiza mezclando en un granulador rotatorio la solución concentrada con caolín y finos procedentes del circuito de granulación.

El resultante se introduce en un secador rotatorio con calentamiento indirecto por vapor y el producto que sale del secador se criba en un tamiz múltiple; el producto de la malla intermedia se envía al almacén una vez que se ha recubierto con tierra diatomácea y enfriado con aire en un tambor rotatorio.

Los finos se reúnen con los polvos arrastrados del secador rotatorio y del enfriador y se envían al inicio del proceso de granulación junto con los gruesos que se muelen previamente.

El nitrato así obtenido contiene 53.5% de nitrógeno.

b) PROCESO DE PRODUCCION DE COMPLEJOS N.P.K.

Proceso Tennessee Valley Authority (TVA). Este proceso es muy versátil y con él se pueden elaborar una amplia gama de fórmulas que contienen los principales elementos nutrientes (NPK) utilizando como materia prima ácido fosfórico y sulfúrico, amoníaco anhidro, cloruro de potasio, solución de nitrato de amonio super fosfato de calcio simple y triple.

En un recipiente a presión atmosférica se efectúa la reacción de preneutralización, entre los ácidos y el amoníaco; concluye la amoniatación en un tambor rotatorio que es donde se granula. En este tambor se adicionan los ingredientes sólidos y el reciclaje que proviene de los ciclones colectores de polvo; además, se clasifican los tamices de cribado y el molino de gruesos.

El producto húmedo granulado se seca con aire caliente en contracorriente en un tambor rotatorio.

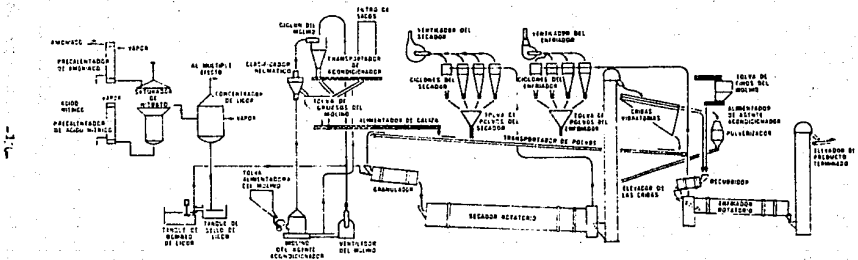
El producto seco granulado pasa al secador y luego al enfriador rotatorio en donde se pone en contacto con una corriente de aire a la temperatura ambiente cuyo flujo también es en contracorriente.

En la cámara de transición, entre el secador y el enfriador se inyecta el gas caliente que proviene de la cámara de combustión que utiliza gas natural.

El producto frío se clasifica en las cribas vibratorias, donde es separado según su tamaño en: gruesos, buenos y finos.

Los gruesos pasan a un molino de martillos que los pulveriza y luego se incorporan de nuevo al sistema ya sea para recircularlos o al granulador junto con los finos. (Ref. II.11) .

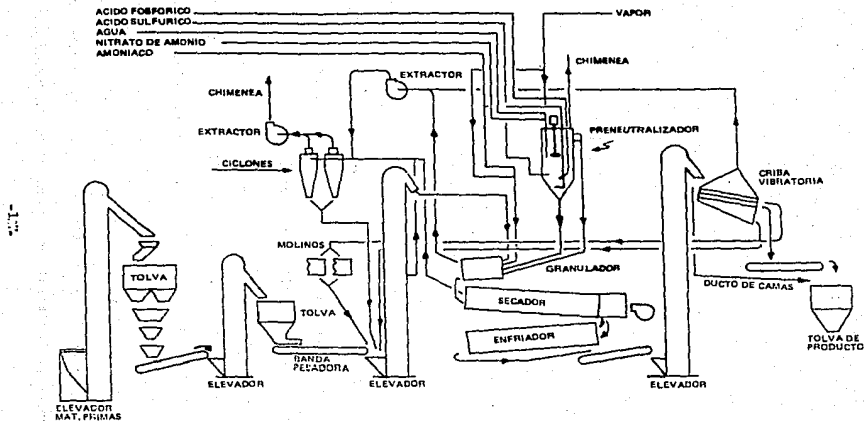
UNIDAD INDUSTRIAL MONCLOVA



NOTA: Proyecto Fertilizante Mexicano S.A.  
 Dependencia general de ingeniería industrial 1980

PLANTA DE NITRATO DE AMONIO

UNIDAD INDUSTRIAL MONCLOVA



FUENTE: Revista Fertilizantes Mexicanos S.A.  
 Gerencia General de Operación Industrial 1980

PLANTA DE COMPLEJOS



## II.b.12 COMPLEJO INDUSTRIAL ISTMO (PAJARITOS NITROGENADOS)

Localización.- El complejo industrial Istmo se halla ubicado en el Estado de Veracruz, en el Municipio de Pajaritos.

La ubicación de la laguna de Pajaritos ha sido determinante para la construcción de las Unidades Istmo y Pajaritos Fosforados por tener condiciones ventajosas con respecto a otras zonas de esta región, dentro de las cuales se incluye la estratégica situación geográfica que hace posible utilizar la salidad al Golfo de México, mediante el río Coatzacoalcos y permite la llegada de materias primas y el transporte de productos al mercado nacional e internacional.

Por otra parte la abundante disponibilidad de recursos naturales en la región como el gas natural para la elaboración del amoníaco y dióxido de carbono, que se producen en el complejo petroquímico de Coloseocaque, el azufre de Jaitipan y la roca fosfórica de Florida, hacen de la región el lugar adecuado para que se instalara el complejo de fertilizantes. Asimismo, esta localización facilita el abastecimiento de productos terminados al País, por la costa del Golfo de México y al resto del país por la vía terrestre, además de la relativa cercanía con los mercados de los países centroamericanos, la costa de Estados Unidos que limita con el Golfo de México y las de Europa.

El complejo industrial Istmo tiene las siguientes capacidades de productos fertilizantes y productos intermedios:

PRODUCTOS FERTILIZANTES

CAPACIDAD TPA

* Urea I	450,000
* Urea II	450,000
** Solución de nitrato de amonio	215,000
** Soluciones nitrogenadas	350,000
** Acido nítrico débil o	215,000
** Acido nítrico concentrado	45,000

La siguiente tabla muestra los procesos empleados, los responsables de hacer la ingeniería básica y la ingeniería de detalle de cada uno de los productos fertilizantes y productos intermedios.

Planta	Urea I	Urea II	Soluciones de Nitrato de Amonio	Soluciones Nitrogenadas	Ac.Nítrico débil o Ac.Nítrico Concentrado
Proceso	Snamprogetti	Snamprogetti	Stamicarbon	Stamicarbon	Stamicarbon Hércules
Ingeniería Básica	Snamprogetti	Snamprogetti	KREBS	KREBS	KREBS
Ingeniería de Detalle	LATISA	LATISA	-	-	-

- No se tiene información

\* Se encuentran ya en operación (1986)

\*\* Se encuentran en la etapa de Construcción (1986)

(Ref. II.12)

## II.b.13 COMPLEJO INDUSTRIAL LAZARO CARDENAS

Localización. El complejo Industrial Lázaro Cárdenas, se halla ubicado en el Estado de Guerrero, en el Municipio de Lázaro Cárdenas. Los estados de Michoacán, Guerrero, Jalisco, Colima, Nayarit, Sinaloa, Sonora y Baja California, son los mercados regionales de los productos que se producirán en este Complejo. Asimismo, esta instalación contará con facilidades portuarias y su ubicación en el Pacífico, representa un punto estratégico para sus operaciones hacia mercados nacionales e internacionales.

La infraestructura que constuyó el Gobierno Federal, junto con otras instalaciones industriales hacen de la región Lázaro Cárdenas, un polo de desarrollo de gran importancia nacional.

FERTIMEX, S.A., comunica que este complejo industrial, estará en condiciones de operar al final del presente año (1986).

El Complejo Lázaro Cárdenas tendrá las siguientes capacidades de productos fertilizantes y productos intermedios

PRODUCTOS INTERMEDIOS	CAPACIDAD TPA
Area I	
Acido sulfúrico I	660,000
Acido sulfúrico II	660,000
Area II	
Acido fosfórico I	198,000
Acido fosfórico II	198,000
Area III	
Acido nítrico I	215,000
Acido nítrico II	215,000
Solución de nitrato de amonio I	270,000
Solución de nitrato de amonio II	270,000

PRODUCTOS FERTILIZANTES

CAPACIDAD TPA

Area III	
Nitrato de amonio sólido I	200,000
Nitrato de amonio sólido II	200,000

Area IV	
Fosfato de amonio (DAP) I	275,000
Fórmulas complejas (NPK) I	250,000
Fórmulas complejas DAP&NPK II	286,000
Superfosfato triple	150,000

- Area V
- Servicios Auxiliares
- Instalaciones portuarias
  - Fluidos auxiliares y manejo de fluidos
  - Almacenes y manejo de sólidos
  - Edificios y oficinas

La siguiente tabla muestra la distribución de las diferentes áreas, los procesos empleados, los responsables de hacer la ingeniería básica y la ingeniería de detalle de cada uno de los productos fertilizantes y productos intermedios. (Ref. II.13)

	Area I	Area II	Area III		Area IV
Plantas	Acido Sulfúrico I y II	Acido Fosfórico I y II	Acido Nítrico I y II	Nitrato de Amonio I y II	DAP/NPK/SFTG I y II
Proceso	LURGI	GULF SWENSON	UHDE	Stamicar-bón	GULF
Ingeniería Básica	LURGI CHE MIE gmbh	GULF DESIGN	FRIEDRICH UNDE gmbh	KREBS ET CIE	GULF DE-SINGN
Ingeniería	LURGI ME-XICANA	Servicios Profesionales de Ingeniería	BUFETE INDUSTRIAL		BUFETE INDUSTRIAL

## II.c. EVOLUCION TECNOLOGICA DE LOS FERTILIZANTES

La investigación arqueológica ha demostrado que el hombre inició el cultivo de las plantas hace unos diez o doce mil años. El desarrollo de este arte por el hombre primitivo fue indudablemente seguido pronto por la aplicación al suelo del estiércol animal y de otros materiales, con el fin de aumentar el rendimiento de las cosechas. Parece razonable creer que el primer agricultor no sólo observó la influencia de los excrementos de los animales en el crecimiento de las plantas, sino que también aplicó en la práctica este conocimiento.

Entre los materiales que primero utilizó el hombre como fertilizantes se cuentan los estiércoles animales, los huesos, las cenizas de madera, los desperdicios de lana, el guano, el pescado la cal, la marga. Se sabe que los celtas y otros pueblos europeos utilizaban la cal, la marga, las cenizas de madera y los "compostes" algunos siglos antes de Jesucristo. El historiador Jenofonte recomendaba el estiércol verde a los campesinos de Grecia. En América los primeros colonizadores blancos comprobaron que los indios de Sudamérica conocían de antiguo el valor fertilizante del guano, y algunas tribus de América del Norte empleaban el pescado como fertilizante (abono). No obstante, el uso en gran escala de los materiales fertilizantes sólo se ha desarrollado verdaderamente en los últimos 120 años.

Las sales químicas conteniendo nutrimentos para las plantas han empezado a ser utilizadas por la generalidad de los campesinos europeos y americanos sólo en los últimos 110 años.

El uso de los fertilizantes químicos probablemente se inició en 1665, cuando Sir Kenelm Digby escribió que había aumentado el rendimiento de las cosechas con la aplicación de salitre (II.16) Sin embargo, no se sabía gran cosa respecto de los principios de la fertilización, hasta que en 1804 el suizo Nicholas Théodore de Saussure llamó la atención del mundo científico sobre el hecho de que los ingredientes de las cenizas de las plantas procedían del suelo y que, en términos generales, eran esenciales para el crecimiento de las mismas. La observación de Saussure fue comprobada hacia 1830 por Boussingault en su granja de Alsacia, la cual muy bien puede considerarse como la primera estación experimental que ha existido. En 1855 ó 1856, Justus von Liebig, químico alemán de la Universidad de Giessen, subrayó insistentemente la necesidad de suministrar fósforo y potasio a las plantas. Liebig había propuesto su actualmente famosa teoría mineral en 1840 y cinco años más tarde había demostrado la naturaleza esencial del potasio. El más notable de los químicos norteamericanos que apoyaron la teoría mineral de Liebig fue Thomas Green Clemson, quien durante el bienio 1860-1861, fue superintendente de Asuntos Agrícolas de la Oficina de Patentes de los Estados Unidos. Clemson había escrito en 1856: "La aplicación de guano o cualquier otro abono basándose en la presencia de

amonfaco (nitrogeno) tiene cierta utilidad". La necesidad de suministrar nitrógeno a las plantas no se reconoció hasta el año siguiente, en que Lawes, Gilbert y Pugh, de la Estación Experimental de Rothamsted (Inglaterra), establecieron definitivamente la naturaleza esencial de este elemento.

### ≡ MATERIALES EMPLEADOS COMO FERTILIZANTES DURANTE EL SIGLO XIX.

El hueso molido o harina de huesos, fue uno de los primeros materiales objeto de comercio en gran escala para el empleo como fertilizante. Ya en el siglo XVII se habían utilizado los huesos en calidad de abono en Inglaterra, pero un mercado comercial de huesos no quedó completamente establecido hasta mitades del siglo XIX. La harina de huesos se utilizó por vez primera en los EEUU en 1825.

El guano del Perú empezó a importarse por Inglaterra hacia 1820 y por los EEUU en 1832. Aunque los depósitos de guano peruano fueron descubiertos en 1802 por el viajero y botánico alemán Humbolt, el valor fertilizante de esta materia no se reconoció por la mayoría hasta 1840; poco después, en 1843, empezó la exportación en gran escala. Aproximadamente en esa época el Gobierno peruano inició la explotación de los depósitos existentes. Estos fueron consumidos rápidamente, pues en 1875 se calculaba que solo quedaban en ellos unos 2 millones de toneladas, mientras que en 1840 habían sido estimados en 12 millones de toneladas al menos. Las exportaciones anuales de guano peruano mostraron una baja continua desde 1875 hasta finales del siglo. Aunque el consumo registrado en el mercado

norteamericano, anual de guano del Perú tuvo necesariamente que disminuir por el agotamiento de los depósitos, es conveniente subrayar que el empleo en gran escala del guano como abono realizó el gran beneficio de introducir en muchas granjas americanas la nueva práctica de la fertilización de las plantas de cultivo.

La explotación de los depósitos peruanos (más tarde chilenos), de nitrato sódico se inició con capitales británicos hacia 1830 año en que precisamente se realizó la primera importación de esta materia en los EEUU, por el puerto de Norfolk, Virginia.

Las importaciones europeas de nitrato sódico peruano empezaron hacia 1830. En 1850 se embarcaron en Chile casi 240,000 toneladas métricas de nitrato. Durante la segunda mitad del Siglo XIX, el empleo del nitrato sódico rápidamente adquirió gran predicamento entre los agricultores de Europa y América.

El subproducto sales amónicas se obtuvo por primera vez en Inglaterra en 1840, pero el desarrollo de este subproducto del coque de horno no se realizó en los EEUU hasta 1893. El subproducto sulfato de amonio (amónico) apareció en el mercado americano poco tiempo después.

Según Slate (1952) el primer libro americano sobre agricultura que pretendió tener carácter científico fue escrito por John Pitkin Norton. Se publicó en 1849 bajo el título de Elements of Scientific Agriculture, or the Connection Between Science and the Art of Practical Agriculture. La sección de este libro que



Trata de las fuentes de nitrógeno de las plantas, resulta todavía muy interesante para el estudiante de los fertilizantes.

Norton era profesor de química agrícola en la escuela científica de Yale, de la cual era cofundador y que constituyó la Escuela Superior donada por Connecticut desde 1863 a 1893.

Las sales de potasio alemanas fueron empleadas por vez primera como fertilizantes hacia 1860, y sus depósitos empezaron a explotarse en gran escala un año después. La importación por los EEUU se inició en 1869-1870, y fueron empleadas por primera vez por una Estación Experimental norteamericana en 1872, precisamente en la del Colegio Estatal de Pensylvania. A finales del Siglo XIX las sales potásicas se habían introducido plenamente en el mercado de los fertilizantes.

El beneficio de la roca fosfática empezó en los EEUU en 1968, y en el Africa del Norte hacia 1899. La escoria básica empezó a producirse como fertilizante hacia 1380; fue empleada por vez primera como tal en Inglaterra en 1884 y luego su uso se extendió gradualmente a toda Europa.

En 1839-1840 el barón Justus Von Liebig demostró que el valor fertilizante del hueso podía aumentarse por el tratamiento con ácido sulfúrico o clorhídrico, lo cual había sido sugerido por Escher en 1835. Sir John B. Lawes obtuvo en 1842 una patente protegiendo un tratamiento similar con ácido sulfúrico de la roca fosfática molida obtenida de los depósitos de coprolitos de bajo tenor de Inglaterra y Francia. En 1843 inició Lawes,

en Deptford (Inglaterra), la fabricación de lo que llamó "superfosfato", que constituyó un éxito comercial. El mismo año 1842, el doctor James Murray obtuvo un procedimiento parecido en Escocia e Irlanda, pero no logró que la empresa resultara próspera comercialmente. En cambio, Lawes erigió una segunda fábrica en 1857. Pero ya en 1854 Edward Packard había levantado la primera fábrica completa de superfosfatos, es decir, incluyendo la preparación de ácido sulfúrico. En 1872 Lawes vendió sus fábricas de fertilizantes por aproximadamente 1'500,000 dólares. De este período data la industria de fertilizantes comerciales actual. En general, a Sir John B. Lawes como el fundador de la industria aunque hay quien prefiere otorgar este honor al barón Justus Von Liebig. En 1852 se expendieron por primera vez en los EEUU unos superfosfatos que probablemente eran obtenidos a base de huesos. Los primeros fertilizantes mixtos preparados en los EEUU en escala comercial lo fueron en Baltimore (Maryland), por el doctor P.S. Chappell y William Davison en 1849. En este mismo año se levantaron en Alemania las primeras fábricas de fertilizantes. Liebig había previsto la industria de los fertilizantes al escribir "vendrá un tiempo en que los campos serán abonados con una solución de vidrio (silicato potásico) con las cenizas de la paja quemada y las sales de ácido fosfórico preparadas en los laboratorios químicos"...Hacia 1854 se fabricaban en los Estados Unidos, principalmente en Richmond (Virginia) y Cahrleston (Carolina del Sur), unos cuantos centenares de toneladas anuales

de fertilizantes mixtos. En 1855 empezaron a trabajar en pequeña escala unas fábricas de fertilizantes (mixtos) en Filadelfia y Baltimore. Se calcula que en 1856 se prepararon en EEUU unas 20,000 toneladas de fertilizantes mixtos, pero es interesante observar, que en el mismo año se importaron y consumieron 60,000 toneladas de guanos peruano y mexicano. En 1860 funcionaban en los EEUU siete fábricas de fertilizantes.

Por extraño que parezca, los fertilizantes mixtos completos eran prácticamente desconocidos en Inglaterra hasta 1925, y no aparecieron en cantidades notables en la Europa continental hasta mediados de los años treinta. Los fertilizantes existentes en el mercado norteamericano en 1900 se relacionan en la tabla siguiente (II.1).

### EXPANSION DE LA INDUSTRIA DE LOS FERTILIZANTES DURANTE EL SIGLO XX.

Tanto en Europa como en los EEUU la industria de los fertilizantes continuó progresando durante los últimos años del Siglo XIX y los primeros del siglo XX.

En el decenio anterior a la primera Guerra Mundial la única innovación destacable en la industria de los fertilizantes fue el desarrollo por químicos alemanes de unos métodos económicamente factibles de fijación del nitrógeno atmosférico. Tras dicha guerra, aparecieron en el mercado de los EEUU nuevos fertilizantes nitrogenados sintéticos y también otros nuevos materiales de abono conteniendo nitrógeno y fósforo, o nitrógeno, fósforo y pota-

sio. Estos materiales eran de fabricación norteamericana o de otros países (II.17).

Durante el primer tercio de este siglo, la exportación de roca fosfática desde los EEUU a Europa fue disminuyendo gradualmente en gran parte debido al aumento de producción y exportación de la roca fosfática de los depósitos del Norte de Africa. Además durante este período, los superfosfatos de alto contenido de ácido fosfórico reemplazaron una gran proporción de los superfosfatos de bajo tenor.

Los años 1849-1850 marcan el inicio de los fertilizantes químicos en los EEUU. En el primero de estos años se inicia la manufactura de superfosfato en la ciudad de Baltimore en los EEUU. y se atribuye a los hermanos Chappell la primera patente de fertilizantes químicos, Patente USA 6234. Esta patente cubría la producción de un fertilizante compuesto o mezclado en un proceso combinado de acidulación y mezclado. Los componentes de la mezcla incluía harina de huesos, ácido sulfúrico, "gas o licor amoniacal" y un número de residuos de otras operaciones químicas. Estos residuos contenían, entre otras cosas, carbonato de potasio, sulfato de calcio y sulfato de magnesio. Por su naturaleza, sin duda, también contenían pequeñas trazas de elementos nutrientes menores. En esta patente se mencionan los conocimientos primarios y secundarios de los nutrientes de las plantas y probablemente alguno de los elementos nutrientes menores. Una parte del proceso descrito en la patente son ahora práctica

estándar, aunque en forma considerablemente más mecanizada. En 1850, en Baltimore, los fertilizantes mezclados fueron producidos en los EEUU. Por 1856 se cree que la producción alcanzó las 20,000 toneladas. Aún así, tres veces más de guano peruano fueron importados durante ese año. Desde entonces y en los 60 años siguientes, la producción se ha incrementado lentamente y constante conforme más plantas fueron construidas y la demanda incrementada, pero los materiales subproductos fueron la principal fuente de los ingredientes usados en las mezclas. El ácido fosfórico proviene principalmente de: harina de huesos, residuos de las grasas de los establecimientos frigoríficos y de los desechos de pescado. Estos materiales, junto con las importaciones de guano peruano y de nitrato de sodio chileno, suministran el nitrógeno. Las importaciones de sales de potaciones de Alemania se inician en el año de 1869.

Poco después del final de la Guerra Civil, el valor de los depósitos de roca fosfórica de Charleston, S.C., fue reconocido y se emprendió su desarrollo. El tratamiento de esta roca con ácido sulfúrico produce superfosfato, el cual pronto se convirtió en la principal fuente de ácido fosfórico en los fertilizantes. El desarrollo de la fabricación de fertilizantes a partir de la industria de la basura y su transformación en industria química comienza en esta época.

En 1875, alrededor del año de que al American Chemical Society fue fundada, el consumo anual de fertilizantes y de materiales

fertilizantes se habfa incrementado al mill6n de toneladas aproximadamente, y los problemas qufmicos involucrados en la fabricaci6n de fertilizantes fueron importantes. El incremento se ha realizado casi desde el principio de que el valor, en la agricultura, de un fertilizante se determin6 y fue en proporci6n directa al contenido de ciertos compuestos qufmicos, principalmente aquellos que contienen nitr6geno y fosfatos. El primer registro de un an6lisis de fertilizantes hecho por un Estado Oficial aparece en 1851. Poco fue el conocimiento de m6todos qufmicos satisfactorios para mediciones cuantitativas.

Por 1856, una ley estatal de control de fertilizantes fue decretada en Massachussets, pero sus requisitos fueron tan rfgidos y exigentes que no se cumplieron. Una ley reformada en conformidad con los m6todos analfticos entonces conocidos fue decretada en 1872. La literatura muestra que gran parte del guano importado durante los primeros aros fue excesivamente lixiviada, con teniendo pr6cticamente elementos no nutrientes de las plantas. Para establecer fraude en tales casos y prevenir importaciones de material sin valor alguno, fue necesario desarrollar m6todos precisos para defenderse en la corte y al mismo tiempo brindar protecci6n a los consumidores.

La formaci6n de la Association of Official Agricultural Chemists al principio de 1880 y su subsecuente investigaci6n en el desarrollo de m6todos de an6lisis qufmicos han llegado a ser de valor incalculable para la qufmica agrfcola en todas sus ramas.

### PRIMEROS PROCESOS QUIMICOS USADOS EN LA PRODUCCION DE FERTILIZANTES.

El descubrimiento de los depósitos de roca fosfórica de Florida y Tennessee en 1881 y 1893, respectivamente, y su desarrollo contribuyó con ímpetus adicionales a la expansión del lado químico de la industria de los fertilizantes. En el inicio de 1890, el primer superfosfato concentrado fue producido en los EEUU y el subproducto sulfato de amonio fue recuperado por primera vez de la coquificación del coque.

Durante los primeros 50 años de progreso de la industria, el nitrógeno utilizado provino casi completamente de desechos orgánicos de otras industrias. Las fuentes principales fueron: harina de semillas que contenían aceite, subproductos de los establecimientos frigoríficos (tales como manteca, sangre y huesos), desperdicios de pescado, residuos grasosos y turba. En 1900, cerca del 91% de nitrógeno consumido fue de forma orgánica natural y solamente el 9% provino de sales químicas. El incremento de la producción del subproducto sulfato de amonio y la importación adicional de nitrato de sodio, junto con mejor conocimiento de posibilidades de formulación rápidamente incrementó el uso de las distintas formas químicas hasta que en 1920, aproximadamente porcentajes iguales de formas orgánicas y químicas fueron usadas. En 1949, menos del 5% del nitrógeno consumido como fertilizante fue de forma orgánica. Prácticamente todos estos subproductos orgánicos utilizados anteriormente fueron desviados

para utilizarse como alimento de animales. Por 1926 el proceso que utilizaba directamente amoníaco acuoso y anhídrido, para la producción de fertilizantes, fue introducido y más tarde soluciones de amoníaco, conteniendo nitrato de amoníaco o urca contribuyeron ampliamente al desarrollo de la industria de los fertilizantes. La producción de cianamida en Niágara Falls, Canadá, en 1909, seguido de la producción de amoníaco anhídrido sin tético en 1921, incrementó las fuentes de nitrógeno. Las plantas de amoníaco sintético construídas por el Gobierno Norteamericano en el programa de la Segunda Guerra Mundial y posteriormente cedidos y administrados por privados aseguran un adecuado suministro para todos los períodos necesarios.

Aunque la química de la manufactura de superfosfato ha tenido pocos cambios en los últimos 130 años, ha sido objeto de refinamientos en la técnica de su aplicación. Las técnicas han avanzado de cajas de mezclado con agitación manual a instalaciones mecánicas automáticas para el pesado y mezcla de los ingredientes, y de la excavación manual de las cavernas de superfosfato a cavernas mecanizadas que entregan superfosfato desmenuzado y aereado para su almacenamiento.

La manufactura de un superfosfato de alto grado o concentrado se inicia en 1872 (II.18). Este proceso fue prácticamente una acidulación de la roca fosfórica con un poco de ácido sulfúrico débil, que fueron usados para obtener el superfosfato normal. El ácido sulfúrico convertía el contenido de fósforo a ácido



fosfórico. El producto fue lixiviado para obtener el ácido fosfórico en solución diluida, posteriormente fue concentrado y usado para acidular más roca fosfórica molida. El producto resultante, conocido como superfosfato concentrado (también llamado superfosfato doble, superfosfato triple y superfosfato triplicado), contienen de 40 a 48% de ácido fosfórico aprovechable. El ácido fosfórico para acidular también puede obtenerse por la fundición de roca fosfórica dentro de un horno eléctrico, recuperando el fósforo volatilizado, la cual es quemada y recogida en forma de ácido fosfórico concentrado. Generalmente los superfosfatos conteniendo hasta 25% de pentóxido de fósforo aprovechable es conocido como superfosfato normal y aquellos que contienen arriba de 25% como superfosfato concentrado.

### ≡ INFLUENCIA DE LA PRIMERA GUERRA MUNDIAL SOBRE EL DESARROLLO DE LA INDUSTRIA DE LOS FERTILIZANTES.

La influencia de la Primera Guerra Mundial sobre la producción de nuevos materiales fertilizantes fue muy notable. La demanda intensa de pólvoras propelentes, explosivos de alto poder, y otros materiales mortíferos, de naturaleza química, fue tan grande que se construyeron enormes fábricas para llenar estas necesidades.

La mayor preocupación de todos los beligerantes en relación con los explosivos, fue la de tener abundancia de nitrógeno. Aquellos que vieron cortados sus abastecimientos de las fuentes naturales de nitrógeno fijado, tal como el nitrato de sodio chi

leno, tuvieron que recurrir a la mayor fuente de nitrógeno: la atmósfera. Desde el punto de vista químico, la situación era difícil, en primer lugar, es entre los elementos conocidos uno de los más inertes, y difícilmente entra en combinación con otros elementos para formar compuestos estables. Bajo condiciones ordinarias se resiste a reaccionar con otros elementos, y por tal motivo deben establecerse condiciones especiales para tales reacciones. El primer paso necesario en este proceso fue la separación del nitrógeno de los otros gases de la atmósfera. Enseguida se hizo reaccionar con otros elementos por medio de procesos químicos controlados, a los cuales se dio generalmente el nombre de fijación del nitrógeno. El paso final fue la producción de compuestos estables.

En Alemania, debido a que se previó la imposibilidad de obtener nitrato de Chile, se desarrollaron métodos económicos para la fijación del nitrógeno antes de que se iniciaran las hostilidades, de tal manera que dicho país pudo mantener su abastecimiento de este material independientemente de las fuentes externas de nitrógeno combinado. Esta utilización del nitrógeno atmosférico como materia prima impresionó a algunos de los aliados en tal forma que se dieron los pasos necesarios para instalar plantas capaces de extraer y fijar el nitrógeno atmosférico. Algunos países se encuentran actualmente en posibilidad de proveerse en forma adecuada de este elemento, tanto desde el punto de vista agrícola como en otros aspectos.

Al terminar la Primera Guerra Mundial, las enormes plantas químicas, construidas con una capacidad de producción suficiente para llenar las necesidades de la Guerra, quedaron en situación difícil. Con el objeto de evitar su ruina, estas fábricas continuaron la producción de nitrógeno y otros compuestos para ser empleados como fertilizantes. Algún tiempo después se produjeron muchos compuestos nuevos. Algunos de ellos contenían solamente nitrógeno, otros nitrógeno y fósforo, otros nitrógeno y potasio; y en algunos casos se produjeron compuestos que contenían los tres elementos fertilizantes.

En las tablas II.1 y II.2 se dan las listas de materiales fertilizantes; en la primera se encuentran los materiales disponibles hasta 1900, en la otra los empleados o propuestos para emplearse en 1936 (II.19).

Estas dos listas ponen de manifiesto los cambios tan marcados que han tenido lugar durante este período, la mayor parte de los cuales resultaron directamente de la Primera Guerra Mundial. Al comparar entre las dos listas se observa desde luego que la mayor parte de los cambios durante este período transicional se han operado principalmente en las columnas correspondientes al fósforo y al nitrógeno; otro aspecto notable es el relativo al alto contenido de alimentos o nutrientes para las plantas de algunos de los materiales de la lista para 1936. Dos de los materiales en que se pone de manifiesto lo anterior son (1) la urea con un contenido prácticamente de 46% de nitrógeno y (2) el fos

TABLA II. 1 Materiales fertilizantes de que se disponía en 1900

Fuentes de Nitrógeno		Acido Fosfórico	Potasa
Inorgánico	Orgánico		
Sulfato de amonio	Harina de semilla de algodón	Superfosfato (en aquel tiempo llamado fosfato ácido)	Cloruro de potasio
Nitrato de sodio	Sangre seca Desperdicios de pescado Tankage Torta de semilla de ricino (castor pomace) Amoniatos primarios (Rough ammoniates)	Fosfato precipitado. Escoria básica	Sulfato de potasio Kainita Sales fertilizantes (Manure Salte) Sulfato de potasio

Fuente (tablas II.1 y II.2) : Publicación # 1635 del Anuario del Departamento de Agricultura de los E.E.U.U. 1934.  
Reimpresión de las páginas 487 a 521.

TABLA II.2 Materiales fertilizantes empleados o propuestos para emplearse en 1936 (1)

Fuentes de nitrógeno Inorgánico	Fuentes de nitrógeno Orgánico	Fuentes de ácido fosfórico	Fuentes de Potasa
Sulfato de amonio	Harina de semilla de algodón	Superfosfato triple (45 a 48%)	Cloruro de potasio
Nitrato de sodio	Sangre seca	Superfosfato (16 a 20%)	Sulfato de potasio
Nitrato de calcio	Desperdicios de pescado	Fosfato Monoa-mónico	Kainita
Nitrato de potasio	Tankage (torta de semilla de ricino (caster pomace	Ammo-Phos A	Sales fer-fertilizantes
Cloruro de amonio	Cianamida	Ammo-Phos B	(Manure Salts)
Fosfato de amonio	Urea	Superfosfato amónico	Sulfato de potasio y
Nitrato de amonio	Calurea	Fosfato precipitado	Magnesio.
Cal-Nitro (2)	"Milerganita"	Fosfato diamónico	Nitrato de potasio
Nitro-Chalk	"Nitroganic"	"Oberphos"	Carbonato de potasio
Leunasalt peter	Licor Urea-amoniaco	Metafosfato de calcio.	
Nitrato amónico potásico,	Amoniatos primarios	Metafosfato de potasio	
Ammo-Phos A		Fosfato calcinado	
Ammo-Phos B		Pirofosfato de calcio	
Nitrofoska (3)		Fosfato dimagnésico	
Fosfato Diamónico		Fosfato trimagnésico	
Amoniaco, licor anhidro		Clorofosfato monocálcico	
Solución II de nitrógeno.		Fosfato fundido	
Solución cruda de nitrógeno		Fosfato monopotásico	
Bicarbonato de amonio		Fosfato monosódico	

fato diamónico, que contiene 21% de nitrógeno y 53% de ácido fosfórico ( $P_2O_5$ ), lo cual hace un total de 74%. El desarrollo de urea, material nitrogenado altamente concentrado, al pasar de una mera curiosidad de laboratorio a la gran importancia comercial que tiene actualmente como fertilizante, es un ejemplo excelente de lo que significa investigación química para la agricultura.

Los materiales fertilizantes disponibles hasta 1900 presentan un contraste muy marcado en relación con la urea y el fosfato diamónico. Exceptuando las dos sales potásicas de alta graduación, cloruro y sulfato de potasio, en ningún fertilizante de aquella época se alcanzó una concentración igual de alimentos para las plantas. Entre los materiales nitrogenados de entonces, el sulfato de amonio contenía un máximo de 20% de nitrógeno. El nitrato de sodio alrededor del 15.5% de nitrógeno. En el grupo del ácido fosfórico, la principal fuente de este compuesto era el superfosfato ordinario, el cual fue designado durante muchos años como "super 16 por ciento" habiéndose producido hasta hace años (1945) de 18 y 20 por ciento. La tendencia moderna ha sido la de producir materiales fertilizantes con una concentración mayor de alimentos para las plantas, como un medio de hacer más económica la fabricación, el manejo y transporte de los fertilizantes.

Otros materiales propuestos como fertilizantes que se usaron por

1930 y que no aparecen en esta lista incluyen el formato de amonio, la formamida, el nitrato de melanina, el fosfato detri-guanidina, la fatina, y el ácido nucleico.

Antes de la Primera Guerra Mundial, la potasa utilizada como fertilizante en los Estados Unidos se obtenía casi por completo de Europa. Durante la Guerra el bloqueo de Alemania impidió el abastecimiento de este material, puesto que este país era el principal exportador de la potasa empleada en los Estados Unidos. Las reservas del suelo se emplearon en un grado tal que los cultivos comenzaron a sufrir y en algunas regiones comenzaron a presentarse casos claramente definidos de deficiencia de potasa. Esto se presentó en forma más notable en el algodón, las patatas y en especial en cierto número de hortalizas. Como resultado de esta experiencia comenzaron a hacerse muchos esfuerzos encaminados a localizar yacimientos de potasa dentro de los Estados Unidos y a desarrollarse comercialmente. Se produjo algo de potasa como producto secundario de los altos hornos, molinos de cemento y destilerías, y de las sales naturales y las hierbas mari-nas. Debido a lo limitado de los abastecimientos y a los altos costos de producción, la potasa producida en esta forma se vendía a precios excesivamente altos. Después de la Guerra, cuando reapareció la potasa europea en el mercado americano a precios comparables a los de la preguerra, los productores americanos, ante la imposibilidad de competir, dejaron de producir con ex-

cepción de una compañía productora de cloruro de potasio de las aguas salobres del Lago Searles, Calif.

En 1923, que puede considerarse como el primer año normal de la postguerra por lo que a la potasa se refiere, los productores norteamericanos produjeron aproximadamente el 9% de los materiales potásicos consumidos en los fertilizantes. Entre 1928-30, la producción norteamericana alcanzó al 16% de la potasa empleada en los fertilizantes. El período 1931-35 no solamente marcó la iniciación y desarrollo de la producción de potasa en las minas de Nuevo México, sino también de las de España y la URSS. La competencia entre los intereses extranjeros y la industria americana por el control del mercado dio lugar a que los precios de la potasa para 1935 fueran un 57% más bajos aproximadamente que los de 1928-30.

La proporción de los abastecimientos proporcionados por los productores norteamericanos aumentó continuamente, con excepción de 1934, hasta 1935 en que se produjeron aproximadamente el 50% de la potasa total usada en fertilizantes. Durante este período de la potasa total consumida en fertilizantes aumentó en 23% de un promedio de 368,000 toneladas (de  $K_2O$ ) en 1928-30 a 430,000 toneladas en 1935, de las cuales la industria norteamericana proporcionó 225,000 toneladas, o sea una cantidad mayor que la que fue consumida por toda la industria de los fertilizantes en 1923.



El éxito alcanzado por los establecimientos norteamericanos en la producción de la potasa, puede apreciarse mejor comparando los registros de producción en los Estados Unidos durante los años de 1934, 1935 y 1936 con las importaciones del extranjero para los mismos años (Tabla II.3).

Tabla II.3. PRODUCCION DE POTASA ( $K_2O$ ) en los Estados Unidos comparada con las importaciones del exterior durante 1934-36

AÑO	Producida en los EEUU	Importada
	toneladas	toneladas
1934	144,342	178,533
1935	228,556	241,510
1936	247,340	207,194

En 1936 la producción norteamericana de potasa excedió las importaciones en más de 40,000 toneladas. Comparando esto con cualquier año antes de la Primera Guerra Mundial, se encontrará que en aquella época la mayor parte de la potasa consumida como fertilizantes en los Estados Unidos era importada.

Durante este período (Primera Guerra Mundial), los productores americanos sólo habían puesto en el mercado cloruros de potasio de diversas concentraciones, y no habían intentado producir sulfato, nitrato u otras sales especiales. Sin embargo, a cau

sa de esta Guerra hizo al país más independiente con respecto a sus necesidades de compuestos de nitrógeno y potasio para sus cultivos.

#### II.d. EVOLUCION DE LA TECNOLOGIA DE PRODUCCION DE LOS FERTILIZANTES. UREA

La urea ( $\text{NH}_2\text{CONH}_2$ ) fue aislada por primera vez de la orina humana en 1773 por Rouelle. En 1928 Wohler estableció un puente entre la química orgánica y la inorgánica al producir el compuesto orgánico "urea" del compuesto inorgánico "cianato amónico" ( $\text{NH}_4\text{CNO}$ ), experimento trascendental que sirvió para probar que la urea, producto del metabolismo del organismo animal, podría sintetizarse de sustancias inorgánicas. En 1870, Basaroff presentó un método de síntesis de urea a partir del amoniaco y del dióxido de carbono.

Sin embargo, hasta 1920 no resultó factible desde el punto de vista comercial la fabricación de urea por el método de Basaroff. En ese año, E.I. Du Pont de Nemours & Co., inició la producción industrial de urea a partir de la cianamida cálcica en el Canadá.

En 1922, los alemanes lograron sintetizar la urea directamente del amoniaco y del dióxido de carbono, y como este nuevo proceso fue patentado por IG-Farben, Alemania mantuvo un monopolio casi completo de la fabricación de urea hasta 1935, año en el que Imperial Chemical Industries Limited de la Gran Bretaña surgió como competidor. Mientras tanto se abrían paso gradualmen-

te las técnicas de síntesis de la urea en los EEUU, donde Du Pont inició la producción y las investigaciones sobre sus aplicaciones industriales en 1936.

Otras numerosas sociedades en algunos países iniciaron la producción de urea en pequeña escala, pero la capacidad de producción mundial permaneció a un nivel bajo hasta los años siguientes a 1950.

En el Japón, Claude Nitrogen Industry Co. (antecesor de Toyo Koatsu Industries, Inc.) inició la producción de urea en pequeña escala a partir del carbamato amónico en 1926, y pasó a un método de síntesis directo en 1937. Así, la técnica de síntesis directa de fabricación de urea por calentamiento del amoníaco con dióxido de carbono a presión pasó a ser el método empleado en todos los países en la fabricación industrial de urea, y con los distintos perfeccionamientos introducidos en años ulteriores, esa técnica ha abierto el camino para el crecimiento de la industria mundial de la urea que hoy se registra.

El mérito corresponde a las numerosas sociedades fabricantes de abonos de todo el mundo que han ideado nuevos métodos de obtención de urea para alcanzar una producción económica. I.G. Farben encabeza una larga lista de sociedades en las que figuran Du Pont, ICI, Allied Chemical, Montecatini, Lonza, Inventa, Dutch State Mines, Toyo Koatsu, Sumitomo, Chemical Company y muchas otras, que han contribuido a la tecnología de la síntesis de la urea. Esas sociedades contaban con las materias pri

mas indispensables, amoniaco y dióxido de carbono, para iniciar la búsqueda de un método óptimo.

Un elevado número de investigadores, demasiado numerosas para citarlos aquí, han contribuido también de modo importante a los conocimientos técnicos relacionados con la síntesis de urea.

Es de señalar, no obstante, que M. Frejacques fue el primer autor que estableció claramente las bases teóricas de la síntesis de urea, y que S. Kawasumi fue el primer investigador que describió el mecanismo de la reacción en el reactor.

Lucien H. Cook publicó revisiones de los métodos de fabricación de urea disponibles en 1954 y 1961. En el período de 1950 a 1960, la capacidad de las fábricas de urea era sólo de 50 a 150 toneladas por día porque los fabricantes no se atrevían a iniciar una producción en gran escala por métodos no ensayados. En 1961 ya se habían probado en escala comercial todos los métodos nuevos métodos propuestos en 1950, y en ese momento, una vez superado el período de ensayo, Lucien H. Cook predijo que el método de reciclado de solución de carbamato (descrito anteriormente) estaba destinado a permanecer. Esta predicción puede considerarse acertada a la vista de los actuales informes sobre la construcción de nuevas fábricas de urea.

¿Cuál es la situación en lo que se refiere a la capacidad de la planta? Se encuentra hoy en operación plantas con una capacidad diaria de 100 a 1000 toneladas, en aquellos casos en los que el fabricante posee la situación estratégica en el seno del

mercado. Las fábricas de urea de reciclado parcial y proceso directo ofrecen netas ventajas económicas si la instalación productora de urea está integrada con la fabricación de ácido nítrico y de nitrato amónico. No obstante, en muchos lugares la demanda de urea requiere la instalación de fábricas con una capacidad superior a las 1500 toneladas. Esto es especialmente cierto en las instalaciones situadas en regiones en las que la urea es el único fertilizante nitrogenado producido.

Para conseguir las mayores ventajas económicas en la producción de urea en gran escala, es preciso mantener un proceso de corriente única, lo que significa que es necesario evitar el empleo de reactores en serie, descomponedores de carbamato en paralelo, etc. D. Keens ha examinado los problemas planteados al respecto y Francesco Bellia ha publicado un informe sobre los aspectos económicos de las fábricas de urea en gran escala.

Los fabricantes de abono que estudian hoy la instalación de fábricas en gran escala están convencidos de que el proceso ha de basarse en el reciclado de la solución de carbamato: ¿Cuál es la mayor fábrica de urea en corriente única en gran escala que puede considerarse práctica y hacedera?. Pueden diseñarse fábricas de urea de reciclado completo y corriente única en gran escala para la producción continuada de más de 1,500 toneladas diarias. Si se utilizan todas las posibilidades del método de reciclado del carbamato, que es el que se va a emplear, la economía de la fabricación de corriente única resultará

atractiva.

De ello se deduce que el empleo de un método eficaz permitirá disminuir el tamaño del equipo y reducir al mínimo las inversiosiones y los costos de funcionamiento.

El exámen de los numerosos artículos y especificaciones de pa - tentes publicadas sobre los métodos de fabricación de urea por reciclado de carbamato muestra que todos ellos están siendo perfeccionados con arreglo a procedimientos análogos. En el futu - ro será difícil establecer una diferencia entre los procesos básicos. Sin embargo, pasará cierto tiempo hasta que expiren los derechos de patente importantes y se generalicen los cono - cimientos técnicos sobre el problema.

Hubo una época en que se conservaron en secreto los conocien - tos técnicos relativos a la fabricación de amoniaco, pero a me - dida que entran en funcionamiento nuevas fábricas un mayor nú - mero de ingenieros y operarios adquieren una comprensión del sistema; Aparecieron numerosos artículos técnicos relativos al tema y en ciertos casos los detalles técnicos pasaron a ser de conocimiento general. Los métodos de fabricación del amoniaco eran en esencia iguales y solo se registraban diferencias en las necesidades del funcionamiento. Los futuros fabricantes elegfan en general el procedimiento basándose en los costos de inversión. Esta situación a persistido hasta una fecha reciente, pues el empleo de centrifugadoras para la comprensión del gas de síntesis del amoniaco en las fábricas de amoniaco de gran volumen ha cam - biado por completo la economía de la fabricación.

Todos los métodos comerciales de obtención de urea se basan actualmente en la reacción entre el amoníaco y el dióxido de carbono para formar carbamato amónico con ulterior deshidratación a urea. El amoníaco y el dióxido de carbono proceden en general de la misma planta porque el segundo es un subproducto de la síntesis del amoníaco.

Como materia prima, el amoníaco anhidro obtenido en una instalación de síntesis de amoníaco tiene en general una pureza bastante elevada y rara vez exige un tratamiento preliminar. La regla general que ha de aplicarse es mantener la concentración total de impurezas del amoníaco (materias inertes, agua y polvo del catalizador) por debajo del 1%. La pureza del dióxido de carbono obtenido en la sección de gas de síntesis de la fábrica de amoníaco dependerá del método de eliminación del  $\text{CO}_2$  utilizado en esa sección y de la necesidad de purificar el dióxido de carbono dependerá de los métodos de fabricación de la urea y de los materiales utilizados en la instalación.

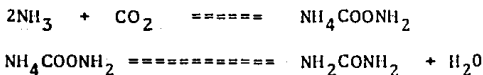
En general y tanto en lo que se refiere a la fabricación como a la corrosión, es preferible el menor contenido de gases inertes y de azufre, aunque puede tolerarse hasta un 2% de los primeros y 25 ppm del segundo.

#### B. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO

Para facilitar la explicación puede dividirse la producción de

urea en cuatro secciones: síntesis, descomposición, recuperación y acabado.

1.- Fase de síntesis.- En la sección de síntesis se obtiene la urea por una reacción muy exotérmica entre el amoníaco y el dióxido de carbono para obtener carbamato amónico, con una deshidratación ulterior ligeramente endotérmica del carbamato amónico para dar urea, tal como se indica en las siguientes reacciones:



Las reacciones son reversibles y la conversión del carbamato amónico en urea sólo se produce en la fase líquida. Las principales variables que influyen sobre la reacción son la temperatura, la presión, la composición del líquido de alimentación y la duración de la reacción. La temperatura y la presión elevadas incrementan las tasas de conversión en urea. El aumento del amoníaco en exceso favorece la conversión, como también lo hace la reducción de la cantidad de agua del líquido alimentador. En general, las condiciones de la reacción en las plantas comerciales varían entre 170 y 210°C. y entre 170 y 400 Kg/cm<sup>2</sup>, en función del sistema utilizado. La síntesis de urea se efectúa habitualmente en un recipiente vertical y a presión elevada para que la reacción de síntesis se aproxime al máximo punto de equilibrio.

La conversión del dióxido de carbono en urea en un paso varía



entre el 50% y el 80%, en relación también con el sistema empleado; la tasa de conversión del amoniaco presenta mayores variaciones y depende del volumen de amoniaco en exceso utilizado.

Teniendo en cuenta que la reacción general entre el amoniaco y el dióxido de carbono para dar urea es exotérmica, se utilizan distintos métodos para regular la temperatura de la reacción. En el proceso en el que se emplean volúmenes casi estequiométricos de amoniaco y dióxido de carbono, las temperaturas de la reacción se mantienen por medio de serpentines de enfriamiento internos o camisas de enfriamiento externas. Un diseño adecuado permite eliminar el calor de la reacción en exceso mediante la obtención de vapor de baja presión. En los métodos de reciclado más complejos, la temperatura de la reacción se regula por una combinación de los siguientes elementos: a) amoniaco en exceso; b) reciclado de la solución; c) camisas externas o serpentines de refrigeración internos; d) introducción de un liquido inerte, como el aceite; y e) calentamiento previo del amoniaco.

2.- Fase de descomposición.- Así pues, el producto de la sección de síntesis está integrado por urea, carbamato amónico, agua y amoniaco, si éste se emplea.

Es preciso aplicar una elaboración ulterior para separar la urea del producto de la reacción; en general, el proceso prosigue del siguiente modo.

El producto salido del reactor es fulgurado a través de un distribuidor de expansión y se evapora la mayor parte del amoniaco en exceso y una pequeña cantidad del carbamato amónico se descompone en amoniaco y dióxido de carbono que se libera en forma de gas utilizando el calor sensible del producto de reacción.

El amoniaco en exceso y el carbamato amónico restantes son eliminados en forma de gas de la solución de urea mediante la aplicación de calor a una presión reducida. En general se siguen dos o tres etapas de descomposición para conseguir que la urea quede totalmente libre de amoniaco y de carbamato amónico; esas etapas se efectúan descendiendo progresivamente la presión (de 15-40 Kg/cm<sup>2</sup> a una presión análoga a la atmosférica) y temperaturas de 110-115°C. La concentración de la solución de urea que sale de esta sección es de 70/80%, en función de las etapas de acabado utilizadas.

3.- Fase de recuperación.- Las diferencias fundamentales entre los distintos sistemas de producción de urea se refiere al método para manipular los gases de amoniaco y dióxido de carbono salidos del descomponedor. No cabe duda que resulta antieconómica e irrealizable la expulsión del amoniaco a la atmósfera o al alcantarillado.

Para manipular esos gases de salida existen tres procesos generales: el proceso directo, el proceso de reciclado parcial y el proceso de reciclado total.

#### a) Proceso directo

La totalidad de los gases de amoníaco y dióxido de carbono pasan a instalaciones situadas más adelante para obtener ácido nítrico, nitrato amónico, sulfato amónico u otros derivados del nitrógeno. La utilización de todo el amoníaco da el tipo de fábrica de urea menos costoso, en el que además son menores los costos del vapor y del agua de enfriamiento; sin embargo, hay un mayor consumo de electricidad y un volumen de gases de salida más alto para manipular. Otra desventaja del sistema consiste a veces en la necesidad de establecer un estrecho equilibrio entre la fábrica de urea y la planta de derivados nitrogenados secundarios, lo que puede hacer que la economía de la fábrica de urea sea desfavorable si los abonos obtenidos secundariamente no tienen un mercado fácil. En este sistema el 54% aproximadamente del dióxido alimentado y el 45% del amoníaco alimentado puedan convertirse a urea. En el proceso directo, la utilización del amoníaco en exceso es limitada. La eficacia de conversión del dióxido de carbono puede elevarse hasta el 74% si aumenta la proporción  $\text{NH}_3/\text{CO}_2$ , lo que ocasiona un descenso simultáneo de la conversión de amoníaco hasta el 32%.

#### b) Proceso de reciclado parcial

En el proceso de reciclado parcial, una parte del amoníaco y el dióxido de carbono vuelven al autoclave de síntesis de la urea, lo que ocasiona una mayor eficacia de conversión del amoniaco y del dióxido de carbono. Existen procedimientos para

aplicar el proceso: la eficacia de conversión del dióxido de carbono es del 54-96% y la del amoniaco de 47-92%, en función de la amplitud del reciclado. El procedimiento más sencillo, recircula sólo amoniaco en exceso y permite así un aumento en la proporción  $\text{NH}_3/\text{CO}_2$  para incrementar la eficacia de conversión del fluido de alimentación. El procedimiento más complejo es muy parecido al proceso de reciclado total e incluye a menudo dos etapas de reciclado efectuadas a una presión intermedia y otra baja. En ciertos casos, el proceso de reciclado parcial puede considerarse como una modificación o una simplificación del reciclado total; por ello, los métodos habituales de recirculación de los gases de salida se describen en el apartado referente al proceso de reciclado total.

### c) Proceso de reciclado total

Los gases de salida de los descomponedores pasan por completo al reactor de síntesis de la urea, de modo que no se precisa una instalación de conversión del gas de salida en subproducto, lo que representa una importante ventaja en el caso de que la instalación se construya en un emplazamiento nuevo y aislado. El reciclado total puede hacerse por distintos procedimientos, pero éstos siguen cuatro principios fundamentales:

i) Reciclado de la mezcla de gas caliente. Este procedimiento que fue utilizado primitivamente por I.G. Farben en Oppau, Alemania, comprende la compresión de la mezcla gaseosa  $\text{NH}_3/\text{CO}_2$  en cinco fases, separadas por etapas de enfriamiento con aire.

Este enfriamiento es necesario para evitar la formación de carbamato amónico sólido que taponaría el compresor. La mezcla gaseosa comprimida a 270°C es muy corrosiva y la regulación de la temperatura resulta muy difícil. El método se considera im practicable porque la inversión de capital es alta, el funcionamiento es difícil y los costes de mantenimiento son muy ele vados.

ii). Reciclado de la solución de carbamato. Este proceso comprende la absorción en agua de la mezcla gaseosa de amoniaco y dióxido de carbono, que se recircula en forma de solución de carbamato amónico acuosa hasta el autoclave de síntesis de la urea. El amoniaco en exceso puede separarse y someterse a una recirculación independiente. Los menores gastos de funcionamiento e inversión de este proceso han hecho que sea el más utilizado en los últimos años. Sin embargo, conviene mantener un volumen de agua mínimo porque la adición de agua al autoclave de la urea disminuye la cantidad de urea producida. Los procesos que reciclan la solución de carbamato son:

- Mitsui Toatsu Chemicals, Inc.
- Chemical Construction Corporation (Chemico).
- Montedison SpA.
- Lonza A.G.
- Montecani
- Du Pont
- Dutch State Mines

iii) Reciclado de la suspensión de carbamato. Este proceso comprende la reacción del amoniaco y del dióxido de carbono para formar carbamato amónico sólido en un medio no acuoso, como es un aceite mineral o el amoniaco líquido. La suspensión de carbamato dispersa uniformemente en el medio se recircula a la instalación de síntesis de la urea. Para separar el medio de la solución de urea se necesita un sistema de purificación especial.

Los procesos que utilizan esta técnica son:

- Stamicarbon BV
- Snam Progetti SpA.
- Pechiney-Grace

iiii) Reciclado del gas por separado. En este método se produce la absorción del amoniaco o del dióxido de carbono con un disolvente especial, como la monoetanolamina y el nitrato-urea, lo que ocasiona su separación; entonces se recircula por separado hasta el reactor de síntesis de la urea.

Los procesos que reciclan el gas por separado son:

- Allied Chemical Corporation
- Inventa A.G.

4.- Fase de acabado.- En esta fase se obtiene finalmente la urea en forma de solución, cristales o glóbulos. La solución de urea que sale de la sección de descomposición tiene una concentración de 70-80%. Esta urea puede utilizarse de cuatro modos distintos: formación de una solución de nitrógeno, for-

mación de glóbulos, cristalización a presión atmosférica y cristalización en vacío. En el primero de estos métodos, la solución de urea puede pasar directamente a solución de nitrógeno. A continuación se examinan los tres procedimientos restantes.

a) Formación directa de glóbulos.

La solución de urea se concentra hasta el 90% y pasa después a un tipo especial de evaporador situado en la parte superior de la torre de globulación. La solución de urea se concentra de nuevo hasta superar el 99.5% y desciende entonces por la torre.

Los glóbulos de urea son a veces desecados y enfirados en la parte inferior de la torre. El producto tiene en general un 0.8-1.0% de Biuret y un 0.5-0.3% de humedad, concentraciones que son satisfactorias para su utilización como fertilizante. La formación directa de glóbulos queda ilustrada en la figura d.1.

b) Cristalización a la presión atmosférica.

La solución de urea se concentra hasta un 85-90% y pasa a un cristizador a la presión atmosférica, donde el agua se evapora gracias al calor sensible de la solución y al calor de cristalización. Los cristales de urea así obtenidos se desecan con aire caliente hasta que el contenido de agua sea inferior al 0.3%. Los cristales pueden utilizarse de ese modo o enviarse a la parte superior de una torre de globulación en la que queda fundida y transformada en glóbulos la urea.

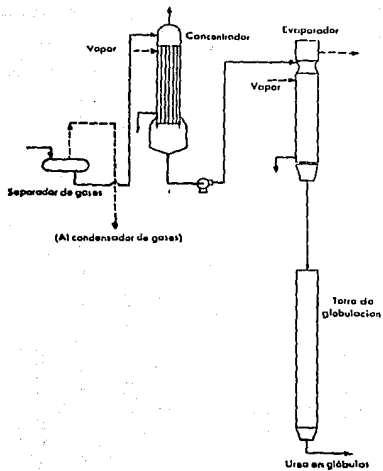


Figura d.1. Formación directa de glóbulos

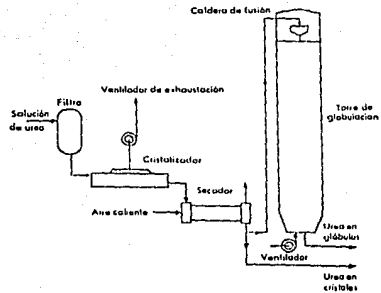


Figura d.2. Cristalización a la presión Atmosférica

FUENTE : Fertilizer Developments and Trends  
 Park Ridge ,New Jersey 1968



Los glóbulos así obtenidos tienen una concentración de agua y son muy duros: en general presentan una concentración de biuret del 0.8-1.0 % y una concentración de agua del 0.3%. Este proceso se ilustra en la figura d.2 .

### c) Cristalización en vacío

Para obtener cristales o glóbulos de gran pureza se efectúa a menudo una cristalización en vacío. La solución de urea se filtra en condiciones normales para eliminar contaminantes tales como el aceite o los metales oxidados. Los cristales se forman en el cristizador de vacío y se separan por centriugación; después se desecan con una corriente de aire caliente hasta que la concentración de agua sea inferior al 0.3% .

Los cristales así formados tienen la pureza suficiente para las aplicaciones industriales. En general, la concentración de biuret es inferior al 0.1% y la de agua al 0.3%. Los cristales pueden ser fundidos y transformados en glóbulos en una torre adecuada. El contenido de biuret del producto en glóbulos es sólo del 0.25 - 0.30 %, y la concentración de agua es inferior al 0.3 %. En la figura d.3 se muestra la cristalización en vacío y las figuras d.4 , d.5 , d.6 , se dan diferentes tipos de procesos.

A continuación se da una breve descripción de los principales procesos, así como sus diagramas de flujo.

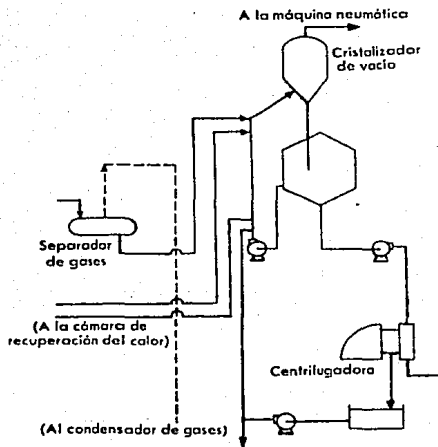


Figura d.3. Cristalización en vacío

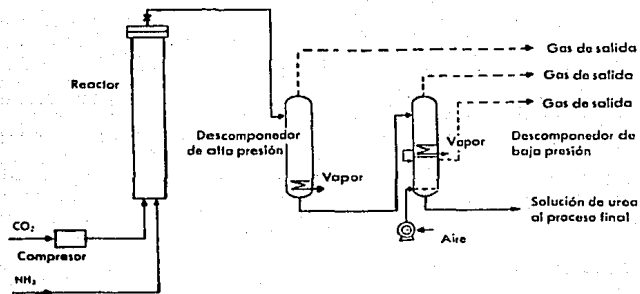


Figura d.4. Proceso directo

FUENTE : Fertilizer Developments and Trends  
Park Ridge , New Jersey 1968.

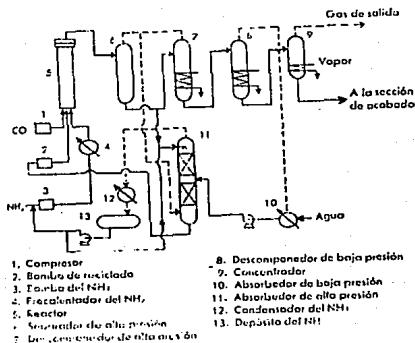


Figura d.5 Proceso de recirculación parcial

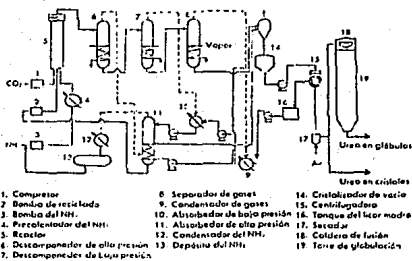


Figura d.6. Proceso de recirculación total

FUENTE : Fertilizer Developments and Trends  
 Park Ridge , New Jersey 1968

## NITRATO DE AMONIO

Desarrollos recientes en los metodos de produccion de nitrato de amonio no han sido tan abundantes como los metodos de amoniaco. Los procesos por neutralización y prilado, desarrollados durante los años posteriores a la Segunda Guerra Mundial, han resultado satisfactorios .

### Neutralización

Un desarrollo reciente (Chemico) en la recuperación de calor durante la neutralización involucra el uso de amoníaco y bióxido de carbono sin reaccionar de una planta de urea- una mezcla usada en muchas plantas como materia prima para el nitrato de amonio con el subseguente ahorro en la operación de la planta de urea. Este nuevo método involucra tres etapas:

- 1.- La mezcla de amoníaco-bióxido de carbono es alimentado con ácido nítrico dentro de la carcaza de un neutralizador-intercambiador de calor .
- 2.- Los productos resultantes salen del neutralizador aproximadamente a 25 psig. y entran a un generador de vapor donde la mezcla caliente produce un vapor de 35 psig.
- 3.- El bióxido de carbono es eliminado de la solución de nitrato de amonio en un separador convencional vapor-líquido. La solución resultante, (73%) es recirculada por el lado de los tubos del neutralizador (etapa 1), donde el calor de reacción evapora agua y eleva la concentración hasta 83%. El proceso da buena recuperación de calor a un con la dilución de bióxido de carbono presente, la cual no es factible en el neutralizador convencional presurizado, usado con amoníaco no diluido.

Una variación en la tecnica de neutralización, reportada por Kil'man (U.S.S.R.), incluye la combinación de las etapas de neutralización y evaporación en un reactor simple. El tiempo de

retención en el reactor, el cual opera a una presión aproximada de 4 atmosferas, es bastante corto (0.36 seg.), y las gotas resultantes de nitrato de amonio fundido son separados del vapor en una serie de ciclones separadores. Se afirma que concentraciones hasta del 99.5% de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  pueden obtenerse con 62.5% de  $\text{HNO}_3$ , con adición limitada de calor para precalentar el amoníaco hasta 155 °C. Otro proceso un tanto similar a sido patentado por UCB en Belgica años atras. Amoníaco precalentado y ácido nítrico (> 60%) reaccionan en una caldera y el vapor resultante se utiliza para concentrar el licor neutro hasta 95% ó más en una etapa subsecuente de concentración.

#### Prilado

Pocos mejoramientos en las tecnicas de prilado han sido reportados. Uno de ellos es un aparato antiobstrucción ( Figura d. 7 ) para el recipiente de prilado rotatorio utilizado en muchas plantas para dispersar el fundido de nitrato de amonio dentro de la torre de prilado. Este aparato (Ellwood, 1974) consiste de una paleta raspadora operada por una polea, con una dirección de rotación opuesta al del recipiente. El espacio entre la paleta y la pared del recipiente es de pocos milímetros. El aparato es útil cuando las mezclas que son priladas son viscosas ó contienen materia sólida.

Otro desarrollo es un sistema especial de prilado diseñado tambien para prilar fundidos viscosos y pastas. Este sistema llamado Thermoprill involucra el uso de orificios insertos y una camara caliente en las toberas, con el propósito de prevenir que el material pase fundido a través de las toberas abiertas. Pastas conteniendo hasta 50% de sólidos pueden ser utilizadas. El sistema muestra también un flujo ascendente de aire frio a través de la torre y un colector de polvos para eliminar el polvo absorbido por el aire. Un nuevo método para desmenbrar una corriente de nitrato

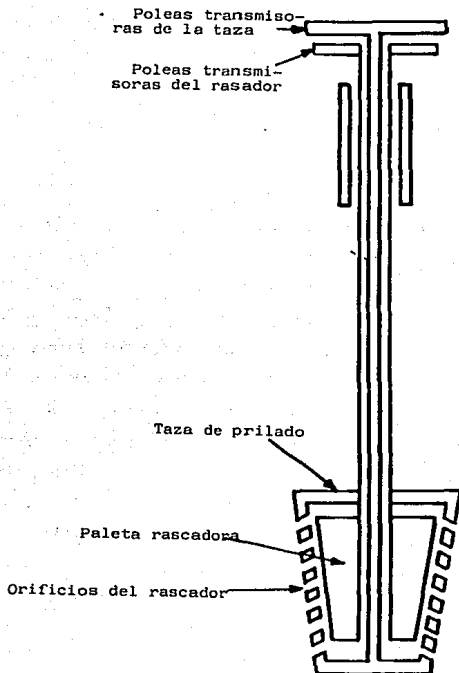


Figura d. 7 . Cubo automático pulverizador limpiador para el prilado

FUENTE: FERTILIZER DEVELOPMENTS AND TRENDS  
Park Ridge, New Yersey. USA 1968

de amonio en gotas, patentado por Lyon (1977; Monsanto), incluye el uso de una barra delgada vibrante. En otro aparato de este tipo (Cramer, 1977; Armour), el fundido es alimentado a través de un plato perforado y la corriente resultante expuesta a vibraciones sónicas hasta romperlas en gotas. Se afirma que se obtiene un tamaño de partícula uniforme, 89% de las partículas pasa a través de una malla -10 + 12 .

#### Caja de granulación.

El granulador tipo caja, ampliamente usado en Europa para la granulación de superfosfato, ha sido aplicado al nitrato de amonio y ha fertilizantes multinutrientes conteniendo nitrato de amonio. Durante los últimos años la TVA ha investigado el método en una planta a escala planta piloto y en los inicios de 1979 puso en operación una planta de demostración. Un diagrama de flujo simplificado para la planta TVA se muestra en la figura d. 8 El proceso es descrito por Mc Camy, Graham, y Siegel; en la producción de nitrato de amonio, el ácido nítrico es neutralizado con amoniaco hasta un Ph cercano a 2.5 , la solución resultante es evaporada hasta una concentración de 95-98 %, y la neutralización hasta un ph cercano a 6 se alcanza en un segundo neutralizador. La solución concentrada es rociada sobre un sistema de cascada para recircular finos hacia la caja granuladora rotatorio. Después de la etapa de presecado el producto es tamizado y los granos de tamaño grande son molidos y junto con los granos finos son enfriados y recirculados.

La caja granuladora tiene la ventaja de autoclasificar los granos; la acción deslizante del lecho tiende a mantener partículas pequeñas en la caja y permitir el escape de las grandes. Sin embargo mucho de este material debe recircularse para suministrar suficiente material sólido para una buena granulación en la caja. La cantidad de recirculación necesaria depende de la temperatura del

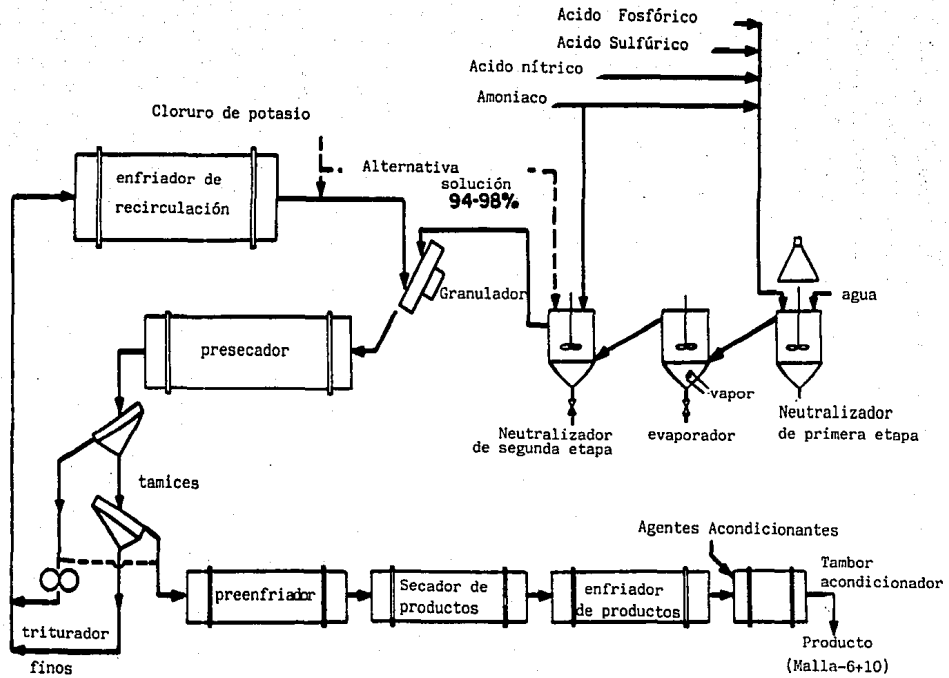


Figura d. 8 Método de granulación para Nitrato de Amonio

FUENTE: Fertilizer Developments and Trends  
Park Ridge, New Jersey USA 1968



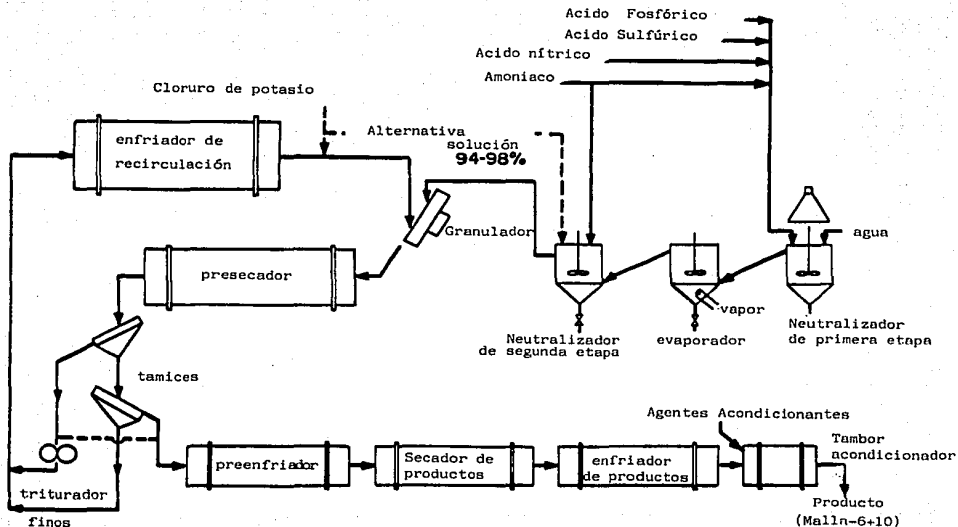


Figura d. 8 Método de granulación para Nitrato de Amonio

FUENTE: Fertilizer Developments and Trends  
Park Ridge, New Jersey USA 1968

material reciclado; a 140 °F., la relación de recirculación fué de 1.3 a 2.0 libras de recirculación por libras de producto. El producto obtenido fué parejo "redondo" y tiene buenas propiedades para manejar cuando se seca hasta una humedad aproximada del 0.3% y apropiadamente acondicionada.

Los dos granuladores tipo caja de la planta TVA estan hechos de acero al carbón y cada uno tiene 14 pies de diámetro y 20 pulgadas de altura . Las unidades estan equipadas con motores de velocidad variables; raspadores reciprocantes y accesorios para variar el angulo de inclinación. La capacidad de diseño es de 10 ton/hr. por caja.

Otras organizaciones han hecho trabajos sobre la granulación en caja del nitrato de amonio e incluye a Montecatini y Commercial Solvents. Fabris ( 1974; Montecatini ) patentó la etapa de enfriamiento de finos antes de recircularlos. Shurter y Miller (1976; Commercial Solvents) propusieron una variación en la cual la solución amoniatizante (conteniendo nitrato de amonio, amoníaco y agua), del tipo generalmente usado en la amonización de superfosfato es rociada junto con ácido nítrico sobre un lecho de partículas de nitrato de amonio en un granulador tipo caja. En los ejemplos dados el lecho fué calentado hasta menos de 140 °F., temperatura a la cual el producto contiene cerca de 5% de agua; a 250 °F. un producto conteniendo menos de 0.5% de agua se obtuvo. No hay datos sobre pérdidas por volatilización o arrastre en la caja.

El estado futuro de la granulación en caja de nitrato de amonio es incierto. Las unidades TVA dan información sobre problemas de operación y aspectos económicos de producción. Una de las principales ventajas que hacen que las cajas crezcan en popularidad es la habilidad para manejar un amplio rango de materiales mezclados con el nitrato de amonio. Otras ventajas de la caja son (1) la instalación de la caja es generalmente considerada menos costosa

comparada con una planta de prilado, (2) mejor control del tamaño de partícula puede obtenerse en la operación de la caja.

#### Tambor de Granulación

La naturaleza pegajosa del nitrato de amonio durante la granulación y la dificultad en quitar la adhesión de los granos es eliminada en el tambor.

De 1958 a 1976, la TVA produjo nitrato de amonio en un tambor granulador del tipo TVA, con la adición aproximada de 5% de ácido sulfúrico para suministrar calor para la granulación de cristales húmedos.

Varias patentes han sido registradas sobre la granulación en tambor de granulación en los años anteriores. Austin (1975; Tennessee Corporation) obtuvo producción directa a partir de amoníaco y ácido nítrico en un granulador-amoniador tipo TVA; el ácido nítrico fué rociado sobre el domo del lecho y el amoníaco inyectado por abajo. La producción de un producto satisfactorio depende del uso de un agente granulador tal como el ácido fosfórico de proceso húmedo en pequeñas cantidades (2%  $P_2O_5$  en producto), hierro ó cobre (0.1%).

Una patente de interes particular es la de Thompson y Hildred (1976; Cominco) en la cual se rocía un fundido de nitrato de amonio en un tambor conteniendo granulos del mismo es descrito. El tambor esta equipado con un sistema de ascenso que eleva los granos y son esparcidos hacia abajo; Aire a temperatura ambiente pasa a contracorriente en el tambor para enfriar el fundido y solidificar los granulos. El fundido es concentrado hasta 99.5% ó más para reducir la recirculación y evitar la necesidad de secar el producto.

Es interesante notar que el proceso desarrollado por Cominco, la compañía que desarrollo y comercializó el nitrato de amonio prilado en los inicios de 1940, y que Cominco tiene ahora abandonado el prilado y produce nitrato de amonio por granulación.

Las ventajas obtenidas son, mejor control del tamaño y forma de partícula, mejor calidad del producto y más alta densidad volumétrica del producto.

## SULFATO DE AMONIO

El sulfato de amonio fue una importante fuente de fertilizantes de nitrógeno sintético antes de la producción comercial de amoniaco sintético que empezó en los primeros tiempos de este Siglo porque fue disponible como un subproducto del gas de ciudad y hornos de coque.

La importancia del sulfato de amonio desde hace tiempo ha estado decreciendo; del consumo total mundial de fertilizantes nitrogenados; el porcentaje total, representado por el sulfato ha decrecido tanto como desde un 31% (base mundial) en 1957 hasta un 4.6% en 1983. El consumo desarrollado de amoniaco y soluciones nitrogenadas en los Estados Unidos, y de urea, fosfato amónico, y nitrofosfatos por todo el mundo, ha hecho que la posición preferente del sulfato de amonio como un suministrador de nitrógeno, tenga la tendencia en lo que a su desarrollo se refiere a un decrecimiento continuo. El sulfato de amonio como subproducto de la caprolactama puede llegar a ser más importante pero las ventajas de los materiales más nuevos han incrementado el nivel de precio de la fabricación de azufre contra el sulfato de amonio como un producto primario.

La importancia del decrecimiento ha desalentado su desarrollo. Relativamente poco ha sido lo publicado sobre el procesamiento del sulfato de amonio desde 1960.

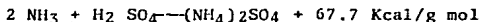
Los 5 grandes productores de los Estados Unidos son Allied Chemical Corp., Dow Badesche Co., Occidental Petroleum Corp., Ni-

pro y Valley Nitrogen Producers y tienen el 65% de capacidad de producción.

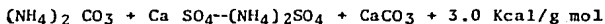
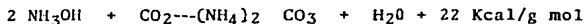
PROCESOS:

Existen 3 métodos generales para la elaboración de Sulfato de Amonio:

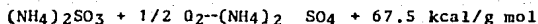
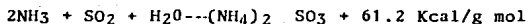
1. La reacción de amoníaco o amoníaco conteniendo gas con ácido sulfúrico o soluciones conteniendo ácido sulfúrico.



2. La reacción de sulfato de calcio con carbonato de amonio



3. La reacción de amoníaco o amoníaco conteniendo gas con dióxido de sulfuro y la oxidación de el sulfito diamónico producto del sulfato de amonio.



Las soluciones de sulfato de amonio acuoso, son obtenidos de esas reacciones y son procesados para recuperar el producto cristalino. Cuando una solución saturada de una sal cristalizable como el sulfato de amonio es enfriado a superenfriado, esto es meta estable justo antes de la formación del núcleo del cristal sólido. Después de que el núcleo es formado, la solu-

ción es inestable y los cristales se cultivarán de cada núcleo si el líquido meta estable adicional, es suministrado. Las condiciones meta estable son afectadas por el P.H., la temperatura, impurezas, el área superficial del cristal y la agitación. Uniformemente el diámetro de los cristales son producidos en un cristizador cuando el suministro del líquido alimentado - meta estable es mantenido en forma constante y cuando el número de núcleos nuevos formado es igual al número de cristales removidos. La relación de producción se tiene normalmente constante; por lo tanto el promedio de diámetro del cristal es una función de la razón de nucleación.

El método de producción estándar, cristalización, están bien desarrollados y hay muy poco incentivo para un nuevo desarrollo en su fabricación. Sin embargo, algunos estudios se han reportado como (Nyvlt, 1962; Czechoslovakia) en el sentido de perfeccionar la forma de cristal. Pequeñas cantidades de  $Fe^{2+}$  más urea,  $Fe^{2+}$  más  $Al^{3+}$  más urea y  $Fe^{2+}$  más  $Al^{3+}$  más  $Mg^{2+}$  aumentaban la región de metaestabilidad en la cristalización y promovieron el desarrollo de cristales en la forma de "granos de arroz". El ácido sulfúrico libre no tiene mucho efecto en la forma del cristal. El PH óptimo fue de 5 - 6.

El sulfato de amonio no es tan higroscópico como otros fertilizantes nitrogenados tal como el nitrato de amonio o la urea y por lo tanto rara vez requiere condicionamiento, particularmente cuando es hecho en cristizadores a vacío y por lo tanto

tiene un tamaño de partícula relativamente grande (80-90% +20 mesh). Muchos tratamientos de condicionamiento han sido propuestos; sin embargo. Una de las patentes, (Cooke and Phoenix, 1964) especifica el uso de 0.0001 a 0.1% de materiales tales como  $\text{FeCl}_3$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{Ce}(\text{NO}_3)_6$ ,  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ ,  $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$ ,  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ , o  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4\text{-FeSO}_4$ , añadidos uno u otro en un mezclador o directamente al cristalizador.

Un proceso de granulación de sulfato de amonio ha sido desarrollado a través de una planta piloto a escala por la TVA. Esto incluye el uso del proceso amonizador-granulador, desarrollado originalmente para amonización y granulación de superfosfato y el cual se ha probado que es útil también en la producción de fosfato de amonio y nitrofosfato. A causa de lo interesante de esta industria, TVA en 1966 probó el amonizador-granulador en el sulfato de amonio. Acido sulfúrico ( $03\frac{1}{2}\text{S}_2\text{O}_4$ ) fue amonizado en un preneutralizador en una proporción mol  $\text{NH}_3:\text{H}_2\text{SO}_4$  de casi 1:1, la pulpa resultante fue fluída a una cama de rolado de sólidos recirculados en el granulador, y la razón de amonización del sulfato de amonio fue completado por inyección sumergida de amoníaco debajo de los sólidos.

La razón 1:1 fue usada en el preneutralizador porque da una relativamente alta solubilidad, con una temperatura de 310 F. Fue posible operar con solo casi 10% de agua en la solución, reduciendo de tal modo la cantidad de recirculación requerida en el



granulador. El PH de la solución fue de casi 0.6.

La operación fue satisfactoriamente con una razón de recirculación de casi 2.5 (lb. de material recirculado/lb. del producto). El secado no fue requerido porque el calor de amonización en el granulador fue bastante para que salga el agua principalmente (casi de 0.1% de humedad). La corrosión en el preneutralizador, sin embargo, fue un problema. Las pruebas indicaron que un revestimiento no metálico, una superficie de ladrillo resistente al ácido, debería ser necesario.

Los granos del producto están bien formados y duros, el tamaño de los granos puede ser tan grande como se deseen, el equipo es relativamente bajo en costo, y la planta puede ser usada para hacer varios productos distintos al sulfato de amonio.

Existen muchos procesos de granulación disponibles para incrementar el tamaño de la partícula del sulfato de amonio. Cuando el crecimiento del cristal está restringido a causa de las limitaciones de equipos o la presencia de inhibidores de crecimiento del cristal. (véase Figura d. 4 )

En un proceso de granulación el sulfato de amonio sólido pero conteniendo 2 ó 3% de humedad, pasa a través de un rodillo de rotación compacto el cual comprime la alimentación en una hoja continua de 1/8 de pulgada de espesor. Este material es secado hasta un contenido de humedad de alrededor de 0.1% y entonces pasa a través de los rollos granuladores de acero en donde el material compacto seco es reducido de tamaño. Las partículas

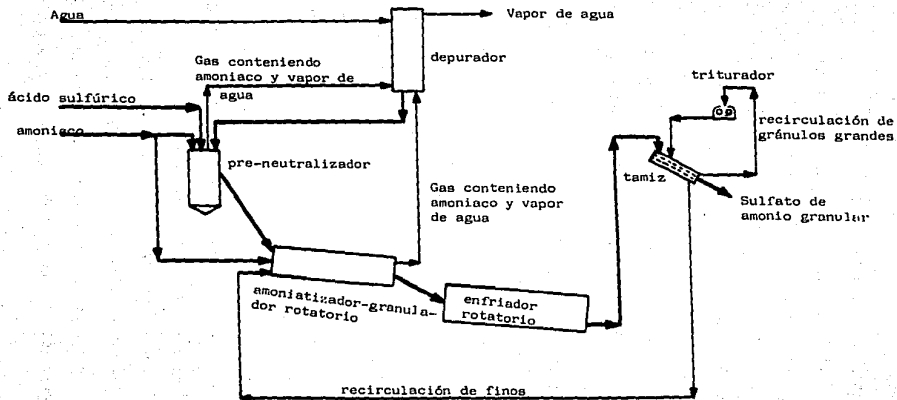


Figura d. 9 Proceso TVA para la producción de Sulfato de amonio granular

FUENTE: Fertilizer Developments and Trends  
Park Ridge, New Jersey USA 1968

planas de forma irregular son tamizadas y las partículas de menor tamaño son recirculadas al proceso. Los gránulos de mayor tamaño son fraccionados en partículas más pequeñas y luego recirculados al proceso.

En otro proceso una mezcla de partículas de sulfato de amonio sólido puro y los pequeños cristales húmedos de sulfato de amonio pasan a través de un equipo. Este consiste en un tubo largo con una flecha corrediza hacia el centro al cual están ligados un número de paletas, cuando la flecha gira las paletas mezclan los pequeños cristales húmedos y el material seco recirculado, juntándolos para formar gránulos debido a la adherencia del licor madre saturado presente. Los gránulos húmedos, que emergen del equipo son secados en un secador rotatorio. Cuando la humedad es removida, las partículas en cada grano individual son juntamente consolidados por cristalización de el sulfato de amonio presentado en la fase madre del licor. Los gránulos secos son tamizados y los materiales de tamaño pequeño y los grandes son reprocesados.

El tamaño de la partícula puede ser también incrementada por humedecimiento de partículas puras de sulfato de amonio en un granulador de tambor, con líquidos tal como una solución ligno sulfonatada o una solución de fosfato de amonio y secando los gránulos resultantes. También una mezcla de sulfato de amonio puro y cenizas pueden ser humedecidas con una solución de sul

fato de amonio seguro por la formación de gránulos y el secado.

#### 1. Reacción de Amoníaco y Acido Sulfúrico.

Las 3 fuentes principales de alimentación para la preparación de sulfato de amonio por la reacción de amoníaco y ácido sulfúrico, son:

- a. Subproducto de horno coque
- b. Acido sulfúrico y amoníaco puro
- c. Subproducto de la manufacturación química.

Anterior a 1921, cuando la primera planta de amoníaco sintético comenzó la producción, la principal fuente de sulfato de amonio en los Estados Unidos fue de coquefacción de carbón.

La coquefacción de carbón bituminoso conteniendo aproximadamente 1.5% de nitrógeno, el 15 - 20% de este nitrógeno es convertido a amoníaco durante la operación de coquefacción. Este amoníaco es después recuperado de los gases de la coquefacción como sulfato de amonio y de 21 a 28 libras pueden ser producidos por toneladas de carbón. Los requerimientos de la industria de acerado rigen la producción de coque, pero hoy en día el 15.2% del sulfato de amonio producido en los Estados Unidos es derivado de las operaciones de coquefacción. Una fuente grande y extensa de sulfato de amonio es aquel que se ha producido como un subproducto de los procesos químicos tales como la producción de caprolactama y acrilonitrilo. Otra fuente son los desechos del licor de salmuera de ácido sulfúrico de la produc

ción.

#### Subproductos de Hornos de Coque

Tres diferentes procesos son usados para la producción de sulfato de amonio del gas de hornos de coque, éstos son:

1. El proceso saturador
2. El proceso de absorción de amoníaco
3. El proceso de la cristalización controlada.

Cada uno de estos procesos utilizan la neutralización del ácido sulfúrico u amonio, sin embargo varía la efectividad en controlar la medida y calidad de los cristales de sulfato de amonio. Los tres procesos usan el mismo método para el traslado del licor madre: lavando, neutralizando los excesos de ácido sulfúrico y secando.

El proceso saturador es el más viejo de los tres métodos usados para producir sulfato de amonio. Es también el menos eficiente y es muy usado en los Estados Unidos.

La neutralización y la cristalización acontecen en el mismo reactor y no es una manera de controlar la medida del cristal o la medida de distribución.

Esto involucra la reacción de 140°F del amoníaco-conteniendo gas con el ácido sulfúrico en un reactor llamado saturador.

La concentración del ácido es mantenida entre 2 y 5% por la continua adición controlada del ácido sulfúrico concentrado.

Los cristales de sulfato de amonio son precipitados de la solu

ción supersaturada. El asentamiento de los fondos del saturador son bombeados a un centrifugador donde el licor madre es removido. Estos son enjuagados con agua y luego con amoníaco acuoso para neutralizar el ácido sulfúrico residual. Los cristales son posteriormente secados en un secador de tambor usando aire caliente, hasta que el contenido de humedad se reduce a 0.1%, la temperatura del ambiente es refrescado y enviado al almacén.

Una indeseable característica de este proceso son esos depósitos de sulfato de amonio que revisten el saturador en el fondo y a los lados, después de una corta operación y ocasionalmente es necesario interrumpir las operaciones para disolverlos. Esto es hecho por el incremento de la concentración del ácido de 10-15%. El bisulfato de amonio formado es más soluble en agua y los depósitos son disueltos.

El proceso de absorción de amoníaco para hacer sulfato de amonio es un perfeccionamiento en el acabado, del proceso saturador por que éste usa los reactores separados para el paso de neutralización y cristalización y permite algún control de acabado de la medida de cristal. Por lo que el sulfato de amonio no es depositado al fondo ni a las laterales del cristalizador. Este proceso incluye el uso de un absorvedor desempacado de rodado, un tanque cristalizador y equipo relacionado. El amoníaco conteniendo gas es cargado a los fondos del absorvedor y es lavado a contra-corriente con una solución saturada de sulfato

to de amonio conteniendo de 3 a 6% de ácido sulfúrico. La solución del producto de sulfato de amonio es enviada al tanque cristalizador, parte de la solución es recirculada al absorvedor y parte es enviada al tanque de licor madre, donde el ácido sulfúrico concentrado es continuamente agregado para mantener el contenido de ácido libre al alcance deseado. Esta solución refortificada es recirculada al absorvedor. Los cristales en pulpa son constantemente removidos desde lo más bajo del tanque cristalizador y es bombeado al tanque ligado. La solución clara separada es recolectada en un recipiente de licor y es recirculada al absorvedor. Los cristales en pulpa son removidos de lo más bajo del tanque ligado y enviado a un secador continuo centrífugo, después de que los cristales son secados, se tamizan, se enfrían y se envían al almacenamiento.

La más alta calidad del cristal de sulfato de amonio es producida usando el proceso de cristalización. Este es similar al proceso de absorción de amoníaco, excepto que un vaporizador es incorporado en el cristalizador y el agua puede ser removida bajo condiciones controladas. El control en el tamaño del cristal es logrado variando la razón de la circulación y la concentración de cristal.

El contenido de ácido sulfúrico de la casi saturada solución de sulfato de amonio que es circulada a través del absorvedor es mantenida al 6%.

El efluente del absorvedor es enviado al sistema de circulación

del cristalizador, donde la cristalización toma lugar debido al enfriamiento y los efectos de concentración del vaporizador. Los cristales más pequeños remanentes suspendidos en el líquido circulado y los cristales más grandes se asientan en los fondos y forman una pulpa. La pulpa es removida y procesada, como fue previamente descrito.

El polvo libre, el tamaño de los cristales (como arroz) producidos por este proceso fluyen libremente, son más resistentes a la ruptura que el producto preparado por los 2 procesos discutidos anteriormente. Además son más resistentes al apelmazamiento durante el almacenaje.

#### Producto Principal.

En el pasado, cuando la demanda de sulfato de amonio en los Estados Unidos empezó a exceder la existencia disponible de los hornos de coque, el producto adicional fue preparado por una reacción de amoniaco sintético y ácido sulfúrico puro. Este producto puro se llamó sulfato de amonio principal. En los años 50's el producto principal aportó la mayor parte del sulfato de amonio producido en los Estados Unidos; ahora aporta solamente una pequeña fracción de la producción total.

Un proceso de amonización de torre de rociado es usada en Japón para producir sulfato de amonio seco en polvo. En este proceso, el ácido sulfúrico es rociado en una torre rellena con gas de amoniaco. El sulfato de amonio seco en polvo es formado



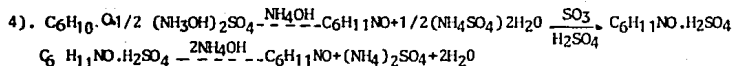
por el calor desarrollado por la reacción que evapora el agua que está presente. El vapor del agua y el exceso de amoniaco son removidos de la torre y separados en una columna. El amoniaco recuperado es regresado al proceso. El sulfato de amonio en polvo es continuamente removido del fondo de la torre y enviado al almacenamiento.

Es usado para la preparación de fórmulas de mezcla de fertilizantes secos. Si se desea el producto en polvo puede ser granulado o compactado para producir grandes partículas.

Subproducto químico.

Una gran porción de sulfato de amonio producido en los Estados Unidos es derivada de varias corrientes de proceso como subproducto de un proceso químico. Grandes cantidades de coprolactama son usados en los Estados Unidos para preparar nylon 6.

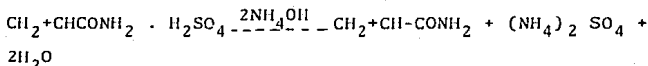
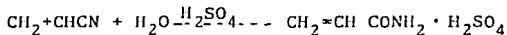
Uno de los procesos para la preparación de caprolactama es:



El sulfato de amonio es un subproducto de la preparación de sulfato de hidroxilamina, ciclohexanona oxima y la neutralización de la reacción de la mezcla de caprolactama; un total de 4.5 - 5 libras es producido por libra de caprolactama. El acrilonitrilo, es intermedio en la producción de fibras acrílicas es preparado por una reacción de propileno, un exceso de amoniaco y oxígeno:  $\text{CH}_2=\text{CH}=\text{CH}_2 + \text{NH}_3 + 1 \frac{1}{2}\text{O}_2 - \text{CH}_2=\text{CHCN} + 3\text{H}_2\text{O}$

El exceso de amoníaco en la reacción de mezcla es neutralizado con ácido sulfúrico acuoso y de 1 a 3 libras de sulfato de amonio es producida por libra de acrilonitrilo.

La acrilamida, usada para la producción de polimeros, es preparada del acrilonitrilo:



La neutralización de la solución del sulfato de hidrógeno acrilamida con hidróxido de amonio da acrilamida y sulfato de amonio.

Los cristales de sulfato de amonio son recuperados de varias soluciones de sulfato de amonio usando un cristizador equipado con un vaporizador (agotador de aire o vacío).

Un principal inconveniente al uso del sulfato de amonio como subproducto es que es generalmente disponible solamente como una solución relativamente diluida y la remoción del agua es costosa.

Reacción de Sulfato de Calcio con Carbonato de Amonio.

La idea de la manufacturación del sulfato de amonio por la reacción entre el sulfato de calcio y carbonato de amonio, fue primeramente usada en una planta en Austria en 1809, y el producto o sulfato de amonio fue posteriormente reaccionado con cloruro de sodio para producir cloruro de amonio.

Este primer proceso de sulfato de amonio no fue lo suficientemente accesible para ser generalmente usado y pasó más de 100 años para que un proceso comercial económico fuera desarrollado, haciéndolo la Badische Anilin und Soda Fabrik en Alemania. 2 plantas fueron construidas y operadas en Alemania durante la Primera Guerra Mundial.

Este método de producción es aún usada en partes del mundo donde el ácido sulfúrico es costoso y donde la existencia de Sulfato de calcio es disponible, tal como en Inglaterra, Francia, Alemania y la India.

Las varias reacciones involucradas en este proceso fueron presentadas previamente, la solución del carbonato de amonio saturado usado en el proceso es preparado por la disolución de dióxido de carbono en una solución de hidróxido de amonio. El dióxido de carbono es un subproducto disponible del proceso de fabricación de hidrógeno (desde la alimentación del hidrocarburos) para la síntesis de amoníaco. La conversión en la última reacción es de 95% después de 5 horas si el yeso es molido finamente lo suficiente, para que por lo menos el 95% de éste pase a través de un tamiz de malla 120 y si la temperatura de la reacción es mantenida a 70°C.

Es deseable o usar levemente, más que la cantidad teórica de amoníaco para precipitar las impurezas de hierro. La mezcla de la reacción es filtrada para separar el carbonato de calcio y el sulfato de calcio no reaccionado de la solución de sulfato

to de amonio. La adición de ácido carboxílico o sales de ácido sulfúrico es reportada para facilitar la remoción de la precipitación muy fina en este paso de filtración.

Reacción de Amoníaco con Dióxido de Azufre.

Un número de métodos han sido reportados hace algunos años para el procesado de gran cantidad de gas conteniendo  $SO_2$  (con motivo de reducir la contaminación ambiental) para la producción de sulfato de amonio.

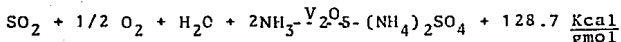
Algunos de esos procesos podrán llegar a ser atractivamente económicos en el futuro, ya que ayudaría a abatir los costos de disminución de contaminación.

El proceso Marino, es una de las técnicas de bajo costo de desulfuración en unidades de pequeña escala e incluye la reacción de una solución de amoníaco acuoso con dióxido de azufre en un reactor cristalizador abierto a la atmósfera para preparar sulfito de amonio cristalino.

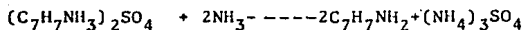
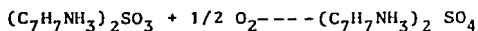
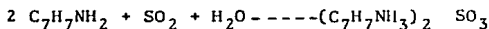
Los cristales de sulfito de amonio son centrifugados desde el efluente del cristalizador y son oxidados hasta tener sulfato de amonio en un secador rotatorio. En un proceso similar se afirma que la etapa de oxidación puede ser hecho en otra solución de sulfito de amonio.

Partículas microcristalinas de sulfato de amonio son producidas pasando una mezcla de dióxido de azufre, oxígeno, agua y amoníaco a través de una cama de partículas catalizadoras de pentóxido de vanadio en una atmósfera de 200 - 450°C. y 0.1-5

atmósferas de presión.



En el proceso Piritas Españolas el dióxido de azufre contenido en el gas es absorbido en un solvente orgánico tal como tolouidina o xilidina. El sulfito es oxidado por aire y el sulfato orgánico es descompuesto con amoníaco.



El sulfato de amonio es recuperado por centrifugación y secado. Una más reciente variación de este proceso usa una amina en el absorbedor, la cual es una base más dura que el amoníaco y también usa un solvente (alcohol) para facilitar la precipitación de los cristales de sulfato de amonio.

También se ha reportado que el proceso Merseburg se usa en algunas partes de los Estados Unidos para hacer soluciones de sulfato de amonio para su uso en la producción de fertilizantes fosfato de amonio-sulfato. Esta situación difiere del camino seguido en la producción de sulfato de amonio, porque las facilidades de la granulación son un hecho.

La fabricación del sulfato de amonio y su valor agronómico ha sido reportado por Larsen y Gunary (1962; Fisons). Pérdidas de amoníaco en la aplicación de fertilizantes en suelos calcáreos fue conocido como tan alto para el sulfato de amonio como

para el fosfato de amonio y nitrato de amonio. Otros factores que se pueden incluir son el PH, la formación de complejos amoníaco-metal en la fase líquida y sales dobles de amonio insolubles en la fase sólida.

Este tipo de pérdidas no parece ser un problema serio, particularmente en los Estados Unidos donde poco sulfato de amonio se aplica a la superficie de los suelos.

#### —Fertilizantes Fosfatados

A través de los siglos y desde tiempos medievales, la responsabilidad para el incremento de los alimentos ha sido muy interesante en el mejoramiento del rendimiento de las cosechas.

Y fue una práctica general, la adición de varios minerales o sustancias orgánicas al suelo, y este enfoque fue largamente empírico cerca de 200 ó 300 años, ya que los cultivadores de tierras encontraron por prueba y error que la adición de sustancias orgánicas y minerales mejoraban el desarrollo de las plantas. Tales materiales como estiércol, huesos, cenizas de madera, salitre y yeso fueron añadidas. Los resultados casuales de estos métodos generales no fueron predecibles; así, si un tratamiento era beneficioso para un campo, entonces se aplicaba éste a otros campos, con resultados adversos muchas veces. La fundación real para la industria moderna de fertilizantes, fue puesta por Liebig a principios de 1900. El experimentador alemán la dio fuerza al valor de los elementos nutrientes que las plantas derivan del suelo. Forzó la necesidad de re-

emplazar de una manera regular, los elementos necesarios en el suelo y que son removidos durante el desarrollo de las plantas. El visualizó y escribió acerca de la industria química de los fertilizantes con plantas para producción de nutrientes necesarios tales como fosfatos, cal, magnio y potasio.

Análisis de la Evolución.

El primer fertilizante de fosfato, como tal, fue huesos de desperdicios que fueron ampliamente usados en Europa durante la etapa inicial de 1900.

Quando el suministro de huesos de animales fue corto, huesos humanos fueron recolectados desde campos de batalla, hasta en lugares de entierros. El tratamiento de los huesos con ácido sulfúrico fue empezado por Liebing, comenzando cerca de 1810 y volviéndose pronto una práctica común. Acido sulfúrico diluido fue usado, por tanto el producto fue una pulpa que fue distribuida en toneles de madera, otros materiales nutrientes, tales como sulfato de amonio, potasio y nitrato de sosa, fueron añadidos después, produciéndose entonces el primer fertilizante fluido mezclado.

Cerca de 1830 la práctica progresó con el tratamiento de fosfato de roca abundante y muy pulverizado con ácido sulfúrico. El producto sólido fue llamado superfosfato. La primera planta establecida para producción de superfosfato fue establecida por Lowes en Inglaterra en 1842.

Esta práctica fue cultivada y por 1853 había 14 productores en

Inglaterra. Por 1862 Lawes estuvo operando un mezclador continuo de superfosfato y produciendo 100 toneladas por día.

La producción de superfosfato simple pronto se difundió a los Estados Unidos y otras partes de Europa.

La historia de producción de superfosfato concentrado o simple que juntamente con el establecimiento de la producción del proceso húmedo de ácido fosfórico. La primera producción comercial de que se tuvo conocimiento fue en Alemania y la práctica fue difundiendo gradualmente en otros países de Europa y los Estados Unidos. El superfosfato triple no fue un fertilizante importante fosfatado hasta 1950 cuando varias plantas grandes fueron construidas. La producción y distribución de grandes cantidades de superfosfato concentrado por la Tennessee Valley Authority hecha con un horno eléctrico en medio ácido, comenzó en la parte última de la década de los treinta y condujo a pruebas o ensayos más amplios y al desarrollo de mercados de este fertilizante.

Aunque el fosfato de amonio fue conocido como un fertilizante efectivo y en pequeñas cantidades, fueron siendo producidas para su uso como fertilizante, con el tiempo no fue un fertilizante importante hasta que la TVA desarrolló para la práctica un proceso económico para granular fosfato diamónico en 1961. Este proceso proliferó y un número de grandes plantas para producción del grado 18-20-0 (18-46-0), fueron construidos en Europa, USA y más tarde en Asia y América del Sur.



Los investigadores de la TVA también desarrollaron un proceso pequeñamente modificado para producción de fosfato monoamónico granulado que predomina en Canadá y Pakistán y es producido en otros lugares.

El desarrollo de procesos de nitrofosfatos en el cual el fosfato de roca es acidulado con ácido nítrico o con ácidos nítrico y sulfúrico o fosfórico, comenzó en Europa a principios de 1930. Varias modificaciones del proceso fueron desarrolladas en años posteriores.

La popularidad del nitrofosfato nació a partir de que obtuvo más economía en muchos lugares, comparado con rutas de proceso alternativas que usaron azufre importado.

La producción ha sido pequeña en USA pero hay varias plantas de nitrofosfatos en Europa y también algunas en Asia y América del Sur Central.

Los fertilizantes de polifosfato de amonio, son sólo nuevos tipos de importancia comercial después del fosfato de amonio gramulado. Estos productos líquidos y sólidos fueron empezados por la TVA cerca de 1955. Ellos forman la médula de la industria de los fertilizantes líquidos que ha sido rápidamente desarrollada en los USA.

A principios de 1970, varios procesos fueron desarrollados para la producción de fertilizantes de fosfato de potasio de varios tipos, y en 1975 una pequeña planta fue puesta en operación.

## Fosfato de Amonio

El fosfato de amonio empezó a manifestarse como el fertilizante moderno alrededor de 1960 en el sentido que aunque se ha conocido y usado por muchos años, sólo se le ha venido a dar un lugar prominente a finales de los años cincuentas.

La producción en los Estados Unidos comenzó aproximadamente en 1920, por la American Cyanamid Company, y la Nitrophska de Alemania por alrededor de 1930, cuyos productos se basaron en el fosfato de amonio. Estos productos se adelantaron a su tiempo por la falta de investigación adecuada y los proyectos para su desarrollo fracasaron; y tuvo que pasar mucho tiempo para que se le diera importancia a las características que han hecho que el fosfato de amonio vuelva a utilizarse como con su alto contenido de nutrientes y su alta solubilidad en el agua.

Un poco después de la mitad de la década de 1950 es cuando se manifiesta una señal de expansión al empezarse a construir plantas de producción de fosfato de amonio, ampliándose por mucho la tecnología. Un solo tipo de producto fue hecho en las primeras plantas, una mezcla de fosfato de amonio (principalmente fosfato monoamónico) y sulfato de amonio. Hoy los productos se clasifican así:

Fosfato Diamónico

Fosfato Monoamónico

Mezcla de los dos anteriores

Fosfato de Amonio - Sulfato de Amonio

Fosfato de Amonio - Nitrato de Amonio

Fosfato de Amonio - Urea

Polifosfato de Amonio

El material que lo desafia en la supremacia como suministrador de fertilizante de fosfato es el superfosfato triple. La categoría exacta no puede ser determinada facilmente ya que el fosfato de amonio granulado con cloruro de potasio es hecho en forma de grumo con otros productos según reportes estadísticos (TVA), bajo el nombre de fertilizantes mezclados, mientras que el fosfato de amonio y mezclas con materiales de nitrógeno son reportados separadamente.

En Europa y Japón el fosfato de amonio ha ido incrementando su popularidad pero no tan rápidamente como en los Estados Unidos. La principal producción en Europa es en el Reino Unido, donde la alta solubilidad en el agua del fosfato es considerada de gran importancia, mientras que en el resto del Continente ha habido un mayor énfasis en el nitrofosfato, sin embargo, una tendencia a un mayor uso de productos de alto contenido de fosfato de amonio ha ido incrementándose paulatinamente a partir de 1965. En Japón ha habido una fuerte tendencia ya lejana hacia el uso de fertilizantes basados en superfosfato o productos de alto grado basados en el fosfato de amonio.

La producción de fosfato de amonio es la culminación de una larga tendencia en la industria hacia la remoción muy alta o total de calcio de los fertilizantes fosfatados como un medio

de incrementar la concentración.

En los Estados Unidos gran parte del fosfato de amonio es producida en la forma diamónica (18-46-0) y parte de esa producción se usa en el mezclado a granel o en volumen.

La combinación con el sulfato de amonio es hecha en Estados Unidos y Canadá y este mismo tipo de producción en otras partes del mundo es limitada.

#### Fosfato Amónico

La rápida elevación en popularidad del fosfato diamónico (18-46-0) ha hecho de este el tipo más importante de fosfato amónico. Junto con el (16-48-0), han contribuido con la industria del mezclado a granel o en volumen, como materia base. Muy poco del 21-54-0 es también producido, principalmente como un medio de recuperación de amoníaco a partir de gases de coke, realizándose todo esto en los Estados Unidos.

#### Granulación

Muchas de las investigaciones y desarrollos sobre el fosfato de amonio después de 1970 han sido para desarrollar mejores caminos de obtención del fertilizante en la forma granulada. La reacción de amoníaco y ácido fosfórico para formar fosfato de amonio es relativamente una operación simple, pero cuando el agua introducida con el ácido debe ser removida del fosfato de amonio para la formación de gránulos, la operación viene siendo compleja. A continuación se dan varios métodos de granula-

ción que han sido desarrollados:

Amonización de Sólidos Húmedos: Probablemente el método de granulación más ampliamente usado para fosfatos de amonio es el proceso de tambor rotatorio amonizador-granulador de la TVA (Achorn-Young, and Hicks, 1964) en el cual la etapa final de amonización es desarrollada por la reacción de amoníaco con sólidos húmedos. El método ha sido suficientemente descrito en otra parte por (Pratt and Noyes, 1965; Slack, 1966), la única característica es la amonización en dos etapas, primero en una proporción  $\text{NH}_3:\text{H}_3\text{PO}_4$  de casi 1.35 en un preneutralizador es distribuida sobre una cama de sólidos recirculados en el amonizador y amoníaco es inyectado bajo la cama.

La ventaja de este método es que la preneutralización en la fase intermedia permite la evaporación de agua a una temperatura relativamente alta (casi 240) F y la reducción de contenido de agua a 18-22%, esto es posible porque la proporción de  $\text{NH}_3\text{-H}_3\text{PO}_4$  de 1.35 de una máxima solubilidad y una satisfactoria fluidez de la pulpa altamente concentrada. Además la amonización en el granulador rotatorio da una rápida solidificación por causa de la relativamente baja solubilidad en la proporción de 2.0, así la operación de fabricación con una baja proporción de recirculación es factible (2.5-4 lb. de recirculado /lb. de producto). El amonizador-granulador rotatorio fue desarrollado inicialmente para la amonización y granulación del superfosfato. Cuando el incremento en popularidad del fosfato diamó-

nico comenzó, el equipo fue adaptado rápidamente para la producción de este nuevo material; desde entonces la industria ha adoptado rápidamente el método y mejorado en muchos caminos, principalmente en la refinación de equipo y técnicas de operación para dar una más eficiente operación.

La concentración de ácido fosfórico óptima para el proceso es casi de 40% de  $P_2O_5$ . Parte del ácido es primero usado para lavar gases desde el preneutralizador, amonizador-granulador, y otros puntos en el proceso- una operación esencial en la producción de fosfato diamónico porque el exceso de amoníaco debe ser usado en el amonizador. Algunas plantas usan ácido débil (30%  $P_2O_5$ ) en los lavadores y alimentan ácido fuerte (54%  $P_2O_5$ ) al preneutralizador en una proporción que da una concentración promedio de 40% de  $P_2O_5$ . Con esta práctica el sistema de lavado puede ser operado a baja concentración, menos sólidos son precipitados y la operación es mejorada.

Moore and Beer (1960; Tennessee Corp.) patentaron en 1960 un proceso de amonización simple de fase sólida para fosfato diamónico. El ácido fosfórico es alimentado directamente en una cama de sólidos recirculados en un tambor rotatorio y amoníaco es inyectado en la parte inferior de la cama. Aire calentado es pasado a través del tambor para ayudar a remover la gran cantidad de humedad desprendida. Todo el aire, humedad, y exceso de amoníaco debe pasar a través del lavador recuperador-amoníaco. Este método probablemente es usado en la planta de

la Tennessee Corporation y su uso en otra parte no ha sido reportado.

Alfrey and Bridger (1964 W.R. Grace) han patentado un método similar excepto que la amonización y granulación son desarrolladas en un mezclador de paletas. Acido y amoníaco son inyectados bajo una cama de sólidos y el calor de reacción es removido por un rociado de agua en la cama para dar un enfriamiento en la evaporación.

Un método multietapa ha sido patentado por Bigot and Morailion (1966). El ácido es amonizado en una primera etapa en una proporción mol  $\text{NH}_3:\text{H}_3\text{PO}_4$  de 0.8, en una segunda etapa de 1.5. El lavado es requerido solamente para una segunda etapa, y es pretendido que el grado de amonización en la primera etapa de una fluidez máxima de impurezas precipitadas.

Amonización de la Pulpa: Antes de 1959, la mayor parte del fosfato de amonio fue hecho por un proceso que realizaba la neutralización en tanques, seguido por la granulación de la pulpa resultante con un recirculado de finos en un mezclador grande de paletas. El método es de fecha atrás, Liljenroth (1934, Sweden), quien obtuvo la patente en 1934, y fue la primera usada por la Dorr-Oliver en una primera planta en Canada. Aunque Liljenroth especificó el fosfato de amonio (18-49-0), un bajo grado de amonización fue usado en la primera manufactura, dando productos tales como (11-48-0). Esta proporción se fue incrementando en operaciones posteriores; el 16-48-0

ahora hecho en algunas plantas contiene casi una tercera y dos terceras partes de fosfato monoamónico y diamónico respectivamente. La operación en proporciones más altas da problemas por la dificultad en la amonización a un alto nivel en el estado de pulpa y porque un alto contenido de agua es necesario para hacer fluible la pulpa.

Moore (1965; Tennessee Corp.) patentó en 1965 un proceso que usó un filtro ácido y la amonización de la pulpa para hacer fosfato diamónico.

El proceso incluye dos etapas de neutralización de la pulpa seguidas de la granulación y secado en un tambor rotatorio. La amonización en la primera etapa es llevada a un PH de casi 6.3 (una proporción en peso N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de casi 1.0:5.35) y en la segunda etapa a fosfato diamónico. El contenido de agua de la pulpa de la segunda etapa debe de ser de casi un 28%. Una ventaja de cualquier proceso multietapa es que el vapor de agua de las primeras etapas puede ser eliminado sin la operación de lavado. Y en el proceso Moore el uso de un filtro de ácido es una ventaja; sin embargo una mayor carga de evaporación es echada en el secado, comparado con procesos que usan un 40% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y la proporción de recirculado es incrementada.

Estratificación contra Aglomeración: La amonización de la pulpa tiene varias desventajas, tal como la relativamente alta proporción de recirculado, tiene la ventaja compensativa que permite la producción de un gránulo superior. Por causa de la



baja proporción de pulpa se recirculan sólidos, la pulpa revisa las superficies de los gránulos y forma el espesor del gránulo por acumulación de capas sucesivas, dando una estructura densa y una atractiva forma esférica. Además, las delgadas capas se secan fácilmente durante varias pasadas a través del secador. En contraste, con la amonización de sólidos húmedos, como un ejemplo el método de dos etapas, amonizador-granulador de la TVA, se diseñó para reducir la recirculación y por lo tanto debe depender principalmente de la aglomeración de pequeñas partículas para completar la granulación. La cantidad de recirculado se ha ajustado para dar la óptima proporción sólido-líquido para pegar las partículas al mismo tiempo.

Hay diferencias de opinión en los méritos relativos de los dos métodos. Horn and Fauser (1966; Farmers Chemical Company, Joplin, Missouri) reportan resultados favoreciendo la amonización de sólidos en un tambor rotatorio. Ambos, un mezclador grande de paletas (Dorr-Oliver) y el tambor rotatorio son operados en la misma planta para hacer 18-46-0. Los requerimientos de mano de obra son los mismos, pero el tambor requiere un control para trabajar, menor calor de inyección, menos potencia y opera con bajo recirculado. En contraste, en algunos casos el proceso del mezclador con paletas ha sido seleccionado por varias plantas ya que a través de éste el producto debería tener una mejor apariencia y podría ser más fácil de venderse. Otros arguyen que con una buena operación un producto atractivo podría

ser hecho por el proceso del tambor rotatorio. En realidad, Horn y Fauser afirman que los gránulos hechos en el tambor fueron más esféricos y más lisos. Otros estudios muestran costos de capital más bajos para el proceso de tambor, siendo un mejor incentivo.

Una considerable cantidad de trabajo desarrollado fue dirigido a la obtención de ventajas en el tipo estratificado de granulación sin incurrir en el inconveniente de recircular una gran cantidad de sólidos a través del secador, de tamices y de transportadores. Las Industrias de Agricultura Escocesa (SAI), con el proceso de "reciclado interno" (1964), realizado este ciclo de sólidos entre los dos tambores, como los granos pasan a través de la parte interna del tambor, ácido fosfórico y amoníaco son introducidos y el fosfato de amonio es depositado en las partículas sólidas. Los granos revestidos entonces caen en el tambor externo, lo atraviesan en la dirección opuesta, y son elevados por la fuerza que desde atrás se genera, hacia el tambor interno. Una pequeña parte del flujo total es removido en este punto como producto. La muy alta razón de reciclado interno es realizada económicamente, sin necesidad de secar y tamizar todo el material reciclado como en el proceso de mezclado grande con paletas. Y no sólo es un tipo estratificado de granos desarrollados obtenidos, ya que la liberación de humedad (realizado por el calor de reacción) desde las capas delgadas es así de rápido, que el secado suficiente es realizado en el

granulador y no es requerido el secador.

Una desventaja del proceso, común para todos los procesos que omiten la preneutralización, es la dificultad para la remoción del calor y del vapor de agua de salida del granulador en una razón suficiente.

La SAI tiene patentado 2 métodos para realizar esto. Baynham y Harris (1965) especifican el paso de una corriente de aire (la cual debe de ser calentada) a través del tambor exterior en una razón suficiente para sacar el vapor de agua, pero insuficiente para remover mucho amoníaco. El método tiene la ventaja de que el tambor interno, donde la presión parcial del amoníaco en la fase gas es conservado a un nivel alto, es algo aislado de la región a través del cual el aire es pasado.

Johnstone (1965, SAI) tiene patentado un método en el cual el ácido fosfórico y el amoníaco son ambos inyectados bajo una cama de sólidos en un tambor rotatorio ajustado con la salida de un gas. Una corriente de aire es pasada a través del tambor. Como el tiempo de retención para los sólidos es casi de 30 minutos, los granos obtenidos a través del ciclo, por la corriente de reactivos, hace que un tipo estratificado de granulación sea obtenido.

El proceso Spherodicer (Chemical and Industrial Corp.) es otro método que realiza un alto reciclado interno (Croplife). La granulación es llevada a cabo en un tambor rotatorio ajustado con la salida de un gas para elevar los sólidos y llevarlos ha

cia abajo como una cortina de granos. La pulpa neutralizada desde la parte externa del tambor es rociada hacia la cortina que está cayendo y aire precalentado para secado es soplado en contracorriente con la pulpa. Del ciclo de granulación obtenido por medio de la cortina de granos que caen por mucho tiempo a través del tambor, un tipo estratificado de granulación es obtenido. Y se usa en muchas plantas.

Un inconveniente de esos tipos de operación es que los gases desprendidos deben de ser lavados para recuperar el amoníaco. Si el cociente del fosfato diamónico es aproximado, y la presencia de aire en los gases complican el lavado. La patente Baynham-Harris mencionada anteriormente especifica una producción de 17.6-48-0, un poco menos de la razón del fosfato diamónico. Torre de Granulación por Rociado.

En la producción de materiales tales como el nitrato de amonio y la urea en forma granular, la torre de rociado o el proceso de "perlado" es preferido porque hay un muy pequeño reciclado y por lo general no requiere secado. La aplicación de este método al fosfato diamónico ha sido más difícil porque el fosfato de amonio no forma un fundido como lo hacen las sales de nitrógeno. Sin embargo, 2 organizaciones -Nissan Chemical Industries en Japón y AB Forenade Superfosfatfabriker en Suiza- han desarrollado procesos de Torre de Rociado.

Nissan rocía parcialmente ácido fosfórico neutralizado desde la cima de una torre pequeña y amoníaco es pasado a través de la.

torre para completar la neutralización. El calor de reacción remueve el agua remanente y el amoníaco que no reacciona es recuperado por lavado con el ácido fosfórico entrante. Un grado intermedio de amonización generalmente es logrado. Sin embargo, Oi y otros (1965) tienen patentados condiciones para hacer fosfato diamónico. La temperatura en la cámara de rociado es sostenida entre 120 y 150°C. y la presión parcial del amoníaco es controlada en un nivel tal que de 30 a 70% del amoníaco no es absorbido en la torre. Una tobera especial rotatoria de rociado es usada, con lo que se pretende dar gránulos de 1 a 3 milímetros de tamaño.

Los trabajos de la AB Forenade han sido descritos por Nilsson (1965). El proceso ha sido probado en una planta piloto a escala, un diagrama de esta unidad piloto se da en la figura d. 10. Acido fosfórico es rociado por un disco rociador directamente desde la cima de la torre rociadora y amoníaco líquido es alimentado concurrentemente. El amoníaco que no reacciona y vapor de agua son removidos a través de un número de orificios en la pared de la torre, casi a un metro desde el fondo. Los gases pasan a través de un ciclón para remover los finos, un condensador remueve el agua (el amoníaco es quitado del condensado con vapor y retornado y retornado a la corriente principal) y a través de un supercalentador, se calienta el amoníaco antes de reciclarlo a la torre. El ácido usado en las pruebas contenía 38-39% de  $P_2O_5$  y de 7 a 8% de ácido sulfúrico, el ácido sulfúrico

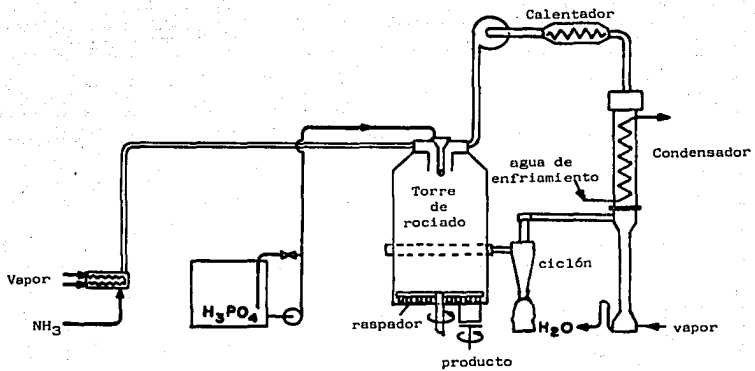


Figura d.10 Proceso A.B. Forense para la producción de Fosfato de Amonio en una torre de rociado

FUENTE; Phosphate Fertilizers and Process Technology Young  
Division of Chemical Developments Alabama 1976

co fue necesitado para suministrar una cantidad adecuada de calor para evaporar el agua. El grado del producto fue de 19.5-44.5-0.

El proceso tiene la ventaja de que el fosfato diamónico puede ser producido (la razón mol del producto  $N:PO_4$  en el fosfato de amonio fue de 1.95) y no se necesita de un lavador. Sin embargo, el producto tuvo un muy pequeño tamaño de partícula, (75% - 0.125 mm) y una baja densidad de la masa.

El método de la torre de rociado tiene algunas ventajas sobresalientes incluyendo la eliminación de secado y la mayor parte del reciclado, lo cual reduce capital y costos de operación. Sin embargo, es difícil producir granos de tamaño adecuado, el suministro de calor es un problema (generalmente requiere algo de ácido sulfúrico), y el producto tiene baja densidad de masa (porque el agua es removida después de que los granos son formados). Esos parecen ser los principales obstáculos para la adopción de esos procesos.

#### Cristalización.

La producción de fosfato de amonio por cristalización recibe considerable atención hace unos pocos años como un medio de recuperación de amoníaco desde los gases de los hornos de coque, la alta concentración de fosfato de amonio, una ventaja sobre el sulfato de amonio producido, para este propósito.

Un pequeño desarrollo adicional ha sido hecho en este método. Una de las desventajas principales, el requerimiento por ácido

fosfórico del tipo horno, ha sido el asunto de la patente de Albrint y Wilson (1964). El proceso ácido-húmedo es tratado con el subproducto amoníaco en la presencia de polifosfato. Es afirmado que las impurezas forman complejos insolubles con el polifosfato y que la remoción de ellos permite la cristalización de fosfato diamónico sin la usual interferencia por impurezas.

Recuperación de amoníaco: Algunas de las patentes recientes son dirigidas al problema general de recuperación de amoníaco que escapa del proceso de granulación de fosfato de amonio. Chandler y Holdsworth (1966) especifica la mantención de la razón mol de  $\text{NH}_3:\text{P}_2\text{O}_5$  en la solución absorbente en un rango de 0.25 a 0.50. Si la razón es más alta que 0.50, la cristalización del fosfato de amonio interfiere con la operación y si es más bajo que 0.25 una desagradable neblina es emitida. En un método semejante, el ácido fosfórico entrante es añadido a la corriente de ciclo de la solución lavadora de gas.

En una patente de la SAI (Brownlie, 1966) un método es descrito en el cual aire es añadido a los gases para los procesos de granulación para reducir la presión parcial del vapor de agua, para así minimizar la absorción de vapor de agua durante la absorción de amoníaco.

#### Fosfato Monoamónico Granulado.

El fosfato diamónico granulado y el grado 18-20-0 (18-46-0) vienen siendo términos comunes en el mundo de los fertilizantes. Pero un interés substancial en el fosfato monoamónico granulado



fue desarrollado, particularmente donde los suelos son alcalinos como en Canadá y Pakistán.

La TVA desarrolló 2 modificaciones en el proceso de fosfato diamónico granular, permitiendo la producción de fosfato monoamónico. En un método el preneutralizador es amonizado solamente en una proporción mol  $\text{NH}_3$ :  $\text{H}_3\text{PO}_4$  de casi 0.6 y de casi 1.0 en el tambor granulador. En el otro procedimiento el preneutralizador es amonizado en casi 1.4 como con el fosfato diamónico. Lo que queda de la modificación del otro proceso es lo mismo que para el fosfato diamónico, pero una más alta temperatura de secado puede ser usada para incrementar la razón de producción del fosfato monoamónico.

#### Fosfato Monoamónico no Granulado.

Casi a principios de 1968, el proceso que fue desarrollado para producción no granulador o algunas veces llamada fosfato monoamónico pulverizado. El proceso principal fue desarrollado por Fisons en Inglaterra, Swift en los Estados Unidos y Nissan en Japón. La TVA ha hecho algunos trabajos de planta piloto para producción y uso de este intermedio. En el proceso Fisons, el proceso húmedo ácido, la amonización se lleva a cabo en un reactor a casi 20 psig y la pulpa es rociada dentro de una torre, el producto solidifica al caer pequeñas gotas a través de una contracorriente de aire en la torre, formando muy pequeñas partículas. El proceso Swift es similar, excepto que un reactor tubular es usado para la reacción. En el Proceso SAI, la pulpa

se produce en un preneutralizador y casi en una preparación mol de 1.4 se alimenta a una unidad cilíndrica rotatoria en la que ácido adicional es rociado en el material para ajustar la proporción mol en casi 1.0. El material solidifica rápidamente en este punto de solubilidad mínima. El proceso Nissan, usa una torre rociadora para la amonización del ácido y solidificación del producto. El producto a partir de los procesos anteriores generalmente contiene una humedad de 4 a 8% siendo sus propiedades a almacenaje y manejo buenas.

Un número de esos procesos comparativamente de bajo costo en sus unidades, han sido construidos en Inglaterra, Japón, Australia, España, USA, Brazil, Irán y Holanda.

#### Fertilizantes Compuestos (NPK)

Una gran parte de los fosfatos como materia intermedia, como su perfosfato simple y triple, así también los procesos húmedos de ácido fosfórico y fosfatos de amónicos, son usados en plantas de granulación muy cercanas a los mercados, como también los componentes en la formulación de una variedad de grados de fertilizantes granulados NPK. En el más comúnmente sistema usado, el fosfato sólido intermedio juntamente con las sales de potasio son proporcionados (generalmente en un sistema intermitente de pesado) y alimentados en flujos continuos dentro de un tambor gramulador-amonizador. Soluciones nitrogenadas y amoníaco, son esparcidas de la cama de sólidos para suministrar calor de reacción y granulación para la fase fluida. El material que sale.

del granulador es secado, enfriado y tamizado para preparar el producto con grados, tales como 13-6-11 (13-13-13), 8-7-13 (8-16-16), 10-9-8 (10-20-10) y 6-10-19 (6-24-24).

### Superfosfatos

Como se dijo anteriormente, el fertilizante procesado llamado superfosfato, fue el primero producido por Lewes en Inglaterra en 1842 por reacción de fosfato de roca pulverizada con ácido sulfúrico. La mayor parte de plantas iniciales fueron primitivas, los reactantes eran mezclados manualmente con azadores o paletas en calderas o cubas. Por 1862 Lawes estuvo usando un mezclador continuo con una capacidad de 100 toneladas por día. La producción del superfosfato simple se extendió rápidamente en Europa, los Estados Unidos y más tarde en América del Sur y Central y Asia.

La mayor parte de las plantas, fueron comparativamente pequeñas y suministraban superfosfato para la formulación de fertilizantes mezclados que servían al mercado local. Después, casi por 1950, la mayor parte de los fertilizantes complejos (NPK) formulados con el superfosfato simple, fueron granulares.

Varios tipos de equipo han sido usados alrededor de 150 años de historia de producción de superfosfato simple. La mayor parte de las plantas iniciales de operación intermitente. Un tipo popular usaba una caldera poco profunda en la cual el ácido y la roca en cantidades y medidas y mezcladas con un agitador mecánico y vertidas dentro de una fosa de madera o concreto, des

pués la fosa era llenada y el superfosfato era retenido lo bastante para que solidificara, para luego ser fácilmente destruido y excavado por varios tipos de excavadores mecánicos. Un tipo popular de equipo en los Estados Unidos fue la caldera mezcladora Steadman y una excavadora.

Mezcladores continuos y fosas para superfosfato simple fueron desarrollados más tarde resultando en un proceso más eficiente y un incrementado en la razón de producción, han habido varios tipos de mezcladores continuos, pero el menor costo y el más simple es el mezclado en cono de la Tennessee Valley Authority. El mezclado es realizado por la acción de arremolinamiento con el ácido.

Una máquina con cuchillas rotatorias de tipos; corto, flecha simple y doble flecha, fue también ampliamente usado a través de todo el mundo para mezclado de ácido sulfúrico y la roca, en un paso anterior al llenado de la fosa. La más ampliamente usada fosa continua es la del tipo transportador de la mina generalmente referido con el fosa Broad Field. Algunos otros tipos de fosas continuas populares en Europa son la Maritz-Standaert y la Forbis.

La reacción del fosfato de roca con ácido sulfúrico que produce el superfosfato simple, puede ser expresado en términos de estequiometriaquímica. Sin embargo en la práctica el proporcionamiento es generalmente basado en una relación simple de casi 0.59 a 0.61 kg. de ácido sulfúrico (base 100% puro), por kg. de

fosfato de roca 13 a 14% de fósforo (30-32%  $P_2O_5$ ). El fosfato de roca generalmente es pulverizado casi menos de 90% en malla 100 y luego menos del 70% en malla 200.

El superfosfato simple a partir de roca típica, deberá ponerse cerca de 40 a 50 minutos en un foso continuo y puede ser cortado y manipulado satisfactoriamente. El ciclo es de generalmente 1 1/2 a 2 hrs. en un foso intermitente antes de la excavación. El superfosfato generalmente es retenido en pilas de almacenamiento (curado) por 4 a 6 semanas para obtener un mejor manejo de sus propiedades y dejar que las reacciones químicas continúen dando una alta conversión (95-96%) de  $P_2O_5$  disponible en forma de (citrato soluble). El grado usual del superfosfato simple hecho a partir de la roca florida es 9% de fósforo (20% de  $P_2O_5$ ).

A causa del bajo análisis del superfosfato simple (20% de  $P_2O_5$ ) se usa el fosfato de roca que produce (14% de fósforo, 32% de  $P_2O_5$ ) en el superfosfato producido en las plantas y que también se usa en las formulaciones para los fertilizantes granulados de NPK. El superfosfato simple de buena calidad de absorción de amoníaco rápidamente durante el proceso de granulación en una proporción superior de casi 6 kgs. de amoníaco de 20 Kg. de  $P_2O_5$  en el superfosfato. Generalmente la cantidad máxima de superfosfato simple es usado en formulaciones para "grados" en los cuales puede ser usado, ya que proporciona los costos más bajos de  $P_2O_5$ .

El superfosfato simple es granulado en grandes cantidades en Australia y Nueva Zelanda, generalmente ya que es descargado de los fosos. Granuladores de caldera y tambores rotatorios son usados, algunas veces vapor es usado para promover la granulación. Pequeñas cantidades son granuladas en Europa del Oeste por uso de vapor y agua en un tambor rotatorio. (véase Figura d.11)

Investigadores rusos han reportado investigaciones sobre la química de los superfosfatos. Sokolovski (1963 S. Ord. Eng. Econ. Inst. Moscow) estudió el sistema  $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-H}_2\text{O}$  sobre un amplio rango de temperatura y determinó las fases de relación. Concluyó que para mejorar el curado, el contenido de  $\text{P}_2\text{O}_5$  de la fase líquida debe incrementarse sobre el nivel normal, asimismo, la temperatura de la fosa (den) debe reducirse.

En otro trabajo (1966), Sokolovskii estudió el sistema  $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-H}_2\text{SiF}_6\text{-H}_2\text{O}$  a  $60^\circ\text{C}$ . Los resultados indican que la eliminación del flúor del ácido fosfórico usado en la fabricación de superfosfato triple resulta benéfico.

Pozin y colaboradores (1963; Lensolvet Tech. Inst. Leningrad) determinaron el grado de descomposición de la apatita en aquellas partes del sistema  $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-H}_2\text{O}$  no saturado con  $\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$ . La velocidad se incrementa con la temperatura y con la concentración de  $\text{P}_2\text{O}_5$  en el ácido. Los mismos investigadores (1965; Lensolvet Tech. Inst. Leningrad) estudiaron la inhibición de la reacción de descomposición por la formación de un recubrimiento de sulfato de calcio sobre las partículas de roca fosfórica en

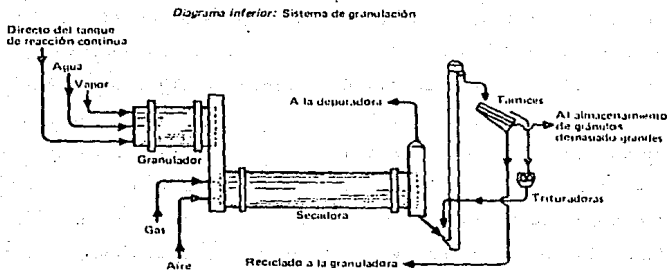
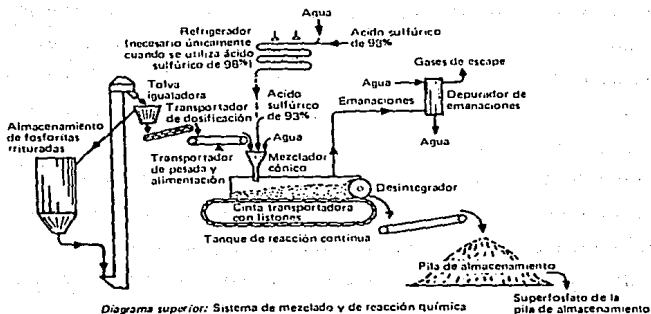


Figura d.11 Producción y Granulación de Superfosfatos Simples

pleada para la manufactura del superfosfato normal. La adherencia depende del tamaño de los cristales; los cristales con dimensiones de  $< 10$  a  $15 \mu$  se adhieren firmemente, mientras que aquellos que son  $> 30-40 \mu$  de tamaño muestran poca adhesión a la superficie de la apatita.

La porosidad de la roca de fosfato es muy importante en el procesamiento del superfosfato, más que en la producción de ácido fosfórico debido a que el sistema solifica rápidamente y por consiguiente el transporte del material constituye un problema. Caro y Freeman (1961 USA) han estudiado la porosidad de la roca. El trabajo muestra que la distribución del poro es más importante que el volumen total del poro y que el volumen de poros menores a  $0.06 \mu$  en diámetro constituyen la condecoración más importante.

Frazier y Lehr (1967; TVA) estudiaron los compuestos de hierro y aluminio en el superfosfato triple hecho de ácido de proceso húmedo, conteniendo una alta cantidad de hierro y aluminio, y encontraron una nueva sal,  $\text{Ca}(\text{Al, Fe})\text{H}(\text{PO}_4)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ , que es un citrato soluble pero insoluble en agua. Su presencia reduce marcadamente la capacidad del superfosfato para amoníaco. La velocidad de reacción en la manufactura de superfosfato ha sido estudiado por Aalto y Vahervuori (1963 Rikkihappo Oy), con énfasis en la roca de Kola.



## Métodos de Fabricación

Trabajos sobre el desarrollo de métodos de manufactura se han hecho principalmente en Rusia, donde el superfosfato parece ser el material más importante comparado con los otros fertilizantes principales.

Sokolovskii (1963) realizó un análisis teórico de un proceso cíclico para la manufactura de superfosfato triple diseñado a eliminar el recubrimiento del producto y la consecuente retardación de descomposición de las partículas de roca. La principal característica es la recirculación del licor madre para mantener un sistema fluido en todas las etapas. Los cristales productos de fosfato de monocalcio son eliminados del sistema por filtración o decantación. El método no parece tener alguna significancia práctica.

Shpunt y colaboradores (1961, 1965 USSR) proponen diferentes esquemas para usar el fluoro-silicato o ácido hidrofúorico como un agente de acidulación para la apatita.

El fluorosilicato de calcio precipitado puede descomponerse para su recirculación o usado en una reacción adicional con apatita.

Tsykina y Zabeleshinskii (1965) reportan que tales métodos no son económicos aun si la regeneración de fluoruro y aceptables materiales de construcción se encontraran.

Diversos otros trabajos tratan del problema particular que involucra la conversión de apatita rusa y fosforita a superfosfato.

Estos no se han revisado debido a su limitado interés.

Mapstone (1966 Germiston, S. Africa) ha publicado monogramas útiles en la manufactura de superfosfato. Una de las cuales trata de la velocidad de flujo de ácido en la producción de superfosfato.

$$A + 122.5 \frac{R \cdot r}{C}$$

Donde a = velocidad de flujo de ácido, tons/hora.

R = velocidad de alimentación de la roca, tons./hora.

r =  $\text{SO}_3$  requerido: relación de roca

C = concentración de ácido, wt. %  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

Otra está relacionada con el grado de conversión en el superfosfato triple.

$$C = 100 \left[ \frac{W}{T} (1+r) - r \right]$$

donde

C = % de conversión de la roca de  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

W =  $\text{P}_2\text{O}_5$  soluble en agua que contiene el producto

T =  $\text{P}_2\text{O}_5$  total contenido en el producto

r = proporción de  $\text{P}_2\text{O}_5$  en el ácido de  $\text{P}_2\text{O}_5$  en la roca

El uso de ácido sulfúrico diluido en la fabricación de superfosfato normal ha sido estudiada por la TVA (Hland, Potts y Slack; 1963). La roca de fosfato se mezcla con un 96 a 103.6% de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , en un silo por aproximadamente 30 minutos, y granulado por espreamiento con agua en un tambor rotatorio.

Bajo las mejores condiciones, cerca del 85% de los gránulos es

tuvieron en el rango de tamaño de malla de -6+20, la evolución del fluoruro fue de cerca del 60%, el  $P_2O_5$  aprovechable fue del 97%, y el contenido de humedad fue del 2% o más bajo. En comparación con la práctica estándar, el método es más simple y la evolución del fluoruro está incrementándose substancialmente. Poco interés en el proceso ha sido mostrado por la industria, sin embargo parece haber un desinterés general en mejorar la producción de superfosfato normal.

El interés inicial en los agentes tensioactivo como un medio de mejorar la manufactura de superfosfato, ahora a un nivel bajo en los EU, continúa al mismo grado en los países europeos. Kowalski y Sollarz (1963 Polonia) afirma que de 0.02 a 0.04% de varios agentes tensioactivos aceleran la descomposición y el curado. En un trabajo de Kowalski y colaboradores (1965) se encontró que la mayoría de efectos pronunciados, resultan del uso de agentes de anión-activo de C12-14 conteniendo anillos de benzeno. Agentes tensioactivos no ionicos resultaron los menos efectivos.

El alcance del objetivo ha sido discutido por Boutault (1965; Auby). Agentes tensioactivos cationicos fueron declarados más estables a bajo pH que los tipos anionicos y los no ionicos. Las principales ventajas del uso de los agentes tensioactivos fueron la facilidad en el desfasamiento, curado más rápido, y más bajo contenido de humedad. Se afirma que el superfosfato tratado puede usarse después de 4-5 días de curamiento.

La investigación sobre el superfosfato rico (intermedio en con\_

tenido de  $P_2O_5$  entre el superfosfato normal y triple) ha continuado en Europa. En los EU ha mostrado poco interés en el material durante las últimas décadas. Pechiney Saint-Gobain en Francia (1963) ha patentado un método en el cual el superfosfato ordinario y una pasta ácida de roca fosfórica son hechos separadamente y luego mezclados con la recirculación en un granulador. Los problemas en la descarga de la fosa cuando se usa una mezcla de ácido sulfúrico y ácido fosfórico son de esta manera evitados. Lamm y Wolfrom (1965 VEB Chemiewerk, Coswing, Berlin) señalan que la adición de ácido fosfórico crea problemas por la prolongación del tiempo de asentamiento.

**Superfosfato Triple.**- El superfosfato triple es hecho por acidulación de fosfato de roca con ácido fosfórico, con equipo y procesos similares que para el fosfato simple. El superfosfato triple (20% de fósforo; 45-46% de  $P_2O_5$ ) no aparecía en escena en alguna cantidad apreciable hasta que el proceso-húmedo de ácido fosfórico fue producido comercialmente. La TVA inició la producción de un superfosfato concentrado similar en los últimos años de los treinta, por el uso del horno eléctrico de ácido fosfórico. Las pruebas agronómicas muy difundidas y el desarrollo del mercado a través del uso de grandes toneladas para manufactura de fertilizantes en programas realizados, condujo rápidamente a la aceptación de este fosfato de gran calidad como intermedio. Los productores de fosfato de roca en los Estados Unidos y otras ciudades se movieron hacia la producción del proceso húmedo de ácido y superfosfato triple.

El cono mezclador de la TVA ha sido usado casi universalmente en la producción de superfosfato triple no granulado. El tiempo de producción es solamente de 14 a 20 minutos, comparado con los 40 ó 50 minutos para el

superfosfato simple, una simple correa transportadora en forma ahuecada generalmente es usada para tener el acidulado hasta que el superfosfato solidifique en vez del asiento tipo fosa para el superfosfato triple. El índice de producción generalmente es de 40 a 50 toneladas por hora con una correa de casi 5 pies de ancho y 100 pies de longitud.

El proporcionamiento es típicamente 2.4 a 25 kg. de  $P_2O_5$  desde ácido por cada kg. de roca. La roca generalmente es pulverizada primero en un 90% en malla 100 y después en un 70% en malla 200. El superfosfato triple es curado de 4 a 6 semanas antes del embarque o uso en el sitio.

El uso del superfosfato triple en las formulaciones de fertilizantes granulados NPK, juntamente con o en lugar del superfosfato simple, permitió la producción de grados de alta calidad de fertilizantes compuestos granulados. Esos son el 12-5-10 (12-12-12), 8-7-13 (8-16-15) y 5-9-17 (5-20-20), en vez de 10-5-8 (10-10-10), 6-5-10 (6-12-12) y 3-5-10 (3-12-12), usando solamente superfosfato simple. Con el suministro completo de superfosfato triple, grados de alta calidad como 3-6-11 (13-13-13), 9-8-15 (9-18-18), pueden ser producidos.

El superfosfato triple puede ser rápidamente amonizado, casi 3.5 kg. de amoníaco por 20 kg. de  $P_2O_5$  durante el proceso de granulación.

#### Granulación.

La conversión del superfosfato a una forma granular ha sido una

de las áreas más activas de investigación. Puesto que los antiguos métodos de fosa dan una forma polvosa que no están de acuerdo con la tendencia moderna de granulación de fertilizantes, ha sido necesario desarrollar nuevos métodos.

El primer trabajo fue probablemente realizado por Dorr-Oliver, quien desarrolló un tanque de acidulación, método de granulación por medio de amasado usado ahora en pocas plantas. La IMC (1961; Gross y Bostwick) y la TVA (1962; Hignett, Phillips y Young) desarrollaron métodos de granulación por medio de tambores rotatorios. El procedimiento de IMC involucra la introducción de la roca de fosfato, recirculación de finos y ácido fosfórico dentro de un tambor, adicionando vapor para dar una temperatura de 230° - 250°F. El producto se seca. En el método de la TVA, el ácido es inyectado debajo de un lecho cilíndrico de sólidos en el tambor y la mezcla granulada con vapor. El producto fue curado más que secado, el curado fue relativamente rápido y la calidad del producto curado fue buena.

Los granuladores de artesas han sido ampliamente usados en Europa para granular superfosfato. Wolfrom (1963) discute el problema en la granulación directa del superfosfato normal en equipo de tipo de artesas. Para buenos resultados, el material debe estar en una etapa de reacción como para tener propiedades tixotrópicas. Varios métodos para determinar esta etapa han sido discutidos y el diseño óptimo para el granulador de artesas está especificado. La granulación del superfosfato curado en -

una artesa ha sido descrito por Huang y colaboradores de la Taiwan Fertilizer Company en Taiwan (1963). El material fue alimentado directamente a la artesa y agua espreada sobre él. El superfosfato contiene más de 10% de agua, sin embargo, no se requiere agua adicional para una buena granulación. Se reporta que la artesa es fácil de operar y es un eficiente granulador. El uso de una mezcla de superfosfato normal fresco y curado como un medio para conseguir una buena granulación ha sido patentado por Legal y Long (1964 W.R. Grace). Iguales cantidades alimentadas a una amasadora dan un producto en el cual el 65% de los gránulos estuvo en rango de malla de -6 + 30.

Middleton (1966; Philadelphia Quartz) patentó el uso de una solución de silicato de sodio en la granulación de superfosfato y de cloruro de potasio. El tratamiento con una pequeña cantidad de ácido fosfórico produce un precipitado gelatinoso de  $\text{SiO}_2$  que sirve como aglomerante. Se afirma que el silicato reduce los requerimientos de agua por aproximadamente 25% y mejora la homogeneidad del producto.

En la práctica normal, la granulación del superfosfato normal no es la de mayor importancia pero el superfosfato triple granular es un material principal en la industria de mezclado a granel de los EEUU. La proporción de superfosfato triple producido en forma granular se espera se incremente, aunque el crecimiento puede ser afectado por la gran capacidad de producción

de fosfato de amonio de las nuevas plantas.

#### Super Fosfato Triple Granulado

El superfosfato triple es producido en grandes cantidades en forma granular para uso en aplicaciones directas y en mezclados a granos o en volumen. En algunos procesos el superfosfato triple curado es granulado en un tambor rotatorio o granulador de caldera, usando vapor y agua para promover la granulación. En Australia, Nueva Zelanda e Inglaterra, el superfosfato generalmente es granulado en una caldera o tambor como viene desde la fosa.

Un proceso tipo pulpa es usado en los Estados Unidos y otros países. El fosfato de roca pulverizado es tratado con el proceso húmedo de ácido fosfórico en 2 etapas y la pulpa es rociada dentro de un tambor rotatorio para formar una capa o estrato de recirculado en una proporción de 10 a 12 kg. de recirculación: Kg de producto.

El producto granulado (20% de P; 45%  $P_2O_5$ ), es igual de esférico y denso. Los grados más bajos resulta de la necesidad de crecer la proporción de acidulación para controlar el contenido de ácido libre.

#### Acido Fosfórico

El proceso húmedo de ácido fosfórico (hecho por reacción del fosfato de roca con ácido sulfúrico) ha venido siendo importante en la producción de fertilizantes cuando el superfosfato triple fue establecido como un buen, económico fertilizante e in-



termedio de alta calidad. En los Estados Unidos, la mayor parte del proceso húmedo ácido se ocupa en la producción de grandes cantidades de complejos cercano al sitio de depósitos de roca fosfórica.

Una gran parte de este ácido es usado en el sitio de producción de superfosfato triple neogranulado y granulado y fosfato amónico granulado. Canadá importa roca fosfórica para uso en la producción del proceso húmedo de ácido y subsecuentemente superfosfato triple y fosfato amónico. Las principales plantas de fosfato en Europa, Asia y América del Sur importa roca fosfórica para su uso en la producción del proceso húmedo de ácido y otros productos. En Africa del Norte y México, se produce ácido fosfórico a partir del proceso húmedo para exportación.

#### Superfosfato de Alto Análisis

Aunque la concentración de nutrientes en el superfosfato triple es muy alto, se han propuesto métodos para elevarlo aún más.

Trabajos de la TVA posteriores a 1950 fueron de este tipo; la roca de fosfato fue acidulada con ácido superfosfórico tipo horno en vez del tipo usual ortofosfórico, dando un producto que contiene 54% de  $P_2O_5$ . La evolución del fluoruro fue muy alta, aproximadamente 60%. El bajo contenido de fluoruro y el agua libre y combinada contribuyen al contenido alto de nutrientes.

La principal desventaja de este tipo de superfosfato de alto análisis, es que el ácido superfosfórico de horno y de proceso húmedo son más costosos que el ácido ortofosfórico de proceso hú-

medo normalmente usado en la manufactura del superfosfato triple. Por lo tanto, otras rutas menos costosas para un análisis más al to han sido buscadas.

En un trabajo de la TVA (1965; Lehr, Potts, y Hand), logró la producción de un fosfato de alto grado por calentamiento del su perfosfato triple hasta una temperatura de 400°-500°F. de ese modo se convierte el  $\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$  a  $\text{CaH}_2\text{P}_2\text{O}_7$ . Un secador rotatorio de flujo transversal se usa como un medio de prevenir que ocurran manchas calientes locales en el lecho que causan la pérdida de solubilidad del citrato. Con una buena operación se obtiene un producto que contiene más de 60% de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (con superfosfato curado de proceso húmedo como material inicial); el fosfato aprovechable fue del 96% al 99%, se indican pérdidas de sólo uno a tres% del fosfato aprovechable durante la operación de calentamiento.

Trabajos similares han sido hechos por IMC. Woerther y Gilchrist (1965) especifican el mezclado de la roca de fosfato con keroseno (2-51b/ton), seguido de acidulación con ácido fosfórico de proceso húmedo, curado y calentamiento hasta un rango de 150° a 300°C. El producto contiene 62% de  $\text{P}_2\text{O}_5$  aprovechable y tiene una densidad de 60 lb/ft<sup>3</sup>. Sin el keroseno, el producto contiene solamente 57.4% de  $\text{P}_2\text{O}_5$  aprovechable. Baumann (1965; IMC) patentó la adición de una pequeña cantidad de ácido fosfórico al superfosfato y el uso de un alto contenido de vapor de agua en el aire sobre el material durante el calentamiento.

Una ventaja adicional es la suspensión de la formación del meta fosfato cristalino. El calentamiento de superfosfato triple con una pequeña cantidad (2.5%) de ácido fosfórico, a 390°F. por una hora en una atmósfera que contiene 25% en mol de agua como vapor, da un producto que contiene 55.7% de  $P_2O_5$  aprovechable y 42% de  $P_2O_5$  soluble en agua.

La producción de un superfosfato de alto análisis parece solamente producirse en la TVA, a partir de roca de fosfato y de ácido superfosfórico. Además de la desventaja de un alto costo, el material no puede absorber mucho amoníaco como el superfosfato triple.

El polifosfato de calcio hecho por tratamiento caliente de super fosfato puede tener un potencial para el futuro. La economía puede mejorarse si el material es hecho como parte de una operación de granulación y acidulación, en la cual, la etapa de seca do puede suministrar parte del calor necesario por deshidratación a pirofosfato. El tratamiento del superfosfato fresco es relativamente problemático, sin embargo, el material tiende a pegarse y la pérdida de  $P_2O_5$  aprovechable es más alto que cuando superfosfato triple curado es calentado.

El tratamiento por calor del superfosfato se emplea también como un medio para eliminar al fluoruro para hacer un material aprovechable como alimento de ganado. Las compañías activas en la investigación de esta área son la Borden, American Cyanamid, y la IMC.

Puesto que la operación está un tanto eliminado del campo de los fertilizantes, los desarrollos recientes no son descritos en detalle. Muchos de los trabajos se centran en aditivos para eliminar al fluoruro por volatilización. Muy altas temperaturas, en el orden de 1,000 Fa 1,100°F. se usan frecuentemente.

#### Amonización

El principal factor en la economía de producción de fertilizantes de los EU por varias décadas ha sido la reacción de amoniatización de los materiales con los constituyentes ácidos del superfosfato para suministrar nitrógeno relativamente a bajo costo en los fertilizantes mezclados. Como un resultado, la amoniatización del superfosfato se convirtió en una operación principal y general en la práctica inicial de los EU y continúa hoy, aunque la creciente popularidad del mezclado a granel, con la cual la economía de la amoniatización logra ciertas ventajas en el manejo de costos, muestra el crecimiento de la amoniatización. Los obstáculos que existen para la amoniatización son compensados por la ventaja de formulación de costos al mismo grado. La principal entre éstas es la pérdida de solubilidad en agua del fosfato, la cual en algunas áreas se entiende como indeseable. La práctica inicial de la amoniatización fue una operación simple, consistía sólo del mezclado de alguna solución amoniatizante con superfosfato curado y curado del producto. Hoy la demanda creciente por un producto granular ha causado que los productores combinen la amoniatización con la granulación. Puesto que

las operaciones se realizan simultáneamente, representa problemas separarlas y son discutidas conjuntamente.

La práctica moderna de amoniatización, la cual es un desarrollo de varias décadas, ha sido descrita en detalle por Slack (1966; TVA), y Pratt (Movil Chemical International Ltd) y Noyes (Noyes Development Corporation) (1965).

#### Solución Amoniatizante

Las composiciones óptimas para las soluciones amoniatizantes fueron investigadas en los primeros días de la amoniatización y han cambiado poco desde entonces. El más importante desarrollo reciente es la producción de soluciones, esencialmente anhidras de nitrato de amonio en amoniaco, introducido por Commercial Solvents años atrás. En la patente sobre el tema (Shurter y Martin 1964), relaciones en peso de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  a  $\text{NH}_3$  desde 1:1 hasta 4:1 son especificados. En una proporción de 3:1 la temperatura de enriquecimiento es de 5°F. y la presión de vapor es de 1 lb./in<sup>2</sup> al vacío a 60°F. Se afirma que las soluciones son menos sensibles a aglutinarse y menos corrosivas que las soluciones estándar. En una patente compartida de Goodale y Szold (1964) se especifica el uso de tales soluciones para amoniatizar superfosfato en un amoniatizador tipo UVA y se afirma que hay una buena granulación.

El contenido de humedad del producto es considerablemente más bajo que por soluciones amoniatizantes ordinarios. Una solución que contiene urea y formaldehído en adición al nitrato de amo-

nio y amoníaco, ha sido patentado por Waters y Hibbitts (1963; Allied Chemical). El propósito de los materiales adicionales es producir nitrógeno insoluble en agua durante el proceso de amoniatización-granulación. El método parece ser ampliamente usado en áreas donde el nitrógeno insoluble en agua es popular entre los agricultores.

#### Procedimientos de Fabricación

En la amoniatización inicial, la operación se realizó en varios tipos de mezcladores simples.

Con el advenimiento de la granulación, la etapa de amoniatización se combinó con la granulación en equipos tales como los amonizadores o tambores rotatorios. El amonizador-granulador de la TVA es un ejemplo de este último tipo (figura 4.12); Estos son utilizados como estándar en la práctica, pero algunas variaciones y características han sido propuestas.

La amonización es un lecho fluidizado y ha sido ensayado en al menos dos organizaciones. En pruebas en planta piloto reportadas por Trojan (1962; Res. Inst. Inorg. Chem. Usti and Labem, Czechoslovakia), se realizaron simultáneamente las operaciones de amoniatización, granulación y secado. La temperatura óptima fue de 65°C. bastante alto para el secado pero demasiado baja para excesiva reversión. Se dice que un reactor de 3 metros de diámetro es capaz de procesar 500 tons. de superfosfato por día al mismo tiempo se afirma que el costo del equipo es más bajo que para los métodos estándar. El proceso ha sido ensayado en

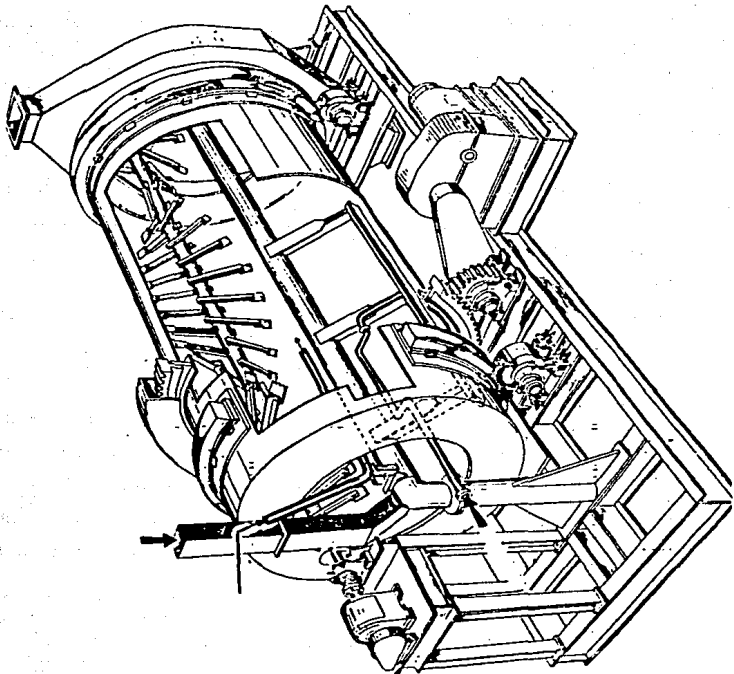


Figura d.12 Tanque Amonizador-Granulador de La TVA

FUENTE: Fertilizer Developments and Trends

A.V. Slack. Noyes Development Corporation 1979

una escala (Trojan y Vaneck, 1965) de una velocidad de producción de 3000 kg/hr. Gas amoníaco diluido a bajas concentraciones se usa para eliminar el sobrecalentamiento local y la sobreamoniatización. Shook, Shannon y Albright (1964; Purdue U.) han probado un amoniatizador fluidizado.

Se afirma que la amonización de superfosfato triple hasta 7-8.5% de amoníaco se realiza de 10 a 15 minutos. Las pérdidas son bajas aún a temperaturas altas como 500°F. El grado de amonización se incrementa con la temperatura, concentración de amoníaco y humedad relativa.

La amonización en un granulador tipo artesa también ha sido estudiado (Ionescu y Chirita, 1963; Roumania). Los mejores resultados se obtienen arriba de 70°C. menor de 10% de humedad y con el uso de un ácido para ayudar en la granulación. En un trabajo posterior, (Ionescu, Preda y Chirita, 1966) se realizaron ensayos para determinar la inclinación óptima, velocidad de rotación, y puntos de entrada de las materias primas.

La pérdida de amoníaco al comienzo estuvo arriba de 3 kg.  $\text{NH}_3$ /100 kg. de superfosfato y la reversión inicial del fostato fue de 2.7 kg. de  $\text{NH}_3$ .

En ensayos de la TVA, el granulador tipo artesa no fue muy efectivo para la absorción del amoníaco.

Variaciones en el amonizador-granulador del tipo tambor rotatorio incluyen un tambor con un anillo retenedor en cada final y un anillo divisor, que separa el tambor en dos unidades (Sharp



y Mc'Pherson, 1963; Spencer). Se suministran dos rotores acanalados, uno para limpiar y el otro para raspar el lecho de granulación. Sanders y Kealy (1966; Swift) especifican una serie de inyectores reciprocantes para el amoníaco, arreglados en "T" debajo del lecho y cabezas de esparido reciprocantes arriba del lecho. Se afirma que los arreglos mejoran la distribución de los reactantes y por consiguiente disminuye la sobreamoniatización local.

Las plantas de amonización de superfosfato son generalmente equipadas con un preneutralizador de modo que el contenido de nitrógeno del producto pueda incrementarse por uso de más solución amonizante del que el superfosfato puede absorber, el exceso de amoníaco es neutralizado con un ácido. Vahervuori y Virtanen (1963; Rikkihappo Oy, Finlandia) han discutido el diseño del preneutralizador.

La evaluación de formulaciones para mejorar el grado óptimo de granulación ha sido discutido por Church (1963, 1966; Du Pont). Un cálculo simple se desarrolló, basado en el desprendimiento de calor cuando reacciona el amoníaco con los constituyentes ácidos. La regla de reciclo ha sido tratada matemáticamente por Rands (1963; Souther Illinois U.).

#### —Fertilizantes Mezclados o Complejos

Fertilizantes mezclados es la designación para fertilizantes que contienen 2 o los 3 principales nutrientes de las plantas—nitrógeno, fósforo y potasio. Estos nutrientes son expresados,

como N para nitrógeno ,  $P_2O_5$  para fósforo o fosfato y  $K_2O$  para potasio, el cual generalmente es referido como potasa.

El término "fertilizantes compuestos" es usado ampliamente en Europa y en algunas otras partes del mundo para designar a los fertilizantes NP y NPK. Otro término "fertilizantes complejos" es usado para designar productos de nitrofosfato o para procesos de fosfato de amonio.

Tipos de Fertilizantes Mezclados.

El modelo o patrón de producción para fertilizantes mezclados terminados (NPK) en los Estados Unidos, se ha desarrollado por 3 medios principales y son:

- Granulación
- Mezclado a granel o en volumen
- Fertilizantes fluidos

Granulación.- En los procesos de granulación para fertilizantes, los ingredientes en la formulación son combinados y formados en gránulos discretos por una combinación de reacciones químicas y medios físicos. Las principales reacciones químicas incluyen la neutralización de ácidos (o componentes ácidos) con amoníaco. Calor y humedad son las fuerzas primarias que se manejan para la granulación. El calor es suministrado para reacciones químicas y en algunos casos por la adición de vapor.

La humedad presente en los ingredientes de la formulación o añadidos como agua o vapor, juntamente con el calor que causa la disolución de algunos componentes, proporcionan la elasticidad.

(fase líquida) que se necesita para la granulación.

El objetivo de la granulación de los fertilizantes NPK es combinar las materias de tal modo que cada gránulo contenga proporciones uniformes de los nutrientes fertilizantes.

Mezclado a Granel o en Volumen.- Un fertilizante mezclado a granel, consiste en una mezcla mecánica de materias fertilizantes. Como se dijo anteriormente, el mezclado a granel es definido como un proceso físico de mezclado para materias fertilizantes granuladas (sencillo o binario), en pequeñas plantas que son localizadas cercanas al punto de uso de los productos mezclados.

Grados de Fertilizantes Mezclados.- En los Estados Unidos y en muchos otros países, los fertilizantes mezclados son puestos en el mercado como grados de  $N-P_2O_5-K_2O$ . Estos tienen un rango de proporciones de alrededor de 1:4 a 3:1 ( N:  $P_2O_5$  ). Algunos grados comunes incluyen 6 - 24 - 24, 8 - 16 - 16, 14 - 14 - 14 y 20 - 10 - 10. Las mezclas a granel son algunas veces puestas en el mercado como una cantidad dada de N ,  $P_2O_5$  y  $K_2O$  por tonelada. Los nutrientes secundarios importantes -azufre, calcio y magnesio- son después incluidos en los fertilizantes ya mezclados, con costos no adicionales. En los años ochenta el esfuerzo que se está haciendo en algunos países para añadir cargas de azufre, reditúan en costos más altos.

#### Evolución

La industria de los fertilizantes en los Estados Unidos y en el

mundo evolucionó y se desarrolló en el mercado hace 140 años. El más grande desarrollo ocurrió alrededor de 1945. Con su extensa producción ha desarrollado muchos países. La industria de los fertilizantes en los Estados Unidos se ha organizado básicamente dentro de segmentos separados para la producción y mercado de nitrógeno, fosfato, productos y subproductos de potasio. Hay algunos tralapes pero los complejos básicos producen predominantemente productos de N, P. o K, los fertilizantes NP o NPK terminados, son generalmente preparados en pequeña o medianas plantas cercanas a los mercados. Los fosfatos de amonio son producidos principalmente cerca de las minas de fosfatos de roca. Los fertilizantes de mejor acabado en Europa, Asia y América Latina, son producidos como complejos en su mayor producción, localizados en su mayor parte para facilitar la recepción de materias primas y envío de productos a los mercados. En Europa y en una considerable extensión de Asia y América Latina, los fertilizantes granulados de NPK, son producidos como fertilizantes complejos por procesos fosfato nítricos o fosfato amonio.

La proporción de fertilizantes terminados de NPK producidos en los Estados Unidos por procesos de amonización-granulación, alcanza un máximo de alrededor del 80% durante los primeros años de 1960. A partir de esos años se ha ido disminuyendo la tendencia en la granulación, así como la producción de mezclas en maza y los fertilizantes fluidos continúan incrementándose, por

1980 los fertilizantes NPK representaban solamente el 30% del total de los fertilizantes mezclados.

evolución de los Fertilizantes Mezclados.

Los fertilizantes mezclados en un inicio en los Estados Unidos, fue basada en desechos de materiales de la industria procesadora de alimentos, en 1913, alrededor del 43% de los fertilizantes nitrogenados de los Estados Unidos fue suministrado por esos de sechos. En 1981, la proporción fue alrededor de 1.5%. Los primeros fertilizantes mezclados de mineral fueron en forma polvosa y en tortas mal acabadas. El análisis era bajo, tal como: 6 - 8 4 y 2 - 10 - 7 ( N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O ).

La práctica de fertilizantes producidos en forma granulada en Europa, no se desarrolló en ninguna extensión apreciable hasta que el seguro y comparativamente simple proceso de amonización-granulación TVA (Tennessee Valley Authority) fue desarrollado en 1952. Este proceso versátil ha sido ampliamente usado y más del 60% de los fertilizantes son preparados en los Estados Unidos de esta manera durante 1960.

#### Materias Usadas

El uso de materias intermedias de NP<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O en plantas locales para producción de fertilizantes mezclados sólidos, comenzó en los Estados Unidos y Europa con uso de potasa, cranamida de calcio, nitrato de sodio, guano u otros materiales nitrogenados sólidos y super fosfato ordinario que presenta bajo grado de mezclas pulverizadas. Soluciones amoniacales han entrado a escena

más tarde y dan más versatilidad en la fijación de bajos costos de nitrógeno, principalmente como material subproducto. Con el advenimiento de la granulación en los Estados Unidos en los primeros años de 1950, el uso de intermediarios ha venido siendo importante. La granulación comenzó en la primera mitad de los años treinta en Europa y por 1950 fue igualmente popular en algunos países.

#### Técnicas de Equipo y Operación

En los Estados Unidos, el proceso TVA de amonización-granulación y equipo (cilíndrico rotatorio o tambor), originado en 1952, fue ampliamente adoptado. En poco menos de un año, alrededor de 50 plantas de este tipo estuvieron en operación. En 1962 fueron 164 plantas en los Estados Unidos las que se conocen que usaron este proceso y 200 más plantas de granulación locales o regionales de este tipo las que estuvieron en operación a mediados de 1960. El equipo de granulación tipo tambor rotatorio, desde hace mucho es el más ampliamente usado ya que es muy versátil en la combinación de mezclas, amonización y granulación en una unidad sencilla. Otros tipos de granuladores, incluyendo molinos, tambor rociador o pulverizador y granuladores de caldera inclinado con usos en una menor extensión.

El boom del fosfato de amonio a mediados de 1960 y el desarrollo del mezclado a granel y producción de fertilizantes líquidos ha bajado el desarrollo en plantas locales de granulación y el número ha declinado. Sin embargo, las 100 (o algo así) de plan

tas de este tipo en operación en 1982 dan casi el 30% del total de la producción de fertilizantes mezclados en los Estados Unidos.

El sistema de granulación tiene varias ventajas importantes, incluyendo los listados siguientes:

- Una variedad de grados de NPK de varias proporciones pueden ser producidas con formulaciones económicas. Micronutrientes y secundarios pueden ser fácilmente añadidos para producir grados especiales.
- Proporciones de reciclado son bajas y los grados pueden ser cambiados más fácilmente que en plantas grandes de complejos.
- Facilidades de inversión en producción básica son comparativamente bajas y muy pocos costos auxiliares y facilidades de apoyo son requeridos para un complejo grande.
- La operación puede ser estacional, si se desea con uso de un pequeño equipo de operación personal local que no requiera un alto nivel de entrenamiento.
- La posesión puede ser local con ventajas obvias en el mercado de productos debido a conocimientos del personal con preferencias de sus consumidores.

El material del granulador fluye en un secador rotativo de combustible inflamable y de ahí a un enfriador rotatorio contra corriente. Secadores rotatorios en plantas de granulación en los Estados Unidos son calentados por gas-fuego o quemadores de aceite combustible inflamable. Cámaras de combustión de carbón in-

flamable son usadas en unos pocos países. El uso del carbón combustible fue evaluado como una medida económica para varias compañías en los Estados Unidos a principios de 1980. (véase Figura d.13)

Los enfriadores rotatorios en plantas de granulación de NPK usan aire del ambiente como flujo a contra corriente. Un número de plantas recirculan aire de salida del enfriador como aire secundario a un secador para conservar energía y para simplificar la colección de polvos. Un sistema de colección simple de polvos y un lavador de gas sirven ambos como enfriador y secador. El material enfriado es pasado por un tamiz para separar el tamaño deseado del producto (generalmente alrededor de - 6 + 12 de malla), los de mayor tamaño son machacados hasta alcanzar tamaños de partículas pequeñas y luego reciclados al granulador. El producto puede ser tratado con un acondicionador superficial para minimizar la formación de torta.

Hay algunas variaciones en la tecnología de equipos y operación, tal como la eliminación del secador por el uso de un reactor tubular para granulación del fundido. Generalmente las plantas de granulación de NPK producen alrededor de 15 a 30 tons/hr.

Prácticas de Granulación en otros Países.

En Europa Continental, es menor el uso de plantas de granulación que en los Estados Unidos, aunque varias plantas de este tipo general, que hay en regiones naturales muy pequeñas, son utilizadas en Francia, Alemania y España.



-27-

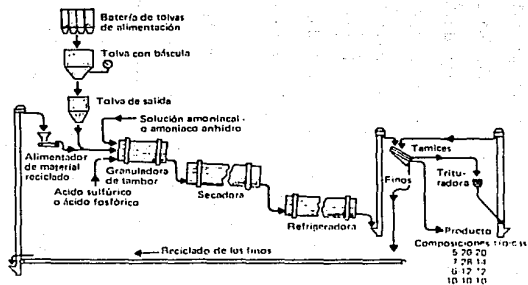


Figura d.13. Diagrama del Proceso de Fabricación de una Planta Típica de Granulación.

FUENTE: Chemical and Process Technology Encyclopedia Cousidine  
ED. MC GRAW AHIL BOOK CU. 1973

En otros países, tales como los Países Bajos, Italia y Bélgica, no se practica el concepto de planta local y varios grados de terminación de fertilizantes NPK de tipo complejo son reducidos en grandes plantas centrales.

La producción de fertilizantes mezclados granulados, es practicado ampliamente en varios países de América Central y del Sur, hace varios años el granulador caldera Eirich, fue introducido y este sistema proliferado por granulación mecánica con humedad. En programas existentes de modernización de plantas también como en plantas nuevas, los granuladores tipo tambor rotatorio es tán siendo instalados. En grandes complejos de plantas, el granulador de tambor rociador (Spherodizer), es usado en igual extensión, pero este tipo de granulador no está siendo instalado más fácilmente.

La producción en Asia es primordialmente de fertilizantes complejos NPK. El fosfato de amonio de bajos grados es predominante y ha llegado a ser más común en Japón alrededor de 1970.

Cantidades considerables de cloruro de amonio son usados en formulación de fertilizantes terminados granulados

—Mezclado a Granel o en Volumen.

#### Historia y Desarrollo

Un fertilizante mezclado puede ser descrito como de consistencia única resultante de una mezcla mecánica de materiales fertilizantes. La práctica de la mezcla a granel o en volumen de fertilizantes granulados, se ha desarrollado rápidamente en los

Estados Unidos, particularmente desde principios de los sesentas. Esta práctica comenzó en Illinois en 1947, su desarrollo fue lento, alcanzando solamente 200 unidades en los Estados Unidos a mediados de los cincuentas. El 1981 el mezclador a granel o en volumen contribuyó con alrededor del 53% del total de fertilizantes mezclados usados en los Estados Unidos.

Las plantas del mezclado operan en una base estacional y generalmente los operadores tienen oficios complementarios en la empresa o ellos proporcionan servicios agrícolas adicionales con el cual el buen éxito de la planta es atribuido grandemente. Esos servicios pueden alcanzar desde muestreo de suelos o establecer una base de necesidades de fertilizantes o el servicio de aplicación de fertilizantes al suelo. Los agricultores por lo general aceptan el pagar por el servicio de aplicación, así como en otros servicios en la labor de agricultura.

Materias Intermedias Usadas en el Mezclado a Granel o en Volumen.

Las materias intermedias granuladas en forma de balines, más comúnmente usados en las plantas de los Estados Unidos de mezclado a granel, son la urea, nitrato de amonio, fosfato diamónico (18 - 18 - 0), superfosfato triple y cloruro de potasio. Menores cantidades de sulfato de amonio, superfosfato ordinario granulado y sulfato de potasio, son usados. La experiencia en la operación y estudios de la TVA, tienen acentuados sobre algunas combinaciones de materias que son incompatibles y que deberían

evitarse, estos incluyen urea con superfosfato amonizado, así como urea con nitrato de amonio.

#### Técnicas de Equipo y Operación

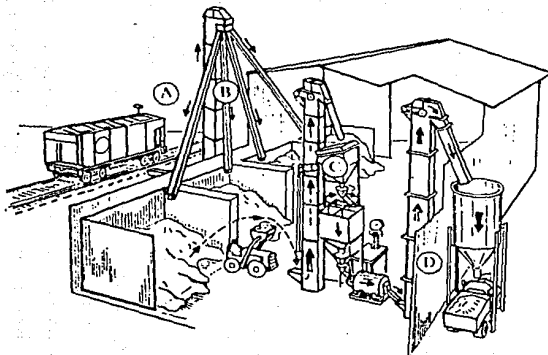
Hay variedades de arreglos de equipo en las plantas a través de los Estados Unidos. El tipo más popular de planta de mezclado tiene un mezclador rotatorio horizontal de nivel. En una variación el mezclador rotatorio puede ser elevado siempre que des- cargue directamente en una vagoneta extendida.

El sistema básico es igualmente simple y consiste en el pesado de los componentes granulares en las proporciones deseadas y el mezclado hasta obtener la uniformidad esencial. Las operaciones de pesado y mezclado son combinadas en algunos tipos de equipo, tal como la cinta soporte de mezclado con escalas de peso. El tipo más popular de mezclador rotatorio generalmente recibe la hormada prepesada de los componentes granulares intermedios. La etapa de mezclado generalmente requiere solamente de 1 a 2 minutos, así cada hora grandes proporciones de producción son alcanzadas. (véase Figura d.14)

#### Problemas en el Mezclado a Granel

El mezclado a granel es un tipo simple de práctica y que puede proporcionar una mezcla uniforme en casi todas las proporciones deseadas. El mezclado puede ser preparado suministrando un peso dado de N, P y K para formar los granos específicos. Sin embargo, una menor proporción de los materiales usados y si el desa- rrollo del fertilizante continúa, una segregación puede ocurrir

Figura d.14 Proceso de Fabricación en una Planta de Mezclado a Granel.



- A.Recepción y almacenamiento de los productos granulares a granel que se van a mezclar;
- B.El material se saca del almacén y se pesa o divide para obtener la mezcla deseada;
- C.Mezcla de los materiales;
- D.Carga de la mezcla en camiones para su transporte directo a su lugar de destino o a una tolva ensacadora.

FUENTE : Chemical and Process Technology Encyclopedia Cousidine  
Ed. Mc Graw Hill Book Co. 1973

y un mezclado no uniforme en el fertilizante terminado, redundando en resultados no requeridos al aplicarlos al suelo.

Práctica en otros países.

Aunque el mezclado a granel se haya incrementado espectacularmente en los Estados Unidos y ya se encuentra en más de la mitad de los fertilizantes mezclados, esta práctica no ha sido ampliamente adoptada en otros países. Canadá usa este sistema igual extensivamente, pero está limitada su práctica en este concepto en Reino Unido, Brazil y en otros países de América del Sur. Varias plantas de mezclado fueron construidas en el área del Caribe. En Korea, fosfato de amonio y potasio son cogranulados y nitrógeno adicional es suministrado por mezclado con urea en forma de gránulos.

#### — Fertilizantes Fluidos

Estos se dividen en 3, los líquidos, las suspensiones y los pulpos; y tienen algunas ventajas sobre los sólidos, como que tienen homogeneidad en su composición química, no tienen problemas de segregación o apelmazamiento, pero se debe tener el equipo apropiado para su manejo.

Los fertilizantes líquidos claros de comparativamente análisis y calidad altos (ausencia total de sólidos de suspensión), son dependientes del polifosfato de amonio en el uso intermedio en su preparación. Investigadores de la TVA comenzaron a fines de los años cuarenta, siendo los primeros en el desarrollo de polifosfatos y procesos para la preparación de fertilizantes líquidos de alta calidad.

### Desarrollo y Popularidad de los Fertilizantes Fluidos.

Los fertilizantes fluidos mezclados contribuyen con el 17% del total de fertilizantes mezclados en 1981 en los Estados Unidos, continuando con un incremento seguro desde 1970 en que fue de 12%. La principal actividad de los fertilizantes fluidos ocurre en los Estados Unidos, pero hay una producción substancial en Francia y en unas pocas plantas de Canadá, México, Bélgica, Brazil, La Unión Soviética, SudAfrica y el Reino Unido.

El mercado continúa en expansión para los fertilizantes fluidos por la práctica ya incrementada de la aplicación directa de amoníaco y soluciones nitrogenadas y el continuo desarrollo en la popularidad de las suspensiones. La característica dominante de la producción de fluidos y el sistema de mercadeo, son la simplicidad de facilidades de mezclado y la comodidad de manejo. También los fertilizantes fluidos pueden ser aplicados uniformemente en más grandes proporciones en un acre por minuto, que con un equipo estándar de flotación alta. Como la mecanización del cultivo de la tierra se ha incrementado, los fluidos han venido siendo más populares. La aplicación uniforme, la facilidad en la aplicación de pesticidas y micronutrientes, la más grande homogeneidad y su adaptabilidad en los sistemas de irrigación, son algunos de los incentivos para un mayor uso de fluidos.

Hay alrededor de 300 plantas de fertilizantes fluidos en los Estados Unidos en 1950 y 750 en 1960. El número se ha incrementado

a 1,200 en 1965 y más del doble, a 2700 en 1970. El total en 1974 fue de 2800 plantas de mezclas fluidas, las cuales se incrementaron adicionalmente a 3000 en 1976 y alrededor de 3200 en 1980.

#### Fertilizantes en suspensión.

Son mezcla fluidas de material sólido y líquidos, en el cual los sólidos no se asientan rápidamente y en el cual pueden ser redispersados rápidamente con agitación dando una mezcla uniforme. Algunos tipos de arcilla son añadidos como agentes de suspensión. La suspensión es bastante fluida para ser bombeada y aplicada al terreno por equipos de aplicación disponibles para fertilizantes líquidos con unas pequeñas alteraciones a este equipo, Fig. d15 Fertilizantes en Pulpa.

Son mezclas fluidas de materias sólidas en el cual los sólidos se asientan rápidamente en la ausencia de agitación y forma una firme capa, la cual es difícil de volverse a suspender. Una agitación continua es requerida para asegurar una mezcla uniforme que pueda ser bombeada y aplicada al suelo. El uso de suspensiones probablemente empezó cuando la TVA envió la primera caja de 12 - 40 - 0 en enero de 1963. Investigación continua, desarrollo y trabajo con la industria durante las siguientes décadas, condujo a las suspensiones a alcanzar una categoría en los Estados Unidos, que se aproximó a la de los líquidos claros (soluciones) en 1980. Alrededor del 45% de todas las plantas de fertilizantes fluidos en 1982 produjeron suspensiones como .



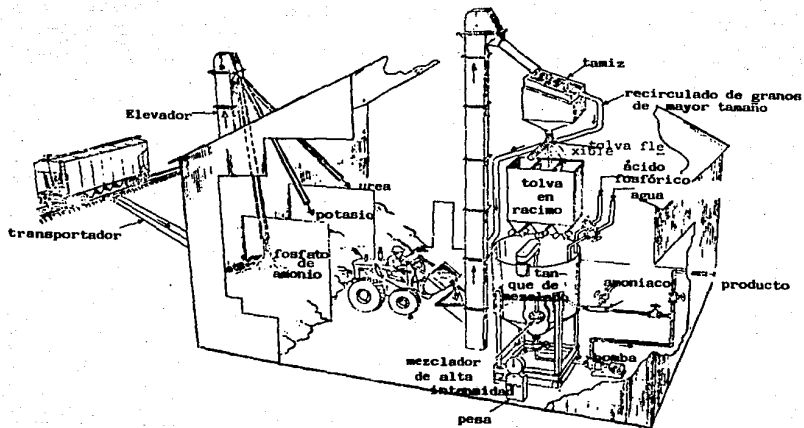


Figura d. 15 Sistema de Producción de Fertilizantes en suspensión usando alimentaciones sólidas

FUENTE : Chemical and Process Technology Encyclopedia Cousidine  
Ed. Mc Graw Ahill Book Co. 1973

parte de toda su producción.

#### Futuro de los Fertilizantes Fluidos.

El desarrollo del sector de la industria de los fertilizantes fluidos en suspensión en los Estados Unidos, la cual puede usar materias de costo más bajo como el mono o bifosfato de amonio sólido y las suspensiones de TVA 13 - 38 - 0 y 9 - 32 - 0 como materias intermedias, ayudando a hacer competitivos los costos de los fluidos con las mezclas secas. Esto, más las ventajas demostradas para fluidos, dando un fuerte incremento en el uso de las suspensiones en los últimos años de los setentas.

Se debería incrementar el uso de los sólidos de costos más bajos para producir suspensiones, así como del mejoramiento del equipo de aplicación de suspensión de fertilizantes. Lo estrecho del precio de venta entre los fertilizantes fluidos y secos, acoplado con las ventajas al agricultor, tal como todo lo conveniente a aliviar el restringido trabajo crítico y el mejor uso de líquidos deberían continuar en desarrollo más rápidamente que el mercado total.

Las ventajas de los fertilizantes fluidos, incluyendo las muy pocas investigaciones requeridas para la producción, la facilidad de preparación e incorporación de aditivos, la comodidad de manejo y la otra confiabilidad de sistemas de aplicación de fluidos, debería continuar en varios países, pero los fluidos no deben acercarse al estado de este segmento dinámico de la industria de los fertilizantes en los Estados Unidos.

### El Futuro de los Fertilizantes Mezclados.

Como se ha visto en los primeros años de los ochentas, es probablemente que los fertilizantes mezclados continúen hasta abarcar más de la mitad del total de nutrientes aplicados en los Estados Unidos (58% en 1982). El incremento continuo en popularidad y costos más bajos de aplicación de amoníaco anhidro líquido y solución de nitrato de amonio-urea (31% N) directamente debe continuar corroyendo la proporción de fertilizantes mezclados usados en el mundo es probable que disminuya sólo lentamente abajo del 64% de los nutrientes totales aplicados en 1982. La producción y uso de los fertilizantes mezclados granulados (NPK) en los Estados Unidos, es probable que continúe disminuyendo gradualmente abajo del nivel de 30% del total de fertilizantes mezclados tenidos en 1981. El mezclado a granel o en volumen (54% en 1981) y los fertilizantes fluidos (17% en 1981) son probables que continúen en desarrollo con un porcentaje más alto del total de fertilizantes mezclados. El desarrollo de los fluidos es probable que sea en proporción más alto, especialmente para suspensiones que fue el tipo de fertilizantes que sólo muestran un desarrollo real en los primeros años de los ochentas.

El desarrollo de ambos mezclados a granel o en volumen y fertilizantes fluidos debe continuar siendo lento por todo el mundo.

### —Fertilizantes Potásicos

A través de la historia, la tecnología de fertilizantes ha sido

mucho menos investigada y desarrollada en el área de la potasa que en el de nitrógeno y fosfato. Cloruro de Potasio, un mineral disponible en muy grandes cantidades, es un buen fertilizante como mineral y de ahí que se le haya dado relativamente poca importancia para perfeccionar sus propiedades.

En los principales países, el cloruro de potasio suministra una cantidad superior al 90% de los fertilizantes de potasio.

La investigación y desarrollo en este campo ha sido concentrada principalmente en mejorar las propiedades del cloruro de potasio --por mejores métodos de refinamiento y granulaci6n-- y en el convertimiento de compuestos de alta calidad tal como el fosfato de potasio.

#### Cloruro de Potasio

Más allá de las etapas necesarias para hacer un material de alto grado o calidad; ha sido poco el desarrollo en la producción del producto granulado. La demanda incrementada para el potasio granular, principalmente es para uso en mezclas a granel o en volumen, ha sido la tendencia principal; hasta casi cerca del 50% del total de lo producido hasta ahora en forma granular (incluye ambos; "granular" -6+20 malla y "grosso" -10 = 20 malla). Ambos, compactación y cristalización son usadas para producir el producto granulado. El prilling (en forma de bolitas) ha sido probado sin éxito.

#### Fosfato de Potasio

El anion cloruro de cloruro de potasio es no deseable, porque

tiene efectos de dilución y porque en algunas cosechas el cloruro es perjudicial. Han habido numerosos intentos a través de la historia moderna de los fertilizantes para reaccionar el cloruro de potasio con un material de fosfato para formar fosfato de potasio. La combinación da un muy alto grado o calidad, similar a la obtenida por reaccionamiento de amoníaco con ácido fosfórico.

El principal inconveniente en la fabricación del fosfato de potasio es que el cloruro de potasio no reacciona rápidamente con el ácido fosfórico. Por otra parte, la dificultad de encontrar un uso para el ácido hidroclicórico desarrollado; la regeneración es deseable ya que mejoraría el aspecto económico de los procesos y evitaría el problema de la contaminación, ya que este material no es valioso hasta el momento.

Por esas razones no ha sido bien comercializada la producción de fosfato de potasio para uso general en los fertilizantes.

#### Sulfato de Potasio

Una considerable cantidad de sulfato de potasio es usado como fertilizante. Es hecho principalmente por métodos muy antiguos a partir de langbeinite ( $K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$ ) por cambio de ion y remoción de magnesita y de burkeite ( $Na_2CO_3 \cdot 2Na_2SO_4$ ) por reacción de cloruro de potasio.

Un proceso ha aparecido (1973) para conversión de cloruro de potasio a sulfato de potasio por reacción con sulfato de sodio.

El método ha sido probado por Tombill Mines, Ltd., en Saskat-

chewan. El sulfato de potasio viene de una planta que se construyó como un recurso para la industria del papel. La economía parece depender del costo del sulfato de sodio (en forma de sal de torta).

## II e) EVOLUCION DE LA PRODUCCION Y LA DEMANDA DE FERTILIZANTES EN MEXICO

### INTRODUCCION

En esta parte se muestra un panorama de la evolución de la producción nacional de fertilizantes, consumo, capacidad instalada, datos relativos a la importación y exportación y programas de expansión de esta industria. Además se muestran y se comparan los precios nacionales con respecto a los internacionales.

#### CAPACIDAD INSTALADA

La capacidad instalada de las plantas de fertilizantes nitrogenados creció a una tasa media anual de 10.2% durante el período de 1975-1983, al pasar de 1,685,840 toneladas a 4,165,440 toneladas de productos, respectivamente. (ver Tabla II.e.1)

Tradicionalmente la estructura de la capacidad instalada en fertilizantes nitrogenados ha estado dominado por el sulfato de amonio, sin embargo, en los últimos años tal liderazgo ha disminuido, debido principalmente a que el sulfato de amonio es un producto de bajo contenido de nutriente y baja densidad económica, por lo cual se ha optado por incrementar la capacidad instalada de aquellos compuestos con mayor contenido de nitrógeno como la urea.

La Tabla II.e.1\* da la capacidad instalada de los distintos fertilizantes que se tenía en el año de 1982.



TABLA II.e.1

INDUSTRIA PETROQUIMICA SECUNDARIA      FERTILIZANTES NITROGENADOS  
 CAPACIDAD INSTALADA (miles de toneladas)

Producto	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
Fertilizantes complejos	206.00	206.00	206.00	206.00	206.00	206.00	206.00	206.00	206.00
Fosfato diamónico	85.14	85.14	85.74	85.74	85.74	610.74	510.74	510.74	510.74
Nitrato de amonio	168.00	168.00	168.00	168.00	168.00	168.00	168.00	168.00	168.00
Sulfato de amonio	783.70	769.70	796.70	996.70	1,596.70	1,612.70	2,012.70	2,012.70	2,012.70
Urea	443.00	443.00	443.00	443.00	773.00	773.00	773.00	1,268.00	1,268.00
Total	1,685.84	1,698.84	1,699.44	1,899.44	2,629.44	3,270.44	3,670.44	4,165.44	4,165.44

Fuente: Fertimex

Comisión Petroquímica Mexicana SEMIP

TABLA II.e.1\* CAPACIDADES INSTALADAS 1982 (Fertilizantes)  
 -miles de toneladas-

Producto	Sulfato de amonio	nitrato de de amonio	urea	superfos- fato sim- ple	superfos- fato tri- ple	fosfato diamo- nico	comple- jos npk*	suma de los fer- tilizantes
Unidad								
Bajío	160.0		386.0					546.0
Camargo			75.0					75.0
Coahuila								
Coahuila	200.0					82.5		282.5
Cuautitlán	235.0			120.0				355.0
Guadalajara	278.7				40.0			318.7
Minatitlán		100.0	302.0				140.0	542.0
Monclova		68.0					66.0	134.0
Pajaritos F.						136,5(1)	145.8(1)	282.3
Pajaritos N			495.0					495.0
Querétaro	594.0			300.0				894.0
San Luis Potosí				62.5				62.5
Tecón Umán							66.0	66.0
Torreón	200.0							200.0
Univex**	210.0							210.0
Total	1,877.7	168.0	1,258.0	482.5	176.5	228.3	272.0	4,463.0

\* Que contienen nitrógeno, fósforo y potasio

\*\* Planta Maquiladora

Fuente : FERTIMEX

Comisión Petroquímica Mexicana, SEMIP.

## PRODUCCION

La oferta de fertilizantes nitrogenados se inicia en 1951 a través de GUANOMEX (hoy FERTIMEX, S.A.) con la elaboración de sulfato de amonio; posteriormente en 1959, comienza la de nitrato de amonio y en 1962 las de urea y fertilizantes complejos (DAP/NPK). A partir de entonces la producción de fertilizantes nitrogenados crece considerablemente, debido al alto grado de integración alcanzado durante la segunda mitad de la década de los sesentas y principios de los setentas.

Así, la producción de fertilizantes pasó de ( 1,482,192) toneladas (de productos) en 1975 a (3,322,300) toneladas en 1983, equivalentes a (402,003) y (916,605) toneladas de nitrógeno respectivamente, que representaron el 76.2 y 102 por ciento del consumo en 1975 y 1983. (Ver TABLA II.e.2)

Cabe mencionar que a pesar de que el sulfato de amonio ha sido el producto de mayor volumen producido, su crecimiento promedio anual fue de 1.7% menor al incremento alcanzado por la oferta de urea durante el período 1975-1983. Lo anterior es un indicio de que los fertilizantes con alto contenido de nitrógeno están sustituyendo al fertilizante con bajo contenido de nutrientes, los cuales en los años anteriores habfan venido representando más del 40% del consumo total de fertilizantes nitrogenados en el país. La disminución en la producción de DAP y nitrato de amonio, se debió a que en los últimos cuatro años se ha destinado más del 20% de la oferta de nitrato de amonio en solución para

la elaboración de complejos NPK.

La tabla II.e.2\* también da los volúmenes de producción de fertilizantes para el período 1976-1982, donde además se incluye la producción de superfosfatos y de amoníaco de aplicación directa.

TABLA II.e.2  
INDUSTRIA PETROQUIMICA SECUNDARIA FERTILIZANTES NITROGENADOS  
PRODUCCION (Toneladas)

	1960	1970	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
Fertilizantes complejos		91,108	159,585	180,110	162,597	250,576	206,494	251,095	278,547	299,601	267,000
Fosfato de amonio		75,403	138,660	148,555	160,285	73,182	71,152	112,871	126,561	166,896	97,300
Nitrato de amonio	53,825	149,655	153,559	147,177	153,162	110,146	123,984	177,104	104,248	107,370	114,000
Sulfato de amonio	147,185	387,995	694,296	810,353	809,849	823,968	1,054,321	1,208,512	1,620,067	1,868,366	1,885,000
Urea		158,578	335,891	351,469	389,307	339,221	301,092	401,511	513,721	829,573	959,000
Total	201,010	862,739	1,482,192	1,637,664	1,675,200	1,597,09	1,767,033	2,211,093	2,643,144	3,271,806	3,322,000

FUENTE: COMISION PETROQUIMICA MEXICANA, SEMIP

205

TABLA II.e.2\* VOLUMENES DE PRODUCCION DE FERTILIZANTES

1976 - 1982

-miles de toneladas-

Año	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
Producto									
Sulfato de amonio	805	810	824	1,044	1,268	1,620	1,833		
Urea	351	389	339	301	402	514	823		
Nitrato de amonio	147	153	110	134	117	104	107		
Superfosfatos	506	556	504	550	390	515	488		
Complejos NPK y fosfato diamónico	328	322	323	276	363	404	453		
Subtotal	2,137	2,230	2,100	2,305	2,540	3,157	3,704		
Amoniaco de aplicación directa*	204	231	210	237	243	257	275		
Total	2,341	2,461	2,310	2,542	2,783	3,414	3,979		

\* suministrado por Petróleos Mexicanos

Fuente : FERTIMEX

Comisión Petroquímica Mexicana, SEMIP.

## IMPORTACION

Desde la década de los sesentas se producían en el país los cuatro tipos de fertilizantes nitrogenados, sin embargo, en los primeros años de esta década, la oferta permaneció prácticamente como consecuencia del estancamiento de la producción de las principales materias primas (aroniaco), propiciando con ello incrementos considerables en las importaciones de esos productos, los cuales en años anteriores (sesentas) nunca habían representado más del 8% del consumo nacional.

Las adquisiciones al exterior, en toneladas de producto, pasaron de 509,737 toneladas en 1975 a 256,287 toneladas en 1983, representando el 26% y 8% del consumo nacional, respectivamente (Tabla II.e.3).

Es conveniente mencionar que hasta 1979 el sulfato de amonio representó más del 40% del total importado, seguido de la urea y el fosfato diamónico con 20% y 18% respectivamente.

A partir de 1980 la situación cambia, la producción de sulfato de amonio crece al mismo ritmo de la demanda, desaparecen las importaciones de este producto, disminuyen las de urea, pero no así las de fosfato diamónico, las cuales representaron el 84% del total importado en 1983.

Tabla II.e.3

INDUSTRIA PETROQUIMICA SECUNDARIA FERTILIZANTES NITROGENADOS  
 IMPORTACION (Toneladas)

Nombre del Producto	1960	1970	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
Fertilizantes complejos	9,333		72,600	82,075	25,448	21,121	51,286	35,919	42,061		
Fosfato de amonio	9,484	12,992	15,004	900	17,938	164,156	142,143	209,333	238,347	269,184	215,200
Nitrato de amonio	13,323	5,000	93,375	105,277	77,900	137,190	67,332	51,613	47,874	64,052	222
Sulfato de amonio	7,415		281,105	345,297	297,680	195,226	280,080				
Urea	42,626	7,813	47,653	229,049	82,414	49,376	152,260	2 41,329	363,545	198,862	40,865
Total	82,281	25,805	509,737	762,598	5 01,380	567,069	693,101	538,194	691,827	532,098	2 56,287

Fuente : FERTIMEX

Comisión Petroquímica Mexicana, SEMIP.



## EXPORTACION

La concurrencia al mercado internacional de fertilizantes nitrogenados durante el periodo 1975-1983 ha sido pobre, por tener que satisfacer la demanda nacional, exportando los pocos excedentes que se han presentado en urea y fosfato de amonio.

Dichas exportaciones crecieron a un ritmo de 87% en promedio anual al pasar de 2,200 toneladas en 1975 a 205,208 toneladas en 1983 (ver tabla II.e.4)

Tabla II.e.4

INDUSTRIA PETROQUIMICA SECUNDARIA      FERTILIZANTES NITROGENADOS  
EXPORTACION      (Toneladas)

	1960	1970	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
Fertilizantes Complejos		7,419									
Fosfato de Amonio		2,337					4,968	25,567	13,242		
Nitrato de Amonio							1				
Sulfato de Amonio											65,076
Urea		17,042	2,200			10,000	7	1,520	520	4,934	140,132
Total		26,798	2,200			10,000	4,976	27,087	13,762	4,924	205,208

FUENTE: Comisión Petroquímica Mexicana SEMIP

Superfosfato triple	*	*	*	*	166,338	99,691	97,031	5,500			
---------------------	---	---	---	---	---------	--------	--------	-------	--	--	--

\* No se dispone de los datos

## CONSUMO APARENTE

Desde que se inició el consumo de fertilizantes nitrogenados en México (1951) éstos han mostrado un crecimiento sostenido en su uso como consecuencia de una incorporación mayor de tierras de cultivo, una producción agrícola más diversificada y la necesidad de aumentar los rendimientos por unidad de superficie cultivada. Es así como el consumo aparente de fertilizantes nitrogenados creció a una tasa media anual de 6.8% durante el periodo 1975-1983 al pasar de (1.989.729) toneladas a (3,373,379) toneladas de producto respectivamente. (ver tablas II.e.5 y 6)

De acuerdo con lo anterior, en el transcurso del período 1975-1983 la industria de los fertilizantes ha experimentado un cambio en el consumo, en virtud de que la demanda ha estado condicionada al crecimiento de la oferta, incrementándose en aquellos productos cuyo precio y contenido de nutriente resulta accesible y adecuado al agricultor.

En el año de 1983 el consumo interno de nitrógeno como fertilizante disminuyó por efecto del mal año agrícola, mientras que el incremento en la producción (10.9% anual) fue resultado de la utilización de la planta productiva de urea en 1982 (ver figura II.e.1.

Tabla II.e.5

INDUSTRIA PETROQUIMICA SECUNDARIA FERTILIZANTES NITROGENADOS  
 CONSUMO APARENTE (Toneladas)

Nombre del Producto	1960	1970	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983p
Fertilizantes complejos	9,333	83,689	232,186	262,185	188,045	271,697	257,780	287,014	320,608	299,601	267,000
Fosfato de amonio	9,584	86,058	153,864	149,455	178,223	237,338	208,327	296,637	351,666	436,080	312,500
Nitrato de amonio	67,148	154,655	246,934	252,454	231,062	247,336	201,315	228,717	152,122	171,422	114,222
Sulfato de amonio	154,600	387,995	975,401	1,155,650	1,107,529	1,107,529	1,334,401	1,268,512	1,620,067	1,868,366	1,819,924
Urea	42,626	149,349	181,344	2,400,262	2,176,580	2,154,162	2,455,158	2,722,200	3,321,209	3,798,980	3,373,379

FUENTE: Comisión Petroquímica Mexicana SEMIP

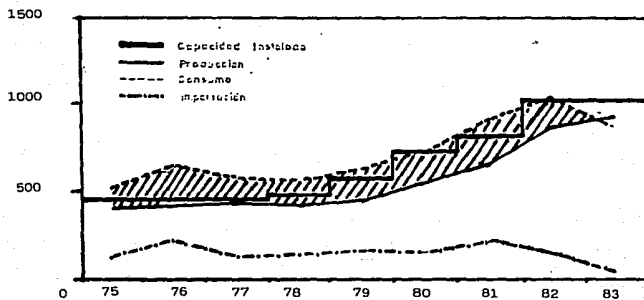
(p) Cifras preliminares

Tabla II.e.6  
 FERTILIZANTES NITROGENADOS BALANCE OFERTA DEMANDA  
 (Miles de Toneladas)

	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
CAPACIDAD INSTALADA	165.84	1,698.84	1,699.44	1,899.44	2,829.44	3,270.44	3,670.44	4,165.44	4,165.44
PRODUCCION	1,482.19	1,637.66	1,675.20	1,597.09	1,763.03	2,211.09	2,643.14	3,271.80	3,322.30
IMPORTACION	509.73	762.59	501.38	563.07	693.10	538.19	691.83	532.10	256.59
EXPORTACION	2.00			10.00	4.97	27.09	13.76	4.92	205.21
CONSUMO APARENTE	1,989.73	2,400.26	1,176.58	2,154.16	2,455.17	2,722.20	3,321.21	3,798.98	3,373.38

FUENTE: Comisión Petroquímica Mexicana SEMIP

Figura No. II.2.1  
**FERTILIZANTES NITROGENADOS**  
**EVOLUCION HISTORICA**  
 (miles de tons. de nitrógeno)



Fuente: FERTIMEX  
 COMISION PETROQUIMICA MEXICANA. SEMIP.

## EVOLUCION DE LOS PRECIOS NACIONALES E INTERNACIONALES DE LOS FERTILIZANTES

Los precios nacionales de los distintos fertilizantes han tenido una evolución similar entre sí, ya que los incrementos van del 23% al 25% durante el período de 1975-1983. Dicho incremento obedece principalmente a que son productos estratégicos para el desarrollo agrícola, sin embargo, debido a la situación de crisis económica por la que atraviesa el país, los precios de los fertilizantes registraron los mayores incrementos en 1982 y 1983 (60%) anual (ver tabla II.e.7, figura II.e.2)

El producto que mayor incremento tuvo en su precio en los últimos tres años fue el fosfato diamónico, pasando de \$6,048/ton. en 1981 a \$15,367./ton en febrero de 1983, siguiendo los fertilizantes complejos NPK de \$4,390./Ton en 1981 a \$11,154./ton. en febrero de 1983 y por último la urea que en 1981 tenía un precio de \$4,077./ton., y llegó en febrero de 1983 a \$10,359./ton.

En relación a los precios internacionales, la disparidad entre éstos y el nacional se da con mayor magnitud en la urea, siendo en 1983 superior al precio nacional, siguiéndole el sulfato de amonio con el 88.0%, el nitrato de amonio con el 34.0% y por último los fertilizantes complejos NPK con el 32.0% y el fosfato diamónico con el 31.0% (ver tabla II.e.8, figura II.e.3)

Lo anterior se debe al impacto causado por el alza de precios de las materias primas en los países que tienen que recurrir a las importaciones de éstas, afectándose considerablemente el costo de producción y como consecuencia del precio de venta, y si a esto aunamos el bajo precio otorgado por PEMEX a FERTIMEX, de la principal materia prima (amoníaco), el desfaseamiento entre el precio nacional e internacional se ve más claro.

Tabla II.e.7  
 INDICE DE PRECIOS NACIONALES (\*) FERTILIZANTES NITROGENADOS  
 1975 = 100

	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
Fertilizantes Complejos	100.0	110.0	136.0	168.0	168.0	204.0	233.0	372.0	591.0
Fosfato Diamónico	100.0	110.0	137.0	162.0	162.0	205.0	224.0	358.0	717.0
Nitrato de Amonio	100.0	110.0	137.0	157.0	157.0	191.0	217.0	348.0	696.0
Sulfato de Amonio	100.0	110.0	137.0	151.0	151.0	183.0	210.0	335.0	671.0
Urea	100.0	110.0	137.0	162.0	196.0	196.0	224.0	358.0	717.0

(\*) A Diciembre de cada año

1975 base 100

Fuente: FERTIMEX

Comisión Petroquímica Mexicana. SEMIP.



Tabla II.e.8

## INDICE DE PRECIOS INTERNACIONALES FERTILIZANTES NITROGENADOS

1975 = 100

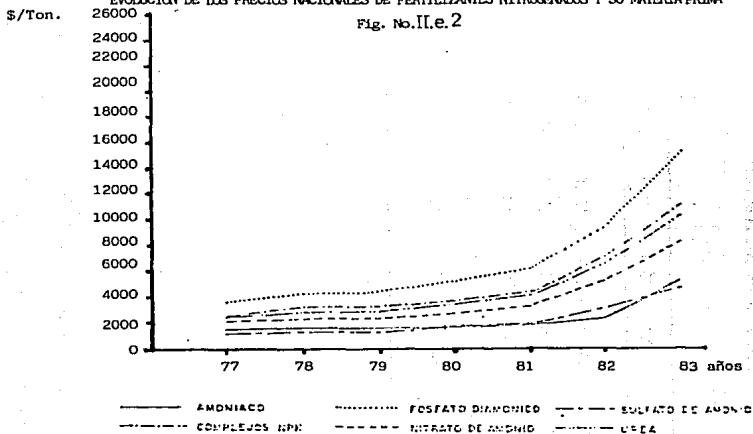
	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
Fertilizantes Complejos	100.0	116.0	177.0	161.0	276.0	306.0	429.0	493.0	980.0
Fosfato Diamónico	100.0	206.0	151.0	127.0	201.0	210.0	233.0	391.0	832.0
Nitrato de Amonio	100.0	65.0	127.0	58.0	94.0	106.0	210.0	284.0	603.0
Sulfato de Amonio	100.0	52.0	117.0	122.0	100.0	119.0	175.0	267.0	65.0
Urea	100.0	68.0	115.0	130.0	125.0	163.0	221.0	499.0	1,069.0

1975 base 100

Fuente: FERTIMEX

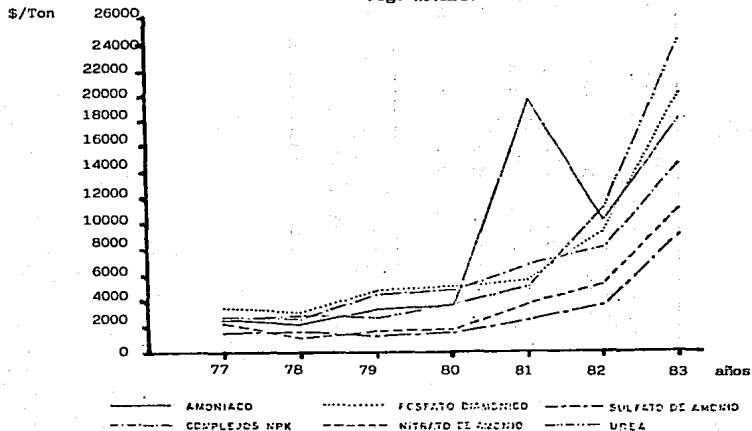
Comisión Petroquímica Mexicana, SEMIP

EVOLUCION DE LOS PRECIOS NACIONALES DE FERTILIZANTES NITROGENADOS Y SU MATERIA PRIMA  
Fig. No.II.e.2



EVOLUCION DE LOS PRECIOS INTERNACIONALES DE FERTILIZANTES NITROGENADOS Y SU MATERIA PRIMA

Fig. No.II.e.3



FUENTE : Fertilizer Demand and Supply Projections Already 1980  
for South America, Mexico and Central America, Fertilizer  
Industry Series of Monographs ID/SER F/6 ONUDI

## CAPITULO II

- II. 1.- Rev. "Fertilizantes Mexicanos, S.A." Unidad Industrial Torreón, Gerencia General de Operación Industrial. 1980
- II. 2.- Rev. "Fertilizantes Mexicanos, S.A." Unidad Industrial Querétaro. Gerencia General de Operación Industrial. 1980.
- II. 3.- Rev. "Fertilizantes Mexicanos, S.A." Unidad Industrial Camargo. G.General de Operación Industrial, 1980.
- II. 4.- Rev. "Fertilizantes Mexicanos, S.A." Unidad Industrial Minatitlán, Gerencia General de Operación Industrial, 1980.
- II. 5.- Rev. "Fertilizantes Mexicanos, S.A." Unidad Industrial Bajío. Gerencia General de Operación Industrial, 1980.
- II. 6.- Rev. "Fertilizantes Mexicanos, S.A." Unidad Industrial San Luis Potosí.
- II. 7.- Rev. "Fertilizantes Mexicanos, S.A." Unidad Industrial Pajaritos, Gerencia General de Operación Industrial. 1980.
- II. 8.- Rev. "Fertilizantes Mexicanos, S.A." Unidad Industrial Coatzacoalcos. Gerencia General de Operación Industrial 1980.
- II. 9.- Rev. "Fertilizantes Mexicanos, S.A." Unidad Industrial Guadalajara. Gerencia General de Operación Industrial 1980.

- II. 10.- Rev. "Fertilizantes Mexicanos, S.A." Unidad Industrial Cuautitlán. Gerencia General de Operación Industrial. 1980.
- II. 11.- Rev. "Fertilizantes Mexicanos, S.A." Unidad Industrial Monclova, Gerencia General de Operación Industrial. 1980.
- II. 12.- Rev. "Fertilizantes Mexicanos, S.A." Complejo Industrial de Fertilizantes "Pajaritos Nitrogenados" (Istmo) Gerencia General de Operación Industrial. 1982.
- II. 13.- Rev. "Fertilizantes Mexicanos, S.A." Complejo Industrial de Fertilizantes Lázaro Cárdenas". Gerencia General de Operación Industrial. 1982.
- II. 14.- Rev. "Fertilizantes Mexicanos, S.A." Complejo Industrial de Fertilizantes "Querétaro". Gerencia General de Operación Industrial. 1982.
- II. 15.- Fertimex. "Testimonio de una Administración" 1976-1982.
- II. 16.- Fertilizantes comerciales; Sus fuentes y sus usos. Collings H. Gilbert. Salvat Editores, S.A. 1958. España.
- II. 17.- Industrial and Engineering Chemistry. Vol. 43 No. 2. Lodge F.S. National Fertilizer Association, D.C.1956.
- II. 18.- Mehring, A.L., U.S. Dept. Agr. Circ. 718. December 1944

- II. 19.- Materiales Fertilizantes. Schreiner, Oswald; Merz, Albert R. y Brown, E.E. Publicación NO. 1635 del Anuario del Departamento de Agricultura de USA. 1945.
- II. 20.- Encyclopedia of Chemical Processing and Design. John. J. Mc'Ketta. Executive Editor.
- II. 21.- New Developments Infertilizer Technology Muscle Shoals. 19. Volumen 8, 1970; Vol. 10, 1974; Vol. 11, 1976.
- II. 22.- Chemistry and Technology of Fertilizers. Squchelli; Vincent. Reinhold Publishing Corporation, New York. American Chemical Society Monograph Series Chapman J. Hall, LTD. London 1960.
- II. 23.- Phosphoric Acid, Phosphates and Phosphatic Fertilizers Wm. H. Maggaman and Squchelli, Vincent. Reinhold Publishing Corporation, New York. American Chemical Society Monograph Series Chapman. J. Hall, LTD. London 1960.
- II. 24.- Phosphate Fertilizers and Process Technology Young. Ronald D. Division of Chemical Development Tennessee Valley Authority Muscle Shoals, Alabama, 1976,
- II. 25.- Fertilizers Technology in a Changing World Cummings, Ralph W. North Carolina State College. Raleigh, North Carolina.
- II. 26.- Chemical and Process Technology Encyclopedia Cousidine Ed. Mc Graw Hill Book Co. 1973.
- II. 27.- Fertilizer Technology I Use Olson, R.A.: Army, T.J. Soil Science Society of American Inc. 1971.

- II. 28.- Chemical and Process Engineering. Ammonium Nitrate. Payne, A.J. and Glikin, P.G. 1968.
- II. 29.- Chemical Technology, Review 59, Urea y Urea Phosphates Fertilizers Foviler, Clifford, W. Noyes Data Corp.
- II. 30.- Estudio Monográfico Comparativo de Procesos Industriales para la Fabricación de Urea. Tesis. Alvarado Du rán, José Francisco, 1969.
- II. 31.- Chemical Engineering Progress. Ammonium Sulfate Trends Holt, J.F. and Farley, P.J. (Vol. 64 No. 5) 1968.
- II. 32.- Superphosphate. Its History, Chemistry and Manufacture U.S. Department of Agriculture and Tennessee Valley Authority, Washington, D.C. 1964.
- II. 33.- Fertilizer Developments and Trends. A.V. Slack. Noyes Development Corporation.
- II. 34.- Recent Development in the Fertilizer Industri Report of the Second Interregional Fertilizer Symposium Held at Kiev and New Delhi. 1971.

### III) ENFOQUE A NIVEL INTERNACIONAL

### III a. TENDENCIAS DE LA INDUSTRIA MUNDIAL DE LOS FERTILIZANTES.

Desde 1905, la producción y el consumo mundial de fertilizantes químicos han experimentado un crecimiento espectacular. Principalmente después de la influencia de la Primera Guerra Mundial en que la producción de nuevos materiales fertilizantes fue muy notable. La demanda persistente de pólvoras propulsores, explosivos de alto poder y otros materiales mortíferos de naturaleza química, fue tan grande que se construyeron enormes fábricas para llenar estas necesidades. Al terminar la Primera Guerra Mundial, las enormes plantas químicas construidas con una capacidad de producción grande, quedaron en situación difícil. Con el objeto de evitar su ruina, estas fábricas continuaron la producción de nitrógeno y otros compuestos para ser empleados como fertilizantes. Y después, durante la Segunda Guerra Mundial que abarcó de 1940-1945, y cuyos efectos en el desarrollo de esta industria abarcaron hasta aproximadamente 1950; la producción y el consumo y el patentamiento de fertilizantes se ha venido incrementando después de esta fecha, de manera general.

Hasta 1954 el nitrógeno era el menos utilizado de los tres nutrientes de las plantas, pero desde entonces su utilización ha aumentado muy rápidamente. La producción de nitrógeno es no sólo la que crece más de prisa, sino que constituye también el sector de la industria de fertilizantes que evoluciona más rápidamente.



A diferencia de las industrias de fertilizantes fosfatados y potásicos, en las que se producen relativamente pocos productos, la industria del nitrógeno se caracteriza por una amplia diversificación de productos cuyo contenido de nitrógeno varía desde el 11%, en el caso del fosfato monoamónico, hasta el 82% en el caso del amoníaco anhidro. Antes de la Segunda Guerra Mundial, la mayoría de los fertilizantes nitrogenados eran productos naturales, como el nitrato de Chile (nitrato sódico con un 16% de nitrógeno), y el amoníaco de Hornos de coque. Desde entonces ha habido una transición tan grande hacia la producción de amoníacos sintéticos que en 1964 estos últimos representaban ya casi el 94% del mercado mundial del amoníaco. Entre los fertilizantes nitrogenados más corrientemente empleados se cuentan el nitrato amónico (35% de nitrógeno), el amoníaco anhídrido y la urea (46% de nitrógeno).

Antes de 1960, la mayoría de los fertilizantes eran sólidos relativamente pobres en nutrientes y algunos de los fertilizantes eran subproductos de otras industrias. Hasta finales del decenio 1950-1960, el sulfato de amonio era el principal fertilizante fosfatado. La mayoría de los productos, exceptuando algunos fosfatos nítricos fabricados en Europa Occidental, se producían en polvo y eran pobres en nutrientes. Muy pocos se exportaban a los países de ultramar.

El sulfato amónico y el nitrato sódico han perdido terreno frente al nitrato amónico y la urea y, en algunas zonas, frente al amoníaco anhidro y las soluciones nitrogenadas.

El superfosfato normal (simple) está siendo sustituido por superfosfato concentrado (triple) y en mayor proporción, por fertilizantes complejos de gran riqueza del tipo del fosfato nítrico o del fosfato amónico (monoamónico y diamónico).

En los pasados 25 años se han visto una multitud de cambios revolucionarios en la industria de los fertilizantes. Nuevos desarrollos han ocurrido desde cualquier punto de vista -en el género o clase de materiales- sus estados físicos, los procedimientos usados en la manufactura, el tamaño y tipo de plantas y los caminos en los cuales los fertilizantes son distribuidos. Avances tecnológicos están ocurriendo ahora en forma más tranquila y no tan vertiginosos y constantes como en los años 50's 60's y 70's. Es muy difícil, sin embargo, predecir sólo qué cambios deberían ocurrir y cuándo.

Los cambios no han sido fáciles, particularmente porque los riesgos en investigación son altos. Un nuevo descubrimiento de un mejoramiento tecnológico concebido en el laboratorio no asegura que un producto o proceso alcance su comercialización. Los grandes costos que se realizan en la mayor parte del trabajo se hallan en las etapas subsiguientes - en el estudio y evaluación, plantas piloto, prototipos de plantas comerciales y en el desarrollo del mercado. En breve, después de que un nuevo producto fertilizante o proceso es concebido, varios millones de dólares y posiblemente 10 ó más años se tienen que gastar o transcurrir antes de que venga siendo una realidad comercial.

Es especialmente difícil predecir que nuevos materiales se convierten en populares. La mayor parte de los materiales que han tenido éxito, no sólo es porque el agricultor lo demande, sino también porque éstos son apropiados en el sistema de distribución y mercado que da a los agricultores una variedad de fertilizantes, conveniencias de aplicación, bajos costos de producción, etc. Por ejemplo, el fostato diamónico (DAP) cuando fue conocido no era bien apto en el sistema de fertilizantes mezclados granulados y no granulados de los 50's. Sin embargo, el mezclado a granel o en volumen vino a ser popular en los años 60's, el DAP encajó en forma satisfactoria.

Una tendencia que parece bastante cierta a través de 1970 y en 1980 es la importancia desarrollada de la urea como un material importante y además adecuado para su uso en los fertilizantes compuestos y en los mezclados, por su alto contenido de nitrógeno.

La urea hecha en 1967 representó un 19% de la producción total mundial de nitrógeno y esta producción creció hasta representar ahora casi un 40% y las perspectivas son que la producción debè continuar expandiéndose rápidamente. También sobre este mismo renglón, el consumo total mundial de nitrógeno en 1982/83 que fue de 61.13 millones de toneladas; de esta cantidad de urea ocupó un 32%, el nitrato de amonio el 23%, fertilizantes compuestos un 19%, otras líneas de fertilizantes un 21% y el sulfato de amonio sólo el 5%.

Esta popularidad desarrollada en la urea puede ser atribuida a su alto contenido de nitrógeno y a los mejoramientos en la tecnología que han reeditado costos más bajos. También la urea tiene ventajas sobre el nitrato de amonio (el otro fertilizante nitrogenado de más importancia) debido a la libertad de riesgo de fuego y explosión y a una más baja higroscopicidad.

Desafortunadamente, la urea no puede ser usada con o cerca de materiales conteniendo nitratos porque la mezcla de los dos absorbe humedad de la atmósfera.

También la urea no es compatible con superfosfatos simple o triple por causa de una reacción química que causa pegamentos y apelmazamientos de la mezcla.

En la industria de los fertilizantes fosfatados, antes de la década de los 1950's, el superfosfato simple fue el principal fertilizante fosfatado en todo el mundo. Más tarde los fertilizantes de fosfato más concentrados han venido siendo atractivos. El superfosfato simple o normal fue por muchos años el fertilizante de fosfato más popular. Sin embargo, desde medios de los 50's, esta popularidad ha estado yendo en declive, hasta hace unos pocos años en los que esta proporción de declive se ha disminuido, estabilizándose.

El superfosfato simple puede ser manufacturado en plantas pequeñas, poco costosas, con bajos costos de producción. La combinación, al mismo tiempo de la simplicidad de la operación del proceso y de una baja inversión con los reconocibles deficien-

cias de azufre en muchas regiones, asegura que la producción de superfosfato simple se debe de mantener competitiva y especialmente para plantas pequeñas, donde las áreas pequeñas de distribución, reduciría considerablemente las diferencias de los costos de transportación.

El superfosfato triple, es un fertilizante de alto contenido de fosfato, este producto ha tomado o abarcado mucho del mercado perdido por el superfosfato simple, una parte del mercado de este fertilizante, para un futuro cercano, es de esperarse que permenezca relativamente constante y esto a causa principalmente del tremendo desarrollo de los fosfatos de amonio.

Los fertilizantes de fosfato de amonio son fuentes altamente concentrados de alimento soluble en agua para las plantas en general, los cuales empezaron a tener una aceptación importante en la agricultura desde hace veinte años.

La popularidad de los fosfatos de amonio resulta de una combinación de factores. Esos incluyen la pronta adaptabilidad de los procesos de producción aún cuando se incrementen la capacidad de las plantas, con unos asociados bajos costos de producción; características físicas favorables que facilita el almacenamiento, manejo embarque y la aplicación a suelos: la compatibilidad con todos los materiales fertilizantes comunes; la economía de la transportación se hace presente por el alto contenido de nutrientes tanto en nitrógeno (18%) como en fosfato (46% de  $P_2O_5$ ). Por todos estos factores, se asegura que el

procesado de fosfato de amonio debe continuar, para ser un importante segmento de la industria de los fertilizantes.

El potasio es obtenido desde depósitos subterráneos situados principalmente en Norteamérica, Europa del Este y Oeste. Esas regiones son los principales centros productores en el mundo. La capacidad total de potasio ( $K_2O$ ) se incrementó de 29.5 millones de toneladas en 1975/76 a 33.4 millones de toneladas en 1981/82. En conjunto, 2 de los países en desarrollo, China y Chile producen potasio y su porción en el mundo de los fertilizantes es menos de 0.2%.

En algunos países por ejemplo, USA, Francia, Alemania (República Federal), algunos viejas minas deberán ser cerradas y la capacidad total de los países disminuirá.

El principal mineral de potasio que se está extrayendo es el cloruro de potasio y el sulfato de potasio y de los dos, el más importante es el primero.

Estos fertilizantes de potasio se usan ambos directamente como un fertilizante o como una materia prima para la producción de fertilizantes mezclados.

El empleo de productos a base de urea y de fosfatos amónicos, en lugar de sustancias menos ricas en nutrientes como los productos a base de sulfato amónico y de superfosfato simple, permite a menudo realizar economías considerables. Se observa una tendencia cada vez mayor en el mundo a emplear urea y fosfato amónico y a aumentar la concentración en los fertilizantes.

tes compuestos. Muchos estudios han ilustrado los efectos positivos del uso de fertilizantes compuestos ricos en nutrientes sobre los costos de ensacado, manutención y transporte. Para crear con éxito una industria de fertilizantes en un país en desarrollo son precisos muchos requisitos previos. Este tipo de industria es de gran densidad de capital; exige un capital considerable del propio país para cubrir los gastos internos, así como divisas para importar maquinaria y equipo. Deberá disponerse de una fuente de materias primas apropiadas y baratas de fácil acceso, de servicios públicos satisfactorios y de un sistema adecuado de instalaciones de almacenamiento y distribución. Será preciso adquirir los correspondientes conocimientos técnicos. Habrá que contar con personas que puedan ser capacitadas como operarios y trabajadores de mantenimiento o desempeñar funciones de comercialización y dirección. Por último, habrá de contarse con un mercado local o de exportación seguro. En los países en desarrollo, la falta de una infraestructura adecuada es a menudo la causa fundamental de las demoras que sufre la ejecución de los proyectos industriales en gran escala. Si un país importa fertilizantes en las fases iniciales de su desarrollo a fin de crear un mercado agrícola y al mismo tiempo utiliza sus recursos de capital para crear una infraestructura hasta que el mercado y la infraestructura puedan servir de base a una fábrica de fertilizantes económicamente rentable, cualquier proyecto de este tipo tendrá probabilidades de éxito.

### III a. I.L A ESTRUCTURA DE LA INDUSTRIA DE LOS FERTILIZANTES

A diferencia de la situación en muchas otras industrias, el Estado desempeña una función prominente en la industria mundial de los fertilizantes.

En cuanto a la propiedad de las instalaciones de producción se calcula que, en todo el mundo, es de propiedad estatal la capacidad de producción de 40 al 42% de nitrógeno, del 25 al 27% de fosfato y del 42 al 45% de potasa.

Naturalmente, el papel desempeñado por el Estado varía de región a región y de país a país. En los países socialistas de Europa Oriental, que representan aproximadamente la tercera parte de la producción mundial total de fertilizantes (en cantidad), la producción de fertilizantes, así como toda otra actividad productiva, es una empresa estatal. En los países desarrollados con economía de mercado, a los que corresponde algo más de la mitad de la producción mundial total de fertilizantes, gran parte de la industria corresponde al sector privado, si bien es asimismo importante la propiedad parcial o total del Estado en esta industria.

En los países en desarrollo, el panorama es mixto, y el Estado está tal vez asumiendo un papel cada vez más importante. La



industria es de propiedad estatal en Arabia Saudita, Bangladesh, Indonesia, Irán, República Islámica de Iraq, Jamahiriya Arabe, Libia, Kuwait, Marruecos, México y Venezuela. Sin embargo, en el Brasil es de propiedad privada en gran medida. En algunos países como Senegal, India y Pakistán, el Estado posee una importante parte de la industria, y el resto está en manos de firmas privadas, con o sin participación pública.

La industria de los fertilizantes en los países desarrollados con economía de mercado está compuesta por grandes compañías químicas por las que los fertilizantes suelen ser sólo una parte de sus operaciones. Estas compañías manejan grandes recursos financieros y tecnológicos, lo que les da un elevado poder comercial en sus respectivos mercados internos y en los mercados internacionales.

El número de compañías que producen fertilizantes es de unas 400, cifra no excesiva, si se considera en el contexto todo el mundo. Debe observarse además que existe un alto grado de especialización de productos no sólo entre los tres fertilizantes básicos sino también dentro de cada uno de ellos. Por lo tanto el mercado de los fertilizantes es mucho más oligopolístico de lo que podría parecer por el número de firmas participantes. Las barreras al ingreso en la industria de los fertilizantes son generalmente importantes. En particular, están limitados el acceso a la tecnología y a máquinas y equipo de importancia decisiva.

También se requiere de una enorme inversión de capital para establecer una fábrica. Además, con frecuencia, la rentabilidad de la inversión no es tan buena como en otros sectores.

Por estas razones, y sin duda también por la importancia estratégica de los fertilizantes para el desarrollo agrícola, el Estado desempeña un papel importante en la estructura de esta industria en los países en desarrollo.

111.a.2 COMPORTAMIENTO HISTORICO DE PATENTES EN EL  
SECTOR DE FERTILIZANTES

A continuación se dan dos gráficas en las que aparecen curvas que enumeran a diferentes tipos de patentes y en las cuales, la curva de patentamiento totales es resultado de la suma de las siguientes curvas:

- Curva de Patentes de Proceso por Compañía: éstas se refieren a patentes, las cuales describen procesos de producción de los diversos fertilizantes (nitrogenados, fosfatados, potásicos) y que son aplicables directamente a nivel comercial e industrial.
- Curva de Patentes de Proceso Registrados por Personas Físicas: éstas están referidas a procesos desarrollados a nivel laboratorio, experimental o en la investigación de nuevos productos fertilizantes y que en general no son todavía aplicables a producción comercial.
- Curva de Patentes de Mezclado por Compañía: en éstas, se engloban las patentes de procesos de mezclado de fertilizantes en general, es decir, tanto de tipo orgánico e inorgánico, y algunas de ellas son aplicables a cultivos específicos, pero son explotadas a nivel comercial e industrial.
- Curva de Patentes de Mezclado Registradas por Personas Físicas: en éstas se incluyen los trabajos de tipo de investigación, de laboratorio, etc., que abarcan mezclas de tipo orgánico e inorgánico y el desarrollo de nuevos fertilizantes a nivel experimental para cultivos específicos, y que de manera general no se explotan a nivel comercial.

- Curva de Patentes de Mejoramiento o Modificaciones Hechas a procesos por Compañía: En éstas, se incluyen las mejoras o modificaciones a las diferentes etapas de proceso, como son: molienda, secado, cristalización, forma de acabado, control de higro-copicidad, granulación, etc., y al mismo tiempo al manejo y diseño de equipo de todo el proceso de producción.

Como se aprecia en la gráfica 1 y 2, la curva de patentamientos totales, tuvo su primer gran desarrollo después de la Primera Guerra Mundial, como resultado de que las fábricas que manufacturaban explosivos quedaron ociosas al terminar ésta, por lo que las encaminaron hacia la producción de fertilizantes, creando con esto el desarrollo de nuevas tecnologías de producción e impulsando al mismo tiempo nuevas investigaciones en este sector.

Como se aprecia en la gráfica 1, después de la Primera Guerra Mundial, las curvas de patentes de proceso, mezclado y mejoramiento o modificaciones por compañía, se incrementan notablemente; debido a lo anteriormente explicado y a que también se empezaron a producir muchos nuevos compuestos debido a la necesidad de crear fertilizantes de mayor contenido de nutrientes y que ésto redundara directamente en el crecimiento de la producción de alimentos, trayendo consigo, el rápido desarrollo de todos los países beligerantes. El crecimiento más espectacular se tiene en las patentes de mezclado, por su relativa facilidad de utilizar los productos terminados y los productos de tipo

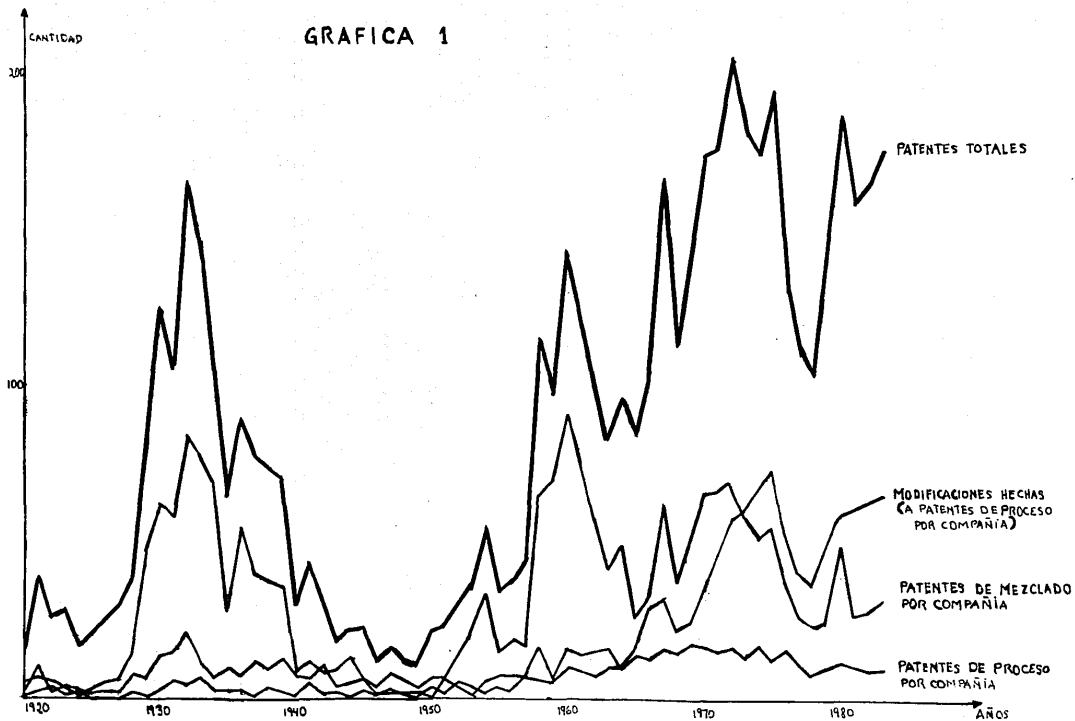
orgánico e inorgánico. En tanto que el crecimiento de las patentes de proceso de producción de fertilizantes a nivel industrial empieza a desarrollarse lenta y paulatinamente, así como también se empiezan a registrar ciertas mejoras a los procesos que existían en esa época.

Por otro lado, la gráfica 2 pone de manifiesto el desarrollo de las investigaciones y esfuerzos que han realizado personas físicas en el sector de los fertilizantes.

Tiempo después y antes de que empezara la Segunda Guerra Mundial, el número de patentamientos empieza a decrecer notablemente como resultado de la situación imperante y ésta se reafirma en este período, prolongando sus efectos hasta los inicios de los 50's.

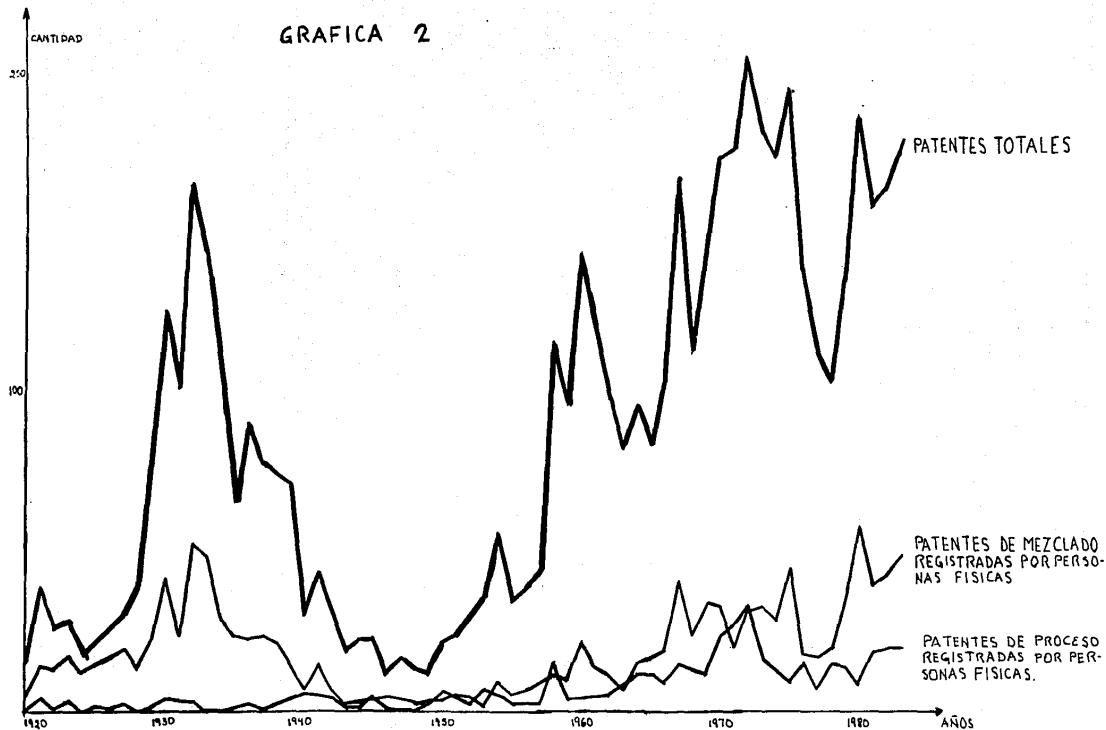
Los años cincuentas marcan el auge de la industria de los fertilizantes, ya que a partir de esa década se crean las grandes compañías comercializadoras de tecnología de fertilizantes y a que se inicia la integración de esta industria, como consecuencia de la estabilidad económica que empieza a imperar y a la necesidad de aumentar la producción de alimentos para atender el crecimiento de la cada vez más población. Para lograr esto, se crean nuevos fertilizantes de más alto contenido de nutrientes tales como los complejos (NPK), la urea, etc., y el desarrollo de nuevas tecnologías para aprovechar la totalidad de las materias primas así como reducir los consumos de energía y servicios, y al mismo tiempo lograr una fabricación, manejo y transporte más económica de los fertilizantes.

Al parecer, hoy la tendencia en el desarrollo de las patentes de proceso por compañía, parece mantenerse constante, debido a que se ha incrementado los mejoramientos o modificaciones en los procesos, cuyo objetivo es tratar de optimizarlos lo más posible.



Fuente : Elaboración propia a partir del Chemical Abstracts.  
 Revisión de 1920 a 1984.

GRAFICA 2



Fuente : Elaboración propia a partir del Chemical Abstracts.  
Revisión de 1920 a 1984.



### III. b ESTRUCTURA DEL CONSUMO, PRODUCCION Y COMERCIO MUNDIAL DE LOS FERTILIZANTES.

En esta parte se examinan los diversos aspectos de los mercados mundiales de fertilizantes y la situación de los países en desarrollo, en relación con estos mercados.

También se ofrece un esbozo de las proyecciones sobre capacidad de producción, demanda y saldos de fertilizantes que pone de manifiesto el desnivel entre la oferta y la demanda de fertilizantes en los países en desarrollo hasta 1993.

LOS PAISES EN DESARROLLO EN LA ECONOMIA  
MUNDIAL DE LOS FERTILIZANTES

El papel de los fertilizantes en el desarrollo económico

Aproximadamente el 60% de la población de las regiones en desarrollo del mundo obtienen su sustento de la agricultura. Por lo tanto, para los países de estas regiones, es imprescindible el desarrollo del sector agrícola como parte de su desarrollo económico.

La tarea fundamental del desarrollo agrícola consiste en aumentar la capacidad de producción agrícola, lo que se puede conseguir cultivando una superficie mayor de tierras, aumentando el rendimiento, o de ambas maneras. Debido a la escasez de tierras fácilmente cultivables y el alto costo de capital que entraña el cultivar tierras menos adecuadas, suele resultar más económico aumentar el rendimiento. El cuadro (III.1) en que se resumen el desarrollo agrícola de las diversas regiones del mundo en el último decenio aproximadamente, confirma este aserto. Mientras que el índice de producción agrícola total aumentó en el 45 al 80% aproximadamente en las diversas regiones entre 1963 (es decir, el promedio del período 1961-1965) y 1982, el aumento del índice de la superficie cultivada durante el mismo período aproximadamente, no fue superior al 12%. Ello indica que la contribución aportada por el mayor rendimiento fue un factor más significativo para explicar el incremento de la producción agrícola. La variación del índice del rendimiento total de cereales

de hectárea que figura en el mismo cuadro apoya este argumento. Se puede aumentar el rendimiento agrícola por hectárea de varias maneras: mediante un mejor sistema de riegos, introduciendo variedades de alto rendimiento, con una mejor ordenación de los cultivos y, a veces, aunque no siempre, mediante la introducción de la mecanización. Pero el aumento del uso de fertilizantes químicos, como se indica en el cuadro (III.1), es el factor más importante para obtener un rápido aumento del rendimiento. Por ejemplo, en 1976 se estimó que el aumento de su uso contribuyó hasta en un 50% al incremento de la producción de cereales en los 20 años anteriores.

Cabe recordar que otros métodos encaminados a aumentar el rendimiento de los cultivos, tales como la utilización de nuevas variedades de semillas de alto rendimiento, dependen estrechamente de la aplicación simultánea de grandes cantidades de fertilizantes o de precios elevados de éstos, los agricultores de los países en desarrollo han abandonado los cereales híbridos de alto rendimiento, volviendo a las variedades nativas de bajo rendimiento, con lo cual han perdido las ventajas adquiridas con la llamada Revolución Verde.

CUADRO III.1

Indices de la superficie cultivada, la producción agrícola, el rendimiento total de cereales por hectárea y el consumo de fertilizantes

(1961-1965 = 100)

	Superficie cultivada a/	Producción agrícola b/	Consumo de fertilizantes		Rendimiento de cereales por hectárea
			Total c/	Por hectárea	
	1981	1982	1981/82	1981	1982
Todo el mundo	105	156	301	274	160
Países desarrollados con economía de mercado	104	147	183	175	154
Países socialistas de Europa Oriental	100	145	397	396	156
Países en desarrollo con economía de mercado	112	166	633	518	143
Países socialistas de Asia	88	183	980	999	214

Fuentes: Secretaría de la UNCTAD sobre la base de datos extraídos de: i) Anuario FAO de producción, vol. 30, y comunicaciones de la FAO sobre los datos de la superficie cultivada, la producción agrícola y el rendimiento total de cereales por hectárea; ii) Anuario FAO de fertilizantes, vol. 29, 1979 y vol.32 1982, en que figuran los datos relativos al consumo total por hectárea.

a/ Tierras arables y tierras en cultivo permanente

b/ La producción agrícola se refiere a todos los productos agrícolas, incluidos los cereales

c/ Los datos se refieren al período de julio de 1981-junio de 1982 (un año de la industria de fertilizantes).

En el período 1972-1974, la demanda de fertilizantes químicos fue tanta que muchos países en desarrollo, aunque estaban dispuestos a pagar precios más elevados, no pudieron conseguir en el mercado internacional los fertilizantes que necesitaban. Si bien la disponibilidad y los precios de los fertilizantes mejoraron en cierto grado después de 1975, ello no se debió tanto a un aumento de la oferta de fertilizantes como a una reducción de la demanda causada por la resistencia del sector agrícola a los precios elevados, lo que en muchos países en desarrollo frenó los programas de desarrollo agrícola. Con la renovación de la tendencia ascendente de la demanda, la situación relativa al suministro de fertilizantes a los países en desarrollo que los necesitaban se hizo nuevamente crítica en 1978/1979, pero mejoró algo a partir de 1981.

La escasez periódica de fertilizantes ha hecho que los países en desarrollo revisen la cuestión del suministro de fertilizantes en los planos interno e internacional. Una conclusión a la que se llegó es que las necesidades de nutrientes vegetales en los países en desarrollo puede satisfacerse, por lo menos en cierta medida, intensificando el uso de los abonos orgánicos. Hay cuatro fuentes principales de abonos orgánicos i) el compost urbano; ii) el compost rural, iii) la fabricación de gas a partir de excrementos animales y iv) la utilización de las aguas residuales y la basura urbanas. Se ha estimado que en la India por ejemplo, la disponibilidad potencial de nu-

trientes vegetales procedentes de dichas fuentes es de 2,7 millones de toneladas de nitrógeno, 1,8 toneladas de fosfatos ( $P_2O_5$ ) y 1,8 millones de toneladas de potasa ( $K_2O$ ), que en conjunto suman más de 6 millones de toneladas de nutrientes.

Dado que los abonos orgánicos derivan sobre todo de la reutilización de materiales que de lo contrario se perderían, se pueden suministrar a un costo relativamente pequeño por la economía. Cabe recordar, sin embargo, que la cantidad de nutrientes reutilizados es muy inferior a la cantidad que se extrae del suelo en forma de productos agrícolas. En un ciclo cerrado basado solamente en el uso de sustancias orgánicas, el suelo se irá empobreciendo gradualmente por lo que hace a nutrientes. Los abonos químicos pueden constituir una adición neta al contenido de nutrientes del suelo, especialmente en fosfatos y potasa. El uso combinado de abonos agrícolas y químicos podría, a su vez, mejorar considerablemente la eficiencia de los fertilizantes químicos aplicados (es decir, la asimilación porcentual de nitrógeno y de fosfatos). Así pues, estas dos formas de fertilizantes deben utilizarse en forma complementaria.

Como ya se ha indicado brevemente, los países en desarrollo han experimentado graves dificultades para obtener suministros suficientes de fertilizantes químicos. Conviene examinar esas dificultades en el marco más amplio de la economía mundial de fertilizantes.

CONSUMO, PRODUCCION Y COMERCIO DE FERTILIZANTES:  
SITUACION DE LOS PAISES EN DESARROLLO

1. Consumo

En la primera mitad de este siglo, el consumo mundial de fertilizantes aumentó a un ritmo relativamente lento. Desde 1905 hasta poco antes de la Segunda Guerra Mundial, el consumo mundial aumentó de unos 2 millones de toneladas a unos 9 millones de toneladas. Sin embargo, en el período que siguió a la Segunda Guerra Mundial se observó un crecimiento muy rápido. Así, como puede verse en el cuadro III.2, en 1981/82 el consumo mundial había ascendido a unos 115 millones de toneladas y la tasa media de crecimiento anual de consumo de fertilizantes fue del 7,8% en el período de 1950/51-1970/71, y del 4,9% entre 1970/71-1981/82.

Una gran parte de este aumento se produjo en los países desarrollados con economía de mercado y en los países socialistas de Europa oriental. Como se desprende del cuadro III.2, en 1981/82 estas regiones, con aproximadamente la décimoquinta parte de la población agrícola mundial y menos de la mitad de la superficie cultivada, consumieron el 67% de los fertilizantes utilizados en el mundo. No obstante, en el período 1950/51-1970/71 el consumo de fertilizantes en las regiones en desarrollo aumentó a una tasa anual del 15,7%, es decir, dos veces más rápidamente que el promedio mundial. La tasa correspondiente de crecimiento para el período 1970/71-1981/82, fue

Cuadro III.2. Población Agrícola, superficie cultivada y rendimiento total de cereales por hectárea, consumo de fertilizantes, importaciones expresadas en porcentaje del consumo y tasas anuales medias del aumento del consumo en los periodos 1950/51 - 1970/71 y 1970/71 - 1981/82

	Consumo de fertilizantes, 1981/82										Tasa anual media de aumento de consumo de fertilizantes (en porcentaje)										
	Población agrícola / (millones por hectárea)	Superficie cultivada / (millones de hectáreas)	Rendimiento total de cereales por hectárea (toneladas)	Nitrógeno		Fosfatos		Potasio		Total		Total de las importaciones, en porcentaje del consumo total, 1981	1950/51-1970/71				1970/71-1981/82				
				Millones de toneladas señoras	Porcentaje	Millones de toneladas señoras	Porcentaje	Millones de toneladas señoras	Porcentaje	Millones de toneladas señoras	Porcentaje		Nitrógeno	Fosfatos	Potasio	Total de fertilizantes	Nitrógeno	Fosfatos	Potasio	Total de fertilizantes	
<b>TODO EL MUNDO</b>	2,066	1 466	2,3	60,4	100	30,9	100	23,9	100	115,3	100	29	26,5	10,5	5,8	6,6	7,8	6,0	4,2	3,1	4,9
<b>Regiónes desarrolladas</b>	135	672	2,8	35,4	59	21,7	70	20,1	84	77,2	67	26	114,8	9,3	5,2	6,2	6,9	4,0	2,5	2,7	3,2
Países desarrollados con economía de mercado	64	394	3,6	22,3	37	12,7	41	11,6	49	46,6	40	35	118,2	8,2	4,3	5,4	5,9	3,3	0,3	1,5	1,9
Países socialistas de Europa oriental	71	278	1,8	13,1	22	9,0	29	8,5	35	30,5	27	13	109,8	12,9	9,1	6,1	10,0	5,2	7,2	4,7	5,6
<b>Regiónes en desarrollo</b>	1 931	793	2,0	25,1	41	9,2	30	3,8	16	38,1	33	35	47,9	16,4	14,4	15,0	15,7	10,2	10,1	7,6	9,2
Países en desarrollo con economía de mercado	1 285	680	1,6	12,8	21	6,1	20	3,0	13	21,9	19	47	32,1	14,9	12,8	13,9	14,1	8,7	9,7	7,9	8,9
Africa (264)	(152)	(0,8)	(0,7)	(1)	(0,5)	(2)	(0,3)	(1)	(1,5)	(1)	(73)	(9,7)	(13,2)	(8,2)	(9,8)	(10,2)	(8,3)	(6,3)	(6,2)	(7,0)	
América Latina (126)	(73)	(2,0)	(2,9)	(5)	(2,2)	(7)	(1,3)	(6)	(6,4)	(6)	(52)	(36,7)	(12,7)	(11,9)	(13,2)	(12,5)	(7,0)	(8,2)	(6,7)	(7,3)	
Asia (862)	(354)	(1,6)	(9,2)	(15)	(3,4)	(11)	(1,4)	(8)	(14,1)	(12)	(42)	(39,7)	(16,4)	(16,0)	(16,9)	(16,4)	(9,3)	(10,9)	(9,8)	(9,7)	
Otros países en desarrollo	94	(1)	(2,1)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(100)	(28,7)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(12,4)	(15,1)	(20,5)	(13,9)
Países socialistas de Asia	646	114	3,3	12,3	20	3,1	10	0,8	3	16,2	14	17	142,8	19,8	21,7	23,9	20,4	12,1	11,2	7,4	11,6

Fuentes: Secretaría de la UNCTAD, sobre la base de comunicaciones de la FAO, AnuarioFAO de Fertilizantes, vol. 32, 1982 y FAO, Boletín Mensual de Estadística, vol. 1, enero de 1978.

Nota: El símbolo (-) indica cero o cantidad insignificante.

El símbolo (...) indica que no se dispone de datos.

La suma de los componentes y los porcentajes puede no coincidir con los totales porque se han redondeado las cifras.

/ Todas las personas que obtienen su sustento de la agricultura, es decir, las personas que se dedican activamente a la agricultura y sus familiares a cargo.

/ Superficie arable y tierras en cultivo permanente



del 9,9%, es decir, aproximadamente el doble del promedio mundial en el mismo período. Sin embargo, la participación de las regiones en desarrollo en el consumo mundial total de fertilizantes en 1981/82 sólo fue del 33%, aunque ellas comprendían la mayoría (el 93%) de la población agrícola mundial y más de la mitad (el 54%) de la superficie cultivada.

Respecto del consumo de fertilizantes por hectárea, hay una región en desarrollo, los países socialistas de Asia, que se puede comparar favorablemente con las regiones desarrolladas. En 1981/82 esos países consumieron 143 kg. por hectárea, mientras que la media de las regiones desarrolladas fue de aproximadamente 115 kg (118 kg. para los países desarrollados de economía de mercado y 110 kg. para los países socialistas de Europa oriental, incluida la URSS). En cambio, los países en desarrollo de economía de mercado sólo consumieron 32 kg. por hectárea. La media para los países en desarrollo de Africa fue sólo de 9,7 kg. por hectárea, y muchos de estos países consumían aún menos de .1 kg. por hectárea. Los promedios correspondientes a América Latina y Asia fueron de 37 y 40 kg. por hectárea, respectivamente. El nivel relativamente bajo de consumo de fertilizantes por hectárea en los países en desarrollo de economía de mercado se refleja en el nivel proporcionalmente bajo de los rendimientos de los cultivos, como permite apreciar el cuadro III.2.

Si bien la tasa de aumento en el consumo de los tres tipos de

fertilizantes, es decir nitrogenados (N), fosfatados ( $P_2O_5$ ) y potásicos ( $K_2O$ ) es uniformemente elevada en las regiones en desarrollo, estos países tienen una mayor participación en el consumo total mundial de abonos nitrogenados: el 41% en comparación con el 30% para los fosfatados y el 16% para los potásicos. Su dependencia de las importaciones es también elevada, pues éstas representaron el 35% de su consumo en 1981/82. El porcentaje correspondiente a las regiones desarrolladas fue de alrededor del 26% (véase el cuadro III.2).

## 2. Producción

En 1981/83 la producción mundial de fertilizantes ascendió a unos 120 millones de toneladas de nutrientes nitrogenados, fosfatados y potásicos (véase el cuadro III.3). De este total, el 76% se produjo en las regiones desarrolladas y el 24% en las regiones en desarrollo. Como también se desprende del cuadro, la tasa de aumento de la producción mundial de fertilizantes se redujo en el período 1970/71-1981/82, en comparación con los dos decenios precedentes. La reducción fue más marcada en los países desarrollados de economía de mercado, donde la tasa anual de crecimiento correspondiente a ese período fue del 1,7%, en comparación con el 6,7% correspondiente al período precedente. En los países socialistas de Europa oriental, sin embargo, la producción siguió aumentando a una tasa anual media alta, del 6% aproximadamente, con lo que se redujo la diferencia entre su participación y la de los países desarrollados

Cuadro III.3. Producción de Fertilizantes, exportaciones en porcentaje de la producción,  
tasas anuales medias de aumento de la producción 1960/51-1970/71 y 1970/71-1981/82 y producción en porcentaje del consumo

	Producción de fertilizantes, 1981/82									Tasa anual media de aumento de la producción (en porcentaje)									Producción total, en porcentaje del consumo 1981/82					
	Nitrogenados			Fosfatados			Potásicos			Total			1960/51-1970/71			1970/71-1981/82			Producción total, en porcentaje del consumo 1981/82					
	Cantidad (millones de tons.)	Distribución porcentual	Porcentaje exportado	Cantidad (millones de toneladas)	Distribución porcentual	Porcentaje exportado	Cantidad (millones de toneladas)	Distribución porcentual	Porcentaje exportado	Cantidad (millones de toneladas)	Distribución porcentual	Porcentaje exportado	Nitrogenados	Fosfatados	Potásicos	Total	Nitrogenados	Fosfatados	Potásicos	Total	Nitrogenados	Fosfatados	Potásicos	Total
<b>TODO EL MUNDO</b>	62,0	100	19	31,9	100	20	25,7	100	58	119,6	100	27	10,5	6,2	6,6	7,9	5,8	4,0	3,4	4,8	103	103	107	104
<b>Regiones desarrolladas</b>	41,5	67	25	24,3	76	22	25,6	100	58	91,4	76	34	10,1	5,7	6,5	7,5	3,5	2,6	3,6	3,2	11,7	112	127	118
Países desarrollados con economías de mercado	24,6	40	30	15,2	48	33	13,7	53	66	53,5	45	40	9,2	4,9	6,2	6,7	2,0	0,7	2,1	1,7	111	119	113	115
Europa oriental	16,8	27	19	9,1	29	5	11,9	46	49	37,9	32	25	13,1	10,4	7,1	9,9	6,0	6,9	5,7	6,1	128	102	141	124
<b>Regiones en desarrollo</b>	20,6	33	6	7,6	24	11	0,1*	-	29	28,2	24	7	14,0	14,9	17,2	14,4	15,0	11,6	-16,7	13,4	82	82	1	24
Países en desarrollo con economías de mercado	9,8	16	11	4,8	15	18	-	-	55	14,7	12	13	11,7	12,2	11,4	11,9	12,2	12,4	-14,0	11,9	77	79	1	67
Africa	(0,2)	(-)	(35)	(0,8)	(3)	(73)	(-)	(-)	(-)	(1,0)	(1)	(65)	(...)	(11,7)	(...)	(14,4)	(9,6)	(7,7)	(...)	(5,7)	(35)	(143)	(-)	(69)
América Latina	(1,9)	(3)	(12)	(1,5)	(5)	(1)	(-)	(-)	(56)	(3,4)	(3)	(9)	(4,8)	(9,1)	(-)	(5,7)	(8,7)	(13,9)	(4,5)	(12,6)	(65)	(70)	(2)	(54)
Asia	(7,7)	(12)	(10)	(2,5)	(8)	(9)	(-)	(-)	(-)	(10,2)	(9)	(10)	(10,9)	(16,3)	(...)	(23,3)	(12,3)	(13,6)	(...)	(13,4)	(64)	(73)	(-)	(72)
Países socialistas de Asia	10,7	17	-	2,8	9	-	-	-	(-)	13,5	11	-	24,6	26,1	...	25,7	19,7	10,3	-18,6	15,4	87	89	3	83

Fuente: Secretaría de la UNCTAD, sobre la base de datos extraídos Anuario FAO de Fertilizantes, vol. 32, 1982 y el Boletín Mensual de Estadísticas de la FAO, vol. 1, enero de 1978.

Nota: El símbolo (-) indica cero o cantidad insignificante

El símbolo (...) se utiliza cuando no figura una tasa de crecimiento por carecerse de los datos correspondientes al año de base. Las tasas negativas de crecimiento se indican con un signo menos.

La suma de los componentes y los porcentajes puede no coincidir con los totales porque se han redondeado las cifras.

\*/ Chile y China son los únicos países en desarrollo en que figura la producción de fertilizantes potásicos.

con economía de mercado en la producción mundial.

En las regiones en desarrollo, la tasa de expansión de los dos principales países productores, India y China, se redujo en el decenio de 1970; pero, gracias al ritmo acelerado de producción en América Latina y el Oriente Medio, la tasa de crecimiento correspondiente a las regiones en desarrollo en su conjunto apenas disminuyó. En el caso de los países en desarrollo de economía de mercado, permaneció casi igual.

Pese al rápido aumento de la producción de fertilizantes, la tasa igualmente elevada de aumento del consumo hizo que la producción de las regiones en desarrollo cubriera el 74% de su consumo en 1981/82. Cabe señalar que la proporción correspondiente en 1950 fue del 66%.

En el mundo en su conjunto, el 27% de la cantidad total de fertilizantes producidos se exporta (véase el cuadro III.3). De los tres tipos de fertilizantes, los potásicos presentan una fuerte concentración geográfica y, en consecuencia, se exporta una proporción más elevada de su producción (58%), en comparación con los otros dos. Además, del cuadro III.3 se desprende que se exporta aproximadamente el 6% de los fertilizantes nitrogenados y el 11% de los fosfatados producidos en las regiones en desarrollo, mientras que sus exportaciones de los fertilizantes potásicos ascienden al 29%.

### 3. Materias primas para la producción de fertilizantes

Las principales materias primas utilizadas en la producción de fertilizantes son el gas natural, la nafta, el fueloil y la hulla para los fertilizantes nitrogenados; los fosfatos minerales y el azufre para los fosfatados; y la potasa para los potásicos. Si bien la mayor parte de la producción mundial de fosfatos minerales y potasa y casi la mitad de la producción de azufre se utilizan para producir fertilizantes, las materias primas de los abonos nitrogenados tienen muchos otros usos, en particular como combustible, productos químicos y plásticos. En 1976 los países en desarrollo poseían alrededor de la mitad de las reservas de gas natural del mundo, más de las tres cuartas partes de las reservas de petróleo y el 14% de las reservas de hulla. Sus recursos de gas natural, en particular, tienen muchas posibilidades, aunque corresponde a los países en desarrollo sólo el 10% de la producción anual. Hay 22 países en desarrollo que cuentan con grandes reservas conocidas de gas natural, pero algunos de esos países sólo producen actualmente una cantidad pequeña o nula de gas natural. Diecisiete países en desarrollo tienen grandes reservas de petróleo, con frecuencia adyacentes a yacimientos de gas natural, y cinco tienen grandes reservas de hulla. Así pues, hay amplias posibilidades para que estos países produzcan fertilizantes nitrogenados de bajo costo a partir de sus propias materias primas. Con respecto a las materias primas de los fertilizantes fosfa-

tados conviene señalar que en 1979 la producción mundial de fosfatos minerales fue de 128 millones de toneladas, de cuya cantidad 34 millones de toneladas se produjeron en Africa, aproximadamente 7 millones de toneladas en Asia (excluida China) y 1,7 millones de toneladas en América Latina. A fines de 1976 Marruecos, Túnez, Argelia, Jordania, Senegal y Togo, de los que produce casi el 30% de la producción mundial y más del 42% de las exportaciones mundiales de fosfatos minerales, trataron sin éxito de establecer una organización análoga a la OPEP para producir, comercializar y vender fosfatos minerales. Se sugirió que se incluyesen los derivados de los fosfatos en el ámbito de la organización propuesta.

Anteriormente, la elaboración de fertilizantes dependía en alto grado del ácido sulfúrico como reactivo para extraer de la mena el ácido fosfórico en la producción de superfosfatos y para fijar el amoníaco en un compuesto sólido, como el sulfato de amonio. El azufre, materia prima para la obtención del ácido sulfúrico, se presenta en todo el mundo en muchas formas distintas, como azufre nativo así como en la hulla, las menas de minerales, el gas natural y el petróleo crudo. También se puede recuperar en el proceso de control de la contaminación en la industria. En 1977 el azufre recuperado, principalmente del gas natural, ascendió a 16 millones de toneladas, lo que representa alrededor de la mitad de la producción mundial de azufre como elemento y alrededor del 30% de la producción de

azufre en todas sus formas. En 1979 los mayores productores entre los países en desarrollo de economía de mercado fueron México, el Iraq, la República Islámica del Irán y la India, a los que correspondió el 6% de la producción mundial y el 74% aproximadamente de la producción total de azufre de los países en desarrollo de economía de mercado. Kuwait y Bahrein también son fuentes importantes de azufre recuperado. Desde 1981/82 Arabia Saudita se está convirtiendo en una de las principales fuentes de azufre recuperado.

Los yacimientos explotables de potasa están geográficamente mucho más limitados que los yacimientos de las otras materias primas de fertilizantes. Más del 80% de los yacimientos mundiales están situados en la Unión Soviética y el Canadá y menos del 3% en las regiones en desarrollo, especialmente en Jordania, China, Congo, Chile, Brasil y posiblemente Tailandia, la República Democrática Popular Lao y Etiopía.

#### 4. Comercio

En 1981/82 el comercio de fertilizantes ascendió a unos 34 millones de toneladas. Como se indica en el cuadro III.4, aproximadamente la mitad de dicha cantidad estuvo constituida por fertilizantes potásicos, y la tercera parte por fertilizantes nitrogenados.

Los principales países exportadores son relativamente pocos y están situados en las regiones desarrolladas (Estados Unidos, Canadá, República Democrática Alemana y República Federal de

Alemania). El cuadro III.4 indica que en 1981/1982 correspondió a estos países el 90% de las exportaciones de fertilizantes nitrogenados y el 86% de los fosfatados, y prácticamente el 100% de las exportaciones de fertilizantes potásicos. Dado que los países socialistas de Asia no son exportadores activos de fertilizantes, el resto correspondió a los países en desarrollo con economía de mercado.

En 1981/82 estos países constituyeron un importante grupo importador, con el 39% de las importaciones mundiales totales de fertilizantes nitrogenados y el 43% de los fosfatados.

El aumento desproporcionado del valor de las importaciones de fertilizantes en relación con la cantidad importada para las regiones en desarrollo en su conjunto fue aún más marcado en el caso de algunos de los principales países en desarrollo importadores de fertilizantes. Ello se debió a los acusados aumentos de precios de los fertilizantes en 1972/74. Además, como ya se ha mencionado, la oferta disponible en el mercado internacional no fué suficiente para satisfacer las necesidades de los países en desarrollo que estaban dispuestos a pagar un precio elevado.

Las exportaciones de fertilizantes de todas las regiones en desarrollo se duplicaron con creces en el decenio de 1970/71 - 1981/82 como lo indica el cuadro III.5.

Aunque actualmente no constituyen más del 6% del total de las exportaciones mundiales de fertilizantes, en los últimos años se ha producido una serie de nuevos acontecimientos dignos de cierta atención. Uno de



CUADRO III. 4

COMERCIO DE FERTILIZANTES EN 1981/82

	Importaciones de fertilizantes								Exportaciones de fertilizantes							
	Nitrogenados		Fosfatados		Potásicos		Total		Nitrogenados		Fosfatados		Potásicos		Total	
	C	%	C	%	C	%	C	%	C	%	C	%	C	%	C	%
TODO EL MUNDO	12,5	100	5,6	100	15,5	100	33,6	100	11,6	100	6,3	100	14,9	100	32,8	100
<u>Regiones desarrolladas</u>	<u>5,9</u>	<u>47</u>	<u>2,8</u>	<u>50</u>	<u>11,6</u>	<u>75</u>	<u>20,4</u>	<u>61</u>	<u>10,4</u>	<u>90</u>	<u>5,5</u>	<u>86</u>	<u>14,9</u>	<u>100</u>	<u>30,8</u>	<u>94</u>
Países desarrollados con economía de mercado	5,5	44	2,2	39	8,5	55	16,5	48	7,3	63	5,0	79	9,0	60	21,3	65
Países socialistas de Europa mundial	0,4	3	0,6	11	3,1	20	4,1	12	3,1	27	0,4	6	5,9	40	9,4	29
<u>Regiones en desarrollo</u>	<u>6,5</u>	<u>52</u>	<u>2,8</u>	<u>50</u>	<u>3,9</u>	<u>25</u>	<u>13,2</u>	<u>39</u>	<u>1,1</u>	<u>9</u>	<u>0,9</u>	<u>14</u>	-	-	<u>2,0</u>	<u>6</u>
Países en desarrollo con economía de mercado	4,9	39	2,4	43	3,1	20	10,4	31	1,1	9	0,9	14	-	-	2,0	6
Países socialistas de Asia	1,6	13	0,4	7	0,8	5	2,8	8	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Secretaría de la UNCTAD, sobre la base de datos extraídos del Anuario FAO de Fertilizantes, vol 32, 1982.

Notas: El símbolo "C" indica cantidad en millones de toneladas.

El símbolo "%" indica porcentaje del total mundial.

El símbolo "-" indica cero a cantidad insignificante.

Las diferencias entre las cifras correspondientes a las importaciones y las exportaciones se deben a: a) el plazo transcurrido entre la notificación de la exportación y la importación; b) los períodos de referencia diferentes utilizados por los distintos países, y c) los sistemas diferentes de tratamiento del amoníaco objeto del comercio. Véase una explicación más detallada en las notas a los cuadros de los documentos utilizados como fuente.

Los componentes y los porcentajes pueden no coincidir con los totales porque se han redondeado.

CUADRO III.5

Exportaciones de fertilizantes de determinados países en desarrollo, 1961/62-1981/82

a/ cifra no oficial

	Exportaciones ( miles de toneladas )			Composición porcental de las exportaciones de 1981/82			Relación por cociente	
	1961/62 1965/66 (promedio)	1070/71	1981/82	Nitrogenados	Fosfatados	Potásicos	1970/71 1961/62- 1965/66 (promedio)	1981/82 1970/71
<u>Regiones en desarrollo</u>	<u>306</u>	<u>790</u>	<u>2 009</u>	<u>57</u>	<u>42</u>	<u>1</u>	<u>2,6</u>	<u>2,5</u>
<u>Determinados países en desarrollo</u>								
1. Chile	161	82	83	82	-	18	0,5	1,0
2. Costa Rica	5	9	9 <sup>a/</sup>	100	-	-	1,8	1,0
3. Egipto	5	12	25	6	94	-	2,4	2,1
4. Guatemala	-	-	13 <sup>a/</sup>	50	50	-	...	...
5. Indonesia	-	-	18	100	-	-	...	...
6. Jordania	-	-	15 <sup>a/</sup>	-	100	-	...	...
7. Kuwait	-	91	176 <sup>a/</sup>	100	-	-	...	1,9
8. México	5	78	9	33	67	-	15,6	0,1
9. Marruecos	7	57	123 <sup>a/</sup>	2	98	-	8,1	2,2
10. Qatar	-	-	255	100	-	-	...	...
11. República de Corea	-	61	327 <sup>a/</sup>	57	43	-	...	5,4
12. Arabia Saudita	-	15 <sup>a/</sup>	133	100	-	-	...	8,9
13. Senegal	-	13	15	28	72	-	...	1,2
14. Túnez	82	175	516	14	86	-	2,1	2,9
<u>Total parcial (1 a 14)</u>	<u>265</u>	<u>593</u>	<u>1 717</u>	<u>51</u>	<u>45</u>	<u>1</u>	<u>2,2</u>	<u>2,9</u>
En porcentaje del total correspondiente a todas las regiones en desarrollo	87	75	85					

página

tales acontecimientos se refiere al esfuerzo que, después del importante aumento de los precios del petróleo y los fosfatos registrado en 1973, han hecho ciertos países en desarrollo cotados de gas natural y petróleo o fosfatos, con objeto de iniciar la producción en gran escala de amoníaco y fertilizantes nitrogenados y fosfatados para la exportación.

Estos nuevos acontecimientos derivan de la tendencia general hacia la producción de fertilizantes en los países en desarrollo cuyas necesidades de tales productos tendrán que aumentar para que se pueda desarrollar su agricultura. El resultado de tal empresa depende, evidentemente, de un gran número de factores. Un factor decisivo es la tecnología. Evidentemente, la mayoría de los países en desarrollo tendrán que importar una gran parte de la tecnología que necesitan a fin de emprender la producción en el sector de los fertilizantes.

Por lo tanto, es indispensable ver exactamente cómo se organiza el mercado internacional de tecnología necesaria y los servicios conexos, y como puede intensificarse y desarrollarse en los países en desarrollo la capacidad tecnológica y de producción nacional.

### CAPITULO III

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

- 1.- Fertilizers Trends-1975 Harre, Edwin A. Bolletin Y-77, 1974. Tennessee Valley Authority. National Fertilizer Development Center. Alabama.
- 2.- El Uso de Fertilizantes en los Países en Desarrollo: Cuestiones Relativas a la transferencia y al Desarrollo de Tecnología.
- 3.- Mini-Fertilizer Plant Projects. Sectoral Studies Series No. 1. volumen 1. United Nations Industrial Development Organization. 1983.
- 4.- Ammonium Sulphate Nitrogen No. 154. March-April 1985.
- 5.- Fertilizer Production, Technology and use. Papers presented to the United Nations Interregional Seminar, Kiev. 24 August. 11 September 1965.
- 6.- Recent Developments in the Fertilizer Industry. Report of the Second Interregional Fertilizer Symposium held at Kiev and New Delhi. 1971.
- 7.- Fertilizer Demand and Supply projections to 1980 for South America, México and Central America. Fertilizer Industry series of Monographs ID/SER F/6 ONU DI
- 8.- Chemical Abstracts. Revisión de 1920-1984.

9. ONUDI, Manual de fertilizantes (ID/250), Serie "Desarrollo y Transferencia de Tecnología" No. 13, (Nueva York, 1980).
10. Grupo del Banco Mundial, Fertilizer Requirements of Developing Countries Revised on Flook. in 1975. Informe No. 830 (Washington D.C. julio de 1975).
11. ONUDI. "Draft Worldwide Study on the Fertilizer Industry 1975-2000" (UNIDO (IOIS.222)
12. Fertilizer International No. 9-, diciembre de 1976. "Phosphate cartel proposed".
13. The british Sulphur Corporation Ltd, Statristidal Supplement, No. 22, enero/febrero de 1981.
14. Fertilizer International No. 83, mayo de 1976. "The export Associations".
15. Agency for International Development (EEUU), Operators Report (W-129).

**IV**

**COMPARACION DE LOS PROCESOS  
DE FABRICACION DE LOS FERTILIZANTES**

#### IV. COMPARACION DE LOS PROCESOS DE FABRICACION DE FERTILIZANTES

Los procesos importantes de fabricación de fertilizantes aparecen brevemente descritos en artículos publicados en revistas técnicas; los datos facilitados bastan en general para mostrar el funcionamiento del proceso e indicar sus ventajas. En las descripciones de las patentes se publican a veces datos detallados sobre la fabricación; sin embargo, se encontró información incompleta de éstos, como era de esperar en un tipo de fabricación en la que reina una elevada competencia. Rara vez se publican los costos de inversión y ello por un motivo fundamental: las cifras de los costos de inversión carecen de sentido a no ser que se refieran a una fábrica de fertilizantes que aparezca perfectamente definida en lo que se refiere a capacidad, productos, especificación de productos, características y especificaciones de la materia prima, emplazamiento y servicios disponibles. Sin embargo, pueden resaltarse las ventajas de un proceso de fabricación por la comparación de los diagramas de flujo y la tabulación (matriz) de materias primas, requerimiento de servicios y condiciones generales de operación (presión y temperatura), que es en general la práctica seguida en el presente trabajo.

Se tomaron en cuenta los diagramas de flujo y datos aparecidos en las diversas publicaciones técnicas para determinar que proceso permite obtener las mayores ventajas.

METODOLOGIA PARA COMPARACION DE PROCESOS, TOMANDO COMO EJEMPLO LA UREA.

Estimando los factores principales que afectan el costo del producto final, recopilando datos generales de los procesos, analizando los procesos propuestos y omitiendo aspectos no técnicos, puede seleccionarse el mejor proceso. ¿Cuál es el precio del producto final? es la primera pregunta para todo proceso químico. Mediante un análisis económico es posible deducir cuáles son los factores de mayor o menor importancia que determinan el precio del producto final, tales factores son:

- + La materia prima
- + Capital invertido
- + Mantenimiento
- + Depreciación
- + Gastos Generales, etc.

50% del costo para producir una tonelada de urea en una planta de alta capacidad es el costo y consumo de  $\text{NH}_3$ , aproximadamente un 25% del costo es capital gastado, considerando que el  $\text{CO}_2$  casi no cuesta, el costo del amoníaco es el principal factor a considerar.

El consumo de amoníaco para los varios procesos es más o menos igual y varía cerca del consumo estequiométrico de  $\text{NH}_3$  (566.6 Kg.) de tal manera que el consumo de 570 kg/ton puede considerarse satisfactorio.

Otro factor importante es el ciclo anual de operación de un



proceso particular, ésto se determina consultando varios contratistas y operadores de varios procesos, así como visitar plantas en operación.

Una lista de preguntas básicas debe prepararse de manera tal que los datos puedan compararse, esta lista incluye:

- . Ciclo anual de producción
  - . Problemas de corrosión
  - . Mantenimiento
  - . Bombas de Carbamato
  - . Reparaciones y fallas
  - . Margen de seguridad de los cálculos de consumo.
  - . Calidad del producto
1. Ciclo anual de producción

Esta puede determinarse preguntando a los supervisores y jefes de mantenimiento para determinar el número de días operables para la capacidad global de la planta. Si una planta opera 300 días/año en vez de 330, los costos del producto final son 2.5% más alto, el ciclo anual de producción es afectado por problemas típicos de plantas de urea, por ejemplo: Problemas de corrosión, equipos de seguridad, bombas de carbamato, etc. El conocimiento técnico de los contratadores en relación a estos problemas es muy importante, también es importante el conocimiento general de la producción de urea por parte del propietario del proceso..

Una historia de los procesos de urea para conocer cómo ha me-

jurado a través de los años, debe hacerse con un registro de las mejoras graduales. Estos puntos son omitidos en los artículos que comparan los procesos de urea, los que solamente discuten materias primas y consumo de servicios.

Los análisis de los procesos indican que el 6% del costo de 1 tonelada de urea es vapor, electricidad y agua de enfriamiento mientras que el 6% del costo sea cargado a servicios, algunos ahorros considerables por reducción de costos de servicios puede justificar el gasto extra del capital, por ejemplo una planta Stamicarbón construida en 1963 puede reestructurarse para usar el proceso "Stamicarbón de Agotamiento", las pérdidas durante la reestructuración y la nueva inversión de capital se re compensa por el menor consumo de servicios y resulta en un menor costo del producto.

## 2. Nombre del Proceso

Una comparación formal de los procesos es generalmente imposible debido a que los nombres de los procesos dan información in suficiente, por ejemplo, los procesos de urea experimentan cam bios de nombre y modificaciones del proceso, tales como: Inven ta-Vulcan, Cincinnati-CPI, Allied Chemical.

## 3. Cuáles procesos deben compararse

Muchas veces resulta que los procesos son comparados con valores teóricos, los cuales solamente existen en papel. Debe dejarse bien definido si los procesos comparados tienen el propó sito de construir una planta en un futuro cercano o sólo como

estudio de la literatura.

Los procesos de urea (Basados en  $\text{NH}_2$  y  $\text{CO}_2$ ), han perdido un número de fases a través del tiempo, después de las etapas experimentales para resolver problemas de corrosión los esfuerzos se han concentrado a la producción de otros compuestos nitrogenados, este período da la introducción del proceso de recirculación total. La calidad del producto (reducción del Biuret), se ha incrementado, los mejoramientos prácticos y técnicos muestran datos de consumo menores, mientras este trabajo continúa, los esfuerzos son ahora dirigidos a plantas grandes de cadena sencilla y reducción del tamaño de la planta.

La reducción del consumo de vapor es un objetivo primario de estos estudios continuos, los nuevos procesos enfatizan bajo consumo de servicios, por ejemplo: Snam-Progetti, Stamicarbón, Chemico Thermo-Urea y el proceso integrado de  $\text{NH}_3$  urea de Toyo Koatsu. Mientras Chemico se propone reducir la inversión para plantas de gran tamaño, Toyo Koatsu, Stamicarbón y Snam pretenden importantes ahorros de servicios.

#### 4. ¿Qué datos deben compararse?

Para hacer una comparación precisa de los valores reales para los varios procesos, deben conocerse los valores en los cuales las penalizaciones son aplicados si éstos son excedidos, datos tales como consumos típicos, consumos esperados y requerimientos de operación están indefinidos de modo tal que debe tenerse cuidado al hacer las comparaciones, Toyo Koatsu señala que

"los datos garantizados para el proceso, varían de acuerdo al lugar donde se instale la planta", de tal manera que los datos de consumo esperados para una planta Toyo Koatsu operada en Japón, son diferentes a los del resto del mundo.

#### 5. Calidad del Producto Final

La calidad del producto final debe compararse en la misma base para todos los procesos, el valor de la urea comercial es afectado por el contenido de Biuret, no se disponen de datos exactos como un porcentaje de Biuret en el cual daña el follaje, sin embargo, desarrollos técnicos han producido urea con 0.8% de Biuret, la cual es aceptable para su uso en la agricultura. Los cristales de urea formados en un cristizador, contienen aproximadamente 0.1% de Biuret, si estos cristales son fundidos nuevamente y se granulan posteriormente, el contenido de Biuret podría incrementarse a 0.25%. Los datos para la cristalización y evaporización de las píldoras son diferentes y la calidad del producto final es importante cuando se comparan los procesos.

#### 6. Las mismas unidades deben utilizarse.

Un error común es la confusión de las unidades usadas para los datos de consumo. La palabra "Ton" no es suficiente para definir si se trata de una tonelada larga, métrica o corta; cuando los datos se expresan por Ton/Ton la confusión no surge, sin embargo los datos de consumo de vapor, agua de enfriamiento y electricidad pueden engañar; los EUA acostumbran usar una "Ton"

para expresar una tonelada corta de 2000 lb (970 kg.), mientras en Europa, la expresión aceptada es la tonelada métrica (1,000 Kg.), en la industria de los fertilizantes y sector agropecuario ocasionalmente se utiliza el término de tonelada larga equivalente a 2,240 lbs. (1,015.8 kgs.).

#### IV.a.1. PROCESOS DE FABRICACION DE UREA.

##### - DIVERSAS TECNOLOGIAS.

#### PROCESOS DE SEPARACION

##### Proceso Stamicarbón

En el proceso de separación Stamicarbón, el carbamato se descompone a la presión de reacción reduciendo su presión parcial en una atmósfera de dióxido de carbono. La recombinación del amoníaco y del dióxido de carbono para formar carbamato también tiene lugar a esta presión y a elevada temperatura, facilitándole así la recuperación de calor mediante la producción de vapor. Los recipientes utilizados en esta fase -cuba de reacción, separador condensador- están dispuestos de modo que la solución de carbamato reciclado pasa por gravedad del condensador al reactor. La cuba de reacción es un depósito revestido de acero inoxidable y provisto de una serie de bandejas para facilitar la mezcla de los reactivos. A dicha cuba se añaden trazas de aire, mediante el dióxido de carbono utilizado como materia prima, para inhibir la corrosión.

La cuba se alimenta con el  $\text{NH}_3$  y el  $\text{CO}_2$ . Así se obtiene la presión de equilibrio mínima, con las consiguientes economías en los costos de equipo y de compresión. La temperatura y la presión de cuba se mantienen entre  $180^\circ\text{-}190^\circ\text{C}$  y 120-150 bar, respectivamente. La conversión, a base del producto procedente del reactor, es del 10% al 60%, y de alrededor del 85%, a base

del producto procedente del separador.

La separación tiene lugar a la presión de reacción en un intercambiador tubular vertical calentado con vapor, dotado de chapas para tubería y de un distribuidor especial para alimentación de  $\text{CO}_2$ . Es esencial una distribución uniforme del líquido. El vapor utilizado para calentar la solución se halla a una presión de unos 25 bar.

El amoníaco y el dióxido de carbono separados se recombinan para formar carbamato en un condensador que funciona a la misma presión que la cuba de reacción. El calor de reacción y el calor sensible de la solución se utilizan para obtener vapor de baja presión en la envolvente del condensador. Se deja que la reacción se desarrolle en un 80%, maniobrando con la presión del vapor y, por tanto, con la temperatura del condensador. La razón óptima entre el  $\text{NH}_3$  y el  $\text{CO}_2$  que alimentan el condensador es de 2.4. Este valor proporciona la temperatura máxima de equilibrio, particularmente favorable para la producción de vapor. A la entrada del condensador se añade amoníaco con objeto de mantener esta proporción. La temperatura del reactivo a la salida del condensador es de  $170^\circ\text{C}$ .

A la salida del separador, la presión de la solución de urea es reducida a 3-6 bar y calentada con vapor para liberar las pequeñas cantidades de amoníaco, dióxido de carbono y vapor de agua que aún contenga. Estos residuos se condensan en un condensador enfriado por agua, y la solución débil de carbamato

resultante es retrobombeada al condensador de alta presión. Los gases inertes se purgan del reactor, y todo el amoniaco o dióxido de carbono presente en el mismo es absorbido en agua y reutilizado.

La solución de urea se bombea entonces a un tanque de almacenamiento, del que se extrae para su ulterior elaboración. Si se permite una concentración de biuret de 0,9% al 1,2% en el producto final, todo el acabado que se requiere es la evaporación en vacuo seguida de granulación en perdigones. Sin embargo, la urea que haya de contener menos de 0.5% de biuret requerirá una etapa de cristalización intermedia antes de la fusión y la granulación en perdigones.

Debido al carácter corrosivo de los fluidos del proceso, en la construcción de todo el equipo correspondiente se utilizan aceros inoxidables especiales.

#### Ventajas

Este proceso tiene una disposición sumamente sencilla y exige relativamente poco equipo.

En general, no se requiere bomba de carbamato que, aparte de ser cara, complica las operaciones.

El consumo de servicios públicos es comparativamente bajo.

El proceso funciona a presiones y temperaturas relativamente bajas, por lo cual las condiciones de funcionamiento son menos rigurosas.

La razón molar entre el  $\text{NH}_3$  y el  $\text{CO}_2$  es considerablemente in-



ferior a la del proceso de reciclaje total, lo que permite eco  
nomías en los costos de equipo y de compresión. Además, propor  
ciona la temperatura máxima de equilibrio para la producción  
de vapor.

La separación final del carbamato se completa en un solo sepa  
rador que funciona a presiones reducidas, en comparación con  
los tres tanques de descomposición necesarios para los sistemas  
de reciclaje total.

No es preciso que el compresor de  $CO_2$  sea grande.

Se eliminan varias válvulas de control exacto que se utilizan  
de ordinario en los procesos de reciclaje total.

El proceso acepta temperaturas relativamente elevadas del agua  
de refrigeración sin un aumento apreciable del consumo de ser-  
vicios.

Propietario del proceso:

Stamicarbón BV

Licenciarios

C.F. Braun and Company

Chiyoda Chemical Engineering and Construction Company Ltd

Continental Engineering (Ingenieursbureau voor de Processindus-  
trie BV)

Coppée-Rust SA

Didier Engineering GmbH

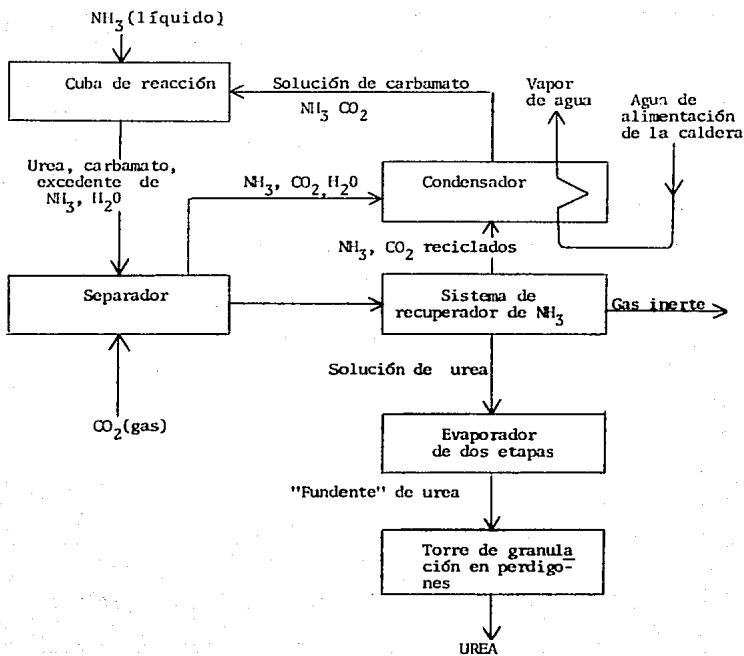
Foster Wheeler Corporation

Friedrich Uhde GmbH

Humphreys and Glasgow Ltd

The Lummus Company

Sim-Chem Division, Simon-Carves Ltd



Fabricación de urea por el proceso de separación Stamicarbon

Fuente : Process technologies for nitrogen fertilizers.

( ONUDI ) 1978 Serie No. 9

### Proceso Snam Progetti

En el proceso de separación Snam Progetti, el amoniaco y el dióxido de carbono reaccionan a elevada presión para producir urea y carbamato. El contenido en carbamato del efluente del reactor se descompone a la misma presión que la del reactor, reduciendo su presión parcial con una corriente de amoniaco puro en lugar de dióxido de carbono, como ocurre en el proceso Stami carbon. El reactor funciona a una presión de 130-160 bar y a una razón molar de 3 entre  $\text{NH}_3$  y el  $\text{CO}_2$ .

El amoniaco líquido conservado en un tanque de retención es bombeado al reactor de urea por medio de bombas aspirantes e impelentes. Parte del amoniaco se vaporiza para su empleo en el separador de alta presión. El dióxido de carbono se comprime a la presión de reacción y se alimenta directamente al reactor. Los productos de reacción pasan al separador, donde el carbamato se descompone y es separado de la solución de urea. Los vapores de cima del separador pasan directamente al condensador de carbamato de alta presión, donde se recuperan el amoniaco y el dióxido de carbono para su reciclaje -sólo por gravedad- al reactor. El calor desprendido en la condensación de carbamato a elevada temperatura se emplea para producir vapor.

La batería de depuración y recuperación de la urea consiste en tres etapas de evaporación a presiones más bajas, acompañadas de la recuperación de amoniaco y dióxido de carbono residuales. Cada etapa funciona a una presión cada vez menor, y en las dos

etapas primeras se añade calor. La solución final de urea contiene un 75% de ésta y prácticamente ningún amoniaco.

Los gases de salida desprendidos en cada etapa se condensan en dos fases -condensación y absorción de amoniaco y de dióxido de carbono- para producir una solución concentrada que es devuelta a la cuba de reacción a través del condensador de carbamato de alta presión.

Los gases de cima procedentes del absorbedor de alta presión de la sección de recuperación son prácticamente amoniaco puro, que se condensa y se devuelve al tanque de retención.

La operación de acabado es igual a la de otros procesos de fabricación de urea.

#### Ventajas

Este proceso posee todas las ventajas del proceso de separación.

El consumo de servicios públicos es relativamente bajo

Se elimina la mayor parte de las válvulas de control exacto normalmente utilizadas en plantas convencionales

#### Inconvenientes

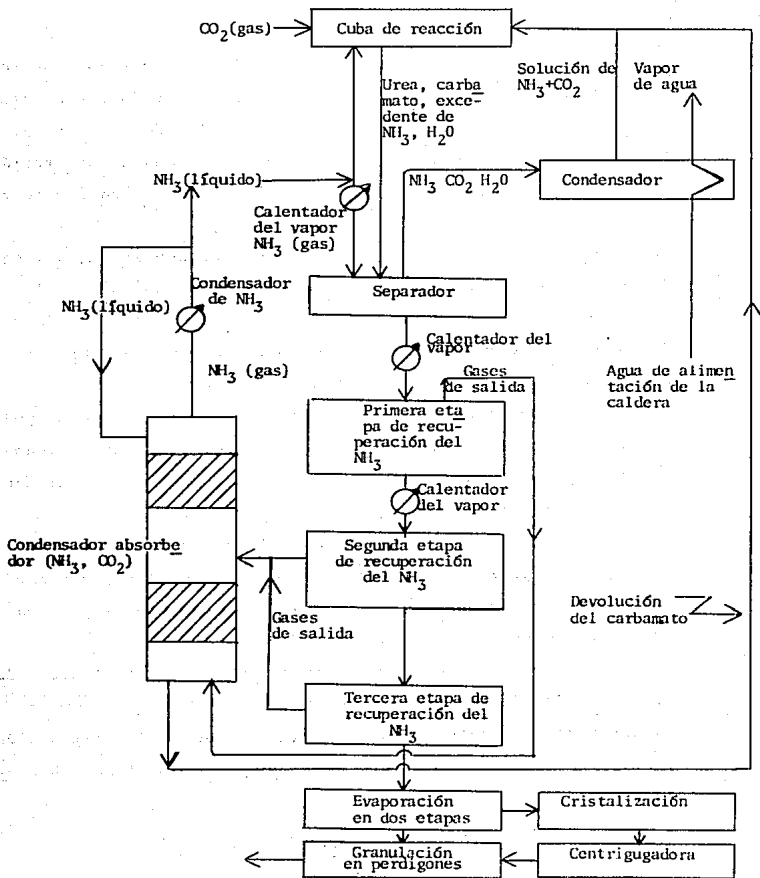
En el sistema de recuperación del amoniaco a baja presión interviene más etapas de funcionamiento que en el proceso Stamicar bon.

Propietario del proceso

Snam Progetti SpA

Licenciarios: C.&I/Girdler, Inc.; Fluor Corp.; Woodalt-Duckham Ltd

Fuente : Process technologies for nitrogen fertilizer.  
 ( ONUDI ) 1978 Serie No.9



Fabricación de urea por el proceso de separación Snam Progetti

## PROCESOS DE RECICLAJE TOTAL

### Proceso Químico

En el proceso Químico de reciclaje total se alimentan a un reactor dióxido de carbono gaseoso, amoníaco líquido y una solución de carbamato reciclado, a una razón molar de 4 entre el  $\text{NH}_3$  y el  $\text{CO}_2$ . La cuba de reacción, que funciona a una presión de 190-230 bar y a una temperatura de 175°-200°C, convierte en urea aproximadamente el 75% del  $\text{CO}_2$ .

Se siguen dos etapas de descomposición y condensación, así como dos circuitos de reciclaje y un reciclaje de amoníaco. El efluente de la cuba de reacción, que contiene urea, excedente de amoníaco y carbamato sin reaccionar, se expande a una presión de 20-25 bar, se alimenta al primer separador instantáneo y luego al primer tanque de descomposición, en el que, con ayuda del vapor utilizado para calentar, la mayor parte del carbamato se descompone en amoníaco y dióxido de carbono. La finalidad de las etapas de descomposición es descomponer carbamato con la menor cantidad de vapor de agua; el exceso de vapor en el reciclaje perjudica el funcionamiento de la cuba de reacción. Para lograr esa finalidad, cada paso de la descomposición va precedido de una separación instantánea.

Los vapores procedentes del primer evaporador instantáneo y del primer tanque de descomposición se combinan y se dirigen hacia la pared de la envolvente del segundo tanque de descomposición donde proporcionan calor para la descomposición al ser absorbi

dos en parte en la solución débil de carbamato procedente de la parte inferior del segundo tanque de absorción. La corriente combinada que procede de la envolvente del segundo tanque de descomposición entra entonces en el primer tanque de absorción. El segundo separador instantáneo, que funciona a una presión de 1-2 bar, separa los gases de la solución de salida del primer tanque de descomposición, y la mayor parte del dióxido de carbono y de amoníaco restantes se separan en el segundo tanque de descomposición y en su separador de recuperación. La concentración de la solución de urea final al término de la segunda etapa de descomposición es aproximadamente un 76%.

El primer tanque de absorción es una torre alta que funciona a una presión de alrededor de 17 bar, y que consta de una sección inferior, de relleno, y de una sección superior de bandejas. La solución y los gases procedentes del lado de la envolvente del segundo tanque de descomposición pasan a esta torre por debajo de la sección de relleno, en la que el amoníaco, el dióxido de carbono y el agua son parcialmente condensados por una solución de carbamato circulante que fluye en sentido descendente a través del relleno. Los gases procedentes de la sección de relleno del tanque de absorción contienen aproximadamente un 1% de  $\text{CO}_2$ ; este porcentaje se reduce después a unas 5 ppm mediante separación con un reflujo de amoníaco a través de la sección superior de bandejas. El gas que sale del tanque de absorción es, pues, gas de amoníaco puro.

La solución de carbamato del primer tanque de absorción es extraída y bombeada a la cuba de reacción como carbamato reciclado.

Los gases de salida del segundo separador instantáneo y del segundo tanque de descomposición son absorbidos en el segundo tanque de absorción, que funciona aproximadamente a 1 bar, por la solución de carbamato reciclada en el tanque de absorción.

El segundo tanque de absorción también tiene un reflujo de amoníaco en la sección de bandejas, y el gas que sale del mismo es  $\text{NH}_3$  que contiene menos de 6 ppm de  $\text{CO}_2$ .

El vapor de amoníaco procedente de la parte superior del segundo tanque de absorción se comprime, combinado con el primer tanque de absorción, y se condensa mediante agua de refrigeración. El condensado pasa al depósito de almacenamiento de amoníaco para su reutilización.

La sección de acabado es igual que la de otros procesos de fabricación de urea, con la particularidad de que en este proceso se calienta con vapor una pequeña parte de la solución circulante del cristizador.

#### Ventajas

El sistema de recuperación de calor es ventajoso.

#### Inconvenientes

La conversión en el reactor sólo es de alrededor de un 70%.

Se utilizan más recipientes o depósitos y equipo que en el proceso de separación.



Las bombas de alta presión que deben utilizarse para el reciclaje del carbamato requieren considerable mantenimiento.

En la sección del cristalizador se requiere vapor adicional.

Propietario del proceso:

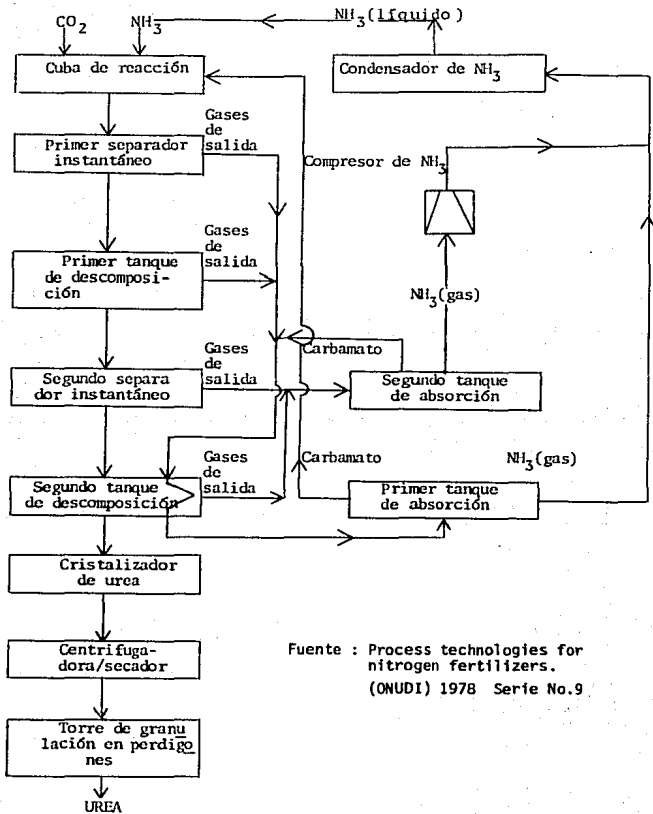
Chemical Construction Corporation (Chemico).

### Proceso Mitsui Toatsu

El proceso Mitsui Toatsu de reciclaje total se basa en el empleo de un tren de descomposición de tres etapas para la recuperación de carbamato. El gas de dióxido de carbono, la solución de carbamato recuperado y el amoniaco líquido se hacen reaccionar en una cuba de reacción especial revestida de titanio y que funciona al 190°-220°C y a 120-250 bar. En dicha cuba se mantiene una razón molar de 4 entre  $\text{NH}_3$  y el  $\text{CO}_2$ . Haciendo funcionar la cuba de reacción a la mayor temperatura y presión posibles, y reduciendo al mismo tiempo al mínimo el contenido de agua del carbamato reciclado, se logra una tasa de conversión hasta del 72%. La evaporación de agua se reduce lo más posible en las etapas de descomposición con objeto de asegurar un reciclaje mínimo de agua a la cuba de reacción.

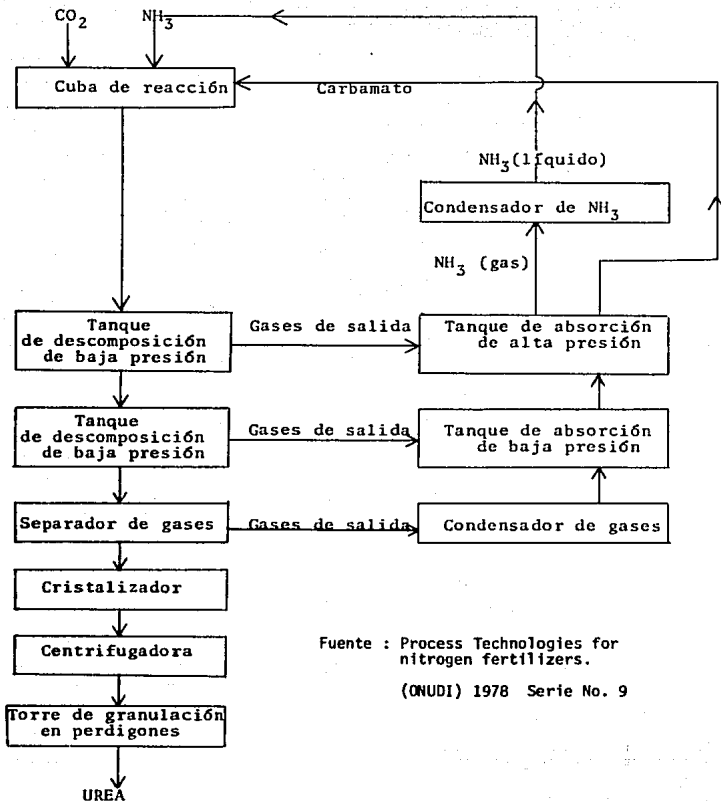
La solución procedente de la cuba pasa por un tanque de descomposición de alta presión que funciona a 18-20 bar, en el que se descompone la mayor parte del carbamato sin reaccionar, dejando una solución de urea que contiene el mínimo de amoniaco y de dióxido de carbono sin separar.

El amoniaco y el dióxido de carbono restantes se separan mediante tratamiento en un tanque de descomposición de baja presión que funciona a 1-2 bar, precediéndose después a otro tratamiento en un separador de gases que funciona casi a la presión atmosférica. La solución que sale del separador contiene alrededor del 74% de urea.



Fuente : Process technologies for nitrogen fertilizers.  
(ONUDI) 1978 Serie No.9

Fabricación de urea por el proceso Químico de reciclaje total



Fuente : Process Technologies for nitrogen fertilizers.  
(ONUDI) 1978 Serie No. 9

Síntesis de la urea por el proceso Mitsui Toatsu de reciclaje total

Los gases de cima del tanque de descomposición de alta presión consistentes en un excedente de amoniaco junto con dióxido de carbono y amoniaco de la solución de carbamato sin reaccionar, se envían a la sección inferior del tanque de absorción de alta presión, donde se condensan en parte en la solución absorbente circulante del tanque de absorción de baja presión.

La sección superior de bandejas del tanque de absorción de alta presión tiene un reflujo de amoniaco líquido. El gas que sale del tanque es  $\text{NH}_3$  puro; se condensa mediante agua de refrigeración y se recicla a la cuba de reacción. El elevado calor de absorción del  $\text{CO}_2$  en la sección inferior del tanque de alta presión se utiliza para concentrar la solución de urea en las etapas de acabado subsiguientes.

Los gases de cima del tanque de descomposición de baja presión y del separador de gases se condensan en el tanque de absorción de baja presión y en el condensador de gases, respectivamente. Esta solución se utiliza como solución absorbente en el tanque de absorción de alta presión.

La reducción del contenido en agua del carbamato se consigue aumentando el rendimiento de descomposición a elevada presión, reduciendo al mínimo la evaporación del agua en las etapas de descomposición, y evaporando el agua restante en el crystalizador, utilizando para ello el calor de absorción del carbamato. Debe emplearse una cuba de reacción revestida de titanio, que puede resistir fácilmente las rigurosas condiciones de presión

y temperatura de proceso. En otras secciones de la planta se emplea acero inoxidable de diversas calidades, según el rigor de las condiciones de funcionamiento. A la cuba de reacción y al tanque de descomposición de alta presión se les añade aire de pasivación.

El proceso de acabado es más o menos el mismo que el de otros procesos de fabricación de urea. Mediante el empleo de un cristizador, este proceso permite producir urea con un contenido de biuret del 0,25%-0,30%.

#### Ventajas

Se trata de un proceso sencillo, si bien se utilizan más recipientes y equipo que en el proceso de separación.

La conversión en el reactor es hasta de un 72%.

La planta es muy adaptable y puede funcionar, sin perder su índice de rendimiento, incluso a un 40% de su capacidad nominal.

El consumo de servicios públicos es bajo para un proceso de reciclaje total.

Puede obtenerse urea con un contenido de biuret muy bajo.

#### Inconvenientes

Debido a la considerable expansión diferencial del titanio y del acero, la cuba de reacción deberá funcionar -para que pueda tener una prolongada vida útil- sin cambios bruscos de temperatura entre la envolvente y el revestimiento.

En este proceso se utilizan complicadas bombas de carbamato y

de amoniaco aspirantes e impelentes, de alta presión, que requireren un mantenimiento considerable. (Sin embargo, para este servicio se dispone ahora de bombas centrífugas fáciles de mantener).

Propietario del proceso:

Mitsui Toatsu Chemicals, Inc.

Licenciatarios

Davy Powergas Ltd

Fluor Corporation

H.K. Ferguson Company, Inc.

J.F.Pritchard and Company

Lurgie Chemie und Huttentechnik GmbH

The M. W. Kellogg Company

Toyo Engineering Corporation

Costo de una planta normal de urea de reciclaje total:

El costo indicado, en función de la capacidad diaria, se refiere a las instalaciones de reproducción directa de una planta de un solo ciclo construida en la zona del Golfo de México en los Estados Unidos. El costo, que no incluye los servicios, es sólo aproximado y corresponde a una extrapolación de los precios de 1967.

Capacidad diaria de producción  
de urea (en toneladas cortas)

Costo  
(en millones de dólares)

300  
600  
800  
1 000

9  
14  
16  
17

### Proceso Montedison

En el proceso Montedison, se alimentan al reactor, que funciona a aproximadamente a 200 bar y 195°-200°C, amoníaco precalentado, dióxido de carbono y una solución de carbamato reciclada. La razón molar entre el  $\text{NH}_3$  y el  $\text{CO}_2$  se mantiene a 3,5. La conversión en la cuba de reacción es de alrededor de 60%. La descomposición del carbamato tiene lugar en tres etapas. El efluente de la cuba de reacción se traslada al primer tanque de descomposición/separación, que funciona a 80 bar y 185°-190°C. aproximadamente. En este tanque se evapora el exceso de amoníaco gaseoso y dióxido de carbono a expensas del vapor de agua. El efluente gaseoso de esta etapa, junto con el 20% a 30% del dióxido de carbono alimentado, entra en el condensador primario, que funciona a 80 bar y 145°C. En este condensador, el excedente del amoníaco reacciona con el dióxido de carbono alimentado, formando carbamato. Los efluentes del condensador primario se hacen pasar a un condensador auxiliar que funciona a 80 bar, pero a una temperatura inferior (alrededor de 115°C). La condensación se completa y se expulsan los gases inertes. La solución de carbamato formada en esta sección se recicla a la cuba de reacción mediante bombas de carbamato de alta presión. La solución de urea separada en el primer tanque de descomposición/separación se hace pasar por el segundo tanque de descomposición/separación, que funciona a 12 bar, y luego al tercer



tanque de descomposición/separación, que funciona a 2-3 bar. El gas de salida del segundo tanque de descomposición/separación se condensa en un condensador, y la solución acuosa así obtenida se recicla al condensador primario. El gas de salida del tercer tanque de descomposición/separación se condensa en otro condensador, del que se recicla la solución acuosa al condensador de media presión, en el que se trata gas de salida del segundo tanque de descomposición.

El 75% de la solución de urea obtenida a la salida del tercer tanque de descomposición/separación se somete a una mayor concentración en evaporadores al vacío, y el 99,7% de fundente de urea final se pulveriza en la torre de granulación en perdigonés. Los procesos de acabado son casi los mismos que los utilizados en otros procesos de fabricación de urea.

#### Inconvenientes

Se trata de un proceso de reciclaje total, por lo cual se requieren más equipo y recipientes que en los procesos de separación.

El consumo de servicios públicos es mayor que en los procesos de separación.

Las bombas de reciclaje de carbamato requieren considerable mantenimiento

El funcionamiento del proceso no es sencillo

La primera condensación tiene lugar a elevada presión.

Se utilizan más recipientes a presión que en otros procesos

de reciclaje total

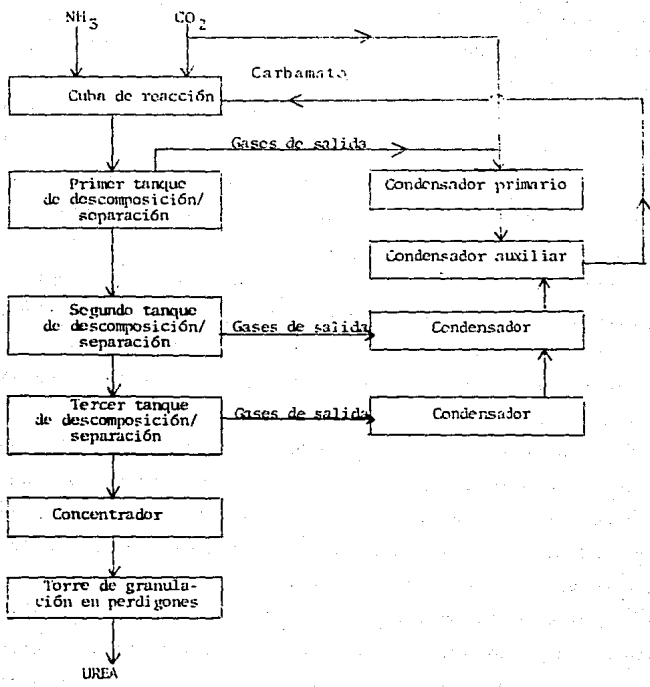
La conversión en la cuba de reacción es sólo de 60%

Propietario del proceso:

Montedison SpA

Licenciatario

The Fertilizer Corporation of India Ltd



Fabricación de urea por el proceso Montedison de reciclaje total  
 Fuente : Process technologies for nitrogen fertilizers.  
 (ONUDI) 1978 Serie No.9.

## PROCESO DE RECICLAJE DE SEPARACION DE GAS

### Proceso CPI/Allied Chemical

A diferencia de los procesos de separación y de reciclaje total, el proceso CPI/Allied Chemical recicla amoníaco sin reaccionar y dióxido de carbono como componentes puros, mediante el empleo de técnicas de extracción por disolvente a fin de separar  $\text{CO}_2$  de los gases procedentes del tanque de descomposición. En este proceso se elimina, pues, por completo el reciclaje de la solución de carbamato.

Otra característica distinta de este proceso es el empleo de un reactor revestido de zirconio que, por su resistencia a la corrosión, permite que las reacciones de síntesis tengan lugar a temperaturas más elevadas (hasta  $230^\circ\text{C}$ , aproximadamente), aumentando con ello el rendimiento de la conversión.

En la cuba de reacción se introducen amoníaco y dióxido de carbono a una razón molar de 4-4,5; la cuba funciona a una presión de alrededor de 300 bar y a temperaturas del orden de  $195^\circ\text{-}230^\circ\text{C}$ . En esas condiciones, la conversión de dióxido de carbono en la cuba es hasta del 85%.

El efluente de la cuba (excedente de amoníaco, urea y carbamato sin reaccionar) pasa al tanque de descomposición primario, donde el amoníaco, el dióxido de carbono y el agua son vaporizados en forma instantánea y destilados. Aproximadamente el 90% del dióxido de carbono sin convertir es descompuesto en el tanque de descomposición primario, y la solución de urea

que contiene pequeñas cantidades del carbamato disuelto restante se hace pasar después al tanque de descomposición secundario para su descomposición final.

Los productos gaseosos de las etapas de descomposición se hacen pasar por dos torres de absorción en las que se emplea monoetanolamina para la absorción selectiva de dióxido de carbono y de humedad, dejando amoníaco puro para el reciclaje. El dióxido de carbono se regenera para su reciclaje calentando la solución rica en una columna de destilación.

La solución de urea procedente del tanque de descomposición secundario se somete a una mayor concentración en un evaporador centrífugo y se granula en perdigones. El proceso de acabado es más o menos el mismo que el utilizado en los otros procesos de fabricación de urea.

#### Ventajas

Se eliminan los problemas de corrosión propios del reciclaje del carbamato

No se requiere equipo de difícil manejo para bombear el carbamato

La conversión de  $\text{CO}_2$  en urea en la cuba de reacción es hasta del 85% por cada ciclo.

También se logra una mayor conversión por ciclo eliminando agua de la corriente de reciclaje, ya que el agua influye negativamente en la conversión en la cuba de reacción.

### Inconvenientes

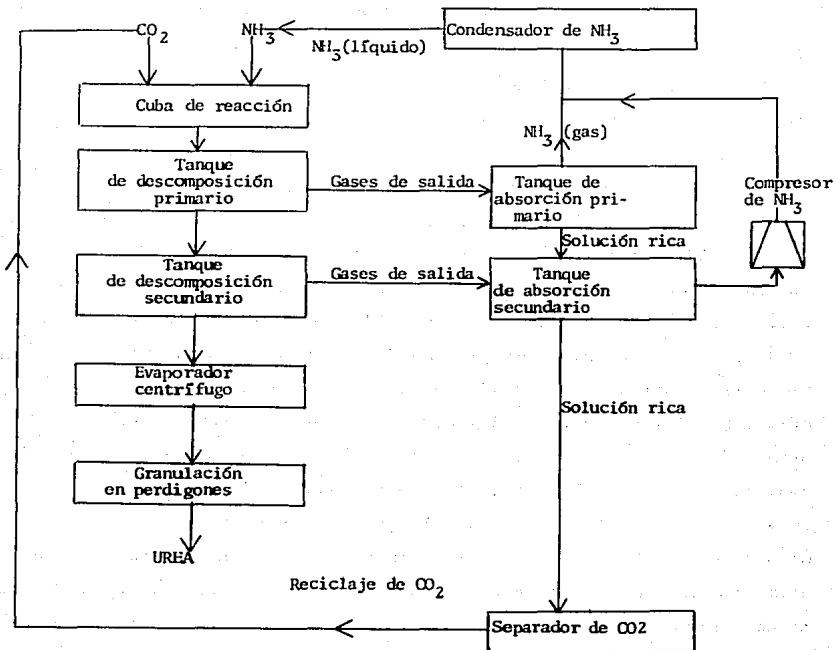
La descomposición del carbamato tiene lugar a baja temperatura, y por tanto, las correlaciones térmicas no son favorables. A diferencia de los otros procesos, no existe recuperación de calor en la corriente principal del proceso.

La cuba de reacción funciona a presión y temperatura más elevadas, y requiere un revestimiento especial.

El consumo de agua de refrigeración y de vapor es mayor, debido a la absorción adicional de  $\text{CO}_2$  y al sistema de regeneración.

Propietario del proceso:

Allied Chemical Corporation



Fabricación de urea por el proceso CPI/Allied Chemical de reciclaje de separación de gases

Fuente : Process technologies for nitrogen fertilizers.  
(ONUDI) 1978 Serie No. 9

## . COMPARACION DE LOS PROCESOS DE FABRICACION DE UREA

No es posible comparar entre sí los métodos de fabricación de urea por reciclado completo, basándose en los costos de inversión, por la sencilla razón de que no se han publicado estos datos. Sin embargo, pueden servir de comparación los datos publicados respecto a las necesidades de materia prima, conversiones, condiciones de presión y temperatura y de servicios. La tabla IV. 1 muestra una compilación de esos datos.

El consumo de vapor y de agua de enfriamiento en un proceso de reciclado completo se debe a la necesidad de descomponer el carbamato para obtener urea y de condensar el carbamato para producir solución de reciclado de carbamato. Hace tiempo se utilizaba el vapor para la descomposición de carbamato en la primera y en la segunda fases de descomposición; el calor de condensación del carbamato en los condensadores de primera y segunda fase se extraía gracias al empleo de agua de enfriamiento. Con este método se perdía la posibilidad de utilizar un mecanismo muy eficaz de conservación del vapor, que consiste en emplear el calor de condensación del carbamato (gases) de la primera fase de descomposición como calor para la descomposición secundaria. La figura 4.9, muestra el modo de funcionamiento de este dispositivo de recuperación de calor. El gas procedente del descomponedor de primera fase pasa a la caldera del descomponedor de segunda fase. La solución de carbamato de reciclado procedente del condensador de



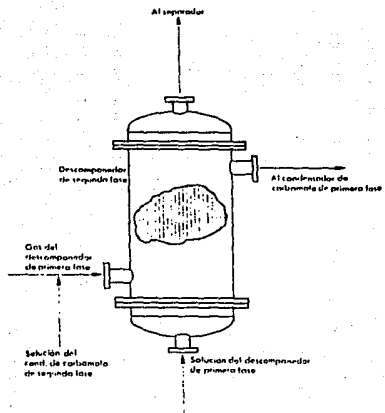


Figura 4.9. Técnica de recuperación del calor de la Chemico

Fuente : Nitrogen No. 135  
January / February 1982.

segunda fase entra también en la caldera del descomponedor segundo.

El carbamato se condensa en la fase de líquido para dar el calor necesario para descomponer el carbamato que fluye por el tubo. El efluente salido de la caldera vuelve al condensador de primera fase y el efluente de los tubos queda separado en un gas, que va al condensador de segunda fase, y en un líquido, que es la solución de elaboración de urea. La aplicación de este invento permite disminuir en forma muy marcada las necesidades de vapor para la fabricación de urea; como el calor de condensación se utiliza en la descomposición, no es preciso extraer calor del agua de enfriamiento; por consiguiente, la técnica disminuye en gran manera el consumo de agua de enfriamiento, lo que constituye otro importante criterio que se ha de tener en cuenta en la elección del proceso.

El 65% aproximadamente de la energía eléctrica gastada en una fábrica de urea se utiliza en la compresión del  $\text{CO}_2$ , mientras que el 35% restante es consumido por las bombas, los transportadores, los ventiladores, etc.

La comparación de las necesidades de funcionamiento en la tabla IV. 1, muestra que sólo hay ligeras diferencias en el consumo de amoníaco y dióxido de carbono. Teniendo en cuenta que el consumo de amoníaco por tonelada de urea influye en gran manera sobre el costo de producción, el futuro fabricante ha de prestar cuidadosa atención a este punto. En la mayor parte

de las fábricas se obtiene  $\text{CO}_2$  del proceso de purificación del gas de síntesis del amoníaco, en cuyo caso el coste del  $\text{CO}_2$  no representa un factor importante en el total de los costes. Sin embargo, si la capacidad de la fábrica de amoníaco está basada en las necesidades de la fábrica de urea, sólo se dispondrá de una cantidad fija de  $\text{CO}_2$  por tonelada de amoníaco producida, en cuyo caso no se podrá desperdiciar ese  $\text{CO}_2$ .

Para conseguir las mayores ventajas económicas en la producción de urea en gran escala, es preciso mantener un proceso de corriente única, lo que significa que es necesario evitar el empleo de reactores en serie y descomponedores paralelos de carbamato.

Los fabricantes de abonos químicos que estudian hoy la instalación de fábricas en gran escala están convencidos de que el proceso ha de basarse en el proceso de reciclado de solución de carbamato y de acuerdo a la tabla IV 1, el proceso que utiliza este reciclado y que ofrece mayores ventajas respecto al menor consumo de servicios es el proceso MITSUI TOATSU o si se prefiere un proceso de agotamiento, el proceso que ofrece más ventajas es el SNAM PROGETTI. Este proceso es el que se emplea en México.



#### IV.2.2 PROCESOS PARA LA PRODUCCION DE NITRATO AMONICO

PROCESO KALTENBACH.- En el proceso Kaltenbach se utiliza un neutralizador a presión para producir nitrato amónico en perdigones con un contenido de nitrógeno del 34.5%.

En un neutralizador que funciona a 4,4 bar y 175°C. se introducen cantidades medidas de amoníaco anhidro y de ácido nítrico al 55%. En el neutralizador se obtiene una solución de nitrato amónico de una concentración de aproximadamente el 80%. El calor exotérmico de reacción del neutralizador produce vapor de agua, que es utilizado para la evaporación en etapas posteriores. Si se emplea ácido al 64%, puede producirse alrededor de una tonelada de vapor por cada tonelada de amoníaco neutralizado. El consumo de vapor por tonelada de nitrato amónico puro producido es de alrededor de 0,155 t.

La solución de nitrato amónico pasa después al evaporador primario, donde se concentra al 95%, utilizándose para ello un evaporador de película descendente en el que se emplea vapor de agua como medio calorífico.

La solución del evaporador primario se mezcla luego con finos reciclados (es decir, polvo procedente de la etapa final del proceso) en un recipiente calentado, bombeándola después a un segundo evaporador de película descendente situado en la parte superior de la torre de granulación en perdigones, donde se concentra al 99.8%.

A esa concentración, la solución de nitrato amónico es pulve-

rizada en la torre de granulación en perdigones.

En esta torre, las gotas se solidifican, endurecen y enfrían al caer en una contracorriente de aire. Los perdigones son sometidos a enfriamiento adicional, con aire utilizado para la evaporación del amoníaco y se tamizan antes de su almacenamiento. El polvo que sale de los tamices se mezcla con una solución de nitrato amónico procedente del evaporador primario y se recicla. Ventajas.

La mayor parte del vapor de agua necesario para concentrar la solución de nitrato amónico es generada por el calor producido en el neutralizador. El consumo de energía eléctrica por unidad de nitrato amónico puro producido es bastante bajo (aproximadamente 15,5 kwh/t).

Inconvenientes.

Hacer funcionar un neutralizador a presión elevada no resulta tan sencillo como a presión atmosférica. Los costos de inversión son superiores a los de un sistema neutralizador a la presión atmosférica.

Propietario del proceso:

Kaltenbach et Cie SA.

Licenciarios

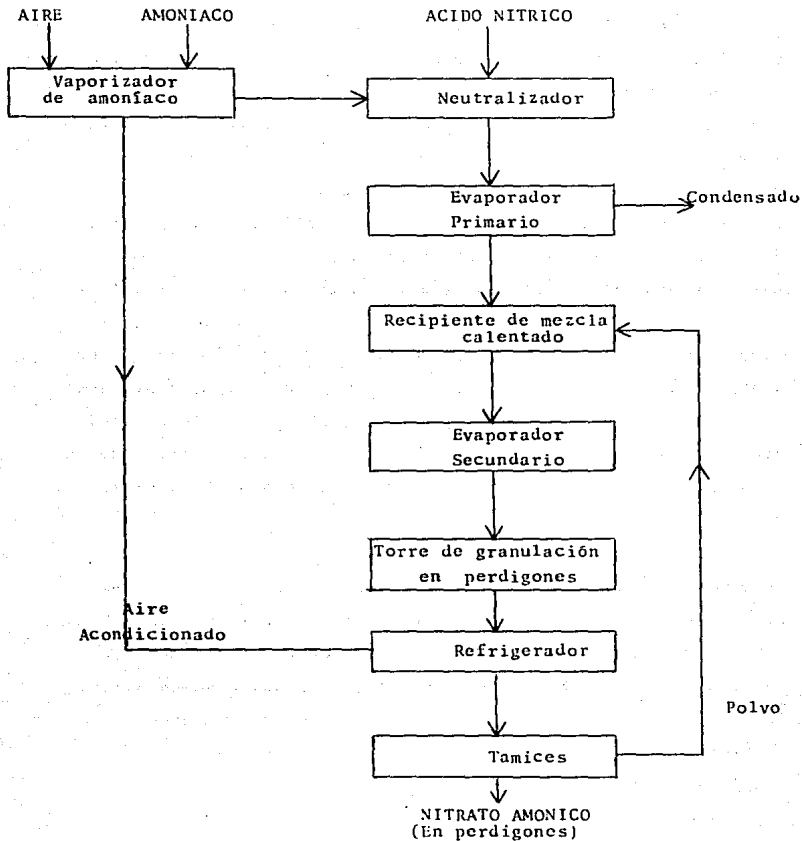
Davy Powergas Ltd

ENSA, Cruesot-Loire Entreprises

SYBETRA, SA (Syndicat Belge d'Entreprises a l'Etranger)

Toyo Engineering Corporation

Woodall-Duckham Ltd.



Fabricación de Nitrato Amónico por el proceso KALTENBACH

Fuente : Process technologies for nitrogen fertilizers.

(ONUDI) 1978 serie No. 9

PROCESO STAMICARBON.- Mediante el proceso Stamicarbon, en el que se utiliza un neutralizador a presión, se produce nitrato amónico en perdigones. En un neutralizador que funciona a una presión de 4 bar, y a una temperatura de 180°C. aproximadamente, se introducen amoníaco y ácido nítrico al 55%. La solución sale del neutralizador a una concentración del 79% y pasa por dos etapas de evaporación antes de ser enviada a la parte superior de la torre de granulación en perdigones.

En la primera etapa del evaporador (en la que para suministrar calor se emplea vapor de agua obtenido como subproducto), se eleva a un 94% la concentración de la solución de nitrato, concentración que alcanza el 99.7% en la segunda etapa, resultando un "fundente" que es bombeado, para su transformación en perdigones, a la parte superior de la citada torre. Las otras etapas de acabado son iguales que en los demás procesos de fabricación de nitrato amónico.

Inconvenientes.

Únicamente en la primera etapa de evaporación se emplea vapor de agua obtenido como subproducto. Puesto que la neutralización se efectúa a presión, el funcionamiento de este proceso no es tan sencillo como el de los procesos a la presión atmosférica. Los costos de inversión son superiores a los de los procesos a la presión atmosférica.

Propietario del proceso:

Stamicarbon BV.



**Licenciarios:**

Arthur McKee and Company

C.F. Braun and Company

Chiyoda Chemical Engineering and Construction Company Ltd

Coppée-Rust, S.A.

Didier Engineering GmbH

Foster Wheeler Corporation

Friedrich Uhde GmbH

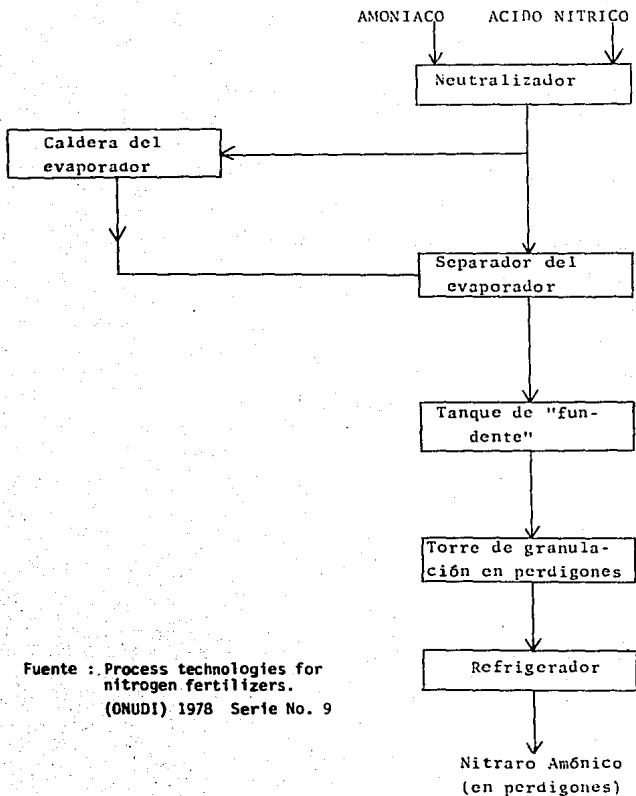
Humphreys and Glasgow Ltd

Krebs et Cie, S.A.

The M. W. Kellogg Company

Sim-Chem Division, Simon-Carves Ltd

Stone and Webster Engineering Corporation



Fuente : Process technologies for nitrogen fertilizers.  
(ONUUDI) 1978 Serie No. 9

Fabricación de Nitrato Amónico por el proceso STAMICARBON

PROCESO ICI (Nitram).- En este proceso se utilizan dos neutralizadores que funcionan en condiciones atmosféricas para producir nitrato amónico en perdigones con un 34.5% de nitrógeno. El amoniaco gaseoso y el ácido al 5% en que se disuelven los finos reciclados pasan al neutralizador principal. Este neutralizador funciona a la temperatura de ebullición de la solución de nitrato amónico y a la presión atmosférica. A fin de reducir las pérdidas de amoniaco, la neutralización se mantiene a un pH de 3-4. El licor de nitrato amónico así formado rebosa y va a parar al segundo neutralizador, donde se añade más amoniaco para elevar el pH de la solución al punto neutro.

La solución de nitrato amónico, cuya concentración es del 87% a la salida del segundo neutralizador, pasa entonces a un evaporador de película descendente en el que la concentración se eleva al 99.5%.

Esta solución concentrada se pulveriza, desde la parte superior de la torre de granulación en perdigones, sobre un flujo de aire a contracorriente.

Los perdigones se enfrían a una temperatura de 40°C. en un refrigerador de lecho fluidizado situado en la parte inferior de la torre de granulación y se clasifica entonces por medio de un tamiz, los perdigones de la calidad deseada se almacenan y los finos y los de tamaño excesivo se disuelven en el ácido nítrico al 5% que pasa al primer neutralizador.

Ventajas.

Aunque en este proceso se emplean dos neutralizadores, son de diseño sencillo y de fácil funcionamiento, pues actúan a la presión atmosférica.

El equipo es fácil de fabricar y los costos de inversión son bajos.

El consumo de energía eléctrica es bajo (17kwh/t).

Inconvenientes.

El hecho de que no se utilice calor residual hace que sea elevado (0.5t) el consumo de vapor de agua por tonelada de nitrato amónico puro producido.

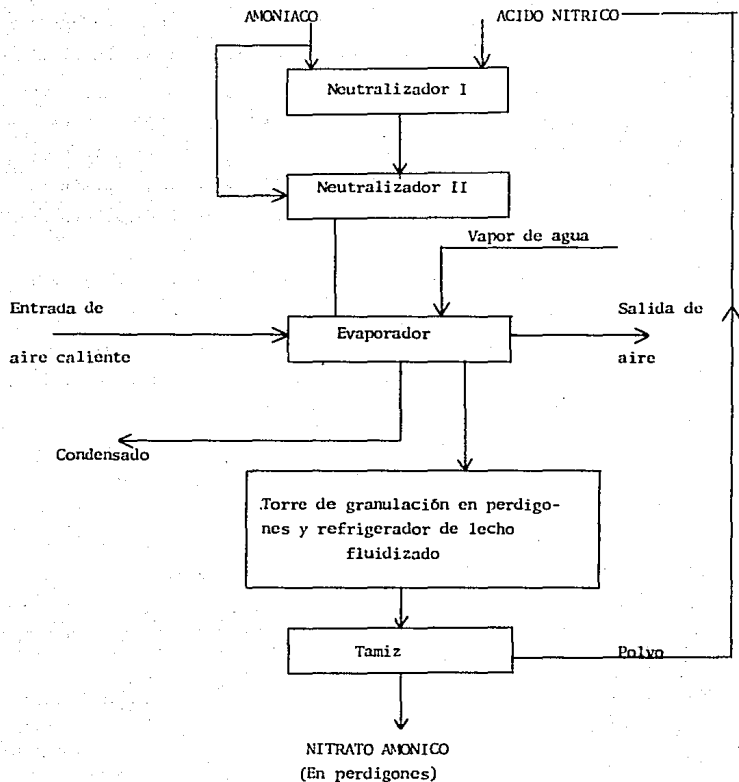
Propietario del proceso:

Imperial Chemical Industries Ltd.

Licenciarios:

CJB (Projects) Ltd

Friedrich Uhde GmbH



Fabricación de Nitrato Amónico por el proceso ICI (Nitram)

Fuente : Process technologies for nitrogen fertilizers.

(ONUDI) 1978 Serie No. 9

PROCESO C. & I/GIRDLER.- En este proceso se utiliza un neutralizador para producir nitrato amónico en perdigones con un 33.5% de nitrógeno.

Se introduce en el neutralizador amoniaco vaporizado mediante vapor residual procedente del neutralizador y ácido nítrico en el que se disuelve nitrato en polvo. El calor de reacción es suficiente para concentrar en el neutralizador, al 83%, la solución de nitrato amónico.

La solución procedente del neutralizador se hace pasar a un tanque de almacenamiento de licor débil y se bombea después a la torre de granulación en perdigones a través de un evaporador de la película descendente situado en la parte superior de dicha torre. La concentración del nitrato amónico llega a ser del 99% y el "fundente" desciende, por unas boquillas de pulverización instaladas en la torre de granulación, sobre un flujo de aire que asciende a contracorriente.

En la parte inferior de la torre de granulación, los perdigones pasan, antes de ser almacenados, por un refrigerador giratorio y por tambor de revestimiento. Los finos procedentes de los tambores giratorios se recogen en ciclones de vía húmeda, y la solución producida en éstos se envía al neutralizador.

Los perdigones enfriados se tamizan, los de tamaño excesivo o insuficiente se reciclan al neutralizador.

Ventajas.

Este proceso no funciona a presión, por lo que el costo de inversión es inferior, y el funcionamiento es más sencillo que en los sistemas a presión.

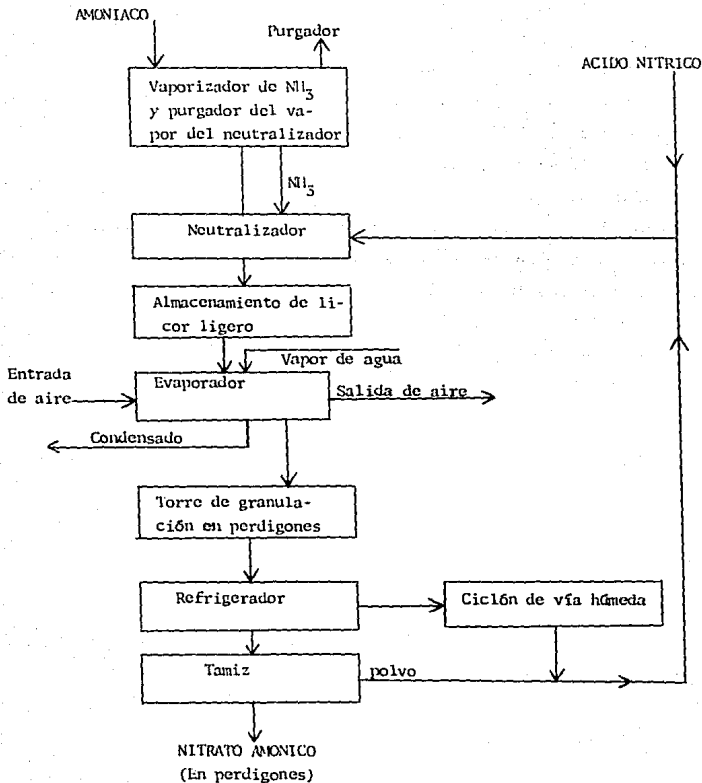
El equipo es fácil de fabricar.

Inconvenientes.

El consumo de vapor es elevado, debido a que no se recupera por completo. El consumo de energía es también mayor que en los procesos que utilizan instalaciones a presión.

Propietario del proceso:

C. & I/Girdler, Inc.



Fabricación de Nitrato Amónico por el proceso C & I Girdler.

Fuente : Process technologies for nitrogen fertilizers.

(ONU1) 1978 Serie No. 9



PROCESO MONTEDISON.- Este proceso permite producir nitrato amónico granulado con un 34.5% de nitrógeno y en él se utiliza un neutralizador a la presión atmosférica.

En un neutralizador se hacen reaccionar juntos y a una temperatura inferior a 145°C. ácido nítrico precalentado y amoníaco vaporizado. El vapor del neutralizador se emplea para precalentar el ácido nítrico. La solución de dicho neutralizador se concentra después (hasta entre el 93% y el 97%) en un concentrador.

La solución concentrada se hace pasar luego por una mezcladora de tornillo en la que también se introduce polvo fino, antes de ser enviada al tambor de granulación. Los gránulos de nitrato amónico son tamizados y los finos se reciclan a la mezcladora de tornillo.

Ventajas.

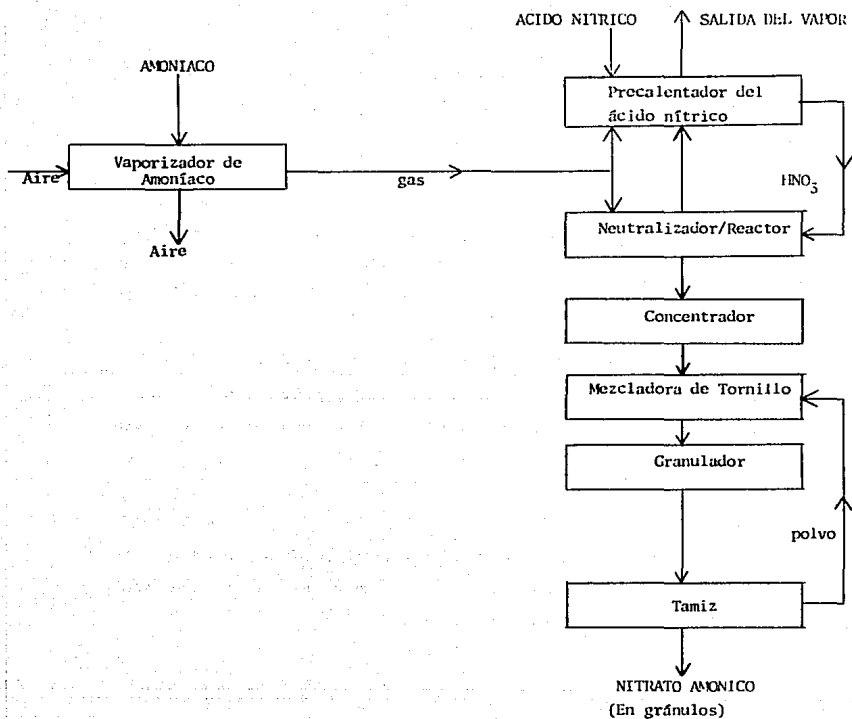
Como no se trata de un proceso a presión, su funcionamiento es sencillo y los costos de inversión son menores que en los procesos a presión. El equipo es fácil de fabricar.

Inconvenientes.

El consumo de vapor es mayor que en los procesos a presión.

Propietario del proceso:

Montedison SpA.



Fabricación de Nitrato Amónico por el proceso MONTEDISON

Fuente : Process technologies for nitrogen fertilizers.

(ONUDI) 1978 Serie No. 9

PROCESO FISIONS.- Este proceso sólo se diferencia de otros procesos de fabricación de nitrato amónico en el método de granulación en perdigones: para solidificar las gotitas de nitrato amónico se emplea un lecho fluidizado de polvo muy fino en lugar de la típica contracorriente de aire. Esto permite la obtención de partículas grandes adecuadas para la mezcla a granel.

El "fundente" de nitrato amónico (99.7%) se pulveriza desde la parte superior de la torre, de 7 metros de altura, sobre un lecho de polvo de aproximadamente 2 metros de espesor. A medida que se consume el polvo en el proceso de fluidización, se va suministrando más polvo mediante un sistema transportador neumático. Sobre el lecho se aplican dos corrientes de aire, siendo el efecto combinado de ambas la fluidización del lecho de polvo y la formación de una nube de 3 a 5 m. de espesor sobre la superficie del mismo. En medio segundo que aproximadamente tarda la caída de las gotitas de nitrato amónico a través de la nube, se forma en torno a ellas un revestimiento de partículas de polvo que también se solidifica en parte formando una envuelta dura. Las partículas de nitrato amónico pasan después a la fase de densificación del sistema de polvo fluidizado, en la que se enfrían rápidamente a unos 50°C. y se completa su solidificación. Como la mayor parte del calor se elimina en ese punto, el lecho va provisto de placas o serpentines refrigerados por agua. Debido a que la mayor parte del calor es eliminado en el lecho y no mediante aire el volumen de éste, y por tanto el área de la

sección transversal de la torre, no requieren las proporciones que en proceso tradicional de granulación en perdigones por corriente de aire.

La mayor parte del polvo suelto que se adhiere a los perdigones se elimina y se hace volver por soplado al lecho a medida que los perdigones descienden por un tubo a contracorriente de un flujo de aire y pasan a un pequeño recipiente situado inmediatamente debajo de la base de la torre de granulación. Los perdigones pasan después por un despolvador final que consiste en un pequeño lecho fluidizado a través del cual se insufla aire limpio. Por último, el producto se tamiza y se almacena.

El aire y el polvo procedentes de la parte superior de la torre de granulación pasan por un separador ciclónico de polvo y por un filtro de bolsa, obteniéndose de ese modo un gas de chimenea limpio y que no entrafia, por tanto, riesgos de contaminación.

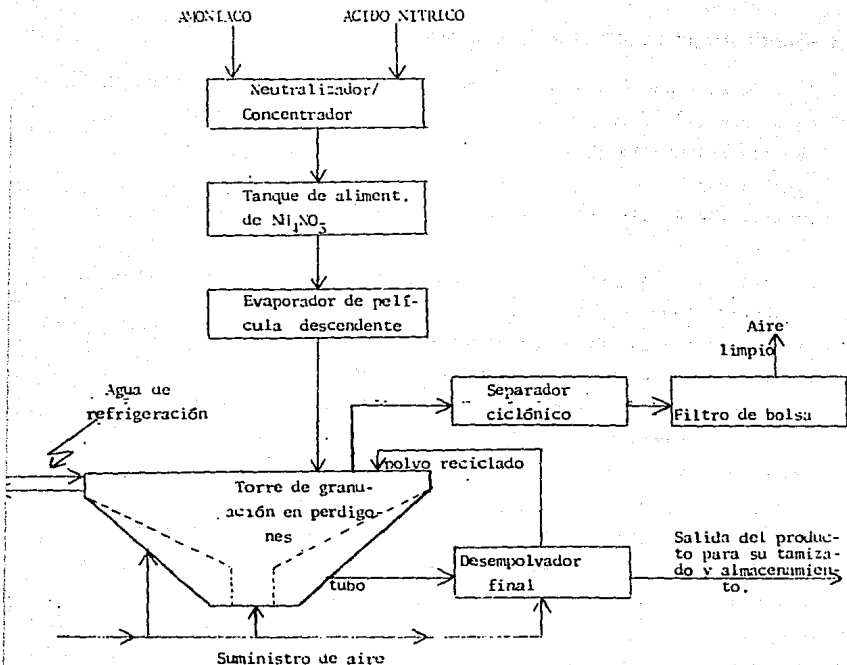
Ventajas.- El gas de chimenea procedente de la torre de granulación es aire limpio, por haber pasado previamente por un filtro de bolsa.

La altura y el diámetro de la torre son muy reducidos, comparados con los de las torres tradicionales de granulación en perdigones mediante secado por flujo de aire a contracorriente.

El enfriamiento completo de los perdigones tiene lugar en el lecho situado en la parte inferior de la torre, y no en el aire como en las torres tradicionales de granulación en perdigones.

Los perdigones son adecuados para su mezcla a granel.

Propietario del proceso: Fisons Ltd, Fertilizer Division.



Fabricación de Nitrato Amónico por el proceso FISIONS  
Fuente : Process technologies for nitrogen fertilizers.  
(ONU/DI) 1978 Serie No. 9

### IV.2.3 PROCESOS PARA LA PRODUCCION DE SULFATO AMONICO

Para la fabricación de sulfato amónico ( $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_3$ ) pueden emplearse numerosos métodos, según las materias primas disponibles y las condiciones locales. Los tres métodos principales son los siguientes:

Neutralización directa (reacción del amoníaco con ácido sulfúrico).

A partir de yeso (reacción de carbonato amónico con yeso natural y obtenido como subproducto).

Tratamiento de gas de horno de coquización (depuración de este gas con ácido sulfúrico en plantas de acero).

Para cada método existen muchos procesos patentados, aunque no hay gran diferencia entre ellos. A continuación se hace una descripción general de cada método.

#### Método de neutralización directa.

En el método de neutralización directa se produce sulfato amónico por reacción directa de amoníaco y ácido sulfúrico concentrado en cristalizadores-saturadores, que funcionan en el vacío o a la presión atmosférica.

Se introduce gas de amoníaco y ácido sulfúrico en la línea de circulación de un evaporador-cristalizador tipo "Krystal" u "Oslo", y el calor de la reacción exotérmica se utiliza para supercalentar la solución, que posteriormente es sometida a evaporación instantánea en el vaporizador en un vacío de 730=775 bar (55-58 mm Hg).

Los vapores así obtenidos se condensan y el vacío se mantiene, mediante un condensador barométrico.

El PH de la solución del cristalizador se mantiene a 3,0-3,5.

Un exceso de acidez promueve el crecimiento excesivo de cristales, además de plantear problemas de corrosión, mientras que su insuficiencia puede ocasionar pérdidas de amoníaco.

Tras la precipitación inicial de cristales, la solución contenida en el cuerpo del cristalizador se mantiene en un estado metastable de supersaturación, de modo que la solución ceda su supersaturación a un lecho de cristales en formación en el recipiente de cristales del cuerpo del cristalizador. La temperatura de éste se mantiene entre 63 y 66 grados C., a fin de lograr el mayor rendimiento.

La lechada de cristales procedente del cristalizador, que contiene entre un 30 y un 40% de sólidos, se bombea a centrifugadoras o filtros para separar los cristales. Los cristales se desecan en secadores por barrido de aire hasta reducir su contenido en humedad a menos del 1%. Las aguas madres se devuelven al cristalizador a través de un tanque de aguas madres.

A la solución de sulfato se añaden pequeñas cantidades de ácido fosfórico y de trióxido de arsénico, a fin de que actúe como anticorrosivo y como modificadora del tamaño de los cristales.

Puesto que la solución del sulfato amónico es corrosiva, todas las piezas que hayan de entrar en contacto con ella se fabrican de acero inoxidable o de acero al carbón revestido de caucho.

## Ventajas

Este proceso es más sencillo que la obtención de sulfato amónico a partir de yeso, y los costos de inversión son menores.

Resulta conveniente si se dispone de azufre barato.

Para evaporar la solución se utiliza calor exotérmico, por lo que no se requiere vapor de agua adicional.

- Propietarios del proceso:

BASF Aktiengesellschaft

The Fertilizer Corporation of India Ltd

Chemical Construction Corporation (Chemico)

Mitsui Toatsu Chemicals Inc.

Montedison SpA

Showa Denko KK

Fisons Ltd.

Kaltenbach et Cie SA

Estamicarbon BV

- Licenciarios

Toyo Engineering Corporation

Davy Powergas Ltd

Lurgi Chemie und Huttentechnik GmbH

Toyo Engineering Corporation

Hitachi Zosen

Foster Wheeler Corporation

Davy Powergas Ltd.

ENSA, Cruesot-Loire Entreprises

SYBETRA SA (Syndicat Belge d'Entreprises a l'Etranger)

Sim-Chem Division, Simon Carves Ltd.



Método a partir de yeso.

Este método, conocido también con el nombre de Proceso Merciburg, se basa en la combinación de amoníaco y dióxido de carbono para formar carbonato amónico, al que después se hace reaccionar con yeso ( $\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) con objeto de obtener una solución de sulfato amónico y sólidos de carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ).

En la preparación de carbonato amónico se obtiene primero hidróxido amónico y se hace reaccionar con dióxido de carbono. En ambas operaciones, el calor de reacción ha de eliminarse en intercambiadores enfriados con agua o con amoníaco. La absorción de amoníaco y de  $\text{CO}_2$  puede efectuarse en torres de relleno o en dispositivos de absorción de chorro. La concentración preferida de la solución de carbonato amónico es de alrededor de 170 g/l, y la de la solución de amoníaco y de dióxido de carbono de 225 g/l. La formación de bicarbonato amónico se evita manteniendo la razón entre  $\text{NH}_3$  y el  $\text{Cl}_2$  del licor a .75-.85.

En el proceso Merciburg, el yeso se tritura finamente (90% por un tamiz de maya 120 de la escala Tyler). La reacción se efectúa en tanques de agitación de madera o de acero. Para llevar a cabo la reacción se requiere un tiempo de retención total de 4 a 6 hrs.

La lechada de reacción se hace pasar por un filtro de cinta transportadora continua o por un filtro giratorio. El filtrado se bombea, a través de filtros de hojas a presión hasta el tanque de solución clara de sulfato amónico, a fin de eliminar

del licor las trazas finales de turbidez por carbonato cálcico. Las operaciones de concentración, cristalización, centrifugación, desecación, etc., de la solución son las mismas que en el proceso de neutralización directa, salvo que ha de añadirse vapor de agua para calentar el licor de la solución circulante del cristizador, en un intercambiador de calor incorporado. Con objeto de economizar vapor, en este proceso se utiliza un evaporador-cristizador de efectos múltiples.

En el proceso en que utiliza yeso obtenido como subproducto de una planta de ácido fosfórico, para poder obtener yeso de buena calidad con un contenido mínimo de humedad, se debe disolver el yeso en agua con objeto de eliminar las impurezas y hacer pasar la lechada resultante por filtros giratorios.

La reacción, el filtrado, la evaporación y la cristalización se efectúan de la misma forma que en el proceso que utiliza yeso natural.

#### Ventajas

Es un buen método cuando el yeso se puede obtener fácilmente como subproducto cuya distribución podría construir un problema o cuando resulta más barato que el azufre.

#### Inconvenientes.

A diferencia del proceso de neutralización directa, el vapor de agua requerido para concentrar la solución no se produce en el proceso.

Los costos de inversión son mayores que en los procesos de neu

tralización directa.

Las operaciones necesarias no son tan sencillas, en el caso de los procesos de neutralización directa.

Propietarios del proceso:

Chemie Linz AG

The Fertilizer Corporation of India Ltd.

Chemico

Snam Progetti SpA

Stamicarbon BV

Procesos a partir de yeso obtenido como subproducto.

Propietarios del proceso:

BASF Aktiengesellschaft

The Fertilizers and Chemicals Trabancore Ltd

Licenciatarios

C. & I./Girdler, In.

Woodall-Duckham Ltd

Chiyoda Chemical Engineering and Construction Company Ltd

Didier Engineering GmbH

Hitachi Zosen

Bamag Verfahrenstechnik GmbH

Fluor Corporation

C.F. Braun and Company

Coppée-Rust SA

### Método de gas de horno de coquización

El amoníaco puede obtenerse como subproducto en instalaciones de carbonización de combustibles sólidos a temperaturas elevadas, tales como las plantas de coquización de la industria siderúrgica.

Todo el gas producido, que contiene alrededor de 1% de  $\text{NH}_3$ , se enfría primero para separar la mayor cantidad posible de alquitrán y se hace pasar después por un saturador tipo Bubbler o un depurador de pulverización, donde se lava con  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

La solución de sulfato amónico formado se obtiene, concentra y cristaliza después en cristalizadores. Las otras operaciones son las mismas que en los métodos de neutralización directa y de obtención de sulfato amónico a partir de yeso.

#### Ventajas

Este proceso es de hecho necesario en todas las plantas de hornos de coquización que dan sulfato amónico como subproducto.

#### Propietarios del Proceso:

Como este proceso sólo supone operaciones sencillas, no tiene propietarios determinados ni requiere conocimientos técnicos especiales, razón por la cual no han de abonarse derechos de Know-how.

Los diseños para este proceso seguramente podrán obtenerse de los propietarios o licenciarios de los procesos de neutralización directa y de fabricación de sulfato amónico a partir de yeso.

#### IV.3.4 FOSFATO DIAMONICO (FDA)

El fosfato diamónico (FDA) contiene dos moles de  $P_2O_5$  por cada mol de amoniaco. Está adquiriendo más importancia dentro del grupo de fertilizantes NP, y también se utiliza en formulaciones de fertilizantes NPK de gran concentración de nutrientes. La formación de FDA tiene lugar conforme a la reacción siguiente:  $2NH_3 + H_3PO_4 \longrightarrow (NH_4)_2HPO_4$

Se hace reaccionar amoniaco con ácido fosfórico de calidad comercial (50%-54% de  $P_2O_5$ ) en un neutralizador previo que funciona a 115°C, en el que la proporción molar entre el amoniaco y el ácido se mantiene en 1,4:1. (En el proceso propiedad de Dorr Oliver, Inc., se emplea una serie de tres reactores). La lechada se bombea a un dispositivo de tratamiento amoniacal y de granulación en unión de finos reciclados procedentes de las últimas etapas del proceso. En este dispositivo se inyecta más amoniaco para aumentar la proporción molar a 1,8-2,0:1. Los gránulos obtenidos pasan a un secador de doble corriente con objeto de reducir el contenido de humedad a un 1%. y a continuación son tamizados. Los gránulos de tamaño excesivo se reciclan en unión de los finos, manteniéndose una relación de 4-6:1 entre el material reciclado y el de alimentación. El producto obtenido de la operación de tamizado se enfría y se envía al depósito. Las pérdidas de amoniaco en el neutralizador previo y en la granuladora se mantienen al mínimo lavando los vapores con ácido fosfó

rico y devolviendo el ácido al neutralizador previo. Este método es conocido como proceso TVA, y con él se obtienen fertilizantes de fórmulas 18-46-0 y 16-48-0

#### Ventajas

Se obtienen fertilizantes de gran concentración de nutrientes  
El producto posee buenas propiedades de almacenamiento.

#### Inconvenientes

Para poder utilizar el producto como intermedio para otros fertilizantes, es preciso pulverizarlo antes de la elaboración.  
Elevados costos iniciales y de explotación debido a la elevada proporción del material que ha de reciclarse.

#### Propietarios del proceso

Door Oliver, Inc.

Fisons Ltd, Fertilizer Division

Stamicarbon BV

Tennessee Valley Authority

#### Licenciatarios

Teh Austin Company

Continental Engineering (Ingenieursbureau voor de Procesindustrie NV)

Coppé-Rust SA

Davy Powergas Ltd

Foster Wheeler Corporation

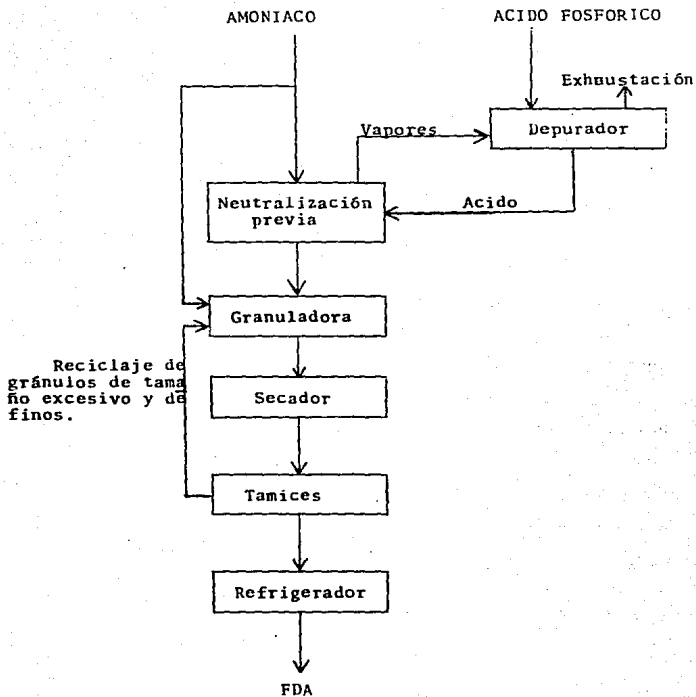
Friedrich Uhde GmbH

Humphreys and Glasgow Ltd  
Jacobs Engineering Company  
Kaltenbach et Cie SA  
Lurgi Chemie und Huttentechnik GmbH  
Mitsubishi Chemical Industries Ltd  
Mitsui Toatsu Chemicals, Inc.  
Monsanto Enviro-Chem Systems, Inc.  
The M. W. Kellog Company  
Sim-Chem Division, Simon-Carves Ltd  
Sumitomo Chemical Company Ltd  
Woodall-Duckham Ltd

- Costo de una planta normal.

Una planta de 400 t/d de FDA viene a costar 6 millones de dólares, y aproximadamente 8 millones de dólares una planta de 850 t/d. El costo de una planta de 1.000 t/d puede ascender a 12 millones de dólares.

- Dato de 1978



**Fabricación de FDA**

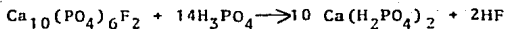
Fuente : Process technologies for phosphates fertilizers.  
 (ONUDI) Serie No. 8 1978.



#### IV.2.5 SUPERFOSFATO TRIPLE (SFT)

El superfosfato triple es una excelente fuente de fósforo nutriente, y casi todo su contenido (44%-48%) de  $P_2O_5$  está en forma hidrosoluble.

El SFT se fabrica haciendo reaccionar ácido fosfórico (47%-54% de  $P_2O_5$ ) con fosforita:



Puede utilizarse ácido fosfórico térmico o de vía húmeda, pero normalmente se opta por este último. La masa resultante de la mezcla de fosforita con ácido fosfórico se solidifica mucho más rápidamente que la obtenida en el caso del SFS, siendo ésta la principal diferencia entre ambos procesos.

A continuación se describe la fabricación de SFT

La fosforita, reducida por molienda a un tamaño que permita el paso del 90% por un tamiz de malla 100, y el ácido fosfórico con un 47%-54% de  $P_2O_5$  se hacen pasar de manera continua y controlada a una mezcladora, debidamente dosificados y en una proporción de 1 a 1,5-1,6 en peso. La mezcladora normalmente utilizada es la de tipo cónico TVA, pero también se emplea una de tipo turboagitador. La lechada producida se descarga en un transportador de correa que actúa a modo de reactor, y en el que la masa se endurece en breve tiempo. El producto se fragmenta entonces mediante un desintegrador y se envía a una pila

de curado. Tras un período de curado determinado (unas cuatro semanas), se procede a ensacar el producto, que se halla en forma pulverizada.

El sistema de reactor ya provisto de un dispositivo de depuración de humos, en el que se emplea el lavado con agua para reducir la contaminación atmosférica por el flúor presente en los gases de salida.

El SFT también se fabrica en forma granulada por el proceso convencional de lechada. En él se mezclan, en reactores en cascada, ácido fosfórico de calidad comercial (47%-54% de  $P_2O_5$ ) y fosforita. La lechada del último reactor es granulada en un agitador de paletas o en un granulador de tambor. Los gránulos se ciernen para separar y reciclar los de tamaño excesivo y los finos. El producto obtenido se envía al depósito.

La fabricación de SFT mediante procesos por cargas no está difundida, por la dificultad que supone el endurecimiento de la masa en la acidulación y porque se precisa un agente tensioactivo.

#### Ventajas

Elevado contenido de  $P_2O_5$ , casi todo él en forma hidrosoluble

El producto pulverizado es adecuado para amoniación

Instalaciones de granulación flexibles para la producción de fosfato amónico

Buenas propiedades de almacenamiento del producto granulado

Inconvenientes

Bajo porcentaje (a veces) de azufre

Se precisa suministro de ácido fosfórico o instalaciones para su fabricación, con los consiguientes gastos de inversión adicionales. Elevado costo de las instalaciones de granulación.

Propietarios del proceso

Fisons Ltd, Fertilizer Division

Jacobs Engineering Company

Nordengren Patenter AB

Société de Prayon SA

Tennessee Valley Authority

Ugine Kuhlmann SA

Licenciatarios

Davy Powergas Ltd

Didier Engineering GmbH, Industrieanlagenbau

Foster Wheller Corporation

Engineering Company for Inorganic Chemistry and Fertilizer Industry (IPRAN)

Krebs et Cie SA

Lurgi Chemie und Nuttenteknik GmbH

Nigata Ryusan Company Ltd

Sturtevant Mill Company

VEB Chemie-Ingenieurbau Leipzig

Woodall-Ducklam Ltd

- Costo de una planta normal

Una planta de 500 t/d de SFT en forma, pulverizada puede costar 5,3 millones de dólares. En esta cifra está incluido el costo de las instalaciones de molienda de la fosforita, pero no el de las de producción de ácido fosfórico; el costo de una planta de 1,000 t/d puede ser de 5,5 a 6,0 millones de dólares, y entre 7,5 y 8,0 millones de dólares el de una planta de 1.900 t/d. Una planta de igual capacidad para la fabricación de productos granulados puede costar el doble o el triple.

- Dato de 1978

Forma pulverizada

FOSFORITA ACIDO FOSFORICO

Molienda

Mezcla

Transporte-reacción

Desintegración

SFT (polvo)

Forma granulada

FOSFORITA ACIDO FOSFORICO

Molienda

Acidulación

Acidulación

Acidulación

(Secado en el reactor)

Agitación

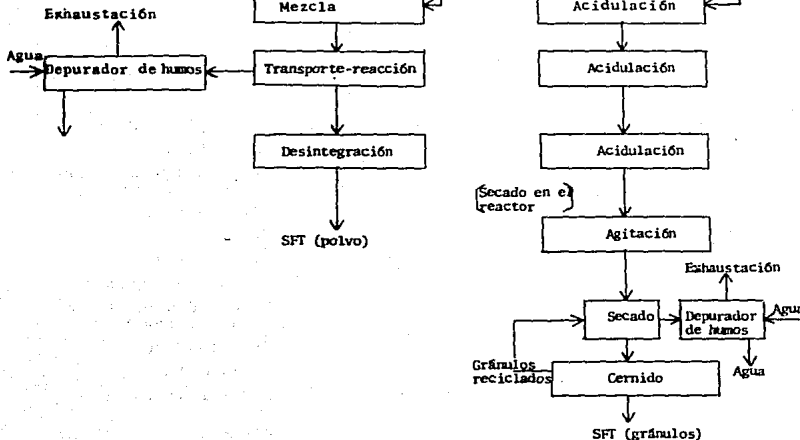
Secado

Exhaustación

Depurador de humos

Cernido

SFT (gránulos)



Fabricación de SFT

Fuente : Process technologies for phosphates fertilizers.  
(ONUDI) 1978 Serie No. 8

IV.b. EMPRESAS QUE INVESTIGAN Y DESARROLLAN TECNOLOGIA EN LA INDUSTRIA DE LOS FERTILIZANTES, ASI COMO PRINCIPALES PROVEEDORES TRANSNACIONALES DE TECNOLOGIA Y EQUIPO EN ESTA AREA.

b.1 Organizaciones Activas en la Investigación y Desarrollo de los Fertilizantes.

Nombre del País	Nombre de la empresa	Tecnología
ALEMANIA	Badische Anilin- and Soda-Fabrik AG (BASF)	Reformación de Nafta Acido Nítrico * Desprendimiento lento de Nitrógeno Nitrofosfato Urea
	Chemische Fabrik Kalk	Nitrofosfato Fosfato Potásico
	Gewerkschaft Victor	Desprendimiento lento de Nitrógeno Nitrofosfato
	Hoechst	Nitrofosfato
	Knapsack Griesheim	Fertilizantes Potásicos Fósforo
	Lurgi	Amoniaco
AUSTRIA	Pintsch Bamag	Acido Nítrico
	Uhde	Procesos de Nitrógeno
	Osterreichische Stickstoffwerke	Amoniaco

\* Esta tecnología está referida a la manufactura de fertilizantes que contienen nitrógeno y cuyo propósito es reducir la solubilidad de éste en el medio ambiente.

Nombre del País	Nombre de la empresa	Tecnología
BELGICA	Prayon	Acido Fosfórico
	Societe Belge del I'Azote et des Produits	Nitrato de Amonio
	Chimiques du Marly SA (SBA)	Acido Nítrico
BULGARIA	Chemical Technological Instituto, Sofia	Nitrofosfato
CANADA	Albertha Research Council	Desprendimiento lento de Nitrógeno
	Canadian Industries	Acido Nítrico
	Cominco (formerly Consolidated Mining and Smelting)	Todas las fases
CHESCOLOVAQUIA		
	Institute Chemical Technology, Pardubice	Polifosfato de Amonio
	Research Institute Inorganic Chemistry, Usti nad Labern	Superfosfatos
DINAMARCA	Haldor Topsoe	Reformación; Síntesis de Amoniaco
ESTADOS UNIDOS DE AMERICA		
	Agrico Chemical (6 American Agricultural Chemical) o (Continental Oil)	Acido Fosfórico Fosfato de Amonio Fertilizante líquido

Nombre del País	Nombre de la empresa	Tecnología
EEUU	Allied Chemical	Todas las fases
	American Cyanamid	Acido fosfórico Fertilizante líquido
	Archer Daniels Midland (ADM)	Desprendimiento lento de Nitrógeno
	Armour	Todas las fases
	Bituminous Coal Research	Carbón como Materia prima para Amoniaco
	Bureau of Mines (US Department of the Interior)	Nitrato de Amonio Desprendimiento lento de Nitrógeno
	Catalysts and Chemicals (CCI)	Catalizadores
	Chemical and Industrial (C and I)	Acido Nítrico Nitrofosfato Acido fosfórico Nitrato de Amonio
	Chemical Construction Corporation (Chemico)	Amoniaco Nitrato de Amonio Acido Nítrico Acido Fosfórico
	Commercial Solvents Consolidation Coal	Nitrato de Amonio Carbón como materia prima para Amoniaco
Dorr-Oliver	Acido fosfórico Fosfato de Amonio Superfosfato triple Polifosfatos de Amonio	
Dow Chemical	Desprendimiento lento de Nitrógeno Acido Fosfórico	



Nombre del País	Nombre de la empresa	Tecnología
EEUU	E.I. DuPont de Nemours (Dupont)	Acido Nítrico Nitrato de Amonio Desprendimiento <u>Len</u> to de Nitrógeno
	Esso Research and Engineering	Desprendimiento <u>Len</u> to de Nitrógeno
	FMC Corporation o (Food Machinery and Chemical Corporation) o (Westvaco)	Acido Fosfórico
	Foster Wheeler	Reformación
	Georgia Institute of Technology	Mezclado en Masa o a granel Azufre
	Girdler	Reformación Síntesis de Amoniaco
	W.R. Grace (o Davison Chemical)	Todas las fases
	Hércules Powder	Desprendimiento <u>Len</u> to de Nitrógeno Soluciones Nitrogenadas
	Instituto of Gas Technology	Carbón como materia prima para Amoniaco
	International Minerals and Chemical (IMC)	Todas las fases
	Iowa State University	Todas las fases
	Kellogg	Amoniaco Nitrofosfato
	Minerals and Chemicals Philipp	Fertilizantes en sus <u>pen</u> sión

Nombre del País	Nombre de la empresa	Tecnología
EEUU	Monsanto (o Monsanto Chemical)	Todas las fases
	National Distillers	Fosfatos
	Occidental Agricultural Chemicals	Acido Superfosfórico
	Office of Coal Research (OCR) (U.S. Department of the Interior)	Carbón como materia prima para Amoniacó
	Olin Mathieson Chemical	Fosfato de Amonio Acido Fosfórico
	Phillips Petroleum	Amoniacó
		Acido Nítrico Nitrato de Amonio Desprendimiento lento de Nitrógeno Fertilizantes líquidos
	J.F. Pritchard	Amoniacó
	Purdue University	Amonización Nitrato de Potasio
	Selas	Reformación
	Shell Oil	Purificación de gas Azufre
	Singmaster and Breyer	Acido fosfórico
	Smith-Douglass	Acido Fosfórico
	Southern Illinois University	Fertilizante líquido Superfosfatos Fosfato térmico
Southwest Potasch	Nitrato de Potasio	
Spencer Chemical (or Gulf Oil)	Fosfato de Amonio Nitrato de Amonio Granulación	

Nombre del País	Nombre de la empresa	Tecnología
EEUU	Stanford Resear Institute (SRI)	Nitrato de Amonio Fertilizantes Económicos.
	Stauffer Chemical Co (Western Phosphates)	Fosfatos
	Sulphur Institute	Azufre
	Sun Oil	Desprendimiento Lento de Nitrógeno
	Swift	Desprendimiento Lento de Nitrógeno Fosfato de Amonio Superfosfatos Polifosfato de Amonio
	Tennessee Corporation o (U.S. Phosphoric)	Nitrato de Amonio Fosfato de Amonio Micronutrientes
	Tennessee Valley Authority (TVA)	Todas las fases
	Texaco	Síntesis de gas
	Union Oil (or Collier Carbon)	Nitrato de Amonio Acido Fosfórico Polifosfato de Amonio Fertilizantes-líquidos
	United States Department of Agriculture (USDA) (Grupo disuelto en 1965)	Todas las fases, particularmente granulación y desprendimiento lento de Nitrógeno)

Nombre del País	Nombre de la empresa	Tecnología
EEUU	Vulcan-Cincinnati	Urea
FINLANDIA	Rikkihappo Oy Typpi Oy	Superfosfatos Nitrofosfato
FRANCIA	Centre d'Etudes et de Recherches des Phosphates Mineraux (CERPHOS)  Etablissements Kuhlmann  Grande Paroisse (GP)  Houilleres du Essin  Office National Industriel de l'Azote (ONIA)  Pechiney St. Gobain (PSG)  Potasse et Engrais Chimiques (PEC)  Societe Anonyme Heurtey Societe Commerciale des Potasses d'Alsacr	Fosfatos  Amoniac  Acido Nítrico  Reformación de Nafta  Acido Nítrico  Nitrofosfato  Nitrate de Amonio  Nitrofosfato  Fertilizantes líquidos  Acido fosfórico Fosfato de Amonio Superfosfatos Fertilizantes líquidos  Nitrate de Amonio Nitrofosfato  Acido Fosfórico  Carbonato potásico

Nombre del País	Nombre de la empresa	Tecnología
FRANCIA	Societe d'Etudes Chimiques pour l'Industrie et l'Agriculture (SECPIA)	Fertilizantes Potásicos
	Societe de Produits Chimiques et Engrais d'Auby (Auby)	Nitrofosfato
HOLANDA	Dutch State Mines (DSM) o (Stamicarbon)	Fosfato de Amonio Nitrofosfato
	Mekog-Albatros (or Albatros)	Nitrato de Amonio Acido fosfórico Desprendimiento <u>len</u> to de Nitrógeno
INDIA	Fertilisers and Chemicals Travancore (FACT)	Todas las fases
	Fertilizer Corporation of India (FCI)	Todas las fases
ISRAEL	Israel Institute of Technology	Fosfato de Potasio
	Israel Mining Industries (IMI)	Acido fosfórico Compuestos de Potasio
		Magnesio
ITALIA	Montecatini-Edison SpA	Amoniaco Urea Acido Nítrico Desprendimiento <u>len</u> to de Nitrógeno Fosfato de Amonio
	Societa Nazionale Metandotti (SNAM)	Urea

Nombre del País	Nombre de la empresa	Tecnología	
JAPON	Asahi Glass	Fosfato de Potasio Cloruro de Amonio Fosfatos	
	Chuo University (Tokyo) Government Chemical Industry Research Institute, Tokyo	Polifosfato de Amonio Fosfato de Magnesio Síntesis de gas Síntesis de Amoniaco Síntesis de Gas Desprendimiento lento de Nitrógeno	
	Hitachi Japan Consulting Institute Japan Gas Chemical Mitsubishi	Acido Fosfórico Fosfato de Amonio Compuestos de Potasio Acido fosfórico Fosfoyeso Fosfato de Potasio Urea Urea-Fosfato de Amonio	
	Nippon Kokan Kabushiki Kaisha (NKK) Nissan Chemical Industrie		
	Onoda Cement		
	Toyo Koatsu		
	NORUEGA	Norsk Hydro	Fosfato Nítrico
	POLONIA	Silesian Polytechnic Institute	Superfosfatos
	PORTUGAL	Companhia Uniao Fabril	Acido fosfórico

Nombre del País	Nombre de la empresa	Tecnología
REINO UNIDO (INGLATERRA)	Albright and Wilson	Acido Fosfórico
		Fosfato de amonio
		Fosfato de Potasio
	Fisons	Todas las fases
	Imperial Chemical Industries (ICI)	Todas las fases
	Marchon Products	Acido fosfórico
	Power-Gas Corporation	Procesos de Nitrógeno
	Scottish Agricultural Industries (SAI)	Acido Fosfórico
		Fosfato de Amonio
		Fosfato de Amonio-Nitrato
RUMANIA	Institute Chemical Research Bucharest	Polifosfato de Amonio
SUECIA	A/B Forenade Superfosfatfabriker	Acido Fosfórico
		Fosfato de Amonio
SUIZA	Halzverzuckoyungo AC (Inventa)	Urea
	Lonza	Fosfato Nítrico
		Nitrato de Potasio
UNION SOVIETICA	Chemical Technology Inst. Instituto of Fertilizers, Moscow	Acido Nítrico
		Fosfato térmico

Nombre del País	Nombre de la empresa	Tecnología
UNION SOVIETICA	Lensovet Technological Institute, Leningrad	Fosfato Nítrico Acido Nítrico
	State Institute of Ni- trogen Industries	Acido Nítrico
	State University, Moscow	Polifosfato de Amonio



IV.c.- CONSIDERACIONES IMPORTANTES EN LA PLANEACION Y PROYECCION DEL CONSUMO DE FERTILIZANTES.

Al planear un sistema económico para aplicar fertilizantes, una de las primeras cosas que se han de hacer es una estimación de las necesidades futuras, estimación que deberá ser realista y basarse en la demanda real o en la cantidad que se pueda comercializar cada año, y no en las necesidades alimentarias o en la cantidad cuyo uso se podría considerar económico. Se deberán calcular los porcentajes de nutrientes necesarios, así como la cantidad correspondiente a cada porcentaje. Se deberán tener en cuenta asimismo las necesidades especiales como por ejemplo, si el suelo necesita P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> hidrosoluble o potasio exento de cloruros. También se habrán de calcular las necesidades en cuanto a nutrientes secundarios y micronutrientes, si se dispone de la información necesaria.

De no ser así, hay que procurar hacerlo sólo con la anterior información y se deberá proyectar el momento o la estación en que se han de aplicar los fertilizantes para períodos de 5 a 10 años y planear, paralelamente, las necesidades correspondientes a locales, equipo y materias primas. Estas proyecciones son difíciles de hacer, pero son imprescindibles.

Se han empleado muchas técnicas para calcular las necesidades de fertilizantes, pero no existe ningún sistema directo ni sencillo. Probablemente, lo mejor es combinar procedimientos de estimación tradicionales con conjeturas fundamentales. Para calcular la de-

manda se han de tener en cuenta varios factores esenciales, entre otros la capacidad y las limitaciones del país en materia de producción, transporte, almacenamiento, manutención y comercialización. Indudablemente es menester calcular las consecuencias económicas del efecto que tendrá sobre las cosechas el uso de fertilizantes.

Será preciso estudiar la posibilidad de aumentar el índice de aplicación de fertilizantes en las tierras cultivadas existentes; también puede ser un factor importante en los cálculos la posibilidad de convertir tierras sin utilizar en tierras de labor. Las personas que hagan las estimaciones deberán conocer muy bien el país de que se ocupen puesto que, en último término, la aproximación de los cálculos de la demanda dependerá directamente de lo completo que sea ese conocimiento.

El índice de crecimiento anual compuesto de todos los países en desarrollo fue de 16% durante el periodo de 1962 a 1969. Pero las diferencias entre los países fueron sorprendentes. En Sudamérica, el consumo de nutrientes de fertilizantes aumentó, en los seis años de 1965 a 1971, en un 133%. Sin embargo, un estudio más detallado de estos datos revela que, mientras el consumo aumentaba en el Brasil, en un asombroso 270%, el porcentaje correspondiente al conjunto de los demás países de Sudamérica sólo era del 55%. Esto equivale a un aumento anual compuesto de casi un 20% para el Brasil y de sólo alrededor del 7% para el resto de la región.

No obstante, el consumo de los fertilizantes ha sido bastante constante en algunos países durante los últimos años, lo que indica que quizá no sean muy de fiar las proyecciones basadas en análisis regionales en vez de en análisis país por país. Para proyectar el consumo de fertilizantes de un país en desarrollo conviene determinar los tipos y cantidades de fertilizantes utilizados en los cinco a diez años precedentes. Un método de proyección consiste sencillamente en prolongar las curvas de la tendencia del consumo en el pasado. Pero este procedimiento no es de por sí muy confiable y sólo se debe utilizar para trazar líneas generales que se puedan ir perfilando a medida que se vaya disponiendo de más información. Los que proyecten el consumo de nutrientes deberán utilizar con precaución los datos sobre aranceles y contribuciones, ya que a veces no es posible confiar en ellos por haberse los registrado de manera defectuosa o inadecuada.

Cuando un país en desarrollo empieza a utilizar fertilizantes químicos, la demanda puede superar a la oferta. El consumo tiende a aumentar rápidamente durante varios años, pero la oferta acaba por igualarlo o superarlo, y entonces se produce una nivelación general.

Normalmente, el índice de consumo se va estabilizando a medida que se van alcanzando niveles de aplicación económicos.

Al trazar las proyecciones de la demanda de un país en desarrollo, a veces resulta interesante basarse en las necesidades ali

mentarias para calcular los fertilizantes que se requerirán. Generalmente, las necesidades de fertilizantes exceden con mucho a la demanda y a la cantidad que se puede poner en el mercado. Como por ejemplo en un estudio preliminar de comercialización realizado en el Perú en 1965 se utilizó un método sencillo y rápido. Se calculó que una tonelada de nutrientes para los cultivos aumentaría la producción de cereales en 10 toneladas. Cada tonelada de nutrientes proporcionaría alimento para 20 personas durante un año. A continuación, se calcularon las cantidades totales de nutrientes necesarias cada año, basándose en las cifras de crecimiento demográfico proyectado, y suponiendo una relación  $N:P_2O_5:K_2O$  de 2:1:1. Se calculó que para 1970 se necesitarían 175000 toneladas de nutrientes. Sin embargo, el consumo registrado en dicho año sólo fue de unas 100000 toneladas, y no toda esta cantidad se utilizó en cultivos alimentarios. Se comprenderá, por lo tanto, que no se puede confiar mucho en las estimaciones de la demanda en países en desarrollo, que se basen exclusivamente en el uso de fertilizantes para cultivos alimentarios nada más. Los cultivos que más fertilizantes consumen son, probablemente, los comercializables, como el algodón, el tabaco y el caucho, y no son los cultivos alimentarios primarios. Se calcula que, en 1964, un 60% de los fertilizantes consumidos en el Perú se utilizó en las plantaciones de algodón y caña de azúcar.

En otro estudio de comercialización realizado en el Perú en 1976, se utilizó otra técnica algo diferente para calcular la proyección del uso de fertilizantes. Dicho estudio se basó en un análisis de zonas geográficas concretas llamadas "centros de uso de fertilizantes".

Estos centros consistían en zonas que parecían prestarse a determinados sistemas de distribución y comercialización de fertilizantes. Se identificaron 10 de estos centros que se analizaron con respecto a lo siguiente: cultivo practicado; superficie cultivada; empleo de fertilizantes, real y recomendado; distribución de las explotaciones agrícolas por tamaños; necesidades en materia de comercialización y soluciones posibles; y puntos de distribución posibles.

En esta proyección realizada en el Perú también se incluyeron los cultivos comercializables. Cada centro tenía muchos factores en común con los demás (tipo de suelo, volumen de precipitaciones, variedad de cultivos y distribución de las explotaciones según el tamaño, etc.). Esta división permitió proyectar la utilización de fertilizantes para casos específicos. El considerar al país dividido en diez de estos centros, facilitó la planificación de los programas de comercialización, zonas de almacenamiento, sistemas de transporte, ubicación de las plantas y sistemas de distribución.

En la actualidad en los Estados Unidos se están tratando de em-

plear métodos puramente empíricos y objetivos en los que se utiliza el análisis de regresión múltiple, para calcular la demanda de fertilizantes. Entre las variables que entran en el mismo se encuentran las siguientes: el costo de los fertilizantes para el agricultor, los salarios agrícolas, el costo de la maquinaria agrícola, los precios de las cosechas, las tasas de interés del capital agrícola y el momento oportuno de aplicación. Cuando se haya perfeccionado más este método, tal vez sea otro instrumento útil para calcular el consumo de fertilizantes, así como sus proyecciones en los países en desarrollo. Sin embargo, su precisión depende de que se empleen datos exactos y completos, y en algunos países en desarrollo es muy difícil obtenerlos.

C.1. Determinación de los Tipos de Fertilizantes Necesarios. La mayoría de los agricultores prefieren usar un solo fertilizante cuya composición satisfaga las necesidades específicas de sus cultivos. Si se pudieran determinar con exactitud las necesidades de fertilizantes en cada explotación agrícola, probablemente se descubriría que se precisa un gran número de productos diferentes. No obstante, en la práctica rara vez es necesario que los fertilizantes tengan una composición muy precisa. Puede decirse que en la mayoría de los países en desarrollo basta un número limitado de fertilizantes entre 5 y 10 de composición diferente.

Por ejemplo, en un estudio sobre comercialización de fertilizantes en el Perú, puso de manifiesto que con 4 formulaciones diferentes de fertilizantes compuestos, junto con algunos productos nitrogenados sencillos, se podía satisfacer la mayor parte de las necesidades del país. En cada país es menester determinar qué fertilizantes especiales se necesitan, pero cuando éstos no sean necesarios se deberán usar los materiales más baratos. Siempre será posible obtener datos agronómicos y recomendaciones de los grupos industriales, universidades y organismos gubernamentales del país, todo lo cual puede ser útil para elegir los tipos más adecuados de fertilizantes.

Ciertos cultivos, por ejemplo, el tabaco, no exigen que el potasio no esté en forma de cloruro. El sulfato potásico puede ser preferible para los viñedos. El cloruro, que es aceptable para la mayoría de las aplicaciones, suele ser el más barato. Un estudio sobre los sistemas de suministro de fertilizantes en Chile, puso de manifiesto que la mayor parte del potasio, se suministraba en forma de sulfato potásico y nitrato potásico; sin embargo, los cálculos de los costos indicaron que, si se utilizara cloruro potásico, considerado adecuado para los cultivos de la mayoría de las zonas, el costo de  $K_2O$  para el agricultor disminuiría en la mitad de su precio por tonelada.

En el cultivo del arroz, el nitrógeno en forma de nitrato suele ser menos eficaz como fertilizante que el nitrógeno amoniacal en forma de fosfato o sulfato amónico, y que la urea.

aluminio calcinado. Para que el efecto sea óptimo se deben aplicar en forma pulverizada.

Al calcular las necesidades de fertilizantes también se deben de tener en cuenta las de nutrientes secundarios (Ca, S, Mg) y las de micronutrientes (Zn, B, Mn, Cu, Co. y Fe). Sin embargo, en los países en desarrollo suele ser difícil obtener datos sobre los efectos que tales nutrientes producen sobre las cosechas. Las necesidades de azufre se determinaron en varios productos agronómicos llevados a cabo en Chile, pero resultó imposible predecir los resultados que podrían conseguirse en una zona o tipo de suelo determinados. Se ha comunicado que en algunas zonas de la India, al aplicarse cinc, junto con NPK, a maizales, los rendimientos en seco aumentaron en un 18 a 32% con relación a los obtenidos utilizando únicamente NPK.



Esta última, por sus ventajas económicas es el fertilizante nitrogenado más aceptable del mundo. En general, se puede producir o importar a un costo inferior al de los demás productos nitrogenados. Sin embargo, se debe evitar su aplicación artificial sobre un suelo seco, ya que se puede producir pérdidas de nitrógeno por volatilización.

Cuando se usan fertilizantes fosfatados, una cuestión importante es la hidrosolubilidad del  $P_2O_5$ . La mayor parte del fosfato utilizado en los fertilizantes se deriva del fosfato mineral, que no es hidrosoluble. Los métodos empleados generalmente en la elaboración de ese fosfato mineral para producir fertilizantes hace aumentar la hidrosolubilidad del fosfato, pero también el costo del producto.

Para la mayoría de los cultivos es preferible usar fosfatos que contengan un 40% ó más de fosfato hidrosoluble. Entre estos se encuentran los fosfatos amónicos, los superfosfatos simples y triples, los superfosfatos amoniacales y la mayoría de los nitrofosfatos.

Cuando se trata de suelos ácidos, el fosfato mineral pulverizado resulta un fertilizante eficaz. Existen otros productos que pueden resultar económicos y eficaces como los siguientes; escoria básica; el fosfato magnésico y calcico fundido y el fosfato de

CAPITULO IV

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

- 1.- Process Technologies for Nitrogen Fertilizers. Developments and Transfer of Technology (ONUJI) Series No. 9. 1978.
- 2.- Process Technologies for Phosphate Fertilizers. Developments and Transfer of Technology (ONUJI) Series No. 8 1978.
- 3.- Fertilizer Developments and Trends. Noyes Development Corporation Park Ridge, New Jersey, US.A. 1968.
- 4.- Regional Consultation for the Arab Countries of the Middle East and North Africa On Licensing of Technology with Reference to the Petrochemical and Fertilizer Industry Benghazi, Libyan Arab Republic 1975.
- 5.- Reducing Fertilizer Cost. Fertilizer Industry series of Monographs ID/SER F/Y (ONUJI)
- 6.- Safety in the Production, transportation and Storage of Fertilizers Report of on Interregional Meeting Sponsored Jointly by the United Nations Industrial Development Organization and Others Association New Delhi, India. 1980.
- 7.- El uso de los Fertilizantes en los Paises en Desarrollo: Cuestiones Relativas a la Transferencia y al Desarrollo de Tecnologia. Conferencia de las Naciones Unidas Sobre Comercio y Desarrollo. Ginebra 1985.
- 8.- Nitrogen No. 135  
January / February 1982.

- 9.- The startup of two major Urea plants.  
CEP May. 1977.
- 10.- Hidrocarbon Processing.  
May. 1979.
- 11.- Hidrocarbon Processing.  
November 1982.
12. Chemical Engineering. Process.  
Vol.64 No.5 May. 1968.

## POSICIONAMIENTO ACTUAL DE LA INDUSTRIA DE LOS FERTILIZANTES

Como ya se ha dicho, existen básicamente tres tipos de fertilizantes químicos -nitrogenados, fosfatados y potásicos-. Los productos comercializados por la industria se encuentran en forma de fertilizantes de un solo elemento o sus combinaciones de los tres elementos.

El comercio internacional de los fertilizantes se inició a mediados del Siglo XIX siguiendo la doctrina de Leibib's de la nutrición de las plantas por medio de minerales. Al final del Siglo XIX, el consumo mundial de fertilizantes fue de aproximadamente 2 millones de toneladas y durante los siguientes 50 años creció hasta 14 millones de toneladas de nutrientes y es a partir de entonces cuando empieza a despegar como ya toda industria. Por 1977 el consumo mundial anual de fertilizantes excedieron los 100 millones de toneladas y el uso de fertilizantes ha llegado a ser un factor importante e indispensable en la agricultura para mantener la fertilidad del suelo y de esta manera poder atender las crecientes necesidades de alimentación de la cada vez creciente población.

La industria de los fertilizantes en sus inicios fue una industria simple y estaba fragmentada (no integrada); había una industria de nitrógeno, una industria minera de fosfato, una industria minera de potasio y una industria de mezclado de fertilizantes -cada una de ellas separadas e independientes-.

Desde hace 3 décadas esta industria ha sufrido una integración al grado tal que no es raro que una compañía grande se encargue de todas las fases de producción de los fertilizantes, desde el minado de fosfato y potasa hasta la manufactura de producto final.

Los 2 principales fertilizantes nitrogenados que se utilizan en gran escala en la mayor parte de los países son la urea, que contiene del 45 al 46% de nitrógeno, mientras que el fertilizante de nitrato amónico contiene el 33%. El otro fertilizante nitrogenado importante es el sulfato amónico, que se produce principalmente como subproducto y que contiene del 20 al 21% de nitrógeno.

Los costos de manipulación y transporte por unidad de material nutriente activo son, por lo tanto, menores para la urea que para todos los otros fertilizantes nitrogenados, y por esta razón es generalmente preferida. De manera general, en la agricultura tropical y subtropical, la urea ha demostrado ser superior a las otras formas de fertilizantes nitrogenados. Sin embargo, en climas más fríos, el nitrato amónico suele ser preferible.

La tendencia actual de la tecnología de proceso de producción de la urea y el nitrato de amonio se ha mantenido un tanto estática, ya que la mayoría de las innovaciones y mejoramientos de los procesos existentes están enfocados básicamente a mejorar los sistemas catalíticos de fijación de nitrógeno.

Actualmente se hacen trabajos de investigación y desarrollo sobre la producción de urea de alto índice granulométrico, pues

esta forma, a diferencia de la urea en aglomerados cristalinos, va adquiriendo una importancia cada vez mayor para la producción comercial. También se ha estado desarrollando una nueva técnica de producción de urea que reduce el consumo de energía en un 40% aproximadamente en comparación con los procesos convencionales, gracias a la utilización de un proceso isobárico de doble reciclado. En el Japón y los Países Bajos, un acontecimiento importante ha sido la utilización de una tecnología de granulación fluidizada.

Con relación a la tecnología de proceso del sulfato de amonio, ésta se ha mantenido sin relevantes avances, ya que la tendencia de la producción ha estado declinando paulatinamente por la preferencia en la demanda de fertilizantes nitrogenados de gran concentración, notándose todo esto mucho más en los países desarrollados, no ocurriendo lo mismo en los países en desarrollo de climas tropicales húmedos, que lo prefieren por ser más de características no higroscópicas que el nitrato de amonio y la urea que lo hacen más manejable y como consecuencia de todo lo anterior se ha producido un estancamiento de la tecnología de proceso.

Salvo los mejoramientos dichos en el sector de los fertilizantes, nitrogenados, desarrollos importantes no se esperan en la próxima década.

En la industria de los fertilizantes fosfatados, la inversión de capital para la producción de superfosfato normal es general-

mente menor que para otras formas de estos fertilizantes, pero los costos de manipulación y transporte del producto son superiores debido al bajo contenido de nutriente fertilizante (16-18% de  $P_2O_5$ ), no ocurriendo así con el superfosfato triple y el fosfato diamónico por su alto contenido de nutrientes; (32 a 46% de  $P_2O_5$ ) y (16 a 18% de nitrógeno 46 a 48% de  $P_2O_5$ ) respectivamente. Como tal, este producto es por lo general comercialmente viable sólo cuando la zona comercializada se limita a los alrededores de los centros de producción. El superfosfato normal contiene calcio y azufre en forma de yeso; este último es un corrector de suelo y es un factor que adquiere importancia, cuando los suelos en una zona determinada requieren yeso.

El grueso de los fertilizantes fosfatados se utiliza en forma de fosfato concentrado, generalmente superfosfato triple, que contiene del 44 al 46% de  $P_2O_5$ . Tiene un alto contenido de nutrientes y puede producirse en forma fácil de manipular. La producción de fosfato diamónico ha aumentado mucho en los últimos años, especialmente en los Estados Unidos, y este producto ha llegado a ser una fuente importante de fertilizantes fosfatados, si bien generalmente se utiliza para fabricar fertilizantes compuestos que contienen nutrientes NP/NPK. Lo mismo sucede con el fosfato monoamónico.

Los fertilizantes sólidos compuestos o complejos, que contienen NP/NPK en diferentes proporciones de ingredientes NP y NPK, se producen a menudo para atender a las necesidades de los suelos y

cultivos en zonas concretas y la proporción de los nutrientes suele determinarse en función de las necesidades del mercado de las zonas concretas de que se trata.

Las materias primas para la producción de material NP/NPK son a menudo los fertilizantes terminados y/o productos intermedios.

Por lo tanto, los costos de producción son mayores que para los materiales exclusivamente nitrogenados, fosfatados o potásicos. La investigación y desarrollo respecto de la producción de fertilizantes fosfatados, continúan especialmente en los países desarrollados y en los laboratorios del Centro Internacional de Desarrollo de Fertilizantes en los Estados Unidos. Por ejemplo, están actualmente en la etapa de investigación y desarrollo ciertas innovaciones en la producción de "minigránulos" de fosfatos minerales molidos.

Con respecto a la tecnología de producción de nitrofosfatos, una novedad ha sido la eliminación del calcio en forma adecuada para reducir los gastos y mejorar la calidad del producto.

Con respecto a los fosfatos amónicos, debe señalarse que una tecnología interesante ha sido recientemente desarrollada por la Tennessee Valley Authority (Estados Unidos) sobre la base del proceso de granulación por fundido utilizando un reactor tubular.

En el Japón se ha hecho un gran descubrimiento en materia de granulación fluidizada para la producción de fosfato amónico y fertilizantes NPK usando reactores tubulares.

Prácticamente toda la potasa comercial se recupera de yacimientos



subterráneos de materiales solubles de potasio o minerales que contienen potasio, como la silvita, la carnalita o la langbenita. El mineral que contiene potasio se extrae mediante la excavación de pozos, basándose aproximadamente en las técnicas tradicionales de la minería. Después de extraerse, el mineral se muele y luego se beneficia.

Existen, en general, dos métodos para el beneficio basados en el mineral de silvanita, a saber, el beneficio por flotación, como se practica en los Estados Unidos, y por solución y recristalización, como se practica en Europa. En el primer caso, para flotar la silvita se utiliza un agente apropiado de flotación -sales de acetato grasoso de amina en una solución del 1%. Después de la centrifugación y el secado, se obtiene el producto, muriato de potasa con el 60% de óxido de potasa ( $K_2O$ ).

De las dos formas más importantes de fertilizantes potásicos -muriato de potasa (MOP), que contiene del 50 al 60% de  $K_2O$ , y sulfato de potasa, que contiene del 48 al 50% de  $K_2O$ . El MOP es más económico y de utilización más generalizada. El sulfato de potasa es más costoso, y su aplicación se limita a los cultivos en que debe evitarse las utilizations de muriato de potasa, que contiene cloro. A menudo los fertilizantes potásicos se aplican en la forma de fertilizantes compuestos o complejos NPK.

En los inicios de los años de 1960 hubo cambios importantes en la estructura de la industria del potasio siguiendo los desarrollos de las vastas fuentes de Canadá. Por 1970, Canadá tenía de-

sarrollada una industria que producía 7.5 millones de toneladas por año de  $K_2O$  y se convirtió en el segundo productor más grande, después de la URSS.

El bloque de Europa del Este, incluyendo la URSS, es el más grande productor de Potasa con aproximadamente 40% de la capacidad mundial total.

Las reservas en Europa han sido explotadas por más de un siglo y la alta calidad del mineral ha disminuido trayendo como consecuencia una caída lenta en la producción.

En la actualidad la URSS es el más grande productor mundial de potasa y tiene planes ambiciosos para acrecentar su industria hasta una producción de 11 millones de acuerdo al crecimiento de la demanda interna y para acrecentar sus exportaciones.

Aunque en los últimos 20 años ha tenido considerables desarrollos la tecnología de fertilizantes, la mayoría está relacionado al mejoramiento de los procesos existentes en eficiencia y escala, puede anticiparse que esta tendencia continuará y no habrá cambios importantes en la tecnología de fertilizantes en la próxima década y parece seguro suponer que los requerimientos de inversión puedan proyectarse en base a la experiencia existente y datos de costo.

Probablemente los desarrollos sobre fertilizantes continuarán su curso también en el sentido de incrementar la concentración de nutrientes (para ahorrar costos de distribución), mejorar la efi-

ciencia del proceso y consumo de energía y reducir los costos por operaciones de gran escala.

Las tecnologías de elaboración relacionadas a la industria moderna de los fertilizantes químicos están controladas principalmente por un número limitado de compañías del mundo desarrollado. Las tecnologías están adecuadamente patentadas en muchos países. Las compañías que poseen estas tecnologías las autorizan a los usuarios directamente por medio de licencias o, en algunos casos, a través de un número limitado de firmas técnicas.

Como por ejemplo, las tecnologías de elaboración para la producción de urea están en manos de cuatro firmas de tres países:

Italia, los Países Bajos y el Japón. Resulta entonces evidente que los métodos comercialmente acreditados que requiere la industria de los fertilizantes están controlados estrictamente a través de concesionarios por un grupo de firmas ubicadas en los países desarrollados. Estos métodos se obtienen generalmente por conducto de compañías técnicas que están también localizadas por lo general en Europa occidental, los Estados Unidos y el Japón. Las fábricas que se han construido en el resto del mundo, incluidos México, Brasil, Checoslovaquia, la India, Indonesia, el Irán, Polonia, Rumania y la URSS, han derivado de las fuentes mencionadas. La elaboración de nuevos métodos en los países en desarrollo se ha limitado hasta ahora a modificaciones y mejoras en función de las condiciones locales.

En los últimos 15 años algunos de los países en desarrollo han

sarrollada una industria que producía 7.5 millones de toneladas por año de K<sub>2</sub>O y se convirtió en el segundo productor más grande, después de la URSS.

El bloque de Europa del Este, incluyendo la URSS, es el más grande de productor de Potasa con aproximadamente 40% de la capacidad mundial total.

Las reservas en Europa han sido explotadas por más de un siglo y la alta calidad del mineral ha disminuido trayendo como consecuencia una caída lenta en la producción.

En la actualidad la URSS es el más grande productor mundial de potasa y tiene planes ambiciosos para acrecentar su industria hasta una producción de 11 millones de acuerdo al crecimiento de la demanda interna y para acrecentar sus exportaciones.

Aunque en los últimos 20 años ha tenido considerables desarrollos la tecnología de fertilizantes, la mayoría está relacionado al mejoramiento de los procesos existentes en eficiencia y escala, puede anticiparse que esta tendencia continuará y no habrá cambios importantes en la tecnología de fertilizantes en la próxima década y parece seguro suponer que los requerimientos de inversión puedan proyectarse en base a la experiencia existente y datos de costo.

Probablemente los desarrollos sobre fertilizantes continuarán su curso también en el sentido de incrementar la concentración de nutrientes (para ahorrar costos de distribución), mejorar la efi-

comenzado a adoptar medidas para desarrollar la industria de los fertilizantes como parte de un programa de desarrollo económico y han logrado ya cierta medida de autosuficiencia en este sector. Por ejemplo, en la India el sector de los fertilizantes se ha desarrollado relativamente bien, con la excepción de los conocimientos técnicos del proceso y la tecnología básica. Se han registrado progresos análogos en México, Brasil, Egipto, Pakistán y la República de Corea.

En la mayoría de los países en desarrollo necesitan importar conocimientos técnicos del proceso y servicios de tecnología básica para sus proyectos de fábricas de fertilizantes. Los servicios de tecnología detallada -excepto los relativos a los diseños de ingeniería civil, que se pueden obtener en el ámbito nacional en algunos países en desarrollo- constituyen otra esfera en que la dependencia de las importaciones es muy general. De manera análoga la mayoría de los países en desarrollo necesitan importar los servicios tecnológicos para la supervisión general de los proyectos.

La fabricación de equipo para la elaboración de fertilizantes se ha desarrollado bastante en México, Brasil y la India. Entre los productos figuran recipientes y torres especiales de baja presión y de presión media que requieren estrictas especificaciones para su fabricación, recipientes de acero inoxidable y de acero de aleación condensadores de alta presión, calderas de alta pre-

sión, tubería y serpentines de alta presión y tanques y recipientes de diversos materiales.

Para gran parte de las máquinas y el equipo críticos, las fuentes de suministro se limitan a los Estados Unidos, la República Federal de Alemania, Italia y el Japón y, en cierta medida, Bélgica, Francia, los Países Bajos y el Reino Unido.

Cierta maquinaria de fines generales -por ejemplo, bombas de agua ventiladores, fuelles y ciertas bombas de acero de aleación, ya se fabrican en algunos países en desarrollo.

El Brasil, la India, México y la República de Corea, han alcanzado un nivel considerable en cuanto a actividades generales de ingeniería. Por lo tanto, estos países pueden ahora encargarse de construir fábricas de fertilizantes completos, cuya ingeniería básica corre a cargo de firmas especialistas de países desarrollados, recibiendo asistencia en la adquisición, inspección y supervisión general.

La utilización de la capacidad de las fábricas de fertilizantes en los países en desarrollo es generalmente muy inferior a la de los países desarrollados. Ello se debe en gran medida al bajo nivel de competencia y pericia tecnológica en esta esfera. Para mejorar la utilización de la capacidad y, en general, asegurar el éxito de un proyecto de fertilizantes, son indispensables unos eficaces servicios técnicos y de mantenimiento. En México, Brasil, Egipto, India y otros, se realizan inspecciones periódicas mediante pruebas no destructivas y servicios preventivos eficaces

de mantenimiento. Pero aún en estos países se recaba regularmente asistencia técnica y asesoramiento de expertos de los países desarrollados para resolver los problemas críticos relativos al funcionamiento y mantenimiento de las fábricas.

Las actividades de investigación y desarrollo dirigidas al desarrollo de nuevos métodos, nuevos productos, catalizadores nuevos o mejorados, nuevas técnicas de fabricación para sectores críticos, nuevos materiales de construcción que soporten la corrosión o técnicas de prevención de la corrosión para la industria de los fertilizantes, se realizan casi enteramente en los servicios correspondientes de las grandes compañías fabricantes y compañías de ingeniería en los países desarrollados. Como en los Estados Unidos, el Reino Unido, Dinamarca y la República Federal de Alemania, Italia, Japón, Países Bajos y Bélgica. Los resultados de las investigaciones en su mayoría son secretos celosamente guardados y sólo se dispone de ellos mediante licencias ofrecidas en términos comerciales.

Las barreras al ingreso en la industria de los fertilizantes son generalmente importantes. En particular, están limitados el acceso a la tecnología y a máquinas y equipo de importancia decisiva. Los únicos servicios internacionales de investigación y desarrollo que se ocupan de la tecnología avanzada de los fertilizantes son los del International Fertilizer Development Center, ubicado en Muscle Shoals, Alabama (Estados Unidos). Estos servicios se ofrecen a todos los países en desarrollo dispuestos a pagarlos.

En la mayoría de las industrias de elaboración en gran escala, el desarrollo de la industria de fertilizantes requiere considerable tiempo. Sólo la construcción de una fábrica de fertilizantes requiere por lo general de tres a cuatro años desde la etapa de planificación inicial. Por ello es muy importante establecer un marco cronológico apropiado para constituir la industria. En los países en desarrollo en que se ha iniciado la construcción de un complejo de fertilizantes, debería poderse alcanzar un éxito aceptable en cinco a siete años y establecer una base firme para el funcionamiento del sector de fertilizantes en un período de unos diez años.

Debe tenerse siempre en cuenta que los cinco primeros años son los más difíciles. En un período de 10 a 15 años, podrían formarse la capacidad y los conocimientos técnicos adecuados para emprender las actividades de apoyo tecnológico, tales como la investigación y el desarrollo, en gran escala.

A diferencia de la situación en muchas otras industrias, el Estado desempeña una función prominente en la industria mundial de los fertilizantes.

En los países socialistas de Europa oriental, que representan próximadamente la tercera parte de la producción mundial total de fertilizantes (en cantidad), la producción de fertilizantes, así como toda otra actividad productiva, es una empresa estatal. En los países desarrollados con economía de mercado, a los que corresponde algo más de la mitad de la producción mundial total de fer-



tilizantes, gran parte de la industria corresponde al sector privado.

En los países en desarrollo, el panorama es mixto, y el estado está tal vez asumiendo un papel cada vez más importante. La industria es de propiedad estatal en México, Arabia Saudita, Indonesia, Marruecos, Irán, Kuwait, Venezuela y otros.

En México, la industria de los fertilizantes ha sufrido cambios tanto en su estructura administrativa como en la tecnológica, ya que en un principio la industria de los fertilizantes estaba totalmente aislada, siendo de tipo privado y parastatal; posteriormente, alrededor de 1965 empieza a integrarse esta industria, hasta que en 1977 se une o integra totalmente esta industria bajo el nombre de Fertilizantes Mexicanos, S.A.

A partir de la integración de esta industria, puede decirse que empieza a darse un gran auge al desarrollo integral, ya que se empieza a darle más importancia a desarrollar fertilizantes de más contenido de nutrientes y a desarrollar complejos industriales, cuya producción supla las importaciones requeridas.

La tecnología que el país tiene en este sector, también ha ido cambiando con el tiempo, así, las tecnologías de las primeras plantas, están obsoletas y no se le han hecho modificaciones sustanciales y aunque estas plantas siguen produciendo, ahora están decreciendo en importancia debido a la producción de fertilizantes de bajo contenido de nutrientes (como sucede con el sulfato de amonio) y a la disminución de la calidad del producto mismo.

Además, en esas plantas se compró prácticamente todo, es decir, desde la licencia hasta la ingeniería de detalle, equipo, capacitación de personal, etc., todo esto ha ido cambiando, ya que en los últimos proyectos que se han venido realizando como son los de Querétaro, Pajaritos Nitrogenados y Lázaro Cárdenas, se ha dado importancia a la adquisición de tecnologías de producción de fertilizantes de gran contenido de nutrientes como son la urea, nitrato de amonio, los complejos, etc.

Si bien se compra la licencia y la ingeniería básica (por pertenecer este sector a monopolios que cuentan con grandes recursos de investigación y desarrollo de tecnología), no ocurre ya lo mismo para la ingeniería de detalle y servicios auxiliares que ya se desarrollan en el país.

Debe hacerse notar también que parte de la posición que Fertimex ha alcanzado, se debe también a la contribución de Pemex, quien ha desarrollado plantas para la producción de amoniaco anhidro, que es una materia prima básica para la producción de fertilizantes.