



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org

08431 — S

ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL

Serie "Desarrollo y transferencia de tecnología"

Núm. **8**

**TECNOLOGIAS
DE PROCESOS
PARA LA
FABRICACION
DE FERTILIZANTES
FOSFATADOS**



NACIONES UNIDAS

TECNOLOGIAS DE PROCESOS PARA LA FABRICACION DE FERTILIZANTES FOSFATADOS

ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL
Viena

Serie "Desarrollo y transferencia de tecnología", núm. 8

**TECNOLOGIAS DE PROCESOS
PARA LA FABRICACION
DE FERTILIZANTES FOSFATADOS**

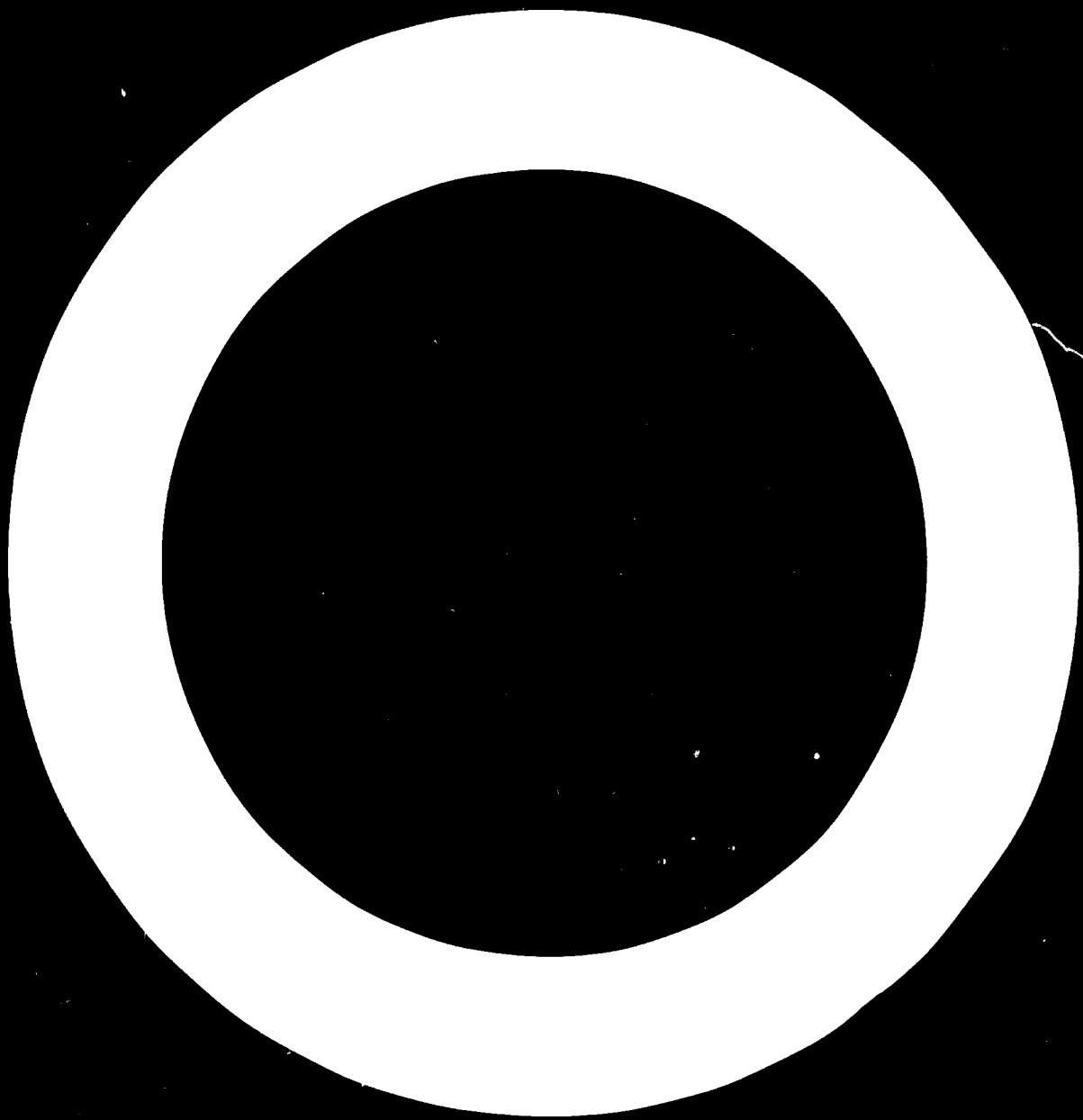


NACIONES UNIDAS
Nueva York, 1980

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, de parte de la Secretaría de las Naciones Unidas, juicio alguno sobre la condición jurídica de ninguno de los países, territorios, ciudades o zonas citados, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

La mención de empresas, productos comerciales y procesos en el presente documento no entraña juicio alguno sobre ellos por parte de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI); la circunstancia de que en relación con las tecnologías descritas en el presente volumen no se mencione a una empresa, producto comercial o proceso determinados, no significa desaprobación de los mismos.

El material que aparece en esta publicación se podrá citar o reproducir con entera libertad, siempre que se mencione su origen y se remita a las Naciones Unidas un ejemplar de la publicación en que figure la cita o la reproducción.



Prefacio

La presente publicación, y la publicación afín titulada *Tecnologías de procesos para la fabricación de fertilizantes nitrogenados*, ambas pertenecientes a la serie "Desarrollo y transferencia de tecnología", son los dos primeros documentos emanados del Banco de Información Industrial y Tecnológica (INTIB) de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI). El INTIB es un componente del programa de la ONUDI sobre el desarrollo de tecnología, y constituye una actividad de carácter experimental iniciada en julio de 1977 por un período de 18 meses. Su labor se concentra en cuatro sectores industriales: siderurgia, fertilizantes, agroindustrias, y maquinaria y utensilios agrícolas. Estos sectores tienen también prioridad en otras actividades de la ONUDI, tales como estudios sectoriales, consultas, negociaciones y proyectos de asistencia técnica.

El concepto de Banco de Información Industrial y Tecnológica (INTIB) tuvo su origen en la Declaración y Plan de Acción de Lima, aprobada en 1975 en la Segunda Conferencia General de la ONUDI, así como en diversas resoluciones de la Asamblea General de las Naciones Unidas, en todas las cuales se preveía tal servicio como instrumento esencial para la transferencia, el desarrollo y la adaptación de tecnologías apropiadas. A fin de poder incrementar del 7% (en 1975) al 25% en el año 2000 la participación de los países en desarrollo en la producción industrial mundial, que es uno de los objetivos fijados en la Conferencia de Lima, los encargados de adoptar decisiones deben disponer de información suficiente sobre nuevas inversiones. También deben disponer de esa información las entidades que asesoran a dichas personas, a saber: centros nacionales de información industrial, institutos de desarrollo tecnológico y bancos de inversiones.

La novedad que el INTIB supone, si se lo compara con los servicios de información normalmente proporcionados por la ONUDI, consiste en el suministro de información para poder elegir tecnología antes de adquirirla. El INTIB utiliza no sólo los servicios disponibles en la Sección de Información Industrial, de la que forma parte, sino también los conocimientos técnicos del personal especializado de la División de Operaciones Industriales de la ONUDI y de expertos contratados para elaborar la información, de fuentes internas y externas, relativa a selección de tecnología. Como resultado de este esfuerzo, la ONUDI puede proporcionar información de carácter general o expresamente elaborada en respuesta a solicitudes concretas. Ejemplo de ello es la serie de monografías y perfiles tecnológicos en preparación, a la que pertenece el presente volumen, en la que se tratan las cuestiones que han de tenerse en cuenta al seleccionar una tecnología determinada de entre varias posibles.

El INTIB tiene por objeto atender a entidades tales como ministerios de industria, institutos de planificación y desarrollo industrial, instituciones tecnológicas de fines múltiples, y organismos interesados en la transferencia de tecnología. Su finalidad es ayudar a quienes tienen responsabilidades, ya sean de asesoramiento o de decisión, en cuanto a la selección de tecnología en los cuatro sectores industriales prioritarios seleccionados para la fase experimental.

Si se desea más información sobre el INTIB y sus actividades conexas se la puede solicitar por escrito al Jefe de la Sección de Información Industrial, ONUDI, P.O. Box 300, A-1400 Viena (Austria).

Esta descripción de tecnologías de producción de fertilizantes fosfatados ha sido preparada por el Sr. K. R. Krishnaswami, en su calidad de consultor de la ONUDI; las opiniones expresadas son las del consultor, y no reflejan necesariamente los puntos de vista de la secretaría de la ONUDI.

NOTAS EXPLICATIVAS

La palabra "dólares" o el símbolo (\$) se refieren a dólares de los Estados Unidos.

Se emplea el sistema normal -NPK- indicativo de la calidad o graduación del fertilizante. Por ejemplo, un fertilizante 10-15-12 es el que contiene, en forma asimilable, un 10% de nitrógeno, un 15% de fósforo expresado en P_2O_5 , y un 12% de potasio expresado en K_2O .

Se utilizan unidades de medida pertenecientes al Sistema Internacional de Unidades (SI) o cuyo empleo con dicho sistema está aceptado. Tales unidades de medida son, en particular, las siguientes:

t	tonelada métrica
t/d	tonelada métrica por día
bar	bar (1 bar = 10^5 Pa = 0,987 atm = 1,02 kgf/cm ²)

Además, en la presente publicación se han utilizado las siguientes abreviaturas:

FCH	Fosfato de cal de huesos ($Ca_3(PO_4)_2$)
rpm	revoluciones por minuto
TVA	Tennessee Valley Authority

INDICE

	<i>Página</i>
INTRODUCCION	1
ACIDO SULFURICO	3
Proceso de contacto: versión normal	3
Proceso de contacto: versión de alta presión	4
Fabricación de ácido sulfúrico a partir de piritas	4
Método Müller-Kühne	5
ACIDO FOSFORICO	7
Proceso Nissan hemihidrato-dihidrato (tradicional)	7
Proceso Fisons al hemihidrato	9
Proceso clásico de Prayon al dihidrato	9
Proceso Central Glass/Prayon (dihidrato-hemihidrato)	11
Proceso isotérmico Gulf Design (dihidrato)	12
Proceso Dorr Oliver de elevado rendimiento y gran concentración	14
Proceso de extracción con ácido clorhídrico	14
Proceso de horno eléctrico	15
ACIDO SUPERFOSFORICO	18
Concentración de ácido de vía húmeda	18
Concentración de ácido de horno eléctrico	20
SUPERFOSFATO SIMPLE (SFS)	21
SUPERFOSFATO TRIPLE (SFT)	23
FOSFATO MONOAMONICO (FMA)	25
Proceso Fisons (en polvo)	25
Proceso PhoSAI (en polvo)	25
Proceso de lechada (gránulos)	26
FOSFATO DIAMONICO (FDA)	28
FOSFOSULFATO AMONICO	30
NITROFOSFATO AMONICO (CON ADICION DE POTASA)	32
FOSFATO DE UREA-AMONIO (FUA)	34
Proceso convencional de lechada	34
Proceso de "fundente"	36
Proceso de ingredientes secos	37
Proceso de refrigeración de "fundente" por medio de aceite	38
NITROFOSFATOS	40
Proceso Odda	40
Proceso sulfonítrico	42
Proceso fosfonítrico	44
Proceso carbonítrico	45
<i>Anexo</i> - Lista de empresas	46
<i>Bibliografía</i>	50

Introducción

La finalidad de este compendio de los más importantes procesos utilizados para la fabricación de materiales fertilizantes fosfatados es proporcionar una guía que permita seleccionar tecnologías de procesos para países en desarrollo interesados en iniciar actividades en este sector. Los procesos correspondientes a cada producto se presentan agrupados, y en cada caso se facilita la siguiente información:

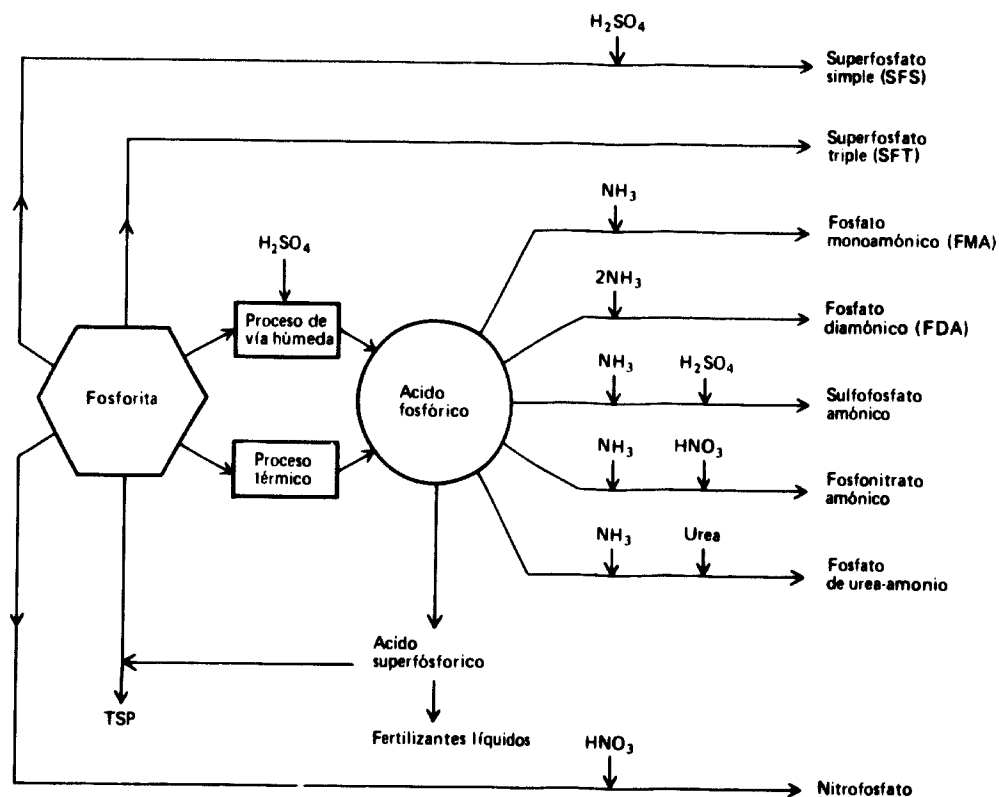
- Descripción de las operaciones del proceso
- Diagrama
- Ventajas e inconvenientes respecto de los demás procesos indicados en la misma sección
- Propietarios, si se trata de procesos patentados
- Licenciatarios, en su caso
- Costo de construcción de una planta normal

A menos que se indique otra cosa, los derechos a satisfacer por concepto de conocimientos técnicos

(*know-how*) pertenecientes a procesos patentados equivalen al 10% del valor f.o.b. o f.o.r. de la planta y del equipo. El cálculo de los costos de construcción de plantas normales se ha efectuado a base de precios de 1977.

Pueden obtenerse más detalles de los procesos en las publicaciones indicadas en la bibliografía y de las empresas mencionadas en las descripciones, cuyas señas figuran en el anexo. La lista de empresas (proporcionada por el consultor) no es exhaustiva, y ni la omisión del nombre de una empresa ha de interpretarse como desaprobación de la misma ni debe su inclusión ser considerada como recomendación.

Todos los procesos aquí descritos se basan en el empleo de fosforita natural como materia prima. En el siguiente diagrama se indican, en forma general, las distintas etapas de elaboración de fosforita para fabricar fertilizantes:



Los minerales de fosfato predominantes en la fosforita son: fluoapatito, $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaF}_2$, e hidroxiapatito, $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$. Esos minerales proporcionan la mayor parte del componente de fósforo de los fertilizantes fabricados en el mundo entero. Sin embargo, la propia fosforita en polvo no sirve como fertilizante porque el fósforo que contiene no se halla en la forma hidrosoluble que permite su fácil asimilación por las plantas. Haciendo reaccionar el mineral con ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido nítrico (HNO_3) o ácido clorhídrico (HCl), se obtienen ácidos fosfórico y superfosfórico (H_3PO_4), importantes intermedios en la producción de fertilizantes fosfatados. Debido a sus especiales ventajas, la reacción con ácido sulfúrico es la más utilizada.

La combinación de nitrógeno (N) y de fósforo (P) en fertilizantes NP se consigue mediante procesos especialmente controlados que entrañan la adición al

ácido fosfórico de compuestos de nitrógeno tales como amoníaco (NH_3), urea (NH_2CONH_2) y ácido nítrico. Los fertilizantes que también contienen el tercer nutriente primario -potasio (K) se fabrican mediante la adición física a fertilizantes NP de compuestos tales como cloruro potásico (KCl) y sulfato potásico (K_2SO_4), granulando la mezcla para hacerla homogénea. Algunos tipos de estas mezclas de NPK también se obtienen mezclando a granel varios fertilizantes que contengan uno o más de los nutrientes.

Debido a la importancia del ácido sulfúrico en la fabricación de ácido fosfórico, y a la importancia del amoníaco por su aportación de nitrógeno a materiales fertilizantes, se describe aquí la fabricación del ácido sulfúrico, y en la publicación afín *Tecnologías de procesos para la fabricación de fertilizantes nitrogenados* se describen la del amoníaco.

Acido sulfúrico

Los tres métodos aquí descritos para la fabricación de ácido sulfúrico (H_2SO_4) tienen como punto de partida materias primas diferentes:

- Azufre elemental, incluido azufre recuperado por el proceso Frasch, azufre nativo refinado, o azufre recuperado de otras fuentes (por ejemplo, refinerías de petróleo). Entre los métodos más importantes figura el proceso de contacto;
- Minerales de sulfuro de hierro (piritas), mediante tostación;
- Sulfatos cálcicos, incluido yeso natural, por el método Müller-Kühne.

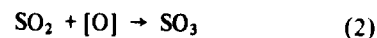
Proceso de contacto: versión normal

El azufre elemental utilizado como materia prima en el proceso de contacto tiene una pureza del 99,5%, y está libre de arsénico, cloruros y fluoruros; contiene menos del 0,25% de carbono. Se suministra a las plantas fundido o en forma aglomerada, y se quema en presencia de un exceso de aire seco. Se forma entonces dióxido de azufre:

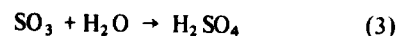


Los gases que contienen SO_2 se enfrían hasta $400^\circ-600^\circ C$ en una caldera de recuperación, y luego

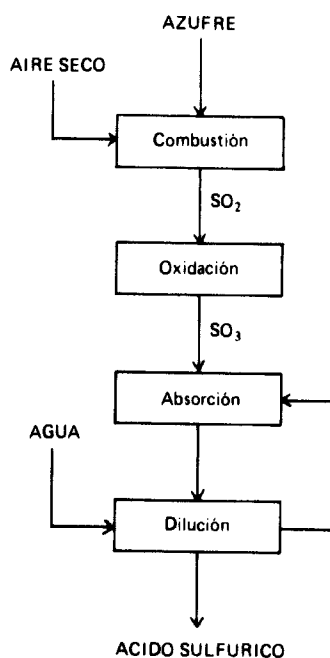
se los hace pasar sobre un catalizador de pentóxido de vanadio cargado en un convertidor, donde el SO_2 se oxida:



Los gases se envían, una vez enfriados, a una torre de absorción. Se recircula en la torre ácido sulfúrico a una concentración del 99%, absorbiéndose el SO_3 para producir ácido fuerte:



Al ácido fuerte se añade agua para restablecer la concentración original, y se extrae el ácido obtenido.



Fabricación de ácido sulfúrico a partir de azufre por el proceso de contacto

Los gases que no se absorben se expulsan a la atmósfera.

Se han ideado diversos sistemas para aumentar el grado de conversión de SO_2 en SO_3 . En uno de ellos, que es el de doble catalizador/doble absorción (DC/CA), se modifica la marcha del proceso de tal manera que, después de la segunda o tercera pasada por el convertidor, los gases son extraídos y pasan a través del absorbente para separar el SO_3 . Los gases restantes se recalientan y se les hace pasar, por última vez, sobre el catalizador, produciéndose entonces una nueva absorción. Este sistema permite un porcentaje de conversión más elevado (hasta del 99,5%-99,7%). El pentóxido de vanadio es un buen catalizador normalizado para la conversión de SO_2 , y gracias a él pueden lograrse conversiones de hasta un 99,9% en plantas de DC/DA.

Ventajas

Mayor porcentaje de conversión de SO_2 en SO_3 (99,9%)

Hace posible una mayor concentración de SO_2 en la entrada de la instalación, aumentando con ello en cierto grado la capacidad de la planta

Permite cumplir las normas contra la contaminación por los gases de la chimenea, debido a la baja concentración en ésta de óxidos de azufre no absorbidos

Inconvenientes

Elevado costo inicial de la planta

Propietarios del proceso

Farbenfabriken Bayer AG
Lurgi Chemie und Hüttentechnik GmbH
PEC-Engineering
Produits Chimiques Pechiney-Saint-Gobain
Ugine Kuhlmann SA

Licenciarios

Chemical Construction Corporation (Chemico)
Davy Powergas GmbH
Davy Powergas Ltd
Foster Wheeler Corporation
Friedrich Uhde GmbH
Heurtay Industries
Humphreys and Glasgow Ltd
Krebs et Cie SA
Lurbi Chemie und Hüttentechnik GmbH
Monsanto Enviro-Chem Systems, Inc.
Nissan Chemical Industries Ltd
Sim-Chem Division, Simon-Carves Ltd

Costo de plantas normales

Una planta con una capacidad de producción de 500 t/d suele costar unos 8 millones de dólares, incluidas las instalaciones de manutención y almacenamiento del azufre. Una planta de 1.000 t/d puede costar entre 12 y 14 millones de dólares, y entre 15 y 18 millones de dólares una planta de 1.500 t/d. El costo puede ser un 15% superior en el caso de plantas que utilicen el sistema DC/DA.

Proceso de contacto: versión de alta presión

El aire se comprime a 7 bar, se seca y vuelve a comprimirse a 2,2 bar antes de insuflarse en el horno. Los gases de salida del convertidor se hacen pasar por una caldera de recuperación, un convertidor, un economizador y un absorbente.

Ventajas

Elevada conversión (hasta un 99,8%)

Menor cantidad de óxidos de azufre expulsados por la chimenea

Inconvenientes

Se requiere energía adicional para la compresión, aunque parte de ella puede recuperarse en una turbina de expansión.

Propietario del proceso

Ugine Kuhlmann SA

Licenciario

Canadian Industries Ltd

Costo de una planta normal

Una planta de 650 t/d cuesta entre 14 y 16 millones de dólares.

Fabricación de ácido sulfúrico a partir de piritas

Grandes son las cantidades de ácido sulfúrico obtenido a partir de piritas (FeS_2) y pirrotita (FeS). Estos minerales contienen entre un 45%-46% y un 30%-32% de azufre, respectivamente.

El mineral se tritura y se tuesta en un horno vertical de varias soleras dotado de rastrillos. También puede tostarse en un calcinador de lecho fluidificado. El polvo y otras impurezas, como cloro, flúor y arsénico, se eliminan de los gases de salida mediante precipitadores y depuradores. El SO_2 se convierte en SO_3 y se absorbe en H_2SO_4 por el proceso de contacto (véase *supra*).

El óxido de hierro obtenido como subproducto de la operación de tostado se vende para la fabricación de hierro y acero, lo que reduce el costo de fabricación del ácido sulfúrico.

Ventajas

Evita el empleo de azufre elemental

Inconvenientes

Elevado costo inicial de la planta

Propietarios del proceso

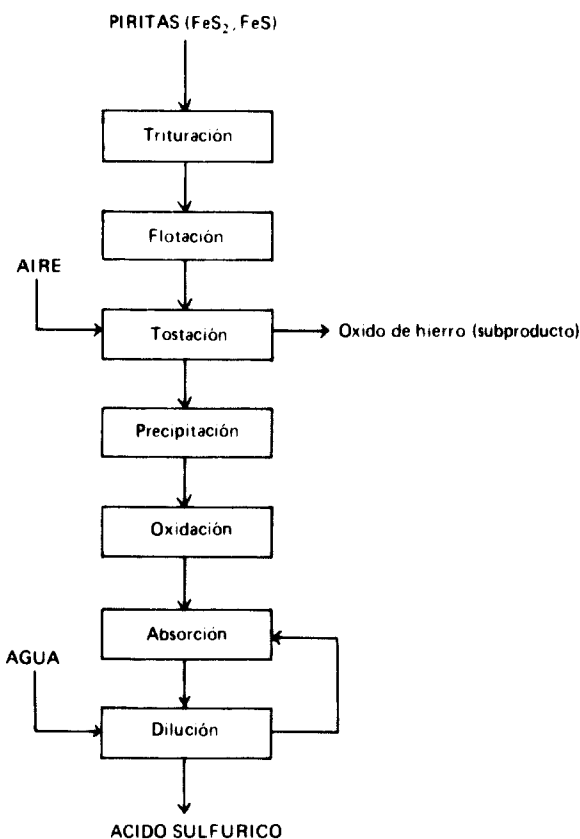
BASF Aktiengesellschaft
 Montedison SpA
 Outokumpu Oy

Licenciatarios

Ab Cellico
 Chemical Construction Corporation (Chemico)
 Haines and Associates, Inc.
 Jacobs Engineering Company
 The Lummus Company

Costo de una fábrica normal

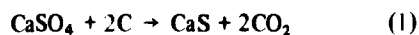
Una planta de 1.000 t/d puede costar alrededor de 20 millones de dólares.



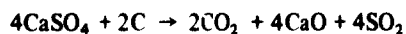
Fabricación de ácido sulfúrico a partir de piritas

Método Müller-Kühne

La fabricación de ácido sulfúrico a partir de sulfato cálcico (CaSO₄) por el método Müller-Kühne entraña las siguientes reacciones:



y puede representarse en general mediante la fórmula



La materia prima puede ser yeso natural (CaSO₄ · 2H₂O), anhidrita natural (CaSO₄), o yeso obtenido como subproducto en la fabricación de ácido fosfórico (véase más adelante). La reacción (1), en la cual se produce el compuesto intermedio CaS, tiene lugar a 700°C, y la reacción (2) a 900°C. La calcinación se efectúa en un horno rotatorio. El CaO reacciona con los aditivos, arcilla (Al₂O₃ · SiO₂) y Fe₂O₃, obteniéndose clínquer como resultado. Previa adición de yeso como retardador, el clínquer se muele para producir cemento. El SO₂ liberado durante la reacción se purifica y se convierte en ácido sulfúrico por el proceso de contacto (véase *supra*).

Ventajas

Permite utilizar diversas materias primas: anhídrida, yeso natural o yeso obtenido como subproducto

Este proceso no requiere, en general, azufre elemental

Bajo costo de fabricación

Inconvenientes

Elevado costo inicial

La calidad de la materia prima es de importancia crítica si se utiliza yeso obtenido como subproducto

Propietarios del proceso

Chemie Linz AG

Rhone-Poulenc Group

Licenciatarios

Büttner Scheide Hass GmbH

Fried. Krupp GmbH

Friedrich Uhde GmbH

Krebs et Cie SA

Sim-Chem Division, Simon-Carves Ltd

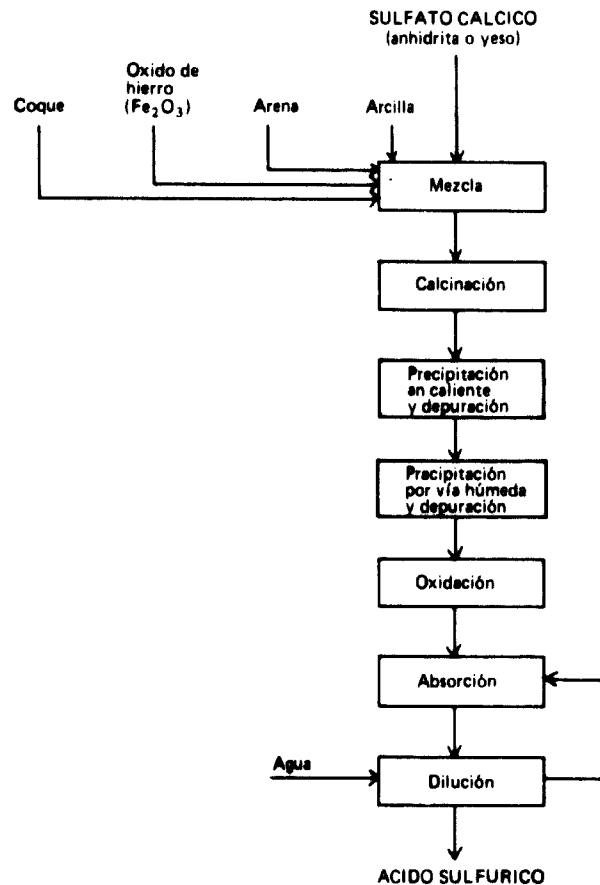
Société de Prayon

Swindell Dressler Company

VEB Chemieanlagenbau Magdeburg

Costo de una planta normal

Los gastos de inversión vienen a ser aproximadamente el doble del de una planta de fabricación de ácido sulfúrico a partir de azufre. El costo de una planta de 1.000 t/d es de unos 28 millones de dólares.

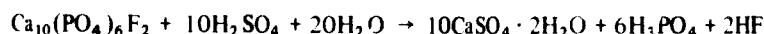


Fabricación de ácido sulfúrico a partir de sulfato cálcico por el método Müller-Kühne

Acido fosfórico

El ácido fosfórico (H_3PO_4), producto intermedio clave para la fabricación de todos los fertilizantes fosfatados, salvo el superfosfato simple y los nitrofosfatos, se obtiene a partir de fosforita. Los métodos de obtención pueden clasificarse en procesos de vía húmeda y térmicos; con estos últimos se obtiene un ácido de mayor pureza.

En los procesos de vía húmeda la fosforita es digerida con un ácido. La reacción con el ácido sulfúrico produce yeso y ácido fluorhídrico como subproductos:



La reacción en sí es rápida, pero los cristales de yeso se forman con bastante lentitud y el P_2O_5 tiende a quedar incluido en la red cristalina.

Los diversos procesos comerciales desarrollados tienen los siguientes objetivos básicos:

- Transferir la máxima cantidad de P_2O_5 de la fosforita al ácido que se desea obtener (en otras palabras, reducir al mínimo posible las pérdidas de P_2O_5 en la torta de yeso);
- Lograr que el ácido producido contenga el mayor porcentaje posible de P_2O_5 (45%-50% de P_2O_5);
- Obtener yeso como subproducto en forma adecuada para la filtración y de calidad aceptable para su ulterior empleo.

A continuación se describen siete procesos de vía húmeda, en uno de los cuales se utiliza ácido clorhídrico.

El proceso de horno eléctrico es el método térmico más importante para convertir en ácido fosfórico el fósforo contenido en la fosforita. En dicho proceso, la carga del horno está constituida por fosforita, coque y partículas de sílice. Al calentarse la carga, se produce la siguiente reacción:



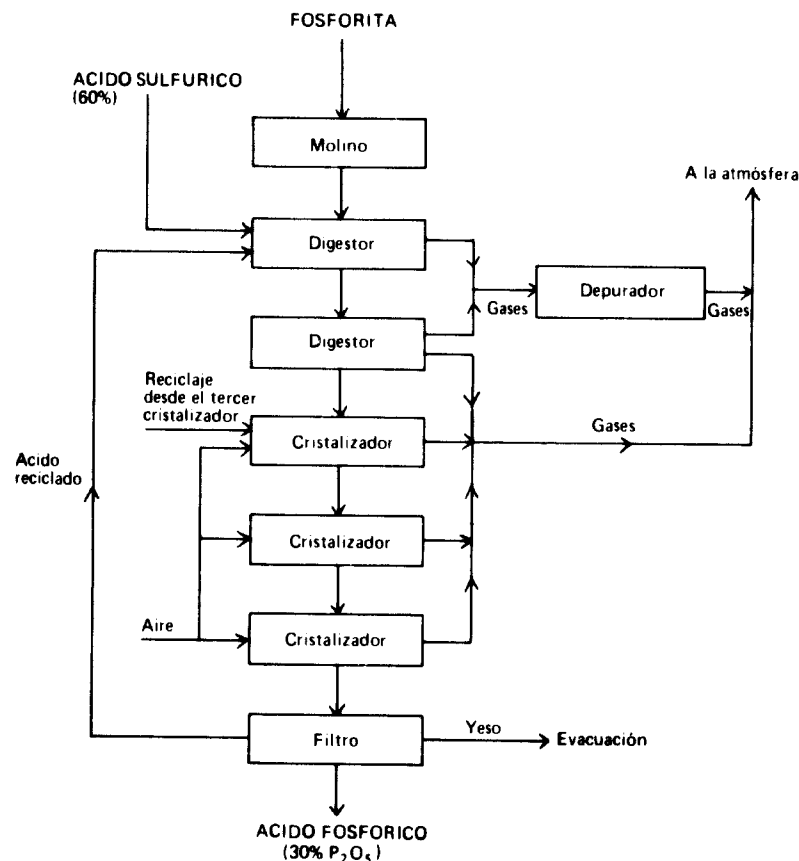
El resto del proceso es análogo al proceso de contacto para la fabricación de ácido sulfúrico: se quema el fósforo elemental y sus óxidos son absorbidos en agua.

El último método que se describe en esta sección es el proceso térmico de horno eléctrico.

Proceso Nissan hemihidrato-dihidrato (tradicional)

La fosforita (con un contenido del 75% de FCH, lo que es típico del mineral de Marruecos) reducida por molienda a un tamaño que permita el paso del 90% por un tamiz de malla 100, se introduce a una velocidad predeterminada, junto con ácido sulfúrico diluido a una concentración del 60%, en el primero de los dos digestores provistos de agitadores. La relación

entre el peso de la fosforita y el del ácido sulfúrico (100% H_2SO_4) es de 1,1-1,2, según la calidad de la primera. El ácido fosfórico débil procedente de la sección de filtración (extremo posterior de la planta) también se recicla al primer digestor, de donde la lechada o pasta semifluida pasa al segundo digestor. En los digestores se mantiene una temperatura de 90°-100°C. Estas condiciones favorecen el crecimiento de cristales de hemihidrato de sulfato cálcico ($CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$).



Fabricación de ácido fosfórico por el proceso Nissán de hemihidrato-dihidrato (tradicional)

La lechada de hemihidrato procedente del segundo digestor fluye hasta los tres cristalizadores en serie, en los que ya se hallan presentes cristales hidratados. La refrigeración se efectúa con aire para mantener una temperatura de 60°-65°C. En estas condiciones, los cristales de hemihidrato se disuelven, con lo que las inclusiones de fosfato son transferidas al ácido. Se deja pasar un tiempo suficiente para que los cristales de siembra crezcan, y la lechada en que está contenido el dihidrato (yeso, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) se envía a la sección de filtración o se recicla, en parte, al primer cristizador, a fin de mantener unas condiciones óptimas. La filtración se efectúa en un filtro de depósito basculante, y el ácido obtenido —es decir, el filtrado— tiene una concentración del 30%-32% de P_2O_5 . Este filtrado se envía a unos evaporadores para aumentar la concentración al 45%-54%. La torta resultante se lava dos veces por contracorriente en el mismo filtro, y se envía a las instalaciones pertinentes para su evacuación como desecho o para su ulterior utilización. Los gases efluentes de los digestores se lavan en un depurador para eliminar el flúor, y los gases depurados se expulsan a la atmósfera en unión de los gases procedentes de los cristalizadores.

Ventajas

Este proceso es de probada eficacia, y se utiliza en más de 20 plantas de distintos países del mundo

Lechada de yeso con buenas propiedades de filtración y problemas de incrustación mínimos
Torta de yeso de buena calidad con un contenido de 0,3% de P_2O_5

El coeficiente de recuperación de P_2O_5 llega al 98%

Inconvenientes

En la mayor parte de los casos es preciso moler la fosforita (lo que supone un consumo de 15 kWh por tonelada de ésta) y se requiere una mayor concentración (al 30%-32%) del ácido obtenido. Ello significa una mayor inversión de capital y mayores gastos de explotación

Propietarios del proceso

Fisons Ltd, Fertilizer Division
Mitsubishi Chemical Industries Ltd
Nissan Chemical Industries Ltd

Licenciatarios

Friedrich Uhde GmbH
 Mathew Hall Engineering Ltd
 PEC-Engineering
 Sim-Chem Division, Simon Carves Ltd

Costo de una planta normal

Los gastos de inversión de una planta de 150 t/d de P_2O_5 (alrededor de 280 t/d de ácido con un 54% de P_2O_5) ascienden a 8 millones de dólares, aproximadamente. Esta cifra comprende el importe de las instalaciones de molienda del mineral, de vacuoconcentración e instalaciones auxiliares necesarias (vapor, gas, electricidad, agua, tratamiento de residuos, etc.); no comprende en cambio, el importe de las de producción de ácido sulfúrico. Las plantas de 300 y 600 t/d, sobre una base análoga, pueden costar entre 13 y 17 millones de dólares. Una planta de 2 x 1.000 t/d puede costar entre 43 y 44 millones de dólares.

Proceso Fisons al hemihidrato

El primero de los dos reactores se alimenta con fosforita sin moler (generalmente con un 73%-75% de FCH) capaz de pasar en su totalidad por un tamiz de la malla 10. En dicho reactor, la fosforita se mezcla con lechada recirculada desde el segundo reactor y que pasa por un refrigerador rápido donde se controla su temperatura. La lechada rebosa del primer reactor y pasa al segundo. Se introduce ácido sulfúrico a una concentración del 93% en el segundo reactor. Ambos reactores están dotados de agitadores de paletas, y en su parte interior hay pantallas que aseguran una mezcla eficaz. La temperatura se mantiene en los reactores a 98°-102°C, y el SO_4 libre del segundo reactor se mantiene al 1,8%-2,2% ajustando el ácido sulfúrico y el reflujo de ácido del filtro a este reactor. La lechada rebosa del segundo reactor y va a parar al tanque de alimentación del filtro. A continuación es bombeada a un filtro de vacío horizontal de depósito basculante, con objeto de separar los cristales de hemihidrato ($CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$). El ácido obtenido, con una concentración del 50% de P_2O_5 , se extrae en la filtración de la primera etapa; parte de este ácido se recicla al segundo reactor junto con el filtrado de las etapas subsiguientes; el resto del ácido se almacena para su ulterior utilización.

Los gases que se desprenden de los reactores y del tanque de alimentación del filtro se lavan en un depurador, a fin de eliminar los fluoruros antes de su descarga a la atmósfera, a la que también se expulsan los gases depurados procedentes del refrigerador rápido.

Ventajas

Elevada concentración (entre un 44% y un 52% de P_2O_5) del ácido obtenido; no requiere concentración ulterior y puede utilizarse directamente en otras operaciones
 Permite utilizar fosforita gruesa sin moler
 Bajo costo inicial de la planta

Inconvenientes

Bajo coeficiente de recuperación de P_2O_5 (entre un 93% y un 94%), lo que supone un aumento de los gastos de explotación

Propietario del proceso

Fisons Ltd, Fertilizer Division

Licenciatarios

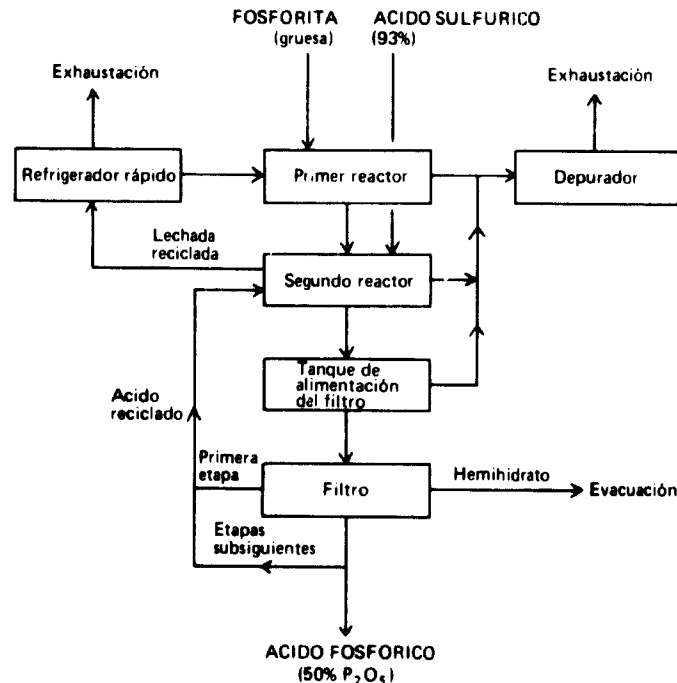
Davy Powergas Ltd
 Foster Wheeler Corporation
 Humphreys and Glasgow Ltd
 Lurgi Chemie und Hüttentechnik GmbH

Costo de una planta normal

Los gastos de inversión de una planta de 150 t/d de P_2O_5 (aproximadamente, 280 t/d de ácido con un 54% de P_2O_5) ascienden a 7 millones de dólares, cifra en la que no está incluido el importe de instalaciones de producción de ácido sulfúrico. Las plantas de 300 a 600 t/d cuestan, sobre una base análoga, entre 12 y 15 millones de dólares. Una planta de 2 x 1.000 t/d puede costar de 38 a 40 millones de dólares.

Proceso clásico de Prayon al dihidrato

En el proceso clásico de Prayon, los principales elementos del equipo son: molinos de fosforita, reactor, refrigerador de ácido sulfúrico, filtro, refrigerador rápido, sistema de reciclaje de la lechada y depurador de humos. El reactor posee muchos compartimentos separados por pantallas y provistos de agitadores. En el primer compartimento se introduce fosforita (generalmente con un 75% de FCH), reducida por molienda a un tamaño que permita el paso del 60% por un tamiz de malla 200. En los tres primeros compartimentos se introduce ácido sulfúrico diluido a una concentración del 50%-60%. La lechada fluye de un compartimento a otro, por encima o por debajo de las pantallas. En el reactor, la temperatura se mantiene a 70°-80°C mediante refrigeración rápida de la lechada procedente del penúltimo compartimento y reciclaje de parte de la misma al primer compartimento. El resto de la lechada va a parar al tanque de retención, de donde pasa a un filtro clásico (Prayon, de depósito basculante). El ácido obtenido, a una concentración



Fabricación de ácido fosfórico por el proceso Fisons al hemihidrato

del 30%-32%, se recoge de la primera sección del filtro y se envía al evaporador para concentrarlo al 45%-54%. La lechada de yeso es evacuada.

El proceso Prayon clásico ha sido perfeccionado recientemente, mejorando la agitación y el colector de vacío del filtro Prayon, e incorporando la posibilidad de utilizar fosfonita más gruesa y ácido concentrado directamente (eliminándose con ello el refrigerador). Este proceso, denominado "proceso Prayon convertible", también es un proceso al dihidrato. En él, la calidad del yeso puede mejorarse incorporando unos cuantos elementos de equipo a un pequeño costo adicional, con lo cual, según se afirma, se consigue además un aumento del 25% en la capacidad de la planta.

Ventajas

- Se trata de un proceso sencillo de probada eficacia
- Bajo costo inicial

Inconvenientes

- Baja concentración del ácido obtenido (28%-32%)
- Bajo coeficiente de recuperación de P_2O_5 (95%-96%)
- La calidad del yeso no es apropiada para la fabricación de cemento o de paneles para muros

Propietarios del proceso

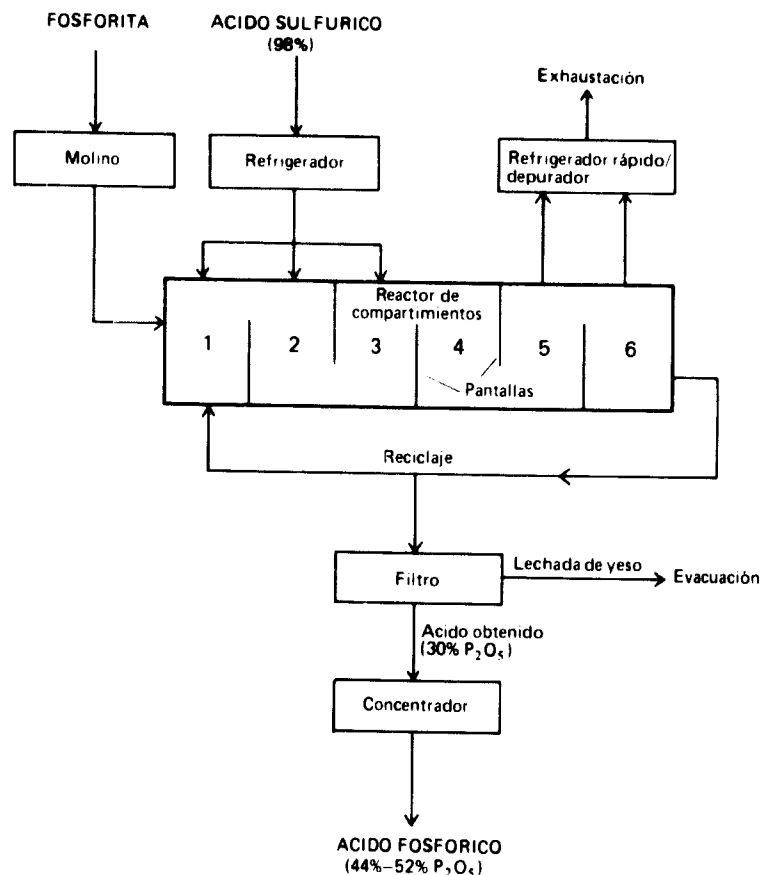
Jacobs Engineering Company
 Produits Chimiques Pechiney-Saint-Gobain
 Société de Prayon SA

Licenciatarios

Coppée-Rust SA
 Davy Powergas, Inc.
 The Fertilizers and Chemicals, Travancore Ltd
 Sim-Chem Division, Simon-Carves Ltd

Costo de una planta normal

Los gastos de inversión de una planta de 150 t/d de P_2O_5 (alrededor de 280 t/d de ácido con un 54% de P_2O_5) supondrán unos 8 millones de dólares. Esta cifra comprende el importe de las instalaciones de molienda de mineral y de concentración, así como el de las instalaciones auxiliares necesarias, pero no el de las de producción de ácido sulfúrico. Las plantas de 300 y 600 t/d, sobre una base análoga, pueden costar entre 13 y 17 millones de dólares. Una planta de 2 x 1.000 t/d costará 42 millones de dólares aproximadamente.



Fabricación de ácido fosfórico por el proceso Prayon al dihidrato

Proceso Central Glass/Prayon (dihidrato-hemihidrato)

El Central Glass/Prayon es un proceso singular, pues sigue la vía del dihidrato recristalizado al hemihidrato. Los principales elementos de equipo son: un reactor acidulador de varios compartimentos, molinos de fosforita, una centrifugadora, cristalizadores de hemihidrato, un filtro Prayon, un refrigerador rápido y un concentrador. La fosforita (75% FCH), moderadamente molida (un 60% de ella puede pasar por un tamiz de malla 100), se acidula en el reactor con ácido sulfúrico al 98%. En el reactor, la temperatura se controla a 70°-80°C mediante evaporación instantánea de la lechada. La lechada del reactor se centrifuga, y el ácido obtenido, a una concentración del 30%-35%, se hace pasar a la fase de evaporación, con objeto de aumentar su concentración al 48%-52%. La torta de la centrifugadora (dihidrato $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) se envía al recristalizador, donde se añade ácido sulfúrico adicional con vapor de caldeo. El exceso de ácido de una concentración del 10%-15% y la temperatura de 85°C permiten la cristalización del hemihidrato $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$. La

lechada se envía al filtro Prayon, y el licor de lavado de dicho filtro, en forma de ácido débil, se devuelve a la primera etapa de reacción para mejorar la recuperación de P_2O_5 . La hemitorta del filtro se retira para su evacuación o ulterior utilización.

Ventajas

Elevado coeficiente de recuperación de P_2O_5 (98%-99%)

Yeso de buena calidad, aprovechable para distintos usos

Inconvenientes

Es preciso concentrar más el ácido obtenido (33%-35%)

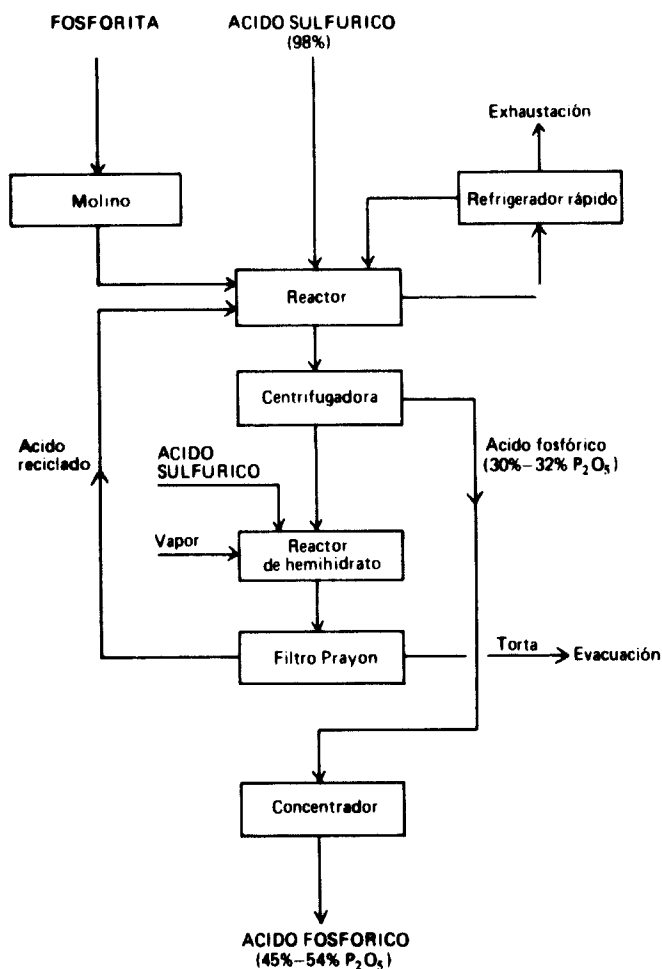
Mayores gastos de capital

Es necesario moler algo la fosforita

Limitada experiencia operativa con distintas clases de fosforita

Propietario del proceso

Société de Prayon SA



Fabricación de ácido fosfórico por el proceso Central Glass/Prayon

Licenciarios

Coppée-Rust SA
 Davy Powergas, Inc.
 The Fertilizers and Chemicals, Travancore Ltd
 Sim-Chem Division, Simon-Carves Ltd

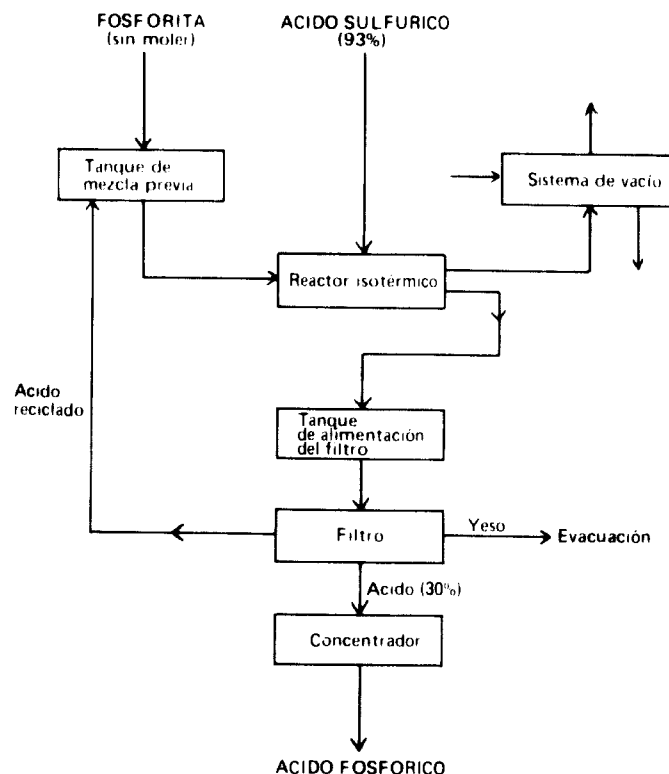
Costo de una planta normal

Los gastos de inversión de una planta de 150 t/d de P_2O_5 (alrededor de 280 t/d de ácido con un 54% de P_2O_5) pueden ser de 8 a 9 millones de dólares. Esta cifra comprende el importe de las instalaciones de molienda del mineral y de concentración, así como el de las instalaciones auxiliares necesarias, pero no el de las de producción de ácido sulfúrico. Las plantas de 300 y 600 t/d pueden costar, sobre una base análoga, entre 14 y 18 millones de dólares. Una planta de 2×1.000 t/d costará 44 millones de dólares aproximadamente.

Proceso isotérmico Gulf Design (dihidrato)

El proceso isotérmico Gulf Design, desarrollado en los últimos 12 ó 15 años, utiliza como equipo principal un tanque de mezcla previa, un reactor isotérmico sencillo del tipo tubo de aspiración, un sistema de vacío, un tanque de alimentación del filtro y un filtro.

La fosforita sin moler (Florida, 72%-75% FCH) se mezcla con ácido de retorno del filtro en el tanque de mezcla previa y se bombea después en forma de lechada al reactor isotérmico situado en la parte inferior. El reactor consiste en un tubo de aspiración situado en su centro y en un dispositivo de gran capacidad que hace circular la lechada, y que, girando a unas 40 rpm, la envía por el tubo de aspiración. En el reactor, sobre el nivel de la lechada, se pulveriza ácido sulfúrico puro a una concentración del 93%. Todo el reactor se mantiene al vacío mediante un sistema eyector de vapor, y por tanto, la lechada circulante se halla expuesta al vacío de modo



Fabricación de ácido fosfórico por el proceso isotérmico Gulf Design

continuo. El calor de reacción generado en el reactor y el calor de dilución del ácido se evacúan constantemente por medio del sistema de vacío. Parece ser que con este sistema de reactor-circulación la diferencia de temperatura máxima en todo el recipiente del reactor nunca excede de 0,3°C. La lechada del reactor, extraída cerca del nivel de salida del tubo de aspiración, fluye hasta el tanque de alimentación del filtro, y de allí al filtro propiamente dicho. El ácido obtenido, de una concentración de alrededor del 30%, se hace pasar a la sección de concentración y después al depósito, devolviéndose el ácido débil al tanque de mezcla previa; el yeso es evacuado.

Ventajas

- Bajos gastos de capital
- Requiere poca energía
- Poca contaminación atmosférica

Inconvenientes

- Baja concentración del ácido obtenido (alrededor del 30% de P₂O₅), por lo que se precisa una nueva operación de concentración
- Limitada experiencia con distintas clases de fosforita

La calidad del yeso no es lo bastante adecuada para la fabricación de cemento o de paneles para muros

Propietario del proceso

Whiting Corporation, Swenson Division

Licenciatario

Gulf Design Company, Division of the Badger Company, Inc.

Costo de una planta normal

Los gastos de inversión de una planta de 300 t/d vienen a ser de unos 11 millones de dólares, y de aproximadamente 15 millones de dólares el de una planta de 600 t/d. Esas cifras comprenden el importe de las instalaciones de molienda del mineral y de concentración, así como el de las necesarias instalaciones auxiliares, pero no el de las de producción de ácido sulfúrico. Una planta de 2 x 1.000 t/d puede costar entre 35 y 38 millones de dólares.

Proceso Dorr Oliver de elevado rendimiento y gran concentración

El proceso Dorr Oliver consiste en la digestión de fosforita en recipientes de varios tanques a elevada temperatura, con ácido sulfúrico al 93%-98% y a una elevada concentración de P_2O_5 ; en estas condiciones se forman cristales de hemihidrato ($CaSO \cdot \frac{1}{2}H_2O$). La temperatura se mantiene alrededor de los $80^{\circ}-85^{\circ}C$ mediante el uso de un refrigerador rápido y el reciclaje del filtrado resultante en la filtración de la segunda etapa (etapa del dihidrato). El ácido concentrado se separa en el filtro de la primera etapa sin lavar la torta. Los cristales de hemihidrato se hacen pasar a reactores de recristalización, donde se añade ácido sulfúrico para solubilizar el P_2O_5 coprecipitado de la torta. Dichos reactores son de varios tanques o de uno solo. El calor de hidratación se disipa mediante refrigeración rápida. La lechada se bombea entonces al filtro de la segunda etapa y el filtrado se recicla hasta el reactor de la primera, expulsándose al torta de dihidrato.

Una importante mejora introducida en el equipo utilizado en este proceso es el filtro de depósito doble, pues en una parte del ciclo permite filtrar la torta de hemihidrato y en la otra, el dihidrato. Tras la separación de éste, el depósito vacío se lava por medio de una corriente inversa de agua a alta presión, con objeto de limpiar la tela y eliminar las incrustaciones.

Dorr ha introducido una novedad en este proceso: la adición de fosforita al ácido obtenido para precipitar el ácido libre. El primero se deja sedimentar, y el segundo se envía a las instalaciones correspondientes para su ulterior utilización. Los lodos sedimentados se devuelven a la sección del hemihidrato, a fin de recuperar P_2O_5 .

Ventajas

- Acido de elevada concentración (45% de P_2O_5)
- Elevado coeficiente de recuperación de P_2O_5 (98,0%-98,5%)
- Yeso de calidad adecuada para la fabricación de cemento y de paneles para muros

Inconvenientes

- Elevado costo inicial de la planta
- Limitada experiencia operativa con fosforitas distintas del apatito de Kola
- Se han comunicado problemas, en la sección de filtración, relacionados con la torta de hemihidrato

Propietarios del proceso

- Dorr Oliver, Inc.
- Fisons Ltd, Fertilizer Division

Kemira Oy
Nissan Chemical Industries Ltd
Singmaster and Breyer

Licenciario

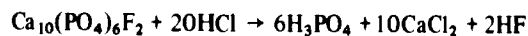
Jacobs Engineering

Costo de una planta normal

Los gastos de inversión de una planta de 150 t/d de P_2O_5 (alrededor de 280 t/d de ácido con un 54% de P_2O_5) vienen a ser de unos 11 millones de dólares. Esta cifra comprende el importe de las instalaciones de molienda del mineral y de vacuoconcentración, así como el de las instalaciones auxiliares necesarias, pero no el de las de producción de ácido sulfúrico. Las plantas de 300 y 600 t/d, sobre una base análoga, pueden costar entre 14 y 18 millones de dólares. Una planta de 2×1.000 t/d puede costar 46 millones de dólares.

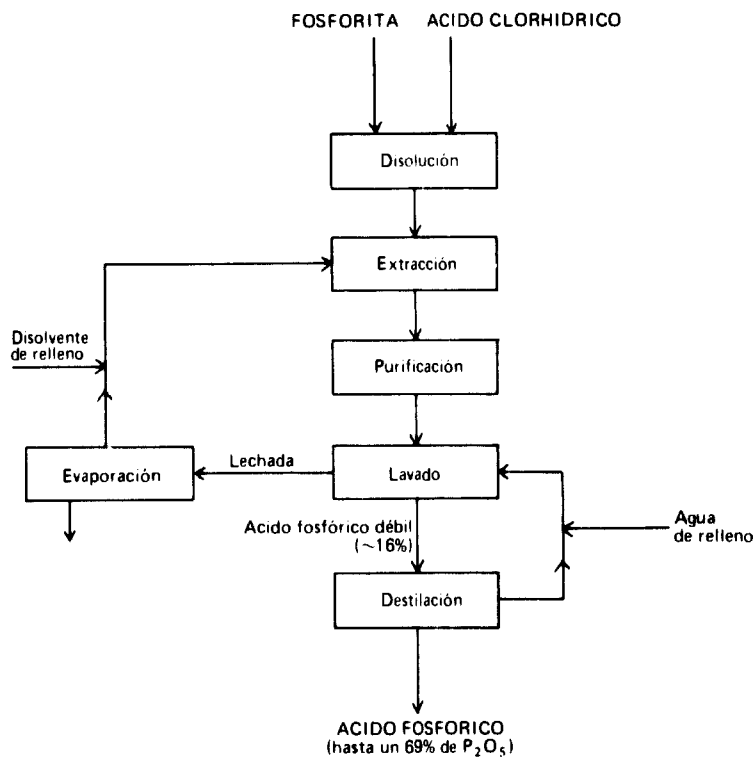
Proceso de extracción con ácido clorhídrico

Haciendo reaccionar fosforita con ácido clorhídrico, se obtiene una mezcla de ácido fosfórico y de cloruro cálcico:



Como el ácido fosfórico y el cloruro cálcico están disueltos, no pueden separarse por medios físicos como la filtración, la centrifugación y la cristalización, debiendo recurrirse para ello a la extracción con disolventes. Los disolventes más comúnmente utilizados son los alcoholes butílico, amílico o isoamílico.

La fosforita y el ácido clorhídrico concentrado se mezclan, enviándose la solución resultante al depósito de extracción, en el que también se introduce el disolvente. A dicho disolvente se transfieren la mayor parte del ácido fosfórico, exceso de ácido clorhídrico y algo de cloruro cálcico. Parte de este último, se separa en el purificador siguiente, de donde el licor pasa a la etapa de lavado; en ésta se utiliza agua para extraer del licor el ácido fosfórico. La lechada va a parar al evaporador, donde el disolvente se extrae por destilación. El disolvente destilado obtenido en esta etapa está prácticamente libre de ácido. La solución acuosa que sale de la etapa de lavado contiene H_3PO_4 (16% de P_2O_5), HCl y un poco de disolvente. Esta solución se concentra, por destilación, al 69% de P_2O_5 , a fin de obtener el producto deseado. El ácido clorhídrico y la mayor parte del agua se hacen hervir y vuelven a la etapa de lavado. El disolvente libre de ácido extraído por evaporación se condensa y se recicla al extractor.



Fabricación de ácido fosfórico por el proceso de extracción con ácido clorhídrico

Ventajas

Se obtiene un ácido de gran pureza, casi comparable al fabricado por el proceso térmico
 Se utiliza ácido clorhídrico en lugar de ácido sulfúrico
 Elevado coeficiente de recuperación de P₂O₅ (98%)

Inconvenientes

Baja concentración del ácido obtenido (alrededor del 16%), por lo que se precisa una nueva operación de concentración
 Es necesaria una planta próxima de clorohidróxido sódico para la obtención de ácido clorhídrico
 La experiencia operativa de este proceso no es extensa

Propietario del proceso

IMI—Institute for Research and Development

Licenciatario

Davy powergas, Inc.

Costo de una planta normal

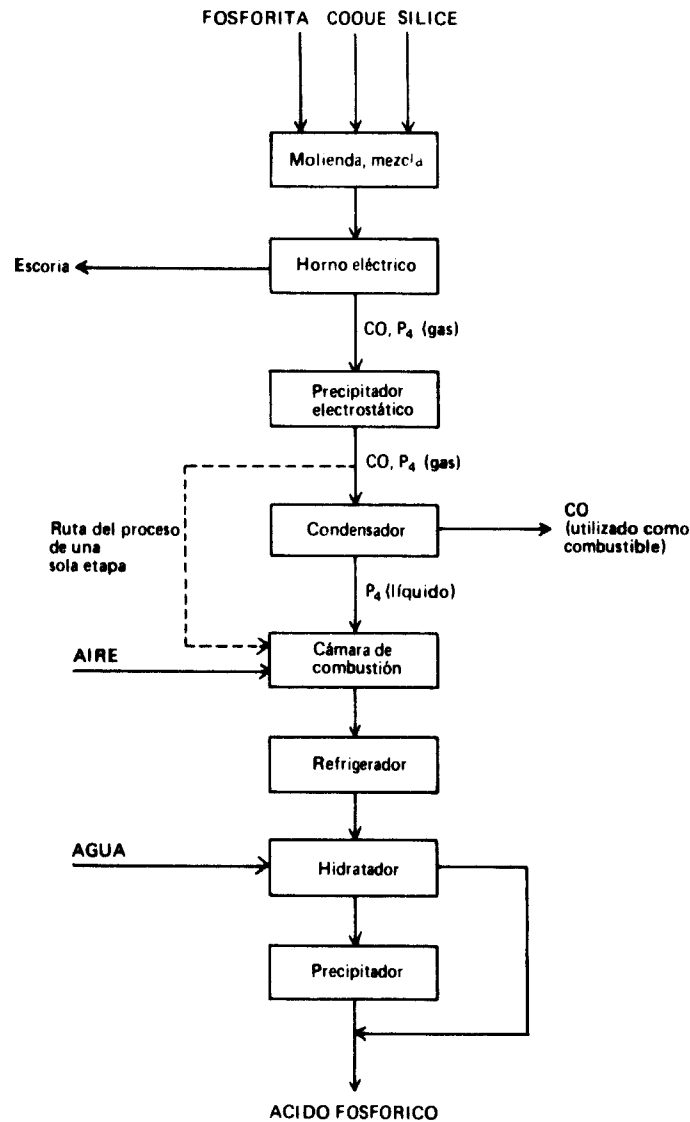
Los gastos de inversión de una planta de 150 t/d de P₂O₅, incluidas instalaciones de concentración e

instalaciones auxiliares, pero sin contar instalaciones de producción de ácido clorhídrico, pueden ser de 8 millones de dólares. Las plantas de 300 y 600 t/d de P₂O₅, sobre una base análoga, pueden costar entre 13 y 17 millones de dólares. Una planta de 2 x 1.000 t/d costará unos 42 millones de dólares.

Proceso de horno eléctrico

La carga de los hornos eléctricos se compone de fosforita, coque y sílice, y se dosifica de modo que la relación SiO₂/CaO sea de 0,8 a 1,2, y la relación P₂O₅/C de 2,3 a 2,6. En el horno se cargan solamente las partículas de tamaño apropiado, a fin de disponer de un lecho poroso. Si es necesario, se muele la fosforita hasta un grado de finura que permita el paso de un 75% por un tamiz de malla 0,1 mm, y con este material se forman pélets por medio de un aglomerante.

El horno puede ser de dos tipos: rectangular, con tres electrodos de carbón dispuestos en línea, o triangular, también con tres electrodos de carbón. Los productos gaseosos desprendidos durante la fusión de la masa se hacen pasar por precipitadores y por el condensador refrigerado por agua, en el que se licúa el vapor de fósforo. Los gases no condensados (en su mayor parte monóxido de carbono) se utilizan como combustible en la sección de secado de la fosforita.



Fabricación de ácido fosfórico por el proceso de horno eléctrico

El fósforo líquido así obtenido se quema en la cámara de combustión en presencia de aire, y los gases se enfrían, se transforman por hidratación en ácido fosfórico y se recogen. La combustión del fósforo y su posterior absorción pueden realizarse en un recipiente, en el que la llama de la cámara de combustión está rodeada de ácido fosfórico que fluye paredes abajo. Parte del P_2O_5 resultante va a parar al ácido, con lo que éste se concentra al descender por la pared hasta el colector de ácido, al cual se le añade agua dulce con objeto de ajustar la concentración. En otros procesos, los gases de combustión se envían a un refrigerador de gas, donde, mediante pulverización de agua, se hace descender su temperatura a 180°C aproximadamente. Los gases pasan después al hidratador, en el que son tratados con agua y ácido

fosfórico débil para obtener el ácido deseado, a una concentración de hasta el 69%.

Ventajas

- Acido de gran pureza con bajo contenido de sólidos y de metales
- Elevada concentración de P_2O_5
- Acido adecuado para la fabricación de productos químicos muy puros
- La calidad de la fosforita no tiene importancia crítica

Inconvenientes

- Sólo son económicamente viables las plantas de 500 t/d o mayores

Elevado consumo de energía eléctrica
Elevados costos de capital

Propietarios del proceso

Albright and Wilson Ltd
Kaltenbach et Cie SA
Montedison SpA
Pierrefitte-Auby SA
Tennessee Valley Authority

Licenciatarios

COCEI
Davy Powergas Ltd
Foster Wheeler Corporation
Friedrich Uhde GmbH
Gulf Design Company, Division of the Badger
Company Inc.

H. K. Ferguson Company, Inc.
Kaltenbach et Cie SA
The Lummus Company
Lurgi Chemie und Hüttentechnik GmbH
Monsanto Enviro-Chem Systems, Inc.
Occidental Chemical Company
Société Produits Chimiques et Synthesis SA

Costo de una planta normal

El costo de una planta de 200 t/d de P_2O_5 puede ser de 18 a 20 millones de dólares, incluidos los medios de manutención y almacenamiento de la fosforita, así como las instalaciones de combustión del fósforo; una planta de 300 t/d puede costar de 25 a 27 millones de dólares, y entre 38 y 42 millones de dólares una planta de 2 x 300 t/d.

Acido superfosfórico

El ácido superfosfórico contiene entre un 72% y un 83% de P_2O_5 , en tanto que la concentración de P_2O_5 del ácido fosfórico de vía húmeda sólo es del 54%. Respecto de este último, supone, pues, la ventaja de que los costos de transporte son menores, factor importante si se ha de enviar al extranjero por vía marítima. El ácido superfosfórico posee buenas propiedades secuestrantes para mantener en disolución lodos que contengan hierro y alúmina, así como ciertos micronutrientes, tales como magnesio, cobre y zinc.

El ácido superfosfórico formado a partir de ácido fosfórico de vía húmeda se utiliza para fabricar fertilizantes líquidos de gran concentración de la calidad 8-27-0. Si se le hace reaccionar con fosforita, puede producirse superfosfato triple con un 54% de P_2O_5 . Este superfosfato puede fabricarse en forma de gránulos, y casi todo el P_2O_5 será hidrosoluble.

El ácido superfosfórico se produce deshidratando ácido fosfórico obtenido por vía húmeda o por el proceso de horno eléctrico. Con el ácido de vía húmeda puede conseguirse una concentración final del 68%-72%, y del 75%-83% si se emplea ácido de horno eléctrico. En esta sección se describirán dos métodos pertenecientes al primer proceso: combustión sumergida y concentración al vacío. El método de concentración de ácido de horno eléctrico fue desarrollado por la Tennessee Valley Authority (TVA), y puede utilizarse sin necesidad de abonar derechos por concepto de "know-how".

Concentración de ácido de vía húmeda

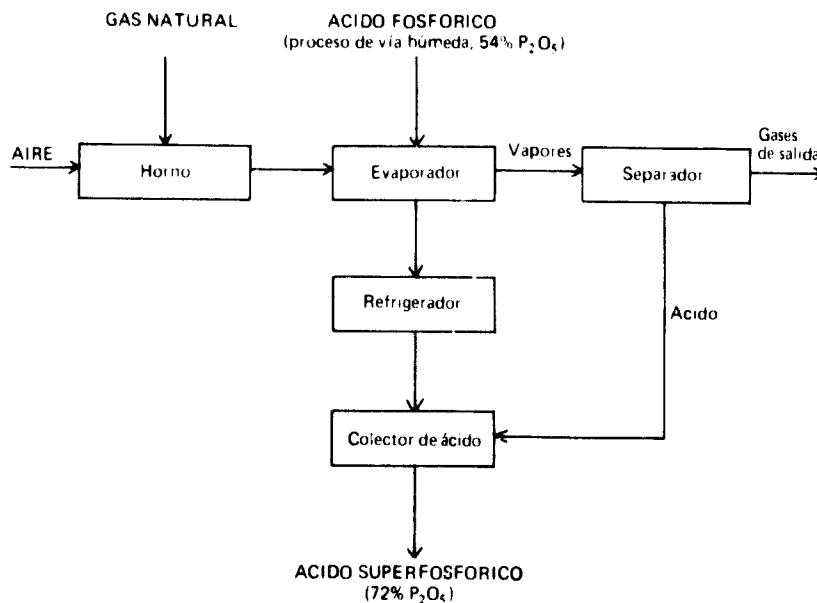
En el método de combustión sumergida, los gases calientes obtenidos quemando combustible en un horno se hacen pasar a un evaporador alimentado con ácido fosfórico de vía húmeda. El ácido concentrado se extrae del evaporador y se enfría antes de ser enviado al colector y, posteriormente, al depósito. El quemador puede ser de distintos tipos: o bien los gases calientes procedentes del horno se hacen pasar a través de ácido de vía húmeda, o bien a los gases de salida del quemador se les pone inmediatamente en contacto con el ácido. El ácido obtenido se envía al depósito de almacenamiento. Los gases de salida del evaporador pasan por unos separadores, en los que se separa el líquido arrastrado. En el evaporador debe mantenerse un flujo mínimo con objeto de impedir que se formen sólidos en la zona de combustión y de evitar al mismo tiempo pérdidas excesivas por arrastre.

Comercialmente se utilizan dos procesos de concentración al vacío; uno de ellos se basa en el empleo de una película descendente, y el otro, en el de un evaporador de circulación forzada.

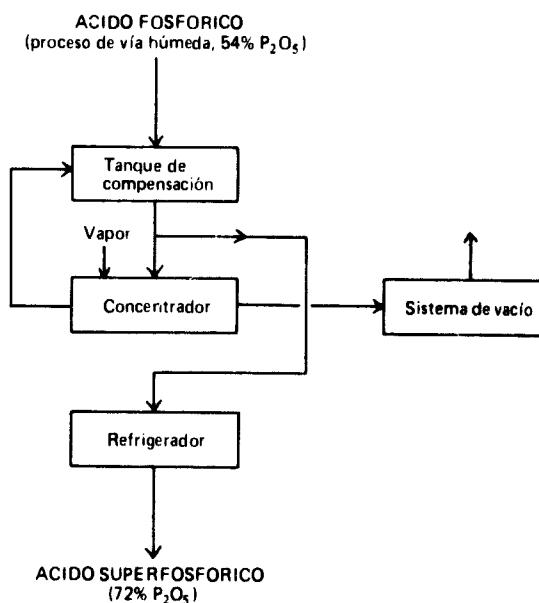
En el primero, se bombea ácido clarificado (54% de P_2O_5) a la parte superior del haz tubular del

evaporador de película descendente. Con una serie de eyectores de vapor se mantiene el vacío en el lado del tubo. El líquido es distribuido por los tubos y vaporizado por el vapor que se condensa en el lado del envolvente a medida que desciende la película de líquido. El ácido concentrado fluye a un separador y después a un tanque de reciclaje, del que se extrae el ácido producido. El resto del líquido se recircula una vez mezclado con nuevo líquido de relleno.

El sistema evaporador de circulación forzada consiste en un haz tubular calentado por el lado del envolvente, un depósito condensador y un sistema eyector para mantener el vacío. El ácido de alimentación se bombea, después de clarificado, hasta el lado del tubo del intercambiador de calor, en unión del fluido reciclado después del depósito condensador-separador. Sobre los tubos sumergidos se mantiene una carga hidrostática suficiente para impedir la ebullición dentro de los mismos. El líquido empieza a hervir cuando se eleva su nivel en el haz tubular y entra en la zona de vapor. Los vapores se elevan hasta la superficie, desprendiéndose entonces y pasando al condensador. Las partículas de ácido separadas caen al fondo del condensador y son recogidas por la bomba de recirculación. El ácido producido se extrae de esta corriente, a la que se añade ácido nuevo y se devuelve al haz tubular.



Fabricación de ácido superfosfórico por combustión sumergida



Fabricación de ácido superfosfórico por concentración al vacío

Ventajas

- El ácido obtenido es de gran concentración (hasta de un 72% de P_2O_5)
- El sistema de evaporación al vacío entraña menores pérdidas por arrastre que el sistema de combustión sumergida
- El primero de estos sistemas permite depurar los humos con facilidad

Inconvenientes

- En el sistema de combustión sumergida pueden plantearse problemas de formación de sólidos, corrosión e incrustaciones, que limitarán la capacidad de la planta
- En el sistema de evaporación al vacío, la capacidad de la planta depende mucho del grado de vacío que se consiga

Propietarios del proceso

Albright and Wilson Company
 Azote et Produits Chimiques (APC) SA
 Produits Chimiques Pechiney-Saint-Gobain
 Struthers Scientific and International Corporation
 Swenson Evaporator Company
 Tennessee Valley Authority

Licenciarios

A. P. V. Kestner Ltd
 Collier Carbon and Chemical Corporation
 Davy Powergas Ltd
 Gulf Design Company
 Hitachi Zosen
 The M. W. Kellogg Company
 Occidental Chemical Company
 Société de Prayon SA
 Struthers Scientific and International Corporation
 Submerged Combustion (Engineering) Ltd
 Wellman Incandescent Ltd
 Woodall-Duckham Ltd

Costo de una planta normal

Una planta de 100 t/d puede costar alrededor de 1,4 millones de dólares, y una de 200 t/d, 2,0 millones de dólares.

Concentración de ácido de horno eléctrico

En el proceso de horno eléctrico, el ácido obtenido puede transformarse por concentración en ácido superfosfórico en la misma etapa de hidratación, cuando se tratan con agua los gases de salida de la cámara de combustión desprendidos al quemarse el fósforo. En la práctica, esto se efectúa disminuyendo la entrada de agua al hidratador; sin embargo, como esto hace aumentar la temperatura del mismo, existe un límite más allá del cual no puede disminuirse dicha entrada. Este límite depende mucho de la capacidad de refrigeración que tenga el sistema de recirculación de ácido del hidratador.

La TVA ha publicado información en la que describe este sistema, que consiste principalmente en cámaras de combustión, hidratador, refrigerador del ácido obtenido y depurador de Venturi, así como de una torre de separación. El equipo esencial es de acero inoxidable 316 ELC. La cámara de combustión es un recipiente sin revestimiento, enfriado por fuera con agua circulante. El aire necesario para la combustión se suministra mediante ventiladores centrífugos. Durante la combustión se forma en el interior de la cámara una capa de ácido polifosfórico sólido o semisólido que protege a la pared metálica contra la corrosión. La parte exterior del hidratador es enfriada mediante camisas de agua, mientras que la parte interior es protegida por una película en movimiento de fluido reciclado y enfriado. El ácido producido se extrae del tanque de alimentación de ácido de recirculación. Al hidratador también se hace llegar ácido débil pulverizado procedente de la torre de separación, en la cual se depuran los gases de salida del hidratador separando los gases de óxido de fósforo. Por este sistema se viene produciendo ácido fosfórico a una concentración del 66%-83% de P_2O_5 .

Ventaja

Se trata de un proceso de eficacia comprobada por la TVA

Propietario del proceso

Tennessee Valley Authority

Licenciarios

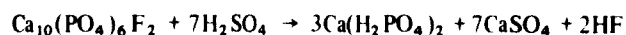
Davy Powergas Ltd
 Gulf Design Company
 Hitachi Zosen
 The M. W. Kellogg Company
 Occidental Chemical Company
 Submerged Combustion (Engineering) Ltd
 Wellman Incandescent Ltd
 Woodall-Duckham Ltd

Costo de una planta normal

Una planta de 200 t/d de P_2O_5 obtenido a partir de fosforita puede costar de 20 a 22 millones de dólares; una de 300 t/d puede costar de 28 a 30 millones de dólares, y entre 42 y 46 millones de dólares una planta de 2 x 300 t/d.

Superfosfato simple (SFS)

El superfosfato simple (SFS), también denominado superfosfato normal u ordinario, es la fuente más antigua de fósforo para la fabricación de fertilizantes, y contiene entre un 16% y un 22% de P_2O_5 asimilable. La reacción general de la fosforita con el ácido sulfúrico puede representarse de la manera siguiente:



Debido a la sencillez del proceso, el SFS puede producirse en plantas pequeñas y baratas. Su fabricación comprende las tres etapas siguientes: a) mezcla de la fosforita con el ácido; b) secado de la mezcla, para obtener un producto sólido, en un reactor; y c) curado, que consiste en apilar el producto y dejar que se complete la reacción de acidulación.

La fosforita se reduce mediante molienda a partículas capaces de pasar por un tamiz de la malla 100-150, y se mezcla con ácido sulfúrico al 50%-75%, por cargas o de manera continua, en un recipiente diseñado al efecto. La mezcladora discontinua normal es plana, y está provista de agitadores rotatorios verticales; el plato gira en una dirección y las paletas en sentido opuesto. El tiempo de mezclado normal es de 2 a 3 minutos. La fosforita y el ácido se introducen simultáneamente en la mezcladora en una proporción de pesos determinada (alrededor de 0,38 t de ácido al 100% por 1 t de fosforita). La concentración del ácido utilizado suele ser del 70%, para poder obtener un producto que contenga un máximo de fosfato monocálcico ($Ca(H_2PO_4)_2$), que es el componente hidrosoluble. La mezcla continua puede efectuarse en la mezcladora cónica TVA, cada vez más empleada en las plantas modernas.

El tipo más antiguo de reactor es el de forma cuadrangular, del cual se extrae el producto mediante una dragalina o cuchara de arrastre. El más reciente es el de Sturtevant, del que se retira el producto mediante una cortadora y material transportador. También existen reactores de proceso continuo, entre ellos el de Broadfield, dotado de un transportador de listones, y el de Sackett, provisto de un transportador acanalado, habiéndose desarrollado asimismo un reactor giratorio.

Una vez secada la mezcla, se procede al curado de la masa reaccionada, con objeto de que se complete la reacción de acidulación. En procesos convencionales, el curado se efectúa en un cobertizo, donde el producto permanece durante 3 ó 4 semanas. El producto curado se retira, se muele, se cieme y se ensaca, bien sea directamente o previa granulación al vapor.

Ventajas

- Se trata de un proceso sencillo
- P_2O_5 en forma hidrosoluble
- Bajos gastos de inversión
- Producto granulado fluyente e inaglutinable

Inconveniente

- El producto tiene bajo contenido de nutrientes

Propietarios del proceso

- Fisons Ltd, Fertilizer Division
- Mitsubishi Chemical Industries Ltd
- Nordengren Patenter AB

Tennessee Valley Authority
Ugine Kuhlmann SA

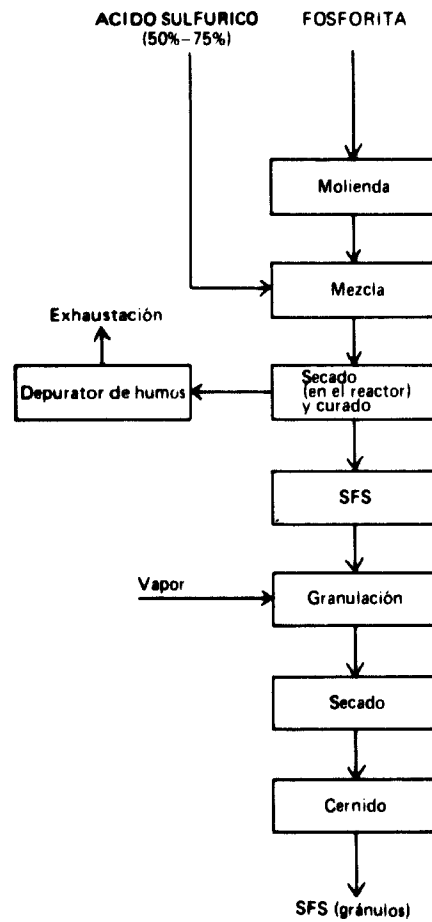
Licenciatarios

- Davy Powergas Ltd
- Didier Engineering GmbH, Industrieanlagenbau
- Foster Wheeler Corporation
- Engineering Company for Inorganic Chemistry and Fertilizer Industry (IPRAN)
- Krebs et Cie SA
- Lurgi Chemie und Hüttentechnik GmbH
- The M. W. Kellogg Company

Niigata Ryusan Company Ltd
 Norden Industrias Metalúrgicas SA
 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 SFS costará 1.5 ó 2.0 millones de dólares. Estas cifras comprenden el costo de las instalaciones de molinda de la fosforita, pero no el de las de producción de ácido sulfúrico.

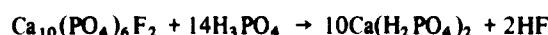


Fabricación de SFS

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 va 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

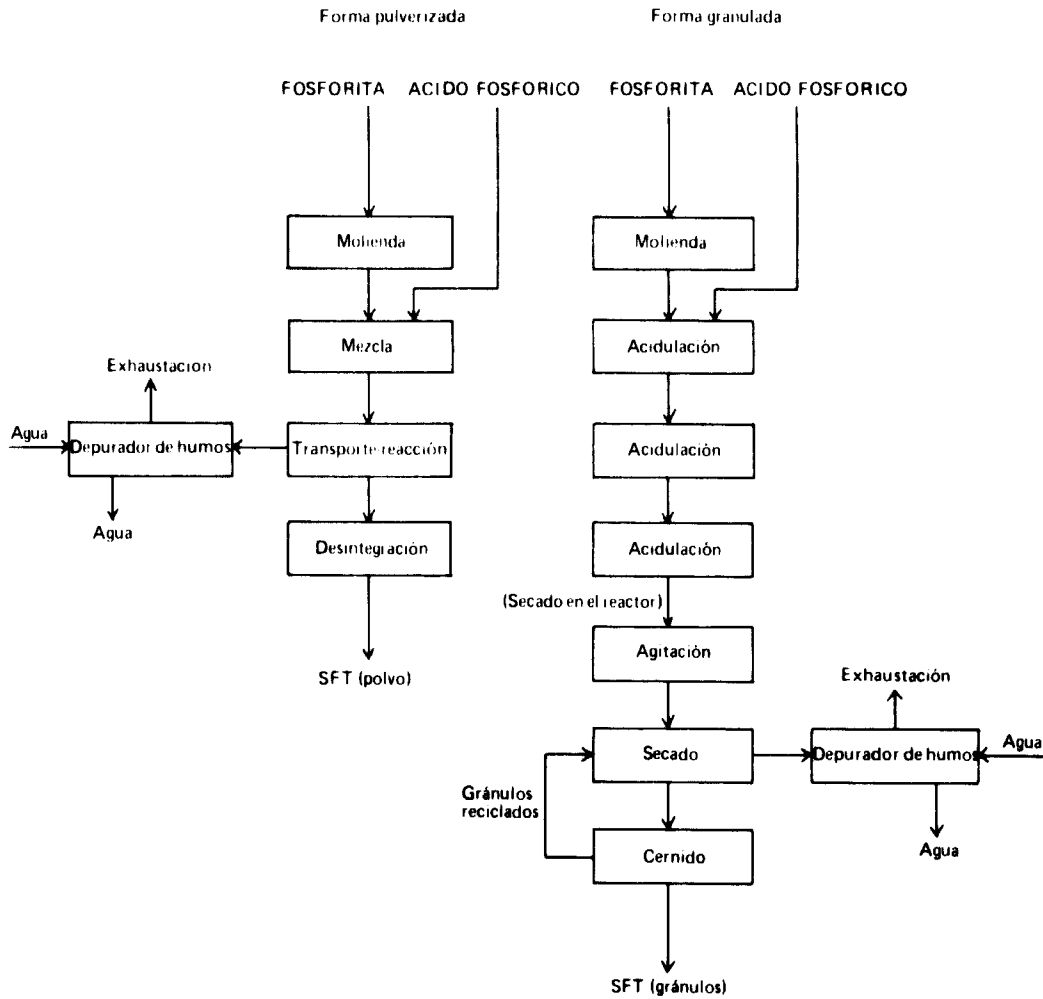
Sturtevant Mill Company
VEB Chemie-Ingenieurbau Leipzig
Woodall-Duckham Ltd

Licenciatarios

Davy Powergas Ltd
Didier Engineering GmbH, Industrieanlagenbau
Foster Wheeler Corporation
Engineering Company for Inorganic Chemistry
and Fertilizer Industry (IPRAN)
Krebs et Cie SA
Lurgi Chemie und Hütten Technik GmbH
Niigata Ryusan Company Ltd

Costo de una planta normal

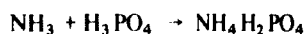
Una planta de 500 t/d de SFT en forma pulverizada puede costar 3,3 millones de dólares. En esta cifra está incluido el costo de las instalaciones de molienda de la fosforita, pero no el de las de producción de ácido fosfórico; el costo de una planta de 1.000 t/d puede ser de 5,5 a 6,0 millones de dólares, 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.



Fabricación de SFT

Fosfato monoamónico (FMA)

El fosfato monoamónico es el producto de la reacción del ácido fosfórico con amoníaco:



Se trata, en sí, de un fertilizante NP rico, con un 11%-12% de N y un 48%-53% de P_2O_5 , pero también se utiliza como producto intermedio en la fabricación de fertilizantes NPK de gran concentración de nutrientes. El FMA se fabrica en dos formas: polvo y granulados. A continuación se describen dos procesos de fabricación de la primera forma y uno de la segunda.

Proceso Fisons (en polvo)

Se dosifican individualmente amoníaco anhidro y ácido fosfórico de vía húmeda (45%-52% de P_2O_5) y se inyectan, en una proporción molar de 1:1, en un reactor mantenido a una presión de 2 barías. En el interior del reactor, la temperatura se mantiene a 170°C , a fin de que el contenido de humedad del ácido fosfórico quede reducido a menos del 10% una vez concluida la reacción. La solución procedente del reactor, que contiene sobre todo FMA, se pulveriza bajo su propia presión en la parte superior de una torre de tiro natural, donde se vaporiza el agua residual y el FMA se solidifica a medida que la solución descende por la torre. El producto, de fórmula 11-53-0, se va retirando continuamente de la torre y se envía al depósito. El porcentaje de humedad del producto es del 5%-7%, y el tamaño del grano es de 0,2-1,5 mm.

Ventajas

- Proceso de probada eficacia
- Elevado coeficiente de conversión del amoníaco (96%-97%)

Propietario del proceso

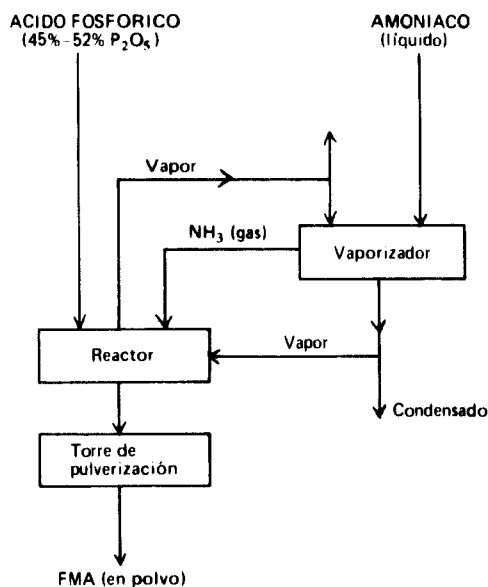
Fisons Ltd, Fertilizer Division

Licenciatarios

- Davy Powergas Ltd
- Foster Wheeler Corporation
- Lurgi Chemie und Hüttentechnik GmbH

Costo de una planta normal

Una planta de 400 t/d de FMA puede costar 1,4 millones de dólares, cifra que no comprende el costo de las instalaciones auxiliares necesarias, las cuales supondrían un 75%-100% adicional.



Fabricación de FMA por el proceso Fisons

Proceso PhoSAI (en polvo)

En un reactor de acero inoxidable, se hacen reaccionar amoníaco gaseoso y ácido fosfórico diluido, a una proporción entre N y P de 1,3:1. Los humos de amoníaco que escapan del reactor se lavan con ácido fosfórico puro y se devuelven al reactor. La lechada tratada con amoníaco pasa a separadores de condensaciones, en los que se añade más ácido fosfórico para reducir la citada proporción molar a 1:1; el calor desprendido en la reacción hace que se elimine más humedad. El producto se tamiza para separar las partículas de tamaño excesivo, y se envía al depósito. Dichas partículas se trituran y se devuelven al proceso. La fórmula del producto obtenido es 12-50-0; su contenido de humedad, un 6%; y el tamaño del grano, 0,2-1,5 mm.

Ventajas

Se trata de un proceso bien conocido
Elevado coeficiente de conversión del amoniaco
(96%-97%)

Propietario del proceso

Scottish Agricultural Industries Ltd

Licenciatarios

Sim-Chem Division, Simon-Carves Ltd
Woodall-Duckham Ltd

Costo de una planta normal

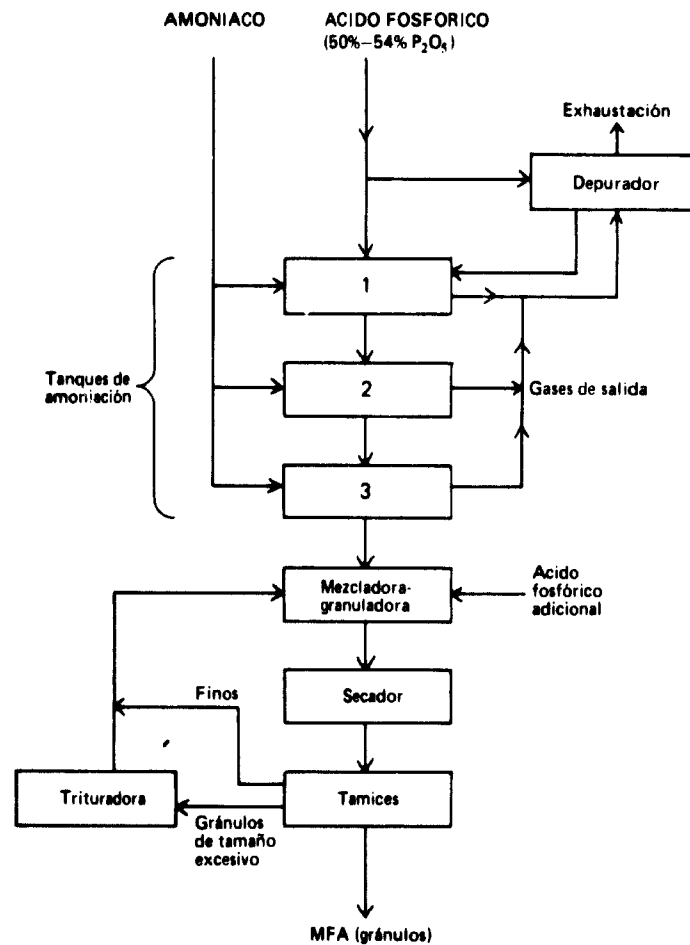
Una planta de 400 t/d de MFA puede costar de 1,2 a 1,4 millones de dólares. Estas cifras no comprenden el costo de las instalaciones auxiliares necesarias, que supondrían un 75%-100% adicional.

Proceso de lechada (gránulos)

En una serie de tanques se neutraliza con amoniaco ácido fosfórico (50%-54% P_2O_5). La proporción molar entre el amoniaco y el ácido se mantiene en 1,3-1,4:1. Los vapores que escapan del neutralizador se lavan con ácido fosfórico y se devuelven a dicho neutralizador. La lechada tratada con amoniaco pasa a una mezcladora-granuladora, donde se añade más ácido para ajustar la proporción molar a 1:1. Los gránulos procedentes de la mezcladora-granuladora pasan al secador, y de allí a los tamices. Los gránulos de tamaño excesivo se trituran y se devuelven a la mezcladora-granuladora en unión de los finos. El producto obtenido del secador se envía al depósito.

Ventaja

Se trata de un proceso de probada eficacia



Fabricación de MFA por el proceso de lechada

Inconvenientes

Elevada proporción de material reciclado (4-8:1)
Elevado costo inicial

Propietarios del proceso

Jacobs Engineering Company
Mitsui Toatsu Chemicals, Inc.
Stamicarbon BV
Tennessee Valley Authority

Licenciatarios

C.F. Braun and Company
Chiyoda Chemical Engineering and Construction
Company Ltd
Coppée-Rust SA

Didier Engineering GmbH

Foster Wheeler Corporation

Friedrich Uhde GmbH

Jacobs Engineering Company

Kellogg Continental BV

Krebs et Cie SA

Sim-Chem Division, Simon-Carves Ltd

Woodall-Duckham Ltd

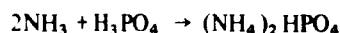
Costo de una planta normal

Una planta de 400 t/d de MFA puede costar entre 20 y 25 millones de dólares. Esa cifra comprende el costo de las instalaciones de producción directa, pero no el de las instalaciones auxiliares ni los gastos de puesta en marcha, que supondrían un 75%-100% adicional.

Fosfato diamónico (FDA)

El fosfato diamónico (FDA) contiene dos moles de P_2O_5 por cada mol de amoníaco. 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:



Se hace reaccionar amoníaco con ácido fosfórico de calidad comercial (50%-54% de P_2O_5) en un neutralizador previo que funciona a $115^\circ C$, en el que la proporción molar entre el amoníaco 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 amoníaco 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 amoníaco en el neutralizador previo y en la granuladora se mantienen al mínimo lavando los vapores con ácido fosfórico 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 de material que ha de reciclarse

Propietarios del proceso

Dorr Oliver, Inc.
Fisons Ltd, Fertilizer Division
Stamicarbon BV
Tennessee Valley Authority

Licenciatarios

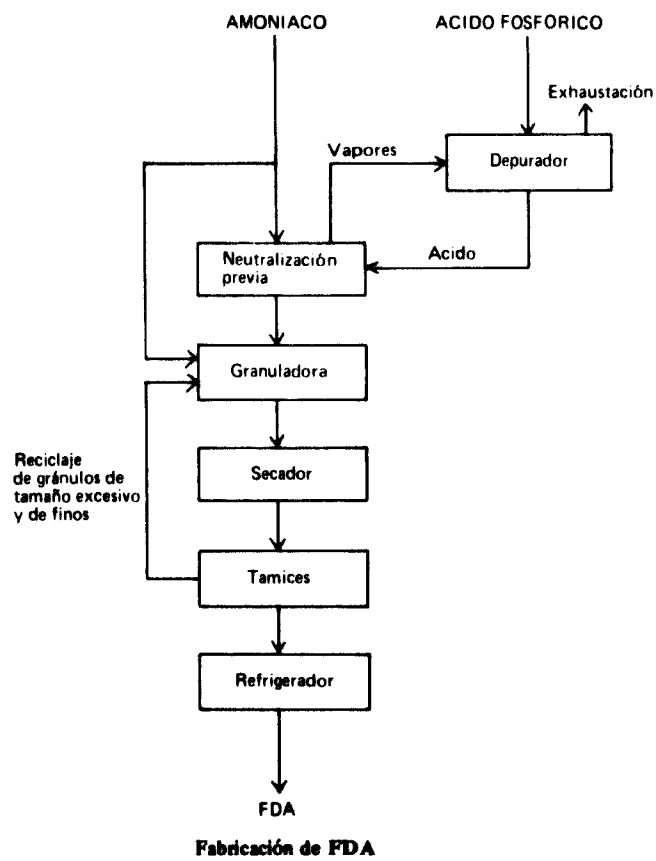
The Austin Company
Continental Engineering (Ingenieursbureau voor de Procesindustrie NV)

Coppée-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 Hüttentechnik GmbH
Mitsubishi Chemical Industries Ltd
Mitsui Toatsu Chemicals, Inc.
Monsanto Enviro-Chem Systems, Inc.
The M. W. Kellogg Company
Sim-Chem Division, Simon-Carves Ltd
Sumitomo Chemical Company Ltd
Woodall-Duckham Ltd

Costo de una planta normal

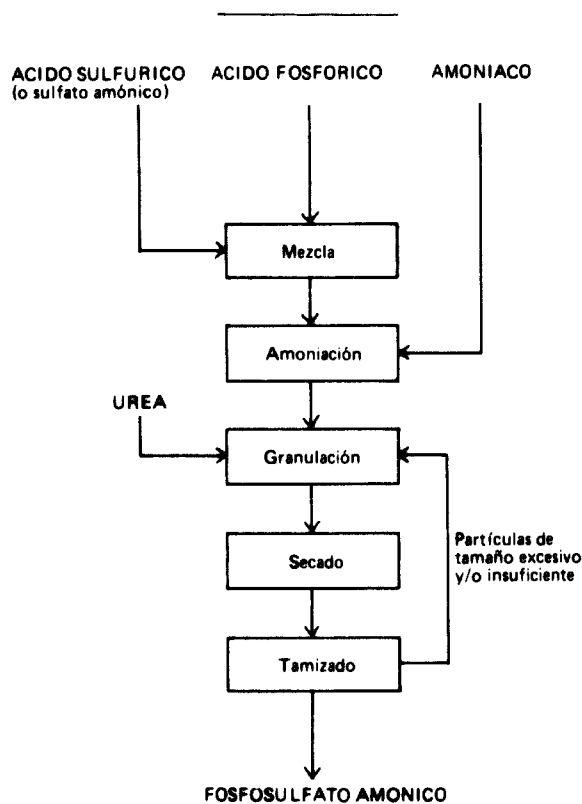
Una planta de 400 t/d de FDA viene a costar 6 millones de dólares, y aproximadamente 8 millones de dólares una planta de 850 t/d. El costo de una planta de 1.000 t/d puede ascender a 12 millones de dólares.



Fosfosulfato amónico

El fertilizante fosfosulfato amónico se compone de una mezcla de sulfato amónico ($(NH_4)_2SO_4$) y de fosfato amónico ($NH_4H_2PO_4$).

Para su fabricación, se neutraliza directamente con amoníaco una mezcla de ácido sulfúrico y ácido fosfórico. El ácido fosfórico (30%-32% de P_2O_5) se mezcla con ácido sulfúrico al 98%, en una proporción molar, P_2O_5/H_2SO_4 de 1:2. Se añade amoníaco a razón de unas 0,22 t por tonelada de producto. La lechada, que contiene un 70%-75% de sólidos, se granula en una mezcladora-granuladora. Los granulos obtenidos se secan y se tamizan antes de pasar al depósito, reciclándose las partículas de tamaño excesivo o insuficiente. La fórmula del producto obtenido es de 16-20-0; mediante la adición de urea a la mezcladora-granuladora puede conseguirse un producto de fórmula 20-20-0. En lugar de ácido sulfúrico puede emplearse una solución de sulfato amónico.



Fabricación de fosfosulfato amónico

Propietarios del proceso

Dorr Oliver, Inc.
Fisons Ltd, Fertilizer Division
Stamicarbon BV

Licenciatarios

C. F. Braun and Company
Chiyoda Chemical Engineering and Construction
Company Ltd

Coppée-Rust SA
Davy Powergas Ltd
Didier Engineering GmbH
Foster Wheeler Corporation
Friedrich Uhde GmbH
Humphreys and Glasgow Ltd
Jacobs Engineering Company
Kellogg Continental BV
Krebs et Cie SA

Lurgi Chemie und Hüttentechnik GmbH
San Kagaku Company Ltd
Sim-Chem Division, Simon-Carves Ltd
Stone and Webster Engineering Corporation

Costo de una planta normal

Una planta de 1.000 t/d costará unos 10 millones de dólares, comprendiendo esta cifra el costo de las instalaciones necesarias.

Nitrofosfato amónico (con adición de potasa)

En la relación del amoníaco con una mezcla de ácido fosfórico y ácido nítrico se obtiene una mezcla de nitrato amónico, FMA y FDA.

El ácido fosfórico (40% de P_2O_5) y el ácido nítrico a una concentración del 55% se mezclan en la proporción necesaria, según el tipo de fórmula deseado, y se hacen reaccionar en el neutralizador con amoníaco gaseoso. La solución resultante se envía a un evaporador de vacío, donde se aumenta la concentración a un 99% aproximadamente. La temperatura del "fundente" del evaporador es de $170^\circ C$, manteniéndose en éste la presión a unas 0,5 barías. El "fundente" de nitrofosfato se bombea luego a la parte superior de la torre de granulación en perdigones y se pulveriza. Los gránulos se recuperan en la parte inferior de la torre y se reduce su temperatura a $40^\circ C$ en un tambor rotatorio. El producto enfriado se tamiza y se reviste con diatomita. Los finos y las partículas demasiado grandes se envían a la torre de granulación para ser mezclados de nuevo con el "fundente" del evaporador. También puede añadirse potasa, según se requiera, en forma de cloruro potásico (KCl). El sistema está dotado de instalaciones para la recuperación de los vapores amoniacales procedentes del evaporador y del polvo procedente de las últimas etapas del proceso.

Es posible que los procesos de granulación en perdigones no sean adecuados para aquellos fertilizantes cuya proporción de N/P_2O_5 sea inferior a 0,8 y cuyas proporciones de N/K_2O y P_2O_5/K_2O sean inferiores a 0,6. En tales casos, se emplea una mezcladora-granuladora de paletas. El producto obtenido en ésta se seca, se enfría, se tamiza y se reviste antes de ser enviado al depósito.

Las fórmulas típicas de los productos fabricados por este proceso son 14-14-14 y 17-17-17.

Ventajas

Se obtienen fertilizantes de gran concentración
Bajo costo inicial de la planta

Inconvenientes

Limitado número de fórmulas de los productos
Elevado costo de producción a causa del elevado costo de las materias primas

Propietarios del proceso

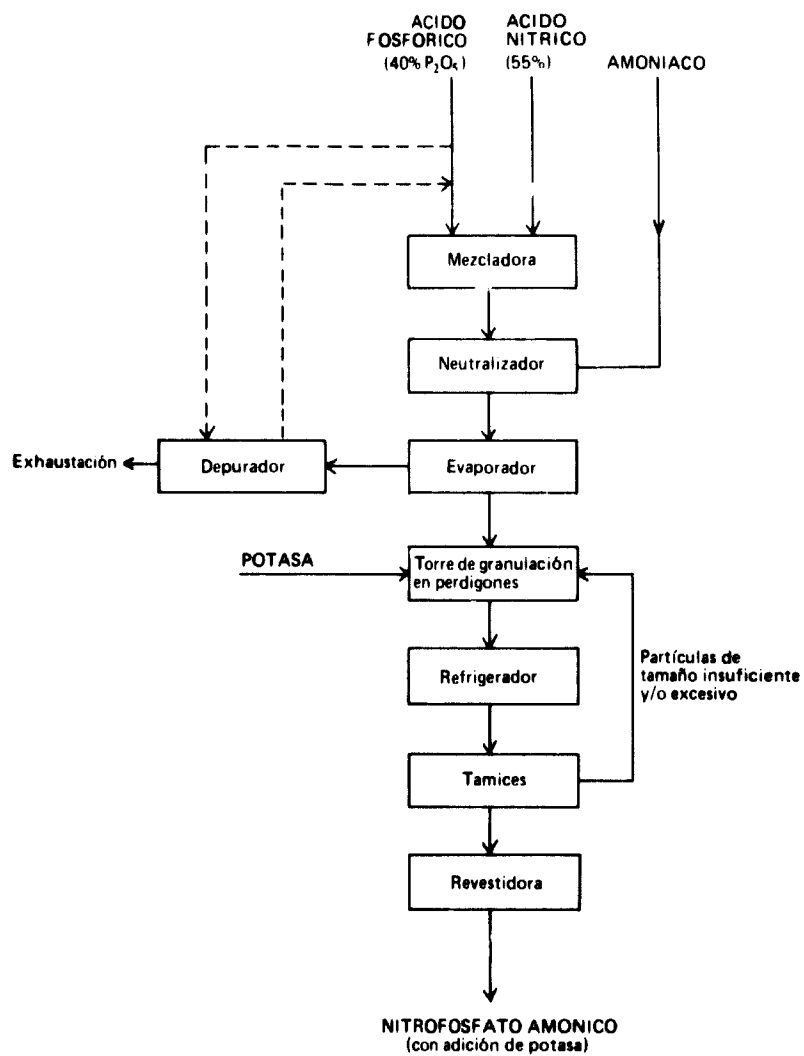
BASF Aktiengesellschaft
Fisons Ltd, Fertilizer Division
Nissan Chemical Industries Ltd
Stamicarbon BV

Licenciatarios

Chiyoda Chemical Engineering and Construction Company Ltd
Coppée-Rust SA
Davy Powergas Ltd
Foster Wheeler Corporation
Friedrich Uhde GmbH
Humphreys and Glasgow Ltd
Jacobs Engineering Company
Sim-Chem Division, Simon-Carves Ltd

Costo de una planta normal

Una planta de 1.000 t/d puede costar alrededor de 10 millones de dólares. Esa cifra comprende el costo de las instalaciones necesarias.



Fabricación de nitrofosfato amónico (con adición de potasa)

Fosfato de urea-amonio (FUA)

Los fertilizantes de fosfato de urea-amonio tienen un elevado contenido de nutrientes, y ello explica que su empleo se haya difundido por todo el mundo en los últimos diez años. La urea (46% N), el ácido fosfórico de vía húmeda (54% de P_2O_5) y la potasa (KCl, 60% de K_2O), en unión del amoníaco, son las materias primas necesarias para la fabricación del fertilizante de FUA. Además, el fosfato presente en dicho fertilizante se halla en la forma hidrosoluble conveniente.

Aunque los cuatro métodos de fabricación aquí descritos difieren por completo en sus aspectos operativos, una planta de 1.000 t/d vendría a costar lo mismo con cualquiera de ellos, concretamente entre 8 y 10 millones de dólares.

Proceso convencional de lechada

Casi todas las plantas de FUA existentes en el mundo utilizan el proceso tradicional de lechada que a continuación se describe. Se añade ácido fosfórico de vía húmeda (48%-54% de P_2O_5) al tanque de neutralización previa, en el que se inyecta amoníaco anhidro para formar lechada de fosfato amónico. El tratamiento amoniacal se regula de modo que la proporción N_2/P_2O_5 sea de 1,3 a 1,4. En estas condiciones, la lechada tiene un 12% de agua y los sólidos de fosfato amónico tienen la máxima solubilidad en ella; además, puede ser bombeada pese a la gran concentración de sólidos. Dicha regulación del tratamiento amoniacal es muy importante, pues, si entra demasiada agua en la granuladora, la granulación y la calidad del producto final se verán negativamente afectadas.

La lechada de FMA y de FDA se bombea a una granuladora de tambor tipo TVA o a una mezcladora-granuladora de paletas tipo amasadora, y se distribuye de manera uniforme sobre un lecho de material reciclado. Este consiste en perdigones de urea, gránulos de tamaño insuficiente recogidos en la operación de tamizado, gránulos de tamaño excesivo que han vuelto a triturarse en los molinos, y polvo de fertilizantes recuperado del depurador. También se añade al material de reciclado, con arreglo a la fórmula deseada, KCl y carga. En la granuladora o mezcladora-granuladora se prosigue el tratamiento amoniacal de la lechada hasta conseguir una proporción molar de 1,8 a 1,9. Los gránulos obtenidos se secan en un secador de doble corriente, con objeto de reducir el contenido de humedad de 2,0%-2,5% a 1,0%. El producto secado se envía a los tamices, donde se hace la separación de los finos y de los gránulos de tamaño excesivo, que se reciclan

después según proceda. El producto tamizado pasa a un refrigerador y a un tambor de revestimiento, y de éste al depósito.

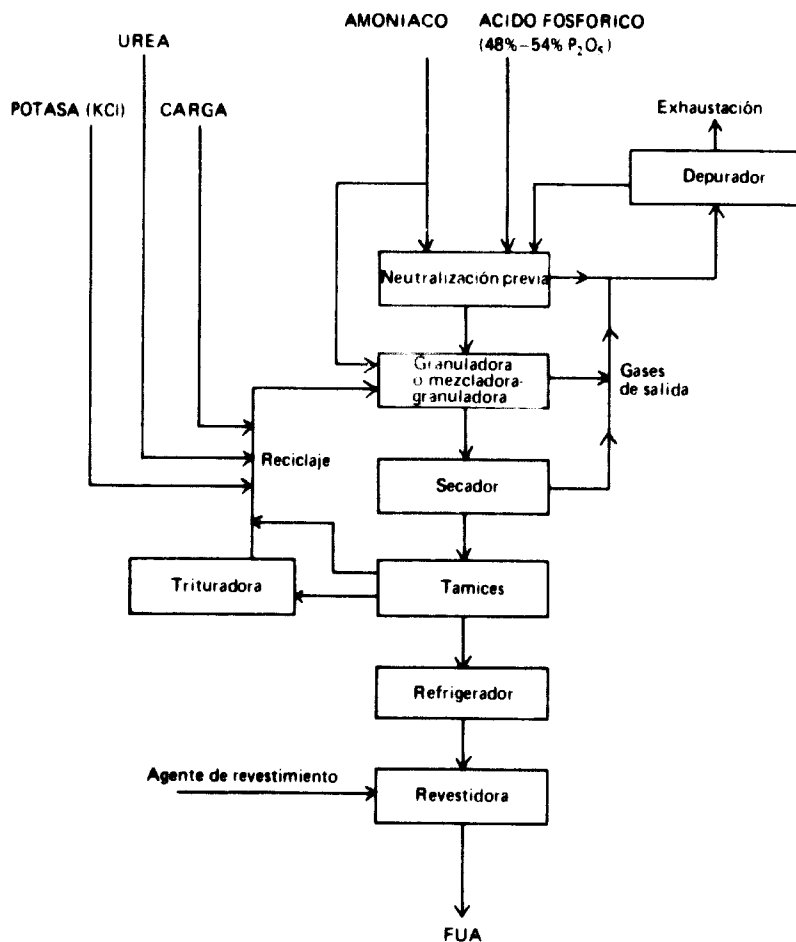
La adición de amoníaco en la granuladora tiene un efecto beneficioso sobre el proceso de granulación. Aparte de aumentar la proporción molar, el calor de reacción ayuda a eliminar parte de la humedad y eleva la temperatura de la granuladora.

El proceso cuenta con un sistema de recuperación depurador cuyo objeto es recuperar del tanque de neutralización previa y de la granuladora vapor de amoníaco no reaccionado y filtrar las partículas de polvo procedentes del secador y de los ciclones refrigeradores. La depuración se efectúa en un depurador tipo Venturi, en el que se pone íntimamente en contacto el amoníaco y el aire cargado de polvo con una solución débil de ácido fosfórico circulante, devolviéndose después dicha solución al reactor.

El FUA fabricado por este proceso suele ser de las siguientes fórmulas:

22-22-11
19-19-19
17-17-17
28-28-0
20-20-0
14-28-14
24-24-0

Para la granulación de FUA de fórmula 28-28-0 y 20-20-0 conviene en general mantener en la granuladora una temperatura más elevada y un nivel de humedad más bajo. Si se introduce potasa en la mezcla, las condiciones de granulación se hacen más críticas y han de controlarse muy bien, pues las sales del compuesto son muy solubles y la masa puede volverse pegajosa en lugar de fluida.



Fabricación de FUA por el proceso convencional de lechada

Ventajas

- Máximo contenido en nutrientes
- Prácticamente todo el P_2O_5 se halla en forma hidrosoluble
- Economías en el ensacado, transporte, almacenamiento, distribución y aplicación del producto

Inconvenientes

- Es necesario controlar con cuidado la calidad de los productos que contengan mucha potasa
- Baja humedad relativa crítica del producto
- Con frecuencia es necesario revestir el producto para que conserve sus propiedades durante el almacenamiento
- Elevado costo inicial de la planta debido al gran número de elementos de equipo
- Dependencia del suministro exterior de materias primas

Propietarios del proceso

- Dorr Oliver Inc.
- Fisons Ltd, Fertilizer Division

- Mitsui Toatsu Chemicals, Inc.
- Norsk Hydro AS
- Stamicarbon BV
- Tennessee Valley Authority

Licenciatarios

- Coppée-Rust SA
- Davy Powergas, Inc.
- Didier Engineering GmbH
- Fluor Corporation
- Friedrich Uhde GmbH
- H. K. Ferguson Company, Inc.
- Humphreys and Glasgow Ltd
- Lurgi Chemie und Hüttentechnik GmbH
- The M. W. Kellogg Company
- Sim-Chem Division, Simon-Carves Ltd

Costo de una planta normal

Una planta de 1.000 t/d de fertilizante de fórmula 19-19-19 costará aproximadamente 8 millones de dólares.

Proceso de "fundente"

El proceso de "fundente" utilizado por la TVA para la fabricación de FUA representa un nuevo adelanto en cuanto que aprovecha eficazmente el calor de reacción del amoníaco con el ácido fosfórico y hace innecesaria la etapa de secado. El equipo clave de este proceso es un reactor de tubo sencillo pero muy eficaz.

El ácido fosfórico de vía húmeda (52%-54% de P_2O_5) se introduce en forma dosificada en una torre de absorción rociadora, en la que se recupera (por medio del equipo separador de vapor) el exceso de amoníaco del reactor de tubo. El ácido fosfórico parcialmente reaccionado en la etapa de absorción se recicla a ésta, y se hace llegar al reactor de tubo una corriente de reciclado; dicho tubo es de acero inoxidable tipo 316 (marca 40), y tiene 15 cm de diámetro y unos 3 m de longitud. El ácido fosfórico entra en el reactor de tubo por un conducto lateral, mientras que el amoníaco gaseoso anhidro, precalentado a $135^{\circ}C$, lo hace por el conducto principal a una velocidad media. La lechada pasa al separador de vapor, en el que se extraen agua libre y parte de agua combinada, en unión de amoníaco sin reaccionar, que, como ya se ha dicho, se recupera en la torre de

absorción rociadora. La lechada en forma de "fundente" es mezclada por las paletas helicoidales del separador, y la masa compacta se envía a la amasadora-granuladora de doble eje, donde también se introducen el "fundente" de urea y los finos de reciclaje. Los gránulos obtenidos en ella se enfrían y se tamizan, y el producto se envía al depósito, procediéndose a reciclar las partículas de tamaño excesivo y/o insuficiente. Las fórmulas típicas de FUA fabricado por este proceso son 28-28-0 y 11-55-0.

Ventajas

No se precisa secador, con el consiguiente ahorro de capital y de combustible

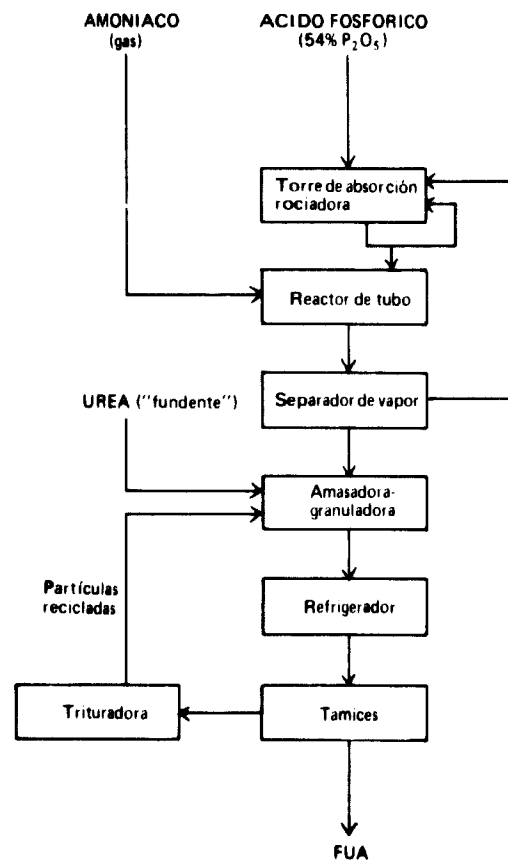
El producto contiene un 15%-20% de polifosfato, lo que permite una mejor conservación del producto durante su almacenamiento

Inconveniente

Este proceso está todavía poco difundido

Propietario del proceso

Tennessee Valley Authority



Fabricación de FUA por el proceso de "fundente"

Licenciatario

Este proceso puede ser utilizado por cualquier organización fuera de los Estados Unidos

Costo de una planta normal

Una planta de 1.000 t/d de FUA costará entre 8 y 10 millones de dólares.

Proceso de ingredientes secos

En el proceso de ingredientes secos, desarrollado por Fisons para la fabricación de fertilizante de FUA, se utilizan como material de partida productos intermedios sólidos que son objeto de un tratamiento amoniacal suave en la granuladora.

Las materias primas —urea, FMA y potasa— en unión de la carga necesaria, se introducen en las instalaciones a través de una sección de preparación en la que se trituran los materiales de tamaño excesivo. Las materias primas parcialmente mezcladas y la corriente de reciclaje procedente de las últimas

etapas del proceso se introducen en la granuladora. En ésta, y a través de un tubo burbujeador, se introduce en la masa en movimiento el vapor a baja presión que se considere necesario. Si es preciso, también se añaden a la granuladora ácido sulfúrico y amoníaco. El material granulado se descarga en un secador rotatorio de doble corriente, y el material seco se tamiza para separar los finos y los gránulos de tamaño excesivo. El producto se enfría en un refrigerador rotatorio y se reviste luego de diatomita finamente dividida, arcilla, o tierra de batán mediante un adhesivo al aceite.

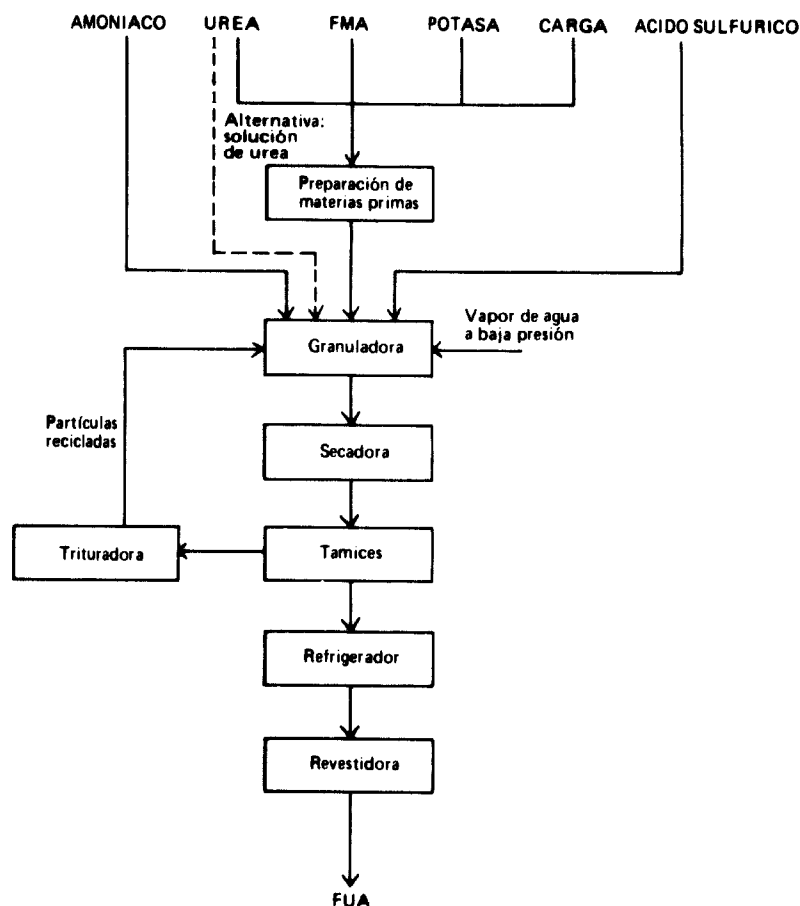
Los finos y los gránulos de tamaño excesivo procedentes de los tamices se reciclan a la granuladora previa trituración de estos últimos. El secador y el refrigerador van provistos de ciclones de gran rendimiento, por medio de los cuales se separa el polvo y se devuelve al proceso. Las fórmulas del FUA comúnmente fabricado por este proceso son:

15-15-15

12-24-12

19-19-19

20-10-10



Fabricación de FUA por el proceso de ingredientes secos

Ventajas

Utilización de productos intermedios sólidos
 Baja proporción de materiales a reciclar, y, por consiguiente, mayor tasa de producción
 Instalaciones depuradoras más sencillas, debido a la menor emisión de humos

Propietario del proceso

Fisons Ltd, Fertilizer Division

Licenciatarios

Davy Powergas Ltd
 Foster Wheeler Corporation
 Lurgi Chemie und Hüttentechnik GmbH

Costo de una planta normal

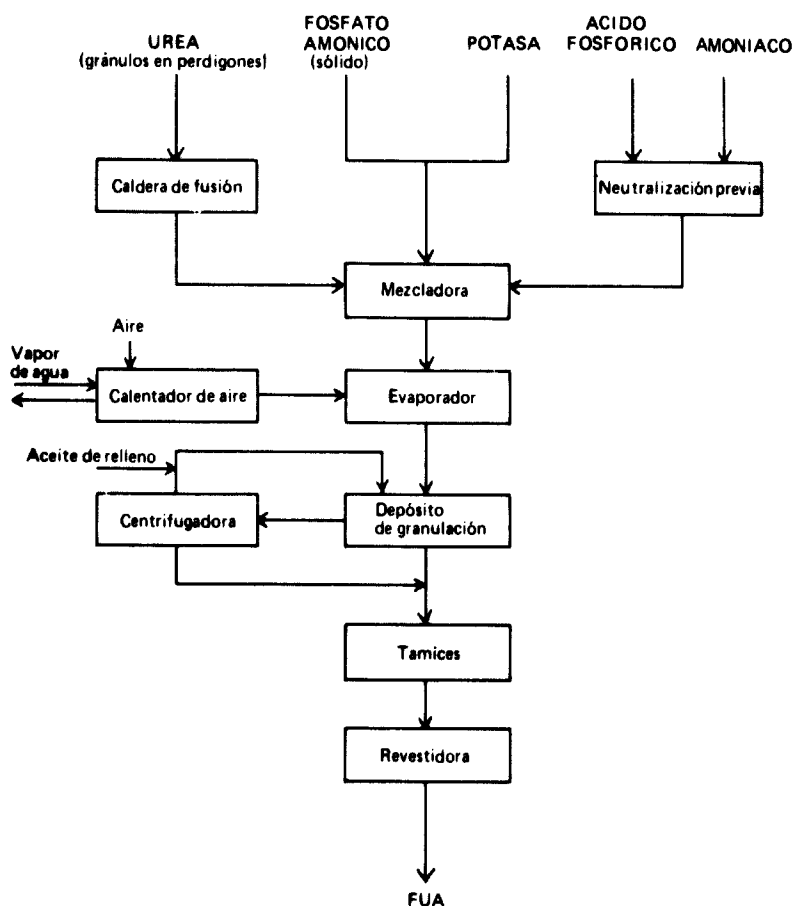
Una planta de 1.000 t/d puede costar alrededor de 10 millones de dólares.

Proceso de refrigeración de "fundente" por medio de aceite

Este proceso, desarrollado por la empresa japonesa Mitsui Toatsu, consiste en mezclar "fundente" de urea con fosfato amónico y, si es necesario, cloruro potásico.

El fosfato amónico utilizado en el proceso es FMA sólido o ácido fosfórico y amoniaco reaccionados en una instalación de neutralización previa para formar una lechada. Los gránulos sólidos de urea, en forma de perdigones, se hacen pasar por una caldera de fusión, de la que fluyen a una cuba de mezclado a la que se añaden fosfato amónico y cloruro potásico. La mezcladora también recibe el material reciclado de las últimas etapas del proceso.

La lechada procedente de la mezcladora se mantiene a 102°-140°C, a fin de reducir el contenido de humedad a 0,5%. La operación de mezclado se controla con cuidado para evitar la descomposición de la urea por condensación del fosfato amónico en poliofosfato. La suspensión resultante se somete a evaporación y se granula en instalaciones especial-



Fabricación de FUA por el proceso de refrigeración de "fundente" por medio de aceite

mente diseñadas al efecto. Los gránulos van directamente a un tanque poco profundo que contiene el aceite refrigerante. El nivel del aceite en el tanque se mantiene a 2 m, a fin de solidificar por completo los gránulos hasta 5 mm de diámetro. Dichos gránulos se separan luego por sedimentación y centrifugación, y, después del tamizado, el producto final se impregna de aceite en la revestidora a razón de 0,5%-1,0% en peso y se envía al depósito. El material de tamaño excesivo o insuficiente se devuelve a la mezcladora.

Ventaja

Este proceso requiere menores gastos de inversión, pues con él se eliminan el equipo de secado y la torre de granulación, de elevado costo

Inconvenientes

Las condiciones de mezclado son de importancia crítica

La eficacia de este proceso está por probar aún en la práctica comercial

Propietario del proceso

Mitsui Toatsu Chemicals, Inc.

Licenciatarios

Davy Powergas Ltd

Fluor Corporation

H. K. Ferguson Company, Inc.

Lurgi Chemie und Hüttentechnik GmbH

The M. W. Kellogg Company

Toyo Engineering Corporation

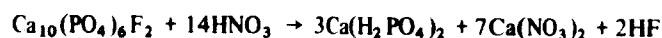
Costo de una planta normal

Una planta de 1.000 t/d puede costar entre 8 y 10 millones de dólares.

Nitrofosfatos

Los nitrofosfatos contienen los nutrientes fertilizantes nitrógeno y fósforo, y se obtienen tratando la fosforita con ácido nítrico; la lechada o suspensión resultante contiene una mezcla compleja de nitratos y fosfatos.

La reacción entre la fosforita y el ácido nítrico puede representarse de la manera siguiente:



El componente de fosfato del producto se halla en forma de fosfato monocálcico hidrosoluble. Sin embargo, el nitrato cálcico hace inestable al fosfato monocálcico, y el producto es higroscópico. Para separar el nitrato cálcico se han desarrollado diversos procesos, que pueden resumirse de la siguiente forma:

- a) Separación por cristalización, seguida de centrifugación o filtrado (el proceso Odda es un ejemplo de este método);
- b) Conversión en sulfato cálcico utilizando sulfato amónico o ácido sulfúrico (proceso sulfonítrico);
- c) Conversión en fosfato monocálcico utilizando ácido fosfórico (proceso fosfonítrico);
- d) Conversión en carbonato cálcico utilizando dióxido de carbono (proceso carbonítrico).

En todos ellos, el nitrógeno se recupera añadiendo amoníaco en algún punto del proceso. También puede añadirse potasa para obtener fertilizantes NPK de diversas fórmulas.

Proceso Odda

En el primero de los dos digestores se introducen continuamente fosforita y ácido nítrico al 55%-60%. (Se emplea un exceso de ácido nítrico de hasta el 10%.) También se añade una pequeña cantidad de desespumante. La mezcla de fosforita y ácido pasa al segundo digestor, en el que se completa la disolución, y el líquido digerido, que contiene fosfato monocálcico y nitrato cálcico, fluye hasta un tanque de compensación. La lechada se bombea después a los cristalizadores, provistos de serpentines refrigerantes enfriados por aguas madres y accionados en serie, en parte de modo continuo y en parte en régimen intermitente. Esta operación proporciona un efecto de tratamiento continuo de la lechada. La temperatura mantenida en los cristalizadores depende de la cantidad de nitrato cálcico que haya de separarse y del grado de hidrosolubilidad que deba conseguirse en el producto fosfatado. Por ejemplo, manteniendo en los cristalizadores una temperatura de 10°C podrá separarse el 50% del nitrato cálcico, siendo la

hidrosolubilidad del 30%-40%. Se obtienen cristales fácilmente filtrables de tamaño uniforme, que son separados de la corriente en filtros rotatorios dispuestos en tándem. El licor procedente de la etapa de filtración del nitrato cálcico se bombea a la sección de neutralización, donde se añade amoníaco gaseoso. La neutralización se realiza por etapas, a fin de evitar las soluciones viscosas que se forman a valores intermedios del pH. Según el contenido de N y P₂O₅ que se desee en el producto final, se añade, tras la debida concentración, nitrato amónico producido en la conversión de nitrato cálcico (véase *infra*).

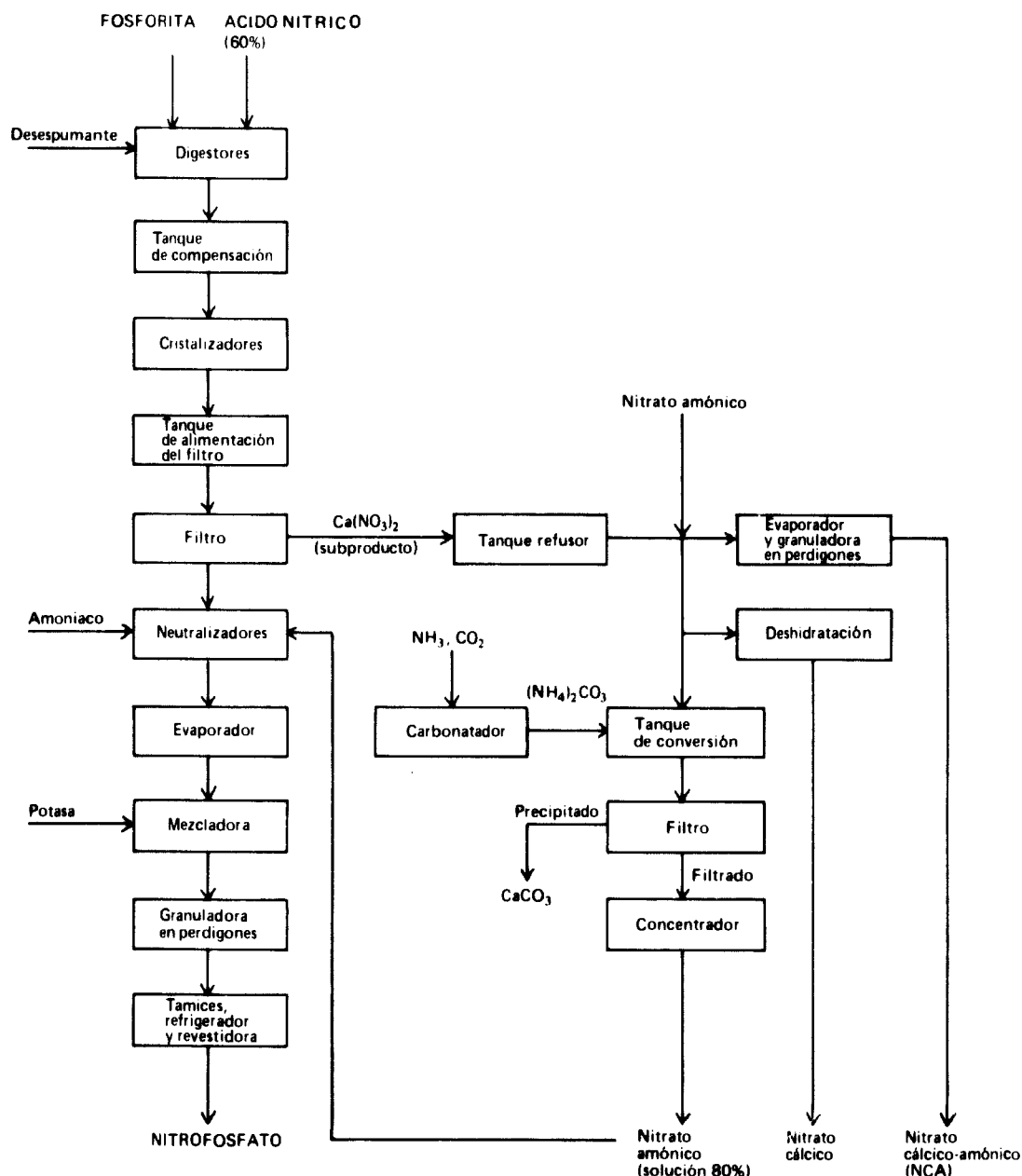
La solución neutralizada se bombea entonces al evaporador, donde el contenido de agua se reduce al 0,5% para posibilitar la granulación en perdigones. Si en lugar de perdigones han de obtenerse gránulos gruesos, el contenido de agua puede ser hasta del 4%. La evaporación se efectúa al vacío en dos etapas, en instalaciones especialmente diseñadas al efecto. La planta cuenta con unidades depuradoras para separar flúor y amoníaco de los vapores desprendidos durante la evaporación. Una vez concluida ésta, la solución se

transforma en perdigones o en gránulos gruesos. Si es necesario, se añade potasa antes de la granulación en perdigones o durante la etapa de formación de gránulos gruesos. El producto seco y caliente se tamiza, y los gránulos de tamaño excesivo o insuficiente se separan y se reciclan. A continuación se enfría el producto y se le da un revestimiento para que conserve sus propiedades durante el almacenamiento. El nitrato cálcico obtenido en el filtro como subproducto puede utilizarse en la producción de fertilizantes de nitrato cálcico-amónico (NCA) o

deshidratarse y venderse, o bien convertirse en nitrato amónico y en carbonato cálcico.

El NCA se obtiene por tratamiento de nitrato cálcico con nitrato amónico y evaporación al 99%. El producto es higroscópico, pero puede fabricarse en forma de perdigones o de copos, o bien acondicionarse impregnándolo de aceite para mejorar sus propiedades de almacenamiento.

También puede convertirse el nitrato cálcico en nitrato amónico tratándolo con carbonato amónico. La lechada se filtra para separar el carbonato cálcico



Fabricación de nitrofosfato por el proceso Odde. El producto puede obtenerse en forma de perdigones o en gránulos gruesos; el presente diagrama sólo se refiere a la fabricación de perdigones

precipitado, y la solución de nitrato amónico se concentra al 80% y se devuelve a la corriente principal (véase *supra*).

Las fórmulas del fertilizante nitrofosfatado comúnmente obtenido por este proceso son las siguientes:

20-30-0
23-23-0
28-14-0
20-20-0
17-17-17
15-15-15
22-11-11

El componente hidrosoluble de P_2O_5 también está relacionado con la fórmula del producto. Si se trata de una fórmula 20-20-0, la hidrosolubilidad es de alrededor del 30%, mientras que si la fórmula es 23-23-0, o superior, puede aumentar al 60%-70%.

Ventajas

Se trata del único proceso existente para la producción de nitrofosfato hidrosoluble sin utilizar ácido sulfúrico o fosfórico

No es preciso triturar muy fina la fosforita

Elevado coeficiente de recuperación de P_2O_5 (99%)

Escasa contaminación atmosférica por el flúor

Inconvenientes

La proporción N/ P_2O_5 del producto es demasiado elevada para algunos usos

No tolera más de un 5% de sílice en la fosforita sin tratamiento previo

No tolera fosforita con gran concentración de compuestos orgánicos

Propietarios del proceso

Chemische Fabrik Kalk GmbH
Norsk Hydro AS
Odda Smelteverk AS
Stamicarbon BV

Licenciatarios

Chiyoda Chemical Engineering and Construction Company Ltd
Copée-Rust SA
Davy Powergas Ltd
Didier Engineering GmbH
Foster Wheeler Corporation
Friedrich Uhde GmbH
Humphreys and Glasgow Ltd
Kellogg Continental BV
Lurgi Chemie und Hüttentechnik GmbH

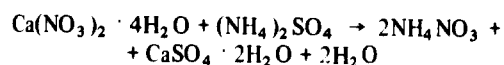
Sim-Chem Division, Simon-Carves Ltd
Stone and Webster Engineering Corporation
Toyo Engineering Corporation

Costo de una planta normal

Una planta de 1.000 t/d de nitrofosfato de 23-23-0 y de 950 t/d de NCA puede costar entre 26 y 30 millones de dólares. Esas cifras comprenden el costo de las instalaciones de almacenamiento de la fosforita y de las instalaciones auxiliares, pero no el de las de producción de ácido nítrico.

Proceso sulfonítrico

En el proceso sulfonítrico, se trata fosforita triturada a un tamaño grueso, que pase por un tamiz de malla 10, con ácido nítrico al 53%-57%, manteniéndose la temperatura del reactor en torno a los 65°C. La reacción se efectúa en varios tanques. La lechada acidulada se hace reaccionar a su vez con una solución de amoníaco y sulfato amónico. Dicha reacción puede expresarse así:



La lechada resultante, que contiene nitrato amónico y sulfato cálcico, así como productos derivados del tratamiento con ácido nítrico, se envía a las instalaciones correspondientes para su granulación, secado, tamizado y refrigeración. Los gránulos de tamaño excesivo se trituran y se reciclan para ser nuevamente granulados con los finos. El producto enfriado se reviste antes de su envío al depósito.

En una variante de este proceso, parte del tratamiento amoniacal se efectúa en el neutralizador, y el amoníaco restante se aplica en la granuladora de tambor rotatorio. En otra variante, el yeso precipitado en forma de cristales se separa mediante un filtro de depósito basculante, similar al utilizado en las plantas de ácido fosfórico.

La torta de yeso, una vez lavada para recuperar las aguas madres, vuelve a lavarse en un filtro de vacío rotatorio. La torta resultante se hace pasar a la sección de recuperación de sulfato amónico. En dicha sección, el yeso se hace reaccionar con carbonato amónico por el proceso Mersiburg. La solución de sulfato amónico se recicla a la sección de precipitación.

La lechada procedente de la sección de filtrado, que contiene nitrato amónico y la mezcla fosfatada, se neutraliza con amoníaco y se envía al evaporador. La concentración se efectúa en dos etapas de evaporación y al vacío, a fin de conseguir un producto con un contenido de humedad del 1,0%. El "fundente" concentrado se envía a la granuladora y se añade cloruro potásico en la cantidad necesaria. Los perdigones se enfrían, se tamizan y se revisten.

Los finos y los gránulos de tamaño excesivo se reciclan.

Puede obtenerse un producto con una hidrosolubilidad de hasta el 70%. Sin embargo, los valores más elevados obtenidos en la práctica varían entre un 30% y un 50%.

Las fórmulas del producto fabricado por este proceso suelen ser las siguientes:

14-14-0

11-11-11

20-10-0

15-15-0

Ventajas

El producto es de una hidrosolubilidad razonable
El sulfato contenido en el producto puede ser micronutriente

Propietarios del proceso

PEC-Engineering

Pierrefitte Aubry SA

Produits Chimiques Pechiney-Saint-Gobain

Stamicarbon BV

Tennessee Valley Authority

Licenciarios

Continental Engineering

Coppée-Rust SA

Didier Engineering GmbH

Foster Wheeler Corporation

Friedrich Uhde GmbH

The M. W. Kellogg Company

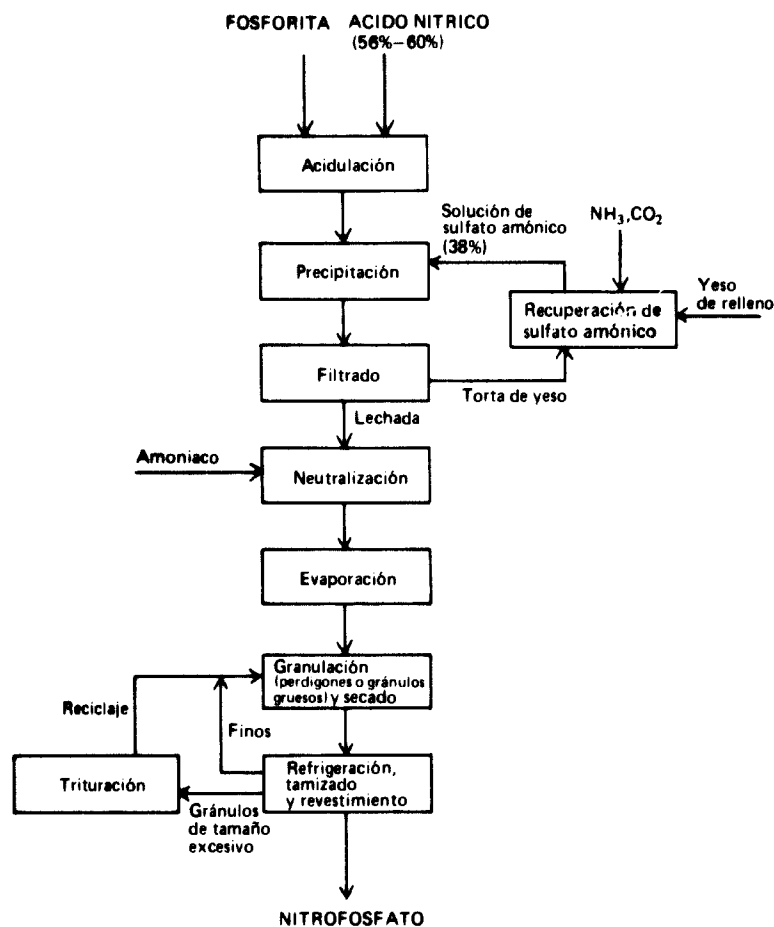
PEC-Engineering

Sim-Chem Division, Simon Carves Ltd

VEB Chemie Ingenieurbau Leipzig

Costo de una planta normal

Una planta de 1.000 t/d de fertilizante 15-15-0 puede costar entre 22 y 26 millones de dólares.



Fabricación de nitrofosfato por el proceso sulfonítrico

Proceso fosfonítrico

La fosforita se trata con ácido nítrico al 50%-60%, manteniéndose la temperatura de los reactivos entre 70° y 80°C. El calcio presente en la fosforita se convierte en nitrato cálcico, y, una vez acidulado, se añade P_2O_5 hidrosoluble de otras fuentes, tales como ácido fosfónico, FDA o FMA. A continuación se inyecta en la lechada vapor de amoníaco a una temperatura de 60°-70°C. Durante el tratamiento amoniacal, el nitrato cálcico obtenido por digestión de ácido nítrico reacciona con ácido fosfórico, produciéndose fosfato dicálcico y formándose también nitrato amónico. Esta fase del proceso resuelve, pues, el problema del nitrato cálcico. Se añade ácido fosfónico en mayor cantidad de la necesaria para formar fosfato dicálcico, con objeto de que se forme fosfato monocálcico hidrosoluble. La lechada resultante se combina, si es necesario, con una sal de potasio y se envía a las instalaciones de granulación y secado. En lugar de ello, puede utilizarse una etapa de pulverización-secado con un dispositivo "esferodizador". (En una variante del proceso, se utilizan dos reactores y dos tanques de tratamiento amoniacal para facilitar el control del proceso, así como un dispositivo "esferodizador".) El

producto se tamiza, se enfría y se reviste antes de ser enviado al depósito. Los gránulos de tamaño excesivo se trituran y se reciclan para ser nuevamente granulados en unión de los finos.

En este proceso se fabrican productos de las fórmulas que a continuación se indican; alrededor del 60% de los fosfatos se hallan presentes en forma hidrosoluble.

16-23-0
14-14-14
17-35-0
20-20-0

Ventajas

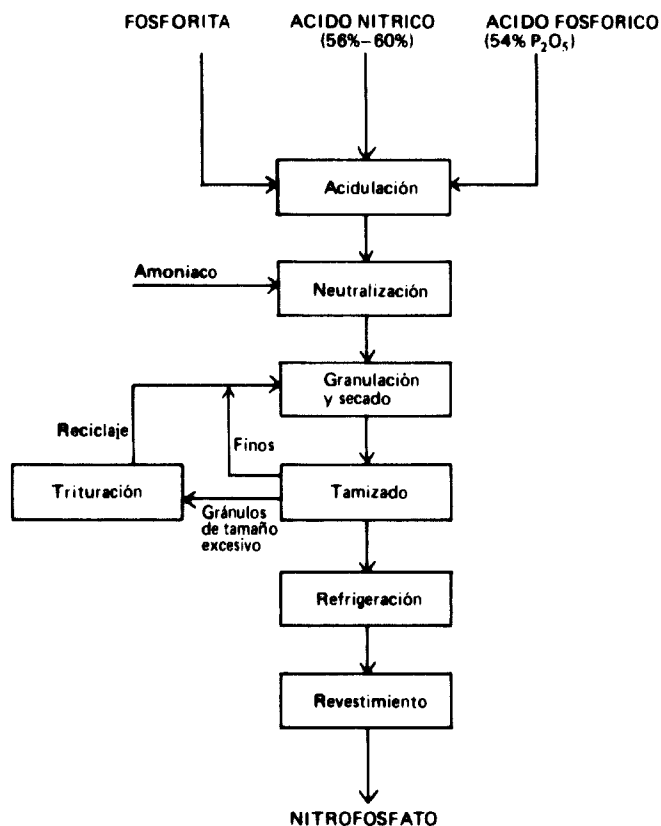
Productos con elevado contenido de N/P_2O_5 y un grado razonable de hidrosolubilidad

Inconvenientes

Dependencia de la disponibilidad de ácido fosfórico

Propietarios del proceso

Pec-Engineering
Produits Chimiques Pechiney-Saint-Gobain
Tennessee Valley Authority



Fabricación de nitrofosfato por el proceso fosfonítrico

Licenciatarios

Continental Engineering
 Didier Engineering GmbH
 Foster Wheeler Corporation
 Friedrich Uhde GmbH
 The M. W. Kellog Company
 PEC-Engineering
 Sim-Chem Division, Simon-Carves Ltd
 VEB Chemie-Ingenieurbau Leipzig

Costo de una planta normal

Una planta de 1.000 t/d de fertilizantes 14-14-14 puede costar entre 22 y 26 millones de dólares. Esas cifras no comprenden el costo de las instalaciones de producción de ácido fosfórico.

Proceso carbonítrico

En el proceso carbonítrico se utiliza dióxido de carbono (CO_2) para convertir el nitrato cálcico en carbono cálcico. La acidulación se efectúa como en los otros procesos de fabricación de nitrofosfato. A continuación se añade un estabilizador, como magnesio o sulfato potásico, para evitar la reversión de fosfato dicálcico a fosfato tricálcico insoluble; por tonelada de producto se precisan de 20 a 30 kilos de estabilizador. Después de la acidulación y de la estabilización, se añade amoníaco para neutralizar el ácido, procediéndose luego a la carbonatación de la lechada. El pH final debe mantenerse entre 7,0 y 8,0 ajustando el amoníaco añadido. En el producto, los

fosfatos se hallan presentes en forma insoluble hasta un 6%. La lechada de reacción se granula con finos reciclados en una mezcladora de paleta, y luego se seca y se enfría. Antes de la granulación, puede añadirse potasa en la cantidad necesaria. Las fórmulas típicas del producto son 16-14-0 y 13-11-12.

Ventajas

Utilización de CO_2 para incorporar calcio a nitrato cálcico, pues en las plantas de amoníaco suele disponerse de un excedente de CO_2 como subproducto.

Desventajas

El fosfato se halla en forma insoluble, y un 95% del producto en forma citratosoluble. Por ello, el fertilizante sólo puede aplicarse a ciertos cultivos y suelos.

El carbonato cálcico contenido en el producto neutraliza la acidez del suelo, que precisamente es necesaria para hacer asimilable el fosfato dicálcico.

Propietario del proceso

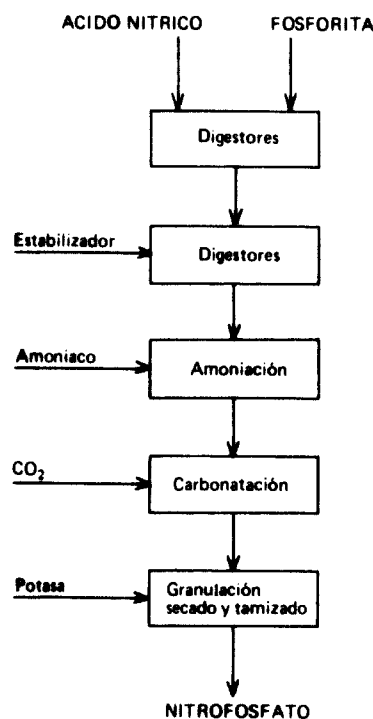
PEC-Engineering

Licenciatario

PEC-Engineering

Costo de una planta normal

Una planta de 1.000 t/d puede costar unos 20 millones de dólares.



Fabricación de nitrofosfato por el proceso carbonítrico

Anexo

LISTA DE EMPRESAS

- AB Celleco
P.O. Box 94
S-14700 TUMBA
Suecia
- Albright and Wilson Ltd
1 Knightsbridge Green
LONDRES S.W.1
Reino Unido
- A.P.V. Kestner Ltd
GREENHITHE
Kent
Reino Unido
- The Austin Company
3650 Mayfield
CLEVELAND, Ohio 44121
Estados Unidos de América
- Azote et Produits Chimiques (APC) SA
143, route d'Espagne
F-31000 TOULOUSE
Francia
- BASF Aktiengesellschaft
Carl Bosch-Strasse 38
D-6700 LUDWIGSHAFEN/RHEIN
República Federal de Alemania
- Büttner Scheide Haas GmbH
KREFELD-UERDINGEN
República Federal de Alemania
- Canadian Industries Ltd
P.O. Box 5201
201 Queens Avenue
LONDRES, Ontario
Canadá N6A 4L6
- C. F. Braun and Company
ALHAMBRA, California 91802
Estados Unidos de América
- Chemical Construction Corporation (Chemico)
1 Penn Plaza
NUEVA YORK, Nueva York 10001
Estados Unidos de América
- Chemie Linz AG
Postfach 296
A-4021 LINZ
Austria
- Chemie Fabrik Kalk GmbH
Postfach 910210
D-5000 COLONIA 91
República Federal de Alemania
- Chiyoda Chemical Engineering and Construction
Company Ltd
1850 Tsurumi-cho
YOKOHAMA 230
Japón
- COCEI- Compagnie Centrale d'Etudes Industrielles
44, Avenue de Chatou
F-92504 RUEIL-MALMAISON
Francia
- Collier Carbon and Chemical Corporation
Union Oil Center
P.O. Box 60455
West Olympic Boulevard
LOS ANGELES, California
Estados Unidos de América
- Continental Engineering
(Ingenieursbureau voor de Procesindustrie NV)
Postbus 5294
De Boelelaan 589
AMSTERDAM
Países Bajos
- Coppée-Rus SA
251, avenue Louise
B-1050 BRUSELAS
Bélgica
- Davy Powergas GmbH
Postfach 450280
Aachenerstrasse 958
D-5000 COLONIA 41
República Federal de Alemania
- Davy Powergas, Inc.
P.O. Box 2436
LAKELAND, Florida 33803
Estados Unidos de América
- Davy Powergas Ltd
8 Baker Street
LONDRES W1M 10A
Reino Unido
- Didier Engineering GmbH
Industrieanlagenbau
P.O. Box 360
Alpenstrasse 28
D-4300 ESSEN
República Federal de Alemania
- Dorr Oliver, Inc.
77 Havemeyer Lane
STANFORD, Connecticut 06094
Estados Unidos de América

- Engineering Company for Inorganic Chemistry and Fertilizer Industry (IPRAN)
19-21 Mihail Eminescu Street
BUCAREST
Rumania
- Farbenfabriken Bayer AG
D-5090 LEVERKUSEN-BAYERWERK
República Federal de Alemania
- The Fertilizers and Chemicals Travencore Ltd
UDYOGAMANDAL, Cochin
India
- Fisons Ltd
Fertilizer Division
Harvest House
FELIXSTOWE, Suffolk IP11 7LP
Reino Unido
- Fluor Corporation
2500 South Atlantic Boulevard
LOS ANGELES, California 90040
Estados Unidos de América
- Foster Wheeler Corporation
110 South Orange Avenue
LIVINGSTON, New Jersey 07039
Estados Unidos de América
- Fried. Krupp GmbH
Postfach 979
D-4300 ESSEN 1
República Federal de Alemania
- Friedrich Uhde GmbH
Deggingstrasse 10-12
D-4600 DORTMUND
Republica Federal de Alemania
- Gulf Design Company
Division of the Badger Company, Inc.
1052 East Memorial Boulevard
LAKELAND, Florida 33801
Estados Unidos de América
- Haines and Associates, Inc.
5050 Westheimer
HOUSTON, Texas 77027
Estados Unidos de América
- Heurtey Industries
B.P. 323
30, rue Guersant
F-75823 PARIS cedex 17
Francia
- Hitachi Zosen
1-1, 1-chome Hototsubashi
Chiyoda-ku
TOKYO 100
Japón
- H. K. Ferguson Company, Inc.
1 Erieview Plaza
CLEVELAND, Ohio 44114
Estados Unidos de América
- Hymphreys & Glasgow Ltd
22 Carlisle Place
LONDRES, SW1P 1JA
Reino Unido
- IMI-Institute for Research and Development
P.O. Box 313
HAIFA
Israel
- Jacobs Engineering Company
837 South Fair Oaks Avenue
PASADENA, California 91105
Estados Unidos de América
- Kaltenbach et Cie SA
192, Grandu Rue
F-92310 SEVRES
Francia
- Kellog Continental BV
P.O. Box 5294
De Boelelaan 873
AMSTERDAM
Países Bajos
- Kemira Oy
P.O. Box 330
Malminkatu 30
SF-00100 HELSINKI 10
Finlandia
- Krebs et Cie SA
61, rue Pouchet
F-75017 PARIS
Francia
- The Lummus Company
1515 Broad Street
BLOOMFIELD, New Jersey 07003
Estados Unidos de América
- Lurgi Chemie und Hüttentechnik GmbH
Gervinusstrasse 17/19
D-6000 FRANKFURT/MAIN
República Federal de Alemania
- Matthew Hall Engineering Ltd
Matthew Hall House
101-108 Tottenham Court Road
LONDRES W1A 1BT
Reino Unido
- Mitsubishi Chemical Industries Ltd
c/o Mitsubishi Building
5-2, 2-chome Marunaichi
Chiyoda-ku
TOKYO 100
Japón
- Mitsui Toatsu Chemicals, Inc.
3-2-5 Kasumigaseki
Chiyoda-ku
TOKYO
Japón
- Monsanto Enviro-Chem Systems, Inc.
10 South Riverside Plaza
CHICAGO, Illinois 60606
Estados Unidos de América
- Montedison SpA
Largo Donegani 1-2
I-20134 MILAN
Italia

The M. W. Kellogg Company
1300 Three Greenway Plaza East
HOUSTON, Texas 77046
Estados Unidos de América

Niigata Ryusan Company Ltd
1686 Sebiya
NIIGATA
Japón

Nissan Chemical Industries Ltd
Kowa-Hitotsubashi Building
7-1, 3-chome
Kanda-Nishiki-cho
Chiyoda-ku
TOKYO
Japón

Nordengren Patenter AB
LANDSKRONA
Suecia

Norden Industries Metalurgicas SA
Caixa Postal 391
Av. Brig. Luiz Antonio 849
SÃO PAULO
Brasil

Norsk Hydro AS
Bygdøy allé 2
OSLO 2
Noruega

Occidental Chemical Company
P.O. Box 1185
2000 South Post Oak Road
HOUSTON, Texas 77001
Estados Unidos de América

Odda Smelteverk AS
N-5751 ODDA
Noruega

Outo Kumpu Oy
P.O. Box 10280
HELSINKI 10
Finlandia

PEC-Engineering
62/68 Rue Jeanne d'Arc
F-75646 PARIS cedex 13
Francia

Pierrefitte-Auby SA
4, avenue Velasquez
F-75008 PARIS
Francia

Produits Chimiques Pechiney-Saint-Gobain
B.P. 122
63, rue de Villiers
NEUILLY-SUR SEINE
Francia

Rhone-Poulenc Group
Société des Usines Chimiques
B.P. 753
22, avenue Montaigne
F-75008 PARIS
Francia

San Kagaku Company Ltd
1-9, 8-chome Hatscho-Bori
Chuo-ku
TOKYO
Japón

Scottish Agricultural Industries Ltd
25 Raverlston Terrace
EDIMBURGO EH4 3ET
Escocia

Sim-Chem Division
Simon-Carves Ltd
STOCKPORT, Cheshire SK3 ORZ
Reino Unido

Singmaster and Breyer
100 Park Avenue
NUEVA YORK, Nueva York 10017
Estados Unidos de América

Société de Prayon SA
ENGIS
Bélgica

Société Produits Chimiques et Synthesis SA
29, rue Emile Zola
BEZONS, Seine et Oisse
Francia

Stamicarbon BV
P.O. Box 10
GELEEN
Países Bajos

Stone Webster Engineering Corporation
90 Broad Street
NUEVA YORK, Nueva York 10004
Estados Unidos de América

Sturtevant Mill Company
103 Clayton Street
BOSTON, Massachusetts 02122
Estados Unidos de América

Submerged Combustion (Engineering) Ltd
Harcourt
HALESFIELD, Telford, Shropshire TF7 4NG
Reino Unido

Sumitomo Chemical Company Ltd
15, 5-chome Kitahama
Higashi-ku
OSAKA
Japón

Swenson Evaporator Company
Whiting Corporation
HARVEY, Illinois 60426
Estados Unidos de América

Swindler Dressler Company
441 Smithfield Street
PITTSBURGH, Pensilvania 15222
Estados Unidos de América

Tennessee Valley Authority (TVA)
MUSCLE SHOALS, Alabama 35660
Estados Unidos de América

Toyo Engineering Corporation
2-5, 3-chome Kasumigaseki
Chiyoda-ku
TOKYO
Japón

Ugine Kuhlmann SA
25, boulevard de l'Amiral Bruix
F-75782 PARIS cedex 16
Francia

VEB Chemiewerke Magdeburg
Schwiesausstrasse 6
DDR-3018 MAGDEBURG
República Democrática Alemana

VEB Chemie-Ingenieurbau Leipzig
Georgiring 1/3
DDR-701 LEIPZIG
República Democrática Alemana

Wellman Incandescent Ltd
Chemical Engineering Division
Cornwall Road
WARLEY, Worcestershire
Reino Unido

Whiting Corporation
Swenson Division
15613 Lathrop Avenue
HARVEY, Illinois 60426
Estados Unidos de América

Woodall-Duckham Ltd
CRAWLEY, Sussex RH10 1UX
Reino Unido

Bibliografía

Publicaciones de carácter general

British Sulphur Corporation. *Techno-economic appraisal for fertilizer industry in Arab states*. Londres, 1976.

———. *World guide to fertilizer processes and constructors*. 5. ed. Londres, 1974.

Fertilizer Association of India. *Fertilizer handbook on technology*. Nueva Delhi, 1975.

Sauchelli, V., ed. *Chemistry and technology of fertilizers*. Nueva York, Reinhold, 1964.

———. *Technology of phosphatic fertilizer*.

Tennessee Valley Authority, *World fertilizer market review and outlook*. Muscle Shoals, Alabama, 1974.

Informe a la Agencia para el Desarrollo Internacional, de los Estados Unidos.

Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial. *Manual de fertilizantes*, 1967. (ST/CID/15)

Núm. de venta: S.67.II.B.1.

Acido sulfúrico

Chari, K. S. *Recent advances in sulphuric acid production*. *Chemical age of India* (Bombay) 1976.

Hignett, T. P. *Technical and economic comparison of sulphuric and nitric acid routes to phosphate fertilizers*. Memoria preparada para el Seminario ANDA/ISMA, Brasil, abril 1975.

Sulphuric acid synthesis at elevated pressure. *Sulphur* (Londres) 124, mayo 1976.

Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial. *Reducción del consumo de azufre en la fabricación de fertilizantes*. (ID/SER.F/3)

Núm. de venta: S.69.II.B.26.

Acidos fosfórico y superfosfórico

Hignett, T. P. *Technical and economic comparison of nitric and sulphuric acid routes to phosphate fertilizers*. Memoria preparada para el Seminario ANDA/ISMA, Brasil, abril 1975.

Nayar, K. P. A. and S. Balasubramanian. *Wet process acid manufacture*. Memoria preparada para el Seminario FAI/ISMA, Nueva Delhi, 1975.

Roy, B. B. and A. K. Roy. *Process for direct production of high concentration phosphoric acid*. *F.A.I. technical review* (Nueva Delhi) 15, 1973.

Slack, A. V., ed. *Phosphoric acid*. 2 vols. Nueva York, Marcel Deccer, 1968 (Fertilizer science and technology series No. 1).

Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial. *Nuevo proceso para producir fertilizantes fosfatados utilizando ácido clorhídrico*. (ID/SER.F/5)

Núm. de venta: S.69.II.B.23.

———. *Reducción del consumo de azufre en la fabricación de fertilizantes*. (ID/SER.F/3)

Núm. de venta: S.69.II.B.26.

Superfosfato simple

Gupta, R. K. *NPK fertilizers using urea and superphosphate*. Memoria preparada para el Seminario FAI/ISMA, Nueva Delhi, 1975.

Fosfosulfato amónico

Sim-Chem. *Data sheet 211-1.4*. Stockport, Cheshire, Reino Unido.

Nitrofosfato amónico

Hunter and Hawkslev. *High analysis NPK fertilizer*. Memoria preparada para el Seminario FAI/ISMA, Nueva Delhi, 1975.

Fosfato urea-amonio

Gupta, V. R. R. and P. N. Arunachalam. *Production of complex fertilizers in Madras*. Memoria preparada para el Seminario FAI/ISMA, Nueva Delhi, 1975.

Hock, C. *Granulation of urea compound fertilizers*. Memoria preparada para el Seminario FAI/ISMA, Nueva Delhi, 1975.

Manufacture of granular compound fertilizers based on urea. By J. D. C. Memsley and others. Memoria preparada para el Seminario FAI/ISMA, Nueva Delhi, 1975.

Nitrofosfato

- Agarwall, M. N. NP and NPK fertilizers through nitrophosphate route. Memoria preparada para el Seminario FAI/ISMA, Nueva Delhi, 1975.
- Grundt, T. and I. S. Mangat. Modern nitrophosphate technology. Memoria preparada para el Seminario FAI/ISMA, Nueva Delhi, 1975.
- Hignett, T. P. Technical and economic comparison of nitric and sulphuric acid routes to phosphate fertilizers. Memoria preparada para el Seminario ANDA/ISMA, Brasil, abril 1975.
- Keleti, C. and E. Pelitti. Particular application of spherodizer in the Guano-Werke process. *Nitrogen* (Londres) marzo/abril 1970.
- Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial. Recent developments in the fertilizer industry. Informe del Segundo Simposio Interregional sobre la Industria de los Fertilizantes. (ID/94)
Núm. de venta: 72.II.B.31.
- Van Luyt, P. Technical and economic comparison of precipitation and crystallization routes. Memoria preparada para el Seminario FAI/ISMA, Nueva Delhi, 1975.

La serie "Desarrollo y transferencia de tecnología" de la ONUDI

Número

- *1. Experiencias nacionales en la adquisición de tecnología (ID/187), núm. de venta: S.78.II.B.7. Precio: \$8,00 (EE.UU.)
2. UNIDO Abstracts on Technology Transfer (ID/189)
- *3. La fabricación de vehículos económicos en los países en desarrollo (ID/193), núm. de venta: S.78.II.B.8. Precio: \$3,00 (EE.UU.)
4. Manual de instrumentación y control de calidad en la industria textil (ID/200)
- *5. Tecnología para aprovechar la energía solar (ID/202), núm. de venta: S.78.II.B.6. Precio: \$10,00 (EE.UU.)
6. Técnicas audiovisuales para la Industria (ID/203)
7. Tecnologías procedentes de países en desarrollo (ID/208)

En América del Norte, Europa y Japón pueden obtenerse gratuitamente todas las publicaciones arriba enumeradas excepto las marcadas con un asterisco, que en esas zonas se distribuyen, al precio indicado, en una edición para la venta publicada aparte. En el resto del mundo pueden obtenerse gratuitamente todas las publicaciones arriba enumeradas, sin excepción alguna.

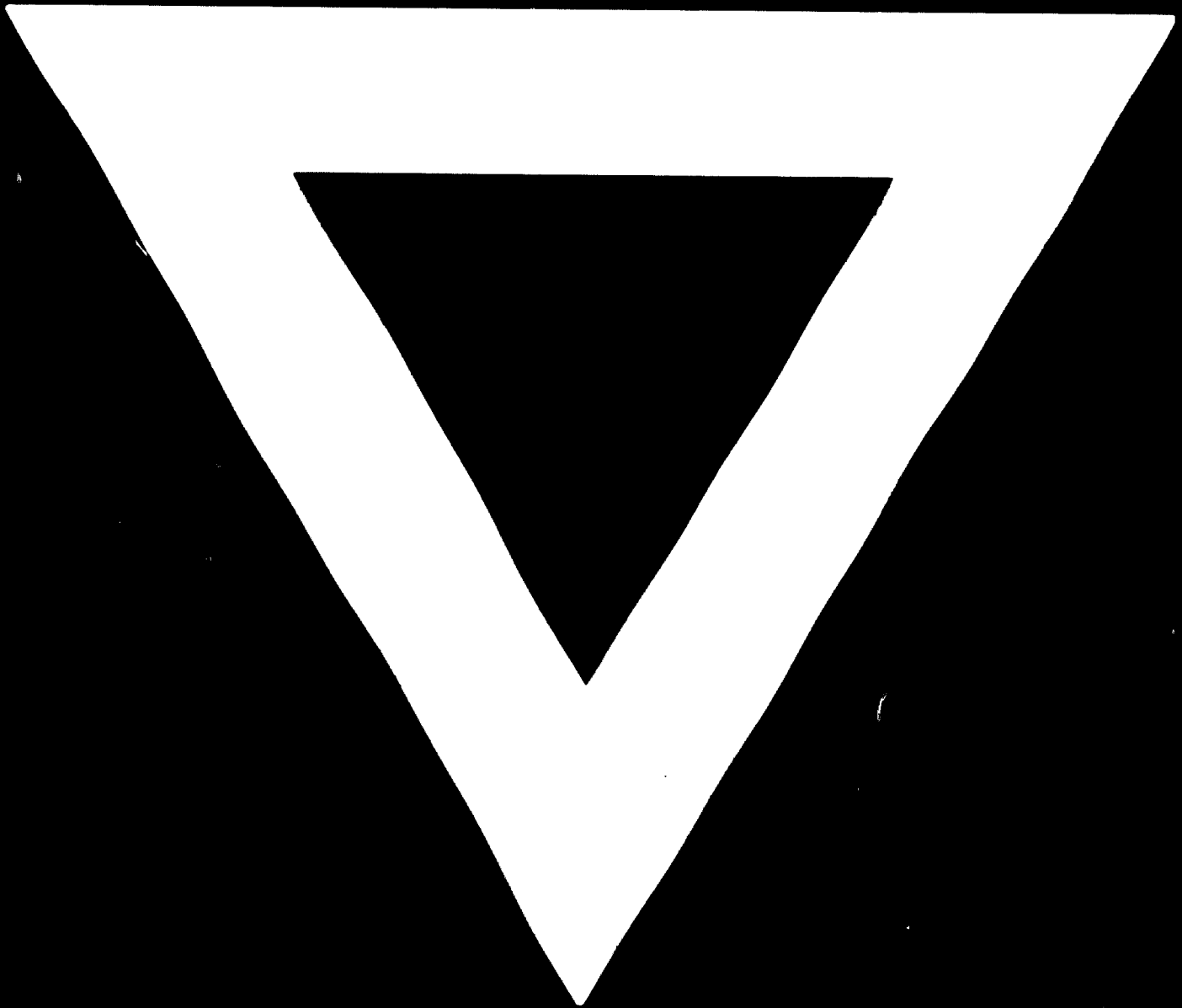
Las solicitudes de ejemplares gratuitos deben enviarse, con indicación del título y la signatura (ID/...) de la publicación, a: Redacción, *Boletín Informativo de la ONUDI*, P.O. Box 300, A-1400 Viena (Austria).

Las publicaciones de venta deben encargarse, por título y número de venta, a los distribuidores autorizados de publicaciones de las Naciones Unidas o a una de las oficinas siguientes:

Para Europa
Sección de Ventas
United Nations Office
CH-1211 Ginebra 10
Suiza

Para América del Norte y Japón
Sección de Ventas
United Nations
Nueva York, Nueva York 10017
Estados Unidos de América

C-385



81.01.12