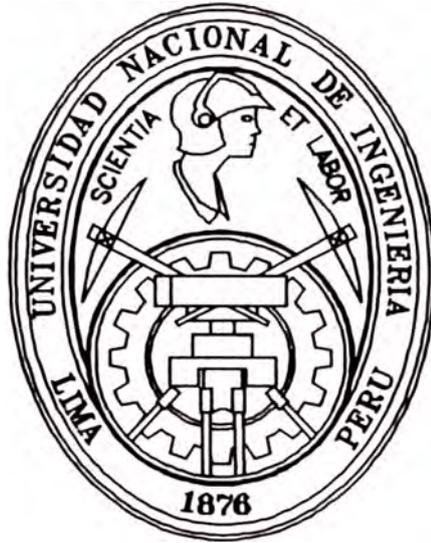


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO**



**FACTIBILIDAD TÉCNICA – ECONÓMICA DE IMPLANTAR UN  
COMPLEJO PETROQUÍMICO DE FERTILIZANTES EN  
BAYÓVAR**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE :**

**INGENIERO PETROQUÍMICO**

**PRESENTADO POR:**

**CARLOS ORLANDO LLERENA VARGAS**

**PROMOCIÓN 2003 – II**

**LIMA – PERÚ**

**2004**

***“Hay dos clases de hombres que nunca alcanzarán grandes éxitos: Aquellos que no pueden hacer lo que se les manda y aquellos que no pueden sino lo que se les manda.”***  
***Cyrus K. Curtis***

## AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por darme el maravilloso regalo que es la vida, por estar siempre a mi lado, por protegerme, darme fuerza y valor para seguir siempre adelante y así poder alcanzar mis metas.

A mi **Alma Mater**, la **Universidad Nacional de Ingeniería**, en especial a todos los **docentes** de la **Facultad de Ingeniería de Petróleo**, por la amistad y por todos los conocimientos compartidos durante todos estos años.

A mi colegio, **S.S.C.C. Recoleta**, por la formación y la enseñanza de valores básicos como son: DIOS, PATRIA, CULTURA Y HOGAR.

Al **R.P. Gregorio Bouduaquin Carre**, por los consejos y la ayuda constante, además de su invaluable amistad que brindó a mi familia.

A mi **Familia**, mis padres Carlos y Mercedes, hermanos Evelyn y Orlando, abuelos, tíos y primos, por confiar en mí y darme las fuerzas suficientes para conseguir lo que me propongo.

A mis **Amigos**, por el tiempo compartido, por su amistad, por los consejos dados, por los buenos y malos momentos.

A todos ellos simplemente les digo de corazón: **MUCHAS GRACIAS**

Carlos Orlando Llerena Vargas

## SUMARIO

La presente tesis abarca un estudio técnico – económico acerca de la implantación de un proyecto petroquímico en el Perú para la producción de Fosfato Diamónico, comercialmente conocido como DAP, para su uso como fertilizante, a partir del Amoniaco y del Ácido Fosfórico, los cuales son derivados del Gas Natural Seco o Metano con el Nitrógeno del aire y de la Roca Fosfórica con el Ácido Sulfúrico respectivamente.

Mediante este estudio se trata de demostrar que es factible y rentable la implantación de este complejo petroquímico de fertilizantes fosfatados a partir de la roca fosfórica de Bayóvar, para la obtención final del Fosfato Diamónico, pasando por la obtención del Ácido Fosfórico y su posterior combinación con el Amoniaco para la obtención del producto deseado. Cabe resaltar que no se va a dejar de producir la roca fosfórica para su uso directo como fertilizante también, cubriendo de esta manera la demanda nacional, de la cual somos deficitarios, y buscando nuevos mercados en los países del litoral del Océano Pacífico.

En el Capítulo I se menciona una breve historia de los fosfatos de Bayóvar, su descubrimiento y posterior explotación a cargo tanto de empresas extranjeras como nacionales y sus posteriores fracasos en lo que respecta a su privatización; así como se da la justificación de por qué la importancia de su esperado desarrollo.

En el Capítulo II se ve todo lo que respecta al estudio del mercado nacional, sus ofertas y demandas, ya que somos deficitarios de los fertilizantes fosfatados y es por eso su actual importación. Del estudio se deduce que para el año 2010, existirá un déficit de 9.92 millones de TM/año de  $P_2O_5$  en el mercado objetivo para Bayóvar constituidos por los países pertenecientes a la

Cuenca del Pacífico (América Latina, Oceanía, Asia del Sur, Asia del Este y Asia Socialista); y en nuestro país se estima un consumo potencial superior a 1.5 millones de TM de Roca fosfórica.

En el Capítulo III se habla de las características del tamaño mínimo de la planta con el objetivo de satisfacer la demanda nacional del DAP aplicando una tendencia lineal creciente del mercado y de los factores a tomar en cuenta para su adecuada localización.

En el Capítulo IV se ve la parte de la Ingeniería del proyecto donde se presenta las dos posibles tecnologías a utilizar debido a su ahorro energético y por lo tanto a sus menores costos de procesos, lo cual lleva a producir un producto más competitivo y a menor precio. Para describir estos procesos se utilizan la patente US 2004/0047790 A1, para producción del ácido fosfórico a través del Proceso Húmedo, y la patente US 4758261, para la producción del fosfato diamónico en un reactor a alta presión.

En el Capítulo V se presenta la evaluación económica del proyecto total a partir de la roca fosfórica y la obtención final del producto, para esto se utilizan ciertos parámetros como el valor neto actual (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y tiempo mínimo de retorno de la inversión (POT).

En el Capítulo VI se dan las conclusiones y recomendaciones finales de los resultados obtenidos del estudio técnico económico del proyecto, las cuales tienen en cuenta aspectos de la coyuntura actual que se vive con respecto a la eserada concesión del proyecto Bayóvar.

## INDICE

|   | <b>Pág.:</b> |
|---|--------------|
| <b><u>Dedicatoria</u></b>                                 |              |
| <b><u>Agradecimientos</u></b>                             | III          |
| <b><u>Sumario</u></b>                                     | IV           |
| <br><b><u>CAPITULO I: INTRODUCCIÓN</u></b>                |              |
| <b>I.1 Introducción</b>                                   | 1            |
| <b>I.2 Antecedentes Históricos</b>                        | 2            |
| <b>I.3 Justificación del Proyecto</b>                     | 6            |
| <b>I.3.1 Objetivos</b>                                    | 9            |
| <b>I.3.2 Naturaleza y extensión</b>                       | 9            |
| <br><b><u>CAPITULO II: ESTUDIO DE MERCADO</u></b>         |              |
| <b>II.1 Antecedentes</b>                                  | 13           |
| <b>II.1.1 Generalidades</b>                               | 13           |
| <b>II.1.2 Consumo de nutrientes y fertilizantes</b>       | 14           |
| <b>II.1.3 Mezclas Físicas de Fertilizantes en el Perú</b> | 15           |

|  |  |     |
|--|--|-----|
| II.1.4   | Plantas Instaladas de Mezclas Físicas  | 16  |
| II.1.5   | Futuro de las Mezclas Físicas          | 19  |
| II.2   | El Producto                            | 20  |
| II.2.1   | Importancia del Fósforo en el Suelo    | 20  |
| II.2.2   | Fertilizantes Fosfatados               | 23  |
| II.2.3   | Método de Obtención                    | 28  |
| II.2.4   | Propiedades                            | 45  |
| II.3   | Análisis de la Demanda                 | 51  |
| II.3.1   | El Mercado Potencial                   | 51  |
| II.3.2   | Revolucionando el Agro                 | 53  |
| II.3.3   | Exportaciones / Importaciones / Oferta | 59  |
| <br><b><u>CAPÍTULO III: TAMAÑO Y LOCALIZACIÓN</u></b>  |  |     |
| III.1  | Materia prima                          | 66  |
| III.1.1  | Ácido fosfórico                        | 66  |
| III.1.2  | Amoniaco                               | 67  |
| III.1.3  | Roca Fosfórica                         | 71  |
| III.2  | Localización                           | 74  |
| III.3  | Tamaño De La Planta                    | 80  |
| III.3.1  | Tamaño mínimo económico                | 82  |
| <br><b><u>CAPITULO IV: INGENIERIA DEL PROYECTO</u></b> |  |     |
| IV.1   | Proceso de fabricación                 | 86  |
| IV.1.1   | Planta de Ácido Fosfórico              | 86  |
| IV.1.2   | Planta de Fosfato Diamónico            | 102 |

**CAPITULO V: EVALUACIÓN ECONÓMICA**

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| <b>V.1 Análisis Económico</b>        | 127 |
| <b>V.1.1 Capital Fijo</b>            | 129 |
| <b>V.1.2 Gastos Operativos</b>       | 130 |
| <b>V.1.3 Capital de trabajo</b>      | 131 |
| <b>V.1.4 Flujo de Caja Económico</b> | 132 |
| <b>V.1.5 Resumen y Resultados</b>    | 136 |

**CAPITULO VI: RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| <b>VI.1 Conclusiones</b>    | 137 |
| <b>VI.2 Recomendaciones</b> | 138 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| <b><u>BIBLIOGRAFÍA</u></b> | 141 |
|----------------------------|-----|

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| <b><u>DEFINICIONES</u></b> | 142 |
|----------------------------|-----|

|                        |     |
|------------------------|-----|
| <b><u>GLOSARIO</u></b> | 149 |
|------------------------|-----|

**ANEXOS:**

|   |          |
|---|----------|
| <b>Hoja de seguridad del ácido fosfórico</b>              | A – I    |
| <b>Hoja de seguridad del fosfato diamónico</b>            | A – VII  |
| <b>Propiedades físicas y químicas del ácido fosfórico</b> | A – XIII |
| <b>Listado de Figuras</b>                                 | A – XVI  |
| <b>- Listado de Tablas</b>                                | A – XVII |

# **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

## **I.1 INTRODUCCIÓN**

La actual coyuntura económica que vive el país en lo que respecta a la inversión privada en proyectos que por largo tiempo se han mantenido relegados, como son los casos de la actual explotación de los yacimientos San Martín y Cashiriari, conjuntamente conocidos como Bloque 88, Camisea, la firma del contrato y futura explotación del Bloque 56 y la anunciada próxima licitación de los fosfatos de los yacimientos de Bayóvar, nos permite diagnosticar un horizonte favorable para la aparición o nacimiento de futuros proyectos petroquímicos en el país.

Como es de conocimiento público el gobierno ha anunciado la próxima licitación de los fosfatos de los yacimientos de Bayóvar, como una primera etapa, ya que se ha señalado que todavía está en estudio la forma de privatización de las áreas de salmueras, calcáreo y diatomitas, entre otros minerales no metálicos con reservas también importantes en dichos yacimientos.

Cabe resaltar que estos yacimientos son de gran importancia no sólo porque son depósitos de fosfatos de gran volumen, considerados entre los mayores del mundo, sino también por la calidad de los mismos. En efecto, la roca fosfórica de Bayóvar tiene un alto grado de solubilidad, por lo que es considerada como una roca blanda, dicha cualidad facilita su utilización directa en suelos ácidos, como los de la selva y parte de la sierra del país; mientras que para los suelos alcalinos, que son la gran mayoría de los suelos de nuestra costa, su aplicación es perfectamente posible, pero no de manera directa sino bajo la forma de sus derivados como el Fosfato Diamónico, Fosfato Monoamónico, Súper Fosfato Triple, entre otros.

No olvidemos que desde 1993 Bayóvar fue incluido en el programa de privatización. Sin embargo, hasta la fecha se han realizado varias postergaciones sucesivas de su licitación. En este sentido, Bayóvar sigue siendo un "gigante dormido", al igual que Camisea lo fue en su tiempo. Sus fosfatos fueron explotados en pequeña escala por la Empresa Minera Regional Grau Bayóvar a través de una planta de una capacidad de producción no mayor a 100 mil TM de roca fosfórica al año; planta que paralizó sus operaciones en el año 1999 y posteriormente en el año 2000 el gobierno decidió liquidar.

Pero, no es sólo el volumen de los yacimientos, sino la calidad de los mismos que está a la altura de los mejores del mundo. Además, Bayóvar no es sólo fosfatos; son también las reservas de salmueras (sales de sodio, potasio, magnesio, etc.), que fueron descubiertas inmediatamente después, y que abarcan los reservorios de Ramón, Zapayal y Namuc, ascendiendo a 1,431 millones de TM de minerales, y asimismo, es un emporio de otros valiosos minerales no metálicos, como los yesos, calcáreos, diatomitas, andalucitas, etc.

Desde su descubrimiento a la fecha han transcurrido casi 50 años, llenos de acontecimientos increíbles y tristes; porque una riqueza de la magnitud de Bayóvar, que podría y debería en estos momentos estar ya siendo fuente de bienestar para la región y el país, continúa yaciendo inerte, casi improductiva en relación a su enorme potencial.

## **I.2 ANTECEDENTES**

*Extraído de: Bayóvar ¿por fin despertará el gigante dormido? del Dr. Ricardo Pineda*

### **Descubrimiento de los yacimientos**

Alrededor de los años 50, investigadores de la Universidad de Stanford en California habían llegado a la conclusión de que en aquellos lugares del mundo donde confluyeran corrientes marinas frías con calientes, debían existir

yacimientos de fosfatos (debido a la mortandad de organismos vivos que se sedimentan en el fondo y se mineralizan con el tiempo.)

Con base en esta teoría, Jorge Nicol vino a buscar los fosfatos que debían existir en la confluencia de las corrientes del Niño y de Humboldt en Bayóvar. En efecto, en el año 1958, cuya fecha exacta no ha quedado precisada, Jorge Nicol y Jorge Veratudela descubrieron los yacimientos de Bayóvar después de 8 días de búsqueda febril en el desierto de Sechura. A la fecha, las reservas probadas de roca fosfórica en los yacimientos de Bayóvar, se han contabilizado en 816 millones de TM (y en 10,000 millones de TM probables).

### **Historia de su gestión empresarial**

La primera empresa constituida, inmediatamente luego del descubrimiento de los yacimientos de fosfatos, fue la "Compañía de Minas Jorge Alberto", que luego cambió su nombre a "Minerales Industriales del Perú" (Midepsa). En el año 1964 Midepsa se asocia con la firma "Texana Mines" y se constituye la "Empresa Minera Bayóvar S.A."

En el año 1971 se incluye la participación de la Kaiser Aluminium Of Chemical, que garantizaba una inversión mínima de US\$ 120 millones y una producción mínima de dos millones de TM de fosfatos, más 200,000 TM de potasa y 2 millones de TM de sal. El gobierno de entonces desechó esta propuesta, declaró caducas las concesiones y tomó en sus manos el proyecto Bayóvar.

A partir del año 1972 Minero Perú recibe la propiedad de las concesiones y en 1973 crea la Unidad de Producción Bayóvar, que durante siete años realiza viajes, negociaciones, proyectos, en los que se gasta 15 millones de dólares sin ningún resultado positivo concreto.

En 1980 el gobierno crea una nueva empresa, denominada Probayóvar, constituida por Minero Perú, Enci y Cofide, que durante otros siete años hace lo mismo que sus antecesores, con un gasto de los recursos del Estado similar al monto anterior, y con los mismos resultados: nada concreto y positivo.

En 1987 se propone la creación de la "Empresa Minera Regional Grau Bayóvar" (EMRGB).

En el año 1990 el gobierno de la Región Grau transforma la Empresa Promotora Bayóvar (Probayóvar) en la "Empresa Minera Regional Grau Bayóvar" (EMRGB), en virtud de que la ley de creación de la Región Grau establecía que las empresas estatales ubicadas en esta región se convertirían en regionales; al año siguiente se integra a esta nueva empresa regional la Unidad de Producción Bayóvar de Minero Perú.

Los pasivos, asumidos por la nueva empresa regional, incluyendo la deuda por canon minero, ascendían en ese momento a 2'812,000 dólares. A pesar de todo esto - y con excepción de dos muy breves lapsos (de menos de un año en cada caso), en que la planta fue operada por Cefoisa (1992) y luego por Química del Pacífico (1995 – 96), la EMRGB desarrolló una empeñosa y eficiente actividad, de modo que el Estado ya no tuvo que invertir más dinero en ella, salvo el obvio pago anual de las concesiones.

Pese a todo ello, en 1993 y 1994, la EMRGB logró récords de producción de 94,000 y 95,000 TM, respectivamente, atendiendo al mercado interno (Ministerio de Agricultura y otros) y exportaciones a Nueva Zelanda y Australia.

En el año 1993, la EMRGB presentó al gobierno un plan de desarrollo de la empresa que consistía en la ampliación de la planta de beneficios de 120,000 a 250,000 TM/año y la construcción de un embarcadero en Bayóvar, cuya inversión total ascendía a los 3'500,000 dólares, financiados por Leo Raphaeli de Australia, pagaderos en 7 años, mediante un contrato de compra-venta de 80,000 TM anuales para la exportación. Tal propuesta fue rechazada en aras de una posible privatización.

### **Historia de su proyectada privatización**

En el año 1993 se incluyó a la EMRGB dentro del proceso de promoción de la inversión privada, es decir, dentro de la relación de empresas por privatizar; para lo cual se designó su Comité Especial de Privatización (CEPRI-

Bayóvar), en el cual estaba considerado, como miembro del mismo, el Ing. Jorge Veratudela, en su calidad de presidente del directorio de la EMRGB.

Sin embargo, posteriormente, en el año 1996 se disolvió este CEPRI, y se dispuso que el CEPRI de Minero Perú se encargara también del proceso de privatización de la EMRGB.

Luego, en el año 1998 renunció este CEPRI y se nombró un nuevo CEPRI que quedó encargado del proceso de privatización de Minero Perú, Centromin y la EMRGB.

La opción más importante, posiblemente, se dio el año 1998 cuando el proceso llegó también a la etapa de convocatoria pública y se tuvo ofertas concretas de inversión de varios cientos de millones de dólares, a todas luces de amplio beneficio para la región y el país. Tanto así que la colectividad regional, a través de sus instituciones, en comunicados conjuntos, se manifestó públicamente invocando al gobierno que diera el paso histórico de dar luz verde a la privatización de Bayóvar. Posteriormente esto nunca se llegó a realizar.

En junio del año 2000, se volvió a nombrar un CEPRI específico para Bayóvar, del cual formó parte el Dr. Antonio Mabres, rector de la Universidad de Piura (Udep). Dicha comisión al igual que sus predecesoras no llegó a realizar la tan esperada privatización.

Finalmente en Febrero del 2004 se suscribió el Convenio Marco entre la Comunidad campesina San Martín de Sechura y PROINVERSION para la explotación de los fosfatos de Bayóvar. Este documento sirve como marco para la elaboración de las bases de la convocatoria a los inversionistas. De acuerdo a esto la subasta pública (adjudicación de la buena pro) estaba prevista para el 24 de setiembre del 2004 pero se ha visto retrasada para el mes de Diciembre.

### **I.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

Los fosfatos de Bayóvar, calificados como el mejor y más eficaz fertilizante del mundo, fueron descubiertos en el siglo pasado, pero es a partir de 1955 que se empiezan a explotar con fines industriales y representa uno de los yacimientos más grandes del mundo, siendo su geología y reservas muy conocidas. Los análisis y pruebas químicas realizadas por un gran número de especialistas independientes en estos últimos 35 años, han demostrado que las características generales de los concentrados de roca fosfórica a ser obtenidos de los depósitos de Bayóvar, son comparables con los ofrecidos actualmente por Florida, Marruecos, Jordania, Nauru y otros adecuados para producir fertilizantes de valor gran agregado como el Superfosfato Triple y Fosfato de Diamónico.

Para situarnos geográficamente, debemos decir que los yacimientos de Bayóvar valorizados en más de US\$ 20,000 millones, están estratégicamente enclavados en la Cuenca del Pacífico, específicamente en la costa norte del Perú en el distrito de Sechura, provincia de Sechura, departamento de Piura; en la costa noroeste del Perú, a 85 km al oeste de la ciudad de Piura, al nivel del mar. El acceso a los yacimientos es por carretera asfaltada, desde las ciudades de Lima y Piura. Cuenta con reservas potenciales de 10,000 millones de TM de roca fosfórica y con reservas probadas de más de 250 millones de TM, calculadas como concentrado al 30.5% de pentóxido fosfórico ( $P_2O_5$ ). Por su cercanía al mar, estos yacimientos tienen un fácil acceso a los países de la Cuenca del Pacífico, donde actualmente la importación de roca fosfórica supera los 23 millones de TM anuales.

La roca fosfórica es una arena de grano fino redondeado que contiene pentóxido fosfórico ( $P_2O_5$ ), que es un mineral semiduro, brillante, abrasivo agrupando además a otros de su género como: calcio, flúor, hierro, aluminio, magnesio, potasio, cloro, sodio y uranio en mínimas cantidades. Según las investigaciones probadas a nivel internacional, tanto en laboratorio, como en el campo, el efecto en la agricultura es notable; la papa rinde 400 por ciento más, que en una misma área donde no sea aplicada la roca fosfórica; trigo 300 por ciento más; maíz 200 por ciento más; en pastos en zonas selváticas 800 por

ciento más. Es de suma importancia remarcar, que la roca fosfórica de Bayóvar es conocida por ser excepcionalmente soluble, lo que la hace muy aceptable para la aplicación directa, como lo hace Nueva Zelanda con la roca fosfórica (US\$ 42.00), o sino también con los derivados de la roca fosfórica como los fertilizantes fosfatados (US\$ 120.00 a US\$ 200.00) como es el Superfosfato triple (SFT) y el Superfosfato Diamónico (DAP); debemos señalar además que este yacimiento presenta una estructura de capas sedimentarias uniformes casi horizontales y sobre todo muy cerca de la superficie, permitiendo una fácil y económica extracción de la roca. Existen, además de los fosfatos en Bayóvar, las Salmueras de Ramón para obtener potasa y sal industrial, diatomitas para la fabricación de materiales aislantes-refractarios y filtrantes y también yeso.

La rentabilidad del proyecto está respaldada por los estudios realizados por empresas especializadas en el tema como Arthur Roth & Associates, Fetercon, C. Itoh, Norkshidro, Jacobs Engineering, Zellars y Williams y el Banco Mundial, entre muchos más.

La explotación de los yacimientos de Bayóvar podría representar el despegue socioeconómico del norte del Perú, pudiéndole generar al país ingresos reales, similares al Proyecto del Gas de Camisea.

Otro punto importante es que uno de los factores limitantes de la producción agrícola en el Perú lo constituye la escasa fertilidad de los suelos, que en promedio alcanza al 60% de las tierras agrícolas. En lo particular, numerosas investigaciones señalan al fósforo como el elemento más deficiente en la Sierra, llegando hasta un 80% de suelos de contenido medio a bajo de fósforo disponible (Cano, 1968, 1973; Valverde, 1965).

Caracterizados como Andosoles háplicos y vítricos (Zamora y Bao, 1969), los suelos de la Sierra Sur, exhiben como características esenciales elevada acidez, escasa disponibilidad de fósforo y alta fijación de fosfatos, lenta mineralización de materia orgánica. Estas características se condicen con la utilización de fuentes de fósforo de baja solubilidad y prolongado efecto residual, como es la roca fosfórica de Bayóvar.

Son reconocidos los esfuerzos realizados a través de ensayos durante los últimos 20 años por propiciar el uso de roca fosfórica en sustitución y/o complementación con fuentes solubles (Superfosfato Simple, Superfosfato Triple, Fosfato Diamónico). Numerosos ensayos han demostrado esta posibilidad (López, 1986); sin embargo, por diversas razones sigue prevaleciendo el uso de fuentes solubles llegando a constituir más del 90% del consumo total de  $P_2O_5$ , de aproximadamente 30,000 TM/año.

El Perú cuenta con una de las mayores reservas de fosfatos en el mundo (15% del total de reservas). Ubicado en el desierto de Sechura, las reservas potenciales de Bayóvar se estiman en 10,000 millones de toneladas (Alegre y Chumbimune, 1992); con reservas probadas de 258 millones de toneladas a una concentración de 30.5% de  $P_2O_5$ .

La efectividad agronómica de la roca fosfórica está relacionada con su solubilidad, y ésta a su vez es dependiente de: a) pH del medio, b) actividad del ión Calcio en la solución suelo, c) contenido de materia orgánica, d) grado de sustitución de carbonato en la roca fosfórica, y e) tamaño de partícula o finura. Reacción o pH, actividad del ión de Calcio y materia orgánica, corresponden a características del suelo; y grado de sustitución de  $CO_3$  y finura corresponden a características de la roca fosfórica. Comparada con otras rocas fosfóricas de otros lugares, la de Bayóvar resulta ser la de más alta reactividad (Khasawneh y Doll, 1978).

De acuerdo al estudio de evaluación de la fertilidad de los suelos del Perú realizado por Cano (1973), se estima que la Sierra tendría un consumo potencial de 100,000 TM de  $P_2O_5$ /año para un total de 875000 hectáreas de área cultivada; sin embargo esta necesidad es cubierta tan solo al 12%, abriéndose un mercado posible para la roca Fosfórica y otros abonos orgánicos como el Guano de Islas. Estas estimaciones no consideran las extensiones de Pastos Naturales que alcanzan a 15 millones de hectáreas.

Si bien es cierto, que ensayos de fertilización en papa realizados en diversos lugares de la Sierra del Perú, indican una clara superioridad de las fuentes solubles (SFS, SFT, DAP), también es verdad, que en algunos casos la

roca fosfórica de Bayóvar y las fuentes orgánicas han exhibido resultados semejantes a los primeros, representando alternativas de bajo costo, que preservan el ambiente ecológico del suelo y hacen de éste un ambiente edáfico estable.

### **I.3.1 Objetivos**

- El objetivo central de esta privatización es la formación de un complejo minero industrial, porque la exportación de roca fosfórica, exclusivamente como tal, es perjudicial para el país, ya que la roca tiene bajos precios en el mercado (25 a 30 dólares por tonelada métrica).
- La inversión en los yacimientos mineros de Bayóvar, contribuirá a superar el déficit de la balanza comercial de fertilizantes, exportar US\$ 100 millones de roca fosfórica al año, generar empleo para más de cinco mil trabajadores. Permitirá a la región contar con una industria de derivados de la roca fosfórica. Esto fortalecerá no sólo la minería sino también el agro.
- El proyecto minero de Bayóvar es importante tanto para la agricultura, la industria y la minería no metálica como para el desarrollo de los servicios portuarios en la región.
- Constituye un enorme potencial en el contexto de la integración bioceánica que tanto buscan Perú y Brasil.
- Se calculan en US\$ 600 millones las inversiones en Bayóvar, que comprenden la explotación minera de roca fosfórica, acceso portuario y construcción de una planta de fertilizantes.
- En la actualidad, Bayóvar es considerado el noveno mayor depósito de fosfatos en el mundo. Sin embargo, sus reservas potenciales, que se calculan en diez mil millones de toneladas métricas, lo convertirían en el segundo yacimiento a nivel mundial.

### **I.3.2 Naturaleza y Extensión**

El fósforo es, después del nitrógeno, el segundo elemento en importancia para el crecimiento de las plantas. La falta de este elemento en el suelo, puede impedir que otros sean absorbidos por las plantas.

Los restos de cosechas, los desechos, el estiércol, y los fertilizantes químicos son las principales formas de adición de fósforo al suelo.

El fósforo se consume en un porcentaje elevado en la fabricación del ácido fosfórico para fertilizantes, obtenido a partir de la roca fosfórica. Los productos químicos que pueden proporcionar el ácido fosfórico son:

- Superfosfatos
- El Fosfato Metalúrgico, escorias de desfosforación, o Fosfato Thomas.
- El Fosfato Bicálcico.
- El Fosfato Tricálcico.

Generalmente los fosfatos son tratados antes de utilizarlos directamente en el campo para conseguir su solubilidad.

## **Ácido Fosfórico**

Se han desarrollado dos caminos o vías para la obtención del ácido fosfórico, una denominada vía húmeda y otra denominada vía térmica.

La vía térmica proporciona directamente un ácido fosfórico puro, por lo que es el camino idóneo para obtener sales de calidad más exigente. No obstante, el obtenido por vía húmeda puede ser sometido a sofisticados procesos de purificación, pudiendo alcanzar las calidades que se obtienen por vía térmica.

## **Derivados del Ácido Fosfórico Vía Húmeda**

El ácido fosfórico es una de las principales materias primas en la industria de fertilizantes, ya que además de poder ser utilizado en fertirrigación directamente sobre la tierra tras una clarificación previa, puede fijar otro elemento fertilizante como el nitrógeno en forma amoniacal con un proceso relativamente sencillo.

## **Aplicaciones del Ácido Fosfórico Clarificado (AFC)**

- Fertilizante directo en tierras básicas.

- Materia prima en la obtención de fosfatos cristalinos solubles.
- Materia prima en la fabricación de abonos líquidos claros, neutros y ácidos.
- Fabricación de ácido superfosfórico clarificado.
- Decapado.

### **Fosfato de Úrea (FU)**

El fosfato de úrea,  $\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , es un adusto cristalino de color blanco. Tiene un pH ácido, ya que incorpora a sus disoluciones en agua toda la acidez del ácido fosfórico como tal.

### **Aplicaciones del FU**

- Fertilizante hidrosoluble - Fertirrigación.
- Producción de fertilizantes líquidos.
- Transporte de  $\text{H}_3\text{PO}_4$  en forma sólida a bajo coste.
- Fabricación de alimentos para animales.
- Conservante.
- Agente de fermentación.

### **Fosfato Monoamónico (MAP)**

El fosfato monoamónico,  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , es una sal derivada del ácido fosfórico que cristaliza en forma de agujas de color blanco.

### **Aplicaciones del MAP**

- Fertilizante hidrosoluble – Fertirrigación.
- Fabricación de polifosfato amónico.
- Fabricación de polvos extintores.
- Fabricación de levadura.
- Aditivo de fermentación en la industria cervecera.

## **Efectos secundarios de los abonos fosfatados**

- Aportación de nutrientes, además del fósforo, como S, Ca, Mg, Mn y otros; así como sustancias inútiles desde el punto de vista de la fertilidad como Na y SiO<sub>2</sub>.
- Aportación de sustancias que mejoran la estructura: cal y yeso.
- Variación del pH del suelo.

## **Impacto Ambiental de los Abonos Fosfatados**

De la misma manera que el nitrógeno, el problema ambiental de los fosfatos es la eutrofización de las aguas.

# **CAPITULO II:**

# **ESTUDIO DE MERCADO**

## **II.1 ANTECEDENTES**

*Extraído del "CONSUMO DE FERTILIZANTES EN EL PERU" del Ing. Agr. M.Sc. Federico Ramírez D.*

### **II.1.1 Generalidades**

El Perú se localiza en la parte extrema Oeste Central de Sudamérica y tiene una extensión territorial de 1'285,216 km<sup>2</sup>. La Cordillera de los Andes atraviesa al país longitudinalmente de Sur a Norte por lo que se encuentra dividido por tres regiones naturales que son la: Costa, Sierra y Selva. Del total de área cultivada en el Perú (2'500,000 hectáreas), el 35% se encuentra localizada en la Costa, el 58% en la Región Andina y 7% en la Selva.

La agricultura peruana es muy variada, caracterizándose por la diversidad de climas, topografía, suelos, etc. Al presentar tres tipos de regiones, es notable el contraste que existe entre el litoral y la región amazónica. La Costa se caracteriza por presentar vastas extensiones desérticas con altitudes de 0 a 1,500 msnm, conformada por 52 valles de los que poco son los que cuentan con disponibilidad de agua suficiente y permanente; la región Sierra, comprende una amplia región montañosa, con altitudes superiores a los 4,000 msnm y algunos valles con altitudes de 1,500 a 3,000 msnm, variando el clima desde templado a glacial, con una estación de lluvias muy marcada de noviembre a abril y, la Selva es una región tropical con dos zonas diferenciadas, la selva baja o llanura amazónica y la selva alta en altitudes entre 500 y 1500 msnm, en esta región la temperatura es elevada, el régimen de lluvia abarca la mayor parte del año y las precipitaciones son abundantes.

En el ámbito de los fertilizantes actualmente la importación y comercialización de ellos se realiza a través de empresas privadas, las cuales

se encuentran ofertando una gran variedad de fertilizantes simples (nitrogenados, fosfatados y potásicos). En los últimos años se ha iniciado la incorporación al mercado de productos con valor técnico agregado, como son las mezclas NPK, y el uso de fertilizantes de especialidad para sistema de riego moderno (fertirrigación).

### **II.1.2 Consumo de Nutrientes y Fertilizantes**

Con relación al consumo de nutrientes en el año 1999, tenemos que para el caso del Nitrógeno fue de 170,000 TM/anuales. En el caso del Fósforo el consumo fue de 45,000 TM/anuales y el consumo de Potasio fue de 32,000 TM/anuales. La relación N:P:K que se tuvo fue de 1:0.26:0.19, demostrándose con ello una evolución muy alta del nitrógeno con respecto al fósforo y potasio.

En lo que respecta al consumo de nitrógeno traducido a fertilizantes nitrogenados, el principal aporte lo realiza la urea, con cerca del 80% del total de N consumido. El resto es aportado por el Fosfato Diamónico (8%), Sulfato de Amonio (6%), Nitrato de Amonio (4%) y un 2% en otras fuentes.

Al analizar la situación del fósforo, el principal aporte lo realiza el Fosfato Diamónico con cerca del 80%, en segundo lugar se encuentra el Superfosfato Triple de Calcio con cerca del 18%, el 2% restante es aportado por otras fuentes fosfatadas.

Con relación a la evolución del potasio, la principal fuente es el Cloruro de Potasio (70%), a continuación se tiene el Sulfato de Potasio (25%), el Sulpomag (4%) y 1% con otras fuentes potásicas (Nitrato de Potasio).

### **Oferta de los productos fertilizantes**

Con relación a la oferta de fertilizantes en el mercado peruano, al momento toda la gama de productos es completamente importada. A continuación se presenta los diferentes fertilizantes individuales comercializados en el Perú (véase la Tabla I, página 15).

**Tabla I: Fertilizantes comercializados en el Perú**

| FERTILIZANTE        | CONCENTRACION | PROCEDENCIA |
|---------------------|---------------|-------------|
| Urea                | 46 - 0 - 0    | Rusia       |
| Nitrato de Amonio   | 33,5 - 0 - 0  | Europa      |
| Sulfato de Amonio   | 21 - 0 - 0    | USA         |
| Nitrato Natural     | 16 - 0 - 0    | Chile       |
| Fosfato Monoamónico | 11 - 52 - 0   | USA         |
| Fosfato Diamónico   | 18 - 46 - 0   | USA         |
| Súper Triple        | 0 - 46 - 0    | USA         |
| Cloruro de Potasio  | 0 - 0 - 60    | Chile - USA |
| Sulfato de Potasio  | 0 - 0 - 50    | Chile - USA |
| Nitrato de Potasio  | 13 - 0 - 44   | Chile       |
| Sulpomag            | 0 - 0 - 22    | USA         |

### **II.1.3 Mezclas Físicas de Fertilizantes en el Perú**

En el Perú, los fertilizantes hechos por medio de una mezcla física hicieron su aparición en el año 1992, a través de la empresa SQM-Nitratos, utilizando como fuente principal de potasio el nitrato de potasio en sus mezclas. Las formulaciones básicas fueron fertilizantes de relaciones 1:1:1 y 1:2:1.

En el año 1994, la empresa Corporación Misti S.A., inicia la producción de fertilizantes compuestos en mezcla física, con formulaciones básicas y posteriormente con formulaciones especiales para los diferentes cultivos.

Hacia el año 2000 existió una alianza estratégica entre SQM-Nitratos y Corporación Misti, la cual permitió desarrollar mezclas físicas de diferente grado y variabilidad en su composición, en beneficio de la agricultura peruana.

La evolución en la producción de fertilizantes en mezcla física ha sido creciente iniciándose en el año 1992 con un nivel de 1,500 TM/año y siendo al año 2000 de 25,000 TM/año, siendo la tendencia creciente.

#### **II.1.4 Plantas Instaladas de Mezclas Físicas de Fertilizantes**

Hacia el año 2000 existían 4 plantas operando en nuestro país (tres de ellas de propiedad de Corporación Misti y una de SQM-Nitratos), la distribución de ellas es de la siguiente forma:

- Lima, operando con fertilizantes que se descargan por el Puerto del Callao. De esta planta se permite suplir de fertilizantes a la Costa, Sierra y Selva Central.
- Trujillo ubicado al Norte de Lima, para productos que son descargados del puerto de Salaverry. Con esta planta se abastece la zona Norte de la Costa, Sierra y Selva.
- Pisco ubicado en el Sur de Lima, para descargas del puerto de Pisco. Se abastece la zona del Sur Chico de la Costa y parte del Sur de la Sierra.
- Arequipa, ubicada en el Sur de Lima, para las descargas del puerto de Matarani. Permite abastecer la zona del Sur Grande de la Costa y Sierra.

#### **Producción y Materias Primas**

Las plantas mezcladoras son de tipo vertical, marca Doyle, exclusivas para preparación de mezclas físicas. El principio de mezcla es de doble caída utilizando un tornillo sin fin que gira en torno a su eje contando, además, con el movimiento de la base interior de la mezcladora. El tiempo de mezcla es de 20 segundos por tonelada cargada al término de la carga del batch o lote. Las mezcladoras poseen un sistema de balanza electrónica incorporada a la misma, la cual registra el peso del ingreso a la mezcladora en todo momento, con ello se controle en forma eficiente el peso de los insumos que intervienen en la mezcla. El sistema de descarga es a través de fajas transportadora hacia tolva de ensacado, desde donde se pesan las mezclas obtenidas en sacos de polietileno de 50 kilos.

Las materias primas utilizadas para la producción de mezclas físicas son:

#### *Fuentes Nitrogenadas:*

- Urea (46% N)
- Nitrato de Amonio (33,5% N)
- Sulfato de Amonio (21% N-24% S)
- Nitrato potásico (23-0-3)

#### *Fuentes Fosfatadas:*

- Superfosfato Triple de Calcio (0-46-0)
- Fosfato Diamónico (18-46-0)
- Fosfato Monoamónico (11-52-0)

#### *Fuentes Potásicas:*

- Cloruro de Potasio (0-0-60)
- Sulfato de Potasio (0-0-50)
- Nitrato de Potasio (13-0-44)

#### *Fuente de Magnesio:*

- Sulpomag (22% K<sub>2</sub>O-18% MgO-22% S)

#### *Fuente de Boro:*

- Granubor (11,5% B)
- Boronat 32 ( 10% B)

#### *Fuente de Micronutrientes:*

- F305G (20% Zn, 8% Fe, 6% Mn, 2% Cu, 2% B, 5% S)

Todas las materias primas son granuladas, de diámetro aproximadamente de 2 mm, para evitar la segregación.

## Formulaciones y Principales Mercados

El nombre comercial que reciben las mezclas físicas es COMPOMASTER, en ellas se tienen formulaciones tipos como:

- **Compomaster 20-20-20**, el cual se formula en base en dos calidades de materia prima, en una de ellas se utiliza como fuente de potasio, el cloruro y en la otra el nitrato. Las fuente de fósforo y nitrógeno son iguales. Esta diferenciación en la calidad está en función de las características de suelo y las necesidades de los cultivos por preferencia de alguna fuente potásica. Esta formulación esta siendo utilizada en cultivos como espárrago, maíz, algodón, tomate y otros.
- **Compomaster 15-15-15-2-5**, también se formula en base a dos calidades de la fuente de potasio, el sulfato y el cloruro. Es una formulación utilizada en cultivo de papa, frutales y otros.
- **Compomaster 12-12-12**, formulación bastante utilizada en la zona de Sierra y Selva Central para cultivos de papa y maíz. Tiene como base en la fuente de fósforo el Súper Triple.

Además se disponen de formulaciones comerciales para diferentes cultivos como:

- **Compomaster Espárrago 16-9-16-3-5**
- **Compomaster Algodón 18-10-12-4-5**
- **Compomaster Cítrico 13-6-19-7-8**
- **Compomaster Café 17-6-18-3-2**
- **Compomaster Caña de Azúcar 23-7-8-3-4**
- **Compomaster Papa 15-24-14-2-3**
- **Compomaster Maíz 17-10-10-4-9**
- **Compomaster Arroz 22-9-10-3-8**

Además de estas formulaciones de Compomaster, se preparan fertilizantes específicos a pedido para las diferentes empresas agroindustriales y agricultores, para ello se solicita un Análisis de Suelo y las características del cultivo, con la finalidad de proporcionarles las relaciones nutricionales más

adecuadas para sus cultivos. En estas formulaciones a pedido se incluyen todos los nutrientes mayores, secundarios y micronutrientes que se requieran para proporcionar un fertilizante completo.

Asimismo, sé esta promoviendo el uso de mezclas en la segunda o tercera fertilización de los cultivos a en base a Nitrógeno y Potasio, de esta forma se preparan Compomaster N:K de relaciones 1:0:1, 1:0:2, según los requerimientos de los cultivos. Estas mezclas se están utilizando en cultivos como espárrago, papa, cítricos, cebolla, etc.

En todas las formulaciones de Compomaster que se preparan se incluye la adición de micronutrientes granulados, con la finalidad de proveer una fertilización completa y balanceada con todos los nutrientes.

La asistencia técnica a nivel nacional es permanente y se ofrecen variaciones y mejoras en las formulaciones a las empresas agroindustriales y agricultores, para mejorar la fertilización de sus cultivos.

### **II.1.5 Futuro de las Mezclas Físicas**

Aún a pesar que al momento las mezclas físicas representan solo un 6% del total de consumo de fertilizantes, es de esperar que en el futuro aumente la producción de mezclas físicas por los siguientes motivos:

- Existe cada vez mayor conciencia de la necesidad de proporcionar a los cultivos fertilizantes adecuadamente balanceados.
- Las mayores áreas de cultivos de agroexportación demandarán una fertilización completa y balanceada.
- La instalación de nuevas plantas de mezclas físicas fomentarán un mayor uso y consumo.

### **Proyectos que impulsarían la industria de fertilizantes**

Dentro de los proyectos que existen a largo plazo para fomentar una industria de fertilizantes en el Perú, se tienen:

- **Proyecto del Gas Natural de Camisea**, es la principal reserva de gas natural, se encuentra localizado en la región sur oriental del país, estimada en  $11 \times 10^{12}$  pies cúbicos gas natural de petróleo. El desarrollo del presente proyecto contempla la producción de amoníaco con fines industriales y el desarrollo de fertilizantes nitrogenados.
- **Proyecto de Roca Fosfórica de Bayóvar**, yacimiento localizado en el Norte del país, cuyo potencial ha sido evaluado como el más importante de la Cuenca del Pacífico. Los estudios de factibilidad económica tiene como objetivo la explotación de las reservas de roca fosfórica para cubrir la demanda interna y exportar los excedentes de fertilizantes fosfatados, ácido fosfórico y roca fosfórica para su aplicación directa. La factibilidad para la explotación de la roca fosfórica fue elaborada por Fletcher Challenge Ltd. de Nueva Zelanda y la factibilidad para plantas de ácido fosfórico y superfosfato triple fue realizado por la Empresa Nacional Adaro de España y Jacobs Engineering Group Inc. de USA. El desierto de Sechura es una cuenca de aproximadamente 250 km de largo por 80 km de ancho, cubierto en su mayor parte por sedimentos cuaternarios y recientes. La formación fosfática estratigráficamente se ubica en la parte superior, de la formación Zapayal (mioceno medio). El área I es parte constitutiva de una gran serie de sedimentos marinos. Mineralógicamente el fosfato es un fluorapatito hidroxicarbonato, cuyas propiedades físico-químicas hacen la roca fosfórica de Bayóvar de alta calidad comercial.

## **II.2 EL PRODUCTO**

### **II.2.1 Importancia del fósforo en el suelo**

El fósforo en el suelo se encuentra, en su mayor parte, en forma inorgánica. El fluorapatito y el hidroxapatito, minerales muy estables, se identifican frecuentemente en la arena y el limo de los suelos muy lavados.

El fósforo añadido con los fertilizantes se fija en el suelo, en su mayor parte, y es asimilado lentamente por las plantas, en forma de iones  $\text{PO}_4\text{H}_2^{1-}$  y  $\text{PO}_4\text{H}^{2-}$ . La concentración de fósforo suele ser del orden de 1 ppm o menos.

La fijación de los fosfatos por los suelos se realiza por las bases cálcicas, por óxidos de hierro y aluminio, o por minerales arcillosos.

La arena no fija el fósforo de los fertilizantes y el limo lo hace en pequeña proporción. La mayor fijación se produce en la fracción coloidal.

En suelos muy ácidos, el fósforo se fija en forma de fosfatos de hierro y aluminio. Ello se debe a que la acidez da lugar a la formación de iones de hierro y aluminio procedentes de sus óxidos e hidróxidos coloidales, aumentando así su reactividad.

El pH más favorable para la asimilación de los fosfatos es el débilmente ácido; en medio ácido se forman fosfatos de hierro y aluminio, y en medio alcalino, el fluorapatito. Entre pH 5.5 y 6, la solución del suelo contiene la máxima concentración de iones fosfato en equilibrio con fosfatos de hierro, aluminio y calcio.

En suelos con alto contenido en carbono y gran proliferación de microorganismos, el fósforo soluble puede ser consumido por éstos para su multiplicación y acumulado en el suelo en forma orgánica.

El fósforo no absorbido queda fijado en los suelos, siendo muy poco el que se pierde por lavado. El fósforo fijado puede ser utilizado, paulatinamente, por los cultivos, en años sucesivos, pero en cantidades decrecientes. En el suelo, el fósforo se encuentra formando parte de compuestos orgánicos e inorgánicos.

Los fosfatos tienen muy poca movilidad en el suelo y, por ello, sería lo más conveniente situarlos en la zona de profundidad de las raíces y distribuirlos por todo el volumen en que éstas se extienden.

El desplazamiento de los fosfatos solubles depende del poder de fijación del suelo, de la humedad existente y de las condiciones del riego.

Los más solubles son más eficaces si están granulados, porque su cesión más lenta da más tiempo para ser absorbidos por las plantas.

El fósforo se suministra a los suelos como sales de los ácidos fosfóricos de diverso grado de deshidratación como, por ejemplo en forma de ácido ortofosfórico, ácido metafosfórico, ácido pirofosfórico, ácido tripolifosfórico, entre otros.

Los fertilizantes fosforados más utilizados son los ortofosfatos y, de ellos, los cálcicos y amónicos.

La producción mundial de fertilizantes fosforados ha aumentado en los últimos quince años en más del 25%.

Casi todo el fósforo utilizado en fertilización procede de los yacimientos de fosforitas. El contenido en  $P_2O_5$  de los minerales que se utilizan, generalmente, para la obtención de abonos fosforados, oscila entre 25 y 35%.

Los yacimientos de fosforitas se encuentran, normalmente, en forma de extensos depósitos de origen sedimentario. Están formados por gránulos pequeños, aglomerados con carbonato cálcico, arcilla y sílice.

Las fosforitas tienen la composición  $Ca_5(PO_4)_3.X$ , donde X puede ser flúor, cloro, hidróxido. El mineral más frecuente es el apatito (flúor-apatito),  $3Ca_3(PO_4)_2 \cdot CaF_2$ .

Casi todas las fosforitas contienen también, como impurezas, materia orgánica, óxidos de aluminio y hierro, sílice, carbonatos cálcico y magnésico y fluoruros.

Para separar las impurezas y enriquecer el mineral, se somete éste, después de molido, a procesos de levigación o de flotación; el producto resultante contiene entre 31 y 36% de  $P_2O_5$ .

A partir de las fosforitas y del ácido sulfúrico se obtienen los superfosfatos. Existen en el comercio dos tipos: el superfosfato normal, con el 20%  $P_2O_5$ , aproximadamente, y el superfosfato triple, mucho más concentrado, que contiene hasta 49% de  $P_2O_5$ .

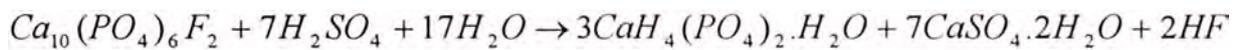
Además, se fabrican el fosfato amónico, fosfato diamónico y el nitrofosfato cálcico.

## II.2.2 Fertilizantes Fosfatados:

### 1. **Superfosfato normal.**

Es el fertilizante fosforado comercial clásico.

Para su obtención se atacan las fosforitas con ácido sulfúrico, según la siguiente reacción:



El producto tiene una baja riqueza en  $P_2O_5$ , el 16 y 20%.

Se distinguen tres fracciones de fósforo según su solubilidad: el fósforo del fosfato insoluble en agua, que se corresponde con el  $Ca(PO_4H_2)_2$ ; El fósforo del fosfato insoluble en agua, pero soluble en solución acuosa de citrato amónico, que corresponde con el  $H_2CaPO_4$ ; y el fósforo del fosfato insoluble en solución acuosa de citrato amónico, que se corresponde con el  $Ca_3(PO_4)_2$  no atacado.

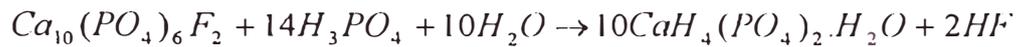
El  $Ca(PO_4H_2)_2$  y  $H_2CaPO_4$  son asimilables por las plantas.

El contenido de ácido libre afecta a las condiciones físicas, higroscopicidad, aglomeración, etc. La presencia de ácido libre es debida a la utilización de un exceso de ácido sulfúrico, para asegurar la conversión de la mayor parte del fosfato en formas asimilables.

### 2. **Superfosfato triple.**

Al hacer reaccionar las fosforitas con ácido fosfórico se obtiene un producto que contiene entre 40 y 49% de  $P_2O_5$ , en su mayor parte en forma asimilable por las plantas. Su contenido es útil en unas dos veces y media superior al del superfosfato normal.

La reacción de obtención del superfosfato triple es:



El producto obtenido es, esencialmente, fosfato monocálcico impuro. Se puede obtener en polvo o granulado.

En el superfosfato triple normalmente producido, el producto está en su mayor parte, en forma soluble en agua, lo cual indica que el compuesto presente más importante es el fosfato monocálcico.

También hay fosfatos de hierro y aluminio que son insolubles en agua, pero solubles en citrato amónico y algo de fosfato dicálcico.

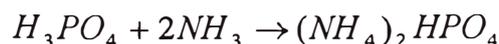
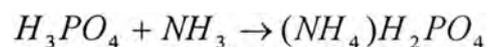
### 3. Fosfatos amónicos.

Los fosfatos monoamónico y diamónico son, actualmente, importantes fertilizantes;  $H_2(NH_4)PO_4$  y  $H(NH_4)_2PO_4$ .

El fosfato diamónico ha alcanzado más importancia que el monoamónico. Su contenido de 46% en peso es equivalente al de un superfosfato triple y aporta, además, 18 unidades de nitrógeno.

También se fabrican fertilizantes que contienen mezclas de fosfatos mono y diamónico.

Se producen según:



El ácido fosfórico concentrado y el amoníaco anhidro se vierten en un reactor cristalizador, con aspiración, para eliminar el vapor de agua que se produce por el calor de reacción.

Los cristales de fosfato se separan del líquido madre por centrifugación, se secan, tamizan y envasan.

El fosfato monoamónico es poco higroscópico. En cambio, es ácido y corrosivo. El fosfato diamónico es más higroscópico; puede absorber agua durante los periodos muy húmedos y desprenderla en los periodos secos, produciéndose una aglutinación.

#### 4. **Fosforita molida.**

Las fosforitas, se utilizan también como fertilizantes.

El costo de preparación es menor que el de cualquier otro fertilizante fosforado. Pueden utilizarse, con buenos resultados, en suelos ácidos, ricos en materia orgánica.

Cuanto menor es su contenido en flúor y el tamaño de sus partículas, su fósforo es más asimilable.

#### 5. **Fosfato dicálcico.**

El fosfato dicálcico suele comercializarse en forma de dihidrato y contiene 41.26% de  $P_2O_5$ . Es soluble en citrato amónico, pero puede deshidratarse y hacerse difícilmente soluble. La forma hidratada, es la adecuada como fertilizante.

Fosfato dicálcico de gran pureza se prepara a partir de ácido fosfórico obtenido por vía seca, y carbonato cálcico o hidróxido cálcico.

#### 6. **Metafosfato cálcico.**

La proporción de fósforo en ellos y en sus sales aumenta con el grado de deshidratación.

El metafosfato cálcico pura contiene un 72% de  $P_2O_5$ , se funde entre los 970 y 980 °C y puede encontrarse en forma cristalina o vítrea, según el método de preparación. La forma cristalina es insoluble en

agua y en citrato amónico, pero la forma vítrea, obtenida por enfriamiento rápido del producto fundido, se hidroliza poco a poco en el suelo a ortofosfato monocálcico.

#### **7. Polifosfatos y metafosfato amónicos.**

Los ácidos polifosfóricos y el metafosfórico pueden reaccionar con amoniaco para dar meta y polifosfatos amónicos, con un alto contenido en nutrientes.

Son muy solubles en agua y facilitan la absorción de micronutrientes por las plantas, a causa del poder secuestrador del ácido polifosfórico.

#### **8. Nitrofosfatos.**

Los nitrofosfatos son mezclas de fosfatos de calcio con nitratos de calcio y/o amonio, obtenidos directamente de las fosforitas, por ataque con  $\text{HNO}_3$  y neutralización con  $\text{NH}_3$ .

Contiene un 15% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , estando la mitad del nitrógeno en forma nítrica y la otra mitad en forma amoniacal.

El contenido en elementos nutrientes es menor que en el fosfato amónico y la mayor parte de su  $\text{P}_2\text{O}_5$  es insoluble en agua, aunque soluble en citrato amónico.

#### **9. Roca Fosfórica**

En el norte del Perú se encuentran ubicados los yacimientos de fosfatos de Sechura, considerados como uno de los más grandes del Pacífico, su volumen se estima en 10 000 millones de toneladas de concentrados obtenibles al 31% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Esta roca es una fluorhidroxiapatita proveniente de un depósito de origen orgánico. Tiene aproximadamente 30% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , del cual 25% es soluble en citratos, y un alto contenido de  $\text{CaO}$  (45.9%).

En los últimos 15 años se han realizado en el Perú investigaciones con esta roca, habiéndose probado experimentalmente su gran eficiencia, especialmente en suelos ácidos del trópico, generalmente deficientes en fósforo y otros nutrientes.

Su uso en el Perú se ha incrementado en los últimos años para la preparación de fertilizantes fosfatados y compuestos, más que en forma natural. El consumo en forma natural ha sido muy bajo, habiéndose usado en 1990 aproximadamente 1000 TM en la Sierra y Costa del Perú para un área agrícola de 1000 hectáreas.

Mediante un convenio entre Minero Perú – INIAA – ENCI, se investiga y promociona el uso de la roca fosfórica en los suelos ácidos de la Selva. Estos trabajos todavía siguen evaluándose en cuanto a su efecto residual, describiéndose algunos de estos tales como un ensayo de fuentes y dosis de fósforo en suelos ácidos usando 5 niveles de roca fosfórica Bayóvar y superfosfato triple para los cultivos de arroz, maíz y caupí, donde el maíz respondió muy bien. Se ajustó la curva de respuesta a tres niveles de acuerdo a los resultados del primer ensayo para las dos fuentes y se inició la evaluación del efecto residual como abonamiento de fondo a dos niveles. Los resultados iniciales reiteran la respuesta alcanzada para el maíz. También se estuvieron conduciendo parcelas de comprobación en campos de agricultores con el nivel de 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para cultivos anuales y con una aplicación de fondo para cultivos perennes (castaña, cítricos, café, cacao). El cultivo de caupí no presenta respuesta a las aplicaciones de fósforo debido a sus bajos requerimientos.

Con los resultados alcanzados, se puede concluir que el tamaño de las partículas pasadas por 60 – 140 mallas Tyler, se adecúa a las necesidades de los suelos de la Selva baja. El pH más recomendable para la aplicación de la roca fosfórica es menor de cinco. Los cultivos de arroz de secano y caupí no respondieron a la aplicación de fósforo debido a sus bajos requerimientos, en cambio el maíz respondió teniendo los niveles adecuados entre 180, 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/hectárea. La

roca se debe aplicar con el cultivo de cabecera con maíz, siendo su efecto residual aprovechable por el segundo cultivo. La roca se muestra más eficiente bajo condiciones de suelos de Selva baja con alta acidez o en suelos con alto contenido de materia orgánica, los cuales presentan una buena capacidad de absorción del fósforo.

### II.2.3 Métodos de Obtención

#### FOSFATO DIAMÓNICO

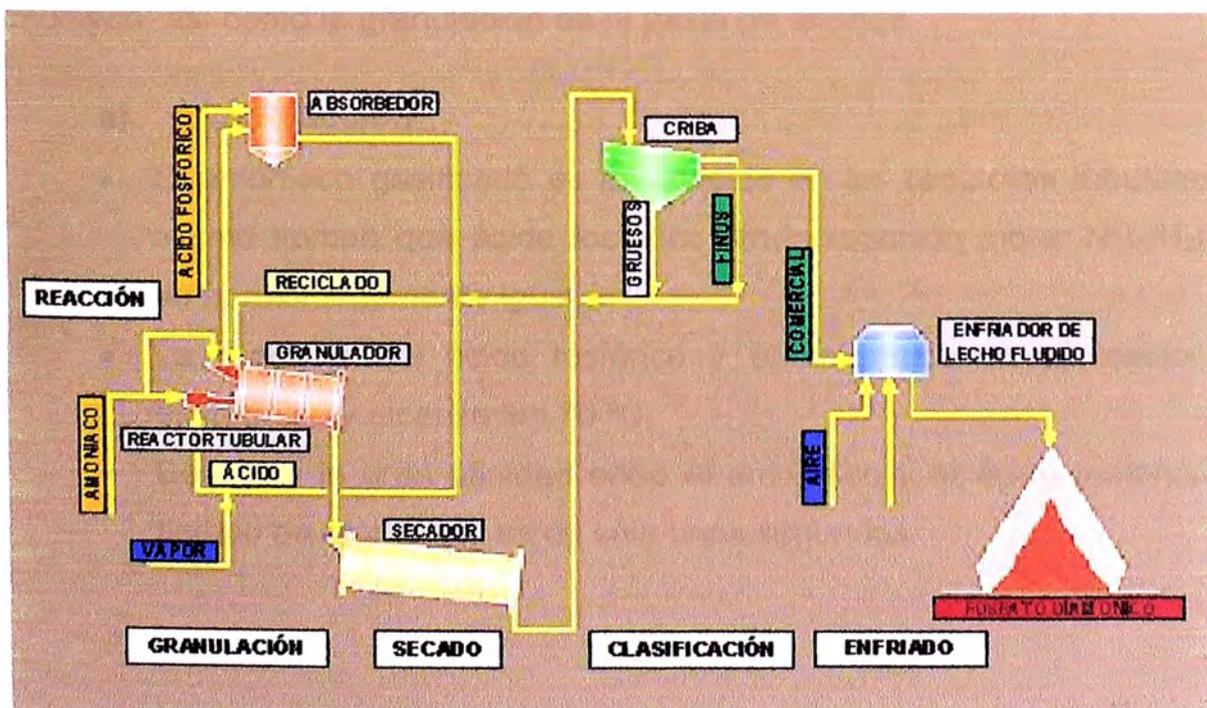
Existen varias empresas poseedoras de tecnologías en el campo de la industria de los abonos, como la Stamicarbon de Holanda, Nissan de Japón y otros que licencian estos procedimientos de producción.

La que se describirá es la planta de producción de DAP de la empresa Stamicarbon de Holanda.

La planta se compone de las siguientes secciones (véase figura 1):

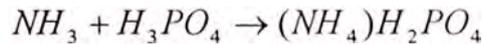
- Reacción y Granulación.
- Secado y Reciclado.
- Enfriamiento y Desempolvado.

**Figura 1: Proceso de obtención del Fosfato Diamónico**

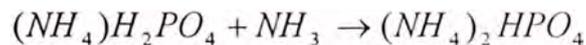


## Reacciones Principales

- La producción de Fosfato Monoamónico (MAP) y Diamónico (DAP) se produce esencialmente por la neutralización del ácido fosfórico y el amoníaco.
- El primer estado de la neutralización produce fosfato monoamónico por medio de la siguiente reacción exotérmica:



- La reacción tiene lugar en un reactor tubular, en donde el amoníaco ingresa en estado gaseoso, con una relación molar  $NH_3/H_3PO_4$  de 1.
- El segundo estado es una neutralización de mayor grado, que transforma el fosfato monoamónico en fosfato diamónico.



- La neutralización se efectúa en el granulador, en donde el amoníaco ingresa de forma líquida.

## Sección de Reacción y Granulación

En esta sección se efectúa la neutralización del ácido fosfórico con el amoníaco, así como la granulación de la pasta de abonos.

### a) La Reacción

- El amoníaco gasificado es introducido en los reactores tubulares al mismo tiempo que ácido fosfórico, en la reacción molar  $NH_3/H_3PO_4$  de aproximadamente igual a 1.
- La reacción del ácido fosfórico y el amoníaco en el reactor es exotérmica y alcanza los 70 °C.
- Debido a la gran afinidad entre el amoníaco y el ácido fosfórico, el tiempo de residencia es de sólo unos segundos.

## **b) La Granulación**

- El granulador está constituido por un tambor giratorio en el cual se produce la amonización final.
- En este equipo el amoniaco neutraliza la solución de fosfato monoamónico para convertirse en fosfato diamónico. Al mismo tiempo se desarrolla la granulación de la pulpa de abono.
- En el granulador alcanza los 110 °C, debido al calor desprendido en el reactor, a la amonización para producir DAP, además del reciclo de los finos captados en otras partes de proceso. Esta temperatura favorece la granulación.

## **Sección de Secado y Reciclado**

- En esta sección los productos sólidos del granulador se descargan al secador con el objetivo de reducir la humedad.
- La disminución de la humedad se produce por la acción de los gases calientes que vienen desde una cámara de combustión.
- A la salida del secador, el producto granulado alcanza un contenido de humedad del orden de 1%.
- Los gránulos después del secado ingresan a unas cribas vibrantes para separar los gránulos especificados (1–4 micras) de los gránulos gruesos y muy finos.
- Estas tres corrientes tienen la siguiente ruta:
  - ✓ El producto de granulometría correcta va a la sección de enfriamiento
  - ✓ Los gránulos gruesos son enviados a molinos con el objetivo de reducir su tamaño para posteriormente ser reciclados al granulador.
  - ✓ Los gránulos finos o de granulometría inferior a la fijada se derivan a la sección de desempolvado para posteriormente reciclarlos al granulador.

## **Sección de Enfriamiento y Desempolvado**

- Los granos producidos en especificación en la anterior sección son enfriados por medio de un ventilador que insufla aire en el lecho de abono.
- Los gases y vapores cargados de polvo o gránulos muy finos procedentes de las secciones de granulado y secado son desempolvados en los ciclones para posteriormente reciclarlos al granulador.

## **ÁCIDO FOSFÓRICO**

De acuerdo a la materia prima existen dos procesos:

- Los procesos que utilizan minerales de fosfato y ácido son conocidos como "vía húmeda"; actualmente es considerada la mejor alternativa.
- En el proceso denominado "vía seca" o "por horno eléctrico" se utiliza el fósforo elemental.

### **Proceso por Vía Húmeda**

El fósforo se presenta siempre como sal del ácido fosfórico. La materia prima para producir ácido fosfórico o cualquiera de sus sales es la roca fosfórica. Muchos fosfatos han de ser concentrados antes de ser consumidos o vendidos.

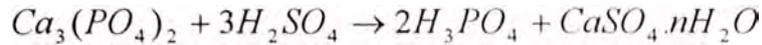
Todos ellos tienen una propiedad común: su contenido fosfático, el cual es una combinación de fosfato-flúor-calcio de estructura apática, expresándose el contenido de sus productos como BPL (Bone Phosphate Lime) o contenido total de fosfato tricálcico (( $\text{PO}_4$ )<sub>2</sub>Ca<sub>3</sub>), siendo el factor de transformación:

$$\mathbf{P_2O_5 \times 2,1853 = BPL}$$

En los proceso de "vía húmeda" se puede acidular con ácidos nítrico, clorhídrico y sulfúrico. Existen dos procesos que utilizan Ácido Sulfúrico y que se clasifican de acuerdo al tipo de cristal sulfato de calcio que se forma. Estos pueden ser cristal hemihidratado y cristal dihidratado. En general, la manufactura del ácido fosfórico por vía húmeda resulta del ataque de Ácido

Sulfúrico al mineral de Fosfato. Seguidamente se separa el Sulfato de Calcio (yeso) precipitado del Ácido Fosfórico producido.

La reacción química principal es:



El valor de "n" indica el cristal de sulfato de calcio precipitado.

Este puede tener la forma de  $CaSO_4 \cdot 1/2H_2O$  (hemihidrato) o el  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  (dihidrato).

### **Selección del Proceso**

El proceso por "vía húmeda" tiene diferentes alternativas dependiendo del tipo de cristal de sulfato de calcio (yeso) que se forme.

Entre ellos tenemos:

- Proceso por vía húmeda dihidrato.
- Proceso por vía húmeda hemihidrato.
- Proceso por vía húmeda anhidrita.
- Proceso por vía húmeda hemihidrato-dihidrato.

Dentro de estas alternativas de proceso, se ha seleccionado el proceso dihidrato por:

- Ser el método de fabricación de mayor uso a nivel mundial, el 90% de las fábricas utilizan este método.
- Los problemas de abrasión y corrosión son mínimos.
- No presenta mayores problemas de obstrucción en la tela de filtro.
- Tanto los procesos hemihidrato-dihidrato, como el hemihidrato son relativamente nuevos y aún se tienen problemas técnicos con respecto a la corrosión y a la obstrucción en la tela de filtro y tuberías, por lo que continúan en investigación.
- En el proceso dihidrato, el tipo de yeso producido, con dos moléculas de agua y la concentración de ácido fosfórico obtenido (27% – 30%  $P_2O_5$ )

hacen que el control de la operación sea más fácil, puesto que los parámetros de operación son menos severos que en los otros procesos.

## Objetivos de los Procesos de Manufactura del Ácido Fosfórico

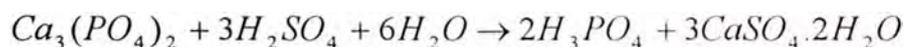
Los principales objetivos son:

- Extraer la máxima cantidad de pentóxido de fósforo ( $P_2O_5$ ) de la roca.
- Precipitar un sulfato de calcio (yeso) de filtración rápida y fácilmente lavable.
- Producir un ácido fosfórico que tenga el contenido más alto posible de  $P_2O_5$ .
- Una operación de planta segura y limpia; no contamina el medio ambiente.
- Producción continua por largos períodos a costo de operación mínimo.

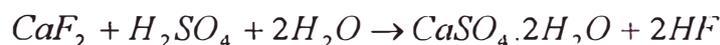
## Breve Descripción del Proceso Dihidrato

La reacción total con ácido sulfúrico se puede dividir en 3 etapas simplificadas:

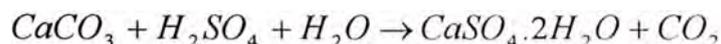
- El fosfato tricálcico se convierte en ácido fosfórico y sulfato cálcico:



- El fluoruro cálcico, constituyente de la roca reacciona, dando ácido fluorhídrico y sulfato cálcico:



- El carbonato cálcico, constituyente de la roca, se convierte en anhídrido carbónico y sulfato cálcico:



La reacción global podría, por tanto, escribirse así:

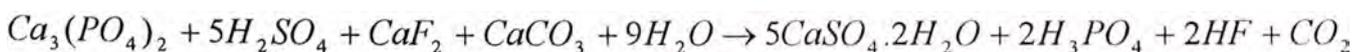
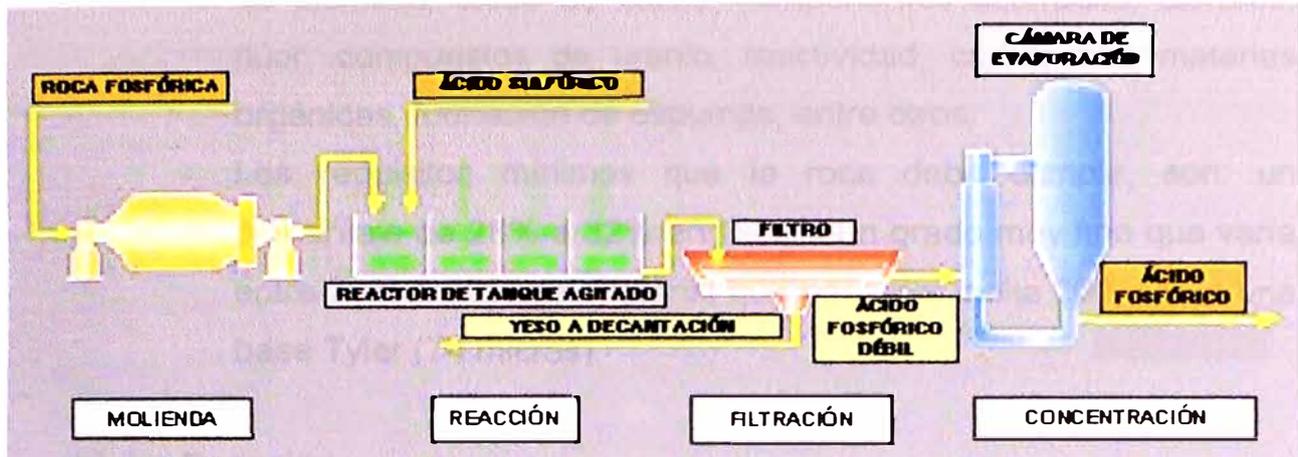
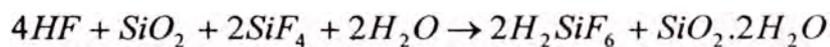


Figura 2: Proceso de obtención del Ácido Fosfórico



El ácido fluorhídrico producido reacciona con la sílice, presente en la roca fosfórica, dando tetrafluoruro de silicio, el cual se hidroliza a ácido fluorsilícico.



La explicación de este proceso trata de los siguientes aspectos:

- Materia Prima.
- Reacción.
- Filtración.
- Concentración.

#### a) Materia Prima

- **Ácido Sulfúrico**

El  $H_2SO_4$  es un ácido inorgánico que actúa como agente para la formación de sulfatos, deberá tener un 98% de pureza mínima.

- **Roca Fosfórica**

La roca ideal desde el punto de vista del proceso deberá tener un contenido máximo de  $P_2O_5$  y un mínimo de impurezas para evitar un consumo innecesario de ácido.

Estas impurezas pueden ser sílice, arcilla, hierro, magnesio, óxido de aluminio, óxido de calcio, componentes azufrados, cloruros, flúor, compuestos de uranio, reactividad, carbonatos, materias orgánicas, formación de espumas, entre otros.

Los requisitos mínimos que la roca debe cumplir, son: un porcentaje de 28% a 32% en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y un grado muy fino que varía entre 70% a 80% del material que pase por malla 200, sobre una base Tyler (74 micras).

## b) La Reacción

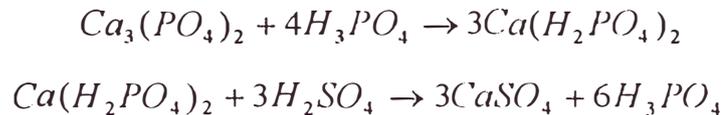
- El ácido fosfórico se produce por reacción del ácido sulfúrico con la roca fosfórica. En esta reacción, se combina el calcio de la roca con el ión sulfato del ácido sulfúrico y el resultante sulfato cálcico se separa por precipitación.
- Los cristales separados han de ser cuidadosamente lavados para alcanzar, al menos, el 99% de ácido recuperado.
- El principal objetivo durante la operación de reacción y cristalización es obtener un alto rendimiento de extracción del P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de la roca y maximizar la recuperación de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> durante la filtración.
- La velocidad de reacción aumenta con la finura del pulverizado de la roca, lo que permitirá una reducción del tiempo del proceso y del tamaño de los equipos.
- El proceso es una operación continua donde la roca fosfórica, el ácido sulfúrico, una alimentación de ácido fosfórico diluido reciclado y agua de proceso ingresan a un reactor del tipo agitado.
- A pesar de la complejidad de los diversos fosfatos, la reacción química principal puede representarse como:



- Durante el ataque de la roca con el ácido sulfúrico puede ocurrir el recubrimiento de ésta por una capa insoluble de yeso (sulfato de

calcio), por lo que inicialmente se utiliza el ácido débil procedente del lavado de los cristales de sulfato cálcico.

- Este problema se controla manteniendo la roca en contacto con ácido fosfórico diluido recirculado, de manera que se forma un fosfato monocálcico soluble.



- **El Reactor**

El reactor donde se desarrolla estas reacciones químicas puede ser un sistema de tres o cuatro reactores en serie agitados.

Otra alternativa que permite ahorrar materiales y espacio es un sistema de un solo tanque con tres o cuatro compartimentos internos, cada uno de ellos agitado. Este último sistema es el que se está usando en las nuevas plantas que se han instalado.

Las condiciones operatorias del reactor es de 70°C a 80°C y un tiempo de residencia de aproximadamente 5 horas. La reacción es exotérmica, por lo que el agua en evaporación es la que controla la temperatura de la reacción.

- **Las Reacciones Secundarias**

Existen reacciones secundarias que resultan del ataque del ácido sulfúrico a los carbonatos y fluoruros de calcio y del ataque por el fluor a los componentes sílicos y aluminosos.

Algunas de estas reacciones son dañinas al medio ambiente por lo que es necesario tener un control sobre ellos.

- **Formación del Cristal**

En condiciones prácticas, la relación de crecimiento del cristal de sulfato es proporcional a la supersaturación de dicho sulfato en la solución.

- **Crecimiento del Cristal**

El tipo de cristal de yeso que se desea que se forme durante el ataque de la roca es un cristal de tipo rómbico, en donde la

longitud no sea superior a 2-3 veces su anchura. Este tipo de cristal filtra a una velocidad razonable y se lava muy fácilmente.

- **Influencia de la Temperatura**

La influencia de la temperatura sobre la cristalización es múltiple y tiene efectos directos e indirectos sobre el hábito y tamaño del cristal. Estos efectos son:

- Solubilidad del  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ .
- Velocidad de reacción.
- Efecto sobre las propiedades físicas del lodo.
- Estabilidad de la espuma y emulsión.
- Composición de los cristales de yeso.
- Incrustaciones debidas a la temperatura.

Considerando todos estos efectos no es posible actuar sobre la temperatura con el único propósito de regular los hábitos del cristal.

- **Influencia del Tipo de Roca**

Las rocas fosfóricas no necesariamente han de producir cristales de yeso en forma rómbica para alcanzar una buena filtración y lavado. Las tortas de yeso que tengan una superficie específica análoga tendrán una buena velocidad de filtración y lavado.

### **c) La Filtración**

- En esta etapa del proceso el ácido fosfórico se separa por filtración del sulfato de calcio dihidrato (yeso).
- Una vez formada la pasta en el filtro, su superficie actúa a su vez como un filtro, depositándose más sólidos y aumentando el espesor de la misma, mientras el líquido pasa a través del espesor de la torta.
- Para una filtración eficaz, el tipo óptimo de cristales es el rómbico. Es deseable un cristal grande, ya que facilita la filtración y el lavado. El tipo de cristal formado está regido por el tipo de roca, por las

impurezas que contiene y las condiciones bajo las que se realiza el ataque.

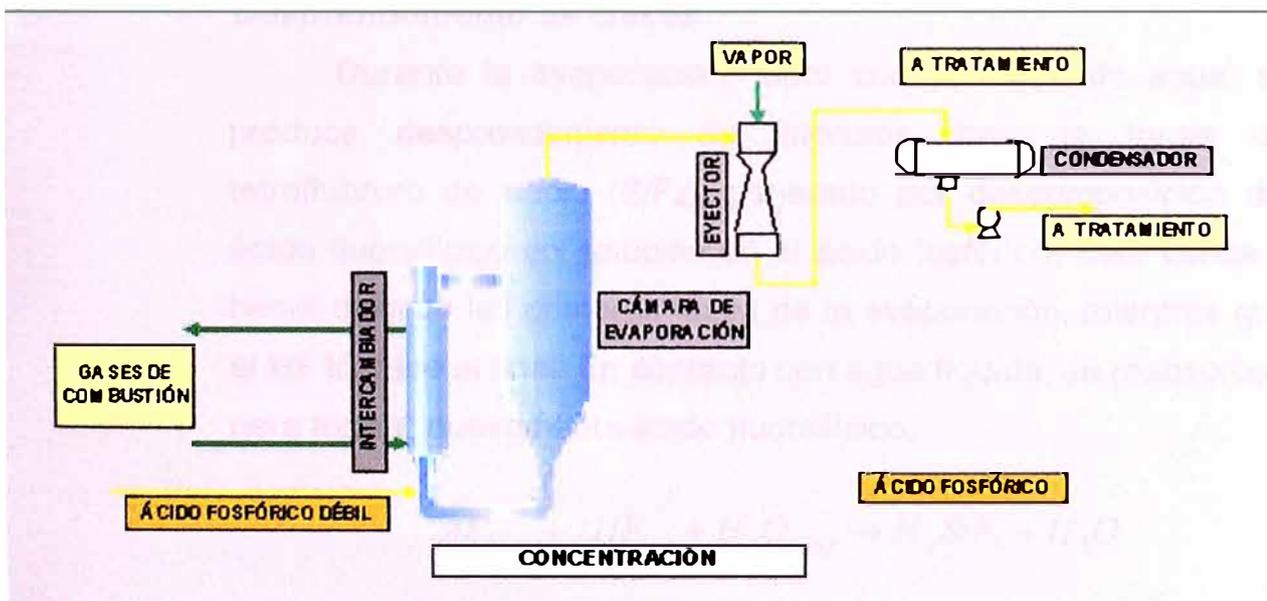
- El balance de masa indica que se genera cinco toneladas de yeso por cada tonelada de  $P_2O_5$  producido como ácido fosfórico.
- El producto saliente de la etapa de reacción ingresa a un sistema de filtros asistido por equipos que generan presiones de vacío para mejorar la separación.
- El vacío absorbe el ácido fosfórico líquido quedando en la parte superior del filtro la torta o yeso, la cual es lavada con agua para recuperar restos de  $P_2O_5$  soluble.
- El ácido filtrado obtenido contiene de 28% a 30% en  $P_2O_5$ .

#### **d) La Concentración**

- El ácido fosfórico para poder usarlo en otros procesos es necesario concentrarlo de 28% o 30% hasta 50% o 54% en  $P_2O_5$ .
- El proceso consiste en un sistema de circulación forzada al vacío, que incluye un intercambiador de calor, cámara de evaporación, separador, condensadores, bombas de vacío, bombas para la circulación del ácido y el conjunto de tuberías.
- Se han de alcanzar dos objetivos:
  - Transferir la suficiente energía térmica al ácido que haga posible la generación de vapor de agua.
  - Separar el vapor del líquido, evitando el arrastre del ácido.
- A causa de los problemas de incrustaciones, es esencial que la transferencia de calor tenga lugar con un corto tiempo, sin que el líquido llegue a hervir en los tubos del intercambiador.
- Esto se logra manteniendo un vacío tal en la cámara de desgasificación que el líquido hierva en su superficie entre unos 80°C a 90°C. También es necesario asegurarse de que la temperatura del ácido no aumente demasiado entre la entrada y la salida del intercambiador, para lo cuál se recirculará ácido desde la cámara de desgasificación.

- Para conservar la ebullición el ácido entre 80 y 90 °C se mantiene el vacío por condensación directa del agua, extrayendo los gases por medio de una bomba o un eyector.
- Los intercambiadores de calor son fabricados de acero inoxidable para soportar la naturaleza corrosiva del ácido fosfórico a las condiciones de temperatura. El ácido fosfórico gana calor del vapor de agua que ingresa en contracorriente.
- En estas condiciones el ácido fosfórico, y una alimentación de ácido fosfórico débil fresco, ingresan a la cámara flash o evaporador en donde se separa el vapor de agua del ácido fosfórico líquido, saliendo este último con una concentración del 54% en  $P_2O_5$ .
- El ácido fosfórico bajo esta especificación puede ser utilizado en la producción de fosfato diamónico (DAP).

**Figura 3: Proceso de concentración del Ácido Fosfórico**



- Problemas durante la Concentración:

### **Corrosión**

La mezcla de ácidos que se tiene en el proceso es muy corrosiva, particularmente en los tubos intercambiadores, en donde las temperaturas y las velocidades de paso son altas.

- ***Incrustaciones***

Al concentrar el ácido, se excede la solubilidad de compuestos contenidos en él y ocurre la precipitación. Las sales que precipitan son: sales de calcio y sales de flúor.

- ***Sales de calcio***

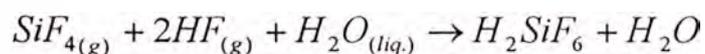
Durante la evaporación, los iones calcio pueden combinarse con aniones presentes para formar sales de calcio y debido a la baja solubilidad, precipitan. Normalmente lo hacen como sulfato, por la presencia de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> libre.

- ***Sales de flúor***

Están incluidos en este grupo los fluorsilicatos de sodio y potasio, así como las sales que contienen aluminio. Estas sales forman costras en las superficies de los evaporadores, mientras que otra parte permanece en suspensión en forma de cristales pequeños.

- ***Desprendimiento de Gases***

Durante la evaporación, junto con el vapor de agua, se produce desprendimiento de fluoruros, bajo la forma de tetrafluoruro de silicio (SiF<sub>4</sub>), generado por descomposición del ácido fluorsilícico en solución en el ácido fosfórico. Este tiende a hervir durante las primeras fases de la evaporación, mientras que el HF lo hace al final. En contacto con agua líquida, se reabsorben para formar nuevamente ácido fluorsilícico.



- ***Impurezas Introducidas por la Roca***

Debido a la gran cantidad de tipos de roca fosfórica que se encuentran en el mercado se obtienen ácidos fosfóricos que, al solubilizar estas impurezas, presentan un comportamiento totalmente diferente entre sí en los distintos procesos de elaboración de fertilizantes.

Por otra parte, durante el periodo de almacenamiento se forman unos lodos que han de ser separados por un proceso de clarificación, con la consiguiente pérdida de  $P_2O_5$ .

Se pueden dividir estas impurezas en dos tipos principales:

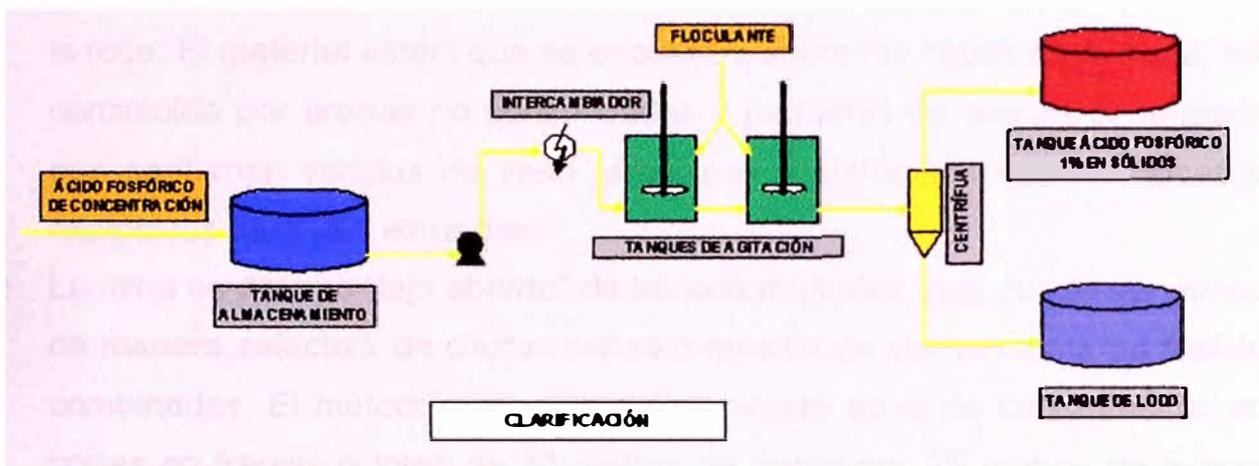
- Impurezas introducidas por el proceso.
- Impurezas introducidas con la roca.

### e) La Clarificación

- En esta parte del proceso se produce ácido fosfórico al 54% en  $P_2O_5$  clarificado con un contenido en sólidos de menos de 1.0% en peso. Cuando se alcanza esta especificación se le considera como ácido en grado comercial.
- En el proceso de clarificación se precipitan los siguientes sólidos:  
Después del proceso de evaporación el ácido fosfórico ingresa a un tanque de almacenamiento donde termina de precipitar el yeso con algo de sodio y/o fluorsilicatos de potasio y muy poco de  $P_2O_5$ .  
Componentes complejos con contenido en sólidos como el fluor, fierro, aluminio, magnesio y muy poco de  $P_2O_5$  se decantan, después de pasar por los tanques de agitación y la centrífuga.  
La composición de los sólidos mencionados variará dependiendo de la composición de la roca.
- Breve Descripción del Proceso:  
El ácido fosfórico con un porcentaje en sólidos de 3% procedente de la etapa de evaporación ingresa a un tanque de almacenamiento.  
Desde este tanque es bombeado a través de un intercambiador de calor donde es enfriado con agua hasta alcanzar una temperatura de 60°C.  
Posteriormente ingresa a un sistema de tanques de agitación lenta al cual se agrega una solución floculante con el objeto de aglomerar los componentes complejos finos.

- El tiempo total de retención en los tanques es de aproximadamente 96 horas.
- El ácido fosfórico de los tanques agitados es procesado en una centrífuga. Por el fondo se obtiene un lodo que se deriva a un tanque y por el tope el producto clarificado con un contenido máximo de 1% en sólidos que es almacenado en el tanque de ácido comercial.

**Figura 4: Proceso de clarificación del Ácido Fosfórico**



### Aspectos Medioambientales del Proceso

Los efluentes gaseosos y líquidos de los procesos deben ser tratados para eliminar o al menos reducir los contaminantes. En este apartado se tratarán el correspondiente al yeso.

- **Sulfato de Calcio o Yeso**

- Alrededor de cinco toneladas de yeso se generan por tonelada de  $P_2O_5$  producido como ácido fosfórico.
- El co-producto yeso contiene principalmente los siguientes tipos de impurezas que son considerados potencialmente dañinos:
  - El ácido residual.
  - Los componentes fluorados.
  - Trazas de elementos como el cadmio, mercurio, arsénico.
  - Elementos radioactivos.
- Existen tres métodos usados para la disposición final del yeso:

Descargar al mar.

Desechar en alguna depresión del suelo.

Usarlo en el campo agrícola o como yeso comercial en la construcción.

## **ROCA FOSFÓRICA**

### **Sistema de minado y transferencia del material estéril**

- El depósito de Sechura, presenta una estructura de capas sedimentarias uniformes casi horizontales y superficiales; permitiendo la fácil extracción de la roca. El material estéril que se encuentra sobre las capas de mineral, está constituida por arenas no consolidadas y paquetes de arenas cementadas que contienen venillas de yeso, areniscas y diatomitas que no necesitan explosivos para ser extraídas.
- La mina es del tipo "tajo abierto" de bancos múltiples, que puede ser minado de manera selectiva de ciertas capas o masivo de varias capas de fosfatos combinadas. El método para realizar el minado es el de transferencia, con cortes en franjas o lotes de 30 metros de frente por 25 metros de avance, mediante el uso de tractores de oruga, cargador frontal y volquetes.
- Las instalaciones para la producción de roca fosfórica incluye aquellas unidades necesarias (equipos) para minar el mineral fosfórico y eliminar la diatomita estéril a través de restregado y deslamado.

### **Planta de Beneficio Final**

- El mineral procedente del minado es tratado en la planta de beneficio final con el objetivo de obtener un producto de 30.5% de  $P_2O_5$ .
- El beneficio final o lavado tiene como propósito liberar la mayor cantidad de diatomita y lamas arcillosas, para posteriormente tamizar y desechar el material estéril grueso.



## II.2.4 Propiedades

### Fosfato Diamónico, DAP

**Nombre Técnico:** Abono Complejo NP 18 – 46.

**Nombre Comercial:** Fosfato Diamónico D.A.P.

**Aspecto:** Conocido comercialmente como DAP, es un abono complejo NP, sólido granulado, de color gris/negro, inodoro. Cada gránulo del "complejo" contiene los mismos nutrientes.

**Fabricación:** El amoníaco y el ácido fosfórico reaccionan en un reactor tubular, bombeándose el producto resultante al granulador, al que se alimenta más amoníaco para completar la reacción. El granulado se seca, clasifica y enfría.

#### **Características Representativas:**

**Tabla II: Características Químicas del fosfato diamónico**

| CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS   |      |
|--|------|
| Nitrógeno total (% N)  | 18   |
| Nitrógeno amoniacal (%N)   | 18   |
| Anhid. fosfórico soluble en citrato amónico neutro y agua (% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | 46   |
| Anhid. fosfórico soluble en agua (% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )                          | 44   |
| OTRAS CARACTERÍSTICAS  |      |
| Granulometría (%):   |      |
| > 5 mm (máx.)  | 1,0  |
| 2-5 mm (máx.)  | 94,0 |
| 1-2 mm (máx.)  | 4,0  |
| < 1 mm (máx.)  | 1,0  |
| Humedad máxima (%)   | 2,0  |
| Densidad aparente (kg/l)   | 0,95 |

**Aplicación:** Se utiliza habitualmente para la fabricación de abonos de mezcla y de abonos complejos. Fertilizante súper-concentrado apropiado como fuente fosfatada y nitrogenada en suelos bien abastecidos con Potasio. Eficaz para una amplia gama de cultivos, particularmente

para arroz-riego en aplicaciones post-siembra. Cuando se aplica en la siembra debe evitarse el contacto con la semilla. No está clasificado como mercancía peligrosa a efectos del transporte.

**Distribución:** Granel o envasado en sacos de 50 Kg. de plástico con válvula.

**Almacenaje:** En recintos cerrados, bien ventilados y con ambiente seco, donde la temperatura no debe ser elevada. El producto debe mantenerse aislado, lejos de fuentes de calor y materiales combustibles. A granel la altura del apilamiento no debe superar los 6 metros, tapándose el producto.

**Transporte:** Cualquier tipo de transporte, pues no es considerada mercancía peligrosa.

**Seguridad:** No clasificado como mercancía peligrosa.

**Usos frecuentes:** El equilibrio entre los nutrientes de este NP le hace adecuado para suelos muy ricos en potasio, en los que no hace falta incorporar dicho elemento en el abonado y para cultivos como cereales de invierno, exigentes en fósforo, asentados en estos suelos. El DAP es un componente básico en los abonos de mezcla (blending) con cloruro de potasio principalmente y a veces también con abonos nitrogenados. El Nitrógeno que aporta el producto está, en su totalidad, en forma amoniacal. La interacción del Nitrógeno en estado amoniacal con el fósforo facilita su absorción. El Fósforo aportado, en un 100 % es asimilable por las plantas, del que un porcentaje muy elevado, (más del 95 %) es soluble al agua y pasa directamente a la solución de suelo, garantiza un excelente resultado agronómico, pues permite la absorción de Fósforo por los cereales en los primeros momentos cuando se ve dificultada por las bajas temperaturas el suelo. El DAP tiene un efecto residual ácido sobre los suelos, aunque inicialmente tiene

una reacción alcalina, por lo que son muy adecuados para suelos neutros o básicos.

**Época de aplicación:** Un poco antes de la siembra, con antelación suficiente a que la planta lo necesite.

**Forma de aplicación:** Esparcido sobre la superficie del terreno, homogéneamente distribuido. Se aconseja sea enterrado, a suficiente profundidad, para situar el abono cerca de las raíces y facilitar así la absorción del Fósforo y Potasio. No debe ponerse en contacto con la semilla, pues en función del suelo puede producirse volatilización de amoníaco que puede dañarla.

**Dosificación:** No se recomiendan dosis por cultivos, pues como hemos indicado, preferentemente se utiliza como materia base para los " blending"

### Ácido Fosfórico, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>

**Nombre Técnico:** Ácido Ortofosfórico.

**Aspecto:** El ácido fosfórico clarificado es un líquido transparente, de color verde, libre de impurezas en suspensión, con olor ligeramente a ácido debido a su bajo pH. Es un compuesto inflamable, pero no explosivo, y corrosivo.

**Fabricación:** Se ataca por vía húmeda la roca fosfórica con ácido sulfúrico, eliminándose las impurezas a través de un proceso industrial de clarificación. Durante él, se efectúa un tratamiento inicial con roca fosfórica agitando el tanque; después se hace un tratamiento con floculante, se centrifuga y se almacena el producto.

## Características Representativas:

Tabla III: Características Químicas del ácido fosfórico

| Componentes                          | % en peso                      |
|--------------------------------------|--------------------------------|
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>        | 52.00                          |
| CaO                                  | 0.13                           |
| SO <sub>3</sub>                      | 1.76                           |
| F                                    | 0.45                           |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>       | 1.02                           |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>       | 1.33                           |
| SiO <sub>2</sub>                     | 0.29                           |
| Na <sub>2</sub> O                    | 1.13                           |
| K <sub>2</sub> O                     | 0.11                           |
| MgO                                  | 0.85                           |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (max) | 5.80                           |
| Densidad a 25°C (kg/l)               | 1.60                           |
| Sólidos Totales (% max)              | 0.4                            |
| pH                                   | < 1                            |
| Punto de fusión                      | - 17.5 °C                      |
| Punto de ebullición                  | 133 °C                         |
| Presión de vapor                     | 267 Pa a 20°C                  |
| Solubilidad en agua                  | Miscible en todas proporciones |
| Temperatura de cristalización        | -26 °C                         |

**Distribución:** En vehículos provistos de tanques de diferentes capacidades, constituidos de acero inoxidable, polietileno y PVC - polipropileno - poliéster reforzados con fibra de vidrio empleando en ellos resinas adecuadas para productos ácidos. Las cisternas deben lavarse previamente.

**Almacenaje:** En tanques de acero inoxidable, polietileno y PVC - polipropileno - poliéster reforzados con fibra de fibra de vidrio en cuyo caso deben usarse resinas adecuadas para productos ácidos. Los tanques deben situarse en zonas frescas y bien ventiladas, lejos de fuentes de calor y tener cerca instalación de duchas. Se cumplirán las prescripciones de seguridad sobre almacenamiento de

líquidos corrosivos. En la manipulación del producto utilizar gafas de protección química y guantes de PVC cuando se maneje en pequeñas cantidades.

**Clasificación:** Clasificación ONU: Clase 8, sustancia corrosiva, Numero ONU 1805.

**Transporte:** Mediante vehículos provistos de tanques adecuados, como ya se ha indicado. Las cisternas deben lavarse previamente.

**Seguridad:** Es un producto corrosivo. En la etiqueta que acompañe el producto debe figurar las condiciones correspondientes a:

- ✓ Corrosivo.
- ✓ Provoca quemaduras.
- ✓ Consérvese bajo llave y manténgase fuera del alcance de los niños.
- ✓ En caso de contacto con los ojos, lávense inmediatamente con agua y acúdase a un médico.
- ✓ En caso de accidente o malestar, acúdase al médico (si es posible, muéstrele la etiqueta )

**Usos frecuentes:** El ácido fosfórico es la principal fuente de aportación de fósforo a los cultivos en fertirrigación.

**Época de aplicación:** A lo largo del ciclo del cultivo, repartido en distintas cantidades en función de la curva de necesidades de fósforo del cultivo, que suelen coincidir en los primeros momentos de las plantas para la formación de la raíz y durante los periodos de floración y cuajado. Dada la movilidad del fósforo debe anticiparse un poco la aplicación al momento de las necesidades.

**Dosificación:** Las dosis totales están en función de los cultivos y de la producción esperada, pudiendo variar en frutales y cítricos entre 150 y 300 kg / hectárea y en cultivos hortícolas entre 200 y 400 kg / hectárea. La concentración en el agua de riego debe ser en dosis comprendidas entre el 0,25 y 0,40 por mil. En casos de aguas muy salinas, con alto contenido en Calcio y

Magnesio, es más aconsejable concentrar la aplicación en una parte del riego o realizar la aportación dos veces por semana, para aumentar el efecto acidificante.

**Forma de aplicación:** El ácido fosfórico no debe mezclarse con compuestos cálcicos, magnésicos o férricos y complejos NPK líquidos, pudiendo aplicarse directamente al agua de riego mediante bombas especialmente resistentes a los ácidos o preparando previamente una "solución madre". Para la preparación de la solución madre, dada su reacción exotérmica con aumento de la temperatura, se favorece la solubilidad de otros fertilizantes sólidos en que su incorporación en cambio produce una bajada.

**Tabla IV: Características de aplicación a los suelos**

| Concentración         | pH   | Cond. Eléct. (mmhos/cm) | Temp. inicial (° C) | Temp. final (° C) |
|-----------------------|------|-------------------------|---------------------|-------------------|
| <b>Solución madre</b> |      |                         |                     |                   |
| 1%                    | 1,88 | 8,15                    | 23,7                | 23,9              |
| 5%                    | 1,52 | 23,5                    | 23,7                | 25                |
| 10%                   | 1,35 | 41,9                    | 23,7                | 25,7              |
| 30%                   | 0,85 | 102,5                   | 24                  | 30,7              |
| 50%                   | 0,66 | 149,4                   | 24                  | 34,3              |
| <b>Agua de riego</b>  |      |                         |                     |                   |
| 0,25 gr/l             | 3,06 | 0,51                    | 23,3                | 23,3              |
| 0,50 gr/l             | 2,81 | 0,96                    | 23,3                | 23,3              |
| 1,00 gr/l             | 2,62 | 1,67                    | 23,3                | 23,3              |
| 2,50 gr/l             | 2,15 | 3,51                    | 23,9                | 24                |
| 5,00 gr/l             | 2,03 | 5,06                    | 23,9                | 24                |

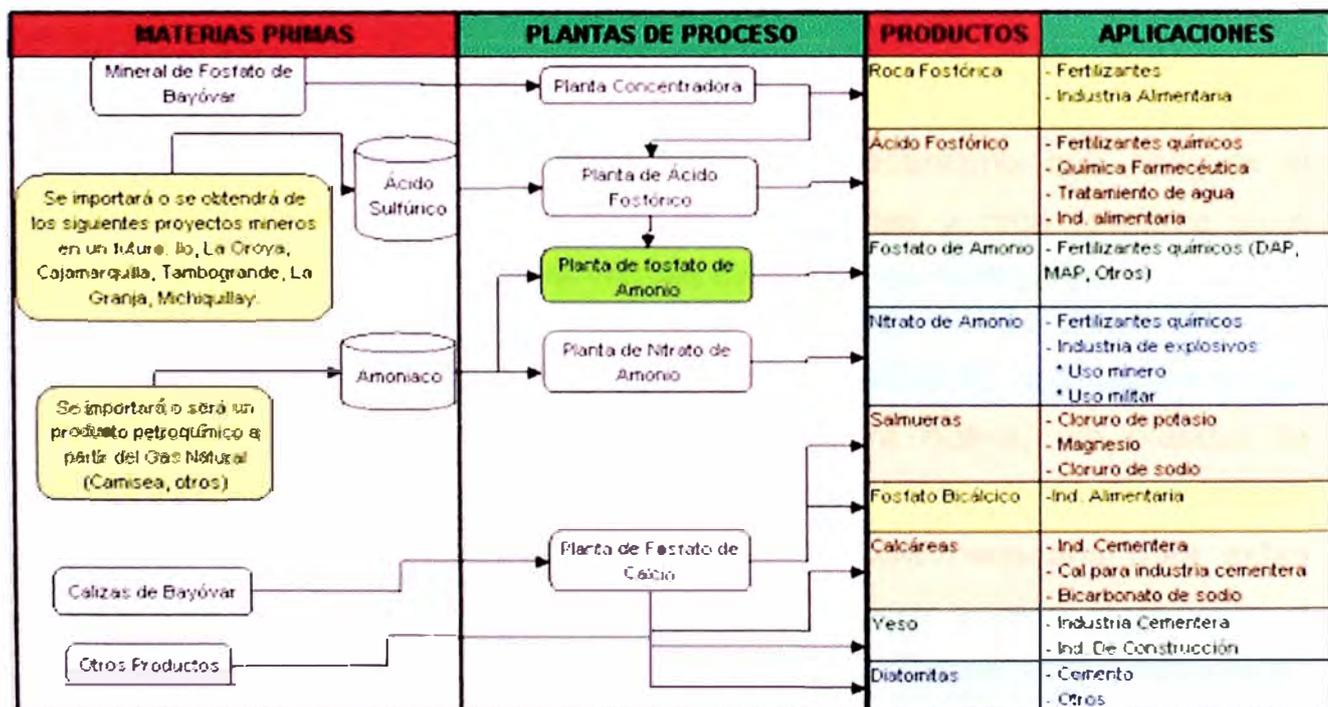
## II.3 ANÁLISIS DE LA DEMANDA

### II.3.1 El Mercado Potencial

Para el año 2010, se estima que existirá un déficit de 9.92 millones de TM/año de  $P_2O_5$  en el mercado objetivo para Bayóvar constituidos por los países pertenecientes a la Cuenca del Pacífico (América Latina, Oceanía, Asia del Sur, Asia del Este y Asia Socialista).

En este entorno, el mercado regional presenta un requerimiento mínimo de unos 3 millones de TM, entre Ecuador (primer productor mundial de bananos y un importante productor de camarones), Brasil (segundo productor mundial de soya) y Colombia.

**Figura 6: Cadena Industrial de los derivados de la roca fosfórica**



Nuestro país tiene un bajo índice de consumo anual (alrededor de 45,000 TM de  $P_2O_5$ ) que contrasta mucho del potencial agrícola que posee y requiere ser fortalecida con nuevas inversiones.

Se estima que para la operación del proyecto será necesaria la construcción de una planta concentradora nueva con una capacidad superior a

dos millones y medio de toneladas métricas por año, quecuente con las facilidades portuarias necesarias. El cronograma del proyecto es el siguiente:

- Al término del segundo año a partir de la suscripción del contrato, se deberá finalizar la construcción del puerto multipropósitos en la bahía de Sechura entra Punta Bappo y Punta Lagunas en un área de 441.28 hectáreas, y se deberá entregar un estudio de factibilidad del proyecto, conteniendo el monto referencial de las invrsiones anuales y regalías proyectadas.
- Al término del tercer año a partir de la suscripción del contrato, se deberá aportar 50 mil dólares al año en tanto realice actividad productiva y/o comercial.
- Al término del quinto año a partir de la suscripción del contrato, se deberá haber puesto en marcha el proyecto con una capacidad instalada de producción equivalente en roca fosfórica y/o ácido fosfórico y/o fertilizantes fosfatados no menor a la capacidad instalada de producción equivalente se su propuesta.

Dentro del contrato se establecería un mecanismo que asegure el abastecimiento del mercado peruano de fertilizantes y roca fosfórica y un sistema de precios que asegure la ventaja de utilizar los fertilizantes.

Según el Ministerio de Energía y Minas este proyecto, que deberá contar con operaciones de minado, planta concentradora nueva, y/o plantas de acidulación de roca fosfórica y/o de ácido fosfórico y/o de fertilizantes fosfatados, el puerto de fosfatos y la infraestructura necesaria para estas operaciones la construcción del puerto como las vías de acceso, disponibilidad de agua y energía eléctrica, requerirá de una inversión de aproximadamente 600 millones de dólares. La infraestructura del complejo industrial (planta de fertilizantes, tanques de almacenamiento), podría alcanzar los 250 millones de dólares y el puerto demandaría cerca de 50 millones.

Con el proyecto Bayóvar, Perú dejaría de importar fertilizantes por un monto cercano a los 70 millones de dólares al año. El gobierno espera obtener una producción de roca fosfórica por 100 millones de dólares anuales y ventas de fertilizantes por 300 millones de dólares al año.

### **II.3.2 Revolucionando el Agro:**

El Perú, actualmente importa productos de fertilizantes por unos US\$ 70 millones, que podrían ser económicamente sustituidos por la producción de Bayóvar, mejorando la balanza comercial. Se estima que sólo en la región nororiental del país, existen 1.5 millones de hectáreas cultivables y un potencial de hasta 7.35 millones de hectáreas de tierras ácidas que pueden ser tratadas con la aplicación directa de la roca fosfórica. Existen otros 4 millones de hectáreas de tierras sembradas con bajos rendimientos agrarios y proyectos agrícolas especiales como Olmos, Alto Piura, Chavimochic, Majes, entre otros.

El uso de la Roca Fosfórica como fertilizantes en la agricultura es notable. La papa rinde 400% más que en una misma área donde no se utiliza este fertilizante; el trigo 300% más; el maíz 200% más; los pastos en zonas selváticas 800% más. Es importante resaltar que puede utilizarse como aplicación directa en suelos ácidos, en la sierra y ceja de selva, como lo hace Nueva Zelanda; o también, como fertilizantes derivados como el superfosfato triple y fosfato diamónico, obtenidos a partir del tratamiento de la roca fosfórica con ácido sulfúrico y amoníaco.

La roca fosfórica al ser transformado en producto bicálcico, puede ser aprovechada en ganaderías importantes como Arequipa y Cajamarca. Nuestra ganadería actual no está tecnificada, por lo que hay un deficitario de consumo de este compuesto que permitiría dar mayor producción de carne y leche, esto nos coloca en una situación de desventaja respecto a países como Colombia y Venezuela, cuyos consumos está en el orden de 30,000 a 45,000 TM/año respectivamente versus el consumo nacional anual que no supera las 2,000 TM.

En resumen, se proyecta un potencial de consumo futuro de fertilizantes fosfatados en el Perú, superior a 1.5 millones de TM de  $P_2O_5$ , revolucionando el agro actual, fortaleciendo los proyectos agrícolas y ampliando la frontera agraria en el nororiente peruano, multiplicando el empleo nacional.

### **- Ácido Sulfúrico:**

El proyecto tendrá capacidad suficiente para consumir el total de la producción nacional (actual 500,000 TM/año) y proyectada en 1.5 millones de TM/año, entre las refinerías de La Oroya, Ilo y Cajamarquilla. Es asimismo, un potencial cliente para futuras fuentes de ácido sulfúrico que se podrían derivar de los proyectos mineros del norte como Tambogrande, La Granja, Michiquillay.

### **- Amoniaco:**

Bayóvar será un potencial consumidor de amoniaco (entre 250,000 y 500,000 TM/año), el cual se tiene pensado cubrir en mediante su importación.

### **- Puerto:**

El puerto proyectado en Bayóvar, de capacidad de movimiento de carga anual superior a los 6 millones de TM, sería el segundo de mayor importancia en el país, después del Callao. Su característica de multipropósito que se desarrollaría con una inversión superior de US\$ 50 millones, facilitará la exportación minera, agraria, maderera y otros productos del norte del Perú.

### **- Infraestructura:**

Bayóvar requiere carreteras, energía eléctrica, servicios auxiliares y de terceros. Indirectamente puede fortalecer el uso de carreteras regionales como Bayóvar – Sarameriza hacia la exportación a Brasil, o las carreteras en la frontera norte hacia la exportación al Ecuador.

La necesidad de incorporar nuevas áreas a la agricultura ha generado una fuerte corriente migratoria de agricultores de origen andino hacia la selva cuyos suelos presentan serias deficiencias de fósforo. De acuerdo a estudios realizados por Sánchez y Benítez (1983) se estima que en la Amazonía Peruana el 66% de los suelos, es decir 49.7 millones de hectáreas presentan este problema. La fijación de fósforo es común en 18.9 millones de hectáreas, lo cual representa el 25% del área total (véase las Tablas V y VI).

**Tabla V: Suelos de la Selva Peruana (\*)**

| Suelos       | Millones de hectáreas | Porcentaje % |
|--------------|-----------------------|--------------|
| Ultisoles    | 49.2                  | 65           |
| Entisoles    | 12.8                  | 17           |
| Inceptisoles | 10.5                  | 14           |
| Alfisoles    | 2.3                   | 3            |
| Vertisoles   | 0.4                   | 1            |
| Molisoles    | 0.3                   | -            |
| Esodosoles   | 0.1                   | -            |
| TOTAL        | 75.6                  | 100          |

**Tabla VI: Limitaciones de los suelos de la Selva Peruana (\*)**

| Limitaciones                 | Millones de hectáreas | % Total |
|------------------------------|-----------------------|---------|
| Deficiencia de nitrógeno     | 70.7                  | 94      |
| Deficiencia de fósforo       | 49.7                  | 66      |
| Toxicidad de aluminio        | 49.2                  | 65      |
| Bajas reservas nutricionales | 46.2                  | 61      |
| Alta erosión                 | 23.4                  | 31      |
| Alta lixiviación             | 23.0                  | 30      |
| Sequía 3 meses               | 20.2                  | 27      |
| Mal drenaje/inundaciones     | 10.1                  | 13      |
| Poca profundidad             | 8.0                   | 11      |

(\*)Fuente: Sánchez, P.A. y J.R. Benites (1983).

En los últimos 15 años se han realizado en el Perú investigaciones con la roca fosfórica, demostrando su eficiencia y uso, especialmente en suelos ácidos con sistemas de agricultura continua mediante la corrección de la acidez y empleo de otros fertilizantes.

Para especies perennes o cultivos anuales adaptados a suelos ácidos también es factible el uso de fuentes no tradicionales como la roca. Por ejemplo, la Empresa Nacional de Comercialización (ENCI) reportó 1985 un consumo de 20500 toneladas de fósforo, consumo que se incrementó hasta

1988. A partir de 1989 este decayó notablemente debido a que los fertilizantes ya no fueron subsidiados (véase Tabla VII).

**Tabla VII: Consumo nacional de fertilizantes en Perú entre 1985 y 1990 (miles de toneladas).**

| Producto            | 1985* | 1986** | 1987** | 1988** | 1989** | 1990** |
|---------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Urea                | 118.6 | 206.7  | 255.23 | 247.80 | 181.2  | 79.4   |
| Nitrato de amonio   | 36.0  | 52.8   | 80.50  | 73.75  | 69.4   | 28.3   |
| Sulfato de amonio   | 22.7  | 28.2   | 33.27  | 32.24  | 12.8   | 9.6    |
| Superfosfato triple | 13.4  | 33.6   | 47.61  | 35.38  | 17.6   | 13.5   |
| Superfosfato simple | 7.5   | -      | -      | -      | -      | -      |
| Cloruro de potasio  | 14.3  | 26.6   | 36.90  | 23.78  | 25.4   | 9.1    |
| Sulfato de potasio  | 2.6   | 6.2    | 7.02   | 8.36   | 6.7    | 4.7    |
| Fosfato diamónico   | 14.9  | 28.1   | 40.07  | 40.54  | 20.8   | 13.0   |
| Abono com. 12-12-12 | 15.4  | 13.9   | 16.18  | 15.76  | 4.7    | 1.5    |
| Abono com. 7-14-7   | 5.0   | 3.0    | 1.54   | 1.18   | 0.2    | -      |
| Bayomix             | 2.0   | 1.8    | 2.45   | 2.46   | 2.0    | 0.9    |
| Superfos 24         | -     | 7.0    | 1.80   | 0.08   | 1.4    | 1.7    |
| Guano isla          | 36.6  | 19.5   | 8.06   | 17.42  | 10.6   | 0.9    |
| Roca fosfórica      | -     | -      | -      | 5.43   | 0.5    | 1.6    |
| TOTAL               | 290.6 | 429.8  | 533.59 | 508.32 | 256.3  | 165.4  |
| N                   | 78.8  | 124.2  | 162.70 | 159.99 | 115.25 | 51.47  |
| P                   | 20.5  | 24.5   | 44.28  | 39.29  | 20.09  | 13.07  |
| K                   | 13.1  | 19.0   | 28.78  | 21.95  | 20.26  | 8.37   |
| TOTAL NPK           | 113.4 | 177.2  | 235.73 | 221.22 | 155.6  | 72.90  |

\* Inudus. Vendió directamente 5.5 t de superfosfato simple.

\*\* Ventas de la Empresa Nacional de Comercialización de Insumos (ENCI)

Fuente: ENCI

Si vemos la producción peruana de fertilizantes en la Tabla VIII se tiene que en las fuentes fosfóricas (supersimple y compuestos) hubo una caída a partir de 1989. No se tienen datos sobre el uso de roca fosfórica sino a partir

del 89, cuando en realidad fueron muy bajos. Generalmente el consumo de fertilizantes correspondía a más del 50% de lo producido.

**Tabla VIII: Producción peruana de fertilizantes (miles de toneladas).**

| Empresas       | Fertisa           |                   | Incasa            | Petroperu |
|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------|
| Fertilizantes  | Sulfato de amonio | Nitrato de amonio | Nitrato de amonio | Urea      |
| Cap.Ins.Planta | 14.9              | 41.60             | 35.0              | 156.0     |
| Año            | -                 | -                 | -                 | -         |
| 1985           | 0.50              | 26.70             | 8.30              | 119.00    |
| 1986           | 1.50              | 25.00             | 3.60              | 136.40    |
| 1987*          | -                 | 36.22             | 0.16              | 105.00    |
| 1988*          | -                 | 34.40             | 0.32              | 142.79    |
| 1989*          | -                 | 24.40             | 0.32              | -         |
| 1990*          | -                 | 13.00             | -                 | 5.00      |

| Empresas       | INDUS          |            | Pescaperu      | Mineroperú     | Total               |
|----------------|----------------|------------|----------------|----------------|---------------------|
| Fertilizantes  | Superf. Simple | Compuestos | Guano de islas | Roca fosfórica | Producción Nacional |
| Cap.Ins.Planta | 15.0           | 30.0       | 40.0           | 90.0           | 332.50              |
| Año            | -              | -          | -              | -              | -                   |
| 1985           | 6.50           | 16.00      | 36.60          | SI             | 213.60              |
| 1986           | 7.00           | 12.90      | 12.50          | SI             | 205.90              |
| 1987*          | 1.51           | 18.87      | 8.50           | SI             | 170.26              |
| 1988*          | 0.50           | 17.85      | 24.20          | 0.5            | 220.06              |
| 1989*          | 2.01           | 4.77       | 5.82           | 3.5            | 37.82               |
| 1990*          | 2.50           | 1.50       | -              | -              | 25.50               |

\*Compras ENCI SI = sin información Fuente: ENCI

El mayor consumo de fertilizantes durante el año 1985, y dentro de éstos los fosforados, se debió a la mayor importación y a los subsidios otorgados por el gobierno (véase Tabla IX).

**Tabla IX: Importación de fertilizantes en miles de TM realizados por ENCI desde 1985 hasta 1990**

| Fertilizantes       | 1985  | 1986    | 1987   | 1988   | 1989   | 1990   |
|---------------------|-------|---------|--------|--------|--------|--------|
| Urea                | -     | 110.05* | 153.98 | 98.20  | 152.19 | 77.95  |
| Nitrato de Amonio   | -     | 27.11   | 40.47  | 47.16  | 59.51  | 10.30  |
| Sulfato de Amonio   | 22.47 | 27.87   | 29.76  | 30.33  | 21.83  | -      |
| Superfosfato Triple | 15.64 | 37.82   | 51.74  | 34.32  | 27.96  | 10.44  |
| Cloruro de Potasio  | 14.32 | 24.60   | 38.90  | 39.98  | 21.15  | -      |
| Sulfato de Potasio  | 2.99  | 5.70    | 5.79   | 8.49   | 14.46  | -      |
| Sulfato de Mg y K   | 1.05  | 2.86    | 2.48   | 3.58   | 6.56   | -      |
| Fosfato diamónico   | 18.63 | 32.79** | 34.86  | 43.87  | 31.07  | 10.36  |
| TOTAL               | 74.90 | 268.79  | 357.98 | 305.93 | 334.72 | 109.04 |

\* 5.5 miles TM importados por particulares.

\*\* 2.5 miles TM importados por particulares. Fuente: ENCI

El uso de roca fosfórica se ha incrementado en los últimos años para la preparación de fertilizantes fosfatados y compuestos, más que en forma natural. El consumo en forma natural ha sido muy bajo, habiéndose usado en 1990 aproximadamente 1000 TM en la Sierra y Costa del Perú (véase Tabla X) para un área agrícola aproximada de 1000 ha. La mayor parte de esta roca fue al cultivo de papa con dosis de 140 a 160 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> hectáreas complementado con estiércol.

**Tabla X: Ventas de roca fosfórica realizadas por ENCI durante 1990**

| Sitio       | Roca fosfórica (TM) | Sitio        | Roca Fosfórica (TM) |
|-------------|---------------------|--------------|---------------------|
| Huancayo    | 96                  | Arequipa     | 17                  |
| Jauja       | 64                  | Camaná       | 31                  |
| Tarma       | 85                  | Pimentel     | 21                  |
| Ayacucho    | 58                  | Trujillo     | 85                  |
| Cajamarca   | 108                 | Chimbote     | 81                  |
| Huanuco     | 71                  | Pampas       | 88                  |
| Tingo María | 21                  | Carhuamayo   | 61                  |
| Cañete      | 46                  | Callao       | 67                  |
| -           | -                   | <b>Total</b> | <b>1000</b>         |

Fuente: ENCI

Los volúmenes de compra de roca fosfórica de las plantas de fertilizantes son entre 15000 a 20000 TM/año. Minero Perú que era la empresa que vendía este producto también exportaba. Por ejemplo en 1990 exportó 20 000 TM a Nueva Zelanda.

Considerando la importancia de estos yacimientos y las necesidades de fósforo para el incremento de la producción y productividad agrícolas, en especial de los suelos de la Amazonía, se firmó un convenio de cooperación interinstitucional entre Minero Perú, Instituto Nacional de Investigación Agraria (INAA), y la Empresa Nacional Comercializadora de Insumos (ENCI), para efectuar investigaciones y promocionar el uso de la roca fosfórica en los suelos ácidos de la Sierra y Selva del Perú. Estos trabajos continúan evaluándose en cuanto a su efecto residual.

### II.3.3 Exportaciones / Importaciones / Ofertas:

Únicamente se exportaba la roca fosfórica molida y la única empresa peruana que la realizaba era la Empresa Minera Regional Grau Bayóvar, la cual realizó sus operaciones con normalidad hasta que fue cerrada por el Gobierno Peruano debido a la intención de privatizarla. Los datos de sus exportaciones que realizaban se muestran en las siguientes tablas y gráficos.

**Figura 7: Exportación nacional de roca fosfórica**

**EXPORTACIONES DE LA EMPRESA MINERA  
REGIONAL GRAU BAYOVAR**

| AÑO  | PAIS          | TM                | US\$                |
|------|---------------|-------------------|---------------------|
| 1993 | NUEVA ZELANDA | 21,654.92         | 866,196.80          |
| 1994 | NUEVA ZELANDA | 21,625.07         | 873,002.80          |
| 1995 | NUEVA ZELANDA | 19,976.00         | 799,040.00          |
| 1996 |               |                   |                     |
| 1997 | NUEVA ZELANDA | 65,639.00         | 3,106,665.80        |
| 1998 | NUEVA ZELANDA | 36,629.00         | 1,465,180.40        |
| 1999 | ECUADOR       | 415.00            | 16,300.00           |
|      | NUEVA ZELANDA | 19,087.00         | 929,556.00          |
| 2000 | ECUADOR       | 1,177.00          | 40,606.50           |
|      | <b>TOTAL</b>  | <b>186,411.99</b> | <b>8,696,448.30</b> |

Figura 8: Diagrama de las exportaciones de roca fosfórica

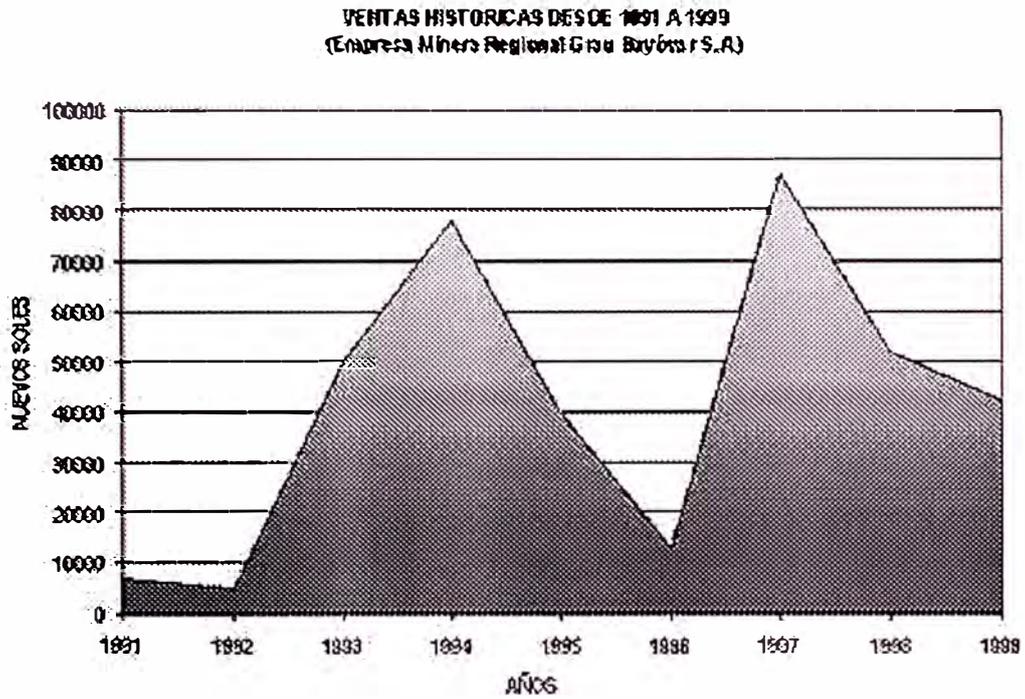


Tabla XI: Oferta anual de fertilizantes

| Año  | Oferta de fertilizantes (toneladas métricas) |
|------|--|
| 1990 | 2653550                                      |
| 1991 | 1547440                                      |
| 1992 | 1996810                                      |
| 1993 | 3841730                                      |
| 1994 | 4274490                                      |
| 1995 | 3900190                                      |
| 1996 | 4176030                                      |
| 1997 | 4377400                                      |
| 1998 | 5203470                                      |
| 1999 | 5079630                                      |
| 2000 | 5157540                                      |
| 2001 | 6611520                                      |

Fuente: Ministerio de Agricultura

**Tabla XII: Producción anual de fertilizantes**

| <b>Año</b> | <b>Producción (toneladas métricas)</b> |
|------------|--|
| 1990       | 1269420                                |
| 1991       | 880630                                 |
| 1992       | 583320                                 |
| 1993       | 803650                                 |
| 1994       | 763340                                 |
| 1995       | 714540                                 |
| 1996       | 545560                                 |
| 1997       | 310850                                 |
| 1998       | 360520                                 |
| 1999       | 254110                                 |
| 2000       | 215900                                 |
| 2001       | 144620                                 |

Fuente: Ministerio de Agricultura

**Tabla XIII: Importación anual de fertilizantes**

| <b>Año</b> | <b>Importación (toneladas métricas)</b> |
|------------|---|
| 1990       | 1384130                                 |
| 1991       | 666810                                  |
| 1992       | 2413490                                 |
| 1993       | 3038080                                 |
| 1994       | 3511150                                 |
| 1995       | 3185650                                 |
| 1996       | 3630470                                 |
| 1997       | 4066550                                 |
| 1998       | 4842950                                 |
| 1999       | 4825530                                 |
| 2000       | 4941640                                 |
| 2001       | 6466900                                 |

Fuente: Ministerio de Agricultura

## Tabla XIV: Importación de fosfato diamónico

*Reporte de Importaciones por Subpartida Nacional/País Origen 1993*

**Subpartida Nacional : 3105.30.00.00 HIDROGENO ORTOFOSFATO DE DIAMONIO (FOSFATO DIAMONICO)**

| Pais de Origen    | Valor FOB (Dólares) | Valor CIF (Dólares) | Peso Neto (Kilos)    | Peso Bruto (Kilos)   | Porcentaje CIF |
|-------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------|
| JS: UNITED STATES | 2.529.316,63        | 3.240.369,21        | 19.924.580,00        | 19.933.052,00        | 95,41          |
| EC: ECUADOR       | 108.392,00          | 113.293,79          | 594.400,00           | 595.888,00           | 3,33           |
| MX: MEXICO        | 18.200,00           | 21.506,00           | 20.000,00            | 20.000,00            | 0,63           |
| BE: BELGIUM       | 17.151,25           | 20.977,84           | 29.750,00            | 30.056,00            | 0,61           |
| DE: GERMANY       | 65,04               | 77,45               | 2,71                 | 3,45                 | 0              |
| LOS DEMAS         | 0                   | 0                   | 0                    | 0                    |                |
| <b>TOTAL →</b>    | <b>2.673.124,92</b> | <b>3.396.224,29</b> | <b>20.568.732,71</b> | <b>20.578.999,45</b> | <b>100</b>     |

*Reporte de Importaciones por Subpartida Nacional/País Origen 1994*

| Pais de Origen               | Valor FOB (Dólares) | Valor CIF (Dólares) | Peso Neto (Kilos)    | Peso Bruto (Kilos)   | Porcentaje CIF |
|------------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------|
| US: UNITED STATES            | 5.078.252,05        | 6.093.539,98        | 30.797.264,00        | 30.799.420,00        | 98,32          |
| PA: ZONA DEL CANAL DE PANAMA | 52.500,00           | 62.379,45           | 300.000,00           | 300.000,00           | 1              |
| BE: BELGIUM                  | 17.479,36           | 21.074,23           | 31.500,00            | 31.863,50            | 0,34           |
| EC: ECUADOR                  | 15.000,00           | 15.525,00           | 80.000,00            | 80.300,00            | 0,25           |
| NL: NETHERLANDS              | 3.789,50            | 4.653,52            | 5.000,00             | 5.100,00             | 0,07           |
| DE: GERMANY                  | 13,95               | 18,54               | 0,5                  | 0,72                 | 0              |
| LOS DEMAS                    | 0                   | 0                   | 0                    | 0                    |                |
| <b>TOTAL →</b>               | <b>5.167.034,86</b> | <b>6.197.190,72</b> | <b>31.213.764,50</b> | <b>31.216.684,22</b> | <b>100</b>     |

*Reporte de Importaciones por Subpartida Nacional/País Origen 1995*

| Pais de Origen    | Valor FOB (Dólares) | Valor CIF (Dólares)  | Peso Neto (Kilos)    | Peso Bruto (Kilos)   | Porcentaje CIF |
|-------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------|
| MX: MEXICO        | 3.208.686,78        | 3.642.293,10         | 15.485.940,00        | 15.485.940,00        | 35,87          |
| VE: VENEZUELA     | 2.841.203,81        | 3.356.797,94         | 14.558.240,00        | 14.558.240,00        | 33,06          |
| US: UNITED STATES | 2.645.520,84        | 3.140.088,87         | 14.290.598,80        | 14.292.532,21        | 30,92          |
| BE: BELGIUM       | 11.536,37           | 13.340,69            | 13.750,00            | 14.062,50            | 0,13           |
| CL: CHILE         | 360                 | 413,16               | 200                  | 280                  | 0              |
| DE: GERMANY       | 65,1                | 81,2                 | 1,68                 | 2,75                 | 0              |
| LOS DEMAS         | 0                   | 0                    | 0                    | 0                    |                |
| <b>TOTAL →</b>    | <b>8.707.372,90</b> | <b>10.153.014,96</b> | <b>44.348.730,48</b> | <b>44.351.057,46</b> | <b>100</b>     |

*Reporte de Importaciones por Subpartida Nacional/País Origen 1996*

| Pais de Origen    | Valor FOB (Dólares) | Valor CIF (Dólares) | Peso Neto (Kilos) | Peso Bruto (Kilos) | Porcentaje CIF |
|-------------------|---------------------|---------------------|-------------------|--------------------|----------------|
| US: UNITED STATES | 7.702.970,67        | 8.939.802,16        | 36.893.096,00     | 36.893.848,00      | 69,71          |

|          |               |               |               |               |       |
|----------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------|
| ENEZUELA | 1.737.236,09  | 1.995.002,87  | 8.014.590,00  | 8.014.590,00  | 15,55 |
| FRANCE   | 1.515.557,45  | 1.707.618,60  | 6.134.370,00  | 6.134.370,00  | 13,31 |
| ECUADOR  | 170.483,00    | 176.899,83    | 618.910,00    | 629.766,32    | 1,37  |
| BELGIUM  | 3.595,34      | 4.197,76      | 5.400,00      | 5.557,00      | 0,03  |
| GERMANY  | 143,4         | 165,17        | 2,99          | 4,77          | 0     |
| OS DEMAS | 0             | 0             | 0             | 0             |       |
| TOTAL →  | 11.129.985,95 | 12.823.686,39 | 51.666.368,99 | 51.678.136,09 | 100   |

*Reporte de Importaciones por Subpartida Nacional/País Origen 1997*

| País de Origen | Valor FOB (Dólares) | Valor CIF (Dólares) | Peso Neto (Kilos) | Peso Bruto (Kilos) | Porcentaje CIF |
|----------------|---------------------|---------------------|-------------------|--------------------|----------------|
| UNITED STATES  | 11.948.132,69       | 13.782.721,35       | 59.501.482,14     | 59.501.482,70      | 79,82          |
| ENEZUELA       | 1.569.588,12        | 1.790.054,53        | 7.952.680,00      | 7.956.621,00       | 10,36          |
| MEXICO         | 1.053.085,82        | 1.200.713,65        | 5.272.064,00      | 5.272.520,00       | 6,95           |
| ECUADOR        | 466.054,04          | 475.185,01          | 1.664.760,00      | 1.673.570,00       | 2,75           |
| BELGIUM        | 15.315,30           | 17.234,99           | 19.500,00         | 20.010,00          | 0,09           |
| GERMANY        | 95,49               | 126,79              | 3,5               | 5,62               | 0              |
| OS DEMAS       | 0                   | 0                   | 0                 | 0                  |                |
| TOTAL →        | 15.052.271,46       | 17.266.036,32       | 74.410.489,64     | 74.424.209,32      | 100            |

*Reporte de Importaciones por Subpartida Nacional/País Origen 1998*

| País de Origen | Valor FOB (Dólares) | Valor CIF (Dólares) | Peso Neto (Kilos) | Peso Bruto (Kilos) | Porcentaje CIF |
|----------------|---------------------|---------------------|-------------------|--------------------|----------------|
| UNITED STATES  | 13.522.509,50       | 15.221.947,61       | 65.893.644,90     | 65.893.646,00      | 96,7           |
| ENEZUELA       | 374.789,60          | 430.277,41          | 2.036.900,00      | 2.036.900,00       | 2,73           |
| MEXICO         | 54.464,62           | 61.080,22           | 72.024,00         | 72.220,00          | 0,38           |
| ECUADOR        | 25.900,00           | 26.323,75           | 89.740,00         | 89.740,00          | 0,16           |
| CHINA          | 525                 | 692,39              | 1.000,00          | 1.007,50           | 0              |
| GERMANY        | 113,38              | 132,28              | 4,5               | 5,68               | 0              |
| OS DEMAS       | 0                   | 0                   | 0                 | 0                  |                |
| TOTAL →        | 13.978.302,10       | 15.740.453,66       | 68.093.313,40     | 68.093.519,18      | 100            |

*Reporte de Importaciones por Subpartida Nacional/País Origen 1999*

| País de Origen | Valor FOB (Dólares) | Valor CIF (Dólares) | Peso Neto (Kilos) | Peso Bruto (Kilos) | Porcentaje CIF |
|----------------|---------------------|---------------------|-------------------|--------------------|----------------|
| UNITED STATES  | 13.880.967,95       | 15.810.304,40       | 76.358.100,00     | 76.359.160,00      | 92,47          |
| GERMANY        | 1.082.207,41        | 1.214.323,41        | 5.348.544,00      | 5.348.689,19       | 7,1            |
| MEXICO         | 57.032,52           | 63.732,47           | 72.432,00         | 73.530,00          | 0,37           |
| BELGIUM        | 6.096,32            | 6.788,82            | 10.000,00         | 10.320,00          | 0,03           |
| ECUADOR        | 1.070,10            | 1.102,23            | 4.500,00          | 4.500,00           | 0              |
| TOTAL →        | 15.027.374,30       | 17.096.251,33       | 81.793.576,00     | 81.796.199,19      | 100            |

*Reporte de Importaciones por Subpartida Nacional/País Origen 2000*

| País de Origen    | Valor FOB (Dólares) | Valor CIF (Dólares) | Peso Neto (Kilos) | Peso Bruto (Kilos) | Porcentaje CIF |
|-------------------|---------------------|---------------------|-------------------|--------------------|----------------|
| US: UNITED STATES | 6.696.711,58        | 7.876.901,57        | 45.019.001,00     | 45.019.002,00      | 84,71          |

|                |                     |                     |                      |                      |            |
|----------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|------------|
| UNITED STATES  | 1.203.195,16        | 1.383.994,77        | 8.114.680,00         | 8.114.680,00         | 14,88      |
| MEXICO         | 31.791,56           | 35.003,72           | 48.000,00            | 48.980,00            | 0,37       |
| ECUADOR        | 1.697,00            | 1.736,88            | 7.480,00             | 7.501,00             | 0,01       |
| GERMANY        | 672,75              | 731,29              | 156                  | 256,32               | 0          |
| <b>TOTAL →</b> | <b>7.934.068,05</b> | <b>9.298.368,23</b> | <b>53.189.317,00</b> | <b>53.190.419,32</b> | <b>100</b> |

*Reporte de Importaciones por Subpartida Nacional/País Origen 2001*

| País de Origen | Valor FOB (Dólares)  | Valor CIF (Dólares)  | Peso Neto (Kilos)     | Peso Bruto (Kilos)    | Porcentaje CIF |
|----------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------|
| UNITED STATES  | 18.294.151,48        | 21.179.549,94        | 121.097.042,50        | 121.097.043,26        | 99,79          |
| MEXICO         | 34.542,00            | 37.826,78            | 60.000,00             | 61.965,00             | 0,17           |
| BELGIUM        | 4.635,46             | 5.105,21             | 6.000,00              | 6.189,00              | 0,02           |
| GERMANY        | 312,55               | 334,27               | 62,5                  | 91,05                 | 0              |
| <b>TOTAL →</b> | <b>18.333.641,49</b> | <b>21.222.816,20</b> | <b>121.163.105,00</b> | <b>121.165.288,31</b> | <b>100</b>     |

*Reporte de Importaciones por Subpartida Nacional/País Origen 2002*

| País de Origen     | Valor FOB (Dólares)  | Valor CIF (Dólares)  | Peso Neto (Kilos)     | Peso Bruto (Kilos)    | Porcentaje CIF |
|--------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------|
| UNITED STATES      | 11.937.178,96        | 13.469.814,50        | 72.757.263,61         | 72.757.264,76         | 71,65          |
| RUSSIAN FEDERATION | 3.304.487,17         | 3.944.743,40         | 23.335.580,00         | 23.335.580,00         | 20,98          |
| MOROCCO            | 762.901,50           | 858.297,87           | 5.086.010,00          | 5.086.010,00          | 4,56           |
| LATVIA             | 434.654,06           | 493.139,75           | 2.999.890,00          | 2.999.890,00          | 2,62           |
| MEXICO             | 26.209,75            | 28.349,48            | 45.000,00             | 46.790,00             | 0,15           |
| CHINA              | 2.475,00             | 2.930,94             | 5.000,00              | 5.015,00              | 0,01           |
| GERMANY            | 1.282,14             | 1.339,91             | 85                    | 100,81                | 0              |
| LOS DEMAS          | 0                    | 0                    | 0                     | 0                     |                |
| <b>TOTAL →</b>     | <b>16.469.188,58</b> | <b>18.798.615,85</b> | <b>104.228.828,61</b> | <b>104.230.650,57</b> | <b>100</b>     |

*Reporte de Importaciones por Subpartida Nacional/País Origen 2003*

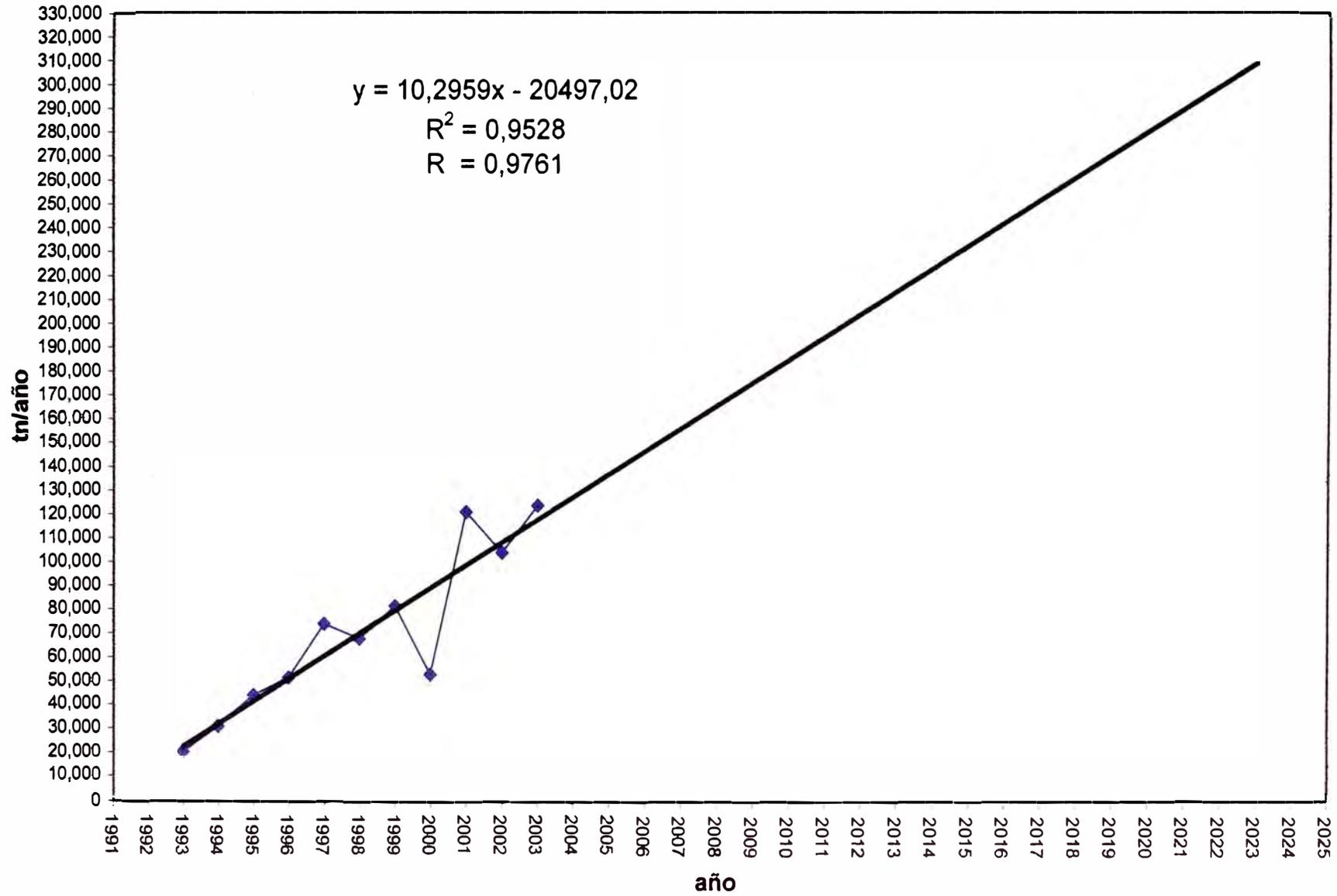
| País de Origen     | Valor FOB (Dólares)  | Valor CIF (Dólares)  | Peso Neto (Kilos)     | Peso Bruto (Kilos)    | Porcentaje CIF |
|--------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------|
| UNITED STATES      | 16.928.570,51        | 19.368.916,27        | 98.711.245,12         | 98.711.269,00         | 81,98          |
| RUSSIAN FEDERATION | 2.318.991,58         | 2.953.304,77         | 17.412.920,00         | 17.412.920,00         | 12,5           |
| MOROCCO            | 1.166.158,16         | 1.265.401,75         | 7.664.330,00          | 7.664.330,00          | 5,35           |
| MEXICO             | 31.742,00            | 34.532,55            | 60.000,00             | 62.420,00             | 0,14           |
| CHINA              | 2.412,00             | 2.774,44             | 6.000,00              | 6.024,55              | 0,01           |
| <b>TOTAL →</b>     | <b>20.447.874,25</b> | <b>23.624.929,78</b> | <b>123.854.495,12</b> | <b>123.856.963,55</b> | <b>100</b>     |

*Reporte de Importaciones por Subpartida Nacional/País Origen 2004*

| País de Origen | Valor FOB (Dólares) | Valor CIF (Dólares) | Peso Neto (Kilos)    | Peso Bruto (Kilos)   | Porcentaje CIF |
|----------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------|
| UNITED STATES  | 4.157.402,43        | 5.046.172,95        | 22.481.990,00        | 22.481.990,00        | 99,74          |
| MEXICO         | 11.980,93           | 12.821,56           | 20.204,12            | 21.009,70            | 0,25           |
| GERMANY        | 112,23              | 134,31              | 3                    | 5,84                 | 0              |
| LOS DEMAS      | 0                   | 0                   | 0                    | 0                    |                |
| <b>TOTAL →</b> | <b>4.169.495,59</b> | <b>5.059.128,82</b> | <b>22.502.197,12</b> | <b>22.503.005,54</b> | <b>100</b>     |

Fuente: Base de datos de Aduanas

**Figura 9: Tendencia de la demanda nacional de DAP según los datos de importación**



**CAPÍTULO III:**

**TAMAÑO Y**

**LOCALIZACIÓN**

---

---

### III.1 MATERIA PRIMA

#### III.1.1 Ácido Fosfórico, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>

##### Ácido Fosfórico, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 30%

**Nombre Técnico:** Ácido Ortofosfórico 30%.

**Aspecto:** El ácido fosfórico clarificado es un líquido transparente, de color verde, libre de impurezas en suspensión, con olor ligeramente a ácido debido a su bajo pH. Es un compuesto inflamable, pero no explosivo, y corrosivo.

##### **Características Representativas:**

**Tabla XV: Características químicas del ácido fosfórico al 30%**

| CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS                   |       |
|--|-------|
| Riqueza (% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | 30-32 |
| OTRAS CARACTERÍSTICAS                      |       |
| Densidad a 20 °C (kg/l)                    | 1,32  |
| Sólidos (%)                                | 1     |

**Aplicación:** Se utiliza habitualmente para la fabricación de polifosfatos. Es un producto corrosivo e irritante y está clasificado como mercancía peligrosa para su transporte.

## Ácido Fosfórico, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 52%

**Nombre Técnico:** Ácido Ortofosfórico 52%.

**Aspecto:** El ácido fosfórico clarificado es un líquido transparente, de color verde, libre de impurezas en suspensión, con olor ligeramente a ácido debido a su bajo pH. Es un compuesto inflamable, pero no explosivo, y corrosivo.

### **Características Representativas:**

**Tabla XVI: Características químicas del ácido fosfórico al 52%**

| CARACTERÍSTICAS QUIMICAS                            |        |
|---|--------|
| Riqueza (% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )          | 52     |
| Concentración en H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (%) | 72     |
| Sólidos en suspensión (% máx.)                      | 1,5    |
| OTRAS CARACTERÍSTICAS                               |        |
| Densidad a 20 °C (kg/l)                             | 1,6    |
| pH  | < 1,0  |
| Temperatura de cristalización (°C)                  | - 26°C |

**Aplicación:** Se utiliza habitualmente para la fabricación de polifosfatos y también como materia prima para la fabricación de abonos complejos líquidos. Es un producto corrosivo e irritante y está clasificado como mercancía peligrosa para su transporte.

### **III.1.2 Amoniaco, NH<sub>3</sub>**

**Nombre Técnico:** Amoniaco Anhidro 82% N.

**Nombre Comercial:** Amoniaco 82% N.

**Aspecto:** Es un gas a la presión y temperatura ambiente, que se licúa con facilidad cuando se le somete a presión, reduciendo su volumen unas 800 veces, siendo en este estado como se le manipula. Como gas es incoloro, aunque toma un color blanco con el vapor de agua del ambiente a temperatura ambiente, de olor picante, sofocante, extremadamente

soluble en agua, alcohol, acetona, cloroformo. En forma líquida se vaporiza fácilmente y absorbe gran cantidad de calor.

### Características Representativas:

**Tabla XVII: Características químicas del amoniaco**

| Componentes                | % en peso                                    |
|----------------------------|--|
| Nitrógeno total (% N)      | 82   |
| Nitrógeno amoniacal (% N)  | 82   |
| NH <sub>3</sub> (mín)      | 99.5   |
| H <sub>2</sub> O (máx)     | 0.1  |
| Aceites (máx)              | 15 ppm                                       |
| pH en sol.acuosa al 1%     | 11.7 <> 6                                    |
| Punto de fusión            | -77.7 °C                                     |
| Punto de ebullición        | - 33.4 °C (a 101.3 kPa)                      |
| Límites de explosividad    | 16-27 % en volumen en aire a 0 °C            |
| Temperatura autoignición   | 651 °C                                       |
| Presión de vapor           | 101.3 kPa a 25 °C                            |
| Densidad de vapor relativa | 0.6 (aire =1)                                |
| Solubilidad en agua a 20°C | Extremadamente soluble, e.g. 529 g/l         |
| Densidad del líquido       | 0.6386 g./cm <sup>3</sup> (a 0°C, 101.3 kPa) |
| Densidad del gas           | 0.7714 g/l (a 0°C, 101.3 kPa)                |

**Aplicación:** Utilizado básicamente en la industria del frío. Es un producto tóxico y nocivo y está clasificado como mercancía peligrosa para su transporte.

**Distribución:** En vehículos especiales, provistos con tanques adecuados para el producto, que cumplan las especificaciones reseñadas en el apartado del transporte.

**Almacenaje:** En tanques especiales de acero al carbono, sometidos a una presión de prueba de 35 kg/cm<sup>2</sup> (algo más del doble que la presión de trabajo). En los trasvases se deben usar mangueras también especialmente certificadas para este producto. En la manipulación del Amoniaco deben seguirse escrupulosamente las instrucciones que se tengan dispuestas. Debe usarse, en todos los casos, el equipo de seguridad. Para su manipulación en cuanto a su aplicación

agrícola debe utilizarse siempre gafas y guantes de seguridad, debiéndose tener siempre cerca una fuente de agua (ducha, bidones, etc.).

**Transporte:**

Clasificación Naciones Unidas: Clase 2 Gases División 2.3 Gas tóxico N° ONU 1005 ADR / RID: Clase 2, Ítem: 2,2 °TC, etiquetas: 6.1 y 8 IMDG: Clase 2 (2.3) etiqueta 2.3 + etiqueta riesgo subsidiario. Los vehículos tienen que cumplir la reglamentación vigente y deben estar especialmente preparados para este producto.

**Seguridad:**

Producto tóxico, corrosivo y nocivo. El Amoniaco es tóxico por inhalación, su exposición afecta todas las partes del cuerpo y sus salpicaduras en estado líquido pueden producir severas quemaduras. En los ojos sus efectos pueden ser muy peligrosos. Concentraciones de Amoniaco superiores a 1000 ppm en el aire pueden originar graves irritaciones en ojos y en las vías respiratorias. En caso de accidente se debe actuar inmediatamente y procurar atención médica. Si el Amoniaco contacta con la piel y los ojos hay que lavar la parte afectada con abundante agua, durante al menos 30 minutos. Si se producen inhalaciones trasladar la persona al aire fresco y mantenerla en reposo. Los gases de Amoniaco son inflamables, pero la ignición es dificultosa al aire libre. En recintos cerrados las mezclas con el aire pueden ser inflamables / explosivas. El etiquetado de acuerdo su clasificación es como sigue:

Símbolo de peligro, con frases de riesgo y consejos de seguridad como:

- ✓ Inflamable
- ✓ Tóxico por inhalación
- ✓ Provoca quemaduras
- ✓ Muy tóxico para los productos acuáticos
- ✓ Consérvese el recipiente en lugar ventilado
- ✓ Consérvese alejado de fuente de calor
- ✓ En contacto con los ojos, lávese con abundante agua

- ✓ Use indumentaria y guantes adecuados
- ✓ En caso de accidente, acuda al médico
- ✓ Evítese la liberación al medio ambiente

**Fabricación:** El gas natural se adecúa para los procesos posteriores eliminando de él las trazas de sulfhídrico. A continuación, el gas del proceso se mezcla con una corriente de vapor y aire y entra en el horno de reformado. Posteriormente los gases son purificados para eliminar el CO y el CO<sub>2</sub>. Para aumentar la presión de los gases requerida en el proceso de síntesis, se introducen estos en un turbocompresor. Con una presión de 140 kg/cm<sup>2</sup> y una temperatura de 440 °C, el gas de síntesis pasa a través de un reactor catalítico en el que se produce la conversión a amoniaco.

**Usos frecuentes:** El amoniaco anhidro contiene un 82 % de Nitrógeno amoniacal y es, por tanto, el fertilizante nitrogenado más concentrado que puede utilizarse. Su aplicación está indicada para la sementera de los cereales de invierno, arroz, remolacha, maíz y otros; también se puede inyectar entre líneas en maíz, sorgo, etc; finalmente, entre calles de algún cultivo arbóreo. Su aplicación mas clara es en cultivos de primavera de ciclo corto, en donde la nitrificación abarca un periodo de tiempo durante el cual tiene lugar la mayor absorción de los nutrientes. En todos los casos hay que tener presente el suelo en que está asentado el cultivo y el clima en que vegeta para, en función de ellos, realizar una aportación de nitrógeno amoniacal que vaya permitiendo un suministro gradual de nitrógeno al cultivo tras su progresiva nitrificación. Al aplicar el producto en el suelo, pH se eleva hasta 2 unidades, pero esta subida solo es transitoria, ya que el efecto final es ácido.

**Época de aplicación:** Dada la forma en que aporta el nitrógeno se aplicará con antelación a la siembra o al momento en que sea requerido para el cultivo, a fin de que el amoniaco anhidro inicie su nitrificación.

**Forma de aplicación:** Mediante equipos especiales, con depósitos, bombas y mangueras adecuados para este producto, que van provistos de una barra porta - rejas inyectando el producto a unos 15 cm. de profundidad. Cuando se aplica en presiembra las rejas van separadas unos 30 cm, distancia que es suficiente para que el amoniaco anhidro al expandirse lateralmente se distribuya de forma homogénea por el suelo.

**Dosificación:** Las dosis estarán en función de las necesidades totales del cultivo, en base a su producción esperada, teniendo presente que cubra una parte importante de las mismas. En función de la marcha del cultivo se verá la necesidad de cómo debe complementarse con aportaciones de nitrógeno en cobertera.

### **III.1.3 Origen de la Roca Fosfórica**

Los huesos fueron el origen natural principal en la producción de fósforo; en la actualidad se producen a partir de minerales de fosfatos.

Los minerales de fosfatos provienen de dos orígenes geológicos:

- Ígneos: como los de Rusia, Sudáfrica, Brasil y otros.
- Sedimentarios: como el de Marruecos, Estados Unidos, Argelia, Perú y otros.

## **Fosfatos Duros o Ígneos**

Las rocas fosfatadas de origen ígneo-volcánico, son aquellas que se han formado por el enfriamiento y posterior solidificación de una masa de material rocoso.

Estos fosfatos denominados fosfatos duros tienen como principal característica su mínima predisposición a la solubilización por lo que no pueden ser usados directamente como fertilizante.

Es necesario un proceso de "superización química", es decir la conversión en superfosfatos mediante el agregado de un ácido fuerte por medio de un proceso industrial.

## **Fosfatos Sedimentarios o Blandos**

Esta clase de fosfatos tiene origen sedimentario-marino con una gran predisposición a la solubilización, por lo tanto se pueden usar directamente como fertilizantes, especialmente en suelos ácidos.

Los materiales que se han formado derivan de la alteración de masas fosfóricas pre-existentes. Estas han sido depositadas en zonas de acumulación por la acción de las aguas o, con menos frecuencia, por la acción de los glaciares o vientos.

En el caso de la acción de las aguas, se relacionan con las zonas de confluencia de corrientes marinas frías y calientes; por ejemplo la corriente de Humbolt y la corriente del Niño, a donde han llegado inmensas cantidades de material orgánico que se han depositado, dando origen a los Fosfatos de Bayóvar.

El material fosfatado contiene entre 15% y 25% de anhídrido fosfórico ( $P_2O_5$ ), el cual se halla contenido en módulos redondeados microscópicamente llamados "Oolitos" y la roca albergante; está

fundamentalmente constituida por diatomáceas, greda, arcillas, sales solubles y humedad.

## **Propiedades de la Roca Fosfórica**

### ▪ **Grado o Ley en $P_2O_5$**

El grado o ley se refiere al contenido de fósforo que contiene un material expresado en términos de  $P_2O_5$ .

También se expresa como fosfato tricálcico conocido comercialmente como "Bone Phosphate of Lime" BPL.

$$1\text{BPL} = 2.185 \times (\%P_2O_5)$$

El BPL, es una expresión que proviene del antiguo uso como fertilizante de fósforo orgánico obtenido a partir de huesos. Sin embargo, la expresión más universal aceptada es dar el contenido de fósforo en %  $P_2O_5$ .

### ▪ **La Reactividad**

Esta característica se refiere a la velocidad con que una roca fosfórica reacciona en determinadas condiciones.

Usualmente la reactividad de la roca fosfórica se mide con la rapidez de reacción con un ácido fuerte para fines industriales, y por un ácido débil para fines de aplicación como fertilizante.

La industria usa el ácido sulfúrico y clorhídrico, pero también otros ácidos como el nítrico y el fosfórico, dependiendo de ellos los productos a lograr tanto en su calidad y costo.

Para uso directo en la agricultura se utilizan ácidos débiles como el ácido cítrico al 2%, citrato de amonio, ácido fórmico y agua.

- **La Solubilidad**

Es un término más apropiado para comparar rocas para uso directo en la agricultura y se refiere a la disolución de  $P_2O_5$  con respecto al pH del suelo en el que se usará la roca.

La solubilidad y velocidad de disolución de la roca fosfórica depende del medio de disolución, tamaño de partículas y estructura de la superficie de la roca.

- **Granulometría**

La roca fosfatada finamente pulverizada antes del proceso de acidulación tendrá una reacción más rápida y completa.

Usualmente las rocas deben ser molidas hasta por la malla Tyler 200 (74 micrones), donde 1Micrón =  $10^{-6}$  m.

**Tabla XVIII: Características de las mallas Tyler**

| MALLA TYLER | ABERTURA, MICRONES |
|-------------|--------------------|
| 35          | 420                |
| 48          | 297                |
| 65          | 210                |
| 100         | 148                |
| 150         | 105                |
| 200         | 74                 |

### **III.2 LOCALIZACIÓN**

Muchos países en Latinoamérica tienen depósitos de fosfatos (véase Tabla XIX). Se han reportado también depósitos en otros países que no figuran en la Tabla XIX. En el programa de investigación de rocas fosfóricas del IFDC a la vez incluye rocas de depósitos que no están en América Latina,

con el fin de estudiar un rango amplio de propiedades de las rocas fosfóricas y compararlas con las rocas locales.

**Tabla XIX: Depósitos de roca fosfórica en América Latina**

| País      | Localidad                | Contenido P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> promedio (%) | millones de toneladas de Reservas |
|-----------|--------------------------|--|-----------------------------------|
| Argentina | Sierra Grande            | 36.0   | -                                 |
| Bolivia   | Tarija-Izcaya            | -  | -                                 |
| -         | Potosí-Bentazos          | -  | -                                 |
| -         | Cochabamba-Capinota      | 25.0   | 2.8                               |
| -         | La Paz-Caranavi          | -  | -                                 |
| -         | Cerro Manomo             | 23-25  | -                                 |
| -         | Laguna Mondiore          | -  | 20.0                              |
| Brasil    | Minas Gerais-Tapira      | 8.6  | 710                               |
| -         | Sao Paulo-Jacupiranga    | 5.0  | 150                               |
| -         | Serrote-Guavirua-Ipanema | 607  | 117                               |
| -         | M.G. Araxá               | 7.0  | 92                                |
| -         | M.G. Abaeté              | 40.0   | 1                                 |
| -         | PE-Olinda-Paulista       | 22.0   | 80                                |
| -         | Maranhao- Ilha-Travira   | 26.0   | 15.5                              |
| -         | G.O.-Catalao II          | 5.0  | 250                               |
| -         | M.G. Patos de Minas      | 10.0   | 450                               |
| Chile     | Coquimbo-Atacama         | 20.0   | 0.5                               |
| -         | -                        | 10.0   | 2.0                               |
| -         | Mejillones               | 6.0  | 56.0                              |
| -         | Bahía Inglesa            | 18.0   | 1.0                               |
| -         | Bahía Tongoy             | 15.0 - 18.0  | 1.0                               |
| Colombia  | Boyacá-Iza               | 10.0-23.0  | 36.0                              |
| -         | Boyacá-Pesca             | 17.0-25.0  | 30.6                              |
| -         | Huila-Aipe               | 18.0 - 31.0  | 25.0                              |
| -         | Huila-Tesalia            | 15.0 -24.0   | 15.0                              |

|            |                            |              |           |
|------------|----------------------------|--------------|-----------|
| -          | Norte Santander-Sardinata  | 15.0 - 37.0  | 14.4      |
| -          | Santander- Azufrada        | 10.0-29.0    | 32.7      |
| -          | Tolima-Pandi               | 10.0 - 23.0  | 10.0      |
| Ecuador .  | Napo - Lago Agrio          | 25.0 - 35.0  | 166 - 205 |
| México . . | Zacatecas y                | 18.4         | 77.4      |
| -          | Coahuila                   | 13.3         | 76.4      |
| -          | Sierra-Santa Rosa          | 11.0 - 21.0  | 13.5      |
| -          | Sierra Carbonera           | 19.9         | 7.8       |
| -          | Baja California,           | -            | -         |
| -          | Santa Rosa-Bahía Magdalena | -            | 4 000     |
| -          | Arroyo San Hilario         | 14.0         | 841       |
| -          | San Juan de la Costa       | 18.0         | 24        |
| -          | Santo Domingo              | 4.3          | 432       |
| -          | Santo Domingo              | 4.6          | 643       |
| Perú       | Sechura-Bayóvar            | 20.0         | 10 000    |
| -          | Bayóvar-Sudoeste           | 30.5         | 250       |
| Venezuela  | Lobatera                   | 22.3         | 0.215     |
| -          | Chiguará                   | 27.9         | -         |
| -          | Riecito                    | 29.5         | 21        |
| -          | Lizardo-Calcítica          | 25.0         | 18.5      |
| -          | Lizardo-Alumínica          | 25.8         | -         |
| -          | Jají                       | 16.1         | -         |
| -          | Chiguará                   | -            | 30        |
| -          | Monte Fresco               | 19.5 - 33.26 | 300       |
| -          | Navay                      | 19.5 - 26.80 | 1700      |

# FOSFATOS DE BAYÓVAR

## Ubicación

Las concesiones mineras del proyecto Bayóvar están ubicadas en el distrito y provincia de Sechura, departamento de Piura, en la región de la costa noroeste del Perú, a 1,000 Km. al norte de la ciudad de Lima. Sus coordenadas son 80°41'27"O de longitud oeste y 05°57'24"S de latitud sur.

**Figura 10: Ubicación geográfica de Bayóvar**



El proyecto involucra la explotación del depósito de fosfatos cuyas reservas se estiman en 816 millones de TM, equivalentes a 262 millones de TM de concentrados de roca fosfórica al 30% de contenido de  $P_2O_5$  y el resto contienen otros recursos como salmueras, diatomitas, carbonatos y yesos. Las reservas potenciales se estiman en 10,000 millones de TM.

El área de concesiones mineras del estado abarca 198,046 hectáreas, en los cuales se han identificado cinco áreas definidas, y además incluye 6,300 hectáreas en el área de extracción del agua subterránea.

**Tabla XX: Reservas de minerales en Bayóvar**

| Minerales  | Área (Ha) | Mineral (Millones TM) y Contenidos Concentrados         |
|------------|-----------|---|
| Fosfatos   | 74,059    | 262.0 30% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> en concentrados |
| Diatomitas | 6,891     | 45.0 40% - 70% SiO <sub>2</sub>                         |
| Carbonatos | 22,326    | 42.0 72.7% CaCO <sub>3</sub>                            |
| Yesos      | 12,575    | 7.3 (31% CaO; 0.6% Si; 44.3% S)                         |
| Salmueras  | 82,195    | 6.3 KCL   |

**Infraestructura**

- **Carretera:** Acceso a la mina mediante carretera asfaltada desde Piura y Lima.
- **Energía:** Tiene acceso directo al Sistema Eléctrico Nacional.
- **Agua:** Disponible en la zona.
- **Puerto:** Facilidades para construcción de puerto nuevo.
- **Mano de obra:** Disponible en el área.
- **Planta piloto de tratamiento:** Producción anual de capacidad de 80,000 toneladas métricas de roca fosfórica (30.5 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) que incluye un área de concesión de beneficio de 72 hectáreas.
- **Campamento:** en el área del proyecto.

En la actualidad, Bayóvar es considerado el noveno mayor depósito de fosfatos en el mundo. Sin embargo, sus recursos potenciales, que se calculan en diez mil millones de toneladas métricas, lo convertirían en el segundo yacimiento mundial.

**Figura 11: Ranking de países con reservas de roca fosfórica**

| Reservas Minables de Roca Fosfórica * |               |
|---------------------------------------|---------------|
| País                                  | Miles         |
| Maruecos                              | 33,600        |
| USA                                   | 3,300         |
| China                                 | 1,800         |
| Jordania                              | 2,300         |
| Sud Africa                            | 2,800         |
| Australia                             | 1,700         |
| Rusia                                 | 1,500         |
| Túnez                                 | 1,400         |
| Perú (Ilaywan)                        | 816           |
| Otros                                 | 1,600         |
| <b>TOTAL</b>                          | <b>55,016</b> |

\*Orto 2002/2004/07/10/13/15/18/21/24/27/30/33/36/39/42/45/48/51/54/57/60/63/66/69/72/75/78/81/84/87/90/93/96/99/102/105/108/111/114/117/120/123/126/129/132/135/138/141/144/147/150/153/156/159/162/165/168/171/174/177/180/183/186/189/192/195/198/201/204/207/210/213/216/219/222/225/228/231/234/237/240/243/246/249/252/255/258/261/264/267/270/273/276/279/282/285/288/291/294/297/300/303/306/309/312/315/318/321/324/327/330/333/336/339/342/345/348/351/354/357/360/363/366/369/372/375/378/381/384/387/390/393/396/399/402/405/408/411/414/417/420/423/426/429/432/435/438/441/444/447/450/453/456/459/462/465/468/471/474/477/480/483/486/489/492/495/498/501/504/507/510/513/516/519/522/525/528/531/534/537/540/543/546/549/552/555/558/561/564/567/570/573/576/579/582/585/588/591/594/597/600/603/606/609/612/615/618/621/624/627/630/633/636/639/642/645/648/651/654/657/660/663/666/669/672/675/678/681/684/687/690/693/696/699/702/705/708/711/714/717/720/723/726/729/732/735/738/741/744/747/750/753/756/759/762/765/768/771/774/777/780/783/786/789/792/795/798/801/804/807/810/813/816/819/822/825/828/831/834/837/840/843/846/849/852/855/858/861/864/867/870/873/876/879/882/885/888/891/894/897/900/903/906/909/912/915/918/921/924/927/930/933/936/939/942/945/948/951/954/957/960/963/966/969/972/975/978/981/984/987/990/993/996/999/1002/1005/1008/1011/1014/1017/1020/1023/1026/1029/1032/1035/1038/1041/1044/1047/1050/1053/1056/1059/1062/1065/1068/1071/1074/1077/1080/1083/1086/1089/1092/1095/1098/1101/1104/1107/1110/1113/1116/1119/1122/1125/1128/1131/1134/1137/1140/1143/1146/1149/1152/1155/1158/1161/1164/1167/1170/1173/1176/1179/1182/1185/1188/1191/1194/1197/1200/1203/1206/1209/1212/1215/1218/1221/1224/1227/1230/1233/1236/1239/1242/1245/1248/1251/1254/1257/1260/1263/1266/1269/1272/1275/1278/1281/1284/1287/1290/1293/1296/1299/1302/1305/1308/1311/1314/1317/1320/1323/1326/1329/1332/1335/1338/1341/1344/1347/1350/1353/1356/1359/1362/1365/1368/1371/1374/1377/1380/1383/1386/1389/1392/1395/1398/1401/1404/1407/1410/1413/1416/1419/1422/1425/1428/1431/1434/1437/1440/1443/1446/1449/1452/1455/1458/1461/1464/1467/1470/1473/1476/1479/1482/1485/1488/1491/1494/1497/1500/1503/1506/1509/1512/1515/1518/1521/1524/1527/1530/1533/1536/1539/1542/1545/1548/1551/1554/1557/1560/1563/1566/1569/1572/1575/1578/1581/1584/1587/1590/1593/1596/1599/1602/1605/1608/1611/1614/1617/1620/1623/1626/1629/1632/1635/1638/1641/1644/1647/1650/1653/1656/1659/1662/1665/1668/1671/1674/1677/1680/1683/1686/1689/1692/1695/1698/1701/1704/1707/1710/1713/1716/1719/1722/1725/1728/1731/1734/1737/1740/1743/1746/1749/1752/1755/1758/1761/1764/1767/1770/1773/1776/1779/1782/1785/1788/1791/1794/1797/1800/1803/1806/1809/1812/1815/1818/1821/1824/1827/1830/1833/1836/1839/1842/1845/1848/1851/1854/1857/1860/1863/1866/1869/1872/1875/1878/1881/1884/1887/1890/1893/1896/1899/1902/1905/1908/1911/1914/1917/1920/1923/1926/1929/1932/1935/1938/1941/1944/1947/1950/1953/1956/1959/1962/1965/1968/1971/1974/1977/1980/1983/1986/1989/1992/1995/1998/2001/2004/2007/2010/2013/2016/2019/2022/2025/2028/2031/2034/2037/2040/2043/2046/2049/2052/2055/2058/2061/2064/2067/2070/2073/2076/2079/2082/2085/2088/2091/2094/2097/2100/2103/2106/2109/2112/2115/2118/2121/2124/2127/2130/2133/2136/2139/2142/2145/2148/2151/2154/2157/2160/2163/2166/2169/2172/2175/2178/2181/2184/2187/2190/2193/2196/2199/2202/2205/2208/2211/2214/2217/2220/2223/2226/2229/2232/2235/2238/2241/2244/2247/2250/2253/2256/2259/2262/2265/2268/2271/2274/2277/2280/2283/2286/2289/2292/2295/2298/2301/2304/2307/2310/2313/2316/2319/2322/2325/2328/2331/2334/2337/2340/2343/2346/2349/2352/2355/2358/2361/2364/2367/2370/2373/2376/2379/2382/2385/2388/2391/2394/2397/2400/2403/2406/2409/2412/2415/2418/2421/2424/2427/2430/2433/2436/2439/2442/2445/2448/2451/2454/2457/2460/2463/2466/2469/2472/2475/2478/2481/2484/2487/2490/2493/2496/2499/2502/2505/2508/2511/2514/2517/2520/2523/2526/2529/2532/2535/2538/2541/2544/2547/2550/2553/2556/2559/2562/2565/2568/2571/2574/2577/2580/2583/2586/2589/2592/2595/2598/2601/2604/2607/2610/2613/2616/2619/2622/2625/2628/2631/2634/2637/2640/2643/2646/2649/2652/2655/2658/2661/2664/2667/2670/2673/2676/2679/2682/2685/2688/2691/2694/2697/2700/2703/2706/2709/2712/2715/2718/2721/2724/2727/2730/2733/2736/2739/2742/2745/2748/2751/2754/2757/2760/2763/2766/2769/2772/2775/2778/2781/2784/2787/2790/2793/2796/2799/2802/2805/2808/2811/2814/2817/2820/2823/2826/2829/2832/2835/2838/2841/2844/2847/2850/2853/2856/2859/2862/2865/2868/2871/2874/2877/2880/2883/2886/2889/2892/2895/2898/2901/2904/2907/2910/2913/2916/2919/2922/2925/2928/2931/2934/2937/2940/2943/2946/2949/2952/2955/2958/2961/2964/2967/2970/2973/2976/2979/2982/2985/2988/2991/2994/2997/3000/3003/3006/3009/3012/3015/3018/3021/3024/3027/3030/3033/3036/3039/3042/3045/3048/3051/3054/3057/3060/3063/3066/3069/3072/3075/3078/3081/3084/3087/3090/3093/3096/3099/3102/3105/3108/3111/3114/3117/3120/3123/3126/3129/3132/3135/3138/3141/3144/3147/3150/3153/3156/3159/3162/3165/3168/3171/3174/3177/3180/3183/3186/3189/3192/3195/3198/3201/3204/3207/3210/3213/3216/3219/3222/3225/3228/3231/3234/3237/3240/3243/3246/3249/3252/3255/3258/3261/3264/3267/3270/3273/3276/3279/3282/3285/3288/3291/3294/3297/3300/3303/3306/3309/3312/3315/3318/3321/3324/3327/3330/3333/3336/3339/3342/3345/3348/3351/3354/3357/3360/3363/3366/3369/3372/3375/3378/3381/3384/3387/3390/3393/3396/3399/3402/3405/3408/3411/3414/3417/3420/3423/3426/3429/3432/3435/3438/3441/3444/3447/3450/3453/3456/3459/3462/3465/3468/3471/3474/3477/3480/3483/3486/3489/3492/3495/3498/3501/3504/3507/3510/3513/3516/3519/3522/3525/3528/3531/3534/3537/3540/3543/3546/3549/3552/3555/3558/3561/3564/3567/3570/3573/3576/3579/3582/3585/3588/3591/3594/3597/3600/3603/3606/3609/3612/3615/3618/3621/3624/3627/3630/3633/3636/3639/3642/3645/3648/3651/3654/3657/3660/3663/3666/3669/3672/3675/3678/3681/3684/3687/3690/3693/3696/3699/3702/3705/3708/3711/3714/3717/3720/3723/3726/3729/3732/3735/3738/3741/3744/3747/3750/3753/3756/3759/3762/3765/3768/3771/3774/3777/3780/3783/3786/3789/3792/3795/3798/3801/3804/3807/3810/3813/3816/3819/3822/3825/3828/3831/3834/3837/3840/3843/3846/3849/3852/3855/3858/3861/3864/3867/3870/3873/3876/3879/3882/3885/3888/3891/3894/3897/3900/3903/3906/3909/3912/3915/3918/3921/3924/3927/3930/3933/3936/3939/3942/3945/3948/3951/3954/3957/3960/3963/3966/3969/3972/3975/3978/3981/3984/3987/3990/3993/3996/3999/4002/4005/4008/4011/4014/4017/4020/4023/4026/4029/4032/4035/4038/4041/4044/4047/4050/4053/4056/4059/4062/4065/4068/4071/4074/4077/4080/4083/4086/4089/4092/4095/4098/4101/4104/4107/4110/4113/4116/4119/4122/4125/4128/4131/4134/4137/4140/4143/4146/4149/4152/4155/4158/4161/4164/4167/4170/4173/4176/4179/4182/4185/4188/4191/4194/4197/4200/4203/4206/4209/4212/4215/4218/4221/4224/4227/4230/4233/4236/4239/4242/4245/4248/4251/4254/4257/4260/4263/4266/4269/4272/4275/4278/4281/4284/4287/4290/4293/4296/4299/4302/4305/4308/4311/4314/4317/4320/4323/4326/4329/4332/4335/4338/4341/4344/4347/4350/4353/4356/4359/4362/4365/4368/4371/4374/4377/4380/4383/4386/4389/4392/4395/4398/4401/4404/4407/4410/4413/4416/4419/4422/4425/4428/4431/4434/4437/4440/4443/4446/4449/4452/4455/4458/4461/4464/4467/4470/4473/4476/4479/4482/4485/4488/4491/4494/4497/4500/4503/4506/4509/4512/4515/4518/4521/4524/4527/4530/4533/4536/4539/4542/4545/4548/4551/4554/4557/4560/4563/4566/4569/4572/4575/4578/4581/4584/4587/4590/4593/4596/4599/4602/4605/4608/4611/4614/4617/4620/4623/4626/4629/4632/4635/4638/4641/4644/4647/4650/4653/4656/4659/4662/4665/4668/4671/4674/4677/4680/4683/4686/4689/4692/4695/4698/4701/4704/4707/4710/4713/4716/4719/4722/4725/4728/4731/4734/4737/4740/4743/4746/4749/4752/4755/4758/4761/4764/4767/4770/4773/4776/4779/4782/4785/4788/4791/4794/4797/4800/4803/4806/4809/4812/4815/4818/4821/4824/4827/4830/4833/4836/4839/4842/4845/4848/4851/4854/4857/4860/4863/4866/4869/4872/4875/4878/4881/4884/4887/4890/4893/4896/4899/4902/4905/4908/4911/4914/4917/4920/4923/4926/4929/4932/4935/4938/4941/4944/4947/4950/4953/4956/4959/4962/4965/4968/4971/4974/4977/4980/4983/4986/4989/4992/4995/4998/5001/5004/5007/5010/5013/5016/5019/5022/5025/5028/5031/5034/5037/5040/5043/5046/5049/5052/5055/5058/5061/5064/5067/5070/5073/5076/5079/5082/5085/5088/5091/5094/5097/5100/5103/5106/5109/5112/5115/5118/5121/5124/5127/5130/5133/5136/5139/5142/5145/5148/5151/5154/5157/5160/5163/5166/5169/5172/5175/5178/5181/5184/5187/5190/5193/5196/5199/5202/5205/5208/5211/5214/5217/5220/5223/5226/5229/5232/5235/5238/5241/5244/5247/5250/5253/5256/5259/5262/5265/5268/5271/5274/5277/5280/5283/5286/5289/5292/5295/5298/5301/5304/5307/5310/5313/5316/5319/5322/5325/5328/5331/5334/5337/5340/5343/5346/5349/5352/5355/5358/5361/5364/5367/5370/5373/5376/5379/5382/5385/5388/5391/5394/5397/5400/5403/5406/5409/5412/5415/5418/5421/5424/5427/5430/5433/5436/5439/5442/5445/5448/5451/5454/5457/5460/5463/5466/5469/5472/5475/5478/5481/5484/5487/5490/5493/5496/5499/5502/5505/5508/5511/5514/5517/5520/5523/5526/5529/5532/5535/5538/5541/5544/5547/5550/5553/5556/5559/5562/5565/5568/5571/5574/5577/5580/5583/5586/5589/5592/5595/5598/5601/5604/5607/5610/5613/5616/5619/5622/5625/5628/5631/5634/5637/5640/5643/5646/5649/5652/5655/5658/5661/5664/5667/5670/5673/5676/5679/5682/5685/5688/5691/5694/5697/5700/5703/5706/5709/5712/5715/5718/5721/5724/5727/5730/5733/5736/5739/5742/5745/5748/5751/5754/5757/5760/5763/5766/5769/5772/5775/5778/5781/5784/5787/5790/5793/5796/5799/5802/5805/5808/5811/5814/5817/5820/5823/5826/5829/5832/5835/5838/5841/5844/5847/5850/5853/5856/5859/5862/5865/5868/5871/5874/5877/5880/5883/5886/5889/5892/5895/5898/5901/5904/5907/5910/5913/5916/5919/5922/5925/5928/5931/5934/5937/5940/5943/5946/5949/5952/5955/5958/5961/5964/5967/5970/5973/5976/5979/5982/5985/5988/5991/5994/5997/6000/6003/6006/6009/6012/6015/6018/6021/6024/6027/6030/6033/6036/6039/6042/6045/6048/6051/6054/6057/6060/6063/6066/6069/6072/6075/6078/6081/6084/6087/6090/6093/6096/6099/6102/6105/6108/6111/6114/6117/6120/6123/6126/6129/6132/6135/6138/6141/6144/6147/6150/6153/6156/6159/6162/6165/6168/6171/6174/6177/6180/6183/6186/6189/6192/6195/6198/6201/6204/6207/6210/6213/6216/6219/6222/6225/6228/6231/6234/6237/6240/6243/6246/6249/6252/6255/6258/6261/6264/6267/6270/6273/6276/6279/6282/6285/6288/6291/6294/6297/6300/6303/6306/6309/6312/6315/6318/6321/6324/6327/6330/6333/6336/6339/6342/6345/6348/6351/6354/6357/6360/6363/6366/6369/6372/6375/6378/6381/6384/6387/6390/6393/6396/6399/6402/6405/6408/6411/6414/6417/6420/6423/6426/6429/6432/6435/6438/6441/6444/6447/6450/6453/6456/6459/6462/6465/6468/6471/6474/6477/6480/6483/6486/6489/6492/6495/6498/6501/6504/6507/6510/6513/6516/6519/6522/6525/6528/6531/6534/6537/6540/6543/6546/6549/6552/6555/6558/6561/6564/6567/6570/6573/6576/6579/6582/6585/6588/6591/6594/6597/6600/6603/6606/6609/6612/6615/6618/6621/6624/6627/6630/6633/6636/6639/6642/6645/6648/6651/6654/6657/6660/6663/6666/6669/6672/6675/6678/6681/6684/6687/6690/6693/6696/6699/6702/6705/6708/6711/6714/6717/6720/6723/6726/6729/6732/6735/6738/6741/6744/6747/6750/6753/6756/6759/6762/6765/6768/6771/6774/6777/6780/6783/6786/6789/6792/6795/6798/6801/6804/6807/6810/6813/6816/6819/6822/6825/6828/6831/6834/6837/6840/6843/6846/6849/6852/6855/6858/6861/6864/6867/6870/6873/6876/6879/6882/6885/6888/6

Es un tipo de yacimiento de tipo diagenético de fosfato cuyo contenido metálico es mayormente fosfatos. El mineral fosfático ocurre en capas estratificadas de areniscas ricas en  $P_2O_5$ , consistentes principalmente en oolitos, como restos orgánicos fosfatados (algas, escamas, huesos de peces, huesos de tiburón, etc.). La profundidad de las capas varían entre 0.3 y 2.00 metros en un área de 74000 hectáreas.

### **CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO:**

- En el contrato de transferencia de concesión se exigirá que al término del tercer año de suscripción, el adjudicatario tenga en operación los yacimientos de roca fosfórica y culminada la construcción de una planta concentradora, con una capacidad mínima de 2.5 millones de TM/año, así como las facilidades portuarias necesarias. Al término del quinto año la capacidad instalada de la planta concentradora y la explotación de roca fosfórica deberán incrementarse a un volumen anual no menor a cuatro millones de toneladas. En este plazo tendrá también que completarse la construcción y puesta en marcha de una planta de producción de fosfato diamónico, entre otros productos, con una capacidad operativa no menor al millón de TM/año de fertilizantes.
- En los primeros cuatro años, Bayóvar requiere una inversión de US\$ 300 millones para la ejecución de infraestructura operativa, carreteras de acceso, rehabilitación de vías de instalación de líneas de alta tensión, obras de captación y transporte de agua de mar y agua dulce, entre otros. Se espera que en los siguientes tres años las inversiones acumuladas sean del orden de US\$ 600 millones.
- El proyecto requiere de la construcción de un puerto especializado para la exportación de la roca fosfórica primero y luego de los fertilizantes derivados, así como la recepción de los insumos como el amoníaco, ácido sulfúrico, combustible, reactivos, materiales de operación, equipos, etc. En un principio se estima que el movimiento del puerto sea de 4 a 5 millones de TM/año el cual será ampliado conforme se incremente la producción. La inversión en el puerto se estima en US\$ 50 millones, el cual por su condición de calado tiene capacidad suficiente para la exportación de

múltiples productos provenientes de otros proyectos que podrían ser desarrollados, como los concentrados de cobre que producirían los proyectos mineros de La Granja, Michiquillay entre otros. La producción agrícola como algodón, soya, de la selva del Perú, Brasil, Ecuador, Colombia, países cuyos productos podrían llegar a Bayóvar a través de las vías de enlace que hay entre Perú y Brasil. Los productos de la industrialización pesquera, así como el cemento que se producirá empleando calizas y yeso de los depósitos existentes en Bayóvar, también podrían emplearlo.

### **III.3 TAMAÑO DE LA PLANTA**

La selección del lugar se debe hacer en un equilibrio bien definido de las ventajas y desventajas de las diversas zonas geográficas del lugar.

Se consideran los siguientes factores:

#### **1. Materias Primas**

Las fuentes de materias primas constituyen uno de los factores más importantes para seleccionar el lugar donde se construirá la planta.

#### **2. Mercados**

La ubicación de los centros de consumo o de distribución afectan los costos de distribución del producto y el tiempo requerido para los embarques.

#### **3. Disponibilidad de Potencia y Combustibles**

En la mayoría de las plantas industriales las necesidades de energía y vapor son muy grandes y generalmente se necesitan combustibles para producirlos.

#### **4. Clima**

La humedad excesiva, el frío extremo o las altas temperaturas, en general pueden tener consecuencias muy serias sobre la operación económica de la planta.

#### **5. Medios para el Transporte**

Los medios de transporte más utilizados por las empresas industriales son los marítimos o fluviales, el ferrocarril y los transportes por carretera.

#### **6. Disponibilidad de Agua**

Los procesos industriales consumen gran cantidad de agua para enfriar, lavar, producir vapor y como materia prima. Por lo tanto, la planta debe ubicarse en un lugar donde se pueda disponer de una fuente confiable de agua.

#### **7. Eliminación de Efluentes o Residuos**

En los últimos años, las leyes con relación al medio ambiente son cada vez más reactivas. Por lo que el lugar elegido para la planta debe tener una capacidad adecuada para la eliminación correcta de los efluentes o residuos.

#### **8. Disponibilidad de Mano de Obra**

En la etapa de construcción del proyecto se requerirá alrededor de cinco mil trabajadores disponibles de la región y profesionales capacitados.

## **9. Impuestos y Restricciones Legales**

De acuerdo a lo que se indica en el contrato.

## **10. Características de la Ubicación**

Se debe estudiar la topografía y estructura del suelo debido a su efecto sobre el costo de la construcción. Asimismo, la previsión futura para la ampliación de las instalaciones.

## **11. Protección contra Inundaciones e Incendios**

Muchas plantas industriales se encuentran ubicadas en las riberas de ríos o en las proximidades de grandes espejos de agua, existiendo riesgo por inundaciones y daños por temporales.

## **12. Factores Relacionados con la Comunidad**

El carácter de una comunidad y los medios que disponen, pueden tener un efecto importante en la ubicación de la planta.

### **III.3.1 Tamaño Mínimo Económico**

Debido a que el Perú es un gran importador en lo que se refiere al producto Fosfato Diamónico para utilizarlo en el suelo como fertilizante y de los datos obtenidos de Aduanas en lo que se refiere a la demanda nacional de este producto a través de su importación y haciendo una simple ecuación lineal de su demanda con respecto a los años, según los datos de la tablas ya mostrada anteriormente en lo que se refiere a su importación, es que se pudo obtener un rango del tamaño deseado de la planta asumiendo en primer lugar que el 50% del tamaño de la planta será para satisfacer la demanda nacional dentro de 20 años de iniciado el proyecto y la otra suposición es que el 25% de la planta será para satisfacer la demanda nacional y en consecuencia la producción restante será netamente para exportación.

A continuación se va a presentar una tabla resumen de los datos que se mostraron en las tablas para ver la importación del fosfato diamónico. El gráfico de esta tendencia se mostró en la parte que respecta a la demanda y su tendencia es a un incremento lineal, por lo que se presentará la ecuación de esta tendencia y se proyectará la demanda para los siguientes 20 años después de los cinco años que dura su construcción.

**Tabla XXI: Crecimiento de la demanda nacional de fosfato diamónico**

| Años | Demanda Nacional (TM/año) |
|------|---------------------------|
| 1993 | 20569                     |
| 1994 | 31214                     |
| 1995 | 44349                     |
| 1996 | 51666                     |
| 1997 | 74410                     |
| 1998 | 68093                     |
| 1999 | 81794                     |
| 2000 | 53189                     |
| 2001 | 121163                    |
| 2002 | 104229                    |
| 2003 | 123854                    |

La línea de tendencia de esta demanda (véase Figura 9, página 65) está regida por la siguiente ecuación, donde también se muestra su linealidad dada por el factor R.

$$Y = 10.29590152xX - 20497.01795$$

$$R = 0.9761427291$$

Donde Y representa la demanda nacional en TM/año y X representa los años de los que se ha obtenido los datos de la demanda nacional.

Haciendo la consideración de que las construcciones empiecen a comienzos del año 2005 y tendrá una duración de aproximadamente 5 años entonces la planta empezaría a funcionar el año 2010 de no haber algún inconveniente, por lo que el tamaño de la planta deberá ser un porcentaje de la demanda nacional en los siguientes 20 años, que son los años para los, que generalmente, se hace un proyecto de este tipo; en consecuencia, la demanda

nacional deberá ser la que corresponde al año 2030. De la ecuación anteriormente obtenida se obtiene que:

Cuando  $X = 2030$ ; entonces  $Y = 403662 \text{ TM/año}$

Como se dijo anteriormente se va obtener un rango del tamaño de planta y posteriormente se comparará con lo que el Ministerio de Agricultura y el Área de Proyectos de la Región Grau han indicado como el tamaño ideal de la planta de Fosfato Diamónico. Cabe resaltar que en lo que respecta al tamaño de la planta para obtener la roca fosfórica tanto para consumo interno como para la exportación no corresponde al tema esta tesis debido a que su obtención corresponde a la parte minera, pero sí servirá de ayuda para ver la factibilidad del proyecto ya que ambos productos entran en lo que respecta a este complejo petroquímico. Por lo tanto se deduce que:

- Si la demanda en el año 2030 equivalente a 403662 TM/año representa el 50% del tamaño de "mi" planta, entonces:

Tamaño de la Planta de Fosfato Diamónico = 807324 TM/año

- Si la demanda en el año 2030 equivalente a 403662 TM/año representa el 25% del tamaño de "mi" planta, entonces:

Tamaño de la Planta de Fosfato Diamónico = 1614648 TM/año

De lo anteriormente expuesto y con datos del Ministerio de Agricultura y del Área de Proyectos de la Región Grau, se obtuvo que:

- Tamaño de la Planta de Roca Fosfórica = 4.5 MM TM/año
- Tamaño de la Planta de Fosfato Diamónico (DAP)= 1.5 MM TM/año

Como se observa las consideraciones utilizadas encierran el tamaño de la planta sugerida por los organismos antes mencionados, por lo que el

análisis económico se hará tomando en cuenta los tamaños de planta sugeridos por estas entidades.

**CAPÍTULO IV:  
INGENIERÍA DEL  
PROYECTO**

## IV.1 PROCESOS DE FABRICACIÓN

### IV.1.1 Planta de Ácido Fosfórico

#### Proceso Húmedo para la obtención del ácido fosfórico

#### Tabla XXII: Datos de la patente US 2004/0047790 A1

Publicación de Aplicación de Patentes de Estados Unidos

Feng, Yisheng; y otros

Publicación No.: US 2004/0047790 A1

Fecha de Publicación: 11 de Marzo del 2004

Inventores: Feng, Yisheng ; (*Ciudad De Chengkou, Condado De Wudi, Shandong, CN*) ; Feng, Jiutian ; (*Ciudad De Chengkou, Condado De Wudi, Shandong, CN*) ; Liu, Xigang ; (*Ciudad De Chengkou, Condado De Wudi, Shandong, CN*) ; Wang, Yurui ; (*Ciudad De Chengkou, Condado De Wudi, Shandong, CN*) ; Lu, Tianbao ; (*Ciudad De Chengkou, Condado De Wudi, Shandong, CN*)

Dirección: Lackenbach Siegel One Chase Road Scarsdale, NY 10583 (US)

No. Serial: 362845

Aplicación No.: 10/362845

PCT Archivado: 15 de Mayo del 2001

PCT No.: PCT/CN01/00796

#### Resumen

El presente invento se relaciona con un método de obtención del ácido fosfórico mediante el proceso húmedo, el cual comprende: dividir las materias primas, que son la mezcla de roca fosfórica y el ácido sulfúrico, en dos corrientes, y luego alimentar estas dos corrientes separadamente hacia dos reactores diferentes. En el primer reactor, se alimenta entre el 70 % y 90 % en peso de la cantidad total de la mezcla de roca fosfórica y del ácido sulfúrico, en el cual el cociente entre la mezcla de roca fosfórica hacia el ácido sulfúrico y hacia el ácido fosfórico reciclado se fija alrededor de 1:(0.6-0.8):(1.0-2.5). Entre el 10% y 30% de la solución en reacción fluye directamente hacia la

celda de conversión, participando en la reacción de conversión del yeso dihidrato. La concentración resultante del ácido fosfórico está entre el 33 % y 39 % en peso. La eficiencia en la recuperación de  $P_2O_5$  es 99% o más. Al adicionar carbón en la solución de conversión como filtro de ayuda, la eficacia de la filtración se puede mejorar entre un 10% y 30%, y en el yeso hemihidrato producido, el contenido de  $P_2O_5$  está entre 0.05% y 0.2%, el agua de la hidratación está entre 4% y 8%. El yeso producido se puede utilizar para producir el ácido sulfúrico y el cemento.

## **Descripción**

### **CAMPO TÉCNICO**

El invento se relaciona en el campo de los procesos de preparación del ácido fosfórico. Particularmente, el invento se relaciona con un método mejorado de preparar el ácido fosfórico mediante el proceso húmedo.

### **ANTECEDENTES**

El ácido fosfórico es uno de los materiales químicos más importantes. Los procesos de obtención del ácido fosfórico se clasifican como proceso húmedo y proceso seco. El típico proceso húmedo para la obtención del ácido fosfórico comprende: la descomposición de la roca fosfórica con el ácido sulfúrico y la separación de la mezcla resultante en sulfato de calcio y ácido fosfórico. De acuerdo con la condición y el número de cristales de agua producidos en el sulfato de calcio, los procesos húmedos se clasifican como proceso dihidrato, hemihidrato, anhidro, del hemi-dihidrato y di-hemihidrato. Entre ellos, el proceso anhidro no puede ser industrializado por el momento, y el proceso hemihidrato se utiliza raramente debido a sus severas condiciones de operación. En consecuencia, el proceso dihidrato es el principal para la obtención del ácido fosfórico. La producción mediante este proceso alcanza hasta el 80%, o más, de la producción total del ácido fosfórico en el mundo. Sin embargo, el proceso dihidrato tiene dos inconvenientes: uno es la co-cristalización de  $CaHPO_4$  en la estructura del cristal de yeso, y de tal modo la pérdida de  $P_2O_5$  es alta y la eficacia de la recuperación es baja; el otro es que

la concentración del ácido fosfórico es baja y solamente cerca del 30%. En China, el proceso dihidrato es dominante, y el proceso hemihidrato o hemidihidrato está en segundo lugar, en cuanto que el proceso di-hemihidrato no ha sido reportado.

## CARACTERÍSTICAS DEL INVENTO

El propósito del invento es el proveer un método de obtención del ácido fosfórico mediante el proceso húmedo. El proceso está basado en el proceso dihidrato-hemihidrato. Por tal proceso, se obtiene un ácido fosfórico de alta concentración a partir de una roca fosfórica de baja calidad, y también se obtiene una buena calidad de apatita con bajo contenido de fósforo con la finalidad de satisfacer los requisitos para producir ácido sulfúrico y cemento.

La resolución del actual invento abarca: la división de las materias primas que contienen una mezcla de la roca fosfórica y el ácido sulfúrico en dos corrientes; entonces, una de estas dos corrientes fluye directamente hacia la celda de conversión, y participa en la reacción de conversión del yeso dihidrato. El proceso comprende:

1. En el primer reactor (1), se alimenta la mezcla de roca fosfórica, ácido sulfúrico, y ácido fosfórico reciclado (9) de baja concentración proveniente del filtro (6); la relación en peso de la mezcla de roca de fosfórica con el ácido sulfúrico y con el ácido fosfórico reciclado de baja concentración es 1:(0.6-0.8):(1.0-2.5); el cociente molar de la mezcla de la roca fosfórica con el ácido sulfúrico es de 1:5; en el primer reactor, la cantidad de alimentación de la mezcla de roca fosfórica y del ácido sulfúrico está entre 70% y 90% en peso de la cantidad total; la temperatura de la reacción está controlada entre 75°C y 85°C; la relación del líquido al sólido está entre 2,3 y 2,6; la concentración de  $\text{SO}_3$  en la primera solución de reacción está entre 0,04  $\text{kg/m}^3$  y 0,07  $\text{kg/m}^3$ ; la concentración de  $\text{P}_2\text{O}_5$  en la primera solución de reacción está entre 28% y 30%.

2. En el segundo reactor (2), se alimenta la primera solución de reacción y la

otra parte de la mezcla de roca fosfórica y ácido sulfúrico; haciendo que todos reaccionen totalmente; en el segundo reactor, la temperatura de reacción está controlada entre 70°C y 80°C; la relación del líquido al sólido está entre 2,3 y 2,7; la concentración de SO<sub>3</sub> en la segunda solución de reacción está entre 0,03 kg/m<sup>3</sup> y 0,05 kg/m<sup>3</sup>; la concentración de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en la segunda solución de reacción está entre 30% y 35%.

3. Se divide la segunda solución de reacción en dos corrientes. Una de ellas (8), que contiene entre el 10% y 30% de la solución de reacción, fluye hacia la celda de conversión (4); la otra porción (7) fluye hacia el separador (5), donde se extrae el ácido fosfórico obtenido; la concentración resultante del ácido fosfórico está entre el 33% y 39% en peso.

4. En la celda de conversión (4), se alimenta el yeso del dihidrato (10) obtenido en el separador, una corriente (8) de la segunda mezcla de reacción del segundo reactor y un poco de ácido sulfúrico adicional, los cuales conducen la reacción de conversión introduciendo vapor; la cantidad de ácido sulfúrico agregado está entre 0% y 15% de la cantidad de alimentación del ácido sulfúrico en el primer reactor; en la celda de conversión, la temperatura de reacción es controlada entre 90°C y 105°C; el cociente del líquido al sólido está entre 2,5 y 3; la concentración de SO<sub>3</sub> en la solución de reacción está entre 0,07 kg/m<sup>3</sup> y 0,09 kg/m<sup>3</sup>; la concentración de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en la solución de reacción está entre 24% y 30%.

5. En el filtro (6), se filtra la solución de conversión; el filtrado (9) se alimenta nuevamente dentro del primer reactor (la concentración de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> está entre 24% y 30%). El producto de filtración es el yeso crudo hemihidrato, que contiene entre 4% y 8% de cristales de agua y entre 18% y 20% de agua adsorbida. El yeso crudo se puede convertir naturalmente en el yeso dihidrato a través de la hidrolización, conteniendo finalmente entre 5% y 10% de agua adsorbida; el producto se puede utilizar para producir el ácido sulfúrico y cemento, así como la fabricación del cartón y otros materiales de construcción.

El invento se caracteriza en dividir la alimentación de la mezcla de roca de fosfórica y ácido sulfúrico en dos corrientes y después se alimentan estas dos corrientes en dos reactores por separado. En el primer reactor, la alimentación está entre el 70% y 90% en peso de la cantidad total la mezcla y ácido sulfúrico permitiendo controlar la concentración de  $P_2O_5$  en un bajo nivel y maximizar la concentración del ácido sulfúrico libre para obtener la mejor condición de cristalización y reducir la pérdida de  $P_2O_5$  debido a la co-cristalización. En el segundo reactor, la alimentación adicional de la mezcla de la roca de fosfórica y el ácido sulfúrico permite controlar la concentración de  $P_2O_5$  en un nivel más alto (entre un 30% y 35%) y obtener la mejor condición para la cristalización del yeso. De esta manera, los cristales resultantes de yeso son grandes, uniformes, facilitando así la filtración. Consecuentemente, se reducen la pérdida de  $P_2O_5$  debido a la co-cristalización y la pérdida de la solubilidad del agua del  $P_2O_5$ ; la cantidad de  $P_2O_5$  no descompuesto disminuye; la producción de  $P_2O_5$  aumenta. Así, el ácido fosfórico de alta concentración puede ser obtenido usando una roca de fosfórica de calidad media.

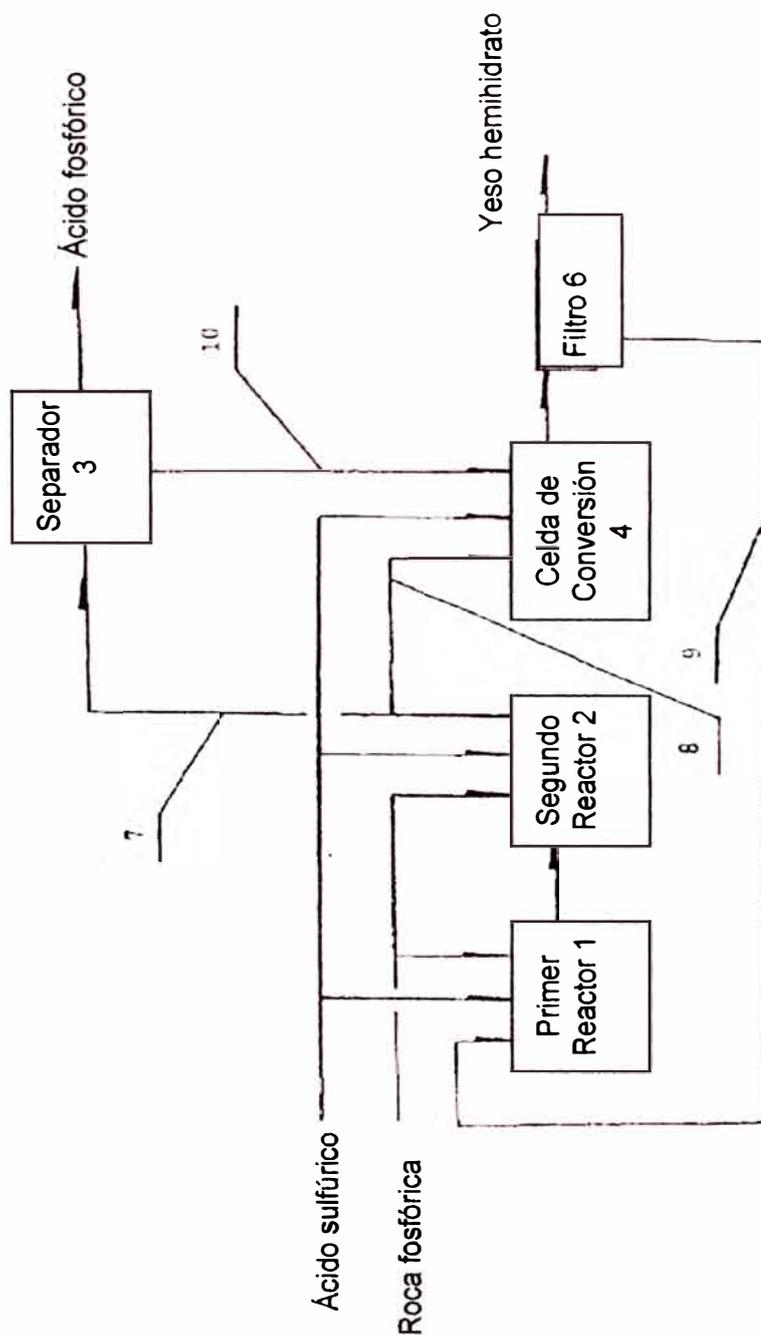
El invento también se caracteriza en que una parte de la solución de reacción obtenida en el segundo reactor fluye directamente hacia la celda de conversión, y participa en la reacción de conversión del yeso dihidrato separado en el separador. En esta parte, según la situación, la alimentación del ácido sulfúrico adicional mantiene la concentración más alta del ácido sulfúrico y del ácido fosfórico en la solución de la celda de conversión. Esto puede promover el proceso de conversión y el crecimiento del cristal del yeso hemihidrato, así como prevenir la formación del yeso hemihidrato debido al "exceso de la deshidratación".

En el proceso para preparar el ácido fosfórico se puede agregar una celda de filtración-soporte (5) entre la celda de conversión (4) y el filtro (6). Es decir, un paso de filtración-soporte se agrega al proceso. En la celda de filtración-soporte (5), se alimentan las partículas de carbón agregado y la solución de conversión de la celda de conversión. La relación del carbón agregado al yeso es alrededor de 1:(16-30). La mezcla se alimenta en el filtro

(6) para realizar el siguiente paso de filtrado. Las partículas porosas de carbón pueden absorber el ácido fluorsilícico de la solución, además de poder aumentar la velocidad de filtración del yeso hemihidrato y la eficacia de la filtración se pueda mejorar entre un 10% y 30%.

## DESCRIPCIÓN DE LOS DIAGRAMAS

**Figura 12: Diagrama esquemático del proceso para preparar el ácido fosfórico**



En el primer reactor (1), la mezcla de roca fosfórica, el ácido sulfúrico, y el ácido fosfórico reciclado (9) de baja concentración proveniente del filtro (6) se alimentan para ser descompuestos durante 1,5 a 2 horas; la cantidad de alimentación de la mezcla de roca fosfórica y del ácido sulfúrico está alrededor del 80% en peso de la cantidad de alimentación total en el proceso. En el segundo reactor, la alimentación de la primera solución de reacción y el resto de la mezcla de roca fosfórica y del ácido sulfúrico hacen que la reacción se complete; la reacción se realiza por 1,5 a 2 horas; la cantidad de alimentación de la mezcla de roca fosfórica y del ácido sulfúrico en el segundo reactor es cerca de 20 % en peso del total. Se divide la solución de reacción obtenida en el segundo reactor en dos corrientes, en la que una de ellas (8) fluye hacia la celda de conversión (4), y la otra la parte (7) fluye hacia el separador (3) para producir el ácido fosfórico en el cual la concentración de  $P_2O_5$  está entre 33% y 39% en peso. En la celda de conversión (4), el yeso dihidrato (10) obtenido en el separador (3) se mezcla con la parte de la segunda mezcla de reacción (8) proveniente del segundo reactor. Según la situación se agrega un poco de ácido sulfúrico. En la celda de conversión (4), el yeso dihidrato se transforma en yeso hemihidrato; la reacción de conversión se realiza entre 40 y 60 minutos. En el filtro (6), después de filtrar la solución de conversión, el líquido filtrado que contiene entre un 24% a 30% de  $P_2O_5$  se alimenta al primer reactor. El producto de filtración es el hemihidrato, que contiene entre un 4% y 8% de cristales de agua, entre un 18% y 20% de agua adsorbida y entre un 0,05% y 0,2% de  $P_2O_5$ .

## VARIABLES RECOMENDADAS DEL INVENTO

### EJEMPLO 1

1. En el primer reactor, se alimenta la mezcla de roca fosfórica, ácido sulfúrico, y ácido fosfórico reciclado de baja concentración (27,1% de  $P_2O_5$ ) proveniente del filtro para llevar a cabo la reacción de descomposición; la relación en peso es 1:0.75:1.6; la relación molar de la mezcla de roca fosfórica al ácido sulfúrico es 1:5; en el primer reactor, la cantidad de alimentación de la mezcla y del ácido sulfúrico está entre 71% y 72% en peso de su cantidad de alimentación

total en el proceso, respectivamente; la temperatura de la reacción es controlada en 79 °C; la relación del líquido al sólido es 2,55; la concentración de SO<sub>3</sub> en la solución de reacción es 0,064 kg/m<sup>3</sup>; el tiempo de reacción es 1,8 horas; la concentración de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en la solución de reacción es 28,9%.

2. En el segundo reactor, se alimenta la primera solución de reacción y el otro 29% de mezcla de roca fosfórica y el 28% de ácido sulfúrico; haciendo que la reacción se complete; en el segundo reactor, la temperatura de reacción es controlada en 74 °C; la relación entre el líquido y el sólido es 2,59; la concentración de SO<sub>3</sub> en la solución de reacción es 0,038 kg/m<sup>3</sup>; el tiempo de reacción es 1,6 horas; la concentración de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en la solución de reacción es 33,1%.

3. Se divide la solución de la reacción obtenida en el segundo reactor en dos porciones, el 28% de la solución obtenida de la reacción fluye hacia la celda de conversión, y el resto fluye hacia el separador, donde el ácido fosfórico producido se extrae para obtener el ácido fosfórico con una concentración de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en la solución de reacción es 37,14 % en peso.

4. En la celda de conversión, se alimenta el yeso dihidrato obtenido en el separador, la segunda mezcla de reacción del segundo reactor y un poco de ácido sulfúrico adicional, llevándose a cabo la reacción de conversión introduciendo vapor; la cantidad de ácido sulfúrico agregado es el 11% de la cantidad ácido sulfúrico alimentado en el primer reactor; en la celda de conversión, la temperatura de reacción es controlada en 96 °C; la relación del líquido al sólido es 2,77; la concentración de SO<sub>3</sub> en la solución de reacción es 0,079 kg/m<sup>3</sup>; el tiempo de reacción es 54 minutos; la concentración de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en la solución de reacción es 27,4%.

5. En la celda de filtración-soporte, se alimenta la solución de la celda de conversión y las partículas de carbón, haciendo que la relación de las partículas de carbón a la solución de conversión sea 1:21; se alimenta la mezcla en el filtro de donde el filtrado (27,1% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) ingresa al primer reactor, y la torta de filtración producida es el yeso crudo hemihidrato, que



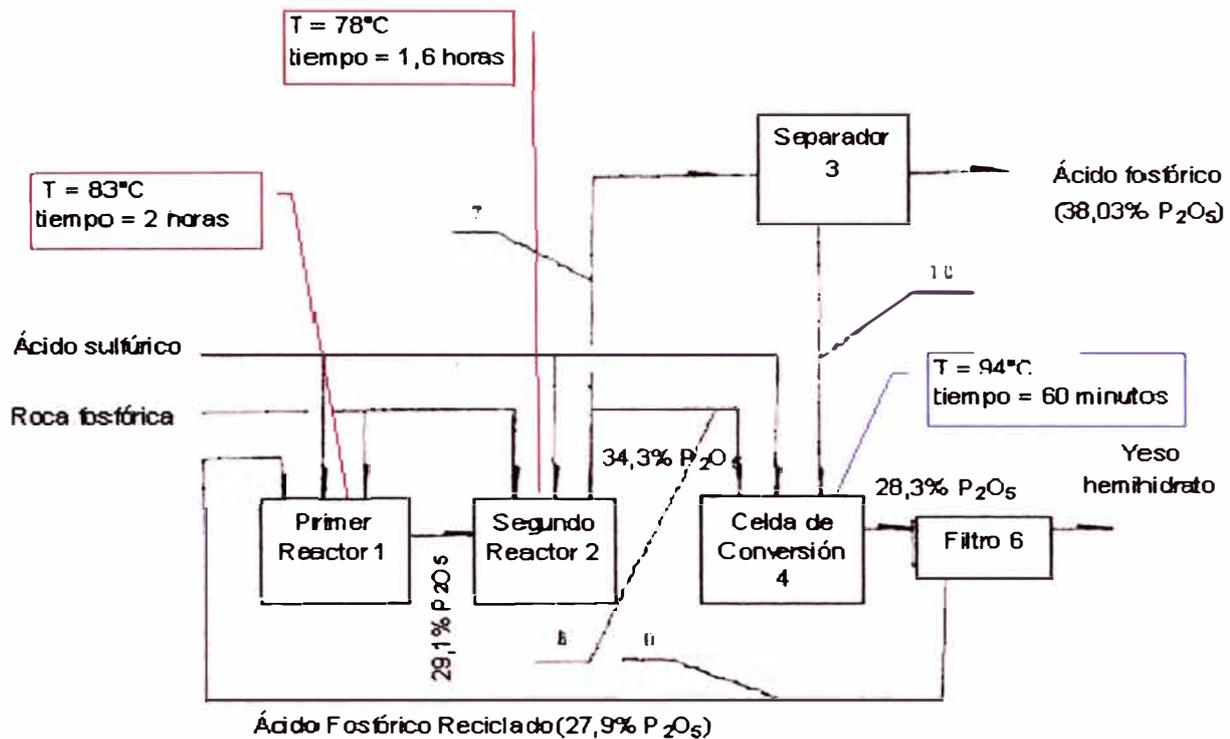
reacción es 2 horas; la concentración de  $P_2O_5$  en la solución de reacción es 29,1%.

2. En el segundo reactor, se alimenta la primera solución de reacción y el otro 22% de mezcla de roca fosfórica y el 20% de ácido sulfúrico; haciendo que la reacción se complete; en el segundo reactor, la temperatura de reacción es controlada en 78 °C; la relación entre el líquido y el sólido es 2,57; la concentración de  $SO_3$  en la solución de reacción es 0,031 kg/m<sup>3</sup>; el tiempo de reacción es 1,6 horas; la concentración de  $P_2O_5$  en la solución de reacción es 34,3%.

3. Se divide la solución de reacción obtenida en el segundo reactor en dos porciones, el 23% de la solución obtenida de la reacción fluye hacia la celda de conversión, y el resto fluye hacia el separador, donde el ácido fosfórico producido se extrae para obtener el ácido fosfórico con una concentración de  $P_2O_5$  de 38,03 % en peso.

4. En la celda de conversión, se alimenta el yeso dihidrato obtenido en el separador y la segunda mezcla de reacción del segundo reactor, llevándose a cabo la reacción de conversión introduciendo vapor; en la celda de conversión, la temperatura de reacción es controlada en 94 °C; la relación del líquido al sólido es 2,91; la concentración de  $SO_3$  en la solución de reacción es 0,067 kg/m<sup>3</sup>; el tiempo de reacción es 1 hora; la concentración de  $P_2O_5$  en la solución de reacción es 28,3%.

5. Después de la filtración, el filtrado (27,9% de  $P_2O_5$ ) se alimenta en el primer reactor, y la torta de filtración producida es el yeso crudo hemihidrato, que contiene 7,13% de cristales de agua y 19,94% de agua adsorbida. La cantidad de  $P_2O_5$  en el yeso hemihidrato es 0,08% y la eficiencia en la recuperación de  $P_2O_5$  es 99,4%. El yeso crudo se puede convertir naturalmente en el yeso dihidrato a través de la hidrolización, conteniendo solamente 6,58% de agua adsorbida; el producto se puede utilizar para producir el ácido sulfúrico y el cemento, así como la fabricación del cartón y de otros materiales de construcción.



#### APLICABILIDAD INDUSTRIAL (véase figura 12, página 91)

El presente invento se relaciona con un proceso para preparar el ácido fosfórico, que abarca: el dividir las materias primas, que contienen la mezcla de roca fosfórica y el ácido sulfúrico en dos porciones, luego se alimentan estas dos porciones en dos reactores por separado. Parte de la solución de reacción fluye directamente hacia la celda de conversión y participa en la reacción de conversión del yeso dihidrato. Mediante este proceso, la eficacia en la recuperación de  $P_2O_5$  es mejorada un 99% o más. De igual manera, se obtiene el yeso hemihidrato de buena calidad, en el cual la cantidad de  $P_2O_5$  está entre el 0.05% y 0.2%, los cristales de agua están entre 4% y 8%, y el agua adsorbida está cerca del 19%. Después de la hidratación, el producto se puede utilizar para producir el ácido sulfúrico y el cemento sin secar por horno. Las partículas de carbón como agente de filtración-soporte se agregan a la solución de la reacción, mejorando la eficiencia de la filtración y reduciendo el consumo de energía. El invento tiene una ventaja obvia en el aspecto económico y social.

1. Un proceso para preparar el ácido fosfórico, comprende; descomponer la roca fosfórica, separar la solución descompuesta, convertir el yeso dihidrato y filtrarlo, según los pasos siguientes:

1-1. En el primer reactor (1), se alimenta la mezcla de roca fosfórica, ácido sulfúrico y ácido fosfórico reciclado de baja concentración (9) proveniente del filtro para llevar a cabo la descomposición; y se obtiene la primera solución de reacción; la relación en peso de la mezcla de roca fosfórica hacia el ácido sulfúrico y hacia el ácido fosfórico de baja concentración es 1:(0.6-0.8):(1.0-2.5).

1-2. En el segundo reactor (2) se alimenta la solución de la primera reacción obtenida en el paso 1-1, y el resto de la mezcla de roca fosfórica y ácido sulfúrico, haciendo que la reacción se complete.

1-3. Se divide la solución de reacción obtenida en el segundo reactor en dos porciones: una parte (8) que contiene entre el 10% y 30% de la solución de reacción fluye hacia la celda de conversión (4), y el resto fluye hacia el separador (3), donde el ácido fosfórico producido es extraído.

1-4. En la celda de conversión (4) se alimenta el yeso dihidrato (10) separado del separador, un poco de ácido sulfúrico adicional y la parte (8) de la segunda mezcla de reacción proveniente del segundo reactor para llevar a cabo la reacción de conversión y obtener la solución.

1-5. En el filtro (6) (después de que se filtró la solución de conversión) el filtrado (9) es alimentado hacia el primer reactor; la torta de filtración es el yeso crudo de baja concentración de ácido fosfórico, el cual puede ser usado para producir ácido sulfúrico y cemento.

2. Un proceso para preparar el ácido fosfórico de acuerdo con la demanda 1, se caracteriza en que, se adhiere un paso de filtración-soporte entre el paso 1-4 y el paso 1-5; en el cual, se alimente la solución obtenida en el paso 1-4 y las partículas de carbón en la celda de filtración-soporte; la relación del carbón adicionado con el yeso es 1:(16-30).

3. Un proceso para preparar ácido fosfórico de acuerdo con cualquiera de las demandas 1 o 2, se caracteriza en que, en el paso 1-1, la cantidad de

alimentación del ácido sulfúrico y la mezcla de roca fosfórica está entre 70% y 90% del total de la cantidad utilizada en el proceso.

4. Un proceso para preparar ácido fosfórico de acuerdo con cualquiera de las demandas 1 o 2, se caracteriza en que, en el paso 1-4, la cantidad de alimentación del ácido sulfúrico está entre 0% y 15% del total de la cantidad utilizada en el paso 1-1.

5. Un proceso para preparar ácido fosfórico de acuerdo con cualquiera de las demandas 1 o 2, se caracteriza en que, en el paso 1-1, la temperatura de reacción está controlada entre 75 °C y 85 °C; la concentración de  $P_2O_5$  en la solución de reacción está entre 28% y 30%; la concentración de  $SO_3$  en la solución de reacción está entre 0.04 kg/m<sup>3</sup> y 0.07 kg/m<sup>3</sup>.

6. Un proceso para preparar ácido fosfórico de acuerdo con cualquiera de las demandas 1 o 2, se caracteriza en que, en el paso 1-2, la temperatura de reacción está controlada entre 70 °C y 80 °C; la concentración de  $P_2O_5$  en la solución de reacción está entre 30% y 35%; la concentración de  $SO_3$  en la solución de reacción está entre 0.03 kg/m<sup>3</sup> y 0.05 kg/m<sup>3</sup>.

7. Un proceso para preparar ácido fosfórico de acuerdo con cualquiera de las demandas 1 o 2, se caracteriza en que, en el paso 1-4, la temperatura de reacción está controlada entre 90 °C y 105 °C; la concentración de  $SO_3$  en la solución de reacción está entre 0.07 kg/m<sup>3</sup> y 0.09 kg/m<sup>3</sup>.

8. Un proceso para preparar ácido fosfórico de acuerdo con cualquiera de las demandas 1 o 2, se caracteriza en que, en el paso 1-5, la concentración de  $P_2O_5$  en el filtrado que es alimentado al primer reactor está entre 24% y 30%.

### **Proceso Simplot de Purificación de Ácido Fosfórico**

El departamento de Investigación y Desarrollo de la Compañía J.R. Simplot ha desarrollado un sistema de membrana para la purificación del proceso húmedo de ácido fosfórico después de cuatro años de intensa

búsqueda. La primera planta en usar esta tecnología eficientemente empezó en 1996 con 30000t/año obteniendo de esta manera un producto de alta calidad, con un grado de ácido fosfórico muy adecuado para el uso en fertilizantes.

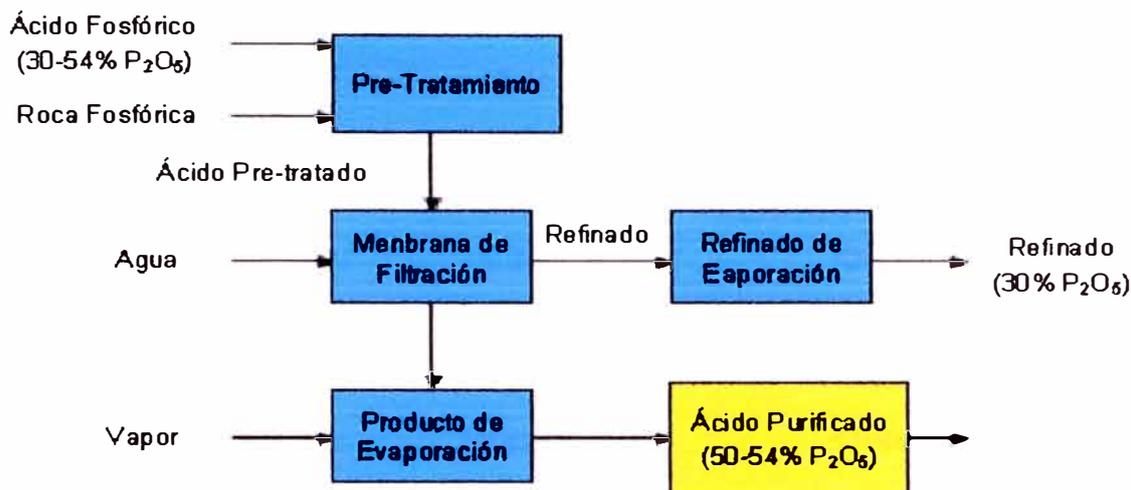
### **Ventajas del Proceso**

- Un producto de un alto valor agregado es producido a partir del proceso húmedo de ácido fosfórico.
- No se usan solventes en este proceso.
- Comercialmente asequible.
- El único co-producto es un vapor de ácido refinado.
- Bajo capital y bajos costos.
- Produce un ácido de grado técnico.
- Disponible a través del licenciante KEMWorks Technology.
- El proceso es flexible para altos niveles de calidad del producto pudiendo obtenerse a través de múltiples etapas de filtración de las membranas.
- Proceso simple y fácil de operar.

### **Descripción del Proceso**

En el proceso Simplot de purificación de ácido fosfórico, se produce un ácido fosfórico purificado de alta calidad a partir del proceso húmedo de ácido fosfórico usando una membrana básica en el proceso. Este es un proceso único y novedoso y no se basa en la extracción mediante solvente como otros procesos.

**Figura 13: Diagrama esquemático del proceso Simplot**



La alimentación de ácido fosfórico al proceso está entre 30% y 42% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> o en niveles más altos provenientes del proceso húmedo de ácido fosfórico. Esta alimentación es enfriada, y si es necesario, se hace reaccionar con el calcio disponible de la roca fosfórica finamente pulverizada para reducir el nivel de sulfatos a menos del 0.52%. El ácido es luego filtrado para remover los sólidos suspendidos y otros compuestos indeseables.

Luego el ácido fosfórico es presurizado y alimentado a un sistema de ultrafiltración para remover los sólidos suspendidos por flujo contra corriente en una membrana de filtración. Aproximadamente el 95% del ácido alimentado es recuperado como un filtro permeable. El producto, libre de sólidos es presurizado usando bombas centrífugas o de desplazamiento positivo, y filtrado usando unas membranas apropiadas para remover el 99% de los constituyentes metálicos.

Siguiendo con el proceso, el ácido producido de la purificación es concentrado en un evaporador de circulación forzada de 50 a 54% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. El ácido refinado, que contiene todas las impurezas removidas puede ser concentrado por evaporación. El refinado, es utilizado en la producción de superfosfato simple o triple o en monofosfato amónico (MAP) o fosfato diamónico (DAP).

**Tabla XXIII: Características químicas de los productos**

| Componente                    | Ácido de Alimentación (%) | Producto Ácido (%) ** |
|-------------------------------|---------------------------|-----------------------|
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 43.5*                     | 54.5                  |
| F                             | 1.5                       | <150ppm               |
| Al                            | 0.44                      | <30ppm                |
| Fe                            | 0.33                      | <20ppm                |
| Mg                            | 0.57                      | <50ppm                |
| Cr                            | 450ppm                    | <3ppm                 |
| Ca                            | 250ppm                    | <10ppm                |
| V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 1500ppm                   | <25ppm                |
| Cd                            | 125ppm                    | <5ppm                 |

(\*) 42% o 30% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de alimentación ácida puede ser usada como alimentación en el proceso.

(\*\*) Calidad del producto producido usando dos etapas de membranas de purificación y roca fosfórica.

**Tabla XXIV: Materia prima, servicios y productos del proceso Simplot**

| <b>Típico Consumo de Materia Prima</b>  | <b>Por tonelada de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> purificado</b> |
|---|--|
| Alimentación ácida (entre 42% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> y 50% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | 1.43 toneladas de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>              |
| Roca Fosfórica  | < 0.08 toneladas CaO   |
| Agua de Proceso   | 2.0 toneladas  |
| <b>Productos y co-Productos</b>   | <b>Por tonelada de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> purificado</b> |
| Producto ácido (con 54% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )   | 1.0 tonelada de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                |
| Refinado ácido (con 30% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )   | 0.4 toneladas de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>               |
| Agua producida (con 1% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )  | 0.1 tonelada   |
| <b>Servicios</b>  | <b>Por tonelada de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> purificado</b> |
| Vapor de Baja Presión   | 3.9 toneladas  |
| Electricidad  | 270 KWh  |
| Agua de Enfriamiento  | 200 toneladas  |

## IV.1.2 Planta de Fosfato Diamónico

### Producción de Fosfato Diamónico mediante un reactor tubular de alta presión

#### Tabla XXV: Datos de la patente US4758261

|                              |  |
|------------------------------|--|
| <b>Número de Patente:</b>    | US4758261  |
| <b>Fecha de Publicación:</b> | 1988-07-19   |
| <b>Inventor(s):</b>          | CURTIS BARRY W (US); PARKER BYRON R (US)             |
| <b>Aplicante(s):</b>         | TENNESSEE VALLEY AUTHORITY (US)                      |
| <b>Número de Aplicación:</b> | US19870127029 19871130                               |
| <b>Clasificación IPC:</b>    | C05B7/00; C05B19/00                                  |
| <b>Clasificación EC:</b>     | <a href="#">C01B25/28</a> , <a href="#">C05B7/00</a> |
| <b>Equivalentes:</b>         |  |

#### Resumen

Es un proceso mejorado, simple, energéticamente económico y de fácil funcionamiento para producir los fertilizantes granulares del fosfato diamónico (DAP) a partir del amoníaco anhidro, ácido fosfórico, ácido sulfúrico, y agua utilizando un granulador de tambor giratorio y un reactor tubular en conjunto con un distribuidor de mezcla especialmente diseñado. El reactor tubular funciona a presiones mayores de 80 psig y utiliza un distribuidor especial de bajo impacto para distribuir uniformemente un rociado de amplio ángulo de la mezcla sobre el lecho de sólidos reciclados en el granulador del tambor y para prever un mínimo de interrupción y deformación del lecho. Este proceso energéticamente económico produce los granos de DAP de libre flujo con poco o nada de requisitos de calentamiento con combustibles fósiles para el secado y con bajas relaciones de reciclaje que permiten altas cantidades de producción o incrementos en los flujos de producción cuando el proceso está adaptado en las plantas existentes. Debido a que se requieren menos equipos y a la eficiencia del proceso, los costos de capitales y costos de operación disminuyen para una planta nueva o para una modificación a una planta existente con respecto a las plantas que producen DAP con el proceso convencional del tanque de pre-neutralización.

## Descripción

### INTRODUCCIÓN

El actual invento se relaciona con una mejora en un proceso para la producción de fertilizantes granulares a partir del amoníaco, ácido fosfórico, y ácido sulfúrico; pero, particularmente, se relaciona con una mejora en el proceso para la producción del fosfato diamónico (DAP) granular de grado 18-46-0; y aún más particularmente, el invento se relaciona con un método mejorado de distribución de la mezcla producida en un reactor tubular a alta presión y, posteriormente, distribuida sobre un lecho de sólidos dentro de un granulador de tambor giratorio horizontalmente inclinado. Convenientemente, el término de fosfato diamónico, según lo utilizado a través de este documento, incluye los productos comerciales que contienen azufre. En algunos casos, el azufre se agrega en forma de ácido sulfúrico al sistema para ajustar el grado del producto y, en todos los casos, un poco de azufre está presente en el ácido fosfórico como materia prima proveniente del proceso húmedo común. El típico fosfato diamónico comercial está compuesto nominalmente por 18% de nitrógeno, 46% de fosfato como  $P_2O_5$ , y contienen aproximadamente 1% de azufre derivado del ácido fosfórico como materia prima. El azufre está generalmente presente en el producto final como sulfato del amonio.

Las mejoras en los procesos para la producción de los granos de fertilizante del fosfato diamónico son consideradas relativamente importantes debido a que este producto es el fertilizante granular fosfatado de mayor producción en el mundo hoy en día. En los Estados Unidos, alrededor de 10 millones de toneladas son producidas cada año y una cantidad dos veces mayor es producida anualmente en el mundo. Este fertilizante se utiliza para el uso directo en las cosechas, para el uso en mezclas secas con otros fertilizantes, y también para el uso como un intermediario para producir los fertilizantes fluidizados, los cuales explican el crecimiento cada vez mayor de la industria del fertilizante. En muchos casos, un fertilizante fluidizado se puede hacer más económico a partir de un producto sólido de fosfato tal como el fosfato diamónico que, a partir de los elementos principales como el

amoníaco y el ácido fosfórico, debido a que los gastos de transporte y manipuleo son substancialmente más bajos para los sólidos.

## ANTECEDENTES

Las ventajas del presente invento fueron descubiertas mientras se estaba trabajando para obtener los datos primarios y secundarios del proceso que divulgaron Salladay y otros en la patente U.S. N° 4619684, el 28 de octubre de 1986. Los investigadores que llevaron el invento a la práctica realizaron las pruebas en un reactor tubular de una planta piloto pequeña, según lo divulgado por Salladay, a presiones por sobre 517102.5 Pa (75 psig). Como una memoria de este trabajo, se requirió la prueba de granulación de la planta piloto, pero las pruebas iniciales no se tomaron en cuenta ya que las presiones del reactor tubular superior a 310261 Pa (45 psig) causaron una interrupción significativa del lecho giratorio de los sólidos en el granulador dando como resultado altas relaciones de reciclo y evolución del amoníaco. En vista de estas dificultades observadas, llegó a ser obvio que tendrían que llevarse a cabo mejoras adicionales a este proceso para asegurarse que podría funcionar constantemente y producir un producto de alta calidad. Diversos tipos de distribuidores fueron probados sin éxito a presiones sobre los 310261 Pa (45 psig), es decir, todos los distribuidores efectuaron la interrupción substancial de los materiales que abarcaban el lecho giratorio. Además, la prueba de la planta piloto a escala, referida anteriormente, fue conducida con el reactor tubular que funcionaba solamente a una presión mayor, es decir, 517102.5 Pa (75 psig) y a una presión menor, es decir, 82736 Pa (12 psig). En las investigaciones, se determinó que los datos de las pruebas anteriores eran poco concluyentes y algo erráticos y; por consiguiente, se realizó un sistema adicional de pruebas. Los resultados de este sistema adicional de pruebas no se correlacionaron bien con el sistema inicial. En vista de estos resultados, se decidió que la prueba en la planta piloto a escala con el reactor tubular se debe repetir pero con una cobertura más comprensiva del rango de presiones y, más particularmente, prolongando el rango de presión hasta 965258 Pa (140 psig). Los detalles de esta prueba se dan en el ejemplo 1, descrito más adelante, y demuestran que algunas

conclusiones mostradas pueden ser diferentes de las conclusiones resultantes de las pruebas anteriores debido a mayores datos comprensivos en estas últimas pruebas. Por ejemplo, en las pruebas iniciales de la planta piloto, las presiones del reactor tubular fueron ajustadas con una válvula de diafragma manual instalada en el extremo de la tubería de reacción; este método fue continuado para las posteriores pruebas comprensivas, y el reactor tubular fue probado y se obtuvieron datos consistentes para las presiones de operación hasta 965258 Pa (140 psig). Sin embargo, la mezcla fue descargada desde un codo con curvatura hacia abajo de 90° instalado en el lado de la descarga de la válvula, lo cual ya había sido demostrado que no era conveniente para distribuir la mezcla en el granulador. Por lo tanto, se comenzó una segunda fase de la prueba con la finalidad de probar varios tipos de distribuidores de mezcla. Se retiró la válvula del extremo de la descarga de la tubería de reacción y se probaron varios tipos de distribuidores de abertura-rápida. Debido a que la prueba de operación de la planta piloto incluía sólo la operación del reactor tubular y ninguna prueba de granulación, se podían probar fácilmente todos los sistemas de distribución de mezcla en presiones de hasta 965258 Pa (140 psig). Los datos de esta prueba mostraron los resultados que no eran fácilmente evidentes en el trabajo anterior, el cual estudió solamente una presión moderada de cerca de 517102.5 Pa (75 psig). Por ejemplo, en éstas últimas pruebas se descubrió a que, contrariamente a la interpretación de los datos teóricos de Salladay, donde la evolución del amoníaco en el reactor tubular disminuye con el aumento de la presión, en realidad, la evolución del amoníaco en el reactor tubular aumenta rápidamente con el aumento de la presión; pero solamente hasta cierto punto, es decir, cerca de 517102.5 Pa (75 psig). La evolución del amoníaco seguía siendo relativamente constante desde 517102.5 Pa (75 psig) hasta cerca de 965258 Pa (140 psig) según lo evidenciado por la tendencia de la curva, perceptiblemente disminuida, que abarcaba sobre cerca de 551576 Pa (80 psig) (véase Figura 17, página 114) que serán discutidos en mayor detalle más adelante. El aumento de la evolución del amoníaco con el aumento de la presión no es una sorpresa puesto que, según lo mostrado en el ejemplo 1, para otras condiciones constantes y con una alimentación y una concentración constantes de ácido fosfórico, la temperatura de operación del reactor tubular

aumenta con el aumento de la presión de operación como se habría previsto por la ley de los gases ideales y por el incremento de la temperatura del vapor, mientras que el agua se evapora de la mezcla del ácido fosfórico amoniacal. Como resultado del aumento de la temperatura, la presión parcial del amoníaco aumenta rápidamente originando que la presión de operación libre de amoníaco que se desarrolla desde la descarga reactor tubular aumente, pero fue algo sorprendente que cerca de 517102.5 Pa (75 psig) los coeficientes de incremento de la presión parcial y la presión de operación fueron tales que la relación de la presión parcial del amoníaco a la presión de operación detuvo su incremento y alcanzó un cociente relativamente estable dando por resultado una evolución casi constante del amoníaco. Esto no estaba, según lo predicho por Salladay, porque su ilustración teórica gráfica del amoníaco contra la relación molar de  $\text{NH}_3:\text{H}_3\text{PO}_4$  para el amoníaco, el ácido fosfórico, y el sistema del agua fue trazada solamente en 121 °C (250 °F). Según lo demostrado en el ejemplo 1, no se obtiene una temperatura constante mientras la presión aumenta. Se puede obtener una temperatura constante aumentando el contenido en agua o, semejantemente, disminuyendo la concentración del ácido fosfórico; sin embargo, esto no sería práctico para hacer un producto fertilizante de calidad debido a la pérdida del control del proceso y el substancial aumento del calor de secado requerido.

Basado en el conocimiento de los resultados obtenidos en la pequeña planta piloto, se realizaron otras pruebas pilotos a gran escala donde se usaron presiones más altas en el reactor tubular y se mejoró el contacto del fluido que sale por los inyectores para una adecuada distribución de la mezcla. Cabe resaltar que, aunque la evolución del amoníaco en el reactor tubular es mayor a presiones más altas, sólo una porción del amoníaco se alimenta al reactor tubular del proceso, es decir, entre 65% y 70%, con el remanente hacia el lecho de sólidos en el granulador de tambor. Debido a esto es que hay dos fuentes de evolución del amoníaco, una para el reactor tubular y otra para el lecho de sólidos en el granulador. Los datos de la planta piloto, mostraron que aunque se esperaba que el amoníaco desarrollado en el reactor tubular aumentara la presión, el amoníaco total desarrollado del granulador disminuyó. Salladay conjeturó que esto era porque la inyección del

amoníaco libre, como una corriente de alta presión, afecta el lecho de sólidos. Aunque esto puede ser parcialmente verdad, incluso con la alta velocidad y un distribuidor ranurado de alto impacto, usado actualmente en plantas comerciales, una severa interrupción del lecho ocurre en 413682 Pa (60 psig) e, incluso, tan bajo como entre 310261.5 Pa (45 psig) y 344735 Pa (50 psig) en la cual la interrupción impide el control del proceso. Para otras pruebas comparables, que pueden ser bien controladas en la planta piloto a escala, pero que serían difíciles y potencialmente muy costoso de instalar y controlar en las plantas comerciales a escala, el bajo impacto de la dispersión del distribuidor de la mezcla dio lugar a evoluciones totales más bajas del amoníaco que el distribuidor de alto impacto usado por Salladay en presiones alrededor de 517102.5 Pa (75 psig). Además de una menor interrupción del lecho, se obtuvo la cobertura superior lejana de la mezcla de dispersión, en la práctica del presente invento. Esto es una importante consideración cuando posteriormente se hacen reaccionar con amoníaco los sólidos resultantes para hacer un producto homogéneo del fertilizante. En la práctica del actual invento las temperaturas más bajas fueron mantenidas en los granuladores de tambor que fueron observados en la práctica de las enseñanzas de Salladay. Puesto que la presión de vapor sobre las soluciones de fosfato amónico está relacionada directamente con la temperatura, en la operación del presente invento se obtuvieron las más bajas evoluciones totales del amoníaco en el granulador. También se descubrió que el mejor enfriado ocurre mientras la mezcla de alta presión producida en el reactor tubular se descarga y los efectos de la evaporación del agua como la presión sean menores a la presión atmosférica dentro del granulador de tambor. Se cree que este enfriamiento es más eficaz cuando se baja la evolución del amoníaco en el granulador que cualquier otro efecto de inyección de amoníaco.

## CARACTERÍSTICAS DEL INVENTO

Varias características nuevas y ventajosas del actual proceso sobre los procesos convencionales y anteriores se observan en el actual invento. Entre estas características ventajosas se tiene:

- A. El equipo usado en la práctica de este invento es simple, económico, de fácil obtención y funcionamiento.
- B. El nuevo proceso utiliza efectivamente el calor de reacción para evaporar agua de los ácidos de alimentación y del producto granular homogéneo resultante para eliminar substancialmente la necesidad del uso del combustible fósil.
- C. El distribuidor de mezcla usado en este proceso permite operar el reactor tubular a altas presiones utilizando las ventajas de la dispersión a alta presión para evaporar grandes cantidades de agua mientras la presión disminuye repentinamente desde la presión en el reactor a la presión atmosférica cuando la mezcla sale del distribuidor. El distribuidor, sin embargo, en virtud de sus características (1) de amplio ángulo, y (2) bajo impacto, elimina la desventaja distinta de alta velocidad, de alto impacto de la dispersión que normalmente deforma seriamente el lecho de sólidos en el granulador.
- D. La mezcla de distribución mejorada utilizada en el proceso da como resultado un incremento en el porcentaje del tamaño—producto en el granulador. En las pruebas de la planta piloto, un promedio del 74% del producto descargado del granulador se encontraba dentro del tamaño deseado. Este es un porcentaje perceptiblemente más alto del tamaño del producto que el 40% a 50% usualmente encontrado, incluso con otros procesos mejorados del reactor tubular. Este mayor porcentaje del tamaño del producto permite relaciones de reciclo más bajas y una mayor producción.
- E. La mejora en la alta presión, el bajo impacto en la mezcla de dispersión usado en este invento también da lugar a un enfriamiento adicional dentro del granulador. Este posterior enfriamiento se gana esencialmente sin ningún costo y es considerablemente más eficaz y menos costoso que el aumento de las circulaciones de aire a través del granulador substituyendo los extractores por ventiladores más grandes o aumentando las relaciones de reciclo, los métodos comunes de aumento del enfriamiento en el granulador; por supuesto, incrementando la relación de reciclo debería disminuir la producción a menos que se invierta dinero para renovar el

equipo de procesamiento de sólidos para manejar cantidades más grandes de material reciclado.

- F. El reactor de alta presión y el distribuidor de mezcla mejorado utilizados en este proceso da lugar a ahorros substanciales en la inversión de capitales y los costos de operación de una planta existente de DAP, incluso con una modificación del reactor tubular, pueden aumentar su producción en por lo menos 30% cambiando por el presente invento.

## OBJETIVOS DEL INVENTO

Actualmente, el fosfato diamónico granular es producido casi exclusivamente por el proceso del tanque de pre-neutralización de Achorn en la patente U.S. No 3153574. Este proceso da lugar a altas relaciones de reciclo de sólidos hacia el granulador de alrededor de 2.268 kg (5 libras) recicladas por cada 0.4536 kg (1 libra) de producto. Además, los requerimientos de secado son alrededor de 422000 kJ (400000 BTU) por tonelada del producto; los combustibles fósiles, tales como fuel-oil, se utilizan usualmente para generar este calor.

Por consiguiente, el principal objetivo del presente invento es disminuir los costos de la instalación y de producción del fosfato diamónico granular. Salladay en la patente U.S. No 4619684, dice que su reactor de presión permitiría modificar a las plantas existentes en un costo de \$5000 tonelada/hora de capacidad. El sistema de distribución de mezcla mejorado del presente invento permitirá no sólo que el proceso de Salladay funcione en las plantas de granulación a las presiones demandadas y se encuentren limitadas debido a la severa deformación del lecho, sino también mejorará su proceso disminuyendo la relación de reciclo resultante a cerca de 0.9072 kg (2 libras) por 0.4536 kg (1 libra) del producto. Por ejemplo, una planta existente de 50 toneladas por hora, usando el proceso de Achorn (patente U.S. No 3153574), puede aumentarse a cerca de 70 toneladas por hora por el reajuste del proceso debido a una menor relación de reciclo de 1.3610 kg (3 libras) por 0.4536 kg (1 libra) de producto, pero puede ser incluso incrementado por la práctica del presente invento a más de 90 toneladas por hora, un aumento de

cerca de 30% sobre el proceso de Salladay y en un costo total de modificación de alrededor de \$10000, que es solamente \$500 para cada aumento de tonelada/hora de capacidad.

Otro objetivo del presente invento, es la realización de las mejoras de la mezcla de distribución sobre el lecho de sólidos en el granulador con las mejoras correspondientes en la eficiencia de la granulación y disminución en la formación de un gran tamaño.

Otro objetivo sigue siendo el permitir que un reactor tubular funcione con eficacia a las altas presiones y permita una buena distribución de la mezcla que dará lugar a evoluciones más bajas del amoníaco, relaciones de reciclo, y eliminación de los requerimientos de secado por medio de combustibles fósiles.

Otro objetivo sigue siendo el efectuar la formación en una etapa, a presiones altas, una mezcla del fosfato amónico y una eficiente distribución de esta mezcla para proporcionar una fase líquida para la granulación de las partículas del fertilizante, los cuales son simultáneamente reaccionados con amoníaco, posteriormente en un granulador de tambor, para producir los gránulos homogéneos del fosfato diamónico que no requieren secado cuando se alimenta al proceso un ácido fosfórico con concentración nominal de 40% de  $P_2O_5$ .

El invento, junto con otros futuros objetivos y las respectivas ventajas que traen, será mejor entendido a partir de la consideración de la posterior descripción detallada, entendiéndose que esta descripción más detallada está dada únicamente por la ilustración y la explicación y no necesariamente por la limitación, puesto que se pueden realizar varios cambios por los expertos en la materia, sin salir del verdadero fin y alcance del actual invento.

## DESCRIPCIÓN DE LOS GRÁFICOS

Figura 14: Organigrama simplificado del proceso para la producción del fosfato diamónico granular

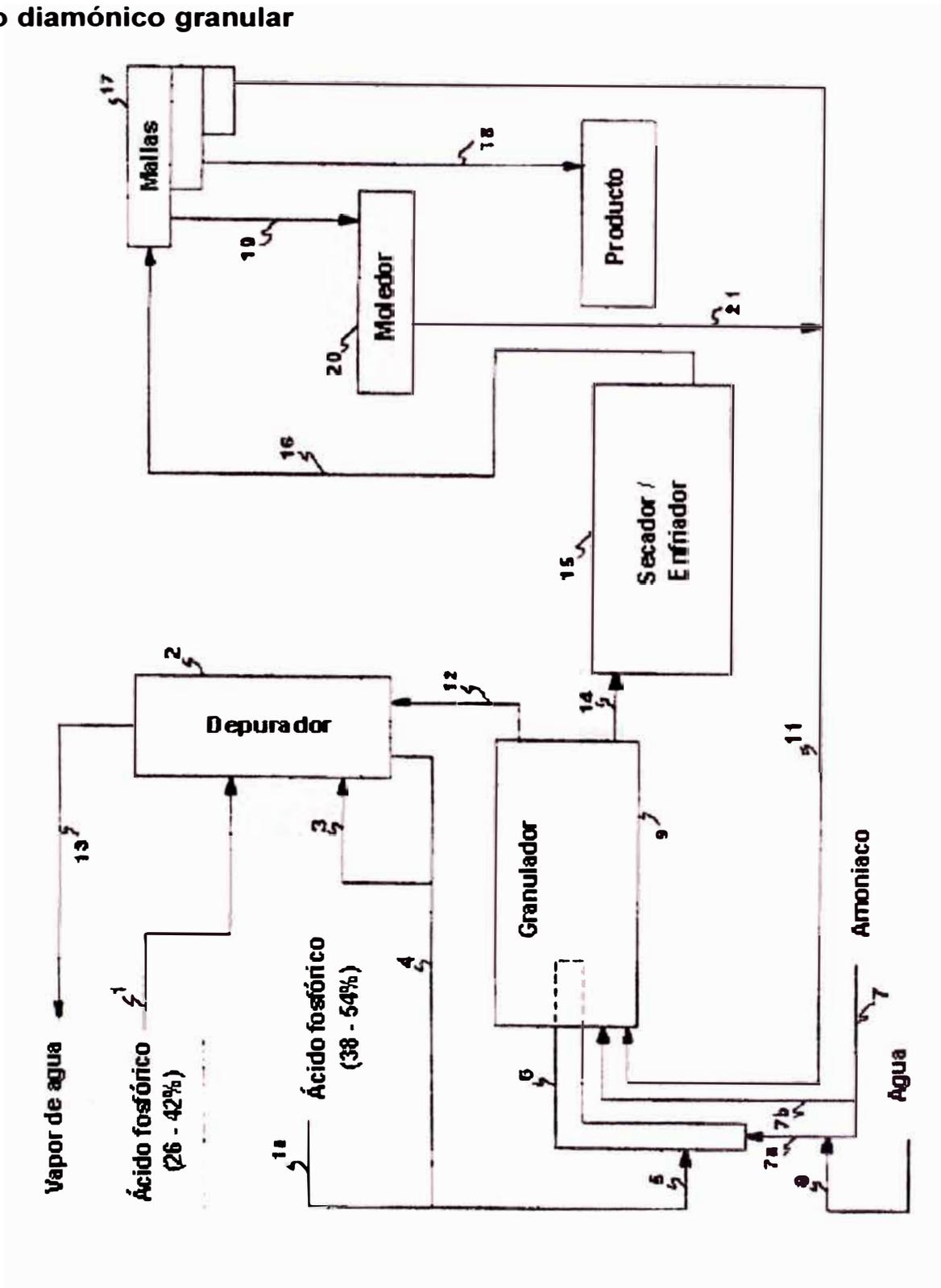
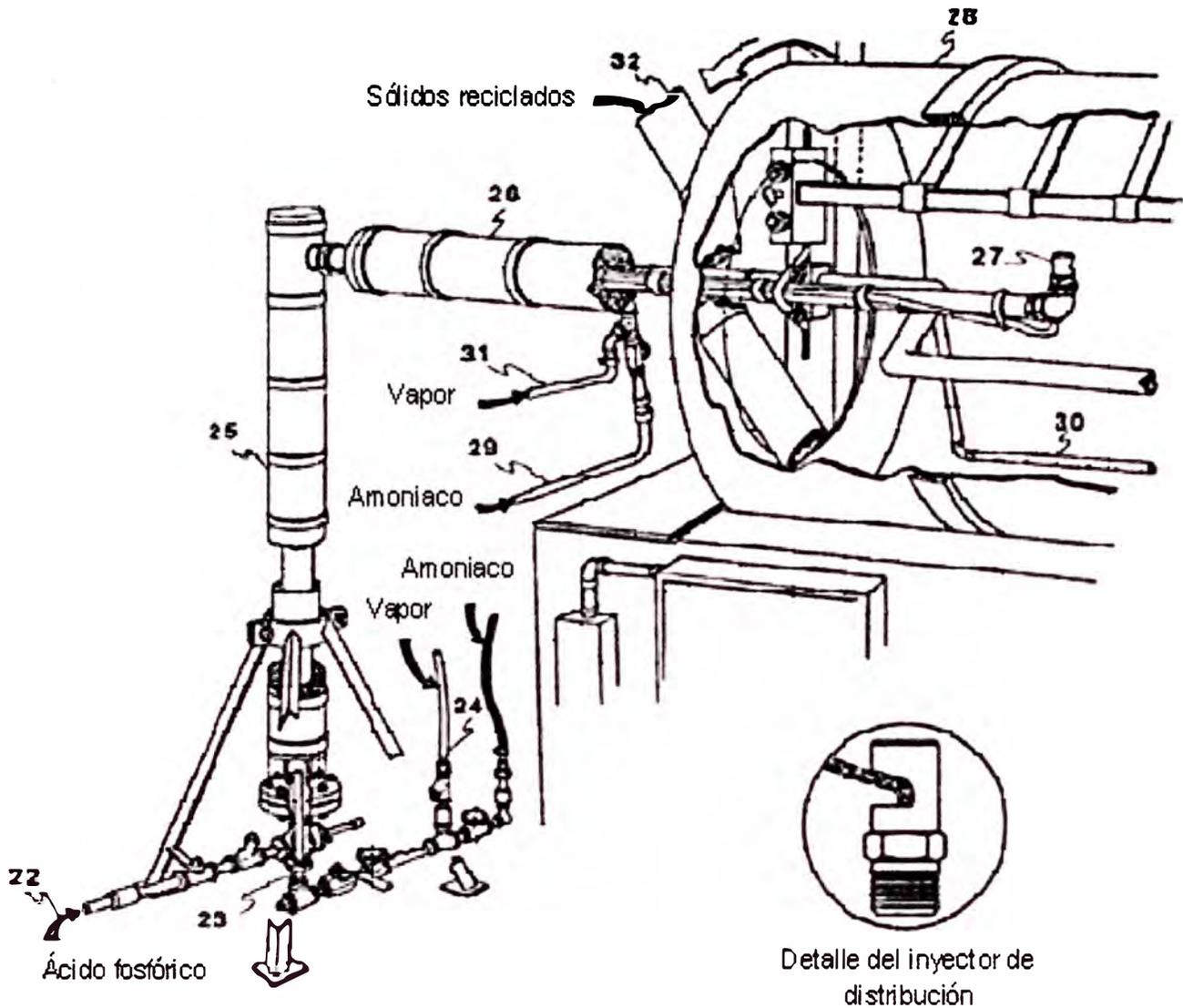
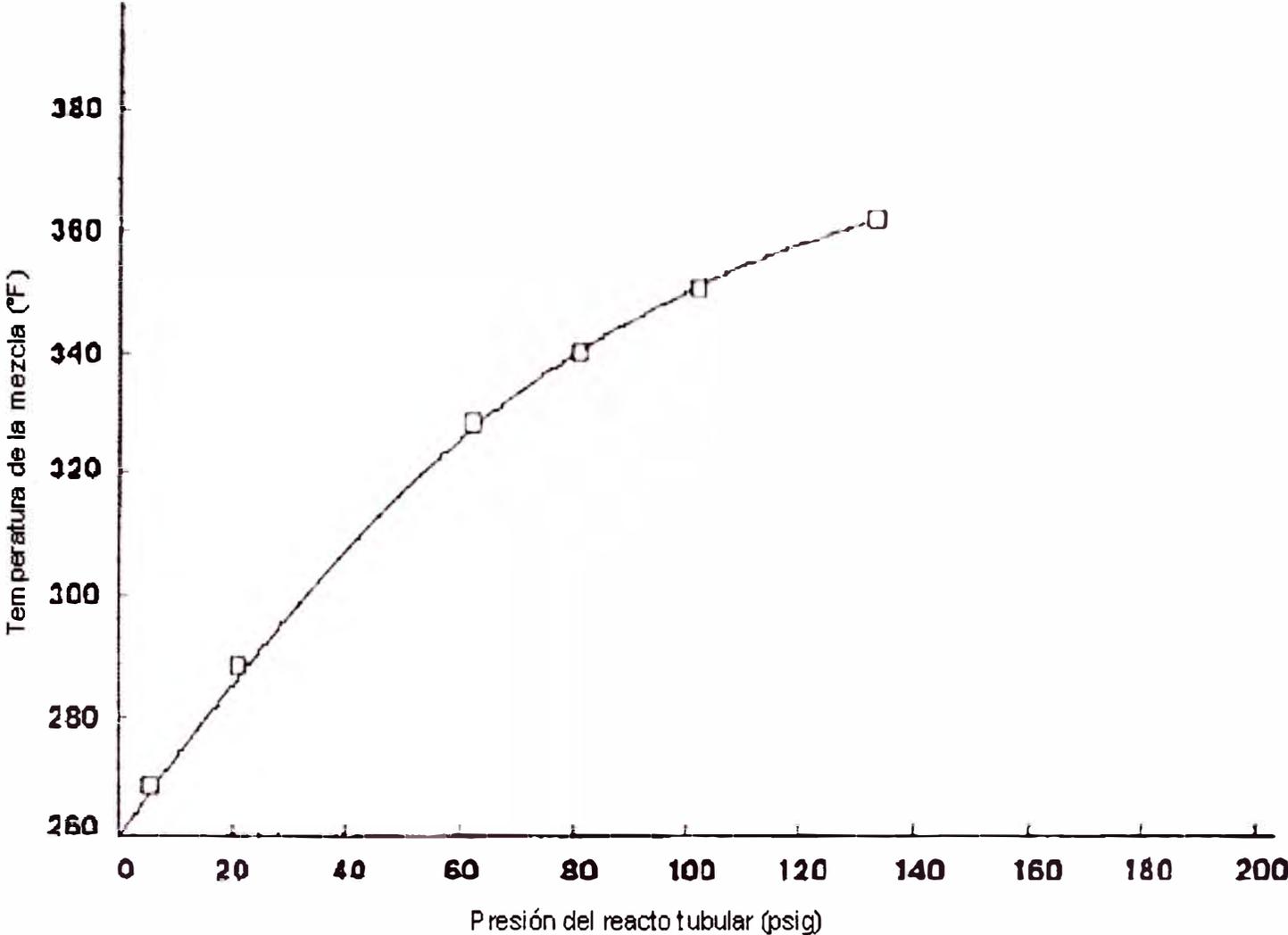


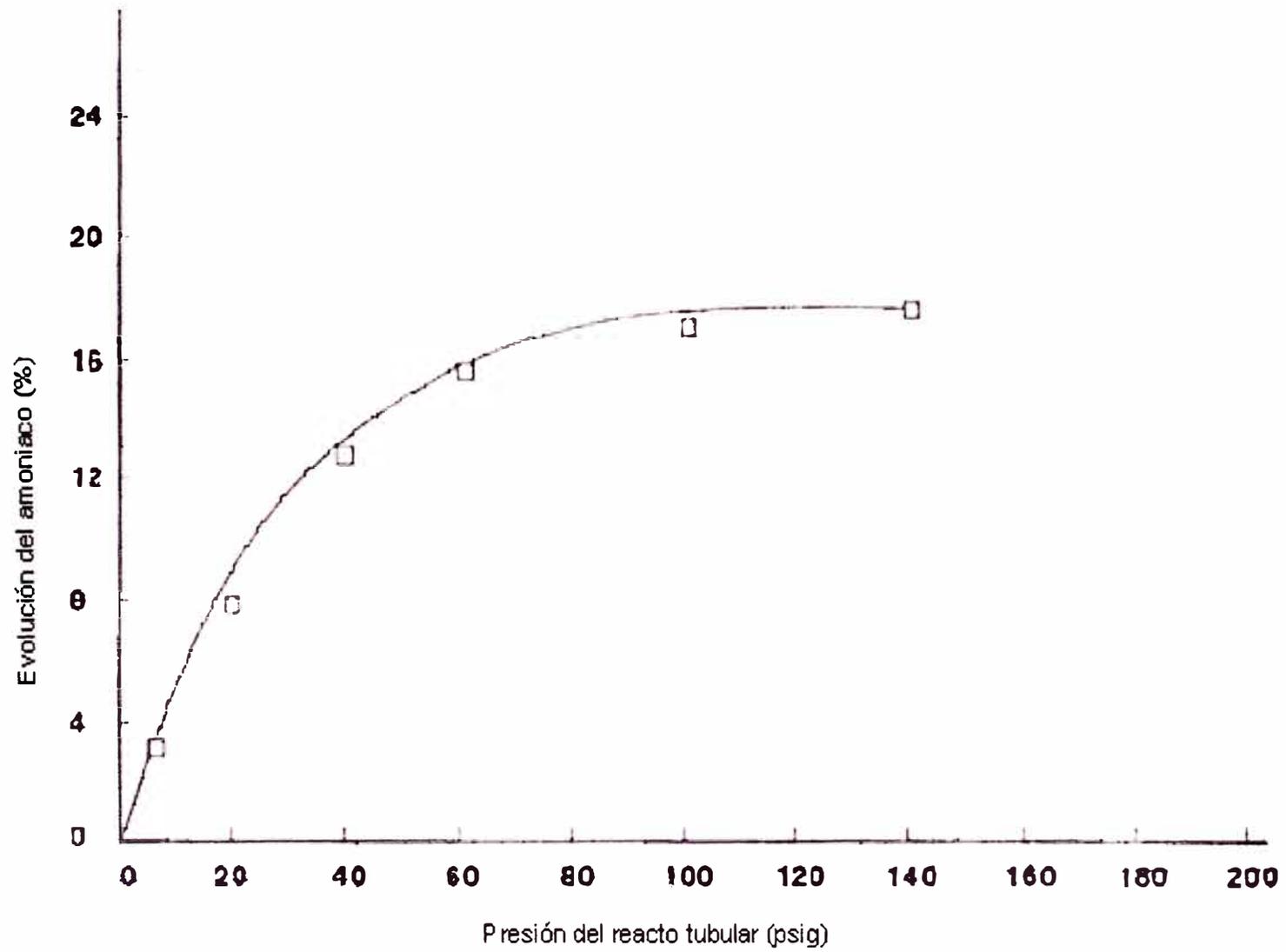
Figura 15: Ilustración en perspectiva de una configuración del reactor tubular y su relación con el granulador



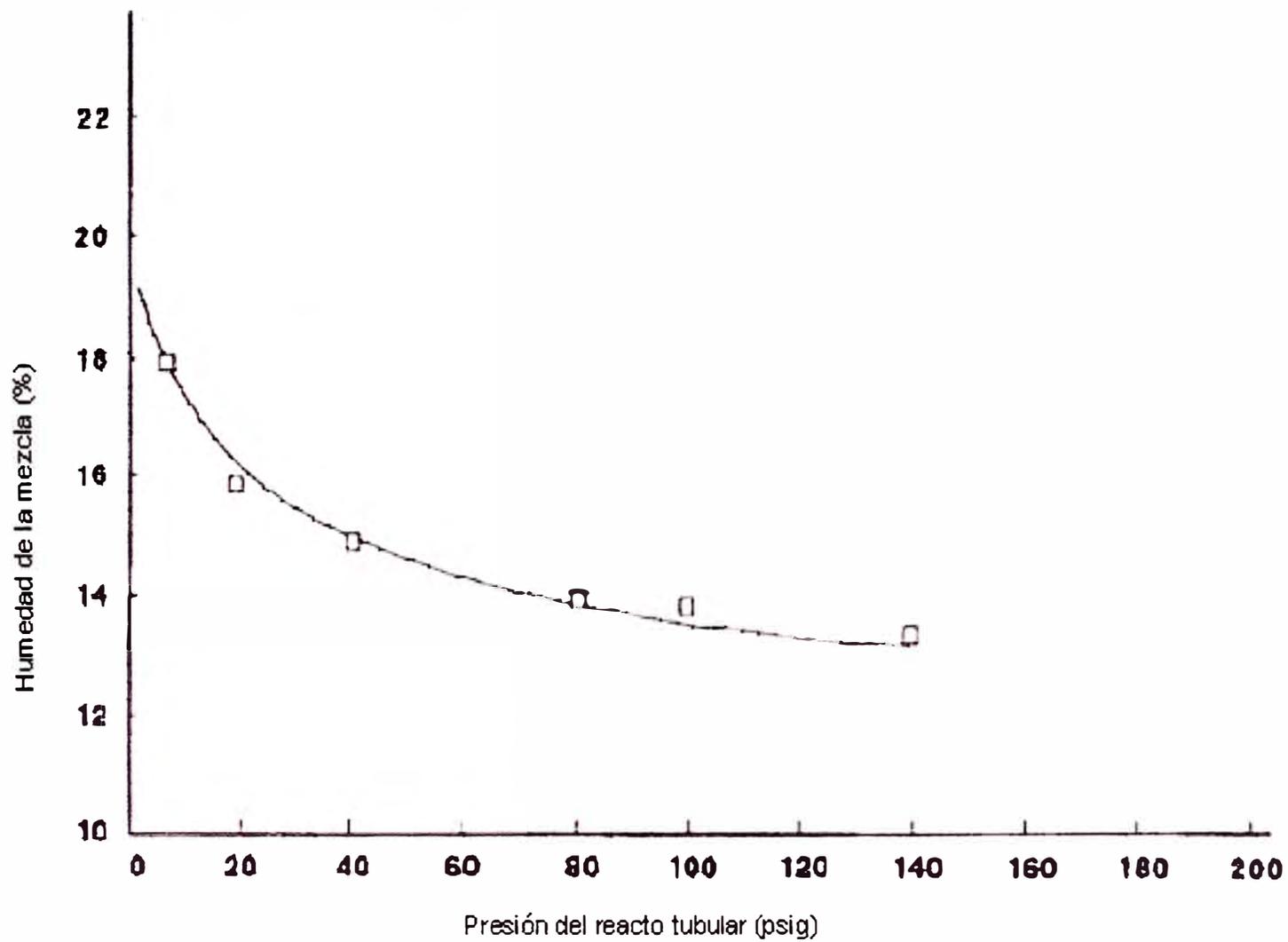
**Figura 16: Efecto de la presión de operación del reactor tubular sobre la temperatura de funcionamiento**



**Figura 17: Efecto de la presión de operación del reactor tubular sobre el total del amoniaco libre desarrollado en el reactor**



**Figura 18: Efecto de la presión de operación del reactor tubular sobre el contenido de humedad de la mezcla descargada del reactor**



## DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS GRÁFICOS

Refiriéndose específicamente a la figura 14 (página 111), en ella se muestra un diagrama simplificado del proceso del presente invento para la producción del fosfato diamónico granular. El ácido fosfórico alimentado a este proceso es traído de una fuente no mostrada y es usualmente separada en dos corrientes de alimentación hacia el proceso como se muestra en las líneas 1 y 1a. El ácido fosfórico de la línea 1, generalmente un ácido débil cuya concentración varía entre 26% y 42% de  $P_2O_5$ , es ingresado al proceso en el depurador-extractor-granulador (2) donde una porción es retirada y recirculada por la línea 3. Todas las concentraciones referidas para ser entendidas están sobre una base en cuanto al peso, a menos que se indique de otra manera. Una corriente del ácido fosfórico recirculado y retirado del depurador (2) por la línea 4 es mezclado con ácido fosfórico en la línea 1a, el cual usualmente es un ácido más fuerte con concentraciones que varían entre 38% y 54% de  $P_2O_5$ , para obtener una mezcla resultante de ácido en la línea 5 conveniente y disponible para alimentar al reactor tubular (6). La concentración de la corriente de alimentación del ácido en la línea 5 tiene una concentración entre 37% y 43% de  $P_2O_5$ , y reacciona rápidamente con la corriente gaseosa o líquida del amoníaco anhidro, alimentado de una fuente no mostrada a través de la línea 7 y la línea 7a hacia el reactor tubular (6). También se puede introducir agua desde una fuente no mostrada a través de la línea 8 hacia las líneas del amoníaco, en las líneas 7 y 7a, antes de que ingrese al reactor (6) con la finalidad de controlar la temperatura del producto resultante a un nivel predeterminado, si se desea, pero normalmente la temperatura debería ser ajustada por la variación de la concentración del ácido que se alimenta a través de la línea 5. La mezcla de reacción producida en el reactor tubular (6) se descarga en el granulador (9), el cual puede ser un granulador giratorio, donde la mezcla reacciona con una alimentación adicional de amoníaco alimentado de una fuente no mostrada a través de las líneas 7 y 7b y con partículas del producto finamente trituradas que se alimentan por la línea 11 hacia el granulador (9) donde se combinan para formar los gránulos del fosfato diamónico. El comúnmente utilizado granulador de tambor giratorio del tipo TVA es particularmente satisfactorio para contener los vapores

descargados del reactor tubular (6) y estos vapores se agotan en el tambor (9) a través de la corriente 12 hacia el granulador-extractor-depurador (2) donde la corriente del ácido fosfórico que recircula a través de la línea 3 remueve el amoníaco libre de dicha corriente del extractor antes de que dicha corriente se retire por la línea 13 donde el flúor es recuperado en un depurador tail-gas (no mostrado) antes de que el aire restante y el vapor de agua se retiren hacia la atmósfera. La corriente 14 de la descarga del granulador, que contiene diversos tamaños de las partículas sólidas del fosfato diamónico, se alimenta al enfriador / secador (15) en donde las partículas son enfriadas o, si se requiere, secadas más de los requisitos deseados, antes de ser introducido, vía la línea 16, a las mallas clasificadoras de tamaño (17). El producto deseado es retirado de las mallas (17) a través de la línea 18 y enfriado en un refrigerante (no mostrado) antes de transferirse al almacén como producto. El material de gran tamaño de las mallas (17) se ingresa a través la línea 19 a un molino de cadena, molino de jaula, o alguna trituradora similar (20) y el material machacado resultante es alimentado a través de la línea 21, y se combina con el material de tamaño insuficiente de las mallas (17) y regresando al granulador (9) a través de la línea 11.

Según lo anteriormente comentado, y refiriéndose ahora más específicamente a la figura 15 (página 112), se muestra la configuración del reactor tubular usado en el presente invento y su relación con el granulador. Una corriente de ácido fosfórico se alimenta desde una fuente no mostrada a través de la línea de entrada 22 cerca del fondo de la sección vertical (25) del reactor tubular (6) (véase figura 15, página 112). El amoníaco se agrega de una fuente no mostrada a través de la línea de entrada inferior (23) en una línea que se extiende en la sección vertical (25) y cerca de 3 pulgadas sobre la línea de entrada (22) del ácido fosfórico. La línea 24 es una entrada de vapor para limpiar la línea 25 y una línea 26 empleada durante los períodos de parada. La mezcla se mueve hacia arriba a través de la sección vertical (25) en una velocidad relativamente baja, antes de ingresar a la sección horizontal más pequeña (26) del reactor tubular (6) (véase figura 15, página 112) creándose una velocidad de mezcla más rápida para reducir el tiempo de retención en dicha sección horizontal (26) y reducir las pérdidas de calor

generadas por la reacción. La sección horizontal (26) transporta la mezcla al inyector de inundación del distribuidor (27). El inyector de inundación (27) se diseñó para obtener la presión de operación deseada del reactor tubular y rociar la mezcla sobre un lecho de sólidos en movimiento (no mostrado) el cual se mantiene dentro del granulador de tambor giratorio (28). El amoníaco adicional se agrega debajo de dicho lecho de sólidos en movimiento a través de la línea 29 por los agujeros perforados de la línea de burbujeo de amoníaco (30). Como se mostró en la patente U.S. No 2729554 de Nielsson este instrumento de distribución, es decir, el burbujeador de amoníaco (30) está provisto con numerosas aberturas en su estructura. El burbujeador (30) se sitúa bastante cerca de la pared interna del tambor (28) y por lo tanto está bien colocado debajo de la superficie del lecho y en una posición donde el material dentro del lecho se está moviendo en dirección de la rotación del tambor (28) y desde dichas aberturas generalmente se le hace frente en contra de la dirección de rotación del tambor (28), el amoníaco introducido generalmente se dirige en una dirección en contracorriente al movimiento del material sólido. El vapor está disponible a través de la entrada 31 para limpiar las aberturas en el burbujeador de amoníaco (30) cuando sea necesario para asegurar una distribución uniforme del ataque con amoníaco debajo del dispersor de mezcla de amplio ángulo que resulta del inyector de inundación (27). Los gránulos resultantes del DAP producido salen del granulador de tambor (28) hacia el extremo de descarga (no mostrado) y los sólidos resultantes son posteriormente enfriados y clasificados; el producto de tamaño insuficiente es reciclado continuamente al granulador de tambor (28) a través del conducto 32.

Antes de interpretar las figuras 16, 17, y 18, cabe anotar que una serie de pruebas especiales fueron realizadas con un reactor tubular a escala para determinar detalladamente el efecto de la presión de operación sobre los parámetros de funcionamiento. Antes de esto, una comparación detallada de solamente dos presiones de operación estaba disponible y los datos no eran concluyentes. Estas comparaciones no se podrían hacer durante estas pruebas de granulación debido a que el reactor descarga en un granulador incluido, no es fácilmente muestreado y están presentes dos fuentes, no

separables durante la operación en estado estacionario, para el amoníaco desarrollado. Estas pruebas conducidas en la búsqueda de determinar los parámetros que afectan el presente invento son valiosas para explicar y demostrar la tendencia del efecto de la presión sobre las variables de operación y por qué las explicaciones anteriores, basadas en la interpretación de las relaciones teóricas de la presión del vapor, eran erróneas. Los resultados de las pruebas se discuten con mayor detalle en el ejemplo 1; y las figuras 16, 17, y 18 son las mejores curvas estadísticas de las relaciones de los datos obtenidos de un total de más de 35 de pruebas.

Para la conveniencia del lector y para facilitar una mejor comprensión del significado de las figuras 16, 17, y 18 se realiza una descripción detallada en la discusión del ejemplo.

## VARIABLES RECOMENDADAS DEL INVENTO

El presente proceso mejorado se relaciona con la producción de un fosfato diamónico granular con las características físicas y químicas satisfactorias para su uso directo, la mezcla con otros fertilizantes, y las aplicaciones fluidizadas de fertilizantes en suspensión. Consiste esencialmente en proveer una corriente de ácido fosfórico débil con una concentración de  $P_2O_5$  entre 26% y 42% a un depurador, en un sistema de una o dos etapas, en donde dicho ácido es recirculado y parcialmente reaccionado con el amoníaco libre desarrollado del granulador; simultáneamente se mezcla una corriente lateral del ácido recirculado parcialmente reaccionando con el amoníaco de una corriente separada del ácido fosfórico más fuerte que tiene una concentración de  $P_2O_5$  entre 40% y 54% para obtener una corriente ácida mezclada de dichos ácidos en proporciones predeterminadas para producir una mezcla que se extiende entre 37% y 43% de  $P_2O_5$ ; simultáneamente, se alimenta dicha corriente de ácido fosfórico mezclado a la sección vertical del reactor tubular; al mismo tiempo se provee una corriente de amoníaco a dicha sección vertical del reactor tubular para contactarse con dicha corriente de ácido fosfórico mezclado a una temperatura entre 154.4 °C (310 °F) y 182.2 °C (360 °F) y, a

una presión entre 551576 Pa (80 psig) y 965258 Pa (140 psig); posteriormente, se introduce el producto de la reacción resultante del contacto del amoníaco con corriente de mezcla de los ácidos fosfóricos fuerte y débil en la sección vertical del reactor tubular en una extensión tubular de vaporización generalmente horizontal del reactor tubular para asegurar el contacto íntimo continuado entre dichos compuestos; posteriormente se descarga por la línea aguas abajo de la extensión tubular de vaporización horizontal del reactor tubular, a unas temperaturas relativamente altas, la mezcla del fosfato amónico y se introduce igualmente en el extremo superior del granulador de tambor horizontal ligeramente inclinado; a fin de mantener un lecho de partículas discretas de fosfato diamónico en movimiento; se retira por lo menos una porción de fosfato diamónico del extremo inferior de dicho granulador de tambor giratorio horizontal ligeramente inclinado; el material retirado se introduce en un medio enfriador; se retira el material y se introduce en un medio para clasificar el tamaño de las partículas; se retiran las partículas de gran tamaño y se ingresan a un medio donde se le reduce el tamaño, tal como una trituradora de cadena; luego se retira inicialmente las partículas trituradas de gran tamaño de dicho medio de reducción de tamaño y se vuelven a ingresar, junto con partículas de tamaño insuficiente con respecto al tamaño predeterminado, en el extremo superior del tambor y se retira de dichos medios de trituración como producto las partículas de fosfato diamónico cuyos granos tienen el tamaño adecuado; tal producto se encuentra seco, clasificado uniformemente en cuanto a su tamaño de partícula y libre de impurezas como resultado del hecho de que a altas temperaturas y presión constante, en por lo menos, la sección vertical del reactor tubular da lugar a un eficaz uso del calor de la reacción química para permitir (1) que se forme el fosfato diamónico que contiene 2% de humedad o menor; (2) la substancial eliminación de cualquier requisito externo de calor del proceso para remover el fosfato diamónico del extremo inferior del tambor giratorio horizontal e inclinado; (3) el proceso recicla relaciones de 2:1 o menores; y (4) baja evoluciones de amoníaco del tambor giratorio inclinado porque se mejora el enfriamiento debido al distribuidor de alta presión y de mezcla uniforme.

El invento utiliza flujos más altos de descargas de calor del reactor que los reactores tubulares empleados hasta ahora en procesos anteriores y, además, utiliza un nuevo método de distribución de la mezcla que resulta en una significativa mejor cobertura de la mezcla y una menor interrupción física del lecho de sólidos que se encuentran en el granulador de tambor. El reactor inicialmente está comprendido de una sección vertical agrandada con un flujo de calor de alrededor de  $114.5 \times 10^6$  kJ/hr.m<sup>2</sup> ( $70 \times 10^3$  Btu/hora.pulg<sup>2</sup>) que permite una reacción efectiva con un tiempo de reacción según lo necesitado para cantidades más altas de reacción con amoníaco mientras se permite que el reactor esté de un tamaño compacto que cabría más fácilmente en una planta existente o en una nueva. La sección horizontal del reactor tubular tiene un flujo mayor de calor de alrededor de  $654 \times 10^6$  kJ/hr.m<sup>2</sup> ( $400 \times 10^3$  Btu/hora.pulg<sup>2</sup>) el cual permite que la mezcla reaccionada casi completa de fosfato diamónico sea transferida rápidamente al distribuidor de mezcla en donde el inyector especialmente configurado utiliza un flujo del calor de  $6376.2 \times 10^6$  kJ/hr.m<sup>2</sup> ( $3.9 \times 10^6$  Btu/hora.pulg<sup>2</sup>) hasta  $27794 \times 10^6$  kJ/hr.m<sup>2</sup> ( $17 \times 10^6$  Btu/hora.pulg<sup>2</sup>) para evaporar más agua, agregar enfriamiento adicional al granulador con el incremento de la evaporación del agua, y distribuir eficiente y uniformemente la mezcla del lecho de sólidos en el granulador con pocas partículas mojadas y de gran tamaño de tal modo de obtener las mejoras en la eficiencia de la granulación y un mayor porcentaje de los granos con el tamaño adecuado que salen del tambor inclinado giratorio.

## EJEMPLOS

Para que los expertos en la materia puedan entender con detalle cómo el invento puede ser practicado, el siguiente ejemplo se da para una mejor ilustración.

### EJEMPLO 1

Para entender mejor el efecto de la presión sobre las variables de operación del reactor tubular durante esta serie de investigaciones, se

realizaron una serie de pruebas en una pequeña planta piloto a escala reducida. Estas pruebas fueron realizadas con un reactor tubular construido de 1.27 cm (½ pulgada) de diámetro, de acero inoxidable cédula 40 316L para una producción de 45.4 kg/hr (100 libras por hora). En las pruebas iniciales, una válvula de diafragma manualmente ajustable fue instalada en el extremo de la descarga del reactor tubular de modo que las presiones se pudieran mantener por el ajuste de la válvula. De esta manera, una serie de pruebas se realizaron sobre una gama de presiones y se obtuvieron datos consistentes bien correlacionados. Los resultados de esta serie de pruebas se resumen en las figuras 16, 17 y 18. En todas estas pruebas, se utilizó un ácido fosfórico obtenido mediante el proceso húmedo según el análisis mostrado en la Tabla XXVI. El amoníaco gaseoso a temperatura ambiente fue alimentado al reactor para reaccionar con el ácido.

**Tabla XXVI: Análisis del ácido fosfórico de alimentación**

| ANÁLISIS TÍPICO DE UNA ALIMENTACIÓN DE ÁCIDO FOSFÓRICO |      |
|--|------|
| % EN PESO  |      |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Total                    | 40.0 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                         | 1.2  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                         | 0.9  |
| MgO  | 0.6  |
| F  | 0.9  |
| SO <sub>3</sub>  | 2.2  |
| CaO  | 0.1  |
| Sólidos Insolubles en agua                             | 2.0  |
| Agua (K.F.)  | 38.0 |

La figura 16 (página 113) muestra que la temperatura aumentó de 128.9 °C (264 °F) a 182.2 °C (360 °F) cuando la presión de operación del reactor aumentó de 34473.5 Pa (5 psig) a 930784.5 (135 psig). Esto puede ser explicado teóricamente puesto que las tablas de propiedades termodinámicas del vapor indican que la temperatura del agua saturada aumenta con el aumento de la presión. Se puede deducir también de que se obtiene una mayor temperatura de la mezcla acuosa del fosfato amónico mientras la presión aumenta debido a su elevado punto de ebullición en las condiciones del equilibrio. Las temperaturas obtenidas en las más recientes pruebas de granulación en la planta piloto a escala más grande se comparan muy

favorablemente con la mejor curva estadística de las pruebas en plantas piloto de pequeña escala.

La figura 17 (página 114) muestra que, como se esperaba, la evolución del amoníaco del reactor tubular aumenta con el aumento de la presión debido a las mayores temperaturas y presiones de vapor del amoníaco resultantes. Sin embargo, inexplicablemente esta tendencia cambia entre 517102.5 Pa (75 psig) y 551573 Pa (80 psig), y la evolución del amoníaco es relativamente constante alrededor de 930784.5 Pa (135 psig) de presión. Esto indica que las reacciones cinéticas de la reacción entre el amoníaco y el ácido fosfórico llega a ser significativa y que la razón de incremento de la reacción con la presión compensa el incremento de la presión de vapor del amoníaco con el incremento de la presión y de la temperatura de modo que el índice total de la evolución del amoníaco libre siga siendo esencialmente constante. Esto es importante porque el funcionamiento a altas presiones es posible con un aumento mínimo en evoluciones del amoníaco pero, al mismo tiempo, la figura 18 (página 115) indica que las mezclas de una humedad menor pueden ser obtenidas porque se evapora más agua a presiones y temperaturas más altas de la mezcla descargada.

Un resultado igualmente significativo de esta serie de pruebas resultó de pruebas posteriores donde se emplearon otros métodos de descarga y distribución de la mezcla a presiones más altas. Se emplearon varios tipos de distribuidores de mezcla, sin embargo, era obvio que de la observación visual y de las indicaciones durante el muestreo de las mezclas que todos los distribuidores generaron una dispersión de alta velocidad y de alto impacto, las cuales son características que no serían convenientes a altas presiones para rociar la mezcla de distribución del reactor sobre el lecho de sólidos del granulador de la planta piloto. Otro tipo de distribuidor, un inyector de inundación, dio excelentes resultados pudiendo considerarse como un distribuidor muy superior y en consecuencia más conveniente. Incluso a más altas presiones, es decir, sobre 689470 Pa (100 psig), el patrón de dispersión de este inyector era uniforme sobre un amplio ángulo y llegó a ser obvio,

mientras que se obtenían muestras de la mezcla para el análisis químico, que este dispersor tenía un efecto de bajo impacto.

## PARÁMETROS DEL INVENTO

Los trabajos de prueba de la planta piloto junto con la operación del reactor tubular y con una producción completa del fosfato diamónico han conducido a una colección de criterios de operación del proceso. En la tabla XXVII se presentan los parámetros y las variables aceptables y preferidas.

**Tabla XXVII: Criterio para producir Fosfato Diamónico con una Distribución de Mezcla a Alta Presión en el Reactor Tubular**

|  | Límites                              | Preferido            |
|--|--------------------------------------|----------------------|
| <b>Concentración de la alimentación del Ácido, % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>                    |                                      |                      |
| Hacia el depurador   | <b>26 – 42</b>                       | <b>27</b>            |
| Hacia el reactor   | <b>37 – 43</b>                       | <b>40</b>            |
| <b>Alimentación de Amoníaco al proceso, % del total</b>  |                                      |                      |
| Hacia el depurador   | <b>60 – 80</b>                       | <b>70</b>            |
| Hacia el granulador  | <b>20 – 40</b>                       | <b>30</b>            |
| <b>Reactor Tubular</b>   |                                      |                      |
| Presión, Pa (Psig)   | <b>551816 – 965678</b> (80 – 140)    | <b>620793</b> (90)   |
| Temperatura, °C (°F)   | <b>154.4 – 182.2</b> (310 – 360)     | <b>171.1</b> (340)   |
| Relación Molar NH <sub>3</sub> :H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>                                     | <b>1.2 – 1.6</b>                     | <b>1.45</b>          |
| Carga de Amoníaco, kg/hr.m <sup>3</sup><br>(lb/hr.pulg <sup>3</sup> )                              | <b>8305.5 – 27685</b> (0.3 – 1.0)    | <b>16611</b> (0.6)   |
| <b>Flujo de Calor, 10<sup>6</sup> kJ/hr.m<sup>2</sup> (10<sup>6</sup> Btu/hr.pulg<sup>2</sup>)</b> |                                      |                      |
| Sección Vertical   | <b>65.42 – 170.17</b> (0.04 – 0.16)  | <b>114.48</b> (0.07) |
| Sección horizontal   | <b>327.02 – 1635.41</b> (0.2 – 1.0)  | <b>654.19</b> (0.4)  |
| Descarga del Distribuidor  | <b>6377.90 – 27801.22</b> (3.9-17.0) | <b>8176.90</b> (5)   |
| <b>Granulador</b>  |                                      |                      |
| Temperatura, °C (°F)   | <b>76.7 – 104.4</b> (170 – 220)      | <b>87.8</b> (190)    |
| Relación de Reciclo, kg/kg producto<br>(lb/lb producto)  | <b>0.5 – 4</b> (0.5 – 4)             | <b>2</b> (2)         |

La presión de operación del reactor tubular y los flujos de calor son un resultado directo del tamaño de la abertura del orificio en el inyector dispersor de inundación. Para una presión dada y una producción de una tonelada por hora, el área total de la sección transversal requerida del inyector para el flujo

puede ser calculada mediante la mejor ecuación estadística encontrada a partir de las pruebas y es la siguiente:

$$A = 0.62 - 0.00855 \times P + 0.000036 \times P^2$$

Donde está P la presión de operación del reactor tubular en psig y A es el área total de la sección transversal para el flujo en pulgadas cuadradas requeridas para cada tonelada por hora de producción instantánea.

Refiriéndose a la tabla XXVII anterior, puede ser visto según lo indicado por los bajos cargamentos de amoníaco debido a que se requieren tiempos de retención más altos para el reactor tubular que se mostraron en los trabajos de Achorn en la patente U.S. N° 3153574 y Norton en la patente U.S. N° 4134750 y; además, aunque tiempos de retención similares son utilizados en este invento, como en el anterior trabajo de Salladay, el reactor tubular del actual invento tiene una configuración de diseño considerablemente más compacta que el reactor largo e inclinado de Salladay. Esto se logra con una longitud inicial pequeña, una sección vertical de gran diámetro y altos tiempos de retención para obtener un alto cociente de mezcla requerido de  $\text{NH}_3:\text{H}_3\text{PO}_4$  para producir el fosfato diamónico y resultados en un flujo bajo de calor entre un rango de  $65.41 \times 10^6$  kJ/hr.m<sup>2</sup> ( $0.04 \times 10^6$  Btu/hr.pulg<sup>2</sup>) y  $261.66 \times 10^6$  kJ/hr.m<sup>2</sup> ( $0.16 \times 10^6$  Btu/hr.pulg<sup>2</sup>) alrededor del área de sección transversal mientras se mantiene un cargamento de amoníaco entre un rango de 8305.5 kg/hr.m<sup>3</sup> (0,3 lb/hr.pulg<sup>3</sup>) y 27685 kg/hr.m<sup>3</sup> (1,0 lb/hr.pulg<sup>3</sup>). Esta sección vertical es seguida por un área de transferencia horizontal y pequeña con un flujo de calor mayor y tiempo de retención corto aguas arriba del distribuidor de mezcla. El flujo de calor para la sección horizontal debería estar entre  $327.07 \times 10^6$  kJ/hr.m<sup>2</sup> ( $0.2 \times 10^6$  Btu/hr.pulg<sup>2</sup>) y  $1635.36 \times 10^6$  kJ/hr.m<sup>2</sup> ( $1.0 \times 10^6$  Btu/hr.pulg<sup>2</sup>) y para el distribuidor debe estar entre  $6377.9 \times 10^6$  kJ/hr.m<sup>2</sup> ( $3.9 \times 10^6$  Btu/hr.pulg<sup>2</sup>) y  $27801.2 \times 10^6$  kJ/hr.m<sup>2</sup> ( $17 \times 10^6$  Btu/hr.pulg<sup>2</sup>). El reactor funciona a presiones y temperaturas más altas que los reactores anteriores. El rango de temperatura normal está entre 154.4 °C (310 °F) y 182.2 °C (360 °F); normalmente a 171.1 °C (340 °F), que es la temperatura preferida. El rango de presión está entre 551576 Pa (80 psig) y 965258 Pa (140 psig). Incluso a estas altas presiones, y

correspondientemente altos flujos de calor, el diseño del inyector del distribuidor de mezcla permite una distribución uniforme de bajo impacto de la mezcla del reactor tubular que con el enfriamiento por evaporación adicional obtenido con el distribuidor; a presiones más altas dan como resultado un bajo coeficiente de reciclo de solamente 2:1.

**CAPÍTULO V:  
EVALUACIÓN  
ECONÓMICA**

## V.1 ANÁLISIS ECONÓMICO

De los datos obtenidos de las patentes descritas anteriormente se han podido extraer los siguientes datos con respecto a la producción de ácido fosfórico y producción de DAP.

Con respecto a la producción de ácido fosfórico y la relación de alimentación con respecto a los pesos dada por la patente US2004/0047790 A1, teniendo en cuenta las pérdidas del sistema y las variables de diseño y control del proceso, se obtiene que:

|   |       |
|---|-------|
| Ácido Sulfúrico / roca fosfórica (31.47% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )                          | 0.844 |
| Ácido Sulfúrico / P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> producido (39% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )    | 2.851 |
| Yeso fosfatado / roca fosfórica (31.47% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )                           | 1.385 |
| Yeso fosfatado / P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> en la roca (31.47% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | 4.401 |
| Hemihidrato / P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> en la roca (31.47% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )    | 3.448 |

Para obtener el ácido fosfórico clarificado de acuerdo a las relaciones dadas anteriormente por el proceso de la Compañía J. R. Simplot, se obtienen las siguientes relaciones:

A. Fosfórico Clarificado (54% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) / A. Fosfórico alimentación (39% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) :  
0.505

A. Fosfórico Refinado (30% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) / A. Fosfórico alimentación (39% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)  
0.364

Finalmente, para obtener el producto final, es decir, el Fosfato Diamónico (DAP) se requieren las siguientes relaciones en peso de los productos según la patente US 4758261 teniendo en cuenta sus respectivos requerimientos y variables de diseño y control:

|  |       |
|--|-------|
| DAP producido / A. Fosfórico (40% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )          | 0.949 |
| DAP producido / Amoniaco (30% en peso)                                     | 4.688 |
| A. Fosfórico (40% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) / Amoniaco (30% en peso) | 4.938 |

De las anteriores relaciones, deducidos por el proceso y las patentes antes mencionadas y descritas, se obtiene que para producir 1 TM de DAP se requiere aproximadamente:

- ✓ 1.6 TM de roca fosfórica con una concentración de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> entre 30% y 35%.
- ✓ 1.3 TM de ácido sulfúrico con una concentración del 98% en peso.
- ✓ 0.2 TM de amoniaco con una concentración en peso entre 10% y 30%.

Cabe resaltar que adicionalmente se produce aproximadamente 1.7 TM de yeso dihidrato por cada tonelada métrica de DAP producida. Asimismo, relaciones obtenidas para la producción del fosfato diamónico son exclusivamente para su respectiva producción, es decir, el ácido fosfórico obtenido como producto intermedio, y a la vez es la materia prima principal, es utilizado exclusivamente para producir el fosfato diamónico. Si se desea obtener ácido fosfórico para comercialización se deberá requerir una mayor cantidad de roca fosfórica y ácido sulfúrico teniendo en cuenta las relaciones deducidas a partir del proceso y patentes descritas.

A continuación se presenta la evaluación económica de la producción del fosfato diamónico a partir de la roca fosfórica, el precio de la roca fosfórica que se da como materia prima representa todos los gastos de procesamiento para producir la roca fosfórica.

## V.1.1 Capital Fijo

### EVALUACIÓN ECONÓMICA: Complejo Petroquímico de Fertilizantes Bayóvar

#### Capital Fijo:

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| Límite de Batería             | I1   |
| Off – Site                    | I2   |
| Unidades totales              | I1 + I2  |
| Capacidad de Instalación      | $I3 = 0.12 \times (I1 + I2)$                     |
| Piezas de Recambio            | $I4 = 0$   |
| Gastos de Licenciate          | $I5 = 0.10 \times (I1 + I2)$                     |
| Capital Fijo                  | $I1 + I2 + I3 + I4 + I5$                         |
| Gastos Iniciales de químicos: | I6   |
| Interés recalado              | $I7 = 0.09 \times \text{Capital Fijo}$           |
| Gastos de Arranque            | I8   |
| Gastos Operativos Iniciales   | $I6 + I8 = 3 \text{ meses de Gastos Operativos}$ |

Se calculan en 600 millones de dólares las inversiones en Bayóvar, que comprenden la explotación minera de roca fosfórica, acceso portuario y construcción de una planta de fertilizantes.

|                  |   |   |
|------------------|---|---|
| I1 + I2          | = | 600 MM US\$                                     |
| Unidades Totales | = | 600 MM US\$                                     |
| I3               | = | 72 MM US\$                                      |
| I4               | = | 0 MM US\$                                       |
| I5               | = | 60 MM US\$                                      |
| Capital Fijo     | = | 732 MM US\$                                     |
| I7               | = | 65.88 MM US\$                                   |
| I6 + I8          | = | 3 meses de Gastos Operativos (291.1 MMUS\$/año) |
| I6 + I8          | = | 73.53 MM US\$                                   |
| Total Inversión  | = | 871.41 MM US\$                                  |

### V.1.2 Gastos Operativos para la producción de DAP:

| <b>Materia Prima</b> | <b>Cantidad</b>  | <b>Precio Unitario</b> | <b>Precio / TM de DAP</b> | <b>Precio Anual Total</b> |
|----------------------|------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Amoniaco             | 0.21 TM / TM DAP | 150.00 US\$ / TM       | 31.50 US\$ / TM DAP       | 47.25 MM US\$             |
| Roca Fosfórica       | 1.60 TM / TM DAP | 37.55 US\$ / TM        | 60.08 US\$ / TM DAP       | 90.12 MM US\$             |
| Costos de Operación  |                  |                        | 70.00 US\$ / TM DAP       | 105.00 MM US\$            |
| Ácido Sulfúrico      | 1.30 TM / TM DAP | 25.00 US\$ / TM        | 32.50 US\$ / TM DAP       | 48.75 MM US\$             |
|                      |                  |                        | <b>TOTAL</b>              | <b>291.12 MM US\$</b>     |

### V.1.3 Capital de Trabajo

#### Carga Fija

$$\text{Costo de Unidad Total} = I1 + I2 = 600 \text{ MM US\$}$$

#### **Forma de Pago:**

$$\text{Capital propio} = 20\% (I1 + I2) = 120 \text{ MM US\$}$$

$$\text{Préstamos} = 80\% (I1 + I2) = 480 \text{ MMUS\$}$$

#### Anualidad = AMORTIZACIÓN ANUAL + INTERESES

$$R = \frac{P(1+i)^n \times i}{(1+i)^n - 1}$$

R = Anualidad

i = interés = 15% en Perú

P = Préstamo

n = períodos o años = 20

Reemplazando:

$$\text{Anualidad} = 89.06 \text{ MM US\$ / año}$$

$$\begin{aligned} \text{Tasa de Seguro} &= 0.02 \times (I1 + I2) \\ &= 12 \text{ MM US\$ / año} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gastos Generales} &= 0.01 \times (I1 + I2) \\ &= 6 \text{ MM US\$ / año} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mantenimiento} &= 0.04 \times (I1 + I2) \\ &= 24 \text{ MM US\$ /año} \end{aligned}$$

#### V.1.4 Flujo de Caja

|                               |   |  |
|-------------------------------|---|--|
| Inversión                     | = | 870.66 MM US\$                                   |
| Gastos Operativos             | = | 291.12 MM US\$ / año                             |
| Carga Fija                    | = | 42 MM US\$ / año                                 |
| Anualidad                     | = | 89.06 MM US\$ / año                              |
| Gastos de Arranque            | = | 145.56 MM US\$ (2 x Gastos Operativos Iniciales) |
| Depreciación $= (I1 + I2)/20$ | = | 30 MM US\$ / año                                 |

Ingreso:

| Producto              | Precio Unitario | Cantidad                   | Venta Total              |
|-----------------------|-----------------|----------------------------|--------------------------|
| Roca fosfórica        | 30 US\$ / TM    | 4.5 MM TM / año            | 135 MM US\$ / año        |
| Fosfato Diamónico DAP | 320 US\$ / TM   | 1.5 MM TM / año            | 480 MM US\$ / año        |
|                       |                 | <b>Ingreso Total anual</b> | <b>615 MM US\$ / año</b> |

Flujo de Caja Económico para una duración del Proyecto de 20 años

| <b>Año</b>                                     | <b>0</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b>  | <b>4</b>  | <b>5</b>  | <b>6</b>  |
|--|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Inversión (MM US\$)</b>                     | 870.66   | 145.56   |          |           |           |           |           |
| <b>Ingreso (MM US\$ / año)</b>                 |          | 615      | 615      | 615       | 615       | 615       | 615       |
| <b>Egreso (MM US\$ / año)</b>                  |          | 333.12   | 333.12   | 333.12    | 333.12    | 333.12    | 333.12    |
| <b>Depreciación (MM US\$ / año)</b>            |          | 30       | 30       | 30        | 30        | 30        | 30        |
| <b>Utilidad Bruta (MM US\$ / año)</b>          |          | 106.32   | 251.88   | 251.88    | 251.88    | 251.88    | 251.88    |
| <b>Impuesto (30% UB) (MM US\$ / año)</b>       |          | 31.896   | 75.564   | 75.564    | 75.564    | 75.564    | 75.564    |
| <b>Flujo de Caja Económico (MM US\$ / año)</b> | -870.66  | 104.424  | 206.316  | 206.316   | 206.316   | 206.316   | 206.316   |
| <b>Año</b>                                     | <b>7</b> | <b>8</b> | <b>9</b> | <b>10</b> | <b>11</b> | <b>12</b> | <b>13</b> |
| <b>Inversión (MM US\$)</b>                     |          |          |          |           |           |           |           |
| <b>Ingreso (MM US\$ / año)</b>                 | 615      | 615      | 615      | 615       | 615       | 615       | 615       |
| <b>Egreso (MM US\$ / año)</b>                  | 333.12   | 333.12   | 333.12   | 333.12    | 333.12    | 333.12    | 333.12    |
| <b>Depreciación (MM US\$ / año)</b>            | 30       | 30       | 30       | 30        | 30        | 30        | 30        |
| <b>Utilidad Bruta (MM US\$ / año)</b>          | 251.88   | 251.88   | 251.88   | 251.88    | 251.88    | 251.88    | 251.88    |
| <b>Impuesto (30% UB) (MM US\$ / año)</b>       | 75.564   | 75.564   | 75.564   | 75.564    | 75.564    | 75.564    | 75.564    |
| <b>Flujo de Caja Económico (MM US\$ / año)</b> | 206.316  | 206.316  | 206.316  | 206.316   | 206.316   | 206.316   | 206.316   |

| Año                                     | 14      | 15      | 16      | 17      | 18      | 19      | 20      |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Inversión (MM US\$)                     |         |         |         |         |         |         |         |
| Ingreso (MM US\$ / año)                 | 615     | 615     | 615     | 615     | 615     | 615     | 615     |
| Egreso (MM US\$ / año)                  | 333.12  | 333.12  | 333.12  | 333.12  | 333.12  | 333.12  | 333.12  |
| Depreciación (MM US\$ / año)            | 30      | 30      | 30      | 30      | 30      | 30      | 30      |
| Utilidad Bruta (MM US\$ / año)          | 251.88  | 251.88  | 251.88  | 251.88  | 251.88  | 251.88  | 251.88  |
| Impuesto (30% UB) (MM US\$ / año)       | 75.564  | 75.564  | 75.564  | 75.564  | 75.564  | 75.564  | 75.564  |
| Flujo de Caja Económico (MM US\$ / año) | 206.316 | 206.316 | 206.316 | 206.316 | 206.316 | 206.316 | 206.316 |

Valor Neto Actual (VAN)

El VAN se obtiene mediante la fórmula:

$$VAN = \sum_{p=1}^n \frac{Gp - Ip}{(1 + i)^p}$$

p = año en cuestión

i = 15%

Gp - Ip = Flujo de Caja Económico

n = 20 años

Reemplazando:

|               |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Año</b>    | <b>0</b>  | <b>1</b>  | <b>2</b>  | <b>3</b>  | <b>4</b>  | <b>5</b>  | <b>6</b>  | <b>7</b>  | <b>8</b>  | <b>9</b>  |           |
| <b>Van(p)</b> | -870.66   | 90380     | 156.00    | 135.66    | 117.96    | 102.58    | 89.20     | 77.56     | 67.45     | 58.65     |           |
| <b>Año</b>    | <b>10</b> | <b>11</b> | <b>12</b> | <b>13</b> | <b>14</b> | <b>15</b> | <b>16</b> | <b>17</b> | <b>18</b> | <b>19</b> | <b>20</b> |
| <b>Van(p)</b> | 51.00     | 44.35     | 38.56     | 33.53     | 29.16     | 25.36     | 22.05     | 19.17     | 16.67     | 14.50     | 12.61     |

|                  |                       |
|------------------|-----------------------|
| <b>VAN TOTAL</b> | <b>332.14 MM US\$</b> |
|------------------|-----------------------|

Tasa Interna de Retorno (TIR)

El TIR se obtiene mediante la fórmula:

$$TIR = \sum_{p=1}^n \frac{Gp - Ip}{(1 + i)^p} = 0$$

p = año en cuestión

i = a calcular

Gp - Ip = Flujo de Caja Económico

n = 20 años

Reemplazando se obtiene: **TIR = 21%**

## Pay Out Time (PT)

Se define el POT como el tiempo mínimo en que se recuperará toda la inversión si se invirtieses todo lo ganado

El POT se obtiene mediante la fórmula:

$$POT = \frac{CA}{(I - E) \times (1 - \alpha) + A}$$

CA = Capital Amortizable  
I = Ingresos  
E = Costo Operativo  
 $\alpha$  = Tasa de Impuesto  
A = Amortización + Interés

Reemplazando se obtiene: **POT = 4.9 años**

### V.1.5 Resumen y Resultados

Como resultado de la Evaluación Económica, se observa que el presente Proyecto de implementar un complejo de Fertilizantes es bastante interesante ya que por los tres aspectos evaluados nos sale un resultado favorable, los cuales son:

- VAN = 332.14 MM US \$, es mayor que cero
- TIR = 21.00 %, es mayor a la tasa asumida que es 15 %
- POT = 4.9 años, el cual es un tiempo muy corto para la recuperación de la inversión.

**CAPITULO VI:**  
**RESULTADOS Y**  
**CONCLUSIONES**

## VI.1 CONCLUSIONES

- La inversión en los yacimientos mineros de Bayóvar, contribuirá a mejorar el déficit de la balanza comercial de fertilizantes, exportar cien millones de dólares de roca fosfórica al año, generar empleo para más de cinco mil trabajadores. Permitirá a la región contar con una industria de derivados de la roca fosfórica y fortalecer no sólo la minería sino también el agro, principal generador de empleo.
- La exportación de roca fosfórica, exclusivamente como tal, es perjudicial para el país, ya que la roca tiene bajos precios en el mercado (25 a 30 dólares por tonelada métrica). Lo conveniente es, entonces, exportar el mayor valor agregado; de ahí la exigencia para que el inversionista instale una planta para producir fosfato diamónico, que es un fertilizante moderno, de gran uso en el mercado y que puede ser utilizado por la agricultura peruana (para suelos ácidos la roca fosfórica natural y para los suelos alcalinos el fosfato diamónico que produzca la industria).
- La explotación en gran escala de la roca fosfórica es una operación muy difícil, por cuanto el mercado no está preparado para utilizar la roca en aplicación directa a la agricultura, aunque, últimamente, hay una promoción muy grande para este efecto, pues es la única forma de proveer fósforo a los cultivos ecológicos. Es cierto que tiene un futuro muy grande la utilización directa de la roca, pero no es lo mismo exportar la roca fosfórica que vale US\$ 30 /TM que exportar fosfato diamónico que está entre US\$ 200 /TM y US\$ 350 / TM.
- Uno de los méritos del proyecto Bayóvar es el constituir un proyecto catalizador. Para producir un millón de toneladas métricas de fosfato diamónico se requiere 1,3 millones de toneladas métricas de ácido

sulfúrico, que es un subproducto de la explotación minera del cobre y del hierro; y este insumo puede provenir de Tambogrande, Michiquillay y La Granja. Tambogrande no tiene previsto una fundición, pero Michiquillay y La Granja sí tienen previsto fundiciones y, entonces, en lugar de estar éstas en valles (en la parte alta), donde los humos pueden convertirse en problemas de contaminación, deberían estar en Bayóvar (los concentrados arriba, pero la fundición a la orilla del mar): esto es una propuesta bastante buena.

- Con la puesta en marcha del proyecto Bayóvar, los agricultores dispondrán de fertilizantes a precios menores en aproximadamente 30 por ciento, en comparación con los que se pagan en la actualidad por los importados.
- La explotación de la roca fosfórica en gran escala se ve favorecida debido a que la demanda del mercado nacional se encuentra básicamente en la Selva y la Sierra, y es de aproximadamente 1.5 millones de toneladas métricas de roca fosfórica y 1 millón de toneladas métricas de DAP al año; en cuanto al mercado internacional está centrado en 4 millones de toneladas métricas de fertilizantes fosfatados para la Cuenca del Pacífico, este último mercado se ve favorecido debido a su ubicación con proximidad a la costa Oeste de América y a los países de la Cuenca del Pacífico deficitarios en fertilizantes fosfatados.

## **VI.2 RECOMENDACIONES**

- Debido a la calidad de la roca fosfórica de Bayóvar que hace que se ubique entre las mejores a nivel mundial, considerándosele una roca suave, blanda, soluble al ácido y tiene aplicación directa como fertilizante, con bajo nivel de impurezas como fierro, aluminio, cadmio y metales pesados, traerá como consecuencia un bajo costo de producción, que puede estar situado en el tercio más bajo en la curva de costos del fosfato diamónico, por lo que la inversión se vería favorecida desde el punto de vista operacional.
- Una vez concretado el proceso de privatización de los fosfatos de Bayóvar, el estado peruano a través de PROINVERSION debería llamar

inmediatamente a licitación los yacimientos de salmuera con cloruro de potasio, para su futura explotación y así integrarse a la producción de fertilizantes, convirtiendo de esta manera a Bayóvar en un gran complejo de fertilizantes.

- Debido a que se posee una importante reserva no probada de 10 mil millones de toneladas métricas de roca fosfórica, siendo actualmente el monto de privatización solamente de 816 millones de toneladas métricas del área total, de la cual se obtiene aproximadamente 262 millones de toneladas métricas de concentrado de roca fosfórica, con una geología favorable, ya que consta de capas sedimentarias planas y cercanas a la superficie, así como una alta recuperación metalúrgica sólo con procesos de lavado (sin flotación) a 28.3% de  $P_2O_5$ , la cual se incrementa a 30.5% de  $P_2O_5$  con una etapa de flotación, sería recomendable, una vez concretizado el proyecto Bayóvar, el estado peruano, a través del Ministerio de Energía y Minas y demás entidades como el Gobierno Regional de Piura, exija a la empresa ganadora que realice los estudios de exploración adecuados por los diez mil millones de toneladas métricas de reservas no probadas para su futura explotación y producción de fertilizantes fosfatados de mayor valor agregado convirtiendo al país en una potencia en fertilizantes, además que los costos de procesamiento se verían disminuídos.
- Debido a la demanda creciente de la roca fosfórica para aplicación directa, además de los fertilizantes fosfatados derivados, al agotamiento de yacimientos actualmente en producción, con disminución creciente de la producción para exportación y debido a que es la roca con características de reactividad más alta del mundo, por lo tanto de aplicación directa, le siguen las rocas de Carolina del Norte, Túnez, Marruecos e Israel, sería recomendable que el gobierno peruano a través de PROINVERSION, que es el organismo encargado de atraer los inversionistas, los Ministerios de Energía y Minas, de Agricultura, de Trabajo y Promoción del Empleo en conjunto mediante sus respectivos decretos supremos y el Congreso de la República, con sus comisiones parlamentarias, busquen desarrollar, cuanto antes, este proyecto que significaría el desarrollo de la zona norte del país y al mismo tiempo se dejaría de importar fertilizantes fosfatados.

- La alta tecnología a emplear debe tener en cuenta la generación de un producto de alta calidad debido a la calidad y competitividad de la roca fosfórica como materia prima para la producción de ácido fosfórico, fosfato diamónico, mínimo impacto ambiental en las operaciones y una infraestructura adecuada de transporte terrestre y abastecimiento de agua.
- Debido a que la actual producción nacional de ácido sulfúrico es alrededor de las quinientos mil toneladas métricas, sería recomendable el desarrollar cuanto antes proyectos mineros para la producción restante de ácido sulfúrico, caso contrario se deberá importar esa cantidad que asciende alrededor de 1.45 millones de toneladas métricas.
- Una vez que se llegue a concretar el proyecto cuprífero La Granja, ubicado en el distrito de Querocoto, provincia de Chota, departamento de Cajamarca, se podría realizar una interacción con el proyecto Bayóvar si se llegase a instalar una fundición y refinería en Bayóvar, al cual tendría una producción de ácido sulfúrico que permitiría cubrir la cantidad restante (alrededor de 1.5 MM de TM / año) para la fabricación de DAP.
- La inversión es del orden de los US\$ 600 millones en los cuales se cuenta la formación de un complejo petroquímico para fabricar fertilizantes y una producción anual de 4.5 millones de toneladas métricas de roca fosfórica de 30.5% de Ley y una producción anual de 1.5 millones de toneladas métricas de Fosfato Diamónico (DAP).

# **BIBLIOGRAFIA**

## **BIBLIOGRAFÍA**

- <http://www.uspto.gov/patft/index.html>
- <http://www.cipca.org.pe/cipca/>
- <http://www.cambiodemichoacan.com.mx/>
- <http://www.fertiberia.com/>
- <http://payson.tulane.edu:8086/spanish/envsp/begin.htm#Guía%20de%20protección%20ambiental>
- <http://www.fertilizar.org.ar/index.htm>
- <http://payson.tulane.edu:8086/spanish/envsp/begin.htm#Guía%20de%20protección%20ambiental>
- <http://www.minerabayovar.com.pe/principal.htm>
- [www.proinversion.gob.pe/](http://www.proinversion.gob.pe/)
- [http://rafaela.inta.gov.ar/productores97\\_98/Indice.html](http://rafaela.inta.gov.ar/productores97_98/Indice.html)
- <http://www.mineriaypetroleo.com/index.php>
- <http://www.monmeros.com/productos/contenidoprod4.htm>
- <http://www.lombricesrojas.com.ar/index.htm>
- <http://www.vsep.com/index.html>
- <http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=2083# Environmental Considerations with>
- <http://www.oiprc.ox.ac.uk/index.html>
- <http://www.intracen.org/index.htm>
- [http://gb.espacenet.com/espacenet/gb/en/e\\_net.htm](http://gb.espacenet.com/espacenet/gb/en/e_net.htm)
- León, L.A. y L.G. Restrepo. 1990. Evaluación agronómica de rocas fosfóricas parcialmente aciduladas y rocas fosfóricas compactadas con fertilizantes fosfatados solubles. pp. 5-10. En Silva (ed.). La Fertilización en la Agricultura Contemporánea. Suelos Ecuatoriales, SCCS (Colombia) Volúmen XX, No. 2
- León, L.A. y O. Arregocés (Ed.) 1987. Alternativas Sobre el Uso como Fertilizantes de Fosfatos Nativos en América Tropical y Subtropical. Memorias del Seminario Celebrado en CIAT, Colombia, 4 a 6 de noviembre, 1987. CIID, IFDC, CIAT, Documento de Trabajo No. 46. CIAT, Cali, Colombia.

## **DEFINICIONES**

**Fosfato Amoniatado:** Productos fertilizantes fabricados a partir de la reacción del ácido fosfórico con el amoniaco anhidro para proveer fertilizantes con contenido de fósforo y amoniaco. Estos productos son llamados fosfato diamónico (DAP) y fosfato monoamónico (MAP).

**Reducción:** Proceso de separar un mineral deseado de otro material que también está presente en la matriz. En el caso del fosfato, esto significa separar la arcilla y la arena de la roca fosfórica. Un proceso mecánico llamado lavado es usado para separar los guijarros de fosfato más grandes del mineral. Un proceso denominado flotación es usado para recuperar las partículas más finas de fosfato de la arena.

**Arcillas, Arcillas Fosfáticas o Residuo de Arcillas:** Materiales que son removidos de la matriz del fosfato. Algunas veces denominadas limos, un término minero que se refiere al tamaño de las partículas, las arcillas presentan un problema de deposición porque atrapan y retienen grandes cantidades de agua y lleva grandes periodos de tiempo el secarse.

**Sistema de enfriamiento:** Una parte integral del sistema de procesamiento químico del fertilizante que conserva el agua permitiendo que el agua caliente utilizada se enfríe y sea reciclada continuamente en el proceso.

**Concentrado:** Partículas muy minúsculas de roca fosfórica que se recuperan por flotación. Este proceso utiliza reactivos para cubrir las partículas de fosfato y hacerlas flotar lejos de las arenas acompañantes.

**Ciclones:** Dispositivos cónicos que separan los materiales por la acción centrífuga. Se utilizan en la industria del fosfato para separar las arcillas de la matriz y para recuperar el polvo de las corrientes de aire.

**Fosfato Diamónico:** Un fertilizante de alta concentración que combina dos de los tres nutrientes primarios de la planta, nitrógeno y fósforo. Utilizado en casi toda clase de crecimiento de las cosechas en el mundo.

**Dragline:** Una máquina grande usada en la excavación. En la industria del fosfato de Florida, las redes de arrastre con capacidades de hasta 83 yardas cúbicas se utilizan para quitar la sobrecarga y para excavar la matriz del fosfato.

**Filtros:** Dispositivos mecánicos que emplean un vacío para recuperar el ácido fosfórico, obtenido mediante el proceso húmedo, de la mezcla del yeso.

**Flotación:** Proceso químico de separación de las partículas de fosfato diminutas de la arena, mediante la adición de ácido sulfúrico.

**Yeso (Gypsum):** Sólido natural, fino, granuloso que consistente principalmente de sulfato del calcio ( $\text{CaSO}_4$ ). También se produce químicamente al hacer el fertilizante de fosfato y se conoce como yeso fosfatado (phosphogypsum).

**Apilado de yeso:** El yeso y el agua de proceso se bombean a través de tuberías a un almacén donde el yeso se retira y el agua se recicla a la planta. La pila almacenada de yeso se llama un apilado.

**Matriz:** La capa de estratos de fosfato, arena y arcillas en los cuales se encuentra el fosfato.

**NPK:** Los símbolos químicos para el nitrógeno, el fósforo y el potasio. Estos tres elementos son requeridos por todas las formas de vida vegetal. En un bolso de fertilizante, el contenido de N-P-K es indicado por tres números, tales como 10-10-10. Esto indica que el fertilizante contiene 10 por ciento de nitrógeno (N), 10 por ciento de fosfato ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) y 10 por ciento de potasa ( $\text{K}_2\text{O}$ ).

**Sobrecarga:** Tierra que se deposita sobre la matriz del fosfato y debe ser retirada antes de que se mine la matriz. Se utiliza más adelante para la recuperación de tierra (lading).

**Guijarro o Guijarro de Fosfato:** Minerales de gran tamaño que se recuperaron en la planta de beneficio final en una serie de pasos de lavado.

**Roca Fosfórica:** Un mineral que contiene el fósforo, un nutriente básico de la planta, que es esencial para todas las formas de vida.

**Ácido Fosfórico:** El ingrediente básico usado en la fabricación de los fertilizantes fosfatados y la elaboración de alimento para animales. Es producido reaccionando la roca fosfórica con el ácido sulfúrico.

**Pit Car:** Una estructura pequeña y portable que contiene los controles para los jets de agua de alta presión que se utilizan para mezclar la matriz del fosfato con agua, de tal manera que se pueden bombear a través de tuberías a la planta de beneficio final. Los pit car están situados cerca de las redes de arrastre.

**Pentóxido de Fósforo ( $P_2O_5$ ):** La expresión química  $P_2O_5$  ha sido definida como "fosfato" y se utiliza en la disciplina agronómica y en la industria fertilizante para expresar el contenido de fósforo en los suelos y fertilizantes aunque la forma  $P_2O_5$  no existe en suelos o fertilizantes como tal. Para convertir el valor  $P_2O_5$  matemáticamente a la forma elemental (P), multiplique el valor  $P_2O_5$  por 0,44. Para convertir el fósforo a la forma  $P_2O_5$ , multiplique el valor  $P_2O_5$  por 2,29.

**Reactivos:** Sustancias usadas para recuperar las partículas minúsculas de la roca fosfórica durante el proceso de flotación. Los reactivos del fosfato incluyen el jabón y los ácidos grasos. Cuando están cubiertas con estas sustancias, las partículas del fosfato rechazan el agua y se unen a las burbujas de aire haciéndolas flotar a la superficie del recipiente, mientras que la arena se hunde.

**Recuperación:** Tierra que vuelve a un uso beneficioso después de ser minada.

**Depuradores:** Dispositivos de control de contaminación atmosférica que utilizan generalmente aerosoles de agua para atrapar los gases y el polvo.

**Limos:** Término de minería que se refiere al tamaño de las partículas de arcilla del fosfato (véase arcillas).

**Mezcla:** Diversidad de agua y materiales sólidos.

**Ácido Sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>):** Producido mediante el quemado del sulfuro fundido con aire. El ácido sulfúrico se utiliza "para digerir" o para disolver la roca fosfórica que contiene el fósforo nutriente para hacer el ácido fosfórico.

**Arandela:** Donde la arcilla se separa de la matriz del fosfato usando el agua y las pantallas vibratorias. Aquí los guijarros del fosfato, un milímetro más ancho y grande, se recuperan y se envían a una reserva para la venta a los clientes.

**Hoyo:** Una depresión pequeña, baja en el sitio de explotación minera donde la matriz del fosfato se mezcla con agua para su transporte a través de tuberías a la planta de beneficio final.

**Ácido de Proceso Húmedo:** Ácido fosfórico producido mediante la reacción de la roca fosfórica con algún ácido, usualmente el ácido sulfúrico. Se denomina "Proceso Húmedo" para distinguirlo del ácido proveniente del horno o quemado.

**Planta de beneficios:** Planta piloto a pequeña escala que operab en Bayóvar para la obtención de la roca fosfórica como fertilizante.

**S.Q.M. Nitratos S.A.:** Empresa minera no metálica chilena.

**COMPOMASTER:** Nombre comercial de mezclas física de fertilizantes.

**Proceso Simplot:** Proceso que sirve para concentrar el ácido fosfórico obtenido a partir del proceso húmedo.

**Mallas Tyler:** Mallas que dependiendo de las dimensiones de los orificios determina la calidad de tamaño del filtrado, su dimensión es el Mesh, que se define como el número de orificios por pulgada lineal, contados a partir del centro de un hilo.

**Calcáreo:** Es una roca carbonatada compuesta generalmente de cal (CaO).

**Diatomita:** Es una roca silícica, que se formó por la acumulación de los esqueletos microscópicos de algas unicelulares y acuáticas.

**Andalucita:** Es una roca compuesta de aluminio y silicato (SiO<sub>2</sub>).

**Andosoles háplicos:** Suelos que como mínimo poseen una retención de fosfatos del 25%, un contenido de partículas tamaño limo de 30%, el porcentaje de aluminio más la mitad del porcentaje de hierro de 2% y en la fracción limo 5% de vidrio volcánico.

**Andosoles vítricos:** Suelos que no tienen una consistencia untuosa o una textura franca limosa o más fina como textura promedio (en peso) de todos los horizontes dentro de una profundidad de 100 centímetros a partir de la superficie, o ambas condiciones.

**Alta reactividad:** Relacionada a su solubilidad, depende del pH del suelo, actividad del ión Calcio en el suelo, contenido de materia orgánica, grado de sustitución del carbonato en la roca fosfórica y tamaño de partícula.

**Ambiente edáfico:** Relativo al suelo, el cual es la capa superior de la tierra donde se desarrollan las raíces de las plantas, siendo un gran depósito de agua y alimento. Su estabilidad depende de las características del suelo, así como de sus condiciones físicas, químicas y biológicas.

**Fertirrigación:** Suministro o dosificación de fertilizantes, repartidos durante todos los días del ciclo de cultivo, se utilizan diversas técnicas dependiendo de la calidad del suelo, cultivo y el sustrato.

**Decapado:** Método para remover las incrustaciones de superficies metálicas por inmersión en una solución ácida.

**Adusto:** Quiere decir rígido, compacto.

**Eutrofización:** Sobreabastecimiento de los nutrientes de nitrógeno y fósforo en el agua, que origina el crecimiento acelerado de las algas y la muerte de los peces por falta de oxígeno.

**La mayor fijación de produce en la fracción Coloidal:** Los sólidos filtrables se componen de sólidos coloidales y disueltos, de los cuales la fracción coloidal oscila entre 10 y 3 micras de tamaño de partículas, la cual debido a su tamaño es la que más se fija a la arena.

**Cribas Vibrantes:** Sistema de vibración por contrapesos excéntricos sobre un eje central que sirven para clasificar las partículas de los materiales debido a su tamaño.

**Estructura apática:** Compuesto que en su estructura está compuesto por apatita cuya fórmula es  $Ca_5(PO_4)_3.X$ , donde X puede ser flúor, calcio o fosfato.

**Restragado y deslamado:** Operación que se utiliza para liberar el fosfato de los recubrimientos de diatomita, principalmente, y eliminar las lamas (arena fina) liberadas del fosfato. Primeramente se hace pasar el mineral a través de una malla y luego el material filtrado se dirige al tambor restregador donde se le adiciona agua de mar para obtener una pulpa de 40 – 50% de sólidos. A la salida se encuentra una malla separadora, donde el material filtrado se dirige a la etapa de deslamado.

**Ultisoles:** Son suelos minerales de poco espesor y un bajo porcentaje de saturación de base generalmente inferior a 25% dentro de la sección de perfil edáfico; son de color rojizo oscuro y no muestran evidencias de saturación hídrica.

**Entisoles:** Son suelos minerales derivados tanto de materiales aluviónicos como residuales, de textura moderadamente gruesa a fina, de topografía variable.

**Inceptisoles:** Son suelos minerales derivados tanto de depósitos fluviónicos como residuales, y están formados por metriales líticos de naturaleza volcánica y sedimentaria. Son superficiales a moderadamente profundos y de topografía variable.

**Alfisoles:** Son suelos minerales con una saturación de base mayor a 35° y los horizontes subsuperficiales muestran evidencias claras de traslocación de películas de arcilla.

**Vertisoles:** Son suelos minerales formados de materiales sedimentarios compuestos de arcillas expandibles, que se tornan muy blandos y pegajoss cuando están húmedas y muy duros cuando se secan, lo que da lugar a cuarteadoras y fisuras de tamaños y profundidades considerables.

**Molisoles:** Son suelos minerales superficiales a moderadamente profundos, compuestos de materiales volcánicos y sedimentarios, con horizontes superficiales oscurecidos, bien estructurados y dotados suficientemente de calcio y magnesio.

**Espodosoles:** Son suelos minerales con una reducción de arcilla y humus en el horizonte mineral superficial del suelo, y una acumulación del mismo en el subsuelo.

**Potencia de capas:** Es el tamaño de espesor en el que se encuentra cierto mineral en el subsuelo.

## **GLOSARIO**

**ENCI:** Empresa Nacional de Comercialización de Insumos.

**TM:** Tonelada Métrica.

**TM/año:** Tonelada métrica por año.

**COFIDE:** Corporación Financiera de Desarrollo.

**MIDEPSA:** Minerales Industriales del Perú Sociedad Anónima.

**EMRGB:** Empresa Minera Regional Grau Bayóvar.

**CEPRI:** Comité Especial de Privatización.

**PROINVERSION:** Agencias de Promoción de la Inversión Privada.

**INIAA:** Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial.

**FERTISA:** Fertilizantes Sintéticos Sociedad Anónima.

**INCASA:** Industrias del Cartón Sociedad Anónima.

**PETROPERU:** Petróleos del Perú.

**UDEP:** Universidad de Piura.

**PROBAYOVAR:** Empresa Promotora Bayóvar.

**CEFOISA:** César Fuentes Ortiz Ingenieros Sociedad Anónima.

**IFDC:** Internacional Fertilizer Development Center (en inglés) o Centro Internacional para el Desarrollo de los Fertilizantes (en español).

**USA:** United Status of America (en inglés) o Estados Unidos de América (en español).

**SFT:** Super Fosfato Triple.

**DAP:** Diammonium Phosphate (en inglés) o Fosfato Diamónico (en español).

**SFS:** Super Fosfato Simple.

**BPL:** Bone Phosphate Lime (en inglés) o Fosfato de calcio del hueso (en español).

**FOB:** Free On Board (en inglés) o Libre a Bordo (en español).

**CIF:** Cost, Insurance and Freight (en inglés) o Costo, Seguro y Flete (en español).

**VAN:** Valor Actual Neto.

**TIR:** Tasa Interna de Retorno.

**POT:** Pay Out Time o Tiempo Mínimo de Retorno de la Inversión (en español).

**TVA:** Tennessee Valley Authority o Autoridad del Valle de Tennessee (en español).

**S:** Azufre.

**N:** Nitrógeno.

**Ca:** Calcio.

**K:** Potasio.

**Mg:** Magnesio.

**Mn:** Manganese.

**Na:** Sodio.

**FU:** Fosfato de Úrea.

**SPM: SULPOMAG:** Sulfato doble de Potasio y Magnesio.

**LTD:** Limited (en inglés) o Limitada (en español).

**MM:** Millones,  $10^6$ .

**mm:** Milímetro (longitud).

**kg:** Kilogramo (masa).

**atm:** Atmósfera (presión).

**mmhos/cm:** Unidad de conductividad eléctrica.

**kg/l:** Kilogramo por litro (densidad).

**kg/m<sup>3</sup>:** Kilogramo por metro cúbico (densidad).

**°C:** Grado Celsius (temperatura).

**m:** Metro (longitud).

**cm:** Centímetro.

**g/l:** Gramo por litro (densidad).

**g/cm<sup>3</sup>:** Gramo por centímetro cúbico (densidad).

**kPa:** Kilopascal (presión).

**kg/cm<sup>2</sup>:** Kilogramo por centímetro cuadrado.

**ppm:** Partes por millón.

**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>**: Pentóxido fosfórico.

**SiO<sub>2</sub>**: Dióxido de sílice – Silicato.

**Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.X**: Apatita, significa “engañoso” en latín.

**H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**: Ácido sulfúrico.

**H<sub>2</sub>O**: Agua.

**HF**: Ácido fluorhídrico.

**CaH<sub>4</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O**: Fosfato monocálcico monohidrato.

**CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O**: Sulfato de calcio dihidrato o yeso (variedad de selenita).

**Ca(PO<sub>4</sub>H<sub>2</sub>)<sub>2</sub>**: Fosfato monocálcico.

**CaHPO<sub>4</sub>**: Fosfato de calcio dibásico.

**Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>**: Fosfato tricálcico.

**H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>**: Ácido fosfórico.

**Ca<sub>10</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>.F<sub>2</sub>**: fluorapatita.

**H<sub>2</sub>(NH<sub>4</sub>)PO<sub>4</sub>**: Fosfato monoamónico.

**H(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>**: Fosfato diamónico.

**NH<sub>3</sub>**: Amoniacó anhidro.

**HNO<sub>3</sub>**: Ácido nítrico.

**CaO**: Óxido de calcio, también llamado cal.

**CO<sub>2</sub>**: Dióxido de carbono.

**CaSO<sub>4</sub>.1/2H<sub>2</sub>O**: Sulfato de calcio hemihidrato.

**CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O:** Sulfato de calcio dihidrato.

**CaF<sub>2</sub>:** Fluoruro cálcico.

**CaCO<sub>3</sub>:** Carbonato de calcio.

**SiF<sub>4</sub>:** Tetrafluoruro de sílice.

**H<sub>2</sub>SF<sub>6</sub>:** Ácido fluorsilícico.

**SiO<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O:** Silicato dihidrato.

**Ca<sup>2+</sup>:** Cation de calcio.

**SO<sup>2-</sup>:** Anion sulfito.

**KCl:** Cloruro de Potasio.

# **ANEXOS**

# HOJA DE SEGURIDAD DEL ÁCIDO FOSFÓRICO

## 1.- IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA

Identificación de la sustancia:

Nombre químico: ÁCIDO ORTOFOSFÓRICO

Designación o nombre comercial: Ácido Fosfórico, 50-55% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Sinónimos comúnmente utilizados: Ácido Fosfórico, grado comercial.

Fórmula molecular: H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>

## 2.- COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN DE LOS COMPONENTES

Composición: Componente principal: Ácido Fosfórico, aproximadamente 70%-75% de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (50% - 54% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Resto: Agua y pequeñas cantidades de ácido sulfúrico. Impurezas: Flúor y compuestos metálicos, sulfatos.

Clasificación: Corrosivo, de acuerdo con la clasificación de la Directiva 67/548/EEC.

## 3.- IDENTIFICACIÓN DEL RIESGO

Sobre el hombre: El ácido fosfórico es corrosivo para todas las partes del cuerpo.

Contacto con la piel: El contacto con la piel puede causar rojez y quemaduras.

Contacto con los ojos: Las salpicaduras en los ojos pueden causar irritación y quemaduras.

Ingestión: Puede causar corrosión y daños al tracto gastro-intestinal.

Inhalación: Las nieblas de ácido pueden causar irritación en la garganta y el pulmón.

Efectos a largo plazo: Debido a la severidad de los efectos agudos no es aconsejable la exposición repetida o prolongada.

Sobre el medio ambiente: El ácido fosfórico es nocivo para la vida acuática.

#### **4.- PRIMEROS AUXILIOS**

En todos los casos obtener atención médica.

Contacto con la piel: Eliminar la ropa contaminada y lavar o duchar la piel afectada con gran cantidad de agua.

Contacto con los ojos: Lavar inmediatamente los ojos con solución de lavado ocular o con agua durante al menos 10 minutos. Continuar lavando hasta conseguir la atención médica. Mantener los párpados abiertos durante los lavados.

Ingestión: No provocar el vómito. Si la persona está consciente, lavar la boca con agua y darle a beber 2 ó 3 vasos de agua. Trasladar inmediatamente el paciente al hospital.

Inhalación: Trasladar a la persona afectada al aire fresco en seguida. Mantener al paciente caliente y en reposo.

#### **5.- MEDIDAS DE LUCHA CONTRA EL FUEGO**

El ácido fosfórico no arde.

Medios de extinción apropiados: Agua.

Si el producto está involucrado en el fuego: Utilizar agua pulverizada para enfriar los recipientes y estructuras expuestas al fuego. Usar equipos de respiración autónoma y ropa de protección total.

Riesgos: Desprendimiento de fluoruros y/o fluoruro de hidrógeno (tóxico) cuando se calienta el ácido fosfórico obtenido por vía húmeda. Desprendimiento de óxidos de fósforo (tóxicos) por descomposición térmica y de hidrógeno por reacción con los metales.

## **6.- MEDIDAS ANTE UN DERRAME ACCIDENTAL**

Precauciones personales: Ponerse el equipo de protección antes de entrar en el área de peligro. (Ver punto 8).

Precauciones medioambientales: Tomar precauciones para evitar la contaminación de los cursos de agua y drenajes. Informar a la autoridad correspondiente en caso de contaminación accidental de los cursos de agua.

Métodos de limpieza: Cualquier derrame de este producto se limpiará rápidamente, se bombeará y recogerá en recipientes limpios y etiquetados, hasta disponer de ellos de forma segura. El área contaminada debe ser neutralizada con cal o carbonato y limpiada. Dependiendo del grado y naturaleza de la contaminación, disponerlo en un vertedero autorizado para facilitar su destrucción o, después de neutralización usarlo como fertilizante en el campo.

## **7.- MANEJO Y ALMACENAMIENTO**

Manejo: Utilizar gafas de protección química y guantes de PVC cuando se manejen pequeñas cantidades. Usar equipo de protección total cuando exista riesgo de salpicaduras o derrames.

Almacenamiento: Almacenar en zonas frescas y bien ventiladas y lejos de posibles fuentes de calor y fuego. Alejar de los materiales combustibles, bases fuertes y metales. Los grandes tanques de almacenamiento deben ser puestos a tierra eléctricamente. Se cumplirán las prescripciones de la ITC-MIE-APQ-006 Almacenamiento de Líquidos Corrosivos.

## **8.- CONTROL DE LA EXPOSICION / PROTECCION PERSONAL**

Límites de exposición recomendados: La ACGIH recomienda, como valor límite por inhalación: TLV-TWA: 1 mg/m<sup>3</sup> (1995-96). TLV-STEL: 3 mg/m<sup>3</sup>.

Medidas de precaución y equipos mecánicos: Ventilación local asistida. Instalar equipos lava-ojos y duchas de seguridad en cualquier lugar en donde se pueda producir contacto con los ojos y la piel.

Protección personal: Use máscaras con filtro adecuadas o equipos autónomos si los niveles de exposición exceden de los límites recomendados. Utilice guantes de PVC, botas de goma, delantal y ropa de protección resistentes al ácido. Utilice gafas de seguridad química o pantallas faciales.

## **9.- PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS**

Los siguientes valores se dan para el Ácido Fosfórico puro (75% de  $H_3PO_4$ ):

Aspecto: Líquido viscoso de color blanco claro. Líquido viscoso de color marrón/verdoso (ácido obtenido por vía húmeda).

Olor: olor ligeramente ácido.

pH (no diluido): < 1

Punto de fusión: - 17.5 °C

Punto de ebullición: 133 °C

Presión de vapor: 267 Pa a 20 °C.

Solubilidad en agua: Miscible en todas proporciones.

Densidad a 15°C (agua =1): 1580 kg/m<sup>3</sup> a 15.5°C. 1600-1700 kg/m<sup>3</sup> (ácido obtenido por vía húmeda).

## **10.- ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD**

Estabilidad: Este producto es muy estable bajo condiciones normales de almacenamiento, manipulación y uso.

Condiciones a evitar: Altas temperaturas.

Materiales a evitar: Bases, aluminio, cobre, acero al carbono, latón, bronce.

Reacciones peligrosas/descomposición de producto: Compuestos del fluor en el calentamiento del ácido fosfórico obtenido por vía húmeda. Óxidos de

fósforo en la descomposición térmica. Desprende hidrógeno gas cuando reacciona con los metales.

## **11.- INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA**

General: El ácido fosfórico es corrosivo para los ojos y la piel, irritante para el tracto respiratorio.

Datos toxicológicos:

Contacto con la piel: Causa enrojecimiento y quemaduras, pero no siempre de forma inmediata.

Contacto con los ojos: Las salpicaduras causan irritación y quemaduras.

Inhalación: Las nieblas pueden irritar el tracto respiratorio.

Ingestión: Puede causar quemaduras en la boca, garganta, irritación en el tracto gastrointestinal o ulceración. Puede causar dolor en la garganta y estomago, dificultad al tragar, sed, náuseas y vómitos seguidos de diarrea. En casos severos puede conducir al colapso y en consecuencia la muerte.

Otros datos: No se han evaluado efectos adversos por el IARC desde el punto de vista carcinogénicos.

## **12.- INFORMACIÓN ECOLÓGICA**

Movilidad: Baja volatilidad. Muy soluble en agua.

Persistencia y degradabilidad: Se disocia libremente.

Bioacumulación: La sal cálcica del ácido es un normal constituyente de los huesos. Puede contribuir a la eutrofización de las aguas superficiales confinadas.

Ecotoxicidad: El ácido fosfórico es nocivo para la vida acuática aún en bajas concentraciones. *Leponis macrochirus* (96 horas, 50% mortandad): pH 3-3.5. *Daphnia magna* (12 horas, 50% mortandad): pH 4.6.

### **13.- CONSIDERACIONES PARA SU ELIMINACIÓN COMO RESIDUO**

General: El ácido fosfórico puede depositarse en una zona de residuos autorizada, informando sobre el material con el que ha sido neutralizado.

### **14.- INFORMACIÓN SOBRE EL TRANSPORTE**

Clasificación ONU: Clase 8, Sustancia corrosiva, Número ONU 1805.

Detalles: ADR/RID: Clase 8, ítem: 17º c), etiqueta: 8, Embalaje Grupo III.  
IMDG: Clase 8, Etiqueta 8, Embalaje Grupo III.

### **15.- INFORMACIÓN ADICIONAL**

Referencias:

- Guía para la compilación de SAFETY DATA SHEETS para los materiales fertilizantes editada por EFMA - Edición 1996.

La información contenida en esta Ficha de Datos de Seguridad se da de buena fe y creyendo en su exactitud, en base al conocimiento que se dispone sobre el producto en el momento de su publicación. No implica la aceptación de ningún compromiso ni responsabilidad legal por parte de la Compañía por las consecuencias de su utilización o su mala utilización en cualesquiera circunstancias particulares.

# HOJA DE SEGURIDAD DEL FOSFATO DIAMÓNICO

## 1.- IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA

Identificación de la sustancia:

Nombre químico: FOSFATO DIAMÓNICO (DAP)

Designación o nombre comercial: Fertilizante NP, Abono CE.

Sinónimos comúnmente utilizados: Fosfato Diamónico, DAP

Número registro CAS: 7783-28-0

Número EINECS: 231-987-8

Nombre EINECS: Hidrógeno Ortofosfórico diamónico

Fórmula molecular:  $(\text{NH}_4)_2 \text{HPO}_4$

## 2.- COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN DE LOS COMPONENTES

Composición: Producto conteniendo fosfato diamónico como componente principal. Nitrógeno total: 18%-21%.  $\text{P}_2\text{O}_5$  soluble en citrato amónico neutro: 45%-53%.

Clasificación: No clasificado como materia peligrosa de acuerdo con la Directiva 67/548/EEC.

## 3.- IDENTIFICACIÓN DEL RIESGO

Sobre el hombre: El producto tiene una baja toxicidad. Sin embargo, se deben observar los siguientes puntos:

Contacto con la piel: El contacto prolongado puede causar alguna irritación.

Contacto con los ojos: El contacto prolongado puede causar irritaciones.

Ingestión: Pequeñas cantidades es improbable que causen efectos tóxicos. En grandes cantidades puede provocar desordenes gastrointestinales.

Inhalación: Altas concentraciones de polvo de material en suspensión pueden causar irritación en la nariz y tracto respiratorio superior con síntomas tales como dolor de garganta y tos.

Efectos a largo plazo: No se conocen efectos adversos.

Fuego y productos de descomposición térmica: La inhalación de gases de descomposición puede causar efectos permanentes en el pulmón.

Sobre el medio ambiente: Los grandes derrames pueden causar efectos adversos en el medio ambiente como la eutrofización (desarrollo indeseado de la flora) en las aguas superficiales confinadas.

Fuego y calentamiento: Cuando se calienta fuertemente el DAP se descompone desprendiendo amoníaco (gas tóxico/inflamable).

#### **4.- PRIMEROS AUXILIOS**

Contacto con la piel: Lavar la zona afectada con agua y jabón.

Contacto con los ojos: Lavar o irrigar los ojos con grandes cantidades de agua durante 15 minutos. Obtener atención médica si persiste la irritación de los ojos.

Ingestión: No provocar el vómito. Dar de beber agua o leche. Obtener atención médica si se ha tragado algo más que pequeñas cantidades.

Inhalación: Retirar del foco de emisión de polvo. Mantener caliente y en reposo.

Fuego y descomposición térmica:

Contacto con la piel: Lavar las áreas en contacto con el material fundido con grandes cantidades de agua fría. Suministrar atención médica.

Inhalación: Retirar del foco de exposición de humos. Mantener caliente y en reposo. Las personas que han inhalado gases de descomposición, se les facilitará atención médica inmediatamente.

## **5.- MEDIDAS DE LUCHA CONTRA EL FUEGO**

Si el producto no está directamente implicado en el fuego: Usar los mejores medios para extinguirlo.

Si el producto está implicado en el fuego: Evitar respirar los humos (tóxicos). Equiparse con máscaras de respiración cuando se luche contra un fuego o cuando se hayan producido humos. Llamar a los bomberos. Utilizar agua en abundancia. Abrir puertas y ventanas en los almacenes para conseguir la máxima ventilación. Si el agua de contención del fertilizante entra en un drenaje o curso de agua, informar inmediatamente a las autoridades locales.

## **6.- MEDIDAS ANTE UN DERRAME ACCIDENTAL**

Cualquier derrame de fertilizante se limpiará rápidamente, recogerá y situará en un recipiente limpio y etiquetado. Dependiendo del grado de contaminación, se depositará para su uso en granjas, por pulverización suave en zonas abiertas o en áreas de residuos autorizadas. Tener cuidado en evitar la contaminación de los cursos de agua y drenaje e informar a las autoridades apropiadas en el caso de producirse la contaminación accidental de los cursos de agua.

## **7.- MANEJO Y ALMACENAMIENTO**

Manejo: Evitar la generación excesiva de polvo. Evitar la exposición innecesaria a la atmósfera para prevenir la absorción de humedad. Utilizar guantes cuando se maneje el producto durante periodos largos.

Almacenamiento: Colocarlo lejos de los focos de calor y fuego. Asegurar una buena organización en las áreas de almacenamiento. Cualquier edificio utilizado como almacén deberá estar seco y bien ventilado.

## 8.- CONTROL DE LA EXPOSICION / PROTECCION PERSONAL

Límites de exposición recomendados: No hay límites oficiales especificados. La ACGIH recomienda, como valor límite por inhalación de partículas: TLV-TWA: 10 mg/m<sup>3</sup>.

Protección personal:

Protección respiratoria: Utilizar filtros de polvo si la concentración de polvo es alta.

Protección de las manos: Usar guantes de goma cuando se maneje el producto durante largos periodos de tiempo.

## 9.- PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Aspecto: Gránulos o cristales blancos, grises o negros.

Olor: Inodoro

pH en solución acuosa (saturado): 8

Punto de fusión: Se descompone a 155 °C

Propiedades explosivas: No.

Propiedades oxidantes: No.

Densidad másica: 1000 kg/m<sup>3</sup>.

Solubilidad en agua: 575 gr/litro a 10 °C.

## 10.- ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad: Este producto es muy estable bajo condiciones normales de almacenamiento, manipulación y uso.

Condiciones a evitar: Calentamiento por encima de 100 °C. Trabajos de soldadura o térmicos en los equipos o plantas que puedan estar contaminados

con el producto sin que primero se hayan lavado vigorosamente para eliminar todos los restos de fertilizante.

Materiales a evitar: Álcalis, carbonato sódico, cobre y sus aleaciones.

Reacciones peligrosas/descomposición del producto: Cuando se calienta vigorosamente, el fosfato diamónico se descompone desprendiendo amoníaco (tóxico e inflamable). Se desprende amoníaco bajo reacción con bases fuertes.

## **11.- INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA**

General: Ver punto 3.1.

Datos toxicológicos: LD 50 (oral rata) > 2.000 mg/kg.

## **12.- INFORMACIÓN ECOLÓGICA**

General: Usar de acuerdo con la información del fabricante y no excederse de las cantidades de aplicación máximas recomendadas.

## **13.- CONSIDERACIONES PARA SU ELIMINACIÓN COMO RESIDUO**

General: Dependiendo del grado de contaminación, conservarlo para el uso en granjas, aplicándolo por pulverización suave en terrenos abiertos o situarlo en depósitos de residuos autorizados.

## **14.- INFORMACIÓN SOBRE EL TRANSPORTE**

General:

Clasificación ONU: No clasificado como mercancía peligrosa para el transporte internacional: RID (ferrocarril), ADR (carretera), IMO (marítimo).

## **15.- INFORMACIÓN ADICIONAL**

Referencias:

- Guía para la compilación de SAFETY DATA SHEETS para los materiales fertilizantes editada por EFMA - Edición 1996.

La información contenida en esta Ficha de Datos de Seguridad se da de buena fe y creyendo en su exactitud, en base al conocimiento que se dispone sobre el producto en el momento de su publicación. No implica la aceptación de ningún compromiso ni responsabilidad legal por parte de la Compañía por las consecuencias de su utilización o su mala utilización en cualesquiera circunstancias particulares.

## PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL ÁCIDO FOSFÓRICO

Tabla de Análisis del ácido fosfórico y yeso

|   |            | 28 % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 42 % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 54 % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 70 % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Yeso  |
|---|------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------|
| Densidad a 20°C                           | <b>g/l</b> | 1308                               | 1498                               | 1693                               | 2030                               | 2320  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>             | <b>%</b>   | 28.00                              | 42.00                              | 54.00                              | 70.00                              | 1.12  |
| CaO                                       | <b>%</b>   | 0.50                               | 0.27                               | 0.08                               | 0.10                               | 32.64 |
| SO <sub>3</sub>                           | <b>%</b>   | 2.63                               | 3.26                               | 3.80                               | 4.92                               | 46.63 |
| F   | <b>%</b>   | 1.23                               | 0.84                               | 0.50                               | 0.25                               | 1.63  |
| SiO <sub>2</sub>                          | <b>%</b>   | 0.68                               | 0.46                               | 0.28                               | 0.14                               | 0.95  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>            | <b>%</b>   | 0.22                               | 0.25                               | 0.28                               | 0.36                               | 0.03  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>            | <b>%</b>   | 0.46                               | 0.48                               | 0.50                               | 0.65                               | 0.10  |
| MgO                                       | <b>%</b>   | 0.25                               | 0.35                               | 0.45                               | 0.58                               | 0.02  |
| Na <sub>2</sub> O                         | <b>%</b>   | 0.49                               | 0.44                               | 0.40                               | 0.52                               | 0.17  |
| K <sub>2</sub> O                          | <b>%</b>   | 0.05                               | 0.05                               | 0.04                               | 0.05                               | 0.02  |
| Materia Orgánica                          | <b>%</b>   | 0.14                               | 0.17                               | 0.20                               | 0.25                               | 0.03  |
| Cl  | <b>ppm</b> | 165                                | 130                                | 100                                | 40                                 |       |
| Impurezas / ácido                         | <b>%</b>   | 7.7                                | 8.2                                | 8.5                                | 10.5                               |       |
| Impurezas / P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | <b>%</b>   | 27.6                               | 19.4                               | 15.8                               | 15.0                               |       |
| H <sub>2</sub> O                          | <b>%</b>   | 53.6                               | 33.9                               | 16.9                               | 0.0                                |       |

Tabla de Datos Fisicoquímicos del ácido fosfórico en función del % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Densidad | Impurezas  |                                    | Capacidad Calorífica | Calor de Dilución                       | Punto de Congelamiento |
|-------------------------------|----------|------------|------------------------------------|----------------------|---|------------------------|
|                               |          | % de Ácido | % de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |                      |   |                        |
| %                             | g/l      |            |                                    | kcal / kgx°C         | Kcal / kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | °C                     |
| 1                             | 1005     | 0.0        | 0.0                                | 0.89                 | 81.30                                   | 0                      |
| 2                             | 1016     | 0.7        | 35.2                               | 0.88                 | 80.84                                   | -1                     |
| ...                           | ...      | ...        | ...                                | ...                  | ...                                     | ...                    |
| 28                            | 1327     | 10.0       | 35.6                               | 0.64                 | 64.34                                   | -22                    |
| ...                           | ...      | ...        | ...                                | ...                  | ...                                     | ...                    |
| 50                            | 1648     | 10.0       | 20.1                               | 0.48                 | 34.53                                   | -47                    |
| ...                           | ...      | ...        | ...                                | ...                  | ...                                     | ...                    |

|    |      |      |      |      |     |    |
|----|------|------|------|------|-----|----|
| 72 | 2110 | 12.0 | 16.7 | 0.32 | ... | 40 |
|----|------|------|------|------|-----|----|

Tabla de Densidad del ácido Fosfórico en función del % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

| % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | .0   | .1   | .2   | .3   | .4   | .5   | .6   | .7   | .8   | .9   |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1                               | 1007 | 1008 | 1009 | 1010 | 1011 | 1012 | 1014 | 1015 | 1016 | 1017 |
| 2                               | 1018 | 1019 | 1020 | 1022 | 1023 | 1024 | 1025 | 1026 | 1027 | 1028 |
| ...                             | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  |
| 28                              | 1316 | 1317 | 1318 | 1319 | 1321 | 1322 | 1323 | 1324 | 1326 | 1327 |
| ...                             | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  |
| 50                              | 1625 | 1627 | 1629 | 1630 | 1632 | 1634 | 1635 | 1637 | 1638 | 1640 |
| ...                             | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  |
| 71                              | 2035 | 2037 | 2040 | 2042 | 2044 | 2047 | 2049 | 2051 | 2054 | 2056 |

Tabla de Temperatura de ebullición del Ácido Fosfórico

| P(mm Hg)                      | 230   | 240   | 250   | 260   | 270   | 280   | 290   | 300   | 310   | 320   | 330   | 340   | 350   | 360   | 370   | 380   | 390   | 400   |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 18 %                          | 72 °C | 72 °C | 74 °C | 74 °C | 75 °C | 76 °C | 77 °C | 78 °C | 78 °C | 79 °C | 80 °C | 81 °C | 82 °C | 82 °C | 83 °C | 84 °C | 84 °C | 85 °C |
| 19 %                          | 72 °C | 73 °C | 74 °C | 75 °C | 76 °C | 76 °C | 77 °C | 78 °C | 79 °C | 80 °C | 80 °C | 81 °C | 82 °C | 82 °C | 83 °C | 84 °C | 84 °C | 85 °C |
| ...                           | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   |
| 28 %                          | 75 °C | 76 °C | 77 °C | 78 °C | 79 °C | 80 °C | 80 °C | 81 °C | 82 °C | 83 °C | 84 °C | 84 °C | 85 °C | 86 °C | 86 °C | 87 °C | 88 °C | 88 °C |
| ...                           | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   |
| 34 %                          | 78 °C | 79 °C | 80 °C | 81 °C | 82 °C | 83 °C | 84 °C | 85 °C | 86 °C | 86 °C | 87 °C | 88 °C | 89 °C | 90 °C | 90 °C | 91 °C | 92 °C | 92 °C |

**Tabla de Presión de Vapor del Ácido Fosfórico (mm Hg)**

| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 43 °C | 44 °C | 45 °C | 46 °C | 47 °C | 48 °C | 49 °C | 50 °C | 51 °C | 52 °C | 53 °C | 54 °C | 55 °C | 56 °C | 57  | 58 °C | 59 °C | 60 °C |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|
| 35 %                          | 43    | 45    | 47    | 50    | 52    | 55    | 57    | 60    | 63    | 66    | 70    | 73    | 77    | 80    | 84  | 89    | 93    | 98    |
| 36 %                          | 42    | 44    | 46    | 48    | 50    | 53    | 56    | 58    | 61    | 64    | 67    | 71    | 74    | 78    | 82  | 86    | 90    | 94    |
| ...                           | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ... | ...   | ...   | ...   |
| 42 %                          | 33    | 34    | 36    | 38    | 40    | 42    | 44    | 46    | 48    | 51    | 53    | 56    | 59    | 61    | 65  | 68    | 71    | 75    |
| ...                           | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ...   | ... | ...   | ...   | ...   |
| 51 %                          | 19    | 20    | 20    | 21    | 22    | 23    | 24    | 26    | 27    | 28    | 29    | 31    | 32    | 34    | 35  | 37    | 39    | 41    |

**Tabla de Viscosidad del Ácido Fosfórico (cp)**

| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 10°C | 20°C | 30°C | 40°C | 50°C | 60°C | 70°C | 80°C | 90°C | 100°C |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 1 %                           | 0.8  | 0.6  | 0.5  | 0.4  | 0.3  | 0.2  | 0.2  | 0.2  | 0.2  | 0.2   |
| 2 %                           | 0.9  | 0.7  | 0.6  | 0.5  | 0.4  | 0.3  | 0.2  | 0.2  | 0.2  | 0.2   |
| 28 %                          | 11.8 | 7.9  | 5.8  | 4.5  | 3.5  | 2.8  | 2.2  | 1.8  | 1.7  | 1.6   |
| ...                           | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...   |
| 50 %                          | 79.1 | 45.4 | 30.7 | 23.1 | 18.4 | 14.8 | 11.9 | 9.6  | 8.1  | 6.7   |
| ...                           | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...   |
| 71 %                          | 584  | 285  | 177  | 130  | 104  | 86   | 69   | 55   | 42   | 30    |

## Listado de Figuras

- Figura 1:** *Proceso de obtención del Fosfato Diamónico*
- Figura 2:** *Proceso de obtención del Ácido Fosfórico*
- Figura 3:** *Proceso de concentración del Ácido Fosfórico*
- Figura 4:** *Proceso de clarificación del Ácido Fosfórico*
- Figura 5:** *Proceso de obtención de la Roca Fosfórica*
- Figura 6** *Cadena Industrial de los derivados de la roca fosfórica*
- Figura 7** *Exportación nacional de roca fosfórica*
- Figura 8** *Diagrama de las exportaciones de roca fosfórica*
- Figura 9** *Tendencia de la demanda nacional de DAP según los datos de importación*
- Figura 10** *Ubicación geográfica de Bayóvar*
- Figura 11** *Ranking de países con reservas de roca fosfórica*
- Figura 12** *Diagrama esquemático del proceso para preparar el ácido fosfórico*
- Figura 13** *Diagrama esquemática del proceso Simplot*
- Figura 14** *Organigrama simplificado del proceso para la producción del fosfato diamónico granular*
- Figura 15** *Ilustración en perspectiva de una configuración del reactor tubular y su relación con el granulador*
- Figura 16** *Efecto de la presión de operación del reactor tubular sobre la temperatura de funcionamiento*
- Figura 17** *Efecto de la presión de operación del reactor tubular sobre el total del amoníaco libre desarrollado en el reactor*
- Figura 18** *Efecto de la presión de operación del reactor tubular sobre el contenido de humedad de la mezcla descargada del reactor*

## Listado de Tablas

- Tabla I:** *Fertilizantes comercializados en el Perú*
- Tabla II:** *Características Químicas del fosfato diamónico*
- Tabla III:** *Características Químicas del ácido fosfórico*
- Tabla IV:** *Características de aplicación a los suelos*
- Tabla V:** *Suelos de la Selva Peruana*
- Tabla VI:** *Limitaciones de los suelos de la Selva Peruana*
- Tabla VII:** *Consumo nacional de fertilizantes en Perú entre 1985 y 1990*
- Tabla VIII:** *Producción peruana de fertilizantes en miles de toneladas*
- Tabla IX:** *Importación de fertilizantes en miles de TM realizados por ENCI desde 1985 hasta 1990*
- Tabla X:** *Ventas de roca fosfórica realizadas por ENCI durante 1990*
- Tabla XI:** *Oferta anual de fertilizantes*
- Tabla XII:** *Producción anual de fertilizantes*
- Tabla XIII:** *Importación anual de fertilizantes*
- Tabla XIV:** *Importación de fosfato diamónico*
- Tabla XV:** *Características químicas del ácido fosfórico al 30%*
- Tabla XVI:** *Características químicas del ácido fosfórico al 52%*
- Tabla XVII:** *Características químicas del amoniaco*
- Tabla XVIII:** *Carácterísticas de las mallas Tyler*

**Tabla XIX:** *Depósitos de roca fosfórica en América Latina*

**Tabla XX:** *Reservas de minerales en Bayóvar*

**Tabla XXI:** *Crecimiento de la demanda nacional de fosfato diamónico*

**Tabla XXII:** *Datos de la patente US 2004/0047790 A1*

**Tabla XXIII:** *Características químicas de los productos*

**Tabla XXIV:** *Materia prima, servicios y productos del proceso Simplot*

**Tabla XXV:** *Datos de la patente US4758261*

**Tabla XXVI:** *Análisis del ácido fosfórico de alimentación*

**Tabla XXVII:** *Criterio para producir Fosfato Diamónico con una Distribución de Mezcla a Alta Presión en el Reactor Tubular*