



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

SISTEMAS ACTUALES DEL MANEJO Y  
DISPOSICION DEL FOSFOYESO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :

MA. DE JESUS FLORES GUTIERREZ

MEXICO, D. F.,

1984



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## I N D I C E

I.- INTRODUCCION .....	1
II.- DESCRIPCION DE SISTEMAS ACTUALES DE MANEJO Y DISPOSICION DEL FOSFOYESO.....	3
III.- RESTRICCIONES REGLAMENTARIAS.....	10
IV.- POSIBILIDADES DE APROVECHAMIENTO DEL FOSFOYESO EN LA FABRICACION DE PRODUCTOS.....	18
V.- CASOS ESPECIFICOS DE DESCARGA DEL FOSFOYESO AL MAR.....	43
VI.- CONCLUSIONES.....	46
VII.- BIBLIOGRAFIA.....	66

## I.- INTRODUCCION

La producción de Fertilizantes Fosfatados va unida una condición inevitable, que trasciende el ámbito de lo estrictamente económico: La elevada generación de residuos sólidos, que no sólo carecen de valor comercial sino además su eliminación representa un gran problema ecológico.

En efecto estos sólidos llamados "fosfoyeso" se genera a razón de cinco -- unidades de cada unidad de pentóxido de fósforo producido, base de los fertilizantes fosfatados. La situación creada por dichos residuos no puede considerarse trivial, sobre todo cuando existe la necesidad de producir -- cientos de toneladas diarias de pentóxido de fósforo, como es el caso de Fertilizantes Mexicanos, S. A., que construye en Lázaro Cárdenas, Mich., -- con capacidad de mil doscientos toneladas de ácido fosfórico por día.

La solución que se acostumbra dar a la situación mencionada antes es, con algunas variantes, dependiendo de la situación de la planta, tirar el subproducto de la manera y en el lugar que ocasiona menos incomodidades, ya que las formas [tecnología] existentes para su utilización presentan, limitaciones de orden económico. No se vislumbra la manera en que la planta -- de Lázaro Cárdenas, Mich., pudiera ser la excepción a dicha costumbre; por lo que se han considerado algunos lugares viables para realizar el retiro del fosfoyeso; uno de los cuales es el mar.

Para tal efecto se realizaron estudios en los que se pudiera plantear el -- impacto que sufriera la disposición del fosfoyeso al mar, en los que se hicieron mediciones y consideraciones pertinentes en base de investigaciones para fijar la dilución necesaria que garantice el mínimo daño ecológico, a

provechar al máximo las condiciones naturales favorables a la dilución y - el contacto mínimo, con la flora y fauna marina.

Esquemáticamente se muestra en la fig. 1-1, la eliminación del fosfoyeso - en las maneras efectuadas y las posibles formas en que se pudiera aprove-- char en las condiciones de factibilidad se tuviera.

## 11.- DESCRIPCION DE SISTEMAS ACTUALES DE MANEJO Y DISPOSICION DEL FOSFOYESO

Existen en la actualidad diversos sistemas para manejar y disponer el fosfoyeso producido en las plantas de ácido fosfórico en el mundo. El método para llevar a cabo tal disposición depende de factores como son: localización geográfica de la planta, la disponibilidad de agua de río o mar, la disponibilidad de terrenos y las restricciones reglamentarias que imponga el país -- donde estén procesando el ácido fosfórico.

A continuación se describen los sistemas de manejo y disposición del fosfoyeso más utilizado en el mundo, de acuerdo con la mas reciente información .

### 1.- ACUMULACION EN LAGUNAS DE SEDIMENTACION

El fosfoyeso, subproducto obtenido en la fabricación de ácido fosfórico por el proceso vía húmeda, es descargado a una tolva receptora y de ahí es transportado como una suspensión del 18 al 25% de sólidos totales, ya sea -- por gravedad o por bombeo hacia el área de disposición. <sup>(1)</sup> El agua que se -- emplea para formar la suspensión puede ser agua residual de la planta de ácido fosfórico, de otros procesos, agua fresca a una mezcla de todas ellas.

La suspensión entra por un extremo de la laguna de sedimentación que -- normalmente es de superficie geométrica rectangular y durante el trayecto -- a través de la misma el fosfoyeso sedimenta, derramando en el extremo opuesto agua clara, la cual se retorna a la planta para diferentes usos.

El tamaño de las lagunas de sedimentación varía, pero debe ser tan - -

grandes que puedan manejar efluentes de la planta de ácido fosfórico y el tamaño debe ser mayor cuando todas las aguas residuales de las plantas de todo un complejo se van a manejar a través de ella, lo que implica que la laguna va a servir como sedimentador de fosfoyeso y como una laguna de agua de enfriamiento para proceso.

Las lagunas de sedimentación se conforman en áreas extensas de terreno, con lo que evita la elevación inmediata del fosfoyeso sedimentado sobre el nivel del terreno, dado que volumen que ocupa el fosfoyeso producido es de unos  $3.4 \text{ m}^3/\text{ton. de } \text{P}_2\text{O}_5$ .

Además de la superficie necesaria para que el fosfoyeso pueda sedimentar, el agua a su paso por la laguna debe sufrir una caída de temperatura suficiente para poder utilizarse como agua de enfriamiento.

Cuando se dispone de poco terreno, se acostumbra construir la laguna -- colocando el fosfoyeso escurrido formando muros o bordes, los cuales alcanzan hasta 30 m. de altura. La desventaja de este tipo de lagunas surge -- cuando se tiene la necesidad de remover posteriormente el fosfoyeso, lo -- que ocasiona que los costos de operación aumenten en forma considerable.

El empleo de las lagunas de sedimentación es el sistema más común que se sigue en la mayoría de las plantas de ácido fosfórico de Estados Unidos de Norteamérica, además de considerarse como el más económico.

## 2. ACUMULACION DE MINAS AGOTADAS

Este método de acumulación de fosfoyeso en minas agotadas es utiliza -

do cuando las plantas de ácido fosfórico están localizados cerca de yacimientos antiguos ya agotados de roca fosfórica, como en Florida, E.U., donde aprovechan los pozos para disponer del fosfoyeso.

Las lagunas que se conforman por este método adquieren características similares a las mencionadas anteriormente.

La ventaja de este sistema de disposición es que utiliza el fosfoyeso como relleno de dichos pozos, y el agua sobrenadante de la laguna se recupera para volverse a usar como agua de arrastre del fosfoyeso proveniente de la planta, y para usarse como agua de enfriamiento.

En Europa se lleva a cabo prácticas similares, con la diferencia de que en este caso se han empleado minas de arena y de carbón ya agotadas. El manejo del fosfoyeso se realiza ya sea como suspensión mediante tuberías o bien en estado sólido empleando bandas transportadoras o vehículos según sea el caso.

Este sistema se ha adoptado principalmente en los países cuyas autoridades han prohibido la descarga del fosfoyeso en el mar.

### 3. ACUMULACION EN TERRENOS

La acumulación del fosfoyeso en terrenos se practica cuando se cuenta con grandes extensiones de terreno para su descarga.

El fosfoyeso se transporta de la planta de ácido fosfórico hacia los terrenos, de dos maneras que son:



a) Transportar el fosfoyeso en estado sólido directamente desde el filtro, por medio de bandas transportadoras. Esto se hace cuando los terrenos disponibles están cerca de la planta de ácido fosfórico ya que de estar éstos lejos, los costos por transporte aumentarían grandemente.

b) Transportar el fosfoyeso en forma de suspensión por medio de bombeo, a través de tuberías o sanjas hasta los terrenos. Este método resulta más económico que el anterior, cuando los terrenos disponibles se encuentran localizados lejos de la planta de ácido fosfórico.

El agua clarificada se puede entonces retornar a la planta para ser usada nuevamente o bien, descargarse en algún cuerpo receptor (ríos, lagunas, mar, etc.) tomando en cuenta las precauciones necesarias.

#### 4. DESCARGA EN RÍOS, ARROVOS Y SIMILARES

Este sistema se realiza en la mayoría de las plantas de ácido fosfórico de Fertilizantes Mexicanos, y consiste en poner el fosfoyeso en disolución intermedia, que varía de 3 a 7% suspendido con agua de río, antes de ser descargado al cuerpo receptor (río, laguna, etc.).

Se puede enviar una suspensión de fosfoyeso de baja concentración a sitios donde haya una intensa turbulencia para su disolución rápida. Lo anterior, se realiza debido a que las restricciones reglamentarias de México, no permiten descargar suspensiones concentradas en los ríos.

#### 5. DESCARGA AL MAR

El sistema de descarga del fosfoyeso al mar aprovecha el potencial de

asimilación de contaminantes que éste tiene y la dilución de la suspensión de fosfoyeso favorecida por la solubilidad que tiene el fosfoyeso en el agua de mar ( $3500 \text{ Mg/cm}^3$ , aproximadamente, valor mayor que en agua dulce), disponiendo en un corto tiempo de una disolución clara, que es una condición establecida por las autoridades para los cuerpos receptores de aguas residuales.

La descarga del fosfoyeso al mar se efectúa cuando la planta de ácido fosfórico está localizada cerca de la costa y además, cuando se han tomado en cuenta las medidas reglamentarias para la prevención de la contaminación de las aguas.

El método consiste en formar una suspensión de fosfoyeso al 10% de sólidos totales con agua de mar o de río, la cual es enviada por bombeo o por gravedad, hacia el mar.

Existen tres formas para descargar el fosfoyeso al mar a continuación descritas:

a) Descarga directa al mar por tubería como una suspensión al 10% de sólidos totales. Esta forma consiste en bombear la suspensión de fosfoyeso a través de una tubería de plástico, a una velocidad de 1.8 m/seg. con el extremo sumergido en el mar y provisto de varias perforaciones para la descarga, que actúan como difusores, con las cuales se logra la disolución casi inmediata del fosfoyeso.

Generalmente, la tubería se construye alreá para facilitar su inspección y además, va sujeta con concreto reforzado para así atenuar el posi-

ble movimiento que pudieran ocasionarle las olas.

b) Descarga directa del fosfoyeso disuelto en agua de mar. Este sistema de descarga se usa cuando las autoridades del país prohíben la descarga de materia sólida al mar, necesitándose entonces efectuar una disolución intermedia de la suspensión del fosfoyeso con agua de mar. Esta disolución intermedia se efectúa en dos etapas. En la primera se disuelve aproximadamente la tercera parte del fosfoyeso y en la segunda casi la totalidad de la parte restante.

La disolución en la primera etapa se realiza en un recipiente de fondo cónico, donde se mezclan la suspensión de fosfoyeso al 10% de sólidos - totales con el agua de mar que se inyecta, una parte en la superficie y la otra cerca del fondo del recipiente, el efluente de este recipiente se envía a la laguna donde se realiza la segunda etapa de la disolución.

El agua sobrenadante de la laguna, saturada de fosfoyeso, se envía al mar y una mínima parte del fosfoyeso, que no alcanza a disolverse, sedimenta en la laguna.

c) Descarga del fosfoyeso como una suspensión concentrada transportada por medio de lanchas.

Este caso se aplica cuando la planta de ácido fosfórico se encuentra lejos del mar, pero localizada en la rívera de un río o estuario, en los cuales esté prohibido descargar desechos sólidos. Ante esta situación, se ha adoptado por transportar el fosfoyeso, como una suspensión concentrada,

en lanchas abiertas de unas 250 toneladas de capacidad, las cuales descargan dicha suspensión en el mar a varios kilómetros de la playa, a través de compuertas colocadas en el fondo de las mismas.

En la tabla 2-1 se muestran resumidos todos los métodos de disposición del fosfoyeso empleados.

### III.- RESTRICCIONES REGLAMENTARIAS

Al fin de prevenir y controlar la contaminación ambiental, las autoridades han establecido una serie de leyes y reglamentos a las cuales, deben sujetarse los efluentes, de la industria entre ellos las descargas de aguas residuales y como dentro de esta categoría están las descargas de fosfoyeso de las plantas de ácido o fosfórico, por lo cual se hizo una revisión de las áreas o zonas del ambiente que resulten afectados por la contaminación de las descargas de fosfoyeso como son el agua y el suelo.

#### 1.0 REGLAMENTACION NACIONAL

Con la aparición de la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental, publicado en el Diario Oficial de la Federación, el 12 de marzo de 1971, habiendo entrado en vigor el 13 de marzo de ese mismo año, quedaron establecidos entre otros, los lineamientos generales que deben satisfacer las descargas industriales para prevenir y controlar la contaminación del agua y del suelo. Posteriormente, para conseguir la implantación de dicha ley, fué publicado con fecha de marzo 29 de 1973 el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación del Agua, mismo que entró en vigor el 28 de mayo de ese mismo año. Finalmente el 1° de julio de 1975, se hizo una complementación de este reglamento, entrando en vigor el día siguiente de su publicación, con el cual quedaron establecidos una serie de actividades que deben realizar los responsables de las descargas de aguas residuales para ir ajustándolas a los límites al control señalados por las autoridades responsables.

### 1.1 SOBRE LA CONTAMINACION DEL AGUA

En relación con la contaminación del agua, los documentos antes mencionados de una u otra manera tienen como objetivo:

Controlar la contaminación de las aguas, propiedad de la nación, ya sea de los cuerpos receptores superficiales aguas estuarinas o costeras, causada por las descargas de aguas residuales, con el objeto de restablecer gradualmente su calidad natural, para poder aprovechar racionalmente su capacidad de asimilación y dilución para captar aguas residuales.

Para lograr lo anterior, dentro del programa de actividades establecido en el Reglamento, destacaron las que se realizaron para que las descargas de las aguas residuales, excepto provenientes de usos puramente domésticos, se ajustaron a los límites máximos permisibles.

Los límites máximos permisibles en cuestión, son los cinco parámetros básicos siguientes. <sup>(2)</sup>

Sólidos sedimentables	1.0 ml/l ( $\text{cm}^3/\text{dm}^3$ )
Grasas y aceites	70 g/l ( $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ )
Materia flotante	Ninguno que pueda ser retenida por malla de 3mm, cuadrado de -- claro libre.
Temperatura	35° C
Potencial hidrógeno, pH	4.5- 10.0 unidades.

Además de estos parámetros básicos, que con fecha agosto 2 de 1977, se deben estar cumpliendo, en el mismo Reglamento se indica que con base a los estudios realizados por la Secretaría de Salubridad y Asistencia en relación con la capacidad de asimilación, dilución y la clasificación de los cuerpos receptores superficiales, aguas estuarinas y función de los usos, establecerán las características particulares que deben cumplir las descargas de aguas residuales antes de ser vertidas a los cuerpos receptores.

En la table No. 3.1<sup>(3)</sup> se resumen las características de calidad de los cuerpos receptores en función de sus usos y su clasificación en función de su localización. Las características particulares antes mencionadas, son susceptibles a modificaciones en plazos de cinco años, si las condiciones demográficas y ecológicas lo requieren, siendo inmediatos las modificaciones si se pone en peligro la salud pública.

En el renglón de los límites de las características particulares de las aguas residuales, caerán aquellos que se establezcan para los contaminantes asociados con el fosfoyeso de las plantas de ácido fosfórico y entre las principales están el fluor, la sílice, los fosfatos y sulfatos, y que con seguridad requerirán de tratamiento para ajustarse a los límites que se establecerán para las características particulares.

Además de las limitaciones señaladas para el control de la contaminación del agua, se prohíbe arrojar o depositar en ríos, cauces, vasos, este

ros y demás cuerpos receptores, basura, desechos humanos, sólidos gruesos, jales, lodos industriales y similares, así como depositar dichos desechos en las zonas inmediatas a los cuerpos receptores, susceptibles de ser arrastrados por el agua hacia los mismos.

## 1.2 SOBRE LA CONTAMINACION DEL SUELO

En cuanto a la prevención y control de la contaminación del suelo, -- las autoridades aún no han publicado el reglamento correspondiente que establezca las limitaciones y el programa de actividades que haya que cumplir, sin embargo, en la ley Federal para prevenir y controlar la contaminación Ambiental, se establecen algunas disposiciones generales al respecto, detectando entre ellos los siguientes:

1o. Queda prohibido descargar, depositar o infiltrar contaminantes en los suelos, tales como basuras provenientes de usos públicos, domésticos, industriales, agropecuarios y además desechos que puedan erosionar degradar, modificar o alterar las condiciones naturales del proceso biológico-- del suelo, o que lo conviertan en inadecuado para su uso o explotación. [4]

2o. Los productos industriales capaces de producir residuos sólidos -- que por su naturaleza no sean susceptibles de sufrir descomposición orgánica, serán motivo de reglamentación por parte del Ejecutivo Federal.

2.0 Con respecto a la reglamentación extranjera se destaca lo más importante como medidas preventivas y control de contaminación.



Dentro de todas las restricciones reglamentarias la más estricta que sigue es la de Estados Unidos, a través de la Agencia de Protección Ambiental (EPA), la cual es encargada de establecer las características que deben reunir los efluentes industriales en un documento denominado Code of Federal Regulations, <sup>(2)</sup> en el cual, se indican los límites particulares que deben cumplir el efluente o efluentes de la planta o grupo de plantas entre las que están consideradas las de ácido fosfórico.

## 2.1 SOBRE LA CONTAMINACION DEL AGUA

Como primer término, para el control de la contaminación del agua provocado por las descargas de aguas residuales, la EPA prohíbe que éstas afluyan tanto a corrientes navegables como a corrientes de uso recreativo, en ríos, mares, lagos, lagunas y similares.

Como segundo término, la EPA establece que las aguas residuales de este tipo de plantas, tienen que ser manejadas a través de lagunas de sedimentación, mismas que deberán reunir ciertas características de diseño, construcción, operación y control de tal manera que cumplan con la condición de que el volumen de agua residual que se descargue de éstas, sea igual al volumen de la precipitación colectada por las mismas, mediante la aplicación de las tecnologías más recientes. De acuerdo a lo establecido por la EPA, se tienen dos tipos de lagunas de sedimentación:

Uno de los tipos corresponde a una laguna de sedimentación de agua residuales diseñada y construida de tal forma que sea capaz de contener dentro de ella la precipitación pluvial de 10 años, de acuerdo a la locali-

zación. El volumen de agua residual que puede descargarse, será el equivalente al volumen de la precipitación que caiga dentro de la misma, que constituya un exceso en relación con el almacenado durante los 10 años.- También puede descargarse de la laguna durante cualquier mes calendario, un volumen de agua residual igual a la diferencia del volumen de la precipitación menos el volumen de agua evaporada de ese mes, o bien descargar el volumen promedio de agua residual igual a la diferencia entre la precipitación promedio menos la evaporación promedio, durante el mes en cuestión. (2)

Las características de calidad que debe satisfacer la descarga de agua residual de este sistema, son las que se indican en la Tabla No. -- 3.2 de este capítulo.

El otro tipo de laguna de sedimentación de aguas residuales, similar a la anterior, con la diferencia de que la capacidad de ésta debe permitir un volumen de agua equivalente a la precipitación fluvial de 25 años de acuerdo a su localización. El volumen de agua residual que puede descargarse de ella es también el equivalente al volumen de la precipitación que cae dentro de la misma cuando ésta se encuentra completamente llena, motivo de los 25 años de lluvia. El diseño de este último tipo se empleará también para los nuevos proyectos, aún cuando no se hayan fijado todavía las características de calidad del efluente para este sistema.

Para aquellas emisiones de fosfoyeso que no se manejan a través de-

una laguna de sedimentación, y que son susceptibles de ser descargados - al mar, sólo se permite descargarlos como una suspensión con un contenido de sólido totales menor de 5% y que el agua pase una sola vez a través del proceso.

Los lineamientos de la reglamentación de los efluentes de países industrializados para prevenir y controlar la contaminación de las aguas, se apoyan en los límites de calidad establecidos en las tablas 3.3 y 3.4 (5.6)

Se consideró también convenientes, contar con datos sobre la calidad de los cuerpos receptores superficiales establecidos por varios países y organismos, comparándola a la vez con lo que se ha establecido en México para las aguas de uso recreativo, conservación de la flora y fauna y usos agrícolas e industriales, que con mayor probabilidad serán usados las aguas de la mayoría de los cuerpos receptores del país.

Los límites de calidad para los cuerpos receptores establecidos por esos organismos y países, se indican en las Tablas 3.4 a 3.6 y entre los principales organismos de carácter internacional figuran la organización Mundial de la Salud (WHO) y el Servicio de Salud Pública de Estados Unidos de Norteamérica (USPHS).

En el aspecto particular que exigen las autoridades de los países Europeos sobre la disposición que deben satisfacer las descargas de fosfoyeso, destacan las concesiones para descargar suspensiones de fosfoyeso con el 10% de sólidos totales al mar, La descarga de suspensión - -

concentrada a varios kilómetros de la playa, ambos con la condición de que se logre la disolución del fosfoyeso de manera casi instantánea. Aunado a lo anterior, está prohibido descargar suspensiones en los ríos, aunque se tolera el fosfoyeso disuelto. El único país que prohíbe la descarga del fosfoyeso suspensión en el mar es Suecia.

## 2.2 SOBRE LA CONTAMINACION DEL SUELO

Desde el punto de vista de la disposición de desechos en el suelo, la EPA establece algunas consideraciones de tipo general para las lagunas de disposición de desechos sólidos, entre ellos, que estas lagunas deben ser accesibles por carreteras, caminos y estar alejados de aeropuertos, zonas habitacionales y cuerpos receptores de aguas, evitando que cualquier infiltración procedente de dichas lagunas alcancen a contaminar los mantos de aguas subterráneas, que normalmente se utilizan como fuentes de abastecimiento de agua.

Para la disposición de desechos en el suelo o en el subsuelo, la mayoría de los países exigen, en la actualidad planos de los proyectos entre los que destacan las descargas de fosfoyeso, con el objeto de contar con datos ya sea para permitir la ejecución del proyecto si se tiene seguridad de que las infiltraciones de agua de los depósitos de desechos no van a contaminar los mantos acuíferos, o bien, para cancelarlos si los mencionados requisitos no se cumplen.

#### IV. POSIBILIDADES DE APROVECHAMIENTO DEL FOSFOYESO EN LA FABRICACION - DE PRODUCTOS

Ante la problemática que representa el fosfoyeso para la producción de ácido fosfórico, se han desarrollado procesos, de los cuales se pretenden dos objetivos simultáneos, beneficios económicos y evitar la disposición y/o almacenaje. A reserva de sacrificar alguno de éstos, consecuencia de análisis de conveniencia para el aprovechamiento del fosfoyeso, a continuación se describen las etapas principales de los procesos más desarrollados, así como también sistemas mediante los cuales - el fosfoyeso simplemente se purifica y se usa.

##### 1. SULFATO DE AMONIO

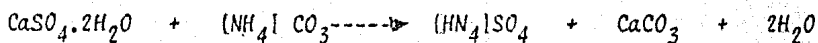
El proceso de fabricación de sulfato de amonio, a partir de fosfoyeso se puede dividir en las siguientes etapas:

a) Purificación del fosfoyeso.- El fosfoyeso húmedo procedente de la planta de ácido fosfórico, se recibe en unos tanques -- provistos de agitadores, donde se forma una suspensión entre 20 y 30% de sólidos totales, después se envía a un separador, donde se elimina la mayor parte de agua que lleva consigo las impurezas solubles, y la suspensión concentrada se filtra y se lava con agua, para obtener fosfoyeso libre de impurezas pero con un contenido del 20% de agua libre. (7)

b) Carbonatación - Reacción.- En las plantas que usan los procesos antiguo de fabricación de sulfato de amonio, primero se prepara una disolución de carbonato de amonio, mediante la ab

sorción del amoníaco y el bióxido de carbono en agua, obteniéndose una disolución al 45%; posteriormente se hace reaccionar con el fosfoyeso en uno o varios reactores; obteniéndose una suspensión con un contenido cercano al 30% de sulfato de amonio y 25% de carbonato de calcio. <sup>(7)</sup> Posteriormente, se desarrolló un proceso, en el cual, se forma la suspensión de fosfoyeso y se recircula a un reactor cerrado. La línea de recirculación de la suspensión está provista de dos camas de mezcla; una para bióxido de carbono, otra para amoníaco y un enfriador de la suspensión.

En los dos casos anteriores se lleva a cabo la siguiente reacción:



c) Filtración.- La suspensión producida durante la reacción, se separa del reactor y se envía a un sistema de filtración, el cual tiene el propósito de separar el carbonato de calcio, como residuo; y la disolución de sulfato de amonio a una concentración entre el 38 y 40% se envía a la sección de neutralización. Una pequeña parte de filtrado se regresa a la sección de reacción para actuar como disolvente del fosfoyeso.

d) Neutralización.- La disolución procedente del filtro, conjuntamente con el licor procedente de la etapa de centrifugación,

se neutralizan por el pequeño exceso de amoníaco con ácido sulfúrico. Esta disolución se envía posteriormente a los evaporadores.<sup>(1)</sup>

e) Evaporación-Cristalización.- Esta etapa tiene como finalidad eliminar el agua que contiene la disolución, y se lleva a cabo en evaporadores, generalmente de múltiple efecto.

El producto obtenido de ellos, se almacena en unos tanques --- cristalizadores, de los cuales se obtiene un magma con un contenido de alrededor del 18 al 20% de cristales.<sup>(1)</sup>

f) Centrifugación y Secado.- Los cristales de magma se separan por centrifugación, se lavan y se descargan a un sistema de secado. El licor y el agua de lavado se regresan a la etapa de neutralización. En el sistema de secado, los cristales se ponen en contacto con una corriente de aire caliente, la cual elimina la humedad, obteniéndose el producto seco, el cual posteriormente se envasa o se utiliza en la elaboración de fórmulas fertilizantes.

En la fig. 4-1 muestra un diagrama de flujo simplificado del proceso.

Los países que tienen azufre y pueden fabricar a bajo costo el ácido sulfúrico, les resulta más económico obtener el sulfato de amonio por la -- reacción directa del ácido con el amoníaco, que a partir de fosfoyeso, -- ya que la inversión de la planta es más baja y el rendimiento de mate---

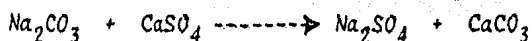
rias primas es más alto por ser más simple esta reacción que--  
la del fosfoyeso con el carbonato de amonio y que origina una--  
filtración difícil de realizar. Además, para obtener el pro--  
ducto a partir del fosfoyeso, se presentan serios problemas en  
el crecimiento del cristal. <sup>(7)</sup>

## 2. SULFATO DE SODIO

Para la fabricación de sulfato de sodio a partir de fosfoyeso, se--  
requieren de las materias primas: fosfoyeso  $(CaSO_4 \cdot 2H_2O)$  y soda ash ----  
 $(Na_2CO_3)$ .

El fosfoyeso previamente se somete a una purificación similar al -  
caso anterior, es transportado en forma de suspensión con una proporción  
de líquido sólido 2.5 a 1. <sup>[10]</sup>

La reacción entre el fosfoyeso y la soda ash es:



Esta reacción tiene lugar a una temperatura aproximadamente 80° C,  
con agitación, obteniéndose así una solución de sulfato de sodio de 22 -  
25% y un precipitado de carbonato de calcio, el cual es separado por a--  
sentamiento y filtración.

La solución es deshidratada por calentamiento directo con gas ca--  
liente más o menos a 400° C.



En la fig. 4-2 se muestra un diagrama de flujo simplificado del proceso.

Este método para aprovechamiento de los residuos sólidos no cumple estrictamente con el objetivo principal, evitar desechos, porque a su vez tendría que buscar la forma de adecuar el carbonato de calcio que se obtiene como subproducto en la fabricación del sulfato de sodio, factor determinante que limita la utilización del fosfoyeso.

### 3. ACIDO SULFURICO

Las tecnologías para fabricar ácido sulfúrico a partir de fosfoyeso, solamente se conocen dos que son muy semejantes entre sí: Proceso Marchón de Power Gas y el Proceso Voest. Empleando estas tecnologías, para producir ácido sulfúrico han sido Alemania Oriental con plantas de capacidades pequeñas 250 y 300 T/D. En Marruecos tres con capacidades de 400, 200 y 100 T/D. En Uruguay con una planta de capacidad de 100 T/D.

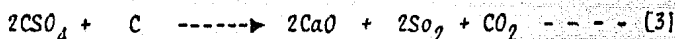
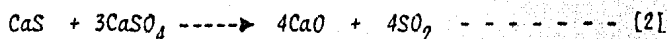
Las etapas principales de ambos procesos son:

- a) Secado de fosfoyeso.- El fosfoyeso una vez separado de la planta de ácido fosfórico, con un contenido de humedad del 35% de agua libre y el combinado correspondiente de agua de cristalización, es llevado a un secador donde se convierte a la forma anhidra (sulfato de calcio anhidro), propio para reaccionar con los componentes necesarios para la obtención de bióxido de azufre.

- b) Preparación de reactantes.- Los otros reactantes del proceso son: carbón, arena y arcilla; los cuales son molidos por separado a un tamaño de partícula específico, y llevados a sendos depósitos.

Simultáneamente a la molienda de los componentes, éstos son secados con gases de combustión. Posteriormente, el sulfato de calcio anhidro y los demás componentes son mezclados en las debidas proporciones hasta obtener una masa homogénea, la cual es enviada a la sección de reacción. (11)

- c) Reacción o Calcinación.- Esta etapa se lleva a cabo en un horno rotatorio, normalmente provisto de varias cámaras, en las cuales, los materiales viajan en contracorriente en relación a los gases de combustión procedentes de un quemador. Los reactantes conforme llegan a las zonas de mayor temperatura del horno se transforman a productos intermedios y éstos a su vez, en productos finales, teniendo esto lugar a un rango de temperatura entre 900 y 1100° C; llevándose a cabo las siguientes reacciones:



Los gases calientes de SO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> que salen del horno, se someten a una -

purificación y el óxido de calcio por la presencia de la arcilla y la arena se asocia al bióxido de silicio y aluminio - para formar el clínker, material en la fabricación del cemento.

d) Purificación y Enfriamiento de los Gases.- Los gases salen del horno a una temperatura aproximada de 450° C y su composición es de: Nitrógeno, Bióxido de carbono, vapor de agua y aproximadamente 10% de bióxido de azufre. La mezcla de gases arrastran también una cierta cantidad de polvo de horno.

La mezcla de gases se hacen pasar a través de una cámara de expansión de gases a los extractores de ciclón y después a precipitadores electrostáticos de gas seco, en esta parte, se elimina el 99% del polvo arrastrado. Los residuos finales de polvo se eliminan a través de dos torres instaladas en serie. La primera torre es hueva y la segunda empacada. [12]

La temperatura del gas limpio y humidificado que sale de la segunda torre se controla por enfriamiento del licor que se circula en la torre.

La etapa final de la purificación del gas se efectúa en un conjunto de precipitadores húmedos colocados después de la torre de lavado empacada. Estos precipitadores, remueven casi toda la niebla del licor y las partículas humedecidas del polvo que trae aún la corriente gaseosa. [11]

- e) *Secado del gas.*- El gas rico que sale de los precipitadores húmedos se seca antes de entrar a la sección de contacto de la planta. Para lograr este fin, el gas se hace pasar a través de la torre de secado a contracorriente con ácido sulfúrico de 93% de concentración a una temperatura de 49° C que se alimenta por la parte superior de la torre.

Antes de salir de la torre el gas, pasa a través de un eliminador de niebla que se encuentra localizado en la parte superior de la misma. De aquí, el gas seco es succionado por el <sup>(11)</sup> soplador principal del proceso.

- f) *Conversión de SO<sub>2</sub> a SO<sub>3</sub>.*- El gas seco y frío (49° C) succionado por el soplador principal lo descarga e impulsa a través del resto del equipo de proceso.

El calor de compresión en el ventilador incrementa la temperatura del gas hasta cerca de 110° C, siendo necesario sin embargo, un calentamiento adicional hasta 440° C para que ocurra la reacción de conversión de SO<sub>2</sub> a SO<sub>3</sub> en la primera cama catalítica del convertidor.

El calor adicional, se obtiene al pasar el gas a través de una serie de cambiadores de calor gas - gas.

El convertidor está formado por cuatro camas catalíticas y el

calor de reacción generado en cada una de estas camas se extrae en los cambiadores de calor gas-gas.

g) *Absorción de  $SO_3$ .*- El gas enfriado procedente de la etapa de conversión, fluye a través de las torres de absorción (intermedia y final) en donde por medio de ácido sulfúrico del 98% se genera el ácido sulfúrico que se manda a los tanques de producto, pasando previamente por un sistema de enfriamiento, y en la parte superior de la segunda torre se emiten los gases de cola. (16)

h) *Enfriamiento del clinker.*- Hay tres tipos de enfriamiento del clinker que trabajan asociados a los hornos rotatorios: El integral, el rotatorio y el de rejilla. En cada uno de ellos, el aire secundario de combustión es succionado a temperatura ambiente, a través del clinker, por un extractor situado en la boca del horno, con lo que se calienta el aire y se enfría el clinker. Los enfriadores integrales son cilindros construidos sobre hendiduras en la vuelta del horno, teniendo cada uno un laberinto simple para favorecer el intercambio de calor en contracorriente. Los enfriadores rotatorios son esencialmente como hornos pequeños, pero con salientes que levantan el clinker y lo dejan caer a través de la corriente de aire, mejorando la transmisión de calor. Los enfriadores de rejilla son, en principio; precalentadores de rejilla a la inversa. A veces están equipados con sus propios sopladores y pueden pasar el aire del que se requiere en el horno. En este caso tiene que desecharse algún aire, con una disminución de la eficiencia del

proceso térmico total, aunque no de la eficiencia del enfriamiento.

Además del desaprovechamiento térmico del calor, otra razón para el enfriamiento del clinker es que la velocidad del enfriamiento afecta las propiedades del cemento.

Al efectuarse este proceso rápido se le da mayor resistencia mecánica, se minimizan las dificultades de fraguado, se evita una pulverización espontánea, etc., finalmente, el clinker enfriado es más fácil de transportar y de moler.

- i) Molienda del clinker.- El clinker enfriado se muele con yeso en una proporción de 1 a 0.043 en un molino que consiste esencialmente en un cilindro horizontal de acero con los extremos cerrados, salvo -- los orificios de alimentación y descarga. El cilindro está revestido con acero endurecido u otros recubrimientos convenientes y, en general, cargado con resistentes bolas de acero. La rotación del molino inclina el conjunto de las bolas y hace que estas compriman y friccionen el clinker y el yeso; que se suelen alimentar por un extremo y descargar por el otro. (19)

Se ha demostrado que el tamaño de la bola requerido en una fase determinada de la molienda está relacionado con el tamaño de partícula a conseguir. Por esta razón el molino está dividido en tres cámaras con bolas de tamaños que van de 7.5 a 12.7 cm. Las cámaras están separadas por diafragmas con hendiduras, aunque en algunos ca--

Los se emplean placas alineadoras especialmente diseñadas para separar las bolas de tamaños diferentes en cámaras evitando así un diafragma.

Los molinos de bolas engendran una cantidad considerable de calor, que puede afectar las características del yeso dihidratado, que podrían causar irregularidad en el tiempo de fraguado, es por tanto necesario enfriar los molinos de cemento mojándolos externamente, empleando un chorro de agua en la última cámara. <sup>(19)</sup>

Una vez enfriado el cemento es transportado a los sistemas de envasado y almacén.

En la fig. 4-3 se muestra un diafragma simplificado del proceso.

El realizar la producción de cemento portland simultáneamente a la producción de ácido sulfúrico, a partir de los desechos obtenidos en la fabricación de ácido fosfórico representa la recuperación y aprovechamiento del fosfoyeso.

No obstante, la limitante de llevar a cabo este proceso para la producción del cemento estriba en la baja competitividad que ofrece si se le compara con el proceso normalmente utilizado a partir de yeso natural.

Por otra parte, las posibilidades de aprovechamiento del fosfoyeso en la fabricación de ácido sulfúrico potencialmente son buenas técnicamente, -

sin embargo, para el caso de nuestro país, tiene las desventajas siguientes:

El contar con grandes yacimientos de azufre elemental y yeso natural lo deja fuera de competitividad, por ejemplo: Para una planta de ácido sulfúrico a partir de azufre con capacidad de 660,000 T/A incluyendo todos los servicios auxiliares requeridos, la inversión necesaria sería aproximadamente de 5,137.8 millones de pesos. Mientras que para una planta de la misma capacidad considerando también todos sus servicios auxiliares a partir de fosfoyeso asciende a 32,109 millones de pesos. Lo que representaría 6.2 veces mayor, razón por la cual en nuestro país difícilmente se tratará de aprovechar este subproducto.

Adicionalmente el costo de producción se vería afectado, debido a la diferencia que existe entre los procesos objetos de comparación en la sección principal, desde un punto de vista energético. Se observa en los procesos de fabricación de ácido sulfúrico a partir del azufre elemental, la planta misma se hace autosuficiente en consumo y generación de energía. Mientras que en la fabricación de ácido sulfúrico a partir de fosfoyeso no lo es, se tiene que suministrar toda la energía requerida para llevarse a cabo la calcinación del fosfoyeso.

En el primer caso se tiene que en el horno donde se efectúa la combustión de azufre se liberan  $59.6 \times 10^6$  Kcal/H, de las cuales se consumen  $2.9 \times$



$10^6$  Kcal/H para preparar el azufre fundido, antes de iniciar la reacción y el resto es aprovechado para la generación de vapor que se requiera en la planta e inclusive exportar. Mientras que en el segundo caso, para que se efectúe la calcinación del fosfoyeso se debe suministrar  $53.0 \times 10^6$  --- Kcal/H mediante algún combustible que se queme y libere esta cantidad de energía requerida.

Por tanto, la alternativa de disponer el fosfoyeso en el mar abre muchas interrogantes relativas a las consecuencias, es decir, el impacto ecológico, que tal medida puede ocasionar, así como a los procedimientos técnicos necesarios para disminuir o eliminar tales consecuencias en caso que se -- consideren inaceptables por afectar otros usos del mar.

Para estas interrogantes implícitas en un proyecto de la magnitud del de -- vertir alrededor de seis mil toneladas diarias de desechos sólidos industriales al mar, algunas instituciones preocupadas sobre este particular -- han realizado estudios concernientes a la disposición en el océano el yeso subproducto de la fabricación de ácido fosfórico, efectuado de la siguiente manera:

Estudio bibliográfico crítico de la legislación sobre disposición de residuos líquidos y sólidos del mar. Estudio de las características oceanográficas en la zona probable de disposición; Estudio del comportamiento físico-químico y de disposición al mar de los residuos de plantas de ácido fosfórico, Estudio del efecto de los residuos de plantas de ácido fosfórico -- sobre comunidades marinas de la zona probable de disposición. Marco de re

*ferencia fisicoquímico, hidrodinámico y biológico.*

*Interacciones entre el cuerpo receptor y la descarga de fosfoyeso y alternativas de manejo óptimo desde el punto de vista de protección ambiental y medidas preventivas.*

*Tal estudio consistió en la realización de las mediciones y consideraciones pertinentes con base a otras investigaciones para fijar la dilución necesaria que garantice el mínimo daño ecológico, aprovechar al máximo las condiciones naturales favorables a la dilución y el contacto mínimo con la flora y fauna marinas y de acuerdo con esto se realizó el diseño funcional del dispositivo de emisión, que ofrece mayores garantías para manejar una suspensión de fosfoyeso y logre la máxima dilución.*

*Resultado de lo anterior se llegaron a alternativas de manejo óptimo.*

- 1.- Puesto que las características fisicoquímicas del cuerpo receptor son normales y se encuentran libres de alteración química, es recomendable que las condiciones de descarga del fosfoyeso, se cumplan con las restricciones de dilución establecidas por este estudio (99.96%). De esta forma se asegurará el mantenimiento de la calidad del agua y del ecosistema costero.*
  
- 2.- Debido a que las características hidrodinámicas en el cuerpo receptor están sujetas a múltiples factores es recomendable que se realice para el diseño final del difusor, un estudio de circulación más específico en el punto de descarga propuesto. Esto*

podría hacerse empleando colorantes, trazadores fluorescentes o cualquier otro material, que permita obtener una representación más exacta del fenómeno de difusión del fosfoyeso.

- 3.- De acuerdo a las características morfológicas en el fondo del cuerpo receptor es recomendable la realización de un estudio de tipo sísmico y geológico. Estos para determinar si el basamento sobre el cual se construirá el yesoducto es apropiado.
- 4.- Se recomienda hacer la descarga al mar, siempre y cuando se respeten las normas de seguridad biológicas, puesto que de acuerdo a la diagnosis biótica el área elegida puede funcionar como un cuerpo receptor.
- 5.- Se recomienda que la descarga se haga a 30 m de profundidad con el fin de que la pluma no alcance la capa superior de 10 m que se debe proteger, y además con base en el tiempo de suspensión, tamaño de las partículas y velocidad de sedimentación de ellas es conveniente que la descarga sea a una altura sobre el fondo de 10 a 20 m para proporcionarles el tiempo de dilución necesario.
- 6.- La ubicación del difusor en el fondo es la más recomendable -- desde el punto de vista ecológico, ya que afecta menos al ecosistema costero. El bentos presenta muy baja diversidad y los únicos bancos ostrícolas de la zona se encuentran solo en pro-

fundidades someras, que no serían alcanzadas ni siquiera por --  
las partículas más finas del desecho.

- 7.- Desde el punto de vista químico, de acuerdo a la solubilidad --  
del fosfoyeso en el agua de mar, la descarga podría tener una --  
dilución entre 70 y 94%. Sin embargo, al considerar la experi-  
mentación realizada y la legislación sobre descargas industria-  
les, se recomienda una suspensión al 0.04, que corresponde a --  
una dilución del 99.96% como la máxima concentración de fosfoye-  
so que se puede arrojar, sin causar efectos apreciables a corto  
plazo. En esta dilución las concentraciones de fluoruros y fos-  
fatados serían bastante menores que los límites de seguridad.
- 8.- Se recomienda realizar estudios de bioacumulación a una escala--  
tan grande como sea posible para determinar los efectos a largo  
plazo sobre la biota local.
- 9.- Sería recomendable que se pruebe un emisor-difusor a escala pi-  
loto que maneje el desecho real de la planta de Lázaro Cárde--  
nas en régimen continuo y con la inclusión del movimiento pro-  
pio del cuerpo receptor. En este caso se podría conocer el --  
comportamiento hidráulico y el destino de las partículas al en-  
trar al cuerpo receptor.
- 10.- Será conveniente comprobar con el vendedor del proceso de fa-  
bricación de ácido fosfórico, el tamaño máximo de partículas -

esperado y, de acuerdo con este, la velocidad de flujo suficiente para garantizar la no sedimentación de partículas dentro de la tubería. Si la experiencia del vendedor del proceso recomienda velocidades menores a las que aquí se han usado (2.4 a 3m/s), esto repercutirá en una mayor vida de la tubería y ahorro de la energía de bombeo. De ser así, el diseño debería modificarse, lo que podrá hacerse sin dificultad siguiendo el procedimiento de cálculo establecido.

- 11.- En caso de no emplear la dilución mediante un emisor, se recomienda una neutralización parcial y/o sustituirla por una reducción de la acidez del desecho mediante recuperación de los ácidos fosfóricos y fluosilícico.
- 12.- Es recomendable que el sistema de emisión al mar para el fosfoyeso cuente con: 1) una unidad adicional de emergencia y/o alteración, 2) un sistema de energía de emergencia, y 3) un volumen de agua disponible, suficiente para la sustitución del fosfoyeso por agua en toda la tubería, para que en la operación alterada no se sedimente el fosfoyeso en la unidad que quede fuera de operación.
- 13.- Puesto que el sistema de monitoreo es un proyecto a largo plazo, es conveniente que su operación se realice en forma automatizada hasta donde sea posible, ya que esto reducirá los costos de obtención, preservación y análisis de las muestras; aunque re-

*presente una inversión inicial fuerte.*

14.- *Se recomienda que como estudio especial programado se monitoree el efecto de bioacumulación debido a metales pesados.*

15.- *Se recomienda la inspección submarina de la zona; con el objeto de observar la sedimentación y distribución del desecho, así como el estado y funcionamiento del emisor.*

#### 4. YESO GRADO CONSTRUCCION

El proceso consiste en eliminar las impurezas del fosfoyeso, por medio de lavados exhaustivos y sedimentaciones selectivas, y posteriormente, se recristaliza para cambiarlo de la forma dihidratada en que se obtiene generalmente  $[\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ , a la forma hemihidratada  $[\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}]$ .  
(9.17)

Los procesos de depuración de los fosfoyesos brutos por vía húmeda consisten, en solubilizar la mayor parte de las impurezas solubilizables-- presentes ( $\text{P}_2\text{O}_5$  ácido, flúor, sodio, etc.), y en eliminar por vías físicas: hidrociclónaje, tamizado y filtración, la otra parte de las impurezas insoluble (materia orgánica,  $\text{P}_2\text{O}_5$  inatacado, fluoruro de calcio).

Una unidad de depuración de fosfoyeso por vía húmeda utiliza los siguientes equipos convencionales:

- Transportadores de cinta equipados de balanzas.
- Tanques de hormigón revestidos equipados de agitadores.
- Bombas de transferencia, tipo centrífugo vertical y horizontal.
- Tamiz vibrante.
- Filtros tipo congelones, tambor o cintas.
- Bombas de vacío.
- Hidraciclones.

Los materiales son principalmente de acero al carbón ahulado.

Después de la depuración se efectúa la recristalización que se obtienen en las autoclaves agitadas o por deshidratación en secadores neumáticos.

Los yesos obtenidos son de tipo  $\alpha$  o de tipo  $\beta$ .

Los yesos  $\alpha$  son más duros, se utilizan para modelar. Los yesos  $\beta$  se utilizan casi exclusivamente como yesos para prefabricación por excelencia.

#### Secado del Yeso

Los procesos en los que se utilizan los secadores neumáticos permiten un secado homogéneo, una deshidratación mejor controlada y regulada del yeso, estos yesos así obtenidos son casi 100% hemihidratado.

En los procesos convencionales de calcinación las temperaturas de conversión del yeso en forma hemihidratada son más elevadas que las temperaturas calculadas teóricamente a partir de datos termodinámicos. Esto es debido a la débil conductividad térmica del yeso que provoca un gradiente de temperatura importante dentro del grano y al débil coeficiente de difusión del agua interna.

Para compensar los dos inconvenientes anteriores, la gran finura del fosfoyeso es aprovechada poniéndolo directamente en contacto con los gases calientes, para obtener la superficie de intercambio térmico máximo.

Los secadores neumáticos son los que han dado buen resultado para efec-



tuar la deshidratación y calcinación del fosfoyeso húmedo.

Además el reciclaje de aire optimizando el balance térmico de la instalación y disminuir los residuos expulsados a la atmósfera.

Estos yesos llamados sintéticos obtenidos presentan una dureza y una resistencia mecánica y una granulometría fina, lo que les confiere un --- tiempo de fraguado rápido.

Una unidad de fabricación de yeso a partir de fosfoyeso depurado y que - funcione con secadores neumáticos, requiere:

- Tolvas de recepción.
- Roscas mezcladoras y donificadoras de alimentación.
- Secadores neumáticos de acero inoxidable.
- Generadores de gases calientes.
- Ciclones de recepción.
- Tolvas ciclones.
- Ventiladores de aire de combustión.
- Ventiladores de insuflación de aire fresco.
- Ventiladores de extracción.
- Cámaras rotativas.
- Distribuidores rotativos.
- Molinos.
- Torre de lavado o electrofiltro.
- Bombas de pulverización y de transferencia.

- Silos de almacenamiento de yeso, con dispositivos de fluidización y de transferencia.

#### ELEMENTOS DE CONSTRUCCION DEL YESO

Se trata principalmente de placas de yeso macizo o huecos, bloques huecos de yeso, paneles, elementos lisos para techos.

Las placas de yeso macizas se utilizan para tabiques ligeros, la forma standard es de 500 X 666 mm, 3 placas constituye 1 M<sup>2</sup>. Los espesores comunes son 4, 6, 7, 8 y 10 cm. La densidad única de las placas de yeso es de 0.9 Kg/dm<sup>3</sup>.

Además de las placas macizas, compuestas únicamente de yeso, se pueden fabricar placas con aditivos de diferentes tipos (perlita, arcilla expandida, desechos de hormigón celular, poliesterno expandido) y placas huecas provistas de alveolos longitudinales. Los bloques huecos de yeso se utilizan para las paredes sustentadoras.

Una instalación de fabricación de placas de yeso puede ser diseñada según la capacidad deseada, totalmente automática o semiautomática y comprende:

- Silos de yeso con dispositivos de extracción y de alimentación.
- Instalación de dosificación y de mezcla en "Tandem" equipada con una báscula dosificadora de yeso, un dosificador volumétrico de agua, mezcladores yeso/agua, compresores y un armario -

central de mando.

- Máquinas de placas de yeso para moldes.
- Dispositivos automáticos de elevación y de desplazamiento.
- Carretillas de secado.
- Secador de túnel.
- Instalación automática de empaque.
- Sobreembalador de película estirable.
- Almacenamiento de placas de yeso.
- Carga de las paletas de placas.

NOTA: Las placas de yeso pueden ser secadoras de manera natural.

#### FABRICACION DE YESO GRANULADO.

La granulación a partir de fosfoyeso depurado y húmedo se obtiene en -- dos etapas:

- Secado en los secadores neumáticos, ya descritos.
- Granulación del yeso en las prensas moldeadoras que constituyen los equipos más importantes de una unidad de granulación.

Una unidad de granulación necesita los siguientes equipos:

- Tolva de recepción.
- Rosca mezcladora y docificadora.
- Secador neumático.
- Generador de gases calientes.

- Ciclones.
- Tolva para los ciclones.
- Ventilador de extracción.
- Distribuidores rotativos.
- Torre de lavado.
- Bombas de pulverización y de transferencia.

Equipos para la granulación:

- Silos de recepción, equipados con los dispositivos antiatasco.
- Transportadores dosificadores de yeso.
- Roscas mezcladoras.
- Bombas dosificadoras con pulverizadores.
- Separadores de las piezas que estén fuera de las especificaciones normales.
- Tolvas de alimentación de los precompactadores.
- Pesadoras de cinta granuladas de yeso.
- Roscas dosificadoras de los desechos.
- Molinos para desecho.
- Transportadores de evacuación de los granulados.
- Rejilla de desbarrado.
- Transportadores de recuperación de los desechos.
- Elevador de desechos.
- Tolvas para desechos.

En la fig. 4-4 se muestra un diagrama simplificado del tratamiento a -- que se sometería el fosfoyeso para obtener yeso grado construcción.

La viabilidad de aprovechar el fosfoyeso para la fabricación de yeso grado construcción enfrenta problemas, siendo los más importantes:

- a) La abundancia de yacimientos de yeso natural hace más económica-- la utilización de éste de manera directa, comparativamente al cos to que representa la adecuación del yeso a partir de fosfoyeso.
- b) Por otro lado en materia de placas divisorias el mercado tiene -- una preferencia hacia al consumo de aquellas que son fabricadas - con materiales más resistentes que el yeso.

En forma resumida en la tabla 4-5 se muestran todas las posibilidades de-- aprovechamiento del fosfoyeso listando sus ventajas y desventajas.

#### V. CASOS ESPECIFICOS DE DESCARGA DEL FOSFOYESO AL MAR

El fosfoyeso tiene una alternativa de disposición la de convertido al--  
mar. Esta práctica se lleva a cabo en la mayoría de los países poten--  
cialmente productores de ácido fosfórico de Europa y en algunos de Amé--  
rica.

En este capítulo se describen algunos de esos casos en los que el fos--  
foyeso es tirado al mar.

- 1.- La disposición del fosfoyeso en ríos y el mar en Europa con--  
siste en formar una suspensión de aproximadamente 10% de sól--  
lidos totales, la cual se envía a través de tubería de mate--  
rial plástico de 15.24 cm (6 plg.) de diámetro a una veloci--  
dad de 1.82 m/sg [6 pies/seg] rumbo al mar, donde ocurre una--  
disolución casi inmediata del fosfoyeso.

Esto se lleva a la práctica en Dinamarca, donde la tubería --  
está sostenida con bloques de concreto reforzado en el fondo--  
del mar para descargar la suspensión.

En Suecia existe una planta, la cual descarga el fosfoyeso --  
también al mar, pero hace una disolución intermedia usando u--  
na laguna de sedimentación, y tirando el fosfoyeso disuelto--  
en agua de mar.

Existe también el método de poner el fosfoyeso en barcas o --  
lanchas y llevado mar adentro para ser descargado.

- 2.- Disposición del fosfoyeso en Francia. Esta disposición se -- realiza en la bahía del río Sena de la siguiente manera:

La torta de fosfoyeso separada por filtración luego de ser la vada, todavía retiene una cierta acidez; esta acidez es reducida con una lechada de cal de manera que el agua impregnada en el fosfoyeso alcance un pH superior o igual a 5.

El fosfoyeso se dispone vertiéndolo al mar como una pulpa húmeda con 45 a 50% de agua y de 1.5 de densidad. Como una tonelada de fosfoyeso corresponde a 1.85 toneladas de pulpa húmeda, eso implica que se descharían de 8 a 9 toneladas de --  
(18)  
pulpa por tonelada de  $P_2O_5$  producido.

En Inglaterra la disposición del fosfoyeso al mar resulta una práctica común.

- 3.- Disposición del fosfoyeso al mar en Japón. Al fosfoyeso obtenido del filtro de la planta de ácido fosfórico es puesto en suspensión y bombeado a través de una tubería para ser descargado al mar.

La solubilidad del fosfoyeso en agua de mar es diez veces más que en agua dulce. El agua de mar es débilmente alcalina (pH = 8.0 aproximadamente). Esto ayuda a una neutralización in-mediata a los ácidos que acompañan al fosfoyeso.

En caso de que la planta se encuentre localizada lejos del---  
mar, el fosfoyeso es transportado por camiones u otro vehícu-  
lo al puerto y puesto en barcas, para posteriormente ser lle-  
vado a varios kilómetros mar adentro y ser descargado. [15]

- 4.- Disposición del fosfoyeso en Canadá. En este país disponen -  
del fosfoyeso producido tirándolo directamente a la bahía de-  
Chaleur, la planta de ácido fosfórico está localizada cerca--  
de dicha bahía y los costos por disposición son únicamente --  
los de bombeo.

Esto lo han estado haciendo desde hace 12 años.

La mayor parte del fosfoyeso permanece en una distancia de a-  
proximadamente 180 mts. de la descarga. En términos de fau-  
na marina, cada año llevan a cabo una investigación para cong-  
cer que efectos produce la suspensión descargada sobre las es-  
pecies en esa área. Han hecho estudios en cangrejos, langos-  
tas, etc., encontrando que sólo se mueren los animales que no  
se mueven en el fondo del mar en el área donde se encuentra -  
el fosfoyeso, o sea parece no tener efectos en los peces que -  
habitan en esa área y sus alrededores. [14]



## VI.- CONCLUSIONES

De acuerdo al estudio técnico e información bibliográfica realizados para determinar la viabilidad del proyecto de fabricación de ácido sulfúrico y cemento portland, como la alternativa más atractiva de las diferentes opciones de recuperación del fosfoyeso, reveló las siguientes desventajas:

- 1.- Utilizar el fosfoyeso para la fabricación de ácido sulfúrico la inversión requerida es de 6.2 veces mayor que para una planta de iguales características pero a partir de azufre elemental.
- 2.- El costo de producción es mucho más elevado a partir de fosfoyeso que de azufre, basta analizar la sección principal de ambos procesos, el horno de calcinación de fosfoyeso requiere gran cantidad de energía que deberá suministrarse por medio de combustible; mientras que el horno de combustión de azufre es el caso contrario, la cantidad de energía que se libera hace que la planta misma sea autosuficiente en sus necesidades energéticas e inclusive exportarse el resto de la energía.
- 3.- La abundancia de materias primas con las que cuenta México particularmente azufre y yeso permiten la fabricación de ácido sulfúrico y cemento portland de manera directa, lo cual representan economías y con exigencias técnicas menores, en ambos casos.
- 4.- Las limitaciones económicas antes expuestas permiten concluir que la práctica de depositar el fosfoyeso en el mar es lo más recomendable,-

en el momento actual, siguiendo todas las recomendaciones derivadas -  
de los estudios realizados sobre el posible impacto ecológico que se  
tendrá, harán posible se conserven las condiciones ecológicas del lu  
gar.

A P E N D I C E

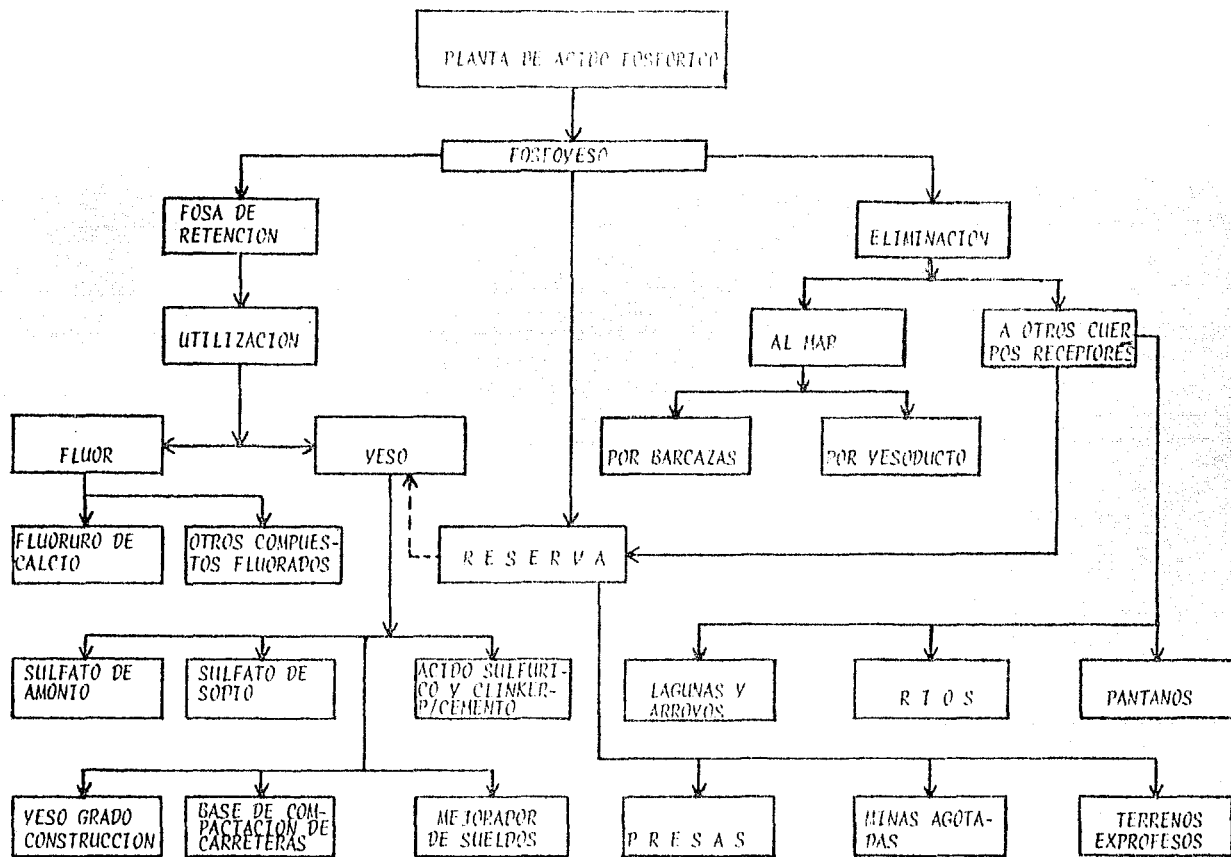


Fig. 1-1 APROVECHAMIENTO Y/O ELIMINACION DEL FOSFOVESO

Tabla 2.1

DISPOSICIÓN DEL FOSFORESO

METODO DE DISPOSICION:

V E N T A J A S

D E S V E N T A J A S

LAGUNAS DE SEDIMENTACION

- 1.- Es el sistema más común y económico
- 2.- Puede utilizarse como medio de almacenamiento del fosforeso, a la vez como laguna de enfriamiento para agua de proceso.
- 3.- Es posible reutilizar el agua.

- 1.- Necesidad de grandes extensiones de terreno.
- 2.- No se tiene una eliminación virtual del fosforeso.
- 3.- Tiene un tiempo limitado de vida útil.

ACUMULACION EN MINAS AGOTADAS

- 1.- Se emplea cuando se prohíbe la descarga del fosforeso al mar.
- 2.- Es fosforeso puede utilizarse como relleno de dichos pozos y el agua sobre nadante puede recuperarse para volverse a usar en el arrastre del fosforeso y como agua de enfriamiento.

- 1.- Necesaria cercanía de la planta a yacimientos antiguos agotados.
- 2.- Posible infiltración de agentes contaminantes a aguas del subsuelo.
- 3.- Tiempo de vida útil limitado dependiendo de la magnitud del pozo.

ACUMULACION EN TERRENOS

- 1.- Mismas que las lagunas de sedimentación.

- 1.- Mismas que las lagunas de sedimentación
- 2.- Posible infiltración de agentes contaminantes a aguas del subsuelo.
- 3.- Degradación del suelo.

DESCARGA EN RIOS, LAGUNAS, ARROYOS Y SIMILARES

- 1.- Virtual disposición del fosforeso.

- 1.- Restricciones regulatorias que prohíben dicha descarga.
- 2.- Mayor posibilidad de contaminación de los cuerpos receptores, por su baja capacidad de dilución y asimilación, con los consecuentes daños ecológicos.

DESCARGA AL MAR

- 1.- Virtual disposición del fosforeso.
- 2.- Posee una mayor capacidad de dilución y asimilación del fosforeso y agentes contaminantes.

- 1.- Descarga controlada bajo restricciones regulatorias.
- 2.- Posibles daños ecológicos si la descarga no es controlada
- 3.- Necesaria cercanía de la planta a la costa.

Tabla No. 1. Hoja 1 de 2. Límites de calidad exigidos a cuerpos receptores de acuerdo a su clasificación en cuanto a usos y localización (3).

PARAMETRO	CUERPOS RECEPTORES SUPERFICIALES					AGUAS ESTUARINAS				AGUAS COSTERAS			
	DA	DI	DII	DIII	DIV	E I	E II	E III	E IV	C 1	C 2	C 3	C 4
Potencias Hidrógeno, pH	6.5 - 8.5	6.0 - 9.0	6.0 - 9.0	6.0 - 9.0	5.0 - 9.5	6.3 - 8.5	6.5 - 8.5	6.3 - 8.5	5.0 - 9.0	CN + 0.3	CN + 0.3	CN + 0.4	CN + 0.4
Temperatura °C	CN + 2.5	CN + 2.5	CN + 2.5	CN + 2.5	-	CN + 2.5	CN + 2.5	CN + 2.5	-	CN ± 10%	CN + 10%	CN + 10%	CN + 10%
	(a <sub>1</sub> )	(a <sub>1</sub> )	(a <sub>1</sub> )	(a <sub>1</sub> )		(a <sub>2</sub> )	(a <sub>2</sub> )	(a <sub>2</sub> )		(a <sub>3</sub> )	(a <sub>3</sub> )	(a <sub>3</sub> )	(a <sub>3</sub> )
Oxígeno disuelto mínimo µg/cm <sup>3</sup>	4.0	4.0	4.0	3.2	3.2	4.0	4.0	4.0	3.0	90% de CN (b)	90% de CN (c)	90% de CN (c)	90% de CN (d)
Bact. Coleiformes NMP org 100 cm <sup>3</sup>	200 fecales (e)	1000 fecales (e)	10000 totales (f)	1000 (g)		70 prom	200 fecales (e)	1000 prom mensual (h)		70 prom (i)	<1000 (j)	<2000 (j)	<10000 pm (x)
Grasas y Aceites µg/cm <sup>3</sup>	0.76	1.0	sin película visible	sin película visible		(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
Sólidos disueltos µg/cm <sup>3</sup>	<1000	<1000	<2000	(m)		(n)	-	(n)		-	-	-	-
Turbiedad U.T.J.	10	CN	CN	CN		(o)	(o)	(o)		-	-	-	-
Color (Pt. - Co)	20	(p)	CN	CN + 10		CN	CN	CN		CN	CN	CN	CN
Olor y Sabor	Ausentes	Removible.	CN	-		CN	CN	CN		CN	CN	CN	CN
Nutrientes (N y P)	(q)	(q)	(q)	(q)		(q)	(q)	(q)	(q)	-	-	-	-
Materia flotante	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente(h)	Ausente(h)	Ausente(h)	Ausente(h)	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Substancias tóxicas µg/cm <sup>3</sup>													
Asbésico	0.05	0.05	1.00	5.00		1.0	1.0	1.0	1.0	0.1	0.1	0.1	0.1
Bario	1.00	1.00	5.00			-	-	-	-	-	-	-	-
Boro	1.00	1.00	-	2.00		-	-	-	-	-	-	-	-
Cadmio	0.01	0.01	0.01	0.005		0.01	0.01	0.01	0.01	0.001	0.001	0.001	0.001
Cromo exhalante	0.05	0.05	0.10	5.00		0.01	0.01	0.01	0.01	0.001	0.001	0.001	0.001
Mercurio	0.005	0.005	0.01			0.005	0.005	0.005	0.005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
Plomo	0.05	0.05	0.10	5.00		0.10	0.10	0.10	0.10	0.001	0.001	0.001	0.001
Selenio	0.01	0.01	0.05	0.05		-	-	-	-	-	-	-	-
Cobre	1.00	1.00	0.10	1.00		0.05	0.05	0.05	0.05	0.005	0.005	0.005	0.005
Níquel	-	-	-	-		0.10	0.10	0.10	0.10	0.008	0.008	0.008	0.008
Zinc	-	-	-	-		10.0	10.0	10.0	10.0	0.01	0.01	0.01	0.01
Cianuro	0.20	0.20	0.02			0.02	0.02	0.02	0.02	0.001	0.001	0.001	0.001
Subs. activas al A de M	0.50	0.50	3.00			0.50	0.50	0.50	0.50	0.001	0.001	0.001	0.001
Extractables con CHCl <sub>3</sub>	0.15	0.15	0			-	-	-	-	-	-	-	-
Fenoles	0.001	0.001	1.00			0.10	0.10	0.10	0.10	0.001	0.001	0.001	0.001
Sulfuros						0.50	0.50	0.50	0.50	-	-	-	-
Fluoruros						1.50	1.50	1.50	1.50	-	-	-	-
Amoníaco						0.80	0.80	0.80	0.80	0.10	0.10	0.10	0.10
Cresoles						1.50	1.50	1.50	1.50	-	-	-	-
Plaguicidas µg/cm <sup>3</sup>						-	-	-	-	-	-	-	-
Aldrin	0.017	0.017				0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.004	0.004	0.004	0.004



NOTAS ACLARATORIAS DE LA TABLA No. 1

- a<sub>1</sub>) Máximo 30° C excepto cuando sea causada por condiciones naturales.
- a<sub>2</sub>) Medida en la superficie de la zona de mezclado
- a<sub>3</sub>) Nunca podrá exceder de 32°C.
- b) Nunca deberá ser menor que 4.0 µg/cm<sup>3</sup>.
- c) Nunca deberá ser menor que 3.0 µg/cm<sup>3</sup>.
- d) Nunca deberá ser menor que 5.0 µg/cm<sup>3</sup>.
- e) Podrá ser mayor de 2 000 coliformes fecales en no más del 10% del total de las muestras mensuales (5 mínimo).
- h) 2 000 coliformes fecales, como promedio mensual ningún valor mayor de 4 000.
- j) Para riego de legumbres que se consuman sin hervir o frutos que ten gan contacto con el suelo y libre para los demás cultivos.
- i) Ningún valor deberá exceder de 20 000 coliformes totales.
- i) No más del 10% del total de las muestras en un período mensual debe rá exceder de 230/100.
- j) No más del 20% del total de las muestras por mes (5 mínimo) deberá exceder de 1000/100 cm<sup>3</sup>, ni ninguna muestra simple tomada durante un período verificativo de 48 Hs. debe exceder de 10 0000/100 cm<sup>3</sup>.
- k) No más del 20% del total de las muestras deberá exceder de 10 000/ 100 cm<sup>3</sup> en un período mensual, ni ninguna excederá de 20 000/100 cm<sup>3</sup>.
- l) Ningún aceite o producto de petróleo debe ser descargado en cantida des que:
  - 1) Puedan ser detectados como una película visible.
  - 2) Puedan causar manchas en peces y/o organismos invertebrados.



NOTAS ACLARATORIAS DE LA TABLA No. 1 (CONTINUACION)

- 3) Forme depósitos de lodo aceitoso en la costa ribera o fondo del cuerpo receptor.
- 4) Se vuelve tóxico.
- m) Conductividad no mayor de 2000µmohs/cm. Si el valor de RAS es mayor de 6 la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos fijará el límite.
- n) No deberán provocar cambios en la geometría de la cuenca o en las entradas de agua dulce, que puedan causar cambios permanentes en los patrones de comportamiento de la isohalina en  $\pm 10\%$  de la variación natural.
- o) Se aplicarán los siguientes límites:
- CN + 5% Si la turbiedad natural está entre 0 y 5 U.T.J.
- CN + 10% Si la turbiedad natural está entre 50 y 100 U.T.J.
- CN + 20% Si la turbiedad natural es mayor o igual que 100 U.T.J.
- p) No se permitirá color artificial que no sea cogulable por tratamiento convencional.
- q) No deben existir en cantidades tales que provoquen una hiperfertilización.
- r) Cualquier desecho susceptible de sedimentarse y que pueda ocasionar consumo de oxígeno, opacidad o interferencia a los organismos bentónicos en su respiración o nutrición.
- Boro 0.4 µg/l. Para valores superiores, la autoridad fijará el valor definitivo.
- vA) Abastecimiento para sistemas de agua potable e industria alimenti--

cia con desinfección únicamente. Recreación (contacto primario) y libre para los usos D I, D II y D III.

D I Abastecimiento de agua potable con tratamiento convencional (coagulación, sedimentación, filtración y desinfección) e industrial.

D II Agua adecuada para uso recreativo, conservación de flora, fauna y usos industriales.

D III Agua para uso agrícola e industrial.

D IV Agua para uso industrial (excepto procesamiento de alimentos)

E I Explotación de moluscos para consumo directo y todos los demás usos.

E II Recreación (contacto primario) y cualquier otro uso excepto E I.

E III Explotación pesquera y cualquier otro uso excepto los anteriores.

E IV Navegación y cualquier otro uso, excepto los anteriores.

C I Cultivo de mariscos para consumo directo, y áreas de acuicultura y todos los demás usos.

C 2 Recreación con contacto primario y todos los demás usos excepto C I.

C 3 Usos recreativos sin contacto primario y todos los demás usos excepto los anteriores.

C 4 Explotación pesquera de especies de escama y todos los demás usos-- excepto los anteriores.

TABLA No. 2 Límites para las descargas de las lagunas de sedimentación-  
establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de  
Norteamérica. (2)

PARAMETRO	Máximo ( 1 )	Promedio ( 2 )
Sólidos suspendidos, $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	50	25
Fósforo total, $\mu\text{g P}/\text{cm}^3$	70	35
Flúor, $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	30	15
Potencial Hidrógeno, pH Unidades	Entre 8.0	9.5

( 1 ) Emisión máxima para cualquier día.

( 2 ) Emisión promedio, que no debe excederse durante 30 días consecuti-  
vos.

Tabla No. 3 Límites de calidad establecidos para efluentes industriales en algunos países de Europa y Asia (6).

PARAMETRO	TAILANDIA		SUIZA (1965)		CHINA	FILIPINAS
	MINISTERIO DE SALUD PUBLICA	MINISTERIO DE INDUSTRIA	AL ALCAN-TARILLADO	CUERPO RECEPTOR		
DBO $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	40	20 - 60	0	30	40 - 150	-
DQO $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	100	-	-	-	-	-
Sólidos suspendidos $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	60	30 - 150	-	20 - 30	400	Ninguno que cauce molestias públicas
Oxígeno disuelto $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	-	-	-	>0.5	-	1.0 min
Temperatura °C	40	40	<30	<30	-	-
Sólidos disueltos totales $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	2000	200	-	-	-	-
Grasas y aceites $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	15.0	nada	-	20	-	10
Sulfuros $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	3.0	1.0	1.0	0.1	-	-
Nitrógeno amoniacal $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	5.0	-	-	<.1	-	-
Detergentes $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	1.5	-	-	-	-	-
Cianuro $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	1.0	0.2	-	0.1	0.1	-
Fenoles $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	0.05	1.0	5.0	0.2	0.01	-
Plaguicidas $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	0.01	nada	-	-	-	-
Potencial hidrógeno no pH	5.0 - 9.0	5.0 - 9.0	6.5	6.5	5.0 - 9.0	5 min
Metales pesados (total) $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	5.0	1.0	-	-	-	-
Arsénico	0.1	-	1.0	1.0	-	-
Bario $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	-	-	-	10.0	-	-
Cadmio $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	-	-	1.0	1.0	0.5	-
Cobre $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	2.0	-	0.1	0.1	-	-
Cromo hexavalente $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	-	-	0.1	0.1	0.5	-
Hierro $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	5.0	-	-	1.0	-	-
Mercurio $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	-	-	0.1	0.1	-	-
Plomo $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	-	-	1.0	1.0	1.0	-
Zinc $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	2.0	-	2.0	2.0	-	-
Valores de permanganato	-	60	-	60	-	-
Cloro o cloruros	5.0	1.0	0.005 - 3	0.05	300	-
Color unidades máximo	-	-	-	no visible	-	20 - 200
Olor unidades máximo	-	-	-	no desagradable	-	80
Alquitrán	No visible	nada	-	-	-	-

Tabla No. 4. Límites de calidad para abastecimiento de agua potable e industrias alimenticias (con desinfección únicamente), para uso recreativo (contacto primario), para abastecimiento de agua potable (con tratamiento convencional), para uso industrial y libre para otros usos. (3, 2, 15.)

PARAMETRO	WHO 1972	FWPCA 1965	USPHS 1962	AIT	WHO Europa 1970	CANADA	URSS	FRANCIA	CHINA
Potencial hidrógeno pH	7.0-8.5	6.0-8.5	-	6.5-8.5	-	6.5-8.3	-	-	-
Oxígeno disuelto $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	-	3	-	> 2,0	5.0	-	-	-	2.0
Materias coliformes NMP/100 $\text{cm}^3$	-	10000	-	C.N.	-	-	-	-	C.N.
Sólidos disueltos $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	500	500	500	4000	-	1000	-	-	1000
Turbiedad U.T.J.	5	Variable	-	-	-	5	-	15	-
Color (Pt - Co)	5	25	-	-	-	15	-	20	-
Olor y sabor	Inobjetable	24	Inobjetable	-	-	Inobjetable	-	-	-
Temperatura °C	-	30	-	-	-	15	-	15	-
Arsénico $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.10
Bario	1.00	1.00	1.00	-	-	1.00	4.00	-	-
Boro $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	-	1.00	-	-	-	5.00	-	-	1.00
Cadmio $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	0.01	0.01	0.01	-	0.01	0.01	0.01	-	0.01
Cobre $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	1.00	1.00	1.00	-	3.0	1.00	0.10	1.00	1.00
Cromo hexavalente $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.10	ND	0.05
Plomo $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	0.10	0.05	0.05	0.05	0.10	0.05	0.10	0.10	0.10
Selenio $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	0.01	0.01	0.10	-	0.05	0.01	0.01	0.35	0.05
Cianuro $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	0.05	0.20	0.20	0.20	0.05	0.20	0.10	ND	0.02
Fenoles $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	0.001	-	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.0	0.001
Sust. Activas al A de M $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	0.50	0.50	-	-	-	0.50	-	-	-
Extractables con $\text{CHCl}_3$ $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	0.20	0.15	-	-	-	0.20	-	-	-
Hierro $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	0.30	0.30	0.30	-	0.10	0.30	0.50	0.20	0.30
Magnesio $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	50.00	-	125	-	30	150	-	125	50.00
Manganeso $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	0.10	0.05	0.05	-	0.05	0.05	-	0.10	0.10
Zinc $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	5.00	5.00	5.00	-	5.00	5.00	-	5.00	5.00
Cloruros $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	200	250	250	1000	350	250	-	250	300
Nitratos $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	45	10	40	-	50	10	10	5	-
Sulfatos $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	200	250	250	-	250	500	-	250	-

AIT: Asian Institute of Technology.

NOTA: Estos límites corresponden a las clases D-A y D-I de cuerpos receptores superficiales.

Tabla No. 5 Límites de calidad exigidos por diferentes reglamentaciones a cuerpos receptores con agua adecuada para uso recreativo, conservación de flora y fauna y usos industriales (Clases D II) (2, 3, 13)

PARAMETRO	MEXICO	FWPCA (1965)	USPHS (1962)	A I T	CALIFORNIA STATE (1963)	TAILANDIA 1971	FILIPINAS
Potencial Hidrógeno pH	6 - 9	6 - 9	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-8.5
Temperatura °C	CN+2.5 (máx. 30)	30	34	-	34	35	34
Oxígeno disuelto µg/cm <sup>3</sup>	4.0	3.0	2.5	2.0	5.0	3.0	5.0
Bact. Coliformes tot. NMP/100 cm <sup>3</sup>	(*)	-	1000	-	-	-	1000
Grasas y aceites µg/cm <sup>3</sup>	Sin pel- cula	-	Sin pel- cula	-	10	5	-
Sólidos disueltos µg/cm <sup>3</sup>	2000	1500	2000	1000	2000	-	3000
Turbiedad µg/cm <sup>3</sup>	Con. na- turales	10	-	-	-	Cond nat.	5-10
Color {Pt-Co} µg/cm <sup>3</sup>	Con. na- turales	-	150	-	-	Cond nat.	5-10
Olor y sabor µg/cm <sup>3</sup>	Con. na- turales	-	-	-	-	-	10-50
Materia flotante µg/cm <sup>3</sup>	Ausente	-	-	-	-	-	Ninguna
Arsénico µg/cm <sup>3</sup>	1.0	0.05	2.0	1.0	1.0	0.10	-
Bario µg/cm <sup>3</sup>	5.0	-	5.0	-	5.0	-	-
Boro µg/cm <sup>3</sup>	-	1.00	-	-	1.33-20	-	-
Cadmio µg/cm <sup>3</sup>	0.01	-	0.01	-	0.01	-	-
Cobre µg/cm <sup>3</sup>	0.10	1.00	0.02	0.02	0.02	0.50	-
Cromo hexavalente µg/cm <sup>3</sup>	0.10	0.05	0.05	-	0.05	-	-
Magnesio µg/cm <sup>3</sup>	-	-	0.01	-	-	-	-
Mercurio µg/cm <sup>3</sup>	0.01	-	-	-	0.01	-	-
Plomo µg/cm <sup>3</sup>	0.10	0.50	0.10	0.10	0.10	-	-
Selenio µg/cm <sup>3</sup>	0.05	0.05	-	0.10	-	-	-
Cianuro µg/cm <sup>3</sup>	0.02	-	0.02	0.01	0.02	0.02	-
Fenoles µg/cm <sup>3</sup>	1.00	-	-	0.02	1.00	0.005	0.1-0.2
Sust. Activos al A de M	0.30	0.5	-	0.20	2.00	-	-

\* Promedio mensual de determinaciones diarias no mayor de 10 000 coliformes fecales. Ningún valor deberá ser mayor de 20 000 coliformes totales.

Tabla No. 6 Límites de calidad exigidos por diferentes reglamentaciones a cuerpos receptores con agua adecuada para uso agrícola e industrial. (Clase 0-III) (2,3,13)

PARAMETRO	MEXICO	FWPCA (1965)	USPHS	A I T.	CALIF. STATE 1963	WEST VIRGINIA STATE 1974	TAILAN- DIA 1974
Potencial Hidrógeno pH	0.0-9	4.5-9.0	6.0-9.0	-	7-8.5	6.0-8.5	6.5-8.5
Temperatura °C	CN+2.5 (máx. 30°)	-	-	-	-	31	35
Oxígeno disuelto µg/cm <sup>3</sup>	3.2	-	-	2.0	-	5.0	3.0
Bact. Coliformes NMP/100	1000**	-	1000	-	1000	1000	-
Sólidos disueltos µg/cm <sup>3</sup>	(*) +	2000	1500	1000	500	-	-
Turbiedad UFI	CN	5	-	-	-	-	-
Color esc. Pt-Co	CN+10	15	-	-	-	-	-
Olor y sabor	-	Inobje- table	Inobje- table	-	-	3	-
Arsénico µg/cm <sup>3</sup>	5.0	1.0	5.0	-	1.0	0.01	0.10
Bario µg/cm <sup>3</sup>	-	1.0	2.0	-	-	0.50	-
Boro µg/cm <sup>3</sup>	2.0	1.0	-	1.25	0.50	-	-
Cadmio µg/cm <sup>3</sup>	0.005	0.01	0.005	-	-	0.01	-
Cobre µg/cm <sup>3</sup>	1.0	1.00	1.00	-	0.10	-	0.50
Cromo hexavalente µg/cm <sup>3</sup>	5.0	5.0	-	-	-	0.05	-
Plomo µg/cm <sup>3</sup>	5.0	0.5	-	-	-	0.05	-
Selenio µg/cm <sup>3</sup>	0.05	0.05	-	-	-	0.01	-
Cianuro µg/cm <sup>3</sup>	-	0.20	-	-	-	0.025	0.02
Fenoles µg/cm <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	0.001	0.005
Cloruros µg/cm <sup>3</sup>	-	250	350	-	100	100	-
Hierro µg/cm <sup>3</sup>	-	0.3	-	-	-	-	1.5
Nitratos (NO <sub>3</sub> ) µg/cm <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	45	-
Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) µg/cm <sup>3</sup>	-	-	-	-	200	200	-
Zinc µg/cm <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	-	0.5

\* Si el valor de la Relación de absorción de sodio (RAS) es mayor de 6 la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos fijará el valor definitivo. Boro 0.4 g/l. Para valores superiores, la autoridad competente fijará el valor definitivo.

\*\* Para legumbres y frutas que tengan contacto con el suelo y libre para otros cultivos.

(+) Conductividad menor de 2000

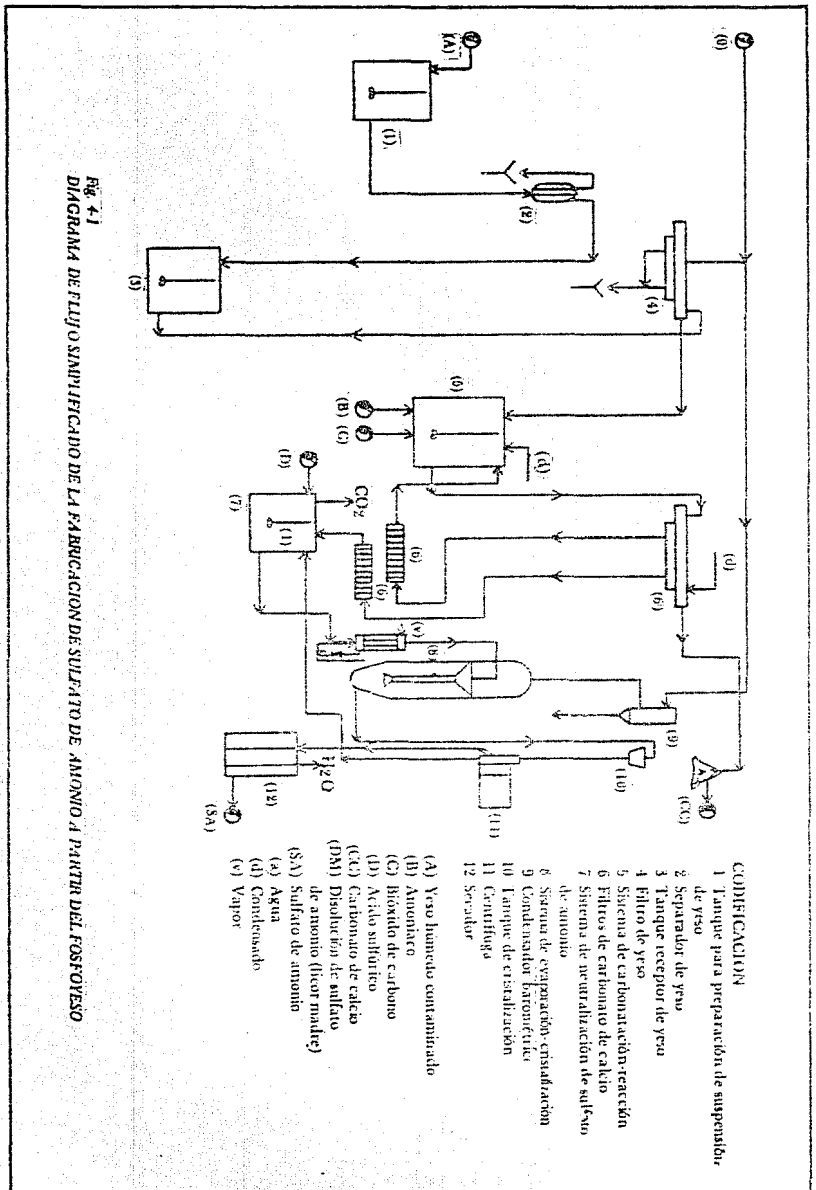


Fig. 4.1  
DIAGRAMA DE FLUJO SANIFICADO DE LA FABRICACION DE SULFATO DE AMONIO A PARTIR DEL FOSFOROSO



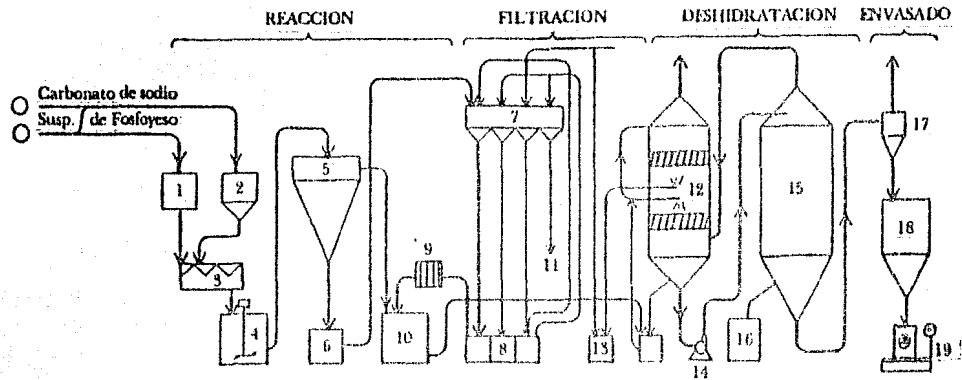


Fig. 4-2

DIAGRAMA DE FLUJO SIMPLIFICADO DEL PROCESO DE FABRICACION DE SULFATO DE SODIO A PARTIR DE FOSFOYESO.

- |  |                                  |
|--|----------------------------------|
| 1 Tanque de suspensión de yeso                 | 11 Carbonato de calcio (Residuo) |
| 2 Tanque de soda ash                           | 12 Torre de lavado               |
| 3 Mezclador helicoidal                         | 13 Tanque amortiguador           |
| 4 Reactor                                      | 14 Bomba                         |
| 5 Tanque decantador                            | 15 Atonizador                    |
| 6 Tanque de suspensión                         | 16 Hornos de combustión          |
| 7 Filtro                                       | 17 Ciclón                        |
| 8 Tanques recibidores                          | 18 Tolva                         |
| 9 Filtro prensa                                | 19 Unidad de envasado            |
| 10 Tanque de solución $\text{Na}_2\text{SO}_4$ |                                  |

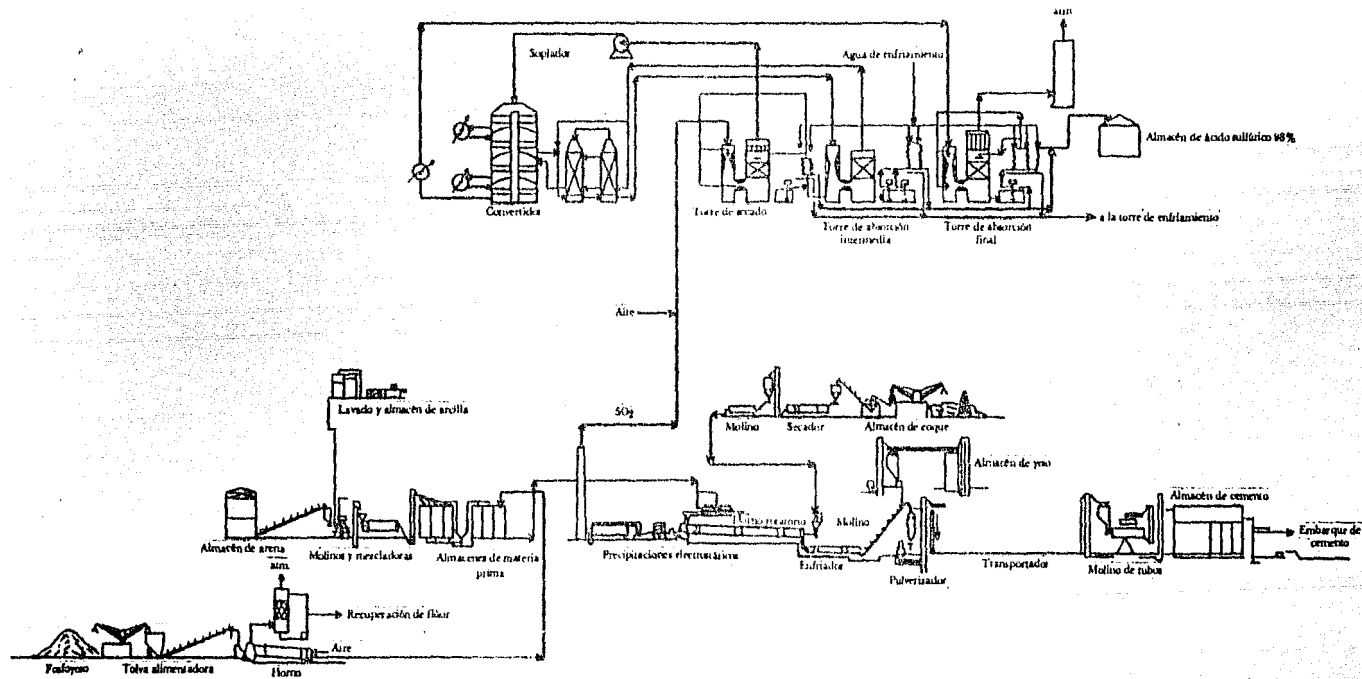
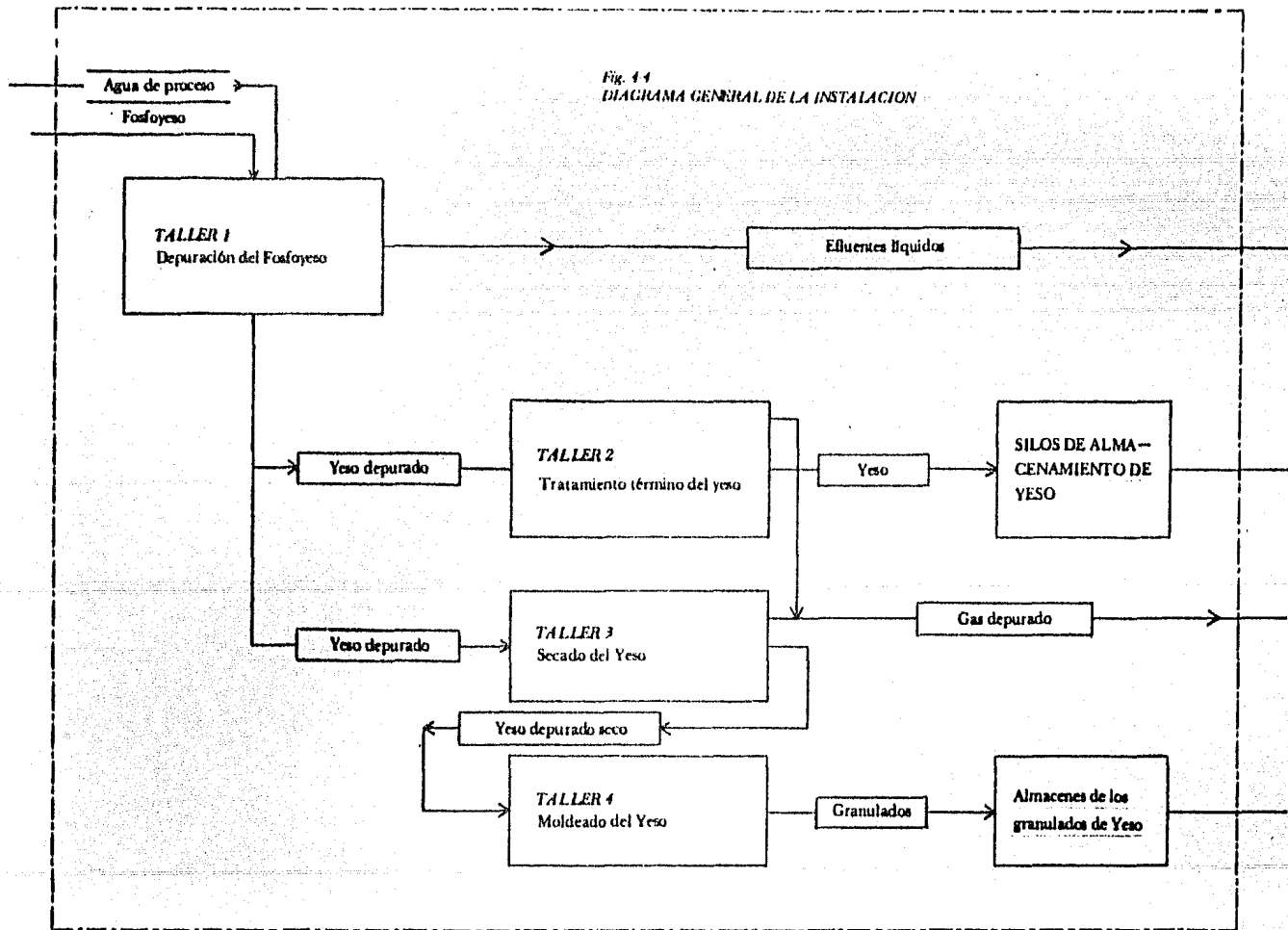


Fig. 4-3  
 DIAGRAMA DEL PROCESO PARA FABRICACION DE ACIDO SULFURICO Y CEMENTO A PARTIR DE FOSFOYESO



APROVECHAMIENTO DEL FOSFOYESO

METODO DE APROVECHAMIENTO:

V E N T A J A S

D E S V E N T A J A S

FABRICACION DE SULFATO DE AMONIO

- 1.- Utilización del fosfoyeso como materia prima, lo cual resuelve el problema de su disposición.

- 1.- Se tiene una mayor inversión en la planta y más altos costos de producción, comparada con la planta tradicional, en la que utiliza el ácido sulfúrico como materia prima.
- 2.- Se tienen rendimientos más bajos de las materias primas al presentarse tres reacciones.
- 3.- Se tienen problemas en el crecimiento de los cristales y en la filtración del subproducto (carbonato de calcio obtenido).
- 4.- Se presenta el problema de la disposición del carbonato de calcio.

FABRICACION DE SULFATO DE SODIO

- 1.- Idem caso anterior.
- 2.- El producto fabricado tiene considerable demanda comercial.

- 1.- Hay que realizar un tratamiento previo al fosfoyeso.
- 2.- El método es menos económico que el empleo de NaCl y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
- 3.- Existe el inconveniente de la disposición del carbonato de calcio.

FABRICACION DE ACIDO SULFURICO  
Y CLINKER PARA CEMENTO

1.- Se puede producir producto de buena calidad como el ácido sulfúrico y el clinker para cemento, al mismo tiempo se evita la disposición del fosfoyeso.

1.- La inversión y los costos de -- producción son mucho más altos -- que una planta que procese ácido sulfúrico de azufre y tostación de piritas.  
2.- Se requiere tratamiento previo al fosfoyeso producido.

FABRICACION DE FLUORURO DE CALCIO

1.- Reducción de contaminación, aprovechamiento del fosfoyeso, flúor y fluosilicatos.

2.- Fabricación de un producto comercial y a la vez del sulfato de amonio a partir de materias primas de desecho.

3.- Es un método más económico que el que emplea fluoruro de amonio y -- cal, o carbonato de calcio, además de ser el proceso más competitivo en zonas donde escasea el espato de flúor.

1.- No existe tecnología bien desarrollada de este método pues -- los patentes son de reciente introducción (1975).  
2.- La producción de fluoruro de -- calcio ( $CaF_2$ ) a partir de fosfoyeso y fluosilicatos resulta -- ligeramente menos competitiva -- que aquella a partir de espato de flúor.

FABRICACION DE BLOQUES Y PLAFONES  
PARA CONSTRUCCION

1.- Se tendría una virtual disposición del fosfoyeso, y aprovechamiento para la construcción.

1.- No se cuenta con un mercado establecido de este producto.

MEJORADOR DE SUELOS

1.- Virtual disposición del fosfoyeso, utilizando éste como complemento de Fertilizantes.

1.- Se requiere pruebas antes de su uso.  
2.- En caso de pruebas positivas la proporción utilizada del fosfoyeso sería mínima comparada con la producida.

BASE DE COMPACTACION EN CARRETERAS

1.- No exige tratamiento previo del -- fosfoyeso para su uso, aparentemente.

2.- Virtual disposición del fosfoyeso.

1.- Uso limitado a lugares muy próximos a la planta productora, a grandes distancias resultaría -- antieconómico.

## VII. BIBLIOGRAFIA

- 1.- Slack, A.V. Phosphoric Acid. Part II. VOL. I Marcel Dekker Inc. New York. [1968] 505-517, 525-527
- 2.- Environmental Protection Agency [EPA], code of Federal Regulations, Part 100 to end, Washington. [1975] 387-391, 733-734
- 3.- Reglamento para la prevención y control de la contaminación de agua. S.S.A. Marzo 29, 1973.
- 4.- Ley Federal para prevenir y controlar la contaminación Ambiental, S.S.A. Marzo 12, 1971.
- 5.- Rodier, J. Analysis of Water, John Wiley & Sons, Jerusalem London, 1st. Edition. 755,766
- 6.- Mainwaring, B.P. Investigation of Rational Effluent and Stream Standards for tropical countries. Asian Institute of Technology, U.S. Army R& D Group Field, Va, (1974). 1-16.
- 7.- Kasturirangan Shri V.N. Fabricación de sulfato amónico con yeso sub producto de una fábrica de ácido fosfórico. Fertilizer and Chemicals Travancore Limited, India. 230-235
- 8.- Phosphogypsum. Air Industries [France]

- 9.- Industrial Export. Iprochim. Bucharest Rumania Engineering Enterprise for Inorganic and Fertilizer Industry. 104-105
- 10.- Power-Gas Producción de Acido Sulfúrico y cemento por el proceso industrial Marchon.
- 11.- Chemical and process Engineering Sulphuric Acid and Cement from Gypsum. (August, 1971) 55.
- 12.- Todd D.K. The Water Encyclopedia, water information Center publication. 1st. Edition (1970) 306 - 338
- 13.- Davy Powergas Inc. Lakeland Florida, U.S.A.
- 14.- Nissan Chemical Industries LTD General Information on the Utilización and Disposal of Phosphogypsum. February 1978. JAPAN
- 15.- Roberts E.J. and heat T.D. Sulfuric Acid Regeneration Processes for -- Phosphoric Acid Plants. Reprinted by Dorr Oliver Incorporated.
- 16.- Revalorización de los fosfogepsos - Spelchim.
- 17.- Rhone - Poulenc - chimie Minérale Agosto 23, 1977.
- 18.- J. W. Sweeney and B. O. Timmons. Availability and Potential Utilization of the By - Product Gypsum in Florida Phosphate Operations. Forum. Proc., Ind. Miner. series No. 5 (1973).. 89-97
- 19.- Walter H. Duda.- Manual Tecnológico del Cemento. Editores Técnicos Asociados, S.A. (1977) 55 - 78 ; 109 - 112