

**Universidad Nacional de Ingeniería**

**FACULTAD DE INGENIERIA  
QUIMICA Y MANUFACTURERA**



**“Estudio de Prefactibilidad para la  
Instalación de una Planta de Acido  
Fosfórico Agrícola en Bayóvar”**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO QUIMICO**

**María Victoria Orbezo Del Rosario**

**PROMOCION 1875 - 1**

**Lima - Perú - 1990**

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA  
LA INSTALACION DE UNA PLANTA  
DE ACIDO FOSFORICO AGRICOLA  
EN BAYOVAR .

A MIS PADRES

A MIS HIJOS

EN AGRADECIMIENTO A LAS PERSONAS QUE ME APOYARON PARA LA  
CULMINACION DE ESTE TRABAJO, PARTICULARMENTE A LOS INGENIEROS  
ELEANO CUADROS, PABLO PERRY Y ALBERTO COLAN



## INDICE

### INTRODUCCION

### ANTECEDENTES

#### I RESUMEN

1.1 Objetivo	2
1.2 Mercado	2
1.3 Tamaño y Localización de Planta	2
1.4 Ingeniería	3
1.5 Inversión y Financiamiento	3
1.6 Costos de Producción	4
1.7 Organización y Administración	4

#### II CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

2.1 Conclusiones	6
2.2 Recomendaciones	6

#### III ASPECTOS GENERALES

3.1 Dentro del marco del Desarrollo Industrial.	9
3.2 Dentro del marco de integración Latinoamericana.	9
3.3 Dentro del marco Legal.	10

#### IV ESTUDIO DE MERCADO

4.1 Características	12
4.2 Análisis de la demanda actual	19

#### V TAMAÑO Y LOCALIZACION DE PLANTA

5.1 Tamaño	22
5.2 Localización	23

VI.	INGENIERIA	
6.1	Materia prima	
6.1.1	Roca fosfórica	31
6.1.2	Acido Sulfúrico	33
6.2	Discusión y descripción del proceso de producción	36
6.3	Selección y especificación de equipos	62
VII	INVERSIONES Y FINANCIAMIENTO	
7.1	Inversiones	70
7.2	Financiamiento	74
VIII	COSTOS DE PRODUCCION	
8.1	Introducción	75
8.2	Costos de producción	76
8.3	Evaluación económica	78
IX.	ORGANIZACION Y ADMINISTRACION	
9.1	Organización	84
9.2	Administración	85
	APENDICES	
	REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA	

## INTRODUCCION

El propósito de este trabajo es desarrollar el estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta de ácido fosfórico grado agrícola, (producto intermedio clave para la fabricación de todos los fertilizantes fosfatados), procesado en húmedo en la zona de Bayóvar.

El ácido fosfórico es un producto esencial en la fabricación de: fosfatos fertilizantes, fosfato de sodio y calcio para la industria alimentaria, tripolifosfato de sodio para la industria de los detergentes; y tanto en el país como en el mundo entero su consumo crece rápidamente. En nuestro país existen grandes depósitos de roca fosfatada, como los de Bayóvar que contienen la materia prima para este proceso.

En el desarrollo de este trabajo se presentará:

- El estudio del mercado; lo que nos dará un conocimiento claro de las necesidades del país.
- Las características principales de los yacimientos de materia prima y el proceso que se va a seguir en la concentración de la misma. En base a la demanda determinada para el producto y la disponibilidad de la materia prima se desarrollarán las bases para determinar la envergadura de la planta y de la ubicación de ésta, también se calculará los requerimientos económicos para llevar a cabo este proyecto, y las condiciones bajo las cuales se podrá conseguir el financiamiento necesario.

mundo, todos estos minerales tienen riquezas variables en cuanto a su contenido de fósforo, las más usuales oscilan entre 25% y 35% como  $P_2O_5$  (unidad universalmente aceptada para valorar la riqueza de los fosfatos y sus derivados).

En el Perú las vetas de Bayovar poseen un promedio del 8% en  $P_2O_5$ , por lo que se requiere de una planta concentradora para aumentar este contenido.

Una característica de esta roca, es que la forma bajo la cual está el fósforo no es asimilable directamente (fosfatos insolubles), ni por acción del agua (lluvias), ni por acción del citrato (segregado por la raíz de las plantas).

Para solubilizar estos fosfatos se usan generalmente ácidos minerales (sulfúrico, nítrico, clorhídrico o fosfórico), de los cuales el más utilizado ha sido el ácido sulfúrico y ultimamente buscando un mayor contenido de  $P_2O_5$ , el ácido fosfórico.

En el Perú no existe planta alguna que produzca el ácido fosfórico en ninguna de sus calidades.

Como derivados del fósforo se emplean: los superfosfatos (simple y triple), para la industria de los fertilizantes así

como los diversos fertilizantes de amonio (fosfatos), los nitrofosfatos; para la industria animal.

La necesidad de aumentar el contenido de  $P_2O_5$  en los fertilizantes minerales ha sido incentivo para el desarrollo de las diferentes tecnologías, para la preparación del ácido fosfórico por vía húmeda.

## I RESUMEN

## RESUMEN

### 1.1 Objetivo

Este trabajo presenta el anteproyecto para la instalación de una planta para la elaboración de un producto necesario para nuestro desarrollo esencialmente agrario, lo que nos permitiría tratar la roca fosfatada, para obtener superfosfatos sin desmedro de nuestras divisas, puesto que a excepción de la maquinaria, la materia prima será totalmente nacional.

### 1.2 Mercado

El mercado que se ha considerado es el agrícola, principalmente, para el que se estima una demanda actual de 243606 TM/año, tendiente a aumentar con el crecimiento de área cultivables (crecimiento de la frontera agrícola), lo que nos asegura un mercado favorable para nuestro producto.

También se puede considerar dentro del mercado necesario de abastecimiento el orientado a la producción de tripolifosfato.

### 1.3 Tamaño y Localización

El tamaño de la planta se ha estimado en 200000 TM/año de ácido fosfórico grado agrícola, lo que nos permitiría cubrir un 60% de las necesidades de este producto (en cuanto a su requerimiento en el sector agrícola).

La ubicación de la planta se ha destinado en Bayóvar.

Se ha estimado iniciar la producción en 1993, para lo que se debe ampliar la planta concentradora para que nos abastezca de la suficiente materia prima.

#### 1.4 Ingeniería

El procedimiento de producción de ácido fosfórico grado agrícola que se ha seleccionado es el Proceso Clásico de Prayon al dihidrato, dentro de las tecnologías de procesado en húmedo, obteniéndose un ácido con un contenido del 54% como  $P_2O_5$  (equivalente a un ácido de 74,52% de  $H_3PO_4$ ), 3,9% de impurezas ( $CaO$ ,  $SO_4^{=}$ ....), y 21,57% de agua.

#### 1.5 Inversión y Financiamiento

La inversión requerida está dada según:

Capital fijo	89438,97 M USA\$
Gastos preoperativos	35775,59
Capital de trabajo	17887,79
Intereses durante la construcción	28741,07
Inversión total	171843,42 M USA\$



## 1.6 Costos de Producción

Los costos de producción para el primer año está dado según el siguiente resumen.

	M USA \$
Costos directos	61927,89
Costos de Depreciación	1607,84
Imprevistos	3096,39
Gastos financieros	18902,78
Total costo de producción	85534,90 (0,57 \$/Kg)

## 1.7 Organización y Administración

La organización planteada para la planta de ácido fosfórico grado agrícola consta de: un jefe de planta, un asistente y un jefe de guardia. Cuenta también con el apoyo de una secretaria y un jefe de laboratorio.

La administración dependerá de la implementada para el Complejo fertilizante del cual formará parte esta planta.

II CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 2.1 Conclusiones

Por los resultados obtenidos en este trabajo hemos llegado a la conclusión que no solo es conveniente la efectivización de este proyecto sino, sumamente necesario, y orientarlo prioritariamente a la producción de fertilizantes fosfatados, con lo que estaría ampliamente justificada la inversión, porque no solo es factible económicamente sino que socialmente significa mejoras para el campesino, aumento de productos básicos para la alimentación de todos los peruanos y finalmente significa un ahorro en divisas lo que también redundaría en mejorar nuestra economía a nivel nacional.

### 2.2 Recomendaciones

Teniendo en cuenta que este trabajo solo se ha desarrollado a nivel de prefactibilidad, es necesario realizar el estudio de factibilidad del proyecto presentado, teniendo ya en consideración valores más veraces con respecto a la demanda, es decir más actualizados, al igual que con el tratamiento de los costos.

Es de gran necesidad también en paralelo ir educando y orientando a nuestros agricultores de las ventajas que representa el uso de los fertilizantes.

También es necesario la implementación inmediata y previa a la ejecución de una planta de concentración de la ~~roca~~ fosfatada de mayor capacidad que la actual planta piloto existente.

Aunque actualmente la producción de ácido sulfúrico (obtenido como subproducto en las refineries de cobre y zinc) presenta excedentes, este volumen es insuficiente para cubrir lo demandado por la planta en estudio (Tabla D.2), por lo que sería conveniente favorecer el aumento en la producción de las refineries respectivas.

I I I

ASPECTOS GENERALES

## ASPECTOS GENERALES

### 3.1 Dentro Del Marco Del Desarrollo Industrial.

El proyecto de la planta de producción de ácido fosfórico grado agrícola significa un paso efectivo para el desarrollo de una Industria muy necesaria en nuestro país, y también significa un gran aporte para avanzar en la Constitución de un complejo fertilizante en la zona, y aprovechar las minas de sales potásicas que también se encuentran cerca de la zona. (12) (diagrama D.1)

### 3.2 Dentro Del Marco De Integración Latinoamericana.

El Acuerdo de Cartagena constituye un gran esfuerzo de los países miembros para asumir conjuntamente el desarrollo Industrial de la zona. Este proyecto básicamente orienta la producción de ácido fosfórico grado agrícola para la obtención de fertilizantes fosfatados. Esta tendencia es similar en la subregión Andina, en la cual actualmente Venezuela es el único país, que cuenta con planta de producción de ácido fosfórico grado agrícola. También se está orientando para la producción de tripolifosfato de sodio, (previa purificación), este producto es necesario en la industria de detergente en nuestro país y es totalmente importado.

Aunque nuestro mercado es principalmente nacional, no se puede perder la posibilidad de interactuar en la

subregión, preferentemente para exportar el superfosfato.

### 3.3 Dentro Del Marco Legal.

Aunque actualmente es probable que haya modificaciones legales dentro de lo que son Industrias prioritarias, se considera que la industria de los fertilizantes, por su gran incidencia social debe de ser considerada Industria de primera prioridad y ser reservada para el sector público teniendo como referencia la actual legislación (D.L. 18350).

Con respecto a la tributación, la situación legal también es incierta, pero se estima que los incentivos por descentralización y consumo de insumos nacionales sobre todo para una Industria química básica deben de mantenerse o mejorarse.

A pesar que la legislación va ha sufrir modificación, de lo expuesto en el plan de gobierno, se deduce que este tipo de industria va ha ser prioritariamente favorecida en las nuevas disposiciones legales ya que está orientada hacia el desarrollo de nuestro Agro.

IV

ESTUDIO DE MERCADO



## ESTUDIO DE MERCADO

### 4.1 Características

#### 4.1.1 Importancia del fósforo en la agricultura (11).-

El fósforo en la naturaleza no se encuentra químicamente puro, sino que se encuentra combinado constituyendo compuestos orgánicos e inorgánicos.

Entre los compuestos orgánicos se encuentran los fosfolípidos, ácidos nucleicos, fitina e inositol, pertenecientes a la composición de la materia orgánica de vegetales y animales.

Los compuestos inorgánicos proceden, además de la descomposición bacteriana del material orgánico, de los minerales del suelo del grupo de la apatita (fluorapatita, cloroapatita, hidroxiapatita...) y de fosfatos específicos como los de calcio, hierro y aluminio, además de otros sin una identificación química clara.

El ciclo del fósforo en la naturaleza adquiere formas orgánicas e inorgánicas perdiéndose grandes cantidades de este elemento por las características de inmovilización que posee.

Las formas de asimilación por parte de las plantas son el fosfato monobásico ( $H_2PO_4^-$ ) y el dibásico ( $HPO_4^{2-}$ ) el primero es de mayor uso que el segundo.

El paso del fósforo asimilable a sus formas insolubles y no asimilables se conoce como "fijación del fósforo" es decir su inmovilidad como nutriente vegetal. Esta inmovilidad la determinan las distintas reacciones químicas que se producen según el pH del suelo.

En suelos ácidos los fosfatos asimilables se combinan con el hierro ( $\text{Fe}^{++}$ ) y el aluminio ( $\text{Al}^{+++}$ ) y con los distintos hidróxidos (de Fe, Al, etc.) formándose sales y compuestos químicos insolubles.

En los suelos alcalinos se combinan principalmente con el calcio y el magnesio y se forman sales insolubles como el fosfato tricálcico ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ).

Una vez absorbido como  $\text{HPO}_4^{--}$  ó  $\text{H}_2\text{PO}_4^{-}$ , el fósforo circula y se traslada en el vegetal como fosfato monobásico, siendo interiormente un elemento muy móvil. Interviene en la formación de las nucleoproteínas y ácidos nucleicos y fosfolípidos.

Tiene una importancia vital en: la división celular, la respiración y fotosíntesis, síntesis de grasas, azúcares y proteínas, la acumulación de energía en los fenómenos de fosforilación, la regulación del pH de las células.

Este elemento se acumula principalmente en: los tejidos activos (síntesis, respiración...), los meristemas (puntos de división celular), semillas y frutos.

La carencia de este elemento produce grandes trastornos fisiológicos:

-No se sintetizan proteínas, pues no hay energía para su síntesis en las uniones peptídicas ( los nitratos que fueron absorbidos, deben ser reducidos para pasar a amidas y a la consiguiente transformación en proteínas); al faltar el fósforo no se produce piridoxina (B6) que es el encargado de esta reacción; puede sin embargo haber mucho nitrógeno asimilable pero no es utilizado eficientemente por la planta.

-No se establece un equilibrio entre los azúcares y los almidones, acumulándose los primeros y formando una sustancia rojiza (la antocianina).

A partir de los conceptos desarrollados una deficiencia en fósforo tiene la siguiente sintomatología:

Lento crecimiento y desarrollo de la planta.

Floema y Xilema poco desarrollado.

Menos peso y tamaño.

Pobre floración y fructificación.

Retraso de la maduración.

Las hojas toman un color verde oscuro y a veces con matices rojizos.

En cambio los efectos positivos que conlleva una buena disponibilidad de fósforo son:

Mayor desarrollo radicular.

Mayor crecimiento y desarrollo general de la planta.

Aceleración de la floración y fructificación.

Mayor resistencia a las condiciones adversas (clima, enfermedades, etc.).

#### 4.1.2 Características de ácido fosfórico grado agrícola ( 7).-

El ácido fosfórico grado agrícola presenta un contenido en  $P_2O_5$  del 54%, se presenta en solución cuya composición se muestra en la tabla 4.1, sus impurezas no afectan a la preparación del superfosfato triple, es más en algunos casos actúan como micronutrientes en el fertilizante.

El ácido fosfórico 54% en  $P_2O_5$  equivale a un ácido de 74,53% de  $H_3PO_4$  y contiene 3,9% de impurezas ( $CaO$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $SiO_2$ ...) y 21,57% de agua.

Tabla 4.1

Composición del ácido fosfórico grado agrícola (7)\*

Componente	Contenido
$P_2O_5$	54%
$SO_4^{2-}$	1,9%
F-	7000ppm
Ca	1400ppm
Mg	2400ppm
Fe	2100ppm
Al	530ppm
Si	1400ppm
Cl-	---
$Na_2O$	---
$K_2O$	---
Sólidos susp.	1,0%

\* Según esta referencia el contenido en  $P_2O_5$  de este producto es asumido como resultado de las diferentes tecnologías desarrolladas para este tipo de proceso, para las cuales este contenido es el máximo posible de obtener sin aumentar considerablemente los costos ni tener problemas de polimerización del  $H_3PO_4$ .

#### 4.1.3 Características de derivados del ácido.-

##### 4.1.3.1 Superfosfato triple

Presenta un contenido de  $P_2O_5$  que oscila entre 42% a 50% (4), su aspecto físico adecuado para su uso como abono es granulado con una densidad aparente de 1,0 a 1,2 según el apelmazamiento, su solubilidad en agua es alto ya que casi todo el fosfato está bajo la forma de ortofosfato monocálcico, es un producto poco higroscópico por lo que es fácil de almacenar.

La reacción del abono es neutra y presenta un índice de salinidad de 1,1.

Del total de contenido de  $P_2O_5$  entre el 95% al, 98% se halla en forma asimilable.

Se prepara por el tratamiento de los fosfatos naturales con ácido fosfórico (ortofosfórico).

##### 4.1.3.2 Tripolifosfato de sodio (TPS)

Es un producto obtenido por el procedimiento de pulverizado a partir del ácido fosfórico técnico y soda caústica.

El TPS es cristalino, en todas las pruebas muestra una acción secuestradora tan elevada como los vidrios de fosfatos, estas propiedades lo hacen muy adecuado y usado en la industria de los detergentes.

#### 4.2 Analisis de la demanda actual

En nuestro país no existe empresa alguna que se dedique a la producción del ácido fosfórico por ningún método, en ninguna de sus calidades ni de ninguno de sus derivados; aunque hay en el país cierta producción, superfosfato simple (1) a cargo de la fábrica INDUS por la reacción de la roca fosfatada con ácido sulfúrico (producción que va decreciendo), según se muestra en la tabla 4.2; por lo que el consumo que de ellos se hace son casi totalmente importados. Los volúmenes de importación se muestra en las tablas 4.3 y 4.4.

Tabla 4.2

##### Producción nacional de superfosfato simple (1)

AÑO	PRODUCCION (TM)	AÑO	PRODUCCION (TM)
1973	14827	1981	9000
1978	5631	1982	7321
1975	7237	1983	6417
1976	10250	1984	8693
1977	7769	1985	6269
1978	7078	1986	7461
1979	9226	1987	7495
1980	6947	1988	2965

Tabla 4.3

**Importación de ácido fosfórico y tripolifosfato de sodio (10)**

Acido Fosfórico			Tripolifosfato de sodio		
AÑO	IMPORTACION (TM)	M USA\$	AÑO	IMPORTACION (TM)	M USA\$
1982	652	593	1982	12208	8257
1983	406	424	1983	12709	8134
1984	456	412	1984	9936	5875
1985	502	404	1985	9973	5740
1986	1011	638	1986	13581	7996
1987	1027	648	1987	16545	9741
1988	648	409	1988	12518	7370

Tabla 4.4

**Importación de superfosfato triple (1)**

AÑO	IMPORTACION (TM)	M USA \$	AÑO	IMPORTACION (TM)	M USA \$
1971	1561	1410	1980	15076	13616
1972	450	406	1981	14659	13240
1973	1624	1467	1982	12136	10961
1974	---	---	1983	11757	9792
1975	12419	11220	1984	10399	8412
1976	---	---	1985	15730	8058
1977	11998	10837	1986	38103	13171
1978	10513	9495	1987	46419	18567
1979	13901	12555	1988	35122	14060



La intención de este proyecto es tratar principalmente de ayudar a resolver el problema agrícola en cuanto al déficit de abonos fosfatados.

El Perú cuenta actualmente con una superficie agrícola de 3691000 hectáreas (9) . Diferentes estudios dan como requerimiento mínimo de abono fosfatado (superfosfato triple) de 100 Kg/Ha (11) lo que nos dá un requerimiento de 369100 TM/año de superfosfato triple, esto representa un consumo de ácido fosfórico grado agrícola de 243606 TM/año (Apéndice C).

Este requerimiento tiende a crecer con aumentos de áreas cultivables (ampliación de fronteras agrícolas).

v TAMARO Y LOCALIZACION DE PLANTA

## TAMAÑO Y LOCALIZACION DE LA PLANTA

### 5.1 Tamaño

El volumen de producción de la planta se ha determinado considerando los requerimientos de ácido fosfórico grado agrícola para la producción de superfosfato triple (abono fosfatado).

Las necesidades del superfosfato triple están evaluadas en función del total del área cultivada.

El tamaño de planta elegido es de 200000 TM/año de ácido fosfórico grado agrícola, esto equivale aproximadamente el 82% del mercado evaluado en este estudio.

Esta producción de ácido fosfórico permitirá producir un volumen aproximado de 300000 TM/año de superfosfato triple.

Considerando los datos de importación de los años 1986, 1987 y 1988, durante los cuales se adquirieron del extranjero las mayores cantidades de superfosfatos triples, hay la seguridad que con el tamaño de planta elegido se cubre totalmente la importación de este producto.

Existen estudios para la instalación de una planta de tripolifosfato de sodio en la misma zona (2), para lo cual es necesario que también se instale una planta de purificación del ácido fosfórico grado agrícola para

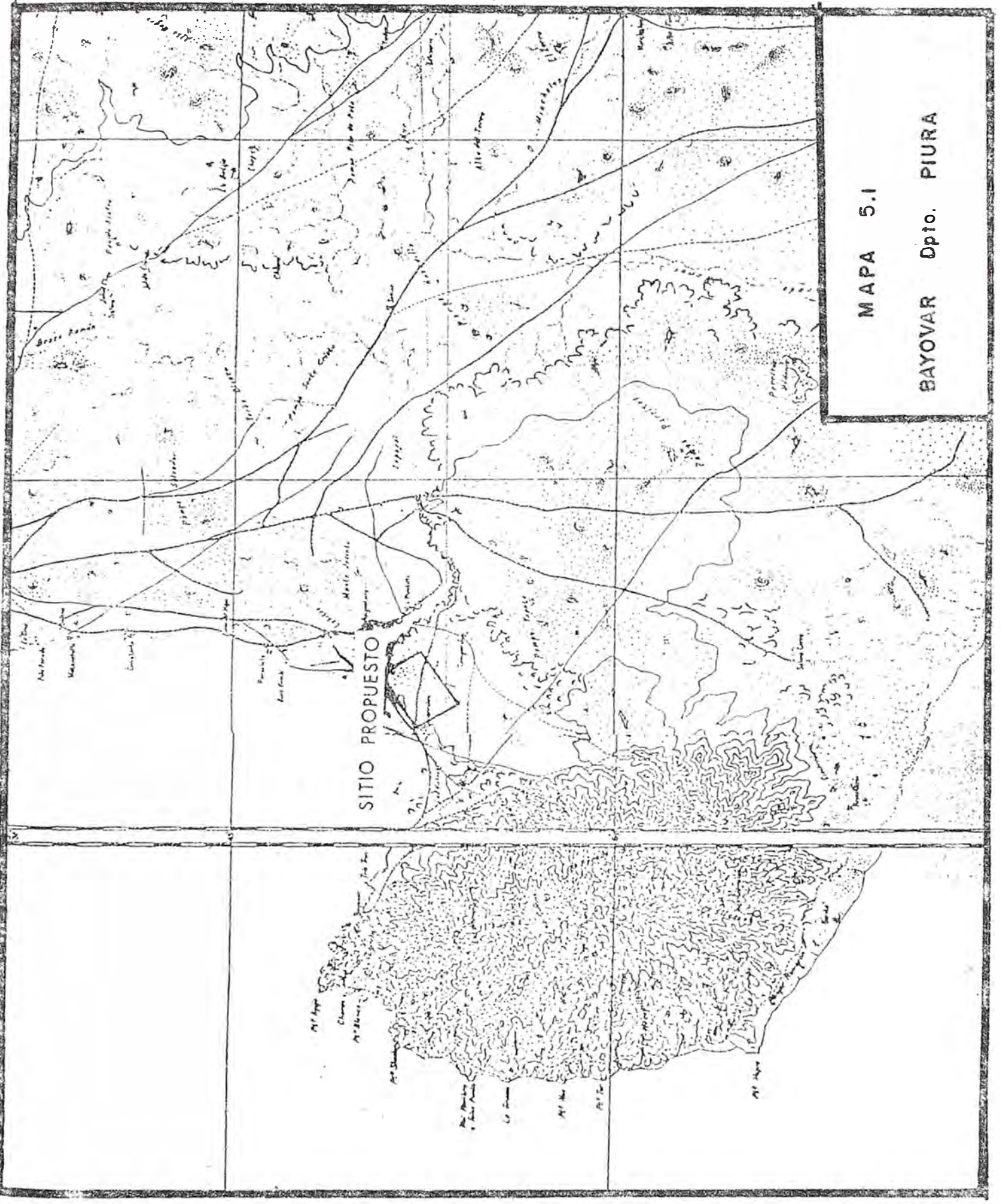
obtener el ácido fosfórico grado técnico, de ser así, parte de la producción de aquel podrá destinarse a estos fines.

## 5.2 Localización

Para ubicar la planta se ha tenido en cuenta primordialmente la disponibilidad de la materia prima por lo que se ha optado localizarla en la zona de Bayóvar cuyas características se detallan a continuación.

5.2.1 Condiciones geográficas y topográficas .-Bayóvar está situada a unos 120 Km. al sudeste de la ciudad de Talara. La parte norte del área se encuentra frente a la Bahía de Sechura (ver mapa 5.1).

No existen viviendas privadas ni facilidades de servicios públicos en esta área solo existen las instalaciones de la compañía minera Bayóvar, que ha estado explorando mineral fosfatado y tiene sus oficinas en dicha área. el mineral fosfatado se excava en un área situada 45 Km. al sudeste de esta ubicación alrededor de esta área hay un desierto que frente al Océano Pacífico, el cual forma cerros de arena que se elevan de 30 m a 50 m sobre el nivel del mar. El pueblo de Sechura es lo más cercano a Bayóvar. La distancia es de cerca de 70 Km. No existe vegetación ni habitantes alguno. Solo



MAPA 5.1  
BAYOVAR Dpto. PIURA



el desierto yace en medio. El área donde se excava el mineral fosfatado es arena. En las cercanías se encuentra una salina, y hay gran cantidad de sal en el depósito de mineral fosfatado. Esto significa que en el pasado existió una entrada al mar.

5.2.2 Condiciones climáticas.- Las condiciones climáticas de Bayóvar son similares a aquellas existentes en Talara y Paita, el área de excavación se asemeja a las existentes en Sullana y Piura. Sin embargo, hasta ahora no ha sido posible obtener informes detallados de observación, se tiene las versiones de los que trabajan en esta zona.

5.2.3 Condiciones Oceánica.- Bayóvar está frente a la Bahía de Sechura. No existe puerto de donde puedan salir o adonde puedan llegar buques. Sin embargo, la profundidad del agua oscila entre 20 y 60 pies a lo largo de la costa de este área. A más de esto, el fondo del mar tiene una fuerte gradiente. Como está directamente frente al océano, por lo pronto tiene la ventaja en cuanto a profundidad de agua concierne, lo cual es un factor importante a considerarse para un puerto, el cual es necesario para el abastecimiento del ácido sulfúrico a través de buques tanques y para la comercialización de los productos finales.

No obstante, aún se desconoce datos importantes sobre las corrientes marinas y la velocidad del viento.

5.2.4 Situación actual del transporte.- Hay una carretera que cubre 120 Km entre Piura y Bayóvar en un área casi desértica.

Entre Piura y Sechura hay 65 Km de carretera pavimentada con un carril de tránsito a cada lado. Entre Sechura y Bayóvar existe un camino de arena. Algunas veces la arena se desplaza haciendo difícil poder discriminar el camino del desierto. En consecuencia es difícil conducir a menos que el conductor sea bien experimentado en el manejo por algunos sectores del área. Los vehículos pequeños se pueden adelantar unos a otros no sucediendo lo mismo con vehículos pesados. No existe límite de peso ya que no hay puentes, sin embargo, como el camino no está pavimentado, un vehículo grande o un transporte pesado no podrá transitarlo. Con respecto a los 45 Km de distancia entre Bayóvar y Sechura; hasta 8 Km de Bayóvar el camino está en uso con aquel que conecta Bayóvar con Sechura; de modo que no existe problema alguno en particular.

5.2.5 Disponibilidad de materia prima.- Bayóvar fue seleccionado por sus recursos de material fosfatado, este estudio se planeo con el fin de explotar los recursos y utilizar el mineral fosfatado en la producción del ácido fosfórico grado agrícola.

Cuenta con depósitos equivalentes a 500 millones de TM de roca fosfórica del 30% de  $P_2O_5$  (2).

5.2.6 Disponibilidad de energía eléctrica.- La corporación de Piura tiene su propio proyecto de desarrollo de una planta de fuerza (se espera que el gobierno de la región recoga esta iniciativa) con esto tendríamos disponibilidad de energía eléctrica desde Piura.

5.2.7 Disponibilidad de agua industrial.- Como resultado del exámen realizado por el grupo explorador de la ubicación, se descubrio que no existen fuentes de obtención de agua en el área de Bayóvar. El agua debe ser transportada desde 50 Km de distancia para llevar a cabo esto el equipo transportador de agua (incluyendo tuberías y bombas) y el reservorio debe de ser suficiente. En caso que el agua del mar se requiera para ser usado con fines industriales se



necesitará de instalaciones para filtrar y purificar el agua.

Para las instalaciones del sistema de enfriamiento por agua será necesario un equipo de abastecimiento de cloro y bomba para agua de mar si se requiere usar está como refrigerante.

5.2.8 Disponibilidad del terreno.- Este área como se ha dicho, antes, consiste de gran cantidad de cerros de arena, pero en las cercanías de las oficinas de la compañía excavadora hay suficiente espacio para construir plantas.

5.2.9 Facilidades existentes y condiciones de trabajo de construcción.- Como ya se ha dicho Bayóvar es una zona en la cual no existe facilidades de ninguna clase. En consecuencia para poder desarrollar minas de mineral fosfatado y plantas industriales es necesario que la maquinaria y materiales para construcción y el equipo de perforación del mineral sean suministrados desde afuera, utilizando el puerto de Paita y las poblaciones de Sullana y Piura como puntos base.

5.2.10 Transporte de producto.- Con transporte basados en un plan de acarreo a larga distancia es necesario construir un nuevo puerto para Bayóvar en la Bahía de Sechura. Con la terminación de este nuevo puerto los costos de transportes, serán reducidos, como resultados se tornará ventajoso el garantizar un mercado para la exportación inclusive de sus productos derivados si se llega a concebir un complejo industrial en esta zona.

5.2.11 Condiciones sísmicas.- En vista de que los sismos ocurridos en esta zona no han sido registrados, no se puede proporcionar una explicación detallada. Se supone que la escala es casi la misma que en el área de Talara, es decir, que según las normas tentativas de diseño a prueba de sismos prescritas por el gobierno peruano para la región promedian movimientos sísmicos como de escala media.

VI

INGENIERIA

## INGENIERIA DEL PROYECTO

### 6.1 Materia prima

6.1.1 Roca fosfórica (2).-En general los derivados del fósforo se fabrican a partir de los minerales que lo contienen. estos minerales conocidos usualmente como roca fosfatada, químicamente son variedades de apatita, fluorapatita o hidroxiapatita. Son corrientes las impurezas de hierro, aluminio y sílice, así como materia orgánica que siempre acompañan en mayor o menor proporción a los fosfatos naturales.

La roca fosfatada o fosforita se encuentra en grandes depósitos sedimentarios de origen marino. Estos depósitos pueden existir como guijarros de los cuales hay que remover el carbonato de calcio; o en depósitos de roca dura que se podrían disolver y luego reprecipitar los fosfatos.

Actualmente Colombia y Perú cuentan con yacimientos de rocas fosfóricas y sales potásicas no explotadas industrialmente.

El yacimiento peruano de Bayóvar, de gran volumen de fosfatos se considera uno de los más

grandes del mundo, habiendose estimado una reserva equivalente a 500 millones de toneladas métricas de roca fosfórica con ley del 30%.

En 1967 la firma Stern-Rogers Mfg. Co de Denver Colorado U.S.A. instaló en Bayóvar una planta piloto de 20000 TM/año de producción para estudiar el tratamiento de los minerales a fin de obtener un concentrado con un tenor de 30,5% de  $P_2O_5$ . En dichos estudios se estableció lo siguiente: el mineral denominado fosforita pertenece al Mioceno Terciario y al tipo de fluorapatita, este mineral situado en el área II de Bayóvar está estratificado en nueve capas y se piensa empezar a explotar la primera capa que puede tener una ley promedio de 8% de  $P_2O_5$ . Para conseguir la concentración deseada se somete al mineral a los procesos de deslimado y restregado, en forma alternada y hasta por tres veces, a un densificador de pulpa y a un filtrado y lavado con agua dulce y posterior secado. El secado es efectuado en un secador rotatorio de secado directo, produce un producto final con la composición mostrada en la tabla 6.1.

Tabla 6.1

Composición del concentrado de roca fosfatada (2)

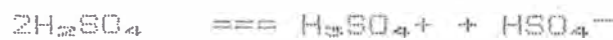
Componente	%	Componente	%
$P_2O_5$	30,8	$Fe_2O_3$	0,7
CaO	47,8	$CO_2$	3,3
$K_2O$	0,1	MgO	0,8
$Na_2O$	1,7	$Cl^-$	0,06
$SiO_2$	2,6	$F^-$	2,1
$Al_2O_3$	0,9	$SO_3$	4,0

Para ejecutar este proyecto es necesario que esta planta piloto dé paso a una planta industrial que nos pueda abastecer de 400000 TM/año de mineral, para cubrir nuestra producción de ácido fosfórico grado agrícola, y de 100000 TM/año para la producción de superfosfato triple (Apéndice C).

6.1.2 Ácido sulfúrico (14),(15).- El ácido sulfúrico anhidro es un líquido aceitoso denso que se mezcla con agua en todas proporciones, desprendiendo gran cantidad de calor, la densidad del  $H_2SO_4$  es 1,85 gr/cm<sup>3</sup> a 0°C; su punto de ebullición es 296°C y de fusión -10°C. Se denomina ácido sulfúrico no solo al anhidro sino también a sus soluciones del trióxido de azufre en el ácido anhidro ( $H_2SO_4 + n SO_3$ ) denominadas óleum o ácido sulfúrico fumante.

El ácido sulfúrico es incoloro, mientras que el técnico presenta un color oscuro, debido a las impurezas.

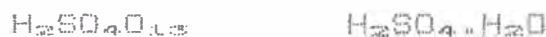
El ácido sulfúrico tiene varias formas de disociación:



estas especies se pueden recombinar para formar varias especies nuevas y adoptar diferentes equilibrios;



Los estudios de fases del ácido sulfúrico han mostrado la existencia de muchas especies según sea su concentración y temperatura



así el sistema del ácido sulfúrico no es simple.

La mezcla correspondiente a 98,3% de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  es azeotrópica y tiene una temperatura de ebullición de 336,6 °C.

El ácido sulfúrico es muy activo, concentrado, es un agente oxidante, oxida al cobre a cobre (II), a la plata a plata (I), al plomo a plomo (II), al mercurio a mercurio (II), en tanto que el ácido se reduce a dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ).

El ácido diluido no es un agente oxidante, pero reacciona con los metales que están por encima del hidrógeno en la serie electromotriz para liberar hidrógeno.

El ácido sulfúrico concentrado es también un buen desecante ya que se combina con el agua para formar hidratos, su avidez por el agua produce la deshidratación de los cristalo-hidratos e incluso de derivados oxigenados de hidrocarburos que no contienen propiamente la molécula del agua sino a los elementos hidrógeno y oxígeno en proporción de 2 : 1.

Por su gran actividad el ácido sulfúrico tiene un sin número de aplicaciones, un consumidor importantísimo del ácido sulfúrico es la industria de abonos minerales: superfosfato simple, sulfato de amonio y otros muchos ácidos como el ácido fosfórico se obtienen en una parte considerable con ayuda del ácido sulfúrico.

También se aplica en la producción de metales no ferrosos y raros. en la industria del labrado de los metales se usa para decapar superficies de acero antes



de proceder a su pintura, estañado, niquelado, cromado, etc.

Con ayuda del ácido sulfúrico se fabrica alcohol etílico y otros, algunos éteres, detergentes sintéticos, insecticidas, etc.

En la industria alimenticia el ácido sulfúrico se aplica para obtener el almidón, melaza y una serie de otros productos. El transporte utiliza acumuladores de plomo con ácido sulfúrico.

En el Perú el ácido sulfúrico (96%) se obtiene como subproducto de la refinación del cobre y del zinc (Refinación electrolítica) y está a cargo de las empresas mineras como: Minero Perú (Oroya, Cajamarquilla) y la Souther Perú entre las principales. La evolución de su producción se muestra en la Tabla D.1.

## 6.2 Discusión y descripción del proceso de producción

### 6.2.1 Generalidades sobre el ácido fosfórico

6.2.1.1 Antecedentes.- El ácido fosfórico es uno de los ácidos minerales más importantes conjuntamente con los ácidos sulfúrico y clorhídrico.

En la subregión la producción del ácido fosfórico grado agrícola ha sido incentivada por la necesidad de aumentar la concentración de fósforo

en los fertilizantes minerales (fertilizantes fosfatados). Otro campo hacia el cual se puede orientar el uso del ácido fosfórico grado agrícola es a la producción de los tripolifosfatos (TPS) productos básicos para la industria de los detergentes; esto se hace viable debido a que en los últimos años se han desarrollado tecnologías orientadas para purificar el ácido fosfórico grado agrícola, para producir ácido fosfórico grado técnico, el cual debe de estar libre de impurezas orgánicas y también de iones calcio, magnesio y fierro y otros metales pesados, para la producción del TPS, lo que sería recomendable viabilizar la planta de purificación de ácido fosfórico y la producción de tripolifosfato.

#### 6.2.1.2 Propiedades del ácido fosfórico (7), (8),

(12).- El ácido ortofosfórico puro ( $H_3PO_4$ ) comunmente denominado ácido fosfórico, es un sólido blanco, cristalino (cristal monoclinico) con una gravedad específica de 1,88 y con punto de fusión de  $42,5^{\circ}C$ , convirtiendose en un líquido siruposo con fuerte tendencia al sobreenfriamiento, cuyo punto de ebullición es de  $260^{\circ}C$ .

Dependiendo del grado de pureza y de su destino final, el ácido fosfórico se le puede denominar según: ácido fosfórico rojo o grado fertilizante, ácido fosfórico verde o grado técnico y ácido fosfórico blanco o grado alimenticio. Este último es preparado en pequeña escala por cristalización fraccionada.

El ácido fosfórico comercialmente siempre está en solución acuosa y sus propiedades dependen de su concentración y sus impurezas Tabla 6.2

Las soluciones del ácido fosfórico por debajo del 68,5% de  $P_2O_5$  (94,5% en  $H_3PO_4$ ) consiste enteramente en ácido ortofosfórico. Cuando la concentración es incrementada por la evaporación del agua, dos moléculas de ácido ortofosfórico condensa para formar una molécula simple de ácido pirofosfórico.



Si la evaporación continúa la molécula de ácido pirofosfórico puede condensar con una molécula de ácido ortofosfórico para formar ácido trifosfórico.

Tabla 6.2

Propiedades físicas de las soluciones acuosas de ácido fosfórico (7)

Concentración		Densidad	Pto. Eb	Ind. Refr.	Ce
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	25°C	°C	n	cal/g °C
0	0	0.997	100,0	1,3332	
5	3,62	1,024	100,1	1,3377	0,973
10	7,24	1,052	100,2	1,3420	0,939
20	14,49	1,113	100,8	1,3503	0,871
30	21,73	1,180	101,8	1,3584	0,798
50	36,22	1,332	108,0		0,656
75	54,32	1,574	139,0		0,542
85	61,57	1,685	158,0		0,493
100	72,43	1,864	261,0		

De esta manera puede seguir aumentando la cadena (gráfico 6.4). Hunti y Gartgnis demostraron que la concentración de estos diversos polímeros son independientes del método de concentración y depende solamente de la concentración del P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

El aumento del contenido de polímeros del ácido fosfórico en la solución aumenta la viscosidad, gravedad específica y las temperaturas de congelación y de ebullición de la solución. El punto eutéctico líquido - sólido ocurre a 45,2% de  $P_2O_5$  ( $-85^{\circ}C$ ) y a 68,6% de  $P_2O_5$  ( $23^{\circ}C$ ).

Eventualmente se obtiene a temperatura normal un sólido pastoso. Siempre el aumento de la concentración de polímeros, reduce la concentración de  $H^+$  y la corrosividad de la solución de ácido fosfórico.

El ácido fosfórico es un ácido tribásico fuerte en la primera disociación, moderadamente en la segunda y muy débil en la tercera. El ácido fosfórico fuerte a baja temperatura no tiene la fuerza deshidratante y corrosiva de los ácidos sulfúrico y nítrico. La solución acuosa caliente disuelve los óxidos y confiere a las superficies metálicas una protección temporal contra la oxidación.

#### 6.2.1.3 Procesos de fabricación del ácido fosfórico

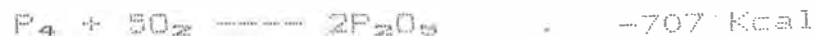
El ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ), se obtiene a partir de la fosforita. Los métodos de producción pueden clasificarse en procesos térmicos o de vía

húmeda, con los primeros se obtiene un ácido de mayor pureza.

El proceso del horno eléctrico (3), (4) es el método térmico más importante para convertir en ácido fosfórico el fósforo contenido en la fosforita. En dicho proceso, la carga del horno está constituida por fosforita, coque y partículas de sílice. Al calentarse la carga se produce la siguiente reacción:



El proceso continúa quemándose el fósforo elemental y absorbiéndose sus óxidos en agua según las reacciones:



En los procesos de vía húmeda la fosforita es tratada con un ácido inorgánico, la mayoría de las tecnologías desarrolladas usa el ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) de cuya reacción se produce yeso y ácido fluorhídrico (el cual es eliminado) como subproductos, según la siguiente reacción:

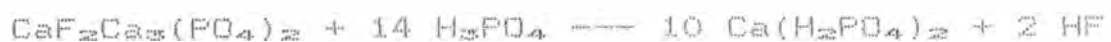


La reacción en sí es rápida pero los cristales de yeso se forman con bastante lentitud y el  $P_2O_5$  tiende a quedar incluido en la red cristalina.

Los diferentes procesos desarrollados tienen los siguientes objetivos básicos:

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

En operaciones comerciales el ácido sulfúrico es generalmente diluido con un exceso de ácido fosfórico, en este caso se produce un complejo soluble de fosfato monocálcico, según la siguiente reacción:



El fosfato monocálcico cuando reacciona con el ácido sulfúrico forma el sulfato de calcio insoluble y el ácido fosfórico según la siguiente reacción:



El sulfato de calcio es poco soluble y puede cristalizar o precipitar con la variación en el contenido de agua en su estructura molecular. La reacción en medio acuoso a baja temperatura y concentración produce sulfato de calcio dihidratado o yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). A elevadas concentraciones y temperaturas forma un hemihidrato  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$  y para valores más altos de concentración y temperatura se obtiene anhidrita  $\text{CaSO}_4$ .

El fluoruro de hidrógeno formado por la reacción del ácido sulfúrico con la roca fosfatada puede reaccionar con las impurezas de sílica, para formar el ácido fluorhídrico según:



Las condiciones caloríficas pueden descomponer al ácido fluorsilícico en gas tetrafluoruro de silicio y fluoruro de hidrógeno. Siempre pequeñas cantidades de fluoruro de hidrógeno aumenta la corrosividad de la mezcla reaccionante.

#### 6.2.1.3.1 Proceso clásico de Prayon al dihidrato (6) (diagrama 6.1)

Este proceso presenta una descripción clásica para el procesado por vía húmeda para la obtención del ácido fosfórico.



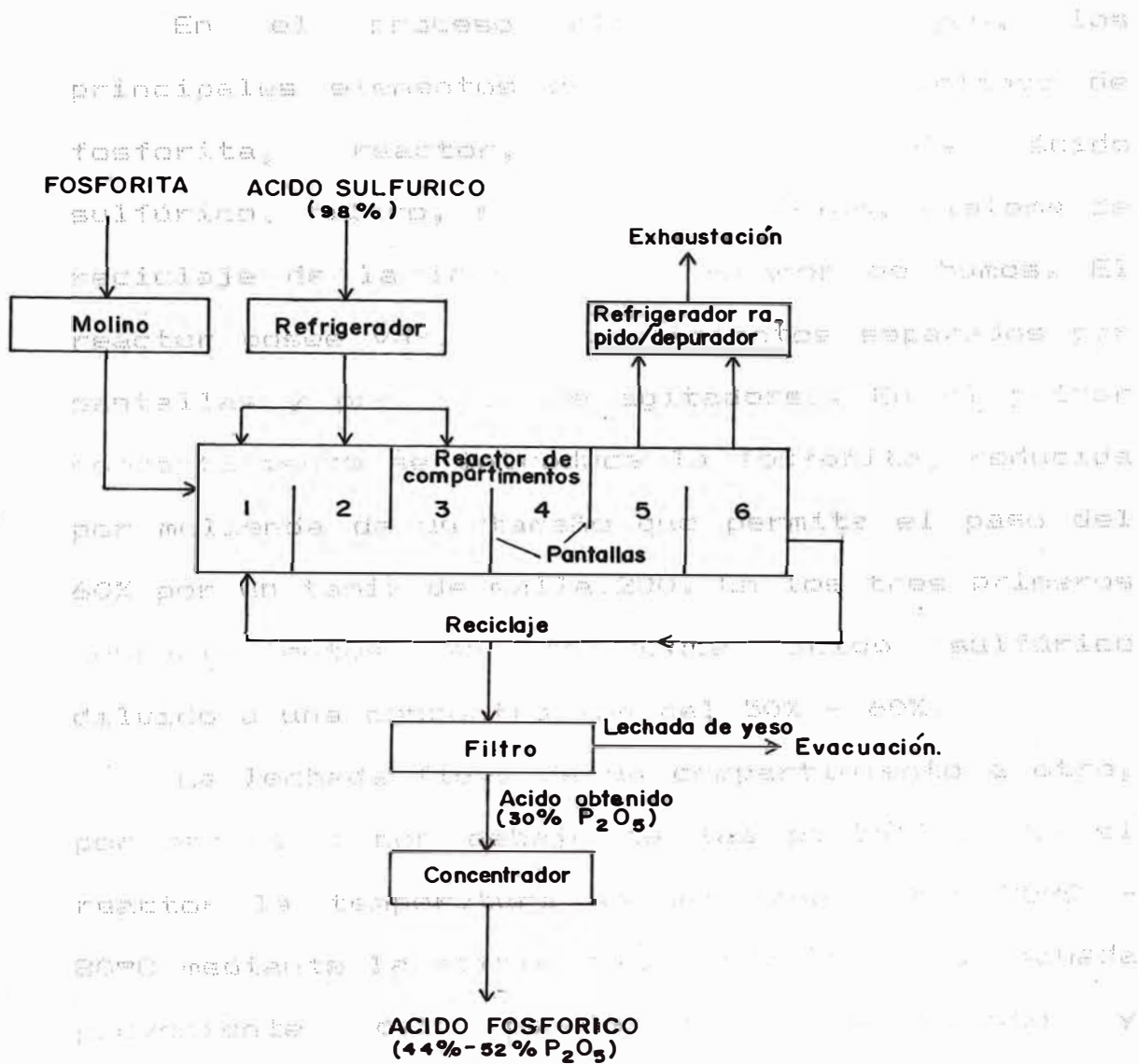


DIAGRAMA 6.1

**Fabricación de ácido fosfórico por el proceso Prayon al dihidrato**

Prayon, es depósito... obtenido a una concentración... de la primera sección del... para contrarrestar al... es evacuado.

En el proceso clásico de Prayon, los principales elementos del equipo son: molinos de fosforita, reactor, refrigerante de ácido sulfúrico, filtro, refrigerante rápido, sistema de reciclaje de la lechada y depurador de humos. El reactor posee varios compartimientos separados por pantallas y provistos de agitadores. En el primer compartimiento se introduce la fosforita, reducida por molienda de un tamaño que permita el paso del 60% por un tamiz de malla 200. En los tres primeros compartimientos se introduce ácido sulfúrico diluido a una concentración del 50% - 60%.

La lechada fluye de un compartimiento a otro, por encima o por debajo de las pantallas. En el reactor la temperatura se mantiene entre 70°C - 80°C mediante la refrigeración rápida de la lechada proveniente del penúltimo compartimiento y reciclaje de parte de la misma al primer compartimiento. El resto de la lechada va al tanque de retención, de donde pasa a un filtro (Clásico de Prayon, de depósito basculante). El ácido obtenido a una concentración del 30% - 32%, se recoge de la primera sección del filtro y se envía al evaporador para concentrarlo al 45% - 54%. La lechada de yeso es evacuada.

El proceso Clásico de Prayon ha sido perfeccionado recientemente mejorando la agitación y el colector del filtro e incorporando la posibilidad de utilizar fosforita más gruesa y ácido concentrado directamente.

Las ventajas de este proceso están en que es un proceso sencillo, de probada eficacia, además que se requiere de bajo costo inicial de inversión.

Entre los inconvenientes podemos señalar que se obtiene un ácido de baja concentración 30% - 32%, un bajo coeficiente de recuperación de  $P_2O_5$  (95%-96%) y la calidad del yeso no es adecuada para la fabricación de cemento o paneles.

#### 6.2.1.3.2 Proceso Nissan hemidrato - dihidrato (6) (diagrama 6.2),

La fosforita reducida por molienda a un tamaño que permita el paso del 90% por un tamiz de malla 100, se introduce junto con ácido sulfúrico diluido a una concentración del 60% en el primero de los dos digestores provistos de agitadores. La relación entre el peso de la fosforita y el ácido sulfúrico (100%  $H_2SO_4$ ) es de 1,1 ó 1,2 según la calidad de la fosforita.

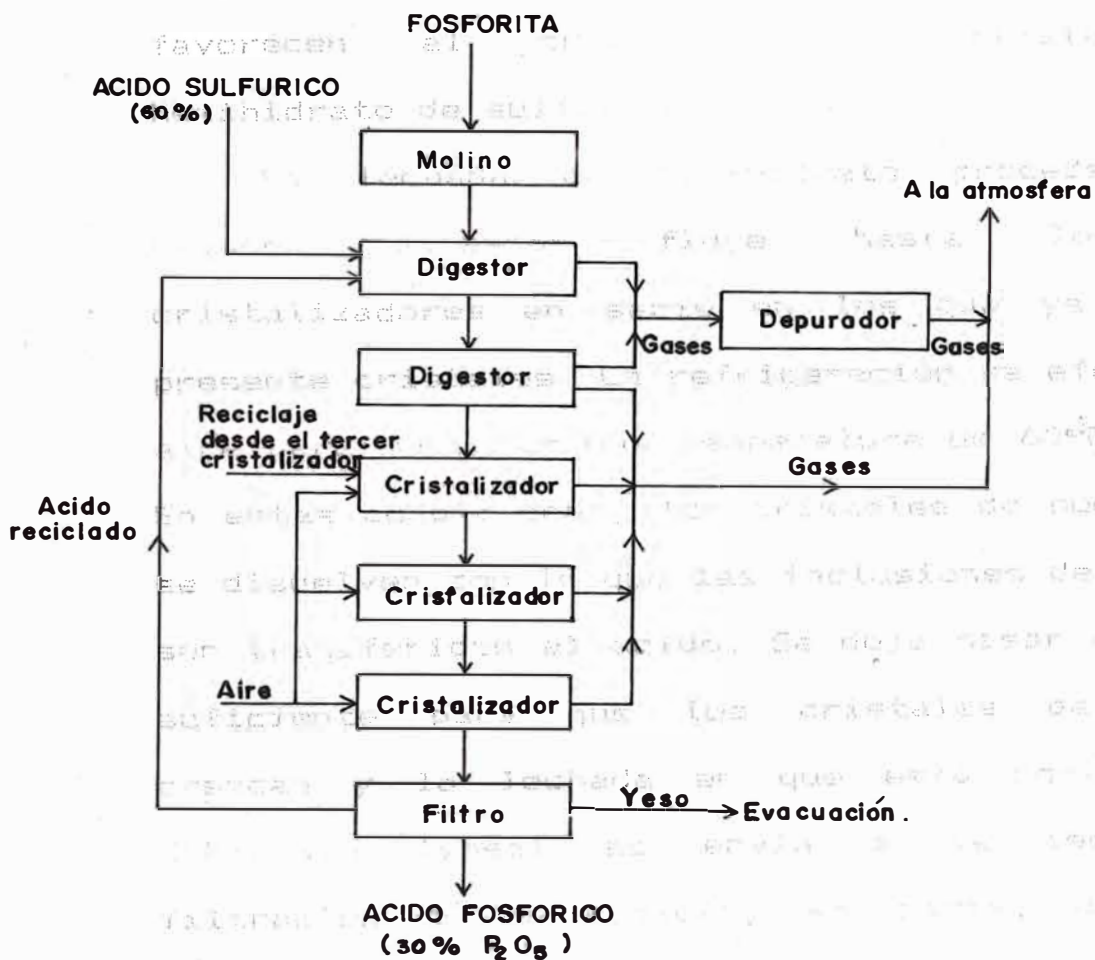


DIAGRAMA 6.2

Fabricación de ácido fosfórico por el proceso de Nissan de hemihidrato —  
dihidrato (tradicional).

El ácido fosfórico débil proveniente de la sección de filtración también se recicla al primer digestor. En los digestores se mantiene una temperatura de  $90^{\circ}\text{C}$  -  $100^{\circ}\text{C}$ . Estas condiciones favorecen al crecimiento de cristales de hemihidrato de sulfato de calcio.

La lechada de hemihidrato procedente del segundo digestor fluye hasta los tres cristalizadores en serie en los que ya se haya presente cristales. La refrigeración se efectúa con aire para mantener una temperatura de  $60^{\circ}\text{C}$  -  $65^{\circ}\text{C}$ . En estas condiciones, los cristales de hemihidrato se disuelven con lo que las inclusiones de fosfatos son transferidos al ácido. Se deja pasar un tiempo suficiente para que los cristales de siembra crezcan y la lechada en que está contenido al dihidrato (yeso) se envía a la sección de filtración o se recicla, en parte, al primer cristalizador, a fin de mantener unas condiciones óptimas. La filtración se efectúa en un filtro de depósito basculante, y el ácido obtenido, es decir, el filtrado tiene una concentración del 30%-32% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Este filtrado se envía a unos evaporadores para aumentar la concentración al 45% - 54%. La torta resultante se lava dos veces en

contracorriente en el mismo filtro, y se envía a las instalaciones pertinentes para su evacuación como deshecho o para su ulterior utilización. Los gases efluentes de los digestores se lava en un depurador para eliminar el fluor y los gases depurados se eliminan a la atmósfera en unión de los gases efluentes de los cristalizadores.

Las ventajas de este proceso es que es de probada eficacia y se encuentra aplicada en más de 20 plantas de distintos países del mundo, se obtiene una lechada de yeso con buenas propiedades de filtración y problemas de incrustaciones mínimos, la torta de yeso es de buena calidad con un contenido de 0,3% de  $P_2O_5$  y el coeficiente de recuperación llega al 98%.

Entre los inconvenientes podemos considerar que en la mayor parte de los casos es necesario moler la fosforita lo que representa mayores costos de inversión de capital y mayores gastos de explotación.

#### 6.2.1.3.3 Proceso Central Glass/Prayon

(dihidrato-hemihidrato) (6) (diagrama 6.3),

El central Glass/Prayon es un proceso singular, pues sigue la vía del dihidrato



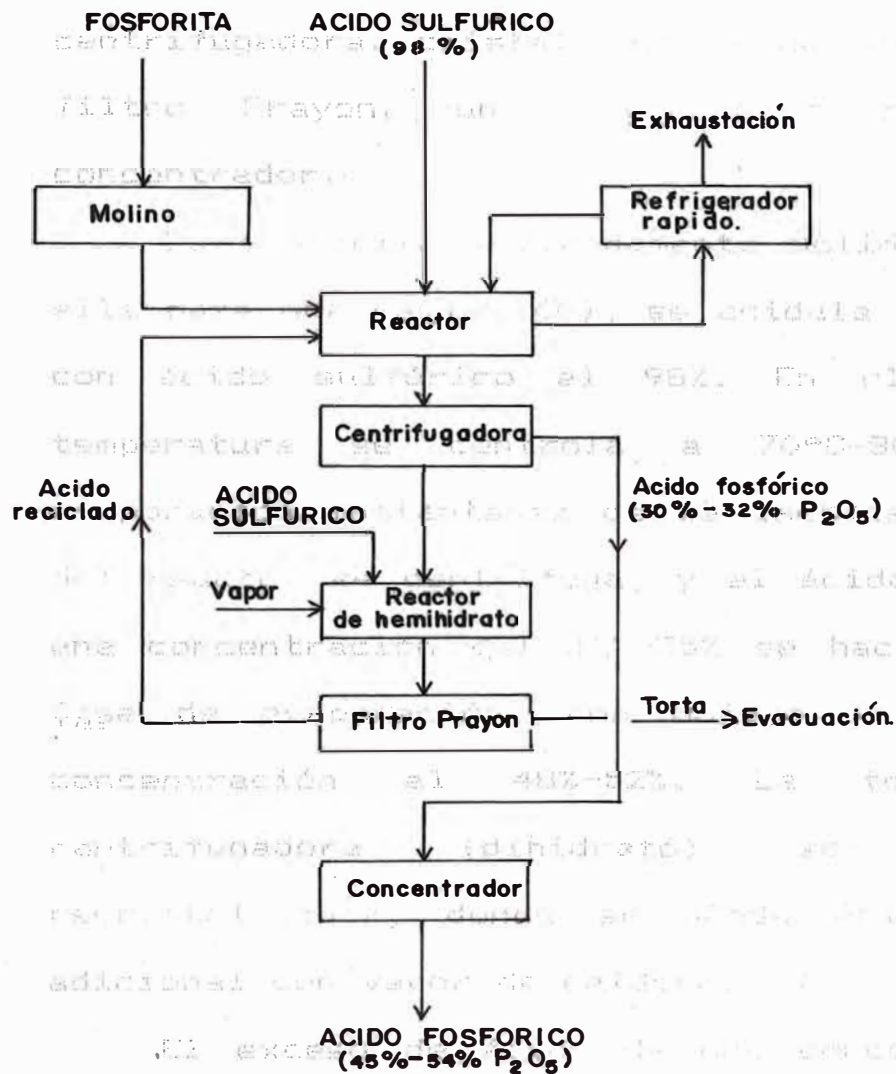


DIAGRAMA 6.3

**Fabricación de ácido fosfórico por el proceso Central Glass/Prayon.**

El exceso de ácido fosfórico se devuelve a la primera etapa de reactor para mejorar la recuperación de fósforo. La hemihidratación del

recristalizado al hemihidrato. Los principales elementos de equipo son: un reactor acidulador de varios compartimientos, molinos de fosforita, una centrifugadora, cristalizadores de hemihidrato, un filtro Prayon, un refrigerador rápido y un concentrador.

La fosforita moderadamente molida (un 60% de ella pasa una malla 100), se acidula en el reactor con ácido sulfúrico al 98%. En el reactor la temperatura se controla a 70°C-80°C mediante evaporación instantánea de la lechada. La lechada del reactor se centrifuga, y el ácido obtenido, a una concentración del 30%-35% se hace pasar a la fase de evaporación, con objeto de aumentar su concentración al 48%-52%. La torta de la centrifugadora (dihidrato) se envía al recristalizador, donde se añade ácido sulfúrico adicional con vapor de caldero.

El exceso de ácido de una concentración del 10%-15% y la temperatura de 85°C permite la cristalización del hemihidrato, y el licor de lavado de dicho filtro, en forma de ácido débil, se devuelve a la primera etapa de reacción para mejorar la recuperación de  $P_2O_5$ . La hemitorción del



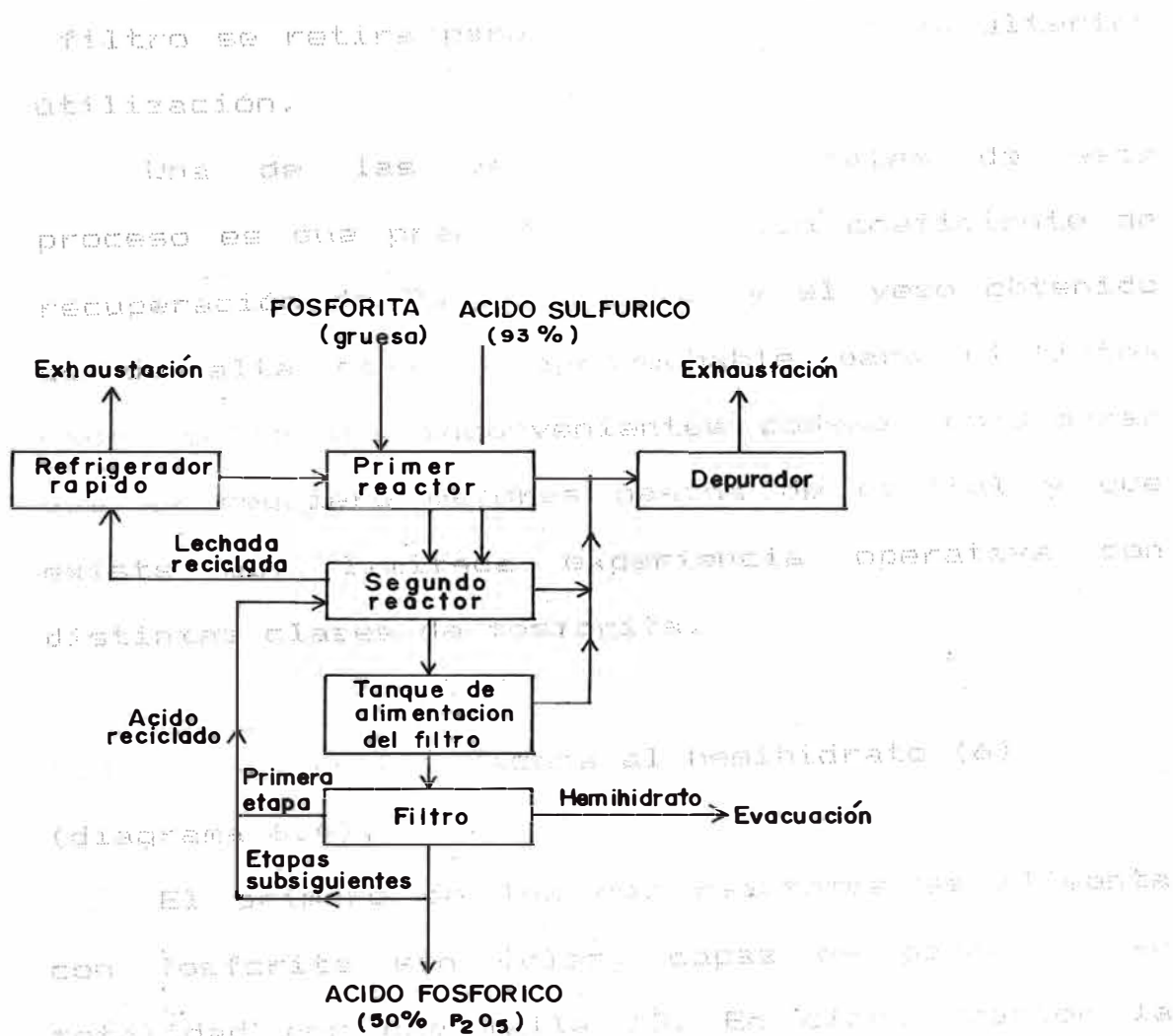


DIAGRAMA 6.4

**Fabricación de ácido fosfórico por el proceso Fisons al hemihidrato**

rápido donde se... La lechada reposa del primer... Se introduce ácido sulfúrico... 93% al segundo... reactores están dotados... y en su parte interior... una mezcla eficaz. La... de los reactores

filtro se retira para su evacuación o su ulterior utilización.

Una de las ventajas principales de este proceso es que presenta un elevado coeficiente de recuperación de  $P_2O_5$  (98%-99%) y el yeso obtenido es de alta calidad aprovechable para distintos usos. Entre los inconvenientes podemos considerar que se requiere mayores gastos de capital y que existe muy limitada experiencia operativa con distintas clases de fosforita.

6.2.1.3.4. Proceso Fisons al hemihidrato (6)  
(diagrama 6.4),

El primero de los dos reactores se alimenta con fosforita sin moler, capaz de pasar en su totalidad por una malla 10. En dicho reactor la fosforita se mezcla con lechada recirculada del segundo reactor y que pasa por un refrigerante rápido donde se controla su temperatura. La lechada rebosa del primer reactor y pasa al segundo. Se introduce ácido sulfúrico de una concentración del 93% al segundo reactor. Ambos reactores están dotados de agitadores de paletas, y en su parte interior hay pantallas que aseguran una mezcla eficaz. La temperatura se mantiene en los reactores

a 98°C - 120°C y el H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> libre del segundo reactor se mantiene al 1,8% - 2,2%, ajustando el ácido sulfúrico y el reflujo de ácido del segundo filtro a este reactor. La lechada rebosa del segundo reactor y va ha para al tanque de alimentación del filtro. A continuación es bombeada a un filtro de vacío horizontal de depósito basculante, con objeto de separar los cristales del hemihidrato. El ácido obtenido con una concentración del 50%, se extrae de la filtración de la primera etapa; parte de este ácido se recicla al segundo reactor junto con el filtrado de las etapas subsiguientes; el resto del ácido se almacena para su ulterior utilización. Los gases que se desprenden de los reactores y del tanque de alimentación del filtro se lava en un depurador, a fin de eliminar los fluoruros antes de su eliminación a la atmósfera, a la que también se expulsan los gases depurados del refrigerador rápido.

Las ventajas que presenta este proceso es que se consigue una elevada concentración de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (44% - 52%) en el ácido obtenido, no requiere de ulterior concentración y puede utilizarse directamente en otras operaciones, permite utilizar

fosforita sin moler, presenta un bajo costo inicial de la planta.

Entre los inconvenientes tenemos que resaltar que presenta un bajo coeficiente de recuperación de  $P_2O_5$  (93%-94%) lo que supone un aumento en los gastos de explotación.

## 6.2.2 Descripción del proceso de Producción

6.2.2.1 Selección del proceso (Ver cuadro 6.1).- Analizando los pro y los contra de los procesos descritos se ha decidido en la selección por el proceso Clásico Prayon al dihidrato, básicamente por que requiere de un menor capital de inversión, lo que haría más viable su instalación.

6.2.2.2 Descripción del proceso.- La mayor cantidad de fábricas de ácido fosfórico proceso húmedo en operación usa el proceso dihidrato, llamado así, porque el sulfato de calcio producido es cristalizado y separado como cristales de yeso .

Cuadro 6.1

Comparación de Procesos

Proceso	Coefficiente de recuperación	Eficacia	Calidad de Yeso	Costo de Inversión USA\$ (Capacidad de planta de referencia 1 0 TM/día)
Clásico de Prayon	0.96	Probada	Regular (0,6% de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	8000000 Incluye equipo de concentración de mineral
Nissan	0.98	Probada	Buena (0,3% de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	8000000
Central Glass Prayon	0.99	Incierta	Buena (>0,3% de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	12000000
Fisons	0.93	Incierta	Mala (1% de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	7000000

Las condiciones de concentración y temperaturas necesarias para un producto estable de yeso, fácilmente filtrado y lavado son mostrados bajo la curva (gráfico 6.2), concentraciones cercanas a 0% tienden a bajar la curva, por otro lado un aumento de la concentración en la superficie del cristal y núcleos contrarresta esta disminución.

El proceso dihidrato generalmente opera con una concentración máxima de ácido fosfórico de 30% - 35% de  $P_2O_5$ , una temperatura de 70°C - 80°C y una concentración de ácido sulfúrico menor al 3%.

Es necesario para la formación de buenos cristales y buena producción de la reacción, añadir al control cerrado de temperatura y concentración del ácido, una recirculación y vigorosa agitación de partículas de fosfato y cristales de yeso.

GRAFICO 6-4

Polimerizacion Acido Fosfórico

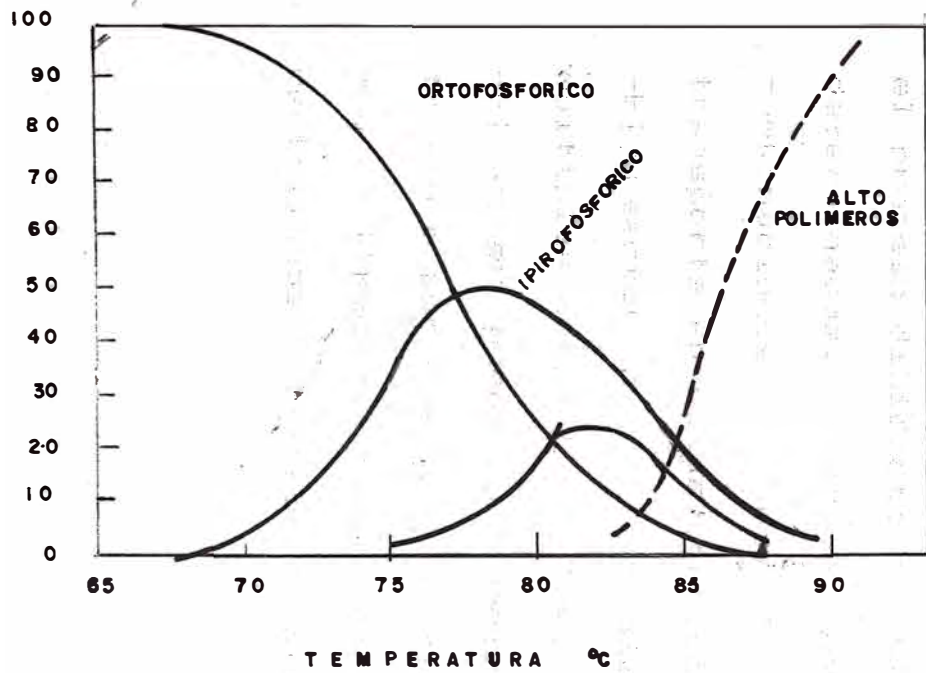
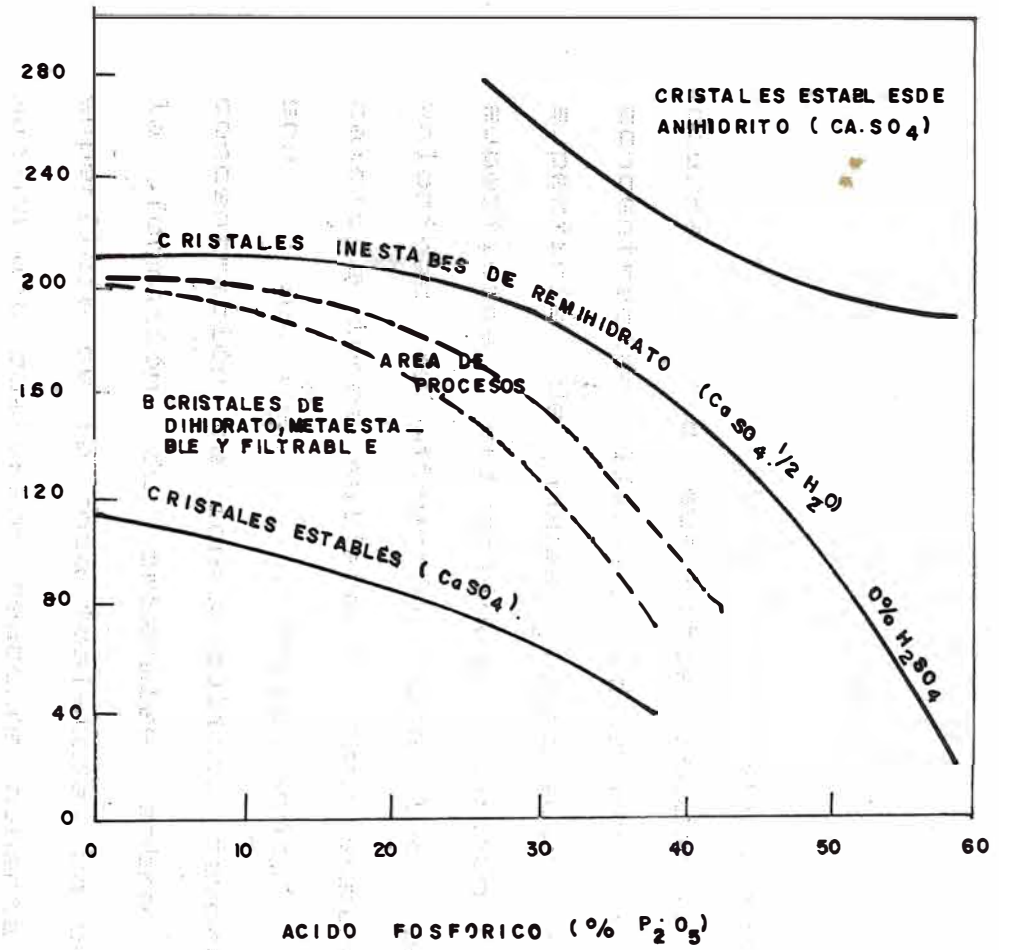


GRAFICO 6.2

Estabilizacion del Sulfato de Calcio



Según Dahgren (7) la cristalización ocurre de los sustratos líquidos, de concentración límite, adyacente a la superficie de rocas fosfatadas y a superficies cristalinas, cuando la velocidad de difusión para los iones calcio e iones sulfato de este sustrato son iguales, incrementando la concentración de iones sulfato favorece la formación de cristales sobre la superficie de la roca fosfatada, de esta manera una posterior reacción aumenta el bloque cristalino.

Las condiciones de operación para el proceso dihidrato han sido ampliamente determinados, estas son ilimitadas combinaciones de equipos y técnicas de transporte en estas condiciones:

- El reactor puede ser simple o uno de multiples compartimientos.
- El calor puede ser removido por aire fresco o por destilación flash.
- La filtración puede ser, por medios rectilíneos o filtros rotativos.



- La concentración del ácido después de la filtración puede ser por evaporación flash o película cayente.

Otras combinaciones son posibles dependiendo del tipo de partículas que se va a operar.

El proceso St. Gobain, ilustrado en el diagrama 6.5 es similar al proceso Prayon (7).

La reacción entre el ácido sulfúrico y la roca fosfatada a la temperatura promedio entre 70°C - 80°C es generalmente muy rápida. Los ocho compartimientos del reactor funcionan a flujo laminar, también funcionan como cristalizadores, de este modo el tiempo de residencia en las otras vasijas se puede aprovechar para acercarse al equilibrio entre los cristales de yeso y el licor fosfatado.

La mezcla residual del reactor es enfriada a 55°C por una operación flash a 0,2 atm. Una porción de esta mezcla fría es bombeada a un filtro rotativo inclinado, donde la masa de yeso filtrado

es sometido a un triple lavado en contracorriente y luego es descargado a un estanque instalado. El resto de mezcla fría es reciclada dentro del reactor, ingresando con el ácido sulfúrico. El filtrado es sometido a una evaporación para aumentar su concentración (45% - 54%) y almacenado para su posterior uso.

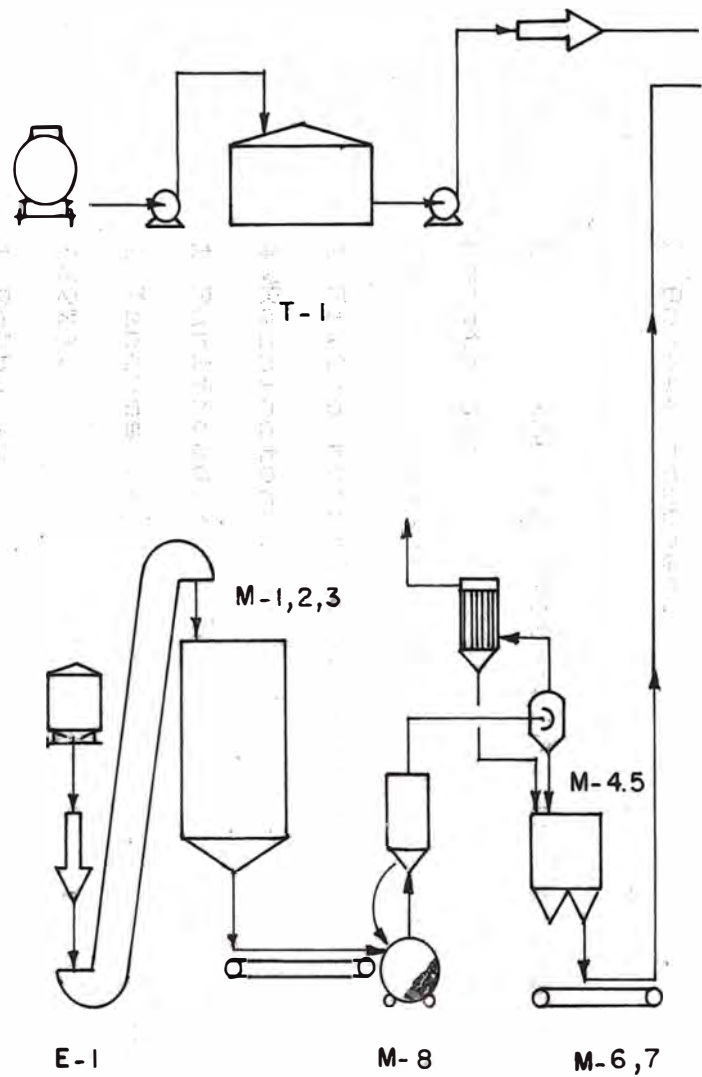
### 6.3 Selección y especificación de equipos

La compañía St. Gobain, diseñadora de la planta para el proceso seleccionado, da las especificaciones y características de los equipos requeridos para el desarrollo de este proceso.

Estos equipos los podemos distribuir en 4 secciones según:

A. Sección de almacenamiento y molienda (Diagrama 6.6 ) la cual consta de:

- 1 Tanque de almacenamiento de ácido sulfúrico.
- 3 Silos para almacenar roca.
- 1 Molino de bolas.
- 2 Tolvas de alimentación de la roca.
- 2 Transportador mecánico.



NUMERO DE EQUIPO	NOMBRE	DIMENSIONES	MATERIAL DE CONSTRUCCION
T - 1	Tanque de alma. cenamiento de acido sulfurico	5,000 m <sup>3</sup>	Acero al carbono
E - 1	Elevados de roca	120 TM/hr.	Recubrimiento de carbono
M - 1, 2, 3	Tolvas de almacenamiento de la roca	600 m <sup>3</sup> c/u.	Acero al carbono
M- 6, 7	Transportador de roca	15 TM/ hr.	Recubrimiento de carbono
M - 8	Molino de bolas	15 TM/ hr.	Acero al carbono
M - 4.5	Tolvas de almacenamiento de la roca molida.	250 TM. de roca	Acero al carbono

**DIAGRAMA 6.6**

SECCION ALMACENAJE Y MOLIENDA

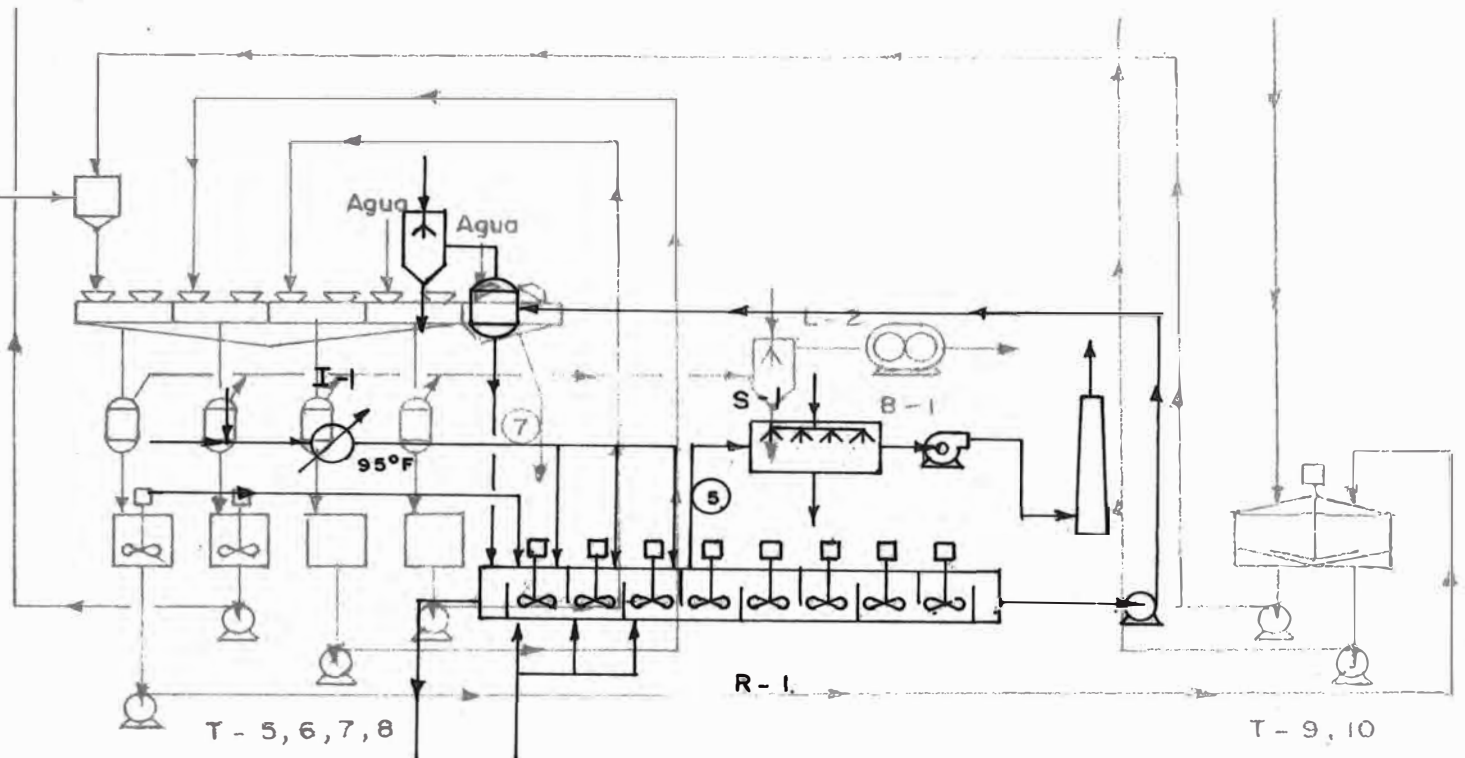
- 1 Colector de finos.
- 1 Elevador.
- 2 Bombas para ácido sulfúrico.

B. Sección de reacción (Diagrama 6.7) la cual consta de:

- 1 Tanque reactor.
- 1 Refrigerante para el ácido sulfúrico.
- 1 Refrigerante para reflujo.
- 1 Columna para eliminar gases.
- 1 Purificador de gases
- 1 Condensador de contacto directo.
- 2 Bombas comunes.

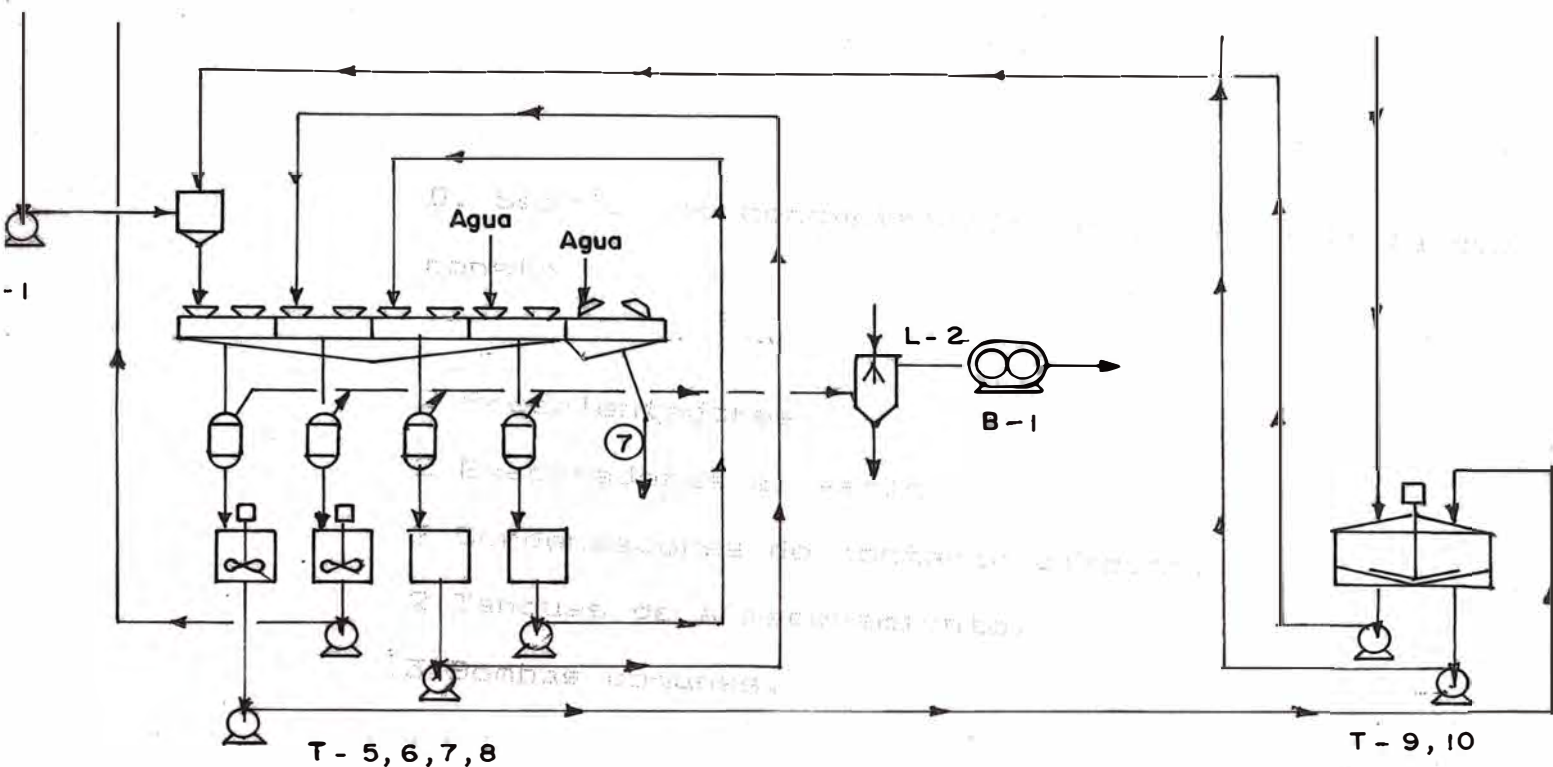
C. Sección de filtración (Diagrama 6.8) la cual consta de:

- 1 Filtro rotativo al vacío.
- 4 Recolectores de filtrado.
- 1 Purificador de gases.
- 2 Tanques de almacenamiento de ácido fosfórico (32%).
- 1 Bomba de vacío.
- 5 Bombas comunes.



**DIAGRAMA 6.8**  
**SECCION DE FILTRADO**  
**DIAGRAMA 6.7**

NUMERO DE EQUIPO	NOMBRE SECCION DE REACCION	DIMENSIONES	MATERIAL DE CONSTRUCCION
F - 1	Filtro rotativo al vacio	50 m <sup>2</sup> de superficie filtrante	Sedosos de 316 SS Tuberias recubiertas de caucho.
NUMERO DE EQUIPO T-5,6,7,8	NOMBRE Recolector de filtrado.	DIMENSIONES 5 m <sup>3</sup> c/u.	MATERIALES DE CONSTRUCCION Acero recubierto
R - 1	Tanque reactor	650 m <sup>3</sup>	de caucho. Acero recubierto
L - 2	Purificador al vacio	5 m <sup>3</sup>	de grafito. Acero recubierto
I - 1	Refrigerante de acido.	100 m <sup>2</sup> superficie de transferencia	de caucho. Carcasa de acero y tubo de grafito
T - 9, 10	Tanque de almacenamiento	800 m <sup>3</sup> c/u.	Acero recubierto de caucho.
S - 1	Purificador de Bomba de vacio gases	40 m <sup>3</sup> 3,500 rpm.	Acero recubierto 316 SS de caucho.

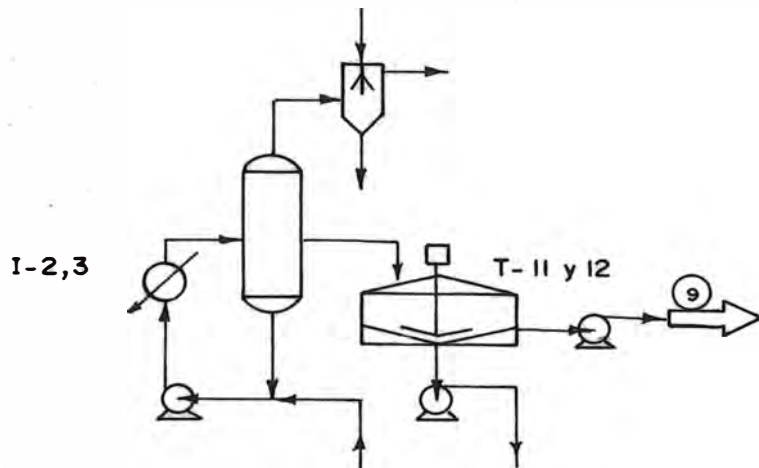


**DIAGRAMA 6.8**  
SECCION DE FILTRADO

NUMERO DE EQUIPO	NOMBRE	DIMENSIONES	MATERIAL DE CONSTRUCCION
F - 1	Filtro rotativo al vacio	50 m <sup>2</sup> . de superficie filtrante	Sedosos de 316 SS Tuberias recubierta de caucho.
T-5,6,7,8	Recolector de filtrado.	5 m <sup>3</sup> c/u.	Acero recubierto de caucho.
L - 2	Purificador al vacio	5 m <sup>3</sup>	Acero recubierto de caucho.
T - 9,10	Tanque de almacenamiento	800 m <sup>3</sup> c/u.	Acero recubierto de caucho.
B - 1	Bomba de vacio	3,500 rpm.	316 SS

D. Sección de concentración (Diagrama 6.9) la cual consta de:

- 2 Precalentadores.
- 2 Evaporadores al vacío.
- 2 Condensadores de contacto directo.
- 2 Tanques de almacenamiento.
- 3 Bombas comunes.



**DIAGRAMA 6.9**

SECCION DE CONCENTRACION

NUMERO DE EQUIPO	NOMBRE	DIMENSIONES	MATERIAL DE CONSTRUCCION
I - 2,3	Pre calentador	150 m <sup>2</sup> . Superficie de transferencia.	Carcasa de acero y tubo de grafito .
T - II y I2	Tanque de almacenamiento.	600 m <sup>3</sup>	Acero recubierto de caucho .



VII INVERSIONES Y  
FINANCIAMIENTO

## INVERSIONES Y FINANCIAMIENTOS

### 7.1 Inversiones

La inversión inicial está constituida por: capital fijo, gastos preoperativos, capital de trabajo y los intereses durante la construcción.

Para el cálculo de la inversión haremos un estimado del costo de planta.

El costo de construcción ha de ser estimado para una planta que produzca ácido fosfórico grado agrícola procesado en húmedo, con una capacidad de 108000 TM/año como P205 (200000 TM/año de ácido fosfórico)

El estimado del precio FOB se hará a partir del costo de una planta similar presentado por Stanford Research Institute - Menlo Park, California, con una capacidad de 72000 TM/año a 2676000 USA \$ en el año 1976  
(7)

$$\text{Costo}(2) = \text{Costo}(1) \left( \frac{\text{Capacidad}(2)}{\text{Capacidad}(1)} \right)^{0.68}$$

$$\text{Costo}(2) = 2676000 \left( \frac{108000}{72000} \right)^{0.68}$$

$$\text{Costo}(2) = 3525560 \text{ USA } \$$$

Para el año base (1) se toman los índices dados por los diseñadores del proceso y para hacer la proyección al año, se usan los índices de Marshall E. Stevens publicados en la Chemical Engineering, Julio 1975. Tabla D.1

Costo(1) : Costo de la planta con capacidad (1)

Costo(2) : Costo de la planta con capacidad (2)

Con los índices de costos de la Tabla D.1 y la fórmula de actualización:

$$\frac{Cx}{Cr} = \frac{Ix}{Ir}$$

Cx... Costo de la planta a estimar.

Cr... Costo de la planta de referencia

Ir... Índice de costo proporcionado por los diseñadores del proceso

Ix... Índice de costo del año al que se desea calcular

$$Cx = Cr (Ix/Ir)$$

$$Cx = 3525560 (381/104)$$

$$Cx = 12915755 \text{ USA } \$ \text{ FOB}$$

#### 7.1.1 Capital fijo

El capital está constituido por:

- a. Maquinarias y equipos de manufactura instalada.
- b. Maquinarias y equipos de no manufactura, tales como instalaciones para la generación de servicios, laboratorios de investigación y control, gastos de luz y otros servicios, costo de terreno y edificios. Para su cálculo se ha elegido el método propuesto por F.C. Vilbrandt, el cual basandose en el costo del equipo deduce mediante porcentajes adecuados los demás rubros. (Tabla 7.1)

Tabla 7.1  
Determinación del Capital fijo

Items	MUSA \$	MUSA \$	MUSA \$
a. Costo FOB del equipo	12915,76		
b. Flete y seguro			
(10% de a)	1291,58		
c. Instalación			
(43% de a)	<u>5553,78</u>		
<b>A. Costo del equipo</b>			
<b>instalado</b>		19761,12	
d. Instrumentación			
(12% de A)	2371,33		
e. Tuberías de proceso			
(30% de A)	5928,34		
f. Edificación y desarrollo			
del local (60% de A)	11856,67		
g. Servicios auxiliares			
(75% de A)	14820,84		
h. Fines exteriores			
(15% de A)	<u>2964,17</u>		
<b>B. Accesorios e implementación</b>			
<b>física</b>		37941,35	
<b>C. Ingeniería y construcción</b>			
(35% de A + B)		20195,86	
<b>D. Contingencias (20% de A + B)</b>		<u>11540,49</u>	
<b>Capital Fijo (A + B + C + D)</b>			89438,97

#### 7.1.2 Gastos preoperativos

Constituido por desembolsos o pérdidas que se originan al probar la instalación hasta alcanzar un funcionamiento satisfactorio. Se le ha estimado equivalente al doble del capital de trabajo (40% del capital fijo) 35775,59 M.USA \$.

#### 7.1.3 Capital de trabajo

Este capital es requerido para cubrir créditos (o para efectos de cobranzas) extendido a clientes, generalmente a 30 días. Además de efectivo para pagos de sueldos y salarios, adquirir materia prima, y otros gastos de operación para el mismo periodo. Según F.C. Vilbrandt se puede estimar en un 20% del capital fijo, 17887,79 M.USA \$.

#### 7.1.4 Intereses durante la construcción

Dado que la inversión será financiada mediante prestamos, los intereses acumulados durante el montaje (2 años 1991-1992) se incluirán en la deuda, por lo tanto formarán parte de la presente inversión.

11% de 89438,97	9838,29 M.USA \$
11% de 171843,42	18902,78 M.USA \$
Total	28741,07 M.USA \$

## 7.1.5 Resumen de resultados

Capital fijo	89438,97 M.USA \$
Gastos preoperativos	35775,59 M.USA \$
Capital de trabajo	17887,79 M.USA \$
Intereses durante la construcción	28741,07 M.USA \$
<b>Inversión total</b>	<b>171843,42 M.USA \$</b>

## 7.2 Financiamiento

Se estima posible el financiamiento de la inversión total requerida bajo las siguientes condiciones de préstamo:

Monto a financiar	171843,42 M.USA \$
Intereses al rebatir	%
Tasa de interés por financiación extranjera	7,5
Por aval de COFIDE	1,0
Por servicios de COFIDE	1,0
Contingencias	1,5
<b>Total</b>	<b>11,0</b>

Nota.- Fuente COFIDE

Para este proyecto de inversión debe conseguirse una financiación a largo plazo (10 años), además es conveniente que se conceda un plazo de gracia para la amortización, de 2 años, tiempo que va a demorar la construcción, instalación y puesta en marcha de la planta, período de prueba de la misma y formación de capital de trabajo propio y adecuado.

VIII COSTOS DE PRODUCCION

## COSTOS DE PRODUCCION

### 8.1 Introducción

La planta de fabricación de ácido fosfórico grado agrícola, se puede considerar como un proyecto que se integrará dentro de una planta de fabricación de superfosfato triple básicamente, aunque también se podría incluir en el complejo una planta de purificación del ácido fosfórico grado agrícola para la producción del ácido fosfórico grado técnico para su posterior uso en una planta de fabricación de TPS, debido a esta característica, muestra una estructura de costos no convencional en razón que no se incurrirá en gastos de ventas, ya que el producto obtenido es un insumo para cualquiera de las plantas ya mencionadas, generando un valor agregado a la obtención final del respectivo producto.

### 8.2 Costos de Producción

Los costos de producción están constituidos por los siguientes rubros: Costos directos, costos indirectos, depreciación, gastos de ventas, imprevistos y gastos financieros.

a. Costos directos.- Comprende todo aquello que contribuye directamente en la producción del ácido fosfórico grado agrícola tal como: materia prima (cuadros 8.1a y 8.1b), mano de obra (8.1c y 8.1d), mantenimiento y reparación.



El monto de los costos directos correspondientes al primer año se muestra en la tabla 8.1

- b. Costos indirectos comprende la mano de obra indirecta y costos de servicios anexos.
- c. Depreciación.- Comprende lo correspondiente a la pérdida de valor que sufren tanto los equipos y edificios al transcurrir de la vida útil de los mismos.

Para el caso de la planta de fabricación de ácido fosfórico grado agrícola se considera que la vida útil de los equipos y edificios es de 10 años sufriendo una depreciación anual del 6,7% tal como lo recomienda el Institute for Research and Development (tabla 8.2).

- d. Gastos de ventas.- Tratándose que el producto final de esta planta pasará inmediatamente como insumo a otras plantas (superfosfato triple, purificación para TPS) no se considera este rubro sobre el costo de producción.
- e. Imprevistos.- Comprende los requerimientos disponibles para poder afrontar los gastos que ocasiona cualquier contingencia durante el proceso de producción. Se considera que equivale al 5% del costo directo.

f. Gastos financieros.- Corresponde a las condiciones de financiamiento planteadas.

En la tabla 2.3 se muestran los rubros involucrados en los costos de producción evaluado para el primer año de funcionamiento.

8.3 Evaluación Económica.- La evaluación se realizará, determinando el volumen del punto de equilibrio es decir el volumen de producción en que los costos totales igualan a los ingresos netos.

Este punto se ha calculado según la fórmula:

$$x = CP / (P - CDU) \quad (16)$$

donde:

x es el volumen de producción en el punto de equilibrio.

CP costo de producción

P precio unitario de venta

CDU costo directo unitario

Para cuando la planta este produciendo al 100% es decir 200000 TM/año

CP = 106018,57 M USA \$

P = 1108 USA \$

CDU = 530 USA \$

x = 183423 TM (Apéndice C)

este valor es inferior al volumen de producción lo que asegura un margen de utilidad para la planta.



CUADRO 8.1b

\* Costos de materia prima para los 10 primeros años

AÑO	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> M USA \$	Roca fosfatada M USA \$	Agua de Proceso M USA\$	Costo de Materia Prima M USA \$
1	47460,0	13385	137,09	60982,09
2	47460,0	13875	137,09	60982,09
3	50611,2	14800	153,43	65564,63
4	50611,2	14800	153,43	65564,63
5	56937,6	16650	172,61	73760,21
6	56937,6	16650	172,61	73760,21
7	60100,8	17575	182,20	77858,00
8	60100,8	17575	182,20	77858,00
9	63264,0	18500	191,79	81955,79
10	63264,0	18500	191,79	81955,79

Estos costos estan referidos a USA \$ actuales y calculados según el requerimiento y costos unitarios de materia prima de acuerdo al cuadro 8.1a.

## B.1c

## Requerimiento de mano de obra

	Operador/turno	Supervisor/turno
Sección de almacenamiento y molienda de materia prima	1	*
Sección de reacción	1	1
Sección de filtración	1	1
Sección de concentración	1	**

\* Supervisor de la Sección de reacción

\*\* Supervisor de sección de filtración

## B.1d

## Costo de mano de obra USA \$

	Sueldo	Nº	Total
Supervisor	300,0	6	1980,0
Operador	200,0	12	2400,0
Total		18	4380,0
Cargas sociales			1314,0
Costo mensual de mano de obra			5694,0
Costo anual de mano de obra			68328,0

Tabla B.1

Costos directos para el primer año

	M USA \$
Costo de materia prima	60982,09
Costo de mano de obra	68,33 *
Costo de mantenimiento 3% anual de Inversión en equipo	<u>387,47</u>
Costo Total	61437,89

\*Estos costos se irán reajustando según las condiciones económicas del país.

Tabla B.2

	M USA\$/año
Costo de Depreciación	
Maquinaria y equipo	865,36
Edificios	742,48
Costo de depreciación	1607,84

Tabla B.3

Costos de Producción para el primer año

	M USA \$
Costos de producción	
Costos directos	61437,89
Depreciación	1607,84
Imprevistos	3096,39
Gastos financieros	18902,78
Total costo de producción	85044,90

IX ORGANIZACION Y  
ADMINISTRACION

## ORGANIZACION Y ADMINISTRACION

### 9.1 Organización

Considerando en Bayóvar un complejo de Fertilizantes, la planta de ácido fosfórico estaría considerada dentro de la organización, que la encargada de administrarla, estipule según su gestión.

Esta empresa puede ser estatal, asociada o privada con participación estatal.

Para la gestión de la planta de ácido fosfórico grado agrícola se considera el organigrama mostrado en el diagrama gráfico 9.1

- Jefe de planta, es el responsable de la producción y eficiente funcionamiento de la misma.
- Asistente del jefe de producción, reemplazará al jefe y a los jefes de guardia en vacaciones y sobretiempos.
- Jefes de guardia, supervisará el normal funcionamiento de la planta y el trabajo del personal.
- Jefe de laboratorio; encargado de pruebas en laboratorio y control de calidad.



-Secretaria, auxiliar en trabajos de oficina y gestión.

## 9.2 Administración

La administración dependerá de la planificación que se dará a todo el complejo fertilizante.

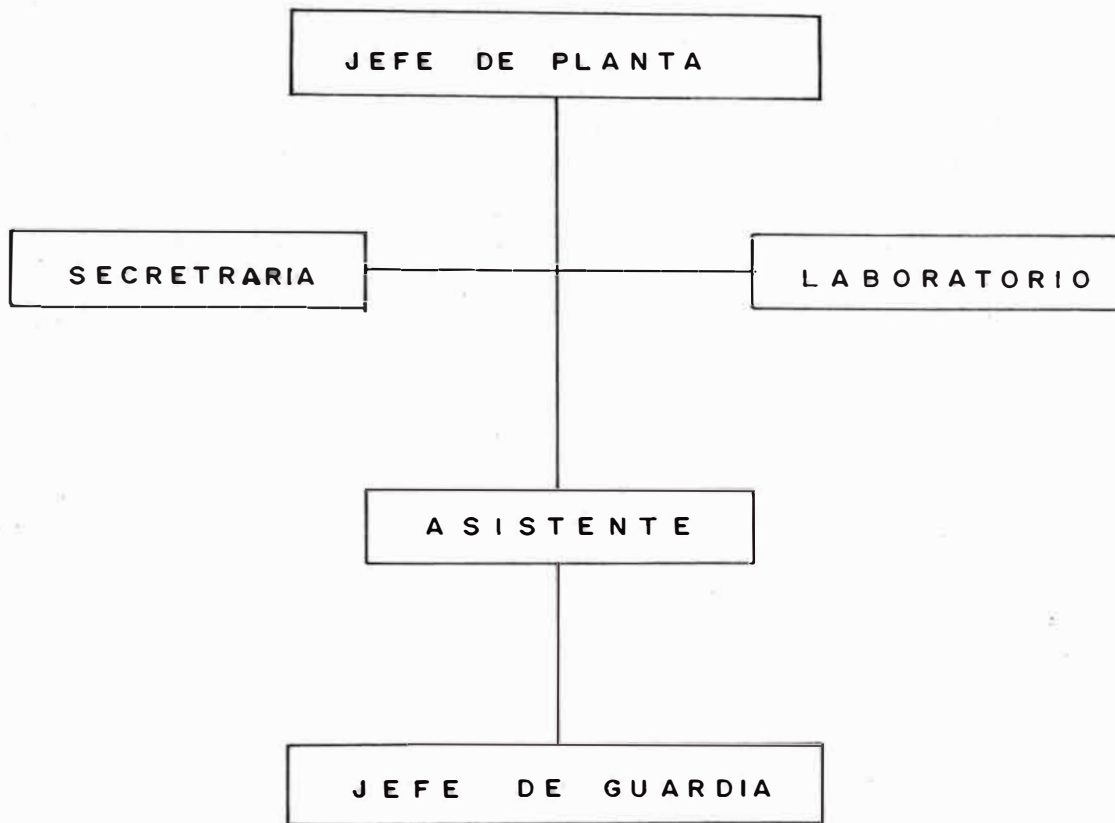


GRAFICO 9.1

Organigrama Planta de Acido Fosfórico

## AFENDICE

## A - Propiedades Físicas

### Calores de reacción

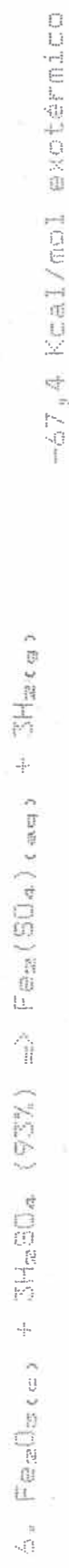


Tabla A.1

Calor de formación de soluciones ácidas

Número de moles de agua por mol de ácido	Solución ácida (25°C, Kcal/mol)	
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
1	-201,19	-304,69
3	-206,24	-306,23
5	-208,29	-306,87
10	-210,45	-307,48
20	-211,50	-307,83
40	-211,87	-308,03
∞	-217,32	

Tabla A.2

Calores de formación de diferentes compuestos

Compuesto	Estado	Calor de formación (25°C) Kcal/mol
$Al_2O_3$	s	-399,09
$Al_2(SO_4)_3$	aq	-897,1
$CaCO_3$	c	-288,45
$CaSO_4$	c	-342,47
$CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$	c	-376,42
$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	c	-483,06
$CaF_2$	c	-290,3
$CaF_2$	aq	-287,09
$Fe_2O_3$	c	-196,5
$Fe_2(SO_4)_3$	aq	-653,0
$Fe(PO_4)$	c	-299,6
$Fe(PO_4) \cdot 2H_2O$	c	-440,8
$H_2O$	liq	-68,31
HF	aq	-76,3
HF	g	-64,8
$H_2SiF_6$	aq	-557,2
$SiF_4$	g	-370,0
$SiO_2$	Crist. II	-205,0
$Na_2SiF_6$	c	-677,0
$H_4P_2O_7$	aq	-545,9

GRAFICO A-3

Densidad del ácido fosfórico  
Procesado en húmedo

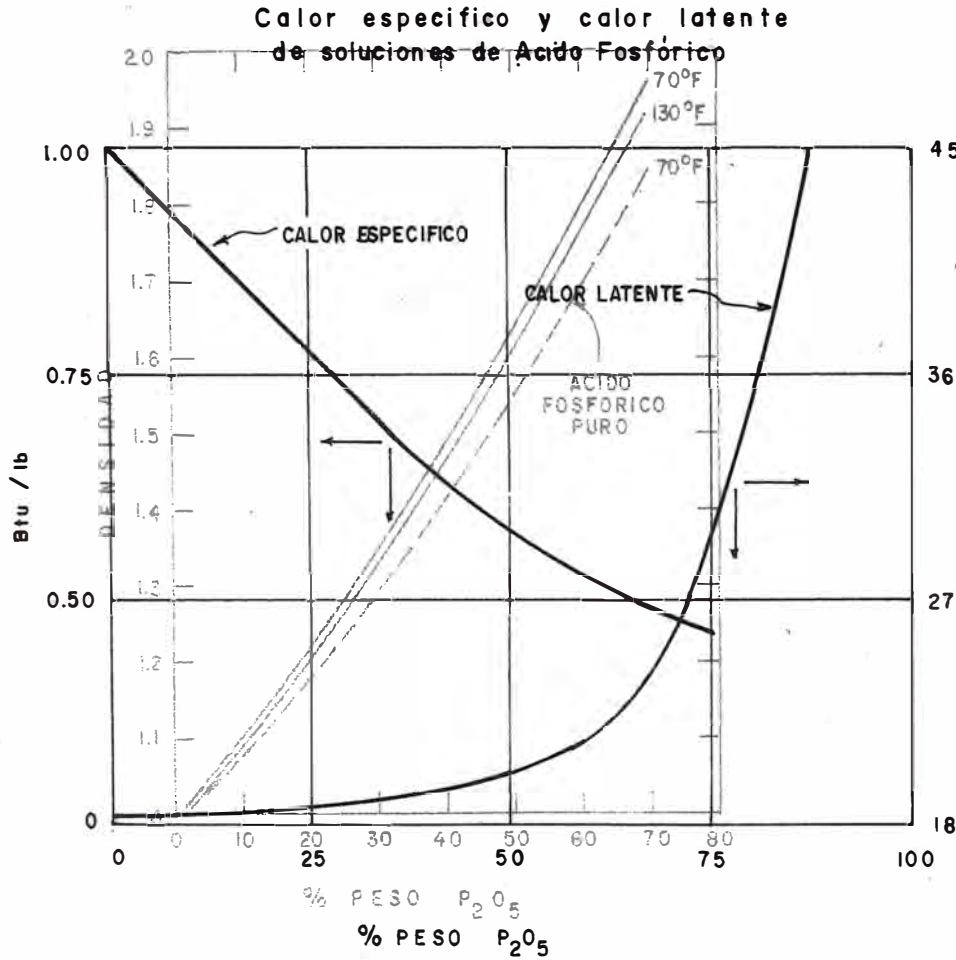


GRAFICO A-4

Viscosidad del ácido fosfórico  
Procesado en húmedo

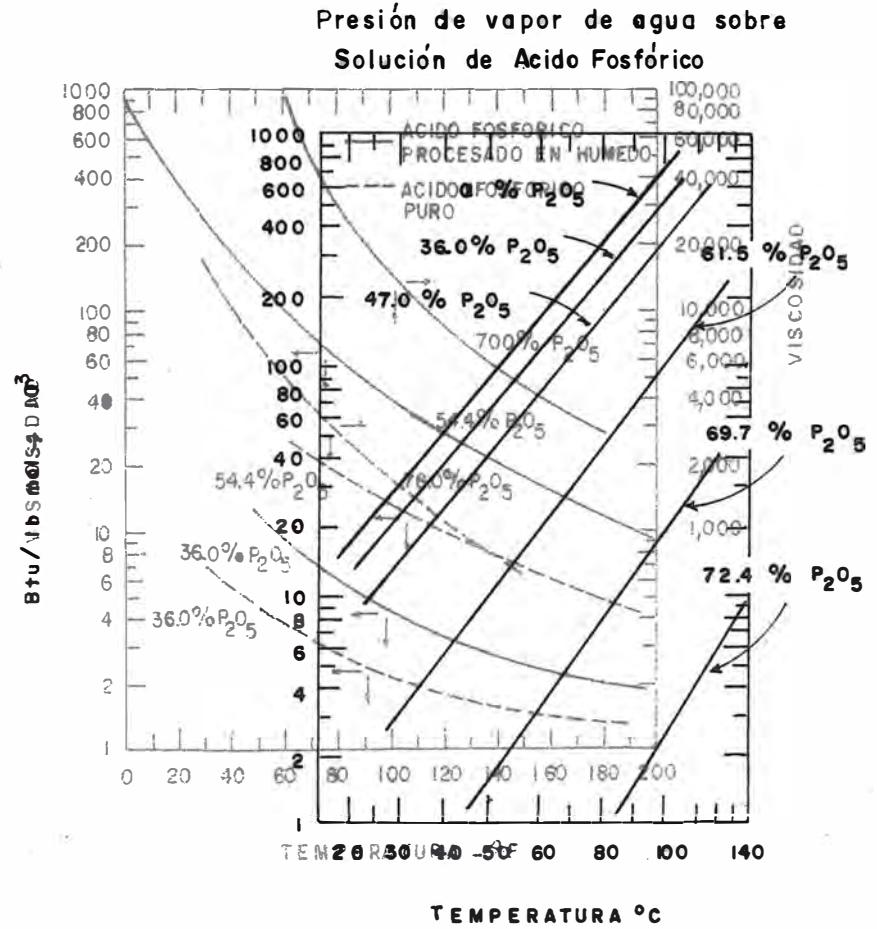


GRAFICO A-3

Densidad del ácido fosfórico  
Procesado en húmedo

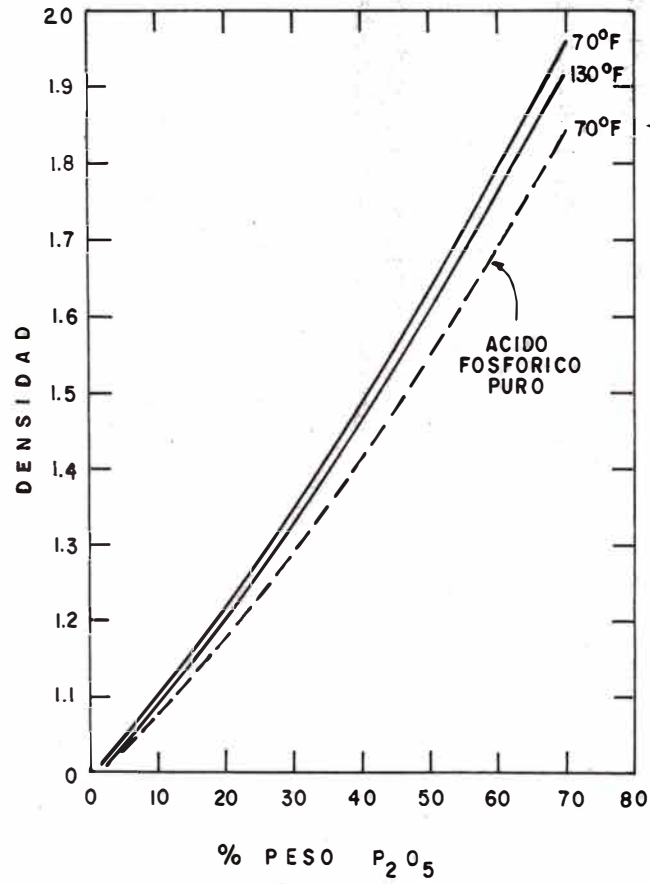
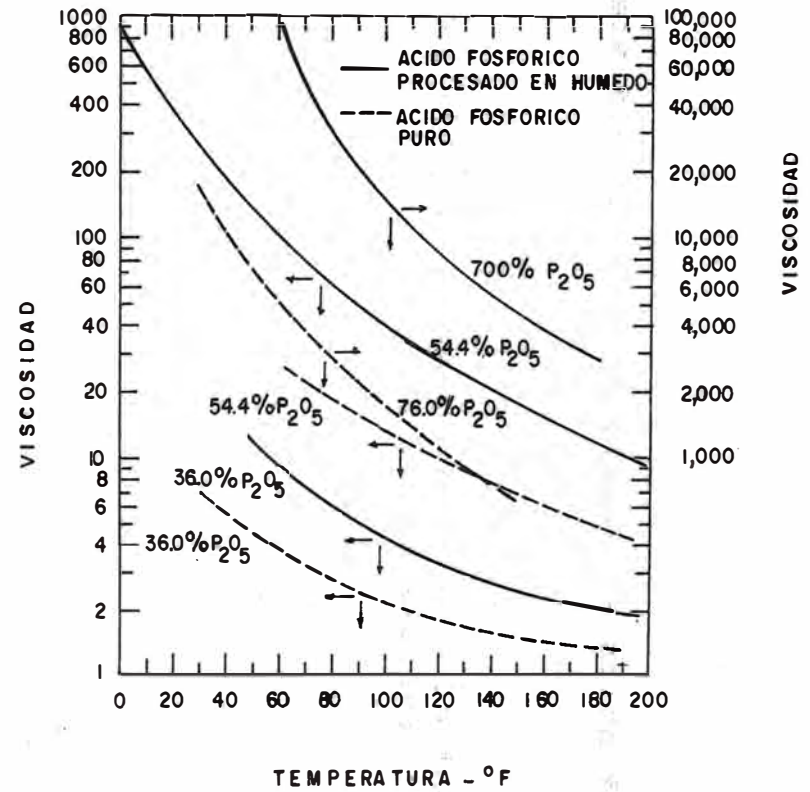


GRAFICO A-4

Viscosidad del ácido fosfórico  
Procesado en húmedo





B - Análisis típicos de las clases de ácido fosfórico

Tabla B.1

Acido fosfórico blanco (de la calidad para la industria de productos alimenticios)

*H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	75 %	Cu	0,1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	54,32%	H <sub>2</sub> S	0,1
Na <sub>2</sub> O	0,02 %	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05
O <sub>2</sub>	5 ppm	Al	0,00
Fe	2 ppm	SO <sub>2</sub>	0,00
F	0,4 ppm	CaO	0,00
Pb	0,2 ppm	K <sub>2</sub> O	0,00
Cr	0,2 ppm	SrO <sub>2</sub>	0,00
Color (A.P.H.A)	0		
Turbidad (A.P.H.A)	0		
Olor	Ninguno		

\* este contenido puede variar entre 75% y 85% según sean las necesidades del comprador.

Tabla B.2

Acido fosfórico verde (técnico de la calidad para sales fosfatadas)

$P_2O_5$	49 %
$SO_4$	0.63 %
F	370 ppm
Fe	46 ppm
Al	3 ppm
Ca	3 ppm
Mg	2,5 ppm

## C - Cálculos varios

1. Requerimiento de ácido fosfórico grado agrícola por tonelada de superfosfato triple.

Cálculos:

Roc fosfórica (30,5% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	+	Acido fosfórico (54,0% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	-----	Superfosfato triple (50% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	+	Agua
--	---	--	-------	--	---	------

Para 1 Tonelada de superfosfato triple

x TM de roca + y TM de ácido ----- 1 TM de superfosfato +  
0,20 TM de agua

de esta expresión y del contenido de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> podemos plantear las ecuaciones.

$$x + y = 1 + 0,2 x$$

$$0,305 x + 0,54 y = 0,5$$

de donde:

$$x = 0,66 \text{ TM ácido /TM superfosfato}$$

$$y = 0,34 \text{ TM roca/ TM superfosfato}$$

2. Requerimiento de Materia Prima:

a) Roca fosfórica.- De acuerdo a la tecnología expuesta este proceso presenta una eficacia promedio del 95%.

Para producir una TM de ácido fosfórico grado agrícola es decir, 0,54 TM de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> se requiere partir de:

$$0,54/0,95 = 0,568 \text{ TM de P}_2\text{O}_5$$

La materia prima que nos proporciona el P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> es la roca fosfórica, la cual tiene un contenido del 30,8% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por lo que requerirá:

$0,568/0,308 = 1,85$  TM de roca/TM de ácido fosfórico producido.

b) Acido sulfúrico.- Los iones sulfato ( $SO_4^{2-}$ ) alimentados con el ácido sulfúrico son básicamente para formar el  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  según la reacción:



El contenido de CaO en la roca fosfórica es del 47,6% en 1,85 TM de esta habrá 0,88 TM de CaO.

De la estequiometría y considerando según indicaciones del proceso, 1,75 % en exceso de  $H_2SO_4$ , se requerirá de 2,64 TM de ácido sulfúrico (93%)/TM de ácido fosfórico, conjuntamente se forma 4,22 TM de  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ .

### 3. Determinación del volumen de producción en el punto de equilibrio.

Este valor se va a determinar a partir de la fórmula

$$x = CP / (P - CDU) \dots \dots \dots (1)$$

donde:

x volumen de producción del punto de equilibrio

CP costo de producción

P precio unitario de venta

CDU costo directo unitario

Cálculo para CP al 100% de producción:

Costos directos	82411,56 M USA\$
Depreciación	1607,84
Imprevistos	3096,39
Gastos financieros	<u>18902,78</u>
Costos de Producción (CP)	106018,57 M USA\$

Conociendo que el proceso nos proporciona 2 productos comercializables, cuyos precios de venta en el mercado serian de: 475 USA\$/TM de ácido fosfórico grado agrícola (7) y 150 USA\$/TM de  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . \*

\* El precio de yeso en el mercado es 250 USA\$/TM (7), se considera 150 USA\$/TM el precio de venta del producto puesto que debe ser sometido a un lavado previo para ser comercializable.

Se produce 4,22 TM de  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  /TM de ácido fosfórico, si se comercializa 1 TM de ácido fosfórico ingresa 475 USA\$ y  $4,22 \times 150 = 633$  USA\$, es decir, 1108 USA\$/TM de ácido fosfórico.

En la fórmula (1) tendremos:

$$x = 106018570 / (1108 - 530)$$

$$x = 183423 \text{ TM}$$

Los costos están referidos a valores actuales.

D - Datos varios

Tabla D.1

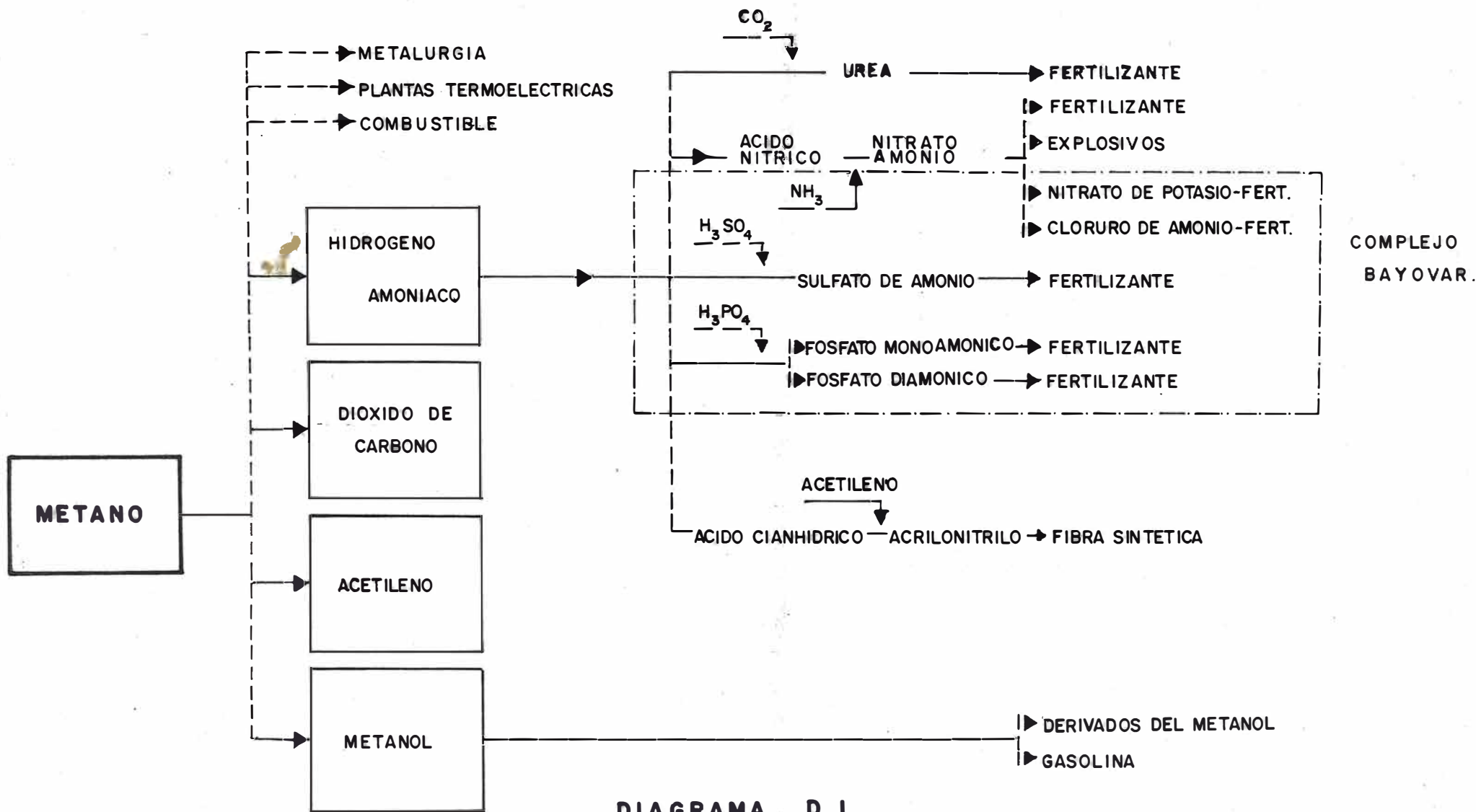
Indices de costos para la construcción de plantas industriales.

AÑO	Indice
1970	126
1972	137
1974	165
1975	180
1976	192
1977	202
1978	212
1979	223
1980	234
1981	246
1982	258
1983	271
1984	284
1985	298
1986	313
1987	328
1989	363
1990	381

Tabla D.2

Producción de ácido sulfúrico (1)

Año	TM
1981	184090
1982	226851
1983	209908
1984	204767
1985	212861
1986	209481
1987	172183
1988	173721



**DIAGRAMA D. I**  
**PETROQUIMICA DEL METANO**  
 ( PROPUESTA DE LA UNI - TALLER PETROQUIMICA - PETROPERU )



## REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA

## REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA

### Referencias

- 1) Compendio estadístico 1988  
Instituto Nacional de Estadística
- 2) Estudio de Pre-Inversión 1971  
Japan Gasoline Co. Ltd.
- 3) Reporte sobre Producción de Acido fosfórico  
Nattchimpromexport. SSSR.- MOSKVA
- 4) Juan Miro Chavarria - Revista de la Unión Española  
de explosivos 1976  
Artículo "El Acido fosfórico y sus sales"
- 5) Juan Miro Chavarria - Revista de la Unión Española  
de explosivos 1976  
Artículo "Tecnologías de Procesos para la  
Fabricación de Fertilizantes Fosfatados"
- 6) Industria Química Derivada de los fosfatos de  
Bayóvar  
Ing. Manuel Nieto Velez - ITINTEC
- 7) Acido fosfórico procesado en húmedo.  
Reporte No 8 de Stanford Research Institute
- 8) The Manufacture of Phosphoric Acid by the Wet  
Process  
Wm. C. Weber - The Dorr Company, Stanford Coun.
- 9) Desafios para la Economía Peruana 1985 - 1990

Centro de Investigación de la Universidad del  
Pacífico.

- 10) Centro de Información del acuerdo de Cartagena.
- 11) Abonos y Nutrientes - Revista (1983) UNA.
- 12) Taller : Desarrollo de la Petroquímica PETROPERU  
1990

#### Bibliografía

- 13) Phosphorus and its Compounds Vol 1-2  
Van Wazer J.R. Interscience Publishers, N.Y. 1961
- 14) Chemical Engineering Plant Design  
Vilbrant E. Dryden  
Editorial Prentice/ Hall International
- 15) Química Inorgánica  
Gregory C. Dimitras F.S. C.  
Editorial Prentice/ Hall International
- 16) Tecnología Química General  
I.P. Mujilionov A. Y. A. Averbuj  
Editorial MIR MOSCU
- 17) The Economic of the Chemical Industry  
Jules Backman 1970 - Manufacturing Chemist  
Association.