

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y
MANUFACTURERA**



**ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD PARA LA
INSTALACION DE UNA PLANTA DE
SUPERFOSFATO TRIPLE**

TESIS

PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO QUIMICO

ROSA ELENA GALVEZ ROJAS

PROMOCION: 1990-I

LIMA - PERU

1993

INDICE

INTRODUCCION

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO I RESUMEN DEL ESTUDIO

1.1 Objetivo

1.2 Estudio de Mercado

1.3 Localización y Tamaño de Planta

1.4 Ingeniería del Proyecto

1.5 Inversión y Financiamiento

1.6 Evaluación Económica y Financiera

1.7 Organización y Administración

CAPITULO II ESTUDIO DE MERCADO

2.1. Aspectos Generales

2.1.1 Importancia de los Fertilizantes Fosfatados

2.1.2 Tipos de Fertilizantes Fosfatados

2.1.3 Definición del Producto

2.1.4 Area Geográfica del Estudio

2.1.5 Metodología

2.2 Análisis de la Oferta y Demanda en el Perú

2.2.1 Oferta

2.2.2 Demanda

2.3 Análisis de la Oferta y Demanda en la Subregión
Andina

2.3.1 Oferta

2.3.2 Demanda

INDICE

INTRODUCCION

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO I : RESUMEN DEL ESTUDIO

1.1 Objetivo

1.2 Estudio de Mercado

1.3 Localización y Tamaño de Planta

1.4 Ingeniería del Proyecto

1.5 Inversión y Financiamiento

1.6 Evaluación Económica y Financiera

1.7 Organización y Administración

CAPITULO II : ESTUDIO DE MERCADO

2.1 Aspectos Generales

2.1.1 Importancia de los Fertilizantes Fosfatados

2.1.2 Tipos de Fertilizantes Fosfatados

2.1.3 Definición del Producto

2.1.4 Area Geográfica del Estudio

2.1.5 Metodología

2.2 Análisis de la Oferta y Demanda en el Perú

2.2.1 Oferta

2.2.2 Demanda

2.3 Análisis de la Oferta y Demanda en la Subregión
Andina

2.3.1 Oferta

2.3.2 Demanda

2.4 Análisis de Precios

2.4.1 Análisis

2.4.2 Proyección

2.5 Comercialización

2.5.1 Canales de Distribución

2.5.2 Presentación del Producto

2.5.3 Promoción del Producto

CAPITULO III LOCALIZACION Y TAMAÑO DE PLANTA

3.1 Localización de Planta

3.1.1 Disponibilidad de Materia Prima

3.1.2 Disponibilidad de Servicios Industriales

3.1.3 Disponibilidad de Mano de Obra

3.1.4 Distancia a los Centros de Consumo

3.1.5 Medios de Transporte

3.1.6 Area y Disponibilidad de Terreno

3.1.7 Condiciones Climáticas y Ambientales

3.1.8 Política de Desarrollo

3.2 Tamaño de Planta

3.2.1 Tamaño de Planta Vs. Mercado

3.2.2 Tamaño de Planta Vs. Tecnología

3.2.3 Tamaño de Planta Vs. Recursos Productivos

3.2.4 Conclusión

CAPITULO IV : INGENIERIA DEL PROYECTO

4.1 Materia Prima

4.1.1 Roca Fosfórica

4.1.2 Acido Fosfórico

4.2 Descripción de los Procesos de Producción Alternativos

- 4.3 Discusión y Descripción del Proceso de Producción Seleccionado
 - 4.3.1 Descripción del Proceso de Producción
 - 4.3.2 Balance de Materiales
 - 4.3.3 Condiciones de Operación
 - 4.3.4 Control del Proceso
 - 4.3.5 Instrumentación
 - 4.3.6 Seguridad
- 4.4 Requerimientos de Materia Prima
- 4.5 Requerimientos de Servicios
- 4.6 Requerimientos de Mano de Obra
- 4.7 Diseño y Especificaciones de Equipos Principales
 - 4.7.1 Diseño y Especificaciones del Molino
 - 4.7.2 Diseño y Especificaciones de los Reactores
 - 4.7.3 Diseño y Especificaciones del Granulador
 - 4.7.4 Diseño y Especificaciones del Secador
 - 4.7.5 Diseño y Especificaciones del Tamiz Vibratorio
- 4.8 Especificaciones de Equipos Auxiliares
- 4.9 Distribución de Planta

CAPITULO V : INVERSION Y FINANCIAMIENTO

- 5.1 Inversión Total de Capital
 - 5.1.1 Inversión de Capital Fijo
 - 5.1.2 Capital de Trabajo
 - 5.1.3 Inversión Total de Capital
- 5.2 Financiamiento
- 5.3 Costos de Producción

CAPITULO VI : EVALUACION ECONOMICA Y FINANCIERA

6.1 Evaluación Económica

6.2 Evaluación Financiera

6.3 Período de Recupero

6.4 Conclusión

CAPITULO VII : ORGANIZACION Y ADMINISTRACION

ANEXOS

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

La demanda estimada de fertilizantes (en términos de nutrientes) para el año 2000 es de 103.7 millones de toneladas en los países en desarrollo (1). Este cálculo no considera los requerimientos de alimentos, debido a que en este último caso se tendría que precisar una adecuada nutrición de la población creciente, lo que resultaría en una demanda más alta.

El cuadro siguiente muestra el uso actual de los fertilizantes y su pronóstico por hectárea, en los países desarrollados y en desarrollo.

USO DE FERTILIZANTES POR HECTAREA

AÑO	PAISES DESARROLLADOS (KG./Ha.)	PAISES EN DESARROLLO (KG./Ha.)
1974	109	22
1984	118	44
1992	246	65
2000	322	83

FUENTE : Principales Tendencias de la Industria de los Fertilizantes en los Países en Desarrollo para el año 2000.

Es importante observar que en los países en desarrollo el uso de fertilizantes por hectárea está muy por debajo del que se tiene en los países desarrollados.

Estudios realizados por varios organismos internacionales coinciden en que los países en desarrollo deberían construir un número suficiente de plantas para, por lo menos, lograr la autosuficiencia en fertilizantes fosfatados y nitrogenados. Esto significaría que para el año 2000, cerca del 40% de las instalaciones productivas para estos dos nutrientes estarían localizadas en dichos países. Debe recalcar que la autosuficiencia se entiende como un balance entre las exportaciones e importaciones, por lo que no implica una ausencia de comercio interregional.

En la actualidad, la orientación de la integración subregional andina se ha redefinido para abrir nuevas posibilidades a través del comercio, la industria, el avance tecnológico y el aprovechamiento de los recursos naturales. En el caso particular de la industria de fertilizantes en la Subregión Andina, ésta abarca la producción de urea, amoníaco, roca fosfórica, ácido fosfórico y superfosfatos simple y triple, sin embargo resulta insuficiente para satisfacer el total de sus requerimientos.

En nuestro país, el abastecimiento de fertilizantes constituye uno de los principales factores para el desarrollo de la agricultura, fuente básica de la producción de alimentos y materias primas industriales. Por esta razón, se hace indispensable un estudio de la situación y problemas de la industria de fertilizantes en el Perú, contemplando sus posibilidades de modernización, mejora de eficiencia, construcción de nuevas unidades de

producción y explotación de reservas.

La presente tesis se centra particularmente en el superfosfato triple, fertilizante fosfatado importado, que asegura el mejor enraizamiento y mayor crecimiento de las plantas y sus frutos.

La importación de este fertilizante representó un gasto de divisas de aproximadamente 5.5 millones de dólares en 1989, gasto que se puede y debe evitar considerando que el Perú cuenta con reservas de roca fosfórica. Esta es concentrada a un 30.5% de pentaóxido de fósforo (P_2O_5) en la Planta Concentradora de Roca Fosfórica de Bayóvar.

El objetivo de este estudio es determinar la factibilidad técnica y económica para la instalación de una planta de superfosfato triple granulado, utilizando roca fosfórica concentrada proveniente de la Planta Concentradora de Bayóvar y ácido fosfórico importado.

Así, se propone la sustitución total de las importaciones de superfosfato triple en el mercado interno y el abastecimiento parcial de las importaciones de los demás países de la Subregión Andina.

Desde el punto de vista interno, la realización de este proyecto contribuirá al desarrollo de la industria de fertilizantes fosfatados, incrementará el uso racional y rentable de la roca fosfórica, así como también ahorrará y generará divisas por concepto de importaciones y exportaciones respectivamente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las principales conclusiones, a las que se llega después de concluido este estudio, son expuestas a continuación:

1. Comparando los niveles de uso de fertilizantes con los otros países el Perú está cerca de los promedios de los países en desarrollo en el consumo por hectárea cultivada, pero dista mucho de alcanzar los niveles que se constatan en los países desarrollados.
2. El superfosfato triple granulado presenta mayores ventajas en cuanto a sus propiedades como fertilizante frente al superfosfato triple en polvo. La manipulación y aplicación del fertilizante son facilitadas por la calidad física del producto.
3. El proyecto plantea ser autosuficientes en superfosfato triple y abastecer el 50% de las importaciones de la Subregión Andina.
4. Comparando el precio de venta por TM de superfosfato triple granulado con los precios de venta de los fertilizantes nitrogenados, fosfatados y potásicos que se encuentran en el mercado nacional, se observa que es más económico. Vale decir los precios por TM de la urea, del nitrato de amonio del fosfato diamónico y del sulfato potásico son mayores que aquél del superfosfato triple granulado.

5. Al ubicar la planta de superfosfato triple en Bayóvar se reducen los costos por transporte de materia prima, que conlleva a un menor costo de producción. No obstante, es necesaria la construcción de un muelle en Bayóvar, para facilitar el transporte del producto hacia el mercado externo.
6. Los costos de producción descenderían considerablemente si el ácido fosfórico se produjera en el país, lo cual es bastante factible utilizando ácido sulfúrico producido con las gases sulfurosos provenientes de los convertidores de la Fundición de Cobre de Ilo.
7. Por el monto requerido de inversión para el proyecto, la posibilidad de solventarlo exclusivamente con recursos de fuente local es limitada. No obstante, por su naturaleza y destino, se puede captar recursos de la Corporación Andina de Fomento (CAF) y del Fondo Andino de Reservas (FAR).
8. De la Evaluación Económica realizada se concluye que el proyecto para la instalación de una planta de superfosfato triple granulado es rentable.
La tasa interna de retorno obtenida indica además poco riesgo en la inversión.

La Evaluación Financiera aumenta la rentabilidad y la factibilidad del proyecto disminuyendo el riesgo, siendo aconsejable por lo tanto financiar parcialmente la inversión.

El período de recupero de la Inversión de Capital

Fijo es bastante largo, disminuyendo con el nivel de financiamiento externo.

Las conclusiones que se ha llegado conllevan las recomendaciones que se señalan a continuación :

1. Promover el empleo eficiente de fertilizantes, muy en especial los fosfatados, cuyas ventajas aún no son suficientemente conocidas por los agricultores.
2. Apoyar la construcción de una planta de ácido sulfúrico en Ilo, utilizando parcialmente los gases de tostación de la Fundición de Cobre de la Southern Perú Copper Corporation.
3. Promover la construcción de una planta de ácido fosfórico en Bayóvar a mediano plazo, y la inetalación a largo plazo de un gran complejo industrial para la producción de fertilizantes simples y compuestos N-P-K.
4. Para que la rentabilidad del proyecto mejore sustancialmente es necesario que se den las siguientes condiciones :
 - Considerando la alta sensibilidad del proyecto a la variación de los precios de la materia prima, y teniendo en cuenta que la elevación de los costos de producción se debe fundamentalmente al alto costo del ácido fosfórico importado, es sumamente necesaria la producción de ácido fosfórico grado fertilizante en el país, el cual tendría un costo bastante menor al importado.
 - Se debe realizar pruebas a nivel planta piloto

dándole mayor importancia a las propiedades físicas y químicas propias de la roca fosfórica de Bayóvar, la cual presenta muchas ventajas para el desarrollo del proceso de producción propuesto.

Por otro lado, existen procesos de producción patentados, pero que se emplean a menor escala en los países desarrollados. Se considera conveniente la realización de pruebas a nivel de planta piloto, de tal manera que se pueda proponer un proceso adecuado a las condiciones económicas de nuestro país.

- Para promover el desarrollo técnico de la agricultura en el país, es necesario reconocer que existe una estrecha relación entre la industria de fertilizantes y la agricultura, pues el desarrollo de la primera está limitado por el grado de progreso de esta última. El Estado Peruano debe participar en la ejecución de proyectos para el desarrollo de la industria de fertilizantes, sin dejar de lado la participación del inversionista privado.

CAPITULO I

RESUMEN DEL ESTUDIO

1.1 OBJETIVO

El objetivo del presente estudio es el determinar la factibilidad técnica y económica para la instalación de una planta de superfosfato triple granulado, situada en Bayóvar. La producción de dicha planta cubrirá totalmente la demanda nacional y el 50% de las importaciones de los demás países de la Subregión Andina.

1.2 ESTUDIO DE MERCADO

El área geográfica considerada para realizar el estudio de mercado está formada por los países de la Subregión Andina, haciendo un análisis propio para el Perú y otro para los demás países de la Subregión.

El superfosfato triple es un fertilizante de alto contenido en fósforo (46% de P_2O_5), que mejora el enraizamiento y crecimiento de las plantas. Es aplicado directamente al suelo o utilizado como insumo en la elaboración de fertilizantes compuestos N-P-K. Sus propiedades le dan gran importancia en el mercado nacional y subregional, el cual hasta la actualidad no satisface íntegramente sus requerimientos, recurriendo a las importaciones.

Sólo Venezuela y Colombia producen superfosfato triple, para aún en cantidades insuficientes para satisfacer su propio mercado. Por otro lado, el consumo de fertilizantes por hectárea en la Subregión se encuentra muy por debajo de aquél en los países en desarrollo, lo que se refleja en una baja productividad agrícola.

El Perú, como país que cuenta con reservas de roca fosfórica, tiene gran ventaja para la producción de fertilizantes fosfatados y de ácido fosfórico lo cual beneficiaría al país y a la Subregión Andina.

En el Cuadro 1.1 se muestra las importaciones de superfosfato triple en la Subregión Andina.

CUADRO 1.1
IMPORTACION DE SUPERFOSFATO TRIPLE
EN LA SUBREGION ANDINA (TM)

País	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Bolivia	2,250	1,701	550	172	632	3
Colombia	6,611	4,946	4,586	4,508	7,758	4,777
Ecuador	150	2,003	2,056	4,492	158	3,756
Perú	13,011	13,225	33,340	47,530	35,473	17,641
Venezuela	4,500	7,629	27,695	11,871	11,532	22,710
TOTAL	26,522	29,504	68,227	68,573	55,553	48,887

1.3 LOCALIZACION Y TAMANO DE PLANTA

Se propone la localización de planta en Bayóvar, debido a la cercanía a la fuente de materia prima y a

los centros de consumo, pues la Costa Central y la Sierra Central son las zonas de mayor consumo de fertilizantes fosfatados.

De concretarse la construcción de un muelle en Bayóvar, tal como se tiene proyectado, se facilitará enormemente la comercialización con el exterior, aumentando la competitividad del superfosfato triple en el mercado subregional andino.

El tamaño de planta se ha definido en base al estudio de mercado realizado y a la disponibilidad de materia prima. Se proyecta instalar la planta con una capacidad de producción de 79,200 TM/año, empezando sus operaciones en 1996 y utilizando el 60% de su capacidad instalada hasta llegar al 95% en el año 2010.

1.4 INGENIERIA DEL PROYECTO

Se producirá superfosfato triple granulado con roca fosfórica, proveniente de la Planta Concentradora de Bayóvar y con ácido fosfórico importado. De realizarse los proyectos para la producción de ácido fosfórico en el Perú, se preferirá la adquisición del mismo.

Entre los procesos de producción existentes, se ha elegido el Proceso Granular Dorr-Oliver, debido a su gran versatilidad para la producción de superfosfato triple y fertilizantes compuestos N-P-K granulados. Por otro lado, este proceso permite la obtención de un producto de alta calidad que podrá competir en el

mercado externo.

Para el diseño de los equipos se ha considerado las condiciones del proceso elegido, dándole mayor importancia al granulador y al secador, de los cuales depende la eficiencia del proceso y la calidad del producto.

En la planta se utilizará controladores neumáticos y electrónicos, incluyendo alarmas en los equipos principales para un mejor control del proceso.

El agua de proceso será obtenida del reservorio perteneciente al Proyecto Especial de Agua Potable de Piura - Región Grau.

Para el lavado de los gases fluorados se utilizará agua sin mayor tratamiento, proveniente del Acuífero Illescas.

La energía será suministrada por medio de un grupo electrógeno de 800 Kw. de potencia que será instalado en la misma planta.

El balance de materia establece los siguientes requerimientos por TM de superfosfato triple granulado:

<u>MATERIA PRIMA</u>	<u>REQUERIMIENTO</u>
Roca Fosfórica	0.66 TM
Acido Fosfórico al 75%	0.51 TM
Agua de Proceso	0.20 TM

SERVICIOS : REQUERIMIENTO ANUAL

Agua de Lavado de Gases	30000 m ³
Energía Eléctrica	800 Kwh
Combustible	4700 m ³

1.5 INVERSION Y FINANCIAMIENTO

La Inversión Total de Capital se ha estimado en base a estudios realizados por Minero Perú y por la ONUDI, considerando la inversión de Capital Fijo y el Capital de Trabajo requeridos para el proceso seleccionado.

La inversión total de capital para el proyecto se compone de

- Inversión de Capital Fijo : 4,400 M US\$.
- Capital de Trabajo : 838 M US\$.
- Inversión Total de Capital: 5,238 M US\$.

Debido al monto de la inversión requerida, sera necesario recurrir al financiamiento externo, solicitando un préstamo a la Corporación Andina de Fomento (CAF). Se propone solicitar el financiamiento del 60% de la Inversión Total de Capital, correspondiente a 3143 M US\$, con un período de pago de 7 años y el 12.5% de interés anual.

1.6 EVALUACION ECONOMICA Y FINANCIERA

La Evaluación Económica determina la rentabilidad y factibilidad del proyecto con un Valor Actual Neto de 7.815 MMUS\$ del año 0 y una Tasa Interna de Retorno del 22.7%.

La Rentabilidad aumenta a medida que aumenta el financiamiento externo, obteniéndose un Valor Actual Neto de 8.503 MMUS\$ del año 0 y una Tasa Interna de Retorno del 26.4%, al financiar el 60% de la Inversión Total de Capital.

1.7 ORGANIZACION Y ADMINISTRACION

La planta de superfosfato triple granulado podría formar parte de un gran complejo industrial para la producción de fertilizantes fosfatados, sin embargo se ha considerado como una empresa independiente, hasta que se concreten los proyectos para el establecimiento de un complejo industrial en Bayóvar.

Los órganos principales y directivos de la empresa estarán constituidos por el Directorio y la Gerencia, contando además con la Gerencia Administrativa, la Gerencia de Producción y la Gerencia de Comercialización, los cuales coordinarán en conjunto con sus respectivos departamentos, las medidas adecuadas para el buen funcionamiento de la planta.

CAPITULO II

ESTUDIO DE MERCADO

2.1 ASPECTOS GENERALES

2.1.1 IMPORTANCIA DE LOS FERTILIZANTES FOSFATADOS

En general, los fertilizantes suministran uno o más nutrientes, siendo el nitrógeno, el fósforo y el potasio los nutrientes primarios que las plantas absorben directamente, o que pueden hacerse fácilmente asimilables bajo la influencia de condiciones apropiadas del suelo.

La acción primordial de los fertilizantes fosfatados es de índole fisiológica, son nutritivos de las plantas. De todas las sustancias minerales contenidas en el suelo, los fosfatos son los que tienen mayor importancia para la agricultura, ya que sin ácido fosfórico no puede haber vida vegetal o animal.

El ácido fosfórico ocupa una posición central en el metabolismo vegetal. Los procesos anabólicos y catabólicos de los hidratos de carbono podrán transcurrir normalmente si los compuestos orgánicos han sufrido una previa esterificación con ácido fosfórico. El ácido fosfórico desempeña, además, un importante papel dentro de los procesos de transformación de energía, participando en forma

decisiva en el metabolismo graso. A su vez, es un importante constituyente de múltiples y significantes compuestos vitales, como la fitina, lecitina y los nucléidos.

Las plantas afectadas por deficiencia fosfórica presentan un sistema radicular raquíticamente desarrollado, acompañado de síntomas generales de perturbación en su crecimiento. Las hojas y tallos de las plantas deficientes frecuentemente son pequeños y muestran una coloración verde-rojiza, café-rojizo, purpúrea o bronceada. La floración y la madurez son retardadas, permaneciendo pequeñas las semillas y los frutos.

El fósforo añadido con los fertilizantes se fija en el suelo en su mayor parte, y es asimilado lentamente por las plantas en forma de iones HPO_4^- o H_2PO_4^- . En la solución del suelo, la concentración de fósforo suele ser del orden de 1 ppm o menos. A medida que es consumido por la planta, debe solubilizarse para asegurar las necesidades del desarrollo de la cosecha. Las reacciones de fijación y movilización del fósforo en el suelo son muy diversas y dependen de gran número de factores.

Una gran ventaja de los fertilizantes fosfatados solubles en agua es su rápida absorción. Por tal motivo, quedan a disposición de las plantas jóvenes durante el tiempo que no hayan alcanzado su desarrollo radicular total, y no puedan responder

favorablemente la presencia de ácido fosfórico fácilmente aprovechable. (2)

2.1.2 TIPOS DE FERTILIZANTES FOSFATADOS

La roca fosfórica constituye la mayor fuente de fertilizantes fosfatados, la mayoría de los compuestos que se describen a continuación provienen de transformaciones químicas y/o físicas de dicha roca.

Para unificar la manera de expresar el contenido de fósforo en un fertilizante, es usual expresarlo como porcentaje de pentaóxido de fósforo, P_2O_5 .

Superfosfato Simple

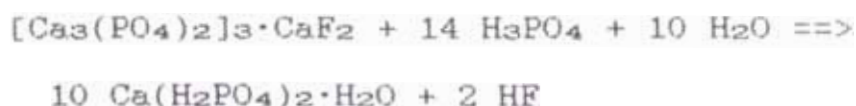
El fosfato tricálcico contenido en la roca fosfórica es un compuesto estable e insoluble, que no puede ser aprovechado directamente por las raíces de las plantas. Para ello debe hacerse soluble por adición de ácido sulfúrico, convirtiéndolo en fosfato monocálcico, asimilable por las plantas:



El superfosfato simple usualmente contiene 16 a 22% de pentaóxido de fósforo P_2O_5 , del cual el 90% es soluble en agua.

Superfosfato Triple

Es uno de los fertilizantes fosfatados mas concentrados y se obtiene tratando la roca fosfórica molida con ácido fosfórico, según la reacción:



Se logra concentraciones de pentaóxido de fósforo P_2O_5 en el superfosfato triple de 44 a 52%, del cual el 40 a 49% es soluble en agua.

Fosfatos Mono y Diamónico

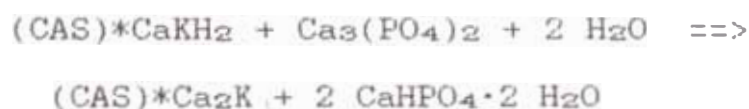
Los fosfatos mono y diamónicos se obtienen por neutralización del ácido fosfórico con amoníaco, resultando uno u otro producto al variar la relación entre los dos reactantes:

	Fosfato Monoamónico	Fosfato Diamónico
Contenido de Nitrógeno(N)	12%	21%
Contenido de Fósforo (P_2O_5)	62%	54%

Ambos fertilizantes amónicos son completamente solubles en agua.

Roca Fosfórica Molida

Se obtiene de los yacimientos naturales y se muele finamente para aplicarse directamente al suelo. El fósforo en la roca fosfórica está representado por el fosfato tricálcico $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, inasimilable por las plantas. Puede ser empleada en suelos cuya acidez propia sea inferior a $\text{pH}=5.5$, donde el fósforo, bajo la influencia de la acidez del suelo, pasa a la forma soluble $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, asimilable por las plantas.



* Capacidad de Absorción del Suelo

El empleo de roca fosfórica en suelos de tipo neutro o ligeramente alcalino, también han dado resultados positivos por cuanto los ácidos segregados por las raíces de las plantas van solubilizando progresivamente los fosfatos.

Escorias de Convertidores de Acerías

Al momento de la desfosforación en los convertidores, se forman escorias con fosfato tricálcico en cierta proporción, dependiendo del contenido de fósforo de los minerales de hierro y del proceso de producción. Estas escorias pueden ser también molidas y empleadas directamente, en forma similar a la roca fosfórica.

El Guano de Islas

El guano de islas tuvo un auge muy grande hasta la década de 1930, cuando los depósitos de guano fósil llegaron a un nivel muy bajo. Actualmente ha perdido su significación como fertilizante fosfatado, debido al bajo volumen de extracción y bajo contenido de fósforo (2%).

Fertilizantes Compuestos

Son fertilizantes producidos por la mezcla de fertilizantes simples, los cuales aportan los tres elementos nutrientes primarios (fósforo, nitrógeno y potasio) en forma asimilable por las plantas, manteniendo entre ellos relaciones fijas y conocidas. Las formulaciones más empleadas son, porcentualmente:

N	12%	12%	12%	16%	15%	7%
P ₂ O ₅	12%	12%	6%	16%	15%	14%
K ₂ O	12%	17%	22%	-	15%	7%

2.1.3 DEFINICION DEL PRODUCTO

a. Características Generales

El superfosfato triple es el producto formado esencialmente por fosfato monocálcico $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, proveniente del tratamiento de la roca fosfórica con ácido fosfórico. Presenta las siguientes propiedades, las cuales se explican en el anexo II (3).

Aspecto : Se presenta en forma granulada y en polvo.

Densidad : 1.0 a 1.2 gr/cc, según el apelmazamiento.

Solubilidad : Del 44 al 52% de P₂O₅ total en el fertilizante, un 40 al 49% de P₂O₅ se halla en forma asimilable como ortofosfato monocálcico soluble en agua.

Higroscopicidad : Producto poco higroscópico.

Reacción del fertilizante : Neutra

Salinidad : Indice de Salinidad = 10.1

Compatibilidad de mezclas : Puede mezclarse en cualquier circunstancia con los

fertilizantes potásicos como el cloruro y sulfato potásico.

La mezcla con los fertilizantes amoniacales (sulfato amónico, urea, amonitratos y nitrato amónico) o nítricos (nitrato cálcico y nitrato sódico), sólo debe efectuarse en el momento de su empleo para evitar posible fraguado.

No es recomendable mezclarlo con las Escorias Thomas ni con cal, porque la alcalinidad podría provocar una disminución de la asimilabilidad del pentóxido de fósforo P_2O_5 .

b. Usos del Producto

El superfosfato triple se utiliza como fertilizante simple de aplicación directa y como insumo en la elaboración de fertilizantes compuestos N-P-K.

c. Especificaciones Técnicas

En el Perú, el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual, INDECOPI (antes

ITINTEC), formula las normas que rigen sobre productos de todos los sectores de la economía nacional.

La Norma Técnica Nacional: Fertilizantes. Superfosfato Triple. Requisitos ITINTEC 311.090-Julio 1985 clasifica en dos tipos al superfosfato triple: (4)

Tipo 1 : Superfosfato Triple en polvo

Tipo 2 : Superfosfato Triple granulado

Dicha norma da a conocer los requisitos que debe cumplir el superfosfato triple que se produzca en el país:

Requisitos

El producto muestreado y ensayado según las Normas ITINTEC correspondientes debe cumplir, después del período de maduración, con los requisitos indicados en la Tabla 2.1.

TABLA 2.1

REQUISITO	TIPO 1		TIPO 2	
	Mín. %	Máx. %	Mín. %	Máx. %
Fósforo disponible				
como P ₂ O ₅ :	44.1	---	45.0	---
como P :	19.2	---	19.6	---
Fósforo soluble en agua				
como P ₂ O ₅	39.2	---	40.0	---
como P :	17.1	---	17.5	---
Acidez libre				
como H ₃ PO ₄	---	3.9	----	4.0
Pasa en tamiz ITINTEC de 3.36 mm. (Nº6) de abertura de malla	---	---	----	80.0
Humedad	---	5.0	----	3.0

En Bolivia, el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo tiene a su cargo la elaboración y aplicación de las normas técnicas y control de calidad de los insumos destinados a la agricultura y/o industria pecuaria, fija la política de precios según la ley boliviana y los Tratados de Integración Latinoamericana. Aún no se ha fijado una norma técnica para el superfosfato triple, pero el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo considera las

normas extranjeras. (5)

En Colombia, el Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC aprueba las normas que son de aplicación voluntaria, sin embargo son obligatorias:

- 1) Las que fijan el Sistema Internacional de Unidades S.I.
- 2) Las que se relacionan con materiales, productos o procedimientos que afectan la vida, la seguridad o la integridad corporal de las personas.
- 3) Las que se refieren a protección del medio ambiente, equilibrio ecológico y protección de los recursos naturales.
- 4) Aquellas que a juicio del Consejo Nacional de Normas y Calidad convengan a la economía del país o al interés público.

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas ha formulado la Norma Técnica ICONTEC 125: Superfosfato Concentrado para Abono (Superfosfato Triple). (6)

En Ecuador, los requisitos que debe cumplir el Superfosfato Triple se fijan en la Norma 0217: Fertilizantes. Superfosfato Triple. Requisitos (7).

En Venezuela, la Dirección de Normalización y Certificación de Calidad (D.N.C.C.) coordina la elaboración y aplicación de las

Normas Venezolanas COVENIN, y coordina con los Organismos Nacionales e Internacionales relacionados con el desarrollo industrial, la normalización, el control y la certificación de la calidad.

Dentro de las normas venezolanas COVENIN no se encuentra norma alguna referente al superfosfato triple. (8)

2.1.4 AREA GEOGRAFICA DEL ESTUDIO

Para el presente proyecto, se analiza las siguientes áreas geográficas:

- a. Mercado Nacional
- b. Mercado de la Subregión Andina (GRAN)

a. Mercado Nacional

La alta ley del superfosfato triple (44 a 52% P_2O_5 total), lo convierte en uno de los fertilizantes fosfatados de mayor importancia en el mercado nacional, el cual, como se puede apreciar en el Cuadro 2.2, ha tenido una creciente participación en el consumo de fertilizantes en los últimos años. (9).

El Perú importa aproximadamente el 75% de superfosfato triple de Estados Unidos de Norteamérica, sin embargo, nuestro país cuenta con materia prima nacional para producir ácido fosfórico y superfosfato triple. Es necesario

que la industria nacional cuente con plantas para la producción de ambos productos, a fin de eliminar totalmente las importaciones.

En el Cuadro 2.3 se detallan las importaciones de superfosfato triple durante los años 1980 a 1990, los precios CIF Callao por tonelada y los valores pagados por dichas importaciones. Es decir, la implementación de una planta de superfosfato triple se justifica, por existir un mercado interno para colocar su producción a mediano y largo plazo.

CUADRO 2.2

**CONSUMO REAL ANUAL DE FERTILIZANTES FOSFATADOS
EN EL PERU (TM)**

FERTILIZANTE FOSFATADO	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Superfosfato de Calcio Triple	15569	10622	10314	13011	13225	33340	47530	35473	17641	13147
Indice de Participacion Anual (%)	15,64%	15,13%	24,17%	18,37%	16,36%	45,16%	40,60%	31,81%	30,70%	40,70%
Superfosfato de Calcio Simple	8712	7523	4151	7876	7158	1797	64	27	64	---
Fosfato Diamonico	18159	11993	14163	12371	14569	25497	39832	39115	20800	13040
Abono Compuesto 12-12-12	18106	15514	11466	11143	4307	8762	16230	15758	4737	1366
Guano de Islas	18757	11126	292	21954	39440	283	7680	17419	10621	875
Bayomix	104	1466	1284	3867	1957	1807	2446	2476	2029	753
Otros	20154	11951	995	610	192	2333	3330	1249	1584	3124
Indice de Participacion Anual	84,36%	84,87%	75,83%	81,63%	83,64%	54,84%	59,40%	68,19%	69,30%	59,30%
TOTAL	99561	70195	42665	70832	80848	73819	117112	111517	57476	32305

Fuente: Compendio Estadístico 1990-91. Instituto Nacional de Estadística e Informática

CUADRO 2.3

**VALORES CORRESPONDIENTES A LAS IMPORTACIONES DE
SUPERFOSFATO TRIPLE**

AÑO	IMPORTACION (TM)	PRECIO CIF (U.S.\$/TM)	VALOR CORRESPONDIENTE (U.S. \$)
1980	15,076	219.77	3'313,253
1981	14,659	183.56	2'690,806
1982	12,136	172.50	2'093,460
1983	11,757	149.91	1'762,492
1984	10,399	161.24	1'676,735
1985	15,730	138.92	2'185,212
1986	32,493	138.98	4'515,877
1987	52,211	143.80	7'507,942
1988	35,122	202.58	7'115,015
1989	27,974	194.28	5'434,789
1990	10,492	136.50	1'432,158

FUENTE: Compendio Estadístico 1990-91.
Junta del Acuerdo de Cartagena.
Unidad de Informática.

b. Mercado de la SubRegión Andina (GRAN)

El mercado andino representa un reto que compromete seriamente al sector industrial en particular y a la economía de cada país en general.

En el caso específico del superfosfato triple, el Perú podría abastecer parcialmente los requerimientos de los demás países de la Subregión Andina. Actualmente, sólo Venezuela y Colombia cuentan con producción local de superfosfato triple. Sin embargo, estos países no satisfacen íntegramente su mercado interno, y recurren a las importaciones, siendo Estados Unidos y Alemania Occidental los principales proveedores. Ver Cuadro 2.4.

Por lo expuesto anteriormente, el presente estudio considera un mercado potencial en los demás países de la Subregión Andina.

CUADRO 2.4
IMPORTACION DE SUPERFOSFATOS DE CALCIO EN LA
SUBREGION ANDINA (TM)

PAIS	1984	1985	1986	1987	1988	1989
BOLIVIA	3,000	2,268	733	229	843	3
COLOMBIA	8,815	6,595	6,114	6,010	10,344	6,369
ECUADOR	200	2,670	2,741	5,989	211	5,008
PERU	13,397	15,732	38,040	52,211	35,122	28,001
VENEZUELA	6,000	10,172	36,927	15,828	15,376	30,280
TOTAL	31,412	37,437	84,555	80,267	61,896	69,661

FUENTE: Junta del Acuerdo de Cartagena.
Unidad de Informática.

2.1.5 METODOLOGIA

Los datos estadísticos de importación y exportación han sido obtenidos de la Unidad de Informática de la Junta del Acuerdo de Cartagena y de otras fuentes de consulta, tales como publicaciones del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) y del Comité Químico de la Sociedad Nacional de Industrias (SNI).

Las estadísticas encontradas para los países de la Subregión Andina consideran la Partida Arancelaria 31.03.03.00 (Código NABANDINA) la cual especifica a los superfosfatos en forma agregada: Superfosfatos de Calcio Simples, Dobles y Triples.

En el presente estudio se ha tomado el 75% del total de la Partida Arancelaria, en base al comportamiento del consumo histórico del superfosfato triple y del superfosfato simple en el Perú, considerando además similar comportamiento para el resto de países de la Subregión Andina.

No se presenta datos de producción de superfosfato triple de Colombia y Venezuela, debido a que las fuentes de información no disponen de esta información específica. Se asume por lo tanto, que la oferta de dichos países se mantendrá de manera similar a los

últimos años debido a que actualmente no tienen proyectos de instalación de nuevas unidades de producción ni de ampliación de las plantas existentes de superfosfato triple.

Para el ajuste de curvas de los datos estadísticos se ha utilizado el Método de Mínimos Cuadrados, función lineal, por ser la que más se ajusta a ellos.

2.2 ANALISIS DE LA OFERTA Y DEMANDA EN EL PERU

2.2.1 OFERTA

La producción nacional de fertilizantes fosfatados abarca la fabricación de superfosfato simple, reemplazado en la actualidad por el Superfos 24, que es una variedad de aquél.

Adicionalmente, se extrae guano de aves marinas de las islas, rico en nitrógeno y fósforo; y roca fosfórica de Bayóvar, la que además de servir como materia prima para la fabricación de Superfos 24, se usa directamente como abono sin mayor elaboración en el producto llamado Bayomix de la ENCI. Este es un fertilizante compuesto de la fórmula 11-22-11, preparado mediante la mezcla mecánica de nitrato de amonio (actualmente reemplazado por la urea), cloruro de potasio, fosfato biamónico y roca fosfórica de Bayóvar.

Asimismo, se mezclan productos nacionales e importados para entregar al mercado fertilizantes compuestos de las fórmulas 12-12-12 y 7-14-7. Estos se preparan en base a cloruro de potasio, Superfos 24, fosfato biamónico y urea.

INDUS S.A. es el productor de Superfos 24 y formulador de fertilizantes compuestos que contienen fosfato biamónico; en tanto que la empresa Minera Grau Bayóvar (perteneciente a la Región Grau) produce roca fosfórica concentrada desde 1992 (anteriormente lo hacía la Empresa Minera del Perú - Minero Perú). Y finalmente, la Empresa Pública productora de harina y aceite de pescado (PESCAPERU) extrae el guano de islas.

Aunque la ENCI no es una empresa productora propiamente dicha, tiene en Pisco una instalación para el mezclado de fertilizantes con una capacidad de hasta 500 toneladas mensuales de Bayomix. Con respecto al superfosfato triple, como se ha visto, no existe empresa alguna que se dedique a su producción, por lo tanto la oferta existente se basa íntegramente en las importaciones.

En el Cuadro 2.5 se detalla la oferta nacional actual de fertilizantes fosfatados.

CUADRO 2.5
OFERTA DE FERTILIZANTES FOSFATADOS

RAZON SOCIAL	PRODUCTO	CAPACIDAD INSTALADA (TM/AÑO)
INDUS S.A.	Superfosfato simple	18,000
	Superfosfato 24 *	15,000
	Fertilizantes compuestos	60,000
CEFOISA	Fosforita concentrada	90,000
PESCAPERU	Guano rico y guano pobre	30,000

* INDUS S.A. produce alternativamente Superfosfato Simple o Superfosfato 24.

FUENTE : Programa de Reestructuración Industrial 1990-2000: Subsector Fertilizantes.

2.2.2 DEMANDA

a. Demanda Potencial

Para establecer la demanda potencial de superfosfato triple, se considera la superficie sembrada de los principales cultivos por campaña agrícola en los últimos años. Además, sabiendo que el requerimiento de fertilizantes está determinado por las tierras agrícolas del país en Costa, Sierra y Selva, es necesario determinar el requerimiento de superfosfato triple por hectárea y por región natural.

Los suelos de la Costa y Sierra, en promedio, son de contenido medio a deficiente en fósforo. De las tres regiones, la Selva es

la que tiene suelos bastante deficientes en fósforo, porque se encuentran sometidos a un constante lavado por acción de las lluvias y ríos.

Las cantidades promedio de fósforo a aplicarse por hectárea cultivada, según la región natural y el tipo de cultivo que recomienda el Ministerio de Agricultura se detalla en el Cuadro 2.6.

CUADRO 2.6

**REQUERIMIENTO DE SUPERFOSFATO TRIPLE POR
REGION NATURAL**

REGION NATURAL	KG P ₂ O ₅ /Ha.	PROMEDIO (KG. P ₂ O ₅ /Ha)	PROMEDIO (KG. SFT/Ha)
COSTA	60 - 160	110	239
SIERRA	35 - 70	53	115
SELVA	50 - 120	85	185

FUENTE: Empresa Nacional de Comercialización de Insumos.
Ministerio de Agricultura.

De este cuadro se obtiene como promedio 83 Kg. de P₂O₅/Ha. para el país, que corresponde a 180 Kg. de superfosfato triple por hectárea cultivada.

En la última década se ha tratado de incrementar la superficie sembrada por medio de

campañas agrícolas, las cuales se seguirán promocionando en los próximos años.

En el Cuadro 2.7 se muestra la demanda potencial del superfosfato triple estimada por medio de la superficie sembrada por campaña agrícola y por el requerimiento promedio por hectárea cultivada.

CUADRO 2.7

DEMANDA POTENCIAL DE SUPERFOSFATO TRIPLE

AÑO	SUPERFICIE SEMBRADA (Ha.)	DEMANDA POTENCIAL (TM)
1985	1'346,565	242,382
1986	1'430,366	257,466
1987	1'560,002	280,800
1988	1'593,736	286,872
1989	1'600,163	288,029
1990	1'415,935	254,868
1991	1'315,602	236,808

FUENTE: Compendio Estadístico 1990-91.

Demanda Histórica

En este estudio se considera para el mercado interno, la sustitución de las importaciones por la producción nacional de superfosfato triple granulado, cuya demanda ha

ido en aumento en los últimos años. Durante 1986 a 1988 se dió un fuerte incremento de la demanda debido al alto nivel de subsidios al precio de venta de los fertilizantes durante ese período, lo cual se puede apreciar en el Cuadro 2.8.

CUADRO 2.8
DEMANDA HISTORICA DE SUPERFOSFATO TRIPLE

AÑO	SUPERFOSFATO TRIPLE (TM)
1981	15,569
1982	10,622
1983	10,314
1984	13,011
1985	13,225
1986	33,340
1987	47,530
1988	35,473
1989	17,641
1990	13,147

FUENTE: Compendio Estadístico 1990-91.

c. Proyección de la Demanda

La proyección en función al tiempo, de la demanda potencial del superfosfato triple es incluida en el estudio para estimar el nivel de

cobertura de la demanda histórica con respecto a la demanda potencial.

Para proyectar la demanda histórica no se incluirá el trienio 1986-1988, debido a ser años atípicos por el elevado nivel de subsidios al precio de venta de los fertilizantes que existió en ese período. Como indicador macroeconómico se utilizó el Producto Bruto Interno Agrícola (valores a precios constantes de 1986) por presentar un mayor ajuste de la curva con respecto a otros indicadores, como el Valor de Producción Agrícola y el Volumen de Producción Agrícola.

Se realiza el análisis a partir de 1996, año en que se considera estaría ya en funcionamiento la planta de superfosfato triple en el Perú, durante un período de operación de 15 años.

En el Cuadro 2.9 se presenta la demanda potencial proyectada, la demanda histórica proyectada y el nivel de cobertura de la demanda histórica con respecto a la demanda potencial.

Los cálculos realizados se explican en el Anexo V.

CUADRO 2.9

PROYECCION DE LAS DEMANDAS POTENCIAL E HISTORICA

AÑO	DEMANDA POTENCIAL (TM)	DEMANDA HISTORICA (TM)	COBERTURA (%)
1996	391,810	21,234	5.42
1997	403,880	21,917	5.43
1998	415,950	22,599	5.43
1999	428,020	23,281	5.44
2000	440,090	23,963	5.45
2001	452,160	24,646	5.45
2002	464,230	25,328	5.46
2003	476,300	26,009	5.46
2004	488,370	26,692	5.47
2005	500,440	27,374	5.47
2006	512,510	28,057	5.47
2007	524,580	28,738	5.48
2008	536,650	29,421	5.48
2009	548,720	30,103	5.49
2010	560,790	30,784	5.49

Se observa en el cuadro anterior, que el nivel de cobertura de la demanda histórica con respecto a la demanda potencial es apenas de un 5% aproximadamente. Es decir, el uso de superfosfato triple por los agricultores deberá ser mayor en los próximos años, para que se

cubra un mayor porcentaje de la demanda potencial. Esto sólo se logrará incentivando la tecnificación de la agricultura, y dando un mayor apoyo técnico-económico al agricultor, para aumentar la productividad agrícola. Además, es necesario que los agricultores, con adecuada instrucción y suficientes recursos, se decidan a cambiar sus métodos tradicionales por mejores métodos técnicos.

2.3 ANALISIS DE LA OFERTA Y DEMANDA EN LA SUBREGION ANDINA

2.3.1 OFERTA

Dentro de la Subregión Andina, la oferta existente la conforman las ofertas de las industrias venezolana y colombiana. (10, 11).

Bolivia no tiene producción nacional de superfosfato triple ni superfosfato simple; actualmente no existe proyecto alguno para producirlos. Por lo tanto, de concretarse la producción de superfosfato triple en el Perú, se tendría en Bolivia un mercado potencial que abastecer.

Colombia si cuenta con producción nacional de superfosfato triple y superfosfato simple. En el Cuadro 2.10 se menciona las empresas colombianas, productoras de fertilizantes fosfatados.

CUADRO 2.10

COLOMBIA: OFERTA DE FERTILIZANTES FOSFATADOS

RAZON SOCIAL	PRODUCTO
ABONOS COLOMBIANOS S.A., ABOCOL	Abonos Compuestos N-P-K
COMPANIA QUIMICA INDUSTRIAL, QUIN S.A.	Superfosfato Simple y Triple
FERTILIZANTES COLOMBIANOS S.A., FERTICOL	Superfosfatos de Calcio
MONOMEROS COLOMBO-VENEZOLANOS S.A.	Abonos Compuestos N-P-K
PRODUCTORA ANDINA DE ACIDOS DERIVADOS S.A. PAAD	Superfosfatos de Calcio

FUENTE: La Industria Química en el Area Andina 1990.

En Ecuador, la empresa Fertilizantes Ecuatorianos S.A. FERTISA produce superfosfato simple y abonos compuestos N-P-K para el consumo interno. No existe producción local de superfosfato triple, estando cubierta su demanda íntegramente por importaciones.

En la actualidad, no se proyecta la producción propia de superfosfato triple, representando por ello un mercado potencial

para el Perú.

Venezuela abastece gran parte de su demanda interna con producción propia de superfosfato triple y superfosfato simple, al contar su industria con la Compañía Petroquímica de Venezuela PEQUIVEN, la cual produce superfosfato simple, superfosfato triple, roca fosfórica, abonos compuestos N-P-K y ácido fosfórico.

2.3.2 DEMANDA

a) Demanda Histórica

La demanda de la Subregión Andina está cubierta principalmente por las importaciones, pues a pesar de que Colombia y Venezuela cuentan con producción nacional de superfosfato triple no satisfacen totalmente su mercado interno.

Dentro de los países de la Subregión Andina, Bolivia es el país con menor importación de superfosfato triple, a pesar de no contar con producción local. Según la FAO, Bolivia es un país que utiliza menos de 10 Kg. de nutriente por hectárea de tierra cultivable. (12). Esta situación se refleja en su menor producción agropecuaria con respecto a los demás países andinos. (13)

Colombia importa superfosfato triple para

cubrir sus faltantes. Este país dentro de la Subregión Andina es el único que utiliza más de 50 Kg. de nutriente por hectárea cultivable. Según las estadísticas de los últimos años, la industria nacional no satisface su demanda interna.

Ecuador, de manera similar al Perú, produce superfosfato simple e importa superfosfato triple. Su consumo de nutriente es de 10 a 50 Kg. por hectárea cultivable, es decir existe un mercado ya definido que el Perú podría satisfacer con su producción de superfosfato triple.

Venezuela es el país con mayor importación de superfosfato triple además de contar con producción local, sin embargo es un país que utiliza de 10 a 50 Kg. de nutriente por hectárea cultivable, cantidad que está muy por debajo del consumo promedio de nutriente por hectárea en los países desarrollados.

En el Cuadro 2.11 se muestra las importaciones de superfosfato triple en la Subregión Andina.

CUADRO 2.11

IMPORTACION DE SUPERFOSFATO TRIPLE DE LA
SUBREGION ANDINA

PAIS	1984	1985	1986	1987	1988	1989
BOLIVIA	2,250	1,701	550	172	632	3
COLOMBIA	6,611	4,946	4,586	4,508	7,758	4,777
ECUADOR	150	2,003	2,056	4,492	158	3,756
VENEZUELA	4,500	7,629	27,695	11,871	11,532	22,710
TOTAL	13,511	16,279	34,887	21,043	20,080	31,246

FUENTE: Junta del Acuerdo de Cartagena.
Unidad de Informática.

b) Proyección de la Demanda Histórica de la
Subregión Andina

La proyección de la demanda subregional se realiza en función del tiempo, variable que representa en forma bastante satisfactoria los datos estadísticos. Ver Cuadro 2.12.

Los cálculos se explican en el Anexo V.

CUADRO 2.12

PROYECCION DE LA DEMANDA SUBREGIONAL ANDINA

AÑO	DEMANDA SUBREGIONAL PROYECTADA (TM)
1996	23,972
1997	25,436
1998	26,899
1999	28,362
2000	29,826
2001	31,289
2002	32,752
2003	34,216
2004	35,679
2005	37,143
2006	38,606
2007	40,069
2008	41,533
2009	42,996
2010	44,460

2.4.1 Análisis.

Los precios de los fertilizantes han sido afectados por diferentes eventos mundiales desde 1973, los cuales han causado una gran fluctuación en el mercado internacional.

La mayoría de los países en desarrollo han

instituído políticas de subsidio para proteger al agricultor de las variaciones del mercado, sin embargo son difíciles de mantener por la falta de recursos financieros.

Adicionalmente, las fluctuaciones de los precios de las materias primas influyen también en el precio del producto final. Los países que producen fertilizantes localmente y cuentan con materia prima propia (Brasil tiene reservas de roca fosfórica), los cotizan a menor precio en comparación con aquellos países que importan la materia prima o el fertilizante como producto final.

El Perú, como país importador de superfosfato triple, ha tenido que adecuarse a las fluctuaciones del mercado internacional, tomando como medida de protección al agricultor una política de subsidios al precio de los fertilizantes durante los años 1985 a 1990. De esta manera, los fertilizantes llegaban a los agricultores al mismo precio en cualquier punto del país.

En el Cuadro 2.13 se muestran los precios CIF del superfosfato triple durante los últimos años.

CUADRO 2.13

PRECIO CIF DEL SUPERFOSFATO TRIPLE

AÑO	PRECIO CIF (U.S. \$/TM)
1983	149.91
1984	161.24
1985	138.92
1986	138.98
1987	143.80
1988	202.58
1989	194.28
1990	138.00
1991	182.50

Fuente: Programa de Reestructuración Industrial 1990-2000: Subsector Fertilizantes. Ministerio de Industria, Comercio, Turismo e Integración.

2.4.2 Proyección

Para proyectar el precio del superfosfato triple, se ha considerado el período 1983-1991. A pesar de las fluctuaciones del mercado, se observa una tasa de crecimiento media anual del 5%. De acuerdo a esta estimación, el superfosfato triple se cotizaría al inicio del proyecto y en los años posteriores, de la siguiente manera :

CUADRO 2.14

PROYECCION DEL PRECIO DEL SUPERFOSFATO TRIPLE

AÑO	PRECIO (U.S. \$/TM)
1996	247.45
1997	259.82
1998	272.81
1999	286.45
2000	300.77
2001	315.81
2002	331.60
2003	348.18
2004	365.59
2005	383.97
2006	403.06
2007	423.21
2008	444.37
2009	466.59
2010	489.92

2.5 COMERCIALIZACION

La comercialización de fertilizantes ha sufrido en los últimos decenios numerosos cambios, desde sistemas de control total por el Estado a sistemas de libre contratación. Estuvo sujeta a un régimen de fuerte subsidio, con intención de disminuir los costos de la agricultura, de modo que los productos alimenticios puedan llegar a la población a menores

precios. La Empresa Nacional de Comercialización de Insumos era la única que comercializaba los fertilizantes de las fábricas de propiedad del Estado y estaba encargada de la importación del déficit no cubierto. Esta entidad unificaba los precios y efectuaba la compensación de fletes internos, de modo que los precios resultaban uniformes en todo el territorio del país.

La opción de comercialización propuesta en el presente proyecto es vender directamente a los agricultores o a empresas privadas de distribución, como es el caso de la úrea de PETROPERU y el guano de islas de PESCAPERU (dispuesto por el Gobierno en 1989).

2.5.1 CANALES DE DISTRIBUCION

La comercialización es un factor clave dentro del proceso productivo. El éxito esta en función de las condiciones de compra-venta que se obtengan en las negociaciones, y éstas a su vez dependen de la información que se posea.

Se ha determinado que las posibilidades de venta son las siguientes:

Venta a los principales distribuidores de cada país

Este canal de venta se utilizará básicamente al inicio de las operaciones, hasta lograr una

aceptación del producto en el mercado. Para ello es indispensable la información de las relaciones y solvencia de las compañías distribuidoras privadas. Cuando estas ventas son realizadas por el Estado se requiere un mayor tiempo para las coordinaciones respectivas, que estén de acuerdo con las políticas gubernamentales del país en referencia.

Venta Directa a los usuarios de cada país

Para llegar a esta etapa de comercialización, se requiere que la organización se desarrolle. Se realizará estimados precisos sobre la demanda local, para que el centro de consumo pueda recibir el suministro con anticipación a los requerimientos estacionales. Además, se realizará una labor que demuestre la eficiencia de la empresa, cumpliendo con el programa de ventas, el control de calidad y el cumplimiento oportuno de los trámites que involucran las ventas.

2.5.2 PRESENTACION DEL PRODUCTO

Para satisfacer los requerimientos de venta tanto a nivel nacional como regional, la planta propuesta ofrecerá el superfosfato triple granulado a granel o en bolsas de polietileno de 50 Kg.

2.5.3 PROMOCION DEL PRODUCTO

Se promoverá programas de venta y entrega a nivel nacional, a fin de maximizar el empleo de los fertilizantes dentro del país. Igualmente, se coordinará las acciones necesarias que permitan introducir, mantener o incrementar las ventas en los países de la Subregión Andina. Se deberá incursionar en el mercado, demostrando en forma práctica la calidad y eficiencia del fertilizante en diferentes cultivos.

CAPITULO III

LOCALIZACION Y TAMANO DE PLANTA

3.1 LOCALIZACION DE PLANTA

El factor mas importante que determina la localización de planta más adecuada, es el costo mínimo del fertilizante para el agricultor, puesto en su predio. No obstante, se debe considerar también disponibilidad de terrenos, de agua y electricidad en cantidad suficiente, y la posibilidad de descartar los efluentes sin causar problemas de contaminación.

Estudios realizados por la Dirección de Ingeniería de Minero-Perú para la localización de un complejo de producción de fertilizantes fosfatados, señalan a Bayóvar como la ubicación más ventajosa, teniendo en cuenta fundamentalmente el transporte masivo de los insumos necesarios y la facilidad para la disposición de los relaves.

La ventaja relativa de la ubicación de la planta de superfosfato triple granulado en Bayóvar es evidente, considerando los siguientes aspectos:

3.1.1 DISPONIBILIDAD DE MATERIA PRIMA

En lo que se refiere al abastecimiento de materia prima las principales ventajas de

Bayóvar son: la disponibilidad de roca fosfórica, la posibilidad de que se construya un Complejo Industrial en Bayóvar y la existencia de salmuera potásica en la región, que permitirá la fabricación de fertilizantes compuestos en todas sus formas.

La principal desventaja es la falta de ácido fosfórico, la cual será subsanada importándolo de Estados Unidos.

a. Roca Fosfórica

El depósito de fosfatos de Bayóvar, comprende dos áreas denominadas Area Nº 1 y Area Nº 2.

El Area Nº 1 se localiza a 18 Km. al Sureste de Bayóvar y al Este del Cerro Illescas, ocupando una extensión aproximada de 18 Km².

El Area Nº 2 se localiza a 30 Km. al Sureste de Bayóvar y del Cerro Illescas, ocupando una zona de gran depresión, con una extensión aproximada de 84 Km².

Los fosfatos se presentan formando delgadas capas de concentraciones bajas de P₂O₅, de origen marino y originadas por procesos bioquímicos; forman parte de las unidades estratigráficas del Miembro Superior de la Formación Zapayal. (14)

Estos depósitos constituyen la materia prima básica para la producción de fertilizantes (en forma de concentrados de roca fosfórica) y de ácido fosfórico, cuyas reservas estimadas, según información proporcionada por MINERO PERU, son de 372 millones de toneladas de roca con 30.5% de P_2O_5 , que forman parte de una reserva potencial de más de mil millones de toneladas.

Actualmente, la empresa Minera Grau - Bayóvar, bajo la jurisdicción de la Región Grau, concentra la roca fosfórica para aumentar su contenido de P_2O_5 a 30.5%, contando para ello con una capacidad instalada de 90,000 TM/año.

En el Cuadro 3.1 , se muestra la producción de roca fosfórica concentrada, según datos proporcionados por la Gerencia Comercial de MINERO PERU.

CUADRO 3.1

PRODUCCION DE ROCA FOSFORICA CONCENTRADA

AÑO	PRODUCCION (TM)
1985	12,161
1986	5,167
1987	59,836
1988	13,465
1989	14,804
1990	47,332
1991	18,239

Gerencia Comercial.

Del Cuadro anterior, se observa que no se utiliza el 100% de la capacidad instalada de la planta, por lo tanto la Planta Concentradora de Roca Fosfórica podrá satisfacer íntegramente los requerimientos de la planta de superfosfato triple granulado.

b. Acido Fosfórico

El ácido fosfórico requerido para la fabricación de superfosfato triple es de grado fertilizante, el cual se produce por el método húmedo, que consiste en el ataque de la roca fosfórica con suficiente ácido sulfúrico para convertirla en ácido fosfórico y sulfato de

calcio, que se separa por filtración. Actualmente, en el país no se produce ácido fosfórico, sin embargo existen proyectos realizados por MINERO PERU para su fabricación, como parte de un gran complejo industrial para la producción de fertilizantes fosfatados.

Como se mencionó anteriormente, se utilizará ácido fosfórico importado de Estados Unidos, debido a que el precio por tonelada es menor en comparación a los de otros países proveedores. Ver Cuadro 3.2.

CUADRO 3.2

PRECIO DEL ACIDO FOSFORICO IMPORTADO (US \$/TM)

Año	REINO UNIDO	BELGICA-LUX.	ALEMANIA	EE.UU.
1985	303.4	314.0	332.7	---
1986	303.3	360.0	327.4	306.2
1987	341.9	353.0	333.8	304.8
1988	340.0	375.0	433.4	307.7
1989	500.0	---	417.6	341.5
1990	486.5	412.0	451.8	343.0
1991	529.65	429.7	479.3	354.0

FUENTE: Junta del Acuerdo de Cartagena.
Unidad de Informática.

En la Subregión Andina, Colombia, Ecuador y Venezuela producen ácido fosfórico grado fertilizante, contando para ello con capacidades instaladas de 21,000 TM/año, 13,000 TM/año y 120,000 TM/año respectivamente (15). Sin embargo, el nivel de producción de estos países no satisface totalmente su demanda interna, por lo que aún recurren a las importaciones.

Petroquímica de Venezuela PEQUIVEN, tiene un proyecto para la instalación de una planta que producirá 150,000 TM/año de ácido fosfórico, a partir de 1994. De concretarse este proyecto, Venezuela podría abastecer de ácido fosfórico la planta de superfosfato triple propuesta.

Por lo anteriormente expuesto, será necesario importar ácido fosfórico hasta que se concreten los proyectos para su producción en el Perú.

3.1.2 DISPONIBILIDAD DE SERVICIOS INDUSTRIALES

La zona de Bayóvar actualmente no cuenta con infraestructura adecuada para el abastecimiento de servicios industriales en la planta propuesta, sin embargo existen proyectos para la instalación y mejora de estos servicios en la región.

a. Suministro de Agua

El suministro de agua se obtendrá del reservorio del Proyecto Especial de Agua Potable de Piura - Región Grau, el cual se abastece del Acuífero Illescas, ubicado en el flanco oriental de los Cerros Illescas, a unos 12 Km al Sur de Punta Tric Trac y a 35 Km. al Norte de la Planta Concentradora.

b. Suministro de Energía Eléctrica y Combustible

En lo que respecta a este requerimiento, en Bayóvar no existen plantas generadoras de energía eléctrica para satisfacer la demanda del proyecto. Se ha previsto la utilización de grupos electrógenos en un primer momento, hasta que la región desarrolle la planta de fuerza que tiene proyectada para el abastecimiento de energía eléctrica. El combustible sera suministrado por la Refinería de Talara, desde donde será transportado por vía marítima hasta el proyectado puerto en Bayóvar.

3.1.3 DISPONIBILIDAD DE MANO DE OBRA

La planta de fertilizante podrá satisfacer la necesidad de mano de obra calificada y semi-calificada, considerando las cercanías de Piura, Chiclayo y Trujillo, que cuentan con

Universidades y Escuelas Superiores Técnicas.

3.1.4 DISTANCIA A LOS CENTROS DE CONSUMO

En lo que respecta al mercado nacional, la Costa Central y la Sierra Central es el área de consumo más intenso de fertilizantes fosfatados (16), por lo tanto se podrá llegar al mercado sin mayores costos de transporte.

Cuando Bayóvar cuente con un puerto propio, las operaciones de comercialización con el exterior serán facilitadas, evitándose así el uso del Puerto de Paita, distante a 160 Km. de Bayóvar.

3.1.5 MEDIOS DE TRANSPORTE

Con respecto al transporte de los productos, las características geográficas y topográficas de la zona son óptimas para un rápido y fácil acceso tanto por vía terrestre, aérea o marítima. Actualmente existe una carretera que cubre 120 Km. entre Piura y Bayóvar, facilitándose de esta manera el acceso por vía terrestre.

Por otro lado, en la zona norte del país se encuentran los Puertos de Paita y Talara, calificados por la Empresa Nacional de Puertos del Perú (ENAFU-PERU) como puertos mayores de

atraque directo para barcos de gran calado. El Puerto de Talara funciona como puerto especializado para la actividad petrolera, y el Puerto de Paita es utilizado para operaciones de comercio exterior (importación y exportación).

En la zona de Bayóvar se tiene proyectada la construcción de un puerto con dos muelles de atraque que se utilizarán para el embarque y desembarque de materias primas y productos. De esta manera se reducirán los costos de transporte en el mercado interno y se facilitarán las operaciones de comercio exterior.

3.1.6 AREA Y DISPONIBILIDAD DE TERRENO

Bayóvar está situado a 240 Km. al Sureste de la ciudad de Talara, la parte norte del área se encuentra frente a la Bahía de Sechura. En esta extensa zona sólo se encuentran las instalaciones de la Planta Concentradora de Roca Fosfórica.

Existe una gran disponibilidad de terreno para la instalación de la planta de superfosfato triple, la cual en el futuro podría formar parte de un gran complejo industrial.

3.1.7 CONDICIONES CLIMATICAS Y AMBIENTALES

El clima en Bayóvar, es el típico de las zonas desérticas peruanas y puede ser clasificado como seco, semi-cálido, deficiente de lluvias y sin cambio térmico invernal bien definido.

La Costa Norte tiene en conjunto, como características generales: alta humedad atmosférica, con una media de 60 a 75% de humedad relativa, y precipitaciones escasas e irregularmente distribuidas en el espacio y con grandes variaciones. La temperatura ambiental oscila entre los 20 y 28° C., con una media de 24° C. El período lluvioso tiene una duración de sólo cuatro meses, de Enero a Abril, siendo el resto del año prácticamente seco. (17)

En cuanto al clima, el principal problema que se afrontará en Bayóvar es la corrosión debida a la brisa del mar. La zona en general, se encuentra expuesta a los continuos efectos de los vientos, como terrales, virazones y torbellinos debido al calentamiento irregular del suelo, lo que limitaría de alguna manera las instalaciones industriales.

3.1.8 POLITICA DE DESARROLLO

Con la finalidad de incentivar el desarrollo industrial fuera de Lima, el Estado

promueve la instalación y funcionamiento de Complejos Industriales, especialmente en las zonas descentralizadas de frontera y de Selva (Nueva Ley General de Industrias, Ley Nº 23407 del 13.05.89).

La planta de superfosfato triple en Bayóvar constituirá una industria que promovera la industrialización de los recursos naturales del país, la descentralización de la actividad industrial y la exportación de productos industriales nacionales. Además, por ser una empresa industrial descentralizada gozará de incentivos tributarios y de protección arancelaria de los insumos o materias primas nacionales que utilice en el proceso de producción. En la Figura 3.1 se muestra un Arreglo General de Localización propuesta por la Dirección de Ingeniería de Minero Perú.

3.2 TAMAÑO DE PLANTA

En la determinación del tamaño de planta se toma en cuenta principalmente la relación tamaño-mercado, cuyo análisis se centra en la demanda y su distribución geográfica, y la relación tamaño-recursos productivos, que determina la disponibilidad de materia prima nacional, suficiente para satisfacer los requerimientos del tamaño de planta seleccionado.

3.2.1 TAMAÑO - MERCADO

Del estudio de mercado realizado, se obtiene una demanda de superfosfato triple en la Subregión Andina, para 1996, de 48,000 TM/año hasta llegar a 76,000 TM/año para el año 2010.

El Grupo Andino, como medio de integración subregional, tiene aún poco peso en los planes de desarrollo y en la política económica nacionales; las principales empresas y actividades productivas aun no han sido consideradas o incorporadas en los programas y proyectos conjuntos.

El Gobierno Peruano ha decidido confirmar su incorporación o retiro definitivo del Grupo Andino el 31 Diciembre de 1993, no obstante esta decisión no impide la realización de acuerdos bilaterales con otro país miembro de la Subregión.

Tomando en cuenta lo anterior, se considera que el tamaño de planta adecuado, es aquél que cubre íntegramente el mercado nacional y el 50% de las importaciones del resto de países de la Subregión.

La producción de superfosfato triple se iniciaría en 1996, con un volumen de 48,000 TM/año que corresponde al 60% de su capacidad máxima (79,200 TM/año), llegando a utilizar el 95% de la capacidad instalada el año 2010.

3.2.2 TAMAÑO - TECNOLOGIA

Todo proceso tecnológico impone un tamaño mínimo a partir del cual es económicamente conveniente. El tamaño de planta determinado (240 TM/día) es factible técnicamente a escala industrial: En Venezuela, en 1972 ya se producía superfosfato triple granulado en una planta con capacidad instalada de 50,000 TM/año (151 TM/día) (18). De esta manera, se garantiza un proceso cuyo costo de producción e inversión son económicamente rentables.

3.2.3 TAMAÑO - RECURSOS PRODUCTIVOS

Para la producción de superfosfato triple se utilizará ácido fosfórico importado de Estados Unidos, debido a que su precio es más conveniente al proyecto.

Los requerimientos de roca fosfórica para el tamaño de planta determinado, se cubrirán totalmente con parte de la producción de la Planta Concentradora, la cual actualmente no utiliza el 100% de su capacidad.

El estudio propone la localización de la planta en Bayóvar, por la cercanía a la fuente de materia prima y a la accesibilidad al mercado (la Costa Central y la Sierra Central es el área de consumo más intensa de fertilizantes fosfatados). Es decir, la disponibilidad de materia prima no limitará el tamaño de planta seleccionado.

Las necesidades de servicios industriales como combustible, agua y energía eléctrica varían proporcionalmente al tamaño de planta, por lo que no afectan mayormente el cálculo de la capacidad más apropiada.

3.2.4 CONCLUSION

En base al análisis realizado anteriormente, se determina un tamaño de planta para la producción de superfosfato triple granulado de 79,200 Tn/año. La planta iniciaría sus operaciones en 1996 utilizando el 60% de su capacidad, su período de operación será de 15 años, al cabo de los cuales utilizará el 95% de su capacidad instalada.

En el Cuadro 3.3 se detalla la producción anual de la planta propuesta.

CUADRO 3.3

PRODUCCION ANUAL DE SUPERFOSFATO TRIPLE

AÑO	PRODUCCION (TM)
1996	48,000
1997	48,000
1998	50,000
1999	50,000
2000	55,000
2001	55,000
2002	59,000
2003	59,000
2004	64,000
2005	64,000
2006	68,000
2007	68,000
2008	72,000
2009	72,000
2010	76,000

CAPITULO IV

INGENIERIA DEL PROYECTO

4.1 MATERIAS PRIMAS

Para la producción de superfosfato triple granulado, se requiere roca fosfórica concentrada finamente molida y ácido fosfórico grado fertilizante.

4.1.1 ROCA FOSFORICA

La roca fosfórica a utilizar en la fabricación del superfosfato triple sera adquirida íntegramente de la Planta Concentradora de Bayóvar, la cual presenta las siguientes características :

a. Características Químicas

La roca fosfórica extraída de los depósitos fosfatados pertenecientes al Area N^o 1, es sometida a un proceso de enriquecimiento de P_2O_5 , mediante restregados y deslamados. La descripción del proceso de tratamiento del mineral se detalla en el Anexo III.

Después de ser tratada la roca fosfórica, el concentrado presenta las siguientes características químicas:

CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LA ROCA FOSFORICA
CONCENTRADA

COMPOSICION	% EN PESO
P ₂ O ₅ (mínimo)	30.5
Humedad (máxima)	1.5
Cl ₂ (máximo)	0.06
K ₂ O	0.10
Ca●	46.95
SiO ₂	2.55
SO ₃	4.31
Al ₂ O ₃	0.82
Fe ₂ O ₃	0.66
F	2.11
CO ₂	3.94
Na ₂ O	1.27
MgO	0.64
PERDIDAS	
Pérdidas por ignición a 850° C.	9.31
Materia orgánica y materia combinada	3.20
SOLUBILIDAD	
P ₂ O ₅ soluble en el agua	0.55
P ₂ O ₅ soluble en ácido cítrico al 2%	17.30
P ₂ O ₅ soluble en una solución neutra de citrato de amonio	9.65
P ₂ O ₅ soluble en el ácido fórmico, Técnica de Wagner	22.59

b. Características Físicas:

Las características físicas y la granulometría de la roca fosfórica concentrada, proporcionadas por la Gerencia Comercial de MINERO PERU, se presentan en los Cuadros 4.1 y 4.2 respectivamente.

CUADRO 4.1

CARACTERISTICAS FISICAS DE LA ROCA FOSFORICA
CONCENTRADA

CARACTERISTICA	ESPECIFICACION
Aspecto	Roca arenosa de color beige.
Densidad aparente	1.51 gr/cc.
Densidad real	2.65 gr/cc.

CUADRO 4.2

GRANULOMETRIA DE LA ROCA FOSFORICA CONCENTRADA

MALLA TYLER	% ACUMULATIVO
+ 20	0.60
+ 28	0.15
+ 35	1.81
+ 48	9.69
+ 65	48.94
+ 100	86.34
+ 150	95.64
+ 200	98.82
- 200	1.18

Como se observa en los cuadros anteriores la roca fosfórica concentrada de Bayóvar presenta las siguientes ventajas:

1. Es comercialmente adecuada, por tener un alto contenido de P_2O_5 (30.5%).
2. Tiene bajo contenido de Al_2O_3 y Fe_2O_3 , lo que ayuda al manejo del proceso y a cambiar la condición física del producto. Estos compuestos cuando exceden el 4% son indeseables, porque hacen más viscoso al superfosfato triple.
3. Tiene bajo contenido de flúor, lo que la

hace más soluble y atacable por el ácido. La presencia de flúor en la roca fosfórica es responsable de su mayor resistencia al ataque ácido.

4. Tiene bajo contenido de cloruros, lo cual es ideal para el proceso, por la no formación de ácido clorhídrico en exceso, el cual es altamente corrosivo.

La roca fosfórica concentrada de Bayóvar presenta varias cualidades, que la convierten en materia prima adecuada para el proceso de producción de superfosfato triple granulado. No obstante, debido a la granulometría que presenta (1.18%, - Malla 200), será necesario que pase por una operación de molienda antes de entrar al sistema de reacción.

4.1.2 Acido Fosfórico

Para la producción de superfosfato triple, no se requiere un ácido de gran pureza, por consiguiente, el ácido fosfórico utilizado mayormente es el que se fabrica por el "proceso húmedo". Además, algunas autoridades en la materia creen también que las impurezas encontradas en el proceso húmedo de ácido, como sales de hierro y aluminio, ayudan favorablemente la granulación.

La concentración del ácido fosfórico

utilizado, es determinada por el tipo de proceso y la clase de producto a obtener. La concentración del ácido teóricamente requerida para la conversión del fosfato tricálcico es de 87.9% de ácido fosfórico, pero en la práctica, el uso de ácido de esta fuerza promueve reacciones indeseables y da una producción reducida de fosfato monocálcico, aún después de una larga cura. Esto se debe a que algo de agua debe estar presente para dejar que la reacción llegue a su término en un tiempo razonable.

La concentración requerida se establece por el contenido de humedad deseado del producto acabado, que se relaciona al grado del producto, los grados de materia prima usada, la duración de la cura y las propiedades físicas del producto (19). En la obtención del superfosfato granulado, el ácido fosfórico utilizado es el que contiene de 38 a 39% de P_2O_5 (52 a 54% de ácido fosfórico).

Para el proceso propuesto en este estudio, se utilizará ácido fosfórico al 75% (54% de P_2O_5), el cual será diluido al 54% (39% de P_2O_5) antes de entrar al sistema de reacción. En el Cuadro 4.3 se muestra el análisis típico del ácido fosfórico al 75%. (20)

CUADRO 4.3
ANALISIS TIPICO DEL ACIDO FOSFORICO AL 75%

COMPOSICION	% EN PESO
P ₂ O ₅	54.0
CaO	0.2
SO ₄	1.9
F	0.7
SiO ₂	0.3
Fe ₂ O ₃	0.3
Al ₂ O ₃	0.1
Cl	---
MgO	0.4
Na ₂ O	---
K ₂ O	---
Sólidos Suspendidos	1.0
Agua	21.1

En el Anexo IV se explica brevemente dos procesos para la producción de ácido fosfórico, recomendados por la Empresa Nacional ADARO de España, en base a las características químicas y físicas de la roca fosfórica peruana. (22)

4.2 DESCRIPCION DE LOS PROCESOS DE PRODUCCION ALTERNATIVOS

Para la producción industrial del superfosfato triple existen varios procesos, los cuales utilizan como materia prima la roca fosfórica y el ácido fosfórico, en condiciones de operación diferentes. La fabricación de superfosfato triple mediante procesos por lotes no está difundida, por la dificultad que supone el endurecimiento de la masa en la acidulación.

A continuación se describe brevemente los procesos de producción más conocidos (22)

PROCESO GRANULAR DORR-OLIVER

En este proceso, se mezcla ácido fosfórico conteniendo un 38 a 39% de P_2O_5 con roca fosfórica, finamente pulverizada, en uno o más reactores agitados, manteniéndose la temperatura de reacción alrededor de $90^{\circ}C$ ($194^{\circ}F$). Bajo estas condiciones, se forma continuamente un lodo delgado, que se granula, seca y tamiza, listo para ser empacado y embarcado. En la Figura 4.1 se muestra un diagrama típico de este proceso.

Refiriéndose al diagrama, la roca fosfórica pulverizada es llevada a un recipiente de almacenamiento, desde donde es continuamente alimentada al proceso por medio de una banda pesadora. La alimentación del ácido fosfórico se controla para

obtener una proporción predeterminada de P_2O_5 a óxido de calcio en el producto.

La roca y el ácido son mezclados vigorosamente en un reactor con un agitador de turbina, enviándose el lodo a un reactor similar que permite continuar la reacción. El lodo del segundo reactor corre por gravedad a un granulador y a un secador rotatorio, siendo reciclado el producto seco al granulador, hasta que los granos del producto tengan el tamaño adecuado.

El producto sale del granulador conteniendo un 4 a 5% de humedad libre, cae por gravedad dentro de un secador rotatorio, que reduce el contenido de humedad a un 2 a 3% y acelera también la reacción de conversión. En el secador se emplea calor directo y los granos salen a una temperatura entre 90 y 100° C (194 y 212° F).

Los granos secos son llevados y elevados a tamizadores vibratorios. El material de menor tamaño pasa a un recipiente y vuelve al granulador, vía un transportador y elevador. El material más grande se acumula en otro recipiente y es triturado por un martillo pulverizador antes de volver con las partículas más pequeñas al granulador. Los granos dentro del tamaño requerido son enviados a un recipiente del producto, de donde es extraído y llevado al almacén para que se enfríe, antes de ser empacado y embarcado.

Los gases calientes del secador y del sistema recirculante se envían a ciclones separadores, para retirar la mayor parte de polvo, que es devuelto al granulador. Los gases son finalmente purificados en una unidad de burbujeo antes de salir a la atmósfera. Esto asegura la ausencia de polvo y emanaciones tanto dentro como fuera de la planta.

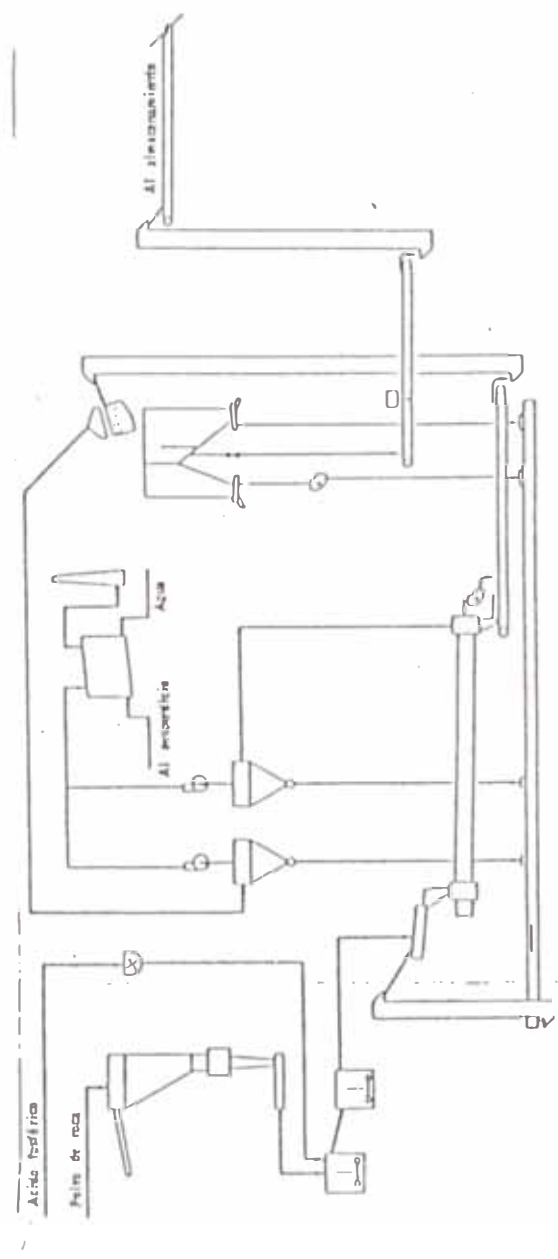


Figura 4.1 PROCESO GRANULAR DORR-OLIVER

EL PROCESO KUHLMAN

Este método de fabricación de superfosfato triple, que fué desarrollado por Kuhlman de Francia, incorpora varias características encontradas individualmente en otros procesos continuos.

La roca fosfórica pulverizada a 90% bajo malla 200, es alimentada por medio de una banda pesadora a un reactor de tanque agitado, y es mezclada violentamente con una corriente controlada de ácido fosfórico conteniendo de 45 a 50% de P_2O_5 . El reactor está diseñado para airear el lodo y fomentar la formación de un producto poroso. Cuando se ha logrado la consistencia deseada, el lodo es automáticamente descargado a un transportador de banda en el cual se solidifica. Después de unos minutos, el material llega al extremo de descarga de la banda, en el cual es despedazado por un desintegrador, y pasa a un secador rotativo. En el secador, el contenido de humedad es reducido del 17 al 7%, efectuándose también una cura adicional. Después de salir del secador, el producto es enviado a almacenamiento, para el secado y cura finales antes de embarcarlo.

Un diagrama de este proceso se observa en la Figura 4.2.

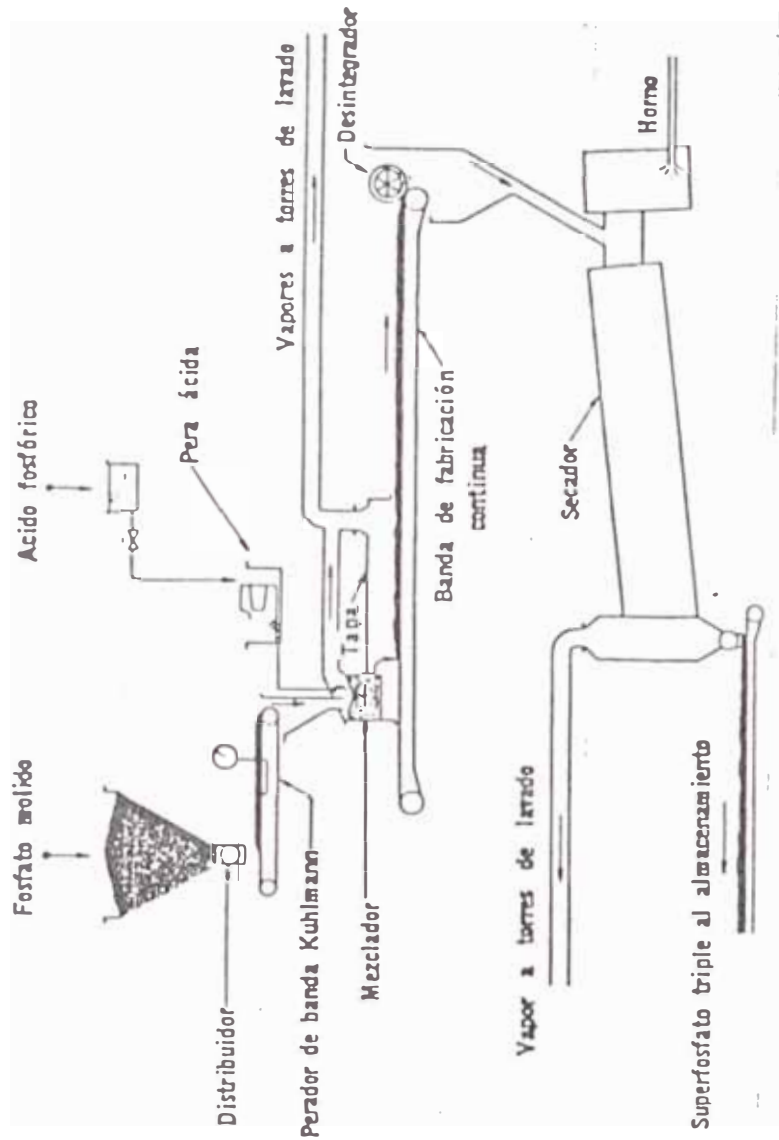


Figura 4.2 : PROCESO KUHLMAN

EL PROCESO MEYERS

Un método de producir superfosfato triple de ácido fosfórico de fuerza mediana, fué desarrollado por Meyers en 1923.

En este proceso, el ácido fosfórico conteniendo aproximadamente 25% de P_2O_5 , se mezcla con roca fosfórica finamente pulverizada para producir un lodo, que se alimenta a un horno de fuego directo, para concentrar el ácido y acelerar la reacción. El material es extraído del horno como un lodo espeso, de ahí pasa a un excavador de concreto, en el cual se solidifica como una masa porosa y desmenuzable.

Después de un día, el producto parcialmente curado es retirado del excavador y es alimentado a un secador rotatorio. Después de secarse, el material es triturado, tamizado y almacenado para que cure totalmente antes de ser embarcado.

EL PROCESO GRANULAR DE UNA ETAPA DE LA T.V.A.

Un método de producir superfosfato triple granulado directamente de roca fosfórica y ácido, ha sido elaborado por la Tennessee Valley Authority (T.V.A.).

En este proceso, cantidades controladas de roca fosfórica, pulverizada a 75% bajo malla 200, son alimentadas a un tambor giratorio, como se observa en la Figura 4.3. Se inyectan ácido fosfórico concentrado y vapor a los sólidos que giran en el

tambor, para ser luego descargados en un granulador giratorio. El uso del vapor acelera la reacción de conversión y asegura una distribución uniforme de humedad en el material.

El producto del granulador pasa a través de un enfriador giratorio, antes de ser tamizado, después de lo cual lo gruesos y los finos son recirculados al tambor de acidulación.

Este proceso permite el uso de ácido de horno ó de proceso húmedo, si este último es calentado previamente alrededor de 129.4° C (265° F). El producto granulado curado, es adecuado para aplicación directa o para ser amoniado y producir fertilizantes compuestos.

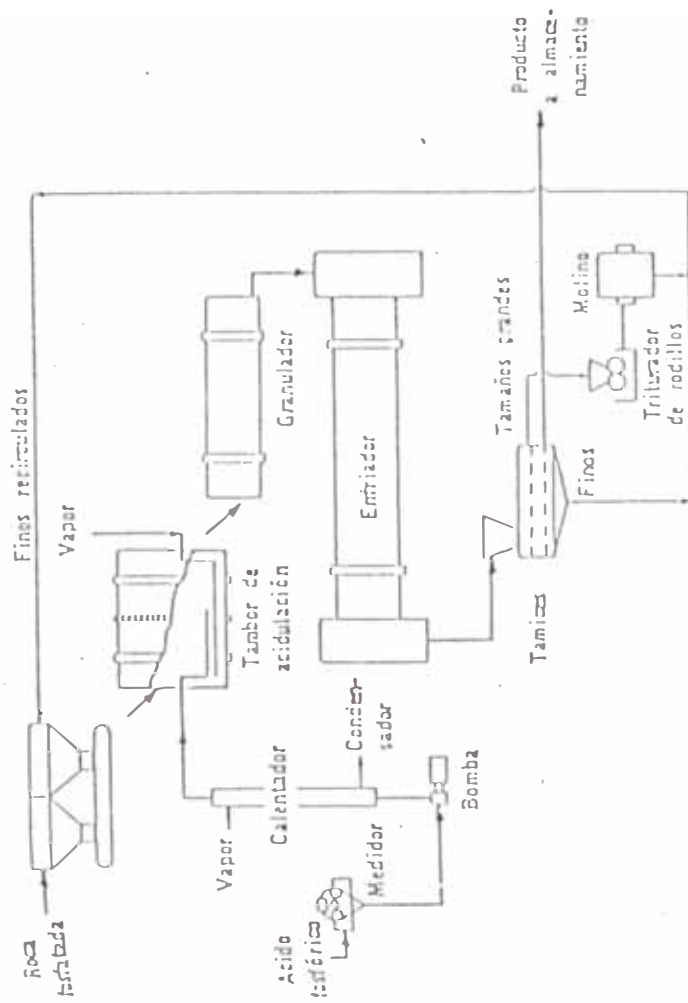


Figura 4.3 : PROCESO GRANULAR DE UNA ETAPA DE LA T.V.A.-

4.3 DISCUSION Y DESCRIPCION DEL PROCESO DE PRODUCCION SELECCIONADO

La producción de superfosfato triple se realiza en la actualidad exclusivamente por métodos continuos. Se puede considerar dos tipos de proceso: "sólido" y "líquido", según predomine una de estas dos fases de reacción, dando lugar a diferentes procesos comerciales.

El primero de estos procesos supone la reacción de la roca fosfórica finamente molida con ácido fosfórico concentrado en un mezclador reactor a temperatura relativamente baja. Se obtiene una pasta espesa que pasa a una cinta transportadora ó un tambor rotativo, en donde prosigue la reacción y se endurece en corto tiempo. El producto ya endurecido pasa al almacén de maduración, donde se completa la reacción durante unas tres semanas.

El superfosfato triple así obtenido es un producto pulverulento, que se puede granular antes o después de la maduración.

El segundo de los procesos permite la obtención directa de un producto granulado, suprimiéndose el período de maduración. La reacción se produce en uno o varios reactores agitados, obteniéndose una papilla muy fluída que se granula con el material reciclado, se seca, se tamiza y se almacena.

Para la planta de superfosfato triple propuesta, se ha seleccionado el proceso líquido,

específicamente el Proceso Granular Dorr-Oliver, porque presenta las siguientes ventajas:

1. La calidad física y química del producto granulado es superior. Los productos granulados presentan una serie de ventajas sobre los productos pulverulentos para su almacenamiento, transporte y distribución, como son la disminución del apelmazamiento y las pérdidas de producto en su manipulación.
2. Se puede emplear ácido fosfórico más diluído.
3. Se suprime el período de maduración, que generalmente es de cuatro semanas.
4. Se tiene la posibilidad de producir, además del superfosfato triple, fertilizantes granulados completos.
5. La calidad del superfosfato triple obtenido es tal que permite competir en el mercado externo, en donde tiene mayor aceptación que el superfosfato triple en polvo.

4.3.1. Descripción del Proceso de Producción.

El proceso granular Dorr-Oliver, incluye las siguientes etapas:

a. Molienda

La producción de superfosfato triple granulado requiere la molienda de la roca fosfórica concentrada a un 80% bajo Malla 200. El

molino de anillos y rodillos que cuenta con un clasificador interno y un ventilador circulante, es el más adecuado para este rango de molienda fina.

La roca molida es transportada por conductos neumáticos a un ciclón separador, donde es recolectada para ser almacenada en una tolva.

b. Acidulación

En esta etapa, la roca fosfórica molida es transportada hacia una pequeña tolva, desde donde es alimentada al reactor, por medio de un alimentador gravimétrico de peso constante.

El ácido fosfórico, que previamente ha sido diluído del 75% al 54%, se alimenta al reactor, controlado por un medidor de flujo, para obtener una proporción de P_2O_5 a óxido de calcio en el producto de 2.4.

La roca y el ácido son mezclados vigorosamente en el reactor mediante un agitador de turbina, manteniendo la temperatura a $90^{\circ}C$. El tiempo de residencia es de 3' después de los cuales el lodo es enviado a otro reactor similar, que permite continuar la reacción por agitación durante otros 3', para luego pasar a la siguiente etapa de granulación y secado.

c. Granulación y Secado

El lodo proveniente del segundo reactor, desciende por gravedad a un granulador, donde el material seco es recirculado y recubierto con el lodo de la reacción hasta formar granos de tamaño adecuado (2-4 mm).

Estos granos ingresan a un secador rotatorio directo, que reduce el contenido de humedad libre del 7.6% al 2% y acelera la reacción de conversión. Se emplea aire caliente en flujo paralelo, saliendo los granos del secador a una temperatura de 75 °C.

d. Tamizado

Los granos secos son elevados a un tamizador vibratorio de doble piso, de mallas N° 5 y N° 6, donde son separadas las partículas de mayor tamaño para ser trituradas por un martillo pulverizador y ser enviadas nuevamente al granulador.

Las partículas de menor tamaño pasan a una tolva, y retornan al ciclo granulador-secador vía un transportador y elevador.

Los granos, cuyo tamaño es del 80%-Malla 6, son separados en una tolva para el producto, de donde es transportado al almacén para que se enfríe, durante 24 horas, antes de ser ensacado.

Los gases del reactor son purificados en una torre de aspersion antes de salir a la atmósfera. La gases calientes del granulador y del secador son enviados a ciclones, para retener la mayor parte del polvo, el cual es recirculado al granulador. Estos gases también son purificados en una torre de aspersion antes de salir a la atmósfera.

4.3.2. Balance de Materiales.

El Balance de Materiales se ha estructurado considerando una producción continua de 79200 TM/año de superfosfato triple, que corresponde, al 100% de la capacidad instalada.

La producción diaria será de 240 TM, la cual se completará en tres turnos de trabajo.

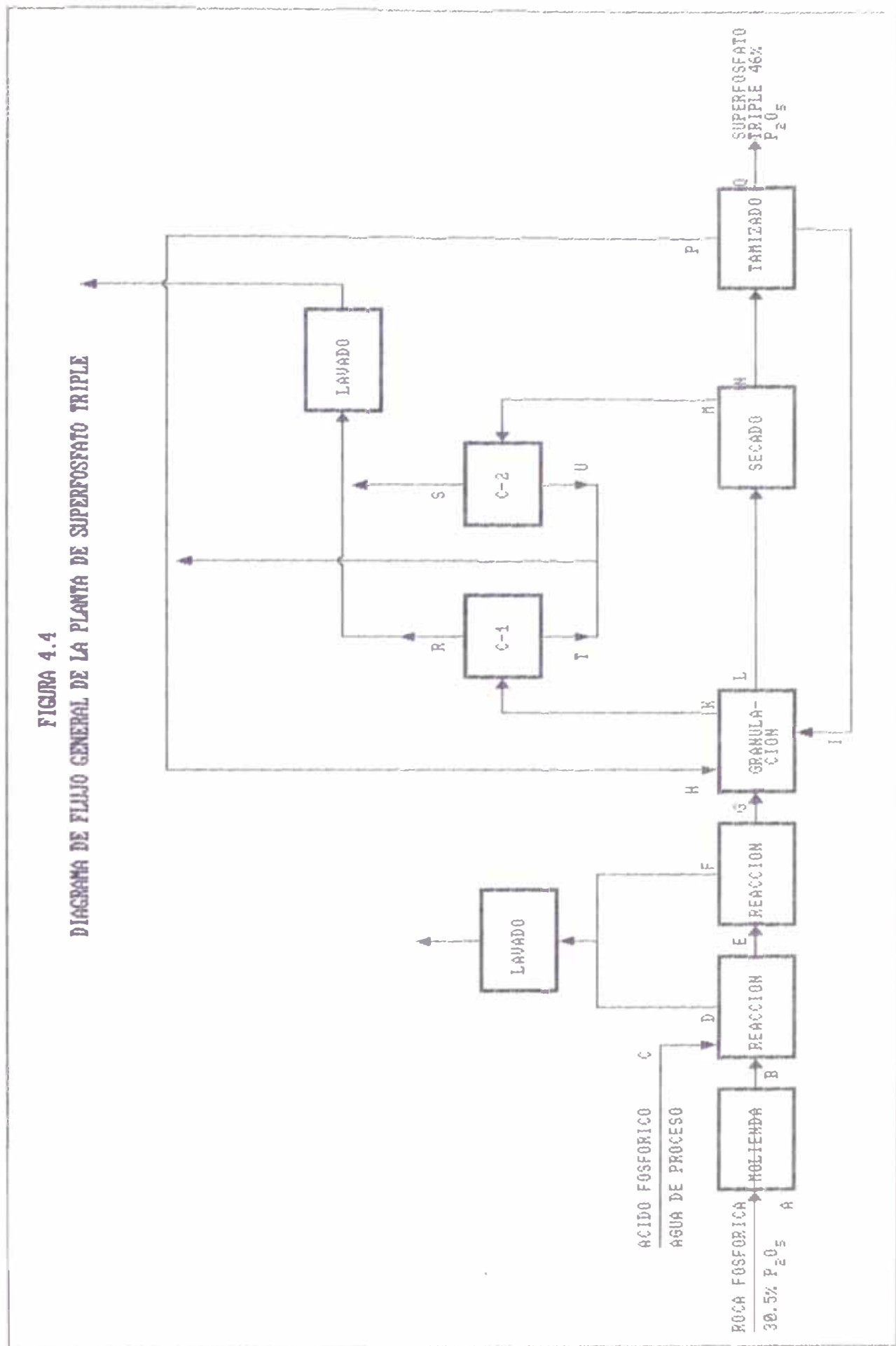
Entre las reacciones secundarias que se producen simultáneamente con la principal, se ha considerado las que producen compuestos fluorados y carbonatados.

No se recuperará los subproductos, como los gases fluorados, debido a que su producción diaria es baja, por las condiciones del proceso (23). Por lo tanto, no permite la recuperación económica de estos compuestos.

En la Figura 4.4 se detalla las línea de cada etapa del proceso en el Diagrama de Flujo General mostrado, según los siguientes datos :

- Producción Anual : 79200 TM
- Horas de Operación : 7920 horas al año
- Días de operación : 330 días al año
- Operación : 3 turnos de 8 horas
cada uno.
- Producción por hora : 10 TM.
- Materia Prima : Roca Fosfórica de
30.5% P_2O_5 , molida a
80% - Malla 200.
Acido Fosfórico al
54%

FIGURA 4.4
 DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL DE LA PLANTA DE SUPERFOSFATO TRIPLE



PRODUCCION : 10 TM/hr

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M	N	P	Q	R	S	T	U
SFT					6.65		8.55	0.56	0.42	0.01	10.33	.003	10.33	0.42	9.50			0.07	0.07
H ₃ PO ₄ 54% P ₂ O ₅			5.10		1.71		0.74	0.02	0.02		0.25	0.01	0.23	0.01	0.20				
ROCA F.	6.60	6.27			2.21		1.07	0.23	0.42	0.03	0.81	.006	0.81	0.28	0.10			.001	.001
AGUA DE PROCESO			2.00		1.21		0.80	0.06	0.02	0.07	0.86		0.23	0.01	0.20				
VAPOR DE AGUA												0.63							
GASES				1.59		0.61				0.55						0.59	0.58		
PERDIDAS DE ROCA		0.33			0.33		0.33				0.33		0.33		0.33				
TOTAL	6.60	6.60	7.10	1.59	12.11	0.61	11.49	0.87	0.87	0.66	12.58	0.65	11.93	0.72	10.33	0.59	0.58	0.07	0.07

PRODUCCION : 79200 TM/ANO

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M	N	P	Q	R	S	T	U
SFT					52668		67715	4448	3287	100	81838	24	81814	3287	75240			578	583
H ₃ PO ₄ 54% P ₂ O ₆			40392		13531		5857	139	139		1948	110	1838	115	1584				
ROCA F.	52272	49658			17527		8511	1858	3364	250	6442	50	6392	2236	792			8	8
AGUA DE PROCESO			15840		9594		6375	485	139	526	6819		1838	115	1584				
VAPOR DE AGUA												4981							
GASES				12570		4862				4394						4684	4574		
PERDIDAS DE ROCA		2614			2614		2614				2614		2614		2614				
TOTAL	52272	52272	56232	12570	95934	4862	91072	6930	6929	5270	99661	5165	94496	5753	81814	4684	4574	586	591

4.3.3 Condiciones de Operación

Las condiciones de operación del proceso se fijaron en base a los datos obtenidos por la empresa Davy Power Gas Inc. (24) para una planta similar de superfosfato triple granulado.

A continuación se indica las condiciones de operación del proceso propuesto.

- Relación entre el P_2O_5 del ácido fosfórico y el P_2O_5 de la roca : 1.4 (1.1 TM H_3PO_4 al 54%/TM de roca)
- Temperatura máxima promedio de los reactores: 95° C.
- Presión de operación en los reactores : 1 atm.
- Tiempo de Residencia : 3'
- Para el 1° Reactor : 65% de conversión.
- Para el 2° Reactor : 86% de conversión.
- Conversión total de la roca : 95%.

Las condiciones de entrada de las corrientes de materia prima son :

Flujo de Materia Prima	Temperatura	Presión
Roca Fosfórica	Ambiente	1 atm.
Acido Fosfórico	67.5 °C	3 atm.

4.3.4 Control del Proceso

El control del proceso es primordial en la etapa de acidulación. Los alimentadores de la

roca fosfórica y del ácido fosfórico deben ser exactos y seguros. Se debe hacer un análisis de la relación P_2O_5 a óxido de calcio en el producto, para asegurar que el equipo medidor esté funcionando satisfactoriamente. Esta relación, teóricamente es de 2.54 para una conversión del 100%.

Además del control exacto de los alimentadores de materia prima, se debe mantener la continuidad regular del proceso. El superfosfato triple es notablemente viscoso y tiende a pegarse y endurecerse en las superficies con las que tiene contacto (25).

Los ensayos necesarios para definir las condiciones de operación también incluyen el contenido de P_2O_5 total y P_2O_5 soluble en agua. Antes de ser embarcado, el producto debe ser muestreado cuidadosamente y completamente analizado, controlando así la calidad del producto que debe cumplir con las especificaciones técnicas anteriormente mencionadas.

4.3.5 Instrumentación

Para lograr una buena eficiencia en el proceso y una alta calidad y uniformidad del producto, se empleará un sistema de control semi-automático y los equipos principales

contarán con alarmas de seguridad. Se ha elegido el sistema de control neumático y electrónico por ofrecer gran seguridad en el control.

4.3.6 Seguridad

En toda planta industrial se debe tomar medidas de seguridad para evitar accidentes que afecten al personal y a la empresa.

En el caso de la planta de superfosfato triple, se debe prestar mayor atención a la manipulación del ácido fosfórico. Para este ácido como gas, no se permite mayor concentración de un miligramo de fósforo por metro cúbico de aire. El ácido tiene olor penetrante, por lo que se le reconoce aunque esté presente en pequeñas cantidades.

En las áreas en donde esté presente el ácido, deberán existir duchas y equipos de primeros auxilios.

Los vapores que salen del reactor, que contienen HF, S, F₄, H₂SO₄ etc, son peligrosos ya que causan serias quemaduras al cuerpo. El límite máximo permisible en 8 horas es 3 ppm de HF, por lo cual el área estará ventilada todo el tiempo (26).

La roca fosfórica no presenta mayores peligros.

4.4. REQUERIMIENTOS DE MATERIA PRIMA.

El requerimiento de materia prima anual se ha calculado considerando un stock para 15 días de producción, como se mencionó anteriormente, se utilizará ácido fosfórico al 75% que será diluido antes de entrar al sistema de reacción. Por esta razón, se incluye en el Cuadro 4.14 el requerimiento de agua de proceso.

CUADRO 4.14

REQUERIMIENTOS DE MATERIA PRIMA

AÑO	ROCA F.(TM/AÑO)	ACIDO F.(TM/AÑO)	AGUA P.(TM/AÑO)
1996	31,700	24,500	9,600
1997	31,700	24,500	9,600
1998	33,000	25,500	10,000
1999	33,000	25,500	10,000
2000	36,300	28,100	11,000
2001	36,300	28,100	11,000
2002	39,000	30,100	11,800
2003	39,000	30,100	11,800
2004	42,200	32,600	12,800
2005	42,200	32,600	12,800
2006	44,900	34,700	13,600
2007	44,900	34,700	13,600
2008	47,500	36,700	14,400
2009	47,500	36,700	14,400
2010	50,200	38,700	15,200

4.5 REQUERIMIENTOS DE SERVICIOS.

Dentro de los servicios se incluye el agua del lavado de gases, energía eléctrica y combustible.

a. Agua de Proceso.

Se utilizará agua potable como agua de proceso, la cual será obtenida del reservorio perteneciente al Proyecto Especial de Agua Potable de Piura-Región Grau. No requiere tratamiento especial antes de entrar al sistema de reacción.

b. Agua de Lavado de Gases.

Es utilizada para lavar los gases antes de que sean enviados a la atmósfera, estará continuamente recirculando. Para este servicio se utilizará agua sin mayor tratamiento, proveniente del Acuífero Illescas.

c. Energía Eléctrica.

La demanda de energía eléctrica es de 800 Kwh, la cual se cubrirá con un grupo electrógeno Caterpillar MOD.3508 que opera a 1800 RPM, con un consumo de combustible de 61.8 GPH. Se contará con otro grupo electrógeno de igual capacidad como reserva.

d. Combustible.

El requerimiento de combustible engloba el

consumo del secador rotatorio, del grupo electrógeno y otros consumos menores. El combustible empleado será Residual Nº 6 para el horno del secador rotatorio.

4.6 REQUERIMIENTOS DE MANO DE OBRA

Las necesidades de mano de obra directa se han establecido para cada etapa del proceso.

Molienda	3 operarios calificados. 1 supervisor.
Acidulación	3 operarios calificados. * Supervisor de la etapa de molienda.
Granulación	3 operarios calificados. 1 supervisor
Secado	3 operarios calificados. ** supervisor de la etapa de granulación.
Tamizado	3 operarios calificados. 1 supervisor
Ensacado	9 operarios. *** Supervisor de la etapa de tamizado.

La planta contará además con 3 Jefes de Guardia, 3 Ingenieros de Proceso y 1 Jefe de Planta, que reportará a la Gerencia de Producción.

4.7 Diseño y Especificación de Equipos Principales

El diseño de los equipos principales se basa en las condiciones de operación del Proceso Granular Dorr-Oliver, cuya tecnología fué seleccionada anteriormente (Ver Anexo X). En la Figura 4.5 se muestra el Diagrama de Flujo del Proceso.

4.7.1 Diseño y Especificaciones del Molino

Para la molienda de la roca fosfórica se ha utilizado desde hace más de 20 años hasta la actualidad, los molinos de anillo y rodillos por ser sumamente eficientes en el rango de molienda fina. Para este tipo de molino se cuenta con marcas conocidas como Raymond y Bradley.

Se ha seleccionado un molino Raymond para la molienda porque se tiene mayor información en cuanto a su operación.

El molino de anillo y rodillos Raymond incluye un dispositivo de clasificación interna, por lo cual el producto no puede abandonar el molino hasta ser lo suficientemente fino para atravesar un tamiz de malla determinada, y ser elevado por una corriente de aire de velocidad constante. (27)

Dado el nivel de producción de la planta se requiere un molino de por lo menos 10 TM/hr de capacidad. Según Sauchelli (28), un molino Raymond de 66 pulg. pulveriza 12 TM/hr de roca

fosfórica pasando el 80% por una malla 200.

La potencia consumida en la operación, que incluye el ventilador y el clasificador interno es de 300 HP.

También puede calcularse la potencia utilizando los siguientes datos :

Tamaño Molino, Diámetro Redondel.	Grado y contenido P ₂ O ₅	Consumo de Fuerza en Kwh/TM, porcentaje pasando malla 200.			
		50	60	70	75
(Pulg.)					
73	35.4 concentrado	10.5	12.9	15.7	17.3
73	33.1 roca redond	11.9	14.4	17.2	18.8
66	35.4 concentrado	11.1	13.7	16.5	18.1
60	35.4 concentrado	11.5	14.0	16.8	18.4

ESPECIFICACIONES DEL MOLINO.

Tipo : Molino de Anillo y Rodillos de lado alto.

Diámetro del Redondel: 66 pulg.

Capacidad : 12 TM/hr.

Producto : Roca Fosfórica molida al 80% pasando malla 200.

Potencia consumida : 300 HP (incluidos el clasificador interno y el ventilador).

Material : Redondel de acero forjado.

Rodillos de aleación de
hierro forjado.

Acero.

4.7.2 Diseño y Especificaciones de los Reactores

Los reactores son continuos que operan en serie y cuentan con agitadores de turbina. El primer reactor actúa como receptor de las materias primas y en él se da inicio a las reacciones químicas, las que se complementan en el segundo reactor. Los agitadores de turbina permiten una mejor remoción de los sólidos y líquidos, lográndose un mejor contacto de las materias primas. Aumenta así la velocidad de reacción y se alcanza el equilibrio químico en el menor tiempo. El volumen de ambos reactores es el mismo y ha sido estimado en base al tiempo de residencia de los reactantes. Se ha considerado en el diseño que el calor de reacción liberado es disipado por la agitación vigorosa que se requiere para que la reacción ocurra.

a. Diseño del Tanque Reactor.

Para el diseño del reactor se ha establecido el tiempo de residencia, como el tiempo que reaccionan la roca y el ácido fosfórico antes de solidificarse. Es decir, la materia prima ingresa, se mezcla durante

3 minutos y pasa a la siguiente etapa. En el proceso Dorr-Oliver, en la etapa de acidulación se debe obtener un lodo que esté en un punto de incipiente solidificación.

Por lo anterior, el volúmen del reactor tendrá una capacidad para producir 10 TM/hr de superfosfato triple, con un tiempo de residencia de 3 minutos.

Especificaciones del Tanque Reactor.

Tipo : Cilíndrico vertical, con sistema de agitación vertical.

Diámetro : 1.0 m.

Altura : 1.2 m.

Volúmen útil : 0.90 m³.

Material : Acero inoxidable AISI 316 de 3/8" de espesor.

b. Diseño del Agitador.

En la selección del agitador se ha tomado en cuenta principalmente el comportamiento del lodo formado, que por el tamaño de la partícula y las condiciones de operación presenta un comportamiento pseudoplástico.

Para este tipo de suspensiones el diámetro adecuado es de hasta 0.7 el diámetro del tanque, para evitar regiones de estancamiento.

Se ha demostrado que el consumo de poten-

cia disminuye y la velocidad de descarga de la turbina aumenta, al incrementarse el diámetro de la turbina con par de fuerzas constante.

Esto quiere decir que para una velocidad estipulada de descarga, se obtiene un funcionamiento más eficiente (por la fuerza y potencia mas bajos), con una turbina relativamente grande que funcione con una velocidad relativamente baja. (29)

La Dirección de Ingeniería de Minero Perú proporciona los siguientes datos para el diseño de agitadores en el sistema de reacción:

- Velocidad : 160 RPM.
- Viscosidad del lodo : 240 cp.

Con los datos anteriores se calcula el número de Reynolds.

$$N_{Re} = \frac{D_t^2 \times N \times \rho}{\mu}$$

Donde :

D_t = Diámetro de la turbina = 2.30 pie

N =Velocidad de agitación = 2.67 RPS

ρ =Densidad del lodo = 89.3 lb/pie³

μ =Viscosidad del lodo = 0.16128 lb/pie-seg

Con los datos :

$$N_{Re} = 7821$$

Según la Biblioteca del Ingeniero Químico (30), a este Número de Reynolds le correspon-

de un Número de Potencia igual a 1.3, para la turbina de seis paletas inclinadas. Luego, la potencia consumida por el agitador es :

$$P = \frac{N_p \times \rho \times N^3 \times D_t^5}{g_c \times 542.5}$$

Donde :

N_p = Número de Potencia.

g_c = Factor de conversión gravitacional,
32.2 lb-pie/lb-f

Con los datos anteriores :

$$P = 8.10 \text{ HP}$$

Trabajando al 85% de su capacidad, se selecciona un motor de 10 HP de velocidad variable.

Especificaciones del Agitador.

Tipo : Turbina de 6 paletas inclinadas bajo 45°.

Diámetro : 0.7 m.

Ancho de Paletas : 0.09 m.

Altura sobre el fondo del tanque : 0.20 m.

Material : Acero Hastelloy G.

4.7.3 Diseño y Especificaciones del Granulador

La mayoría de las plantas de granulación utilizan un tambor giratorio del tipo patentado por la Tennessee Valley Authority (TVA).

La unidad básica consiste de un cilindro

giratorio inclinado, ligeramente abierto, con anillos de retención en cada extremo y con raspadores y/o aspas que corren longitudinalmente hacia abajo dentro del cilindro, generando la acción de volteo correcta.

La granulación por nucleación se da por la formación de agregados mediante la adhesión del material de alimentación y/o de reciclaje a partículas individuales del material seco.

Hardesty y Ross (31) hallaron que la plasticidad y la finura de tamaño de la partícula de un material son los elementos que determinan su facilidad de granulación.

Perry afirma que la longitud del tambor es uno de los puntos de diseño de mayor importancia, ya que influye en el tiempo de residencia del material dentro del equipo. Los sistemas más complejos requieren tiempo de residencia más prolongadas que los que forman el aglomerado con mayor facilidad. En lo que respecta al tiempo de retención se considera que de uno a dos minutos constituye una cifra promedio.

Las ventajas que caracterizan al aglomerador de tambor rotatorio son su mayor capacidad, mayores tiempos de residencia para materiales difíciles de aglutinar y menos

sensibilidad a trastornos del sistema debidos al efecto de amortiguamiento de una gran carga circulante.

En una gama de operación normal, el incremento de líquido conduce a un incremento más o menos exponencial en el tamaño del aglomerado. Por ende, el proceso es muy sensible al contenido de líquido, que a su vez, es una variable de control muy eficaz.

En la tabla siguiente se dan las características de operación de aglomeradores de tambor típicos : (32).

	Diámetro pies	Longitud pies	Velocidad RPM	Capacidad de Producción TM/hr	Potencia Instalada HP
Granulación de Fertilizantes	5 - 11	7 - 25	15 - 9	15 - 40 *	25 - 100

* Esta cifra excluye el reciclaje : la verdadera carga de tambor tratada puede ser de dos a siete veces este valor.

ESPECIFICACIONES DEL GRANULADOR.

Tipo : Tambor Rotatorio.

Capacidad : 15 TM/hr.

Diámetro : 1.5 m.

Longitud : 2.1 m.

Velocidad : 15 RPM.

Consumo de Potencia : 25 HP.

Material : Acero Inoxidable AISI 316.

4.7.4 Diseño y Especificaciones del Secador

En virtud de que el secado es necesario para la conservación del producto final, el éxito de la planta de superfosfato triple, dependerá en gran parte de la selección y puesta en operación del equipo de secado. En las operaciones de una planta de fertilizantes, el secado por convección es el que más se usa. En él, los granos del fertilizante se ponen en contacto directo con la corriente de aire que seca.

Se considera que este método es el medio más efectivo para calentar materiales húmedos, al mismo tiempo que se puede regular fácilmente y que es económico. (33)

Existen varios tipos de secadores directos, siendo el más utilizado en la industria de fertilizantes, el secador rotatorio de flujo paralelo.

Para el diseño del secador se dispone de la siguiente información :

Humedad Inicial	: 7.6%	en base seca.
Humedad Final	. 2%	en base seca.
Flujo de Sólido Seco	: 11,390	Kg/hr
Densidad del Sólido	: 1.51	gr/cc

Temperatura de Salida del Secador: 75° C.

Datos del Aire :

Ingreso del secador :

Temperatura de Bulbo Seco : 150°C

Humedad Absoluta 0.025 Kg H₂O/Kg
Aire seco.

Humedad Relativa : 40%

Secador :

Temperatura de Bulbo Seco : 150 °C

Como la mayor parte del calor suministrado por el aire se utiliza en la vaporización del agua, puede suponerse que la diferencia media de temperaturas es equivalente a la media logarítmica de las presiones de ampolla húmeda del aire a la entrada y a la salida (34).

Se tiene entonces :

$$N_t = \frac{\ln (t_1 - t_w)}{t_2 - t_w}$$

Donde :

N_t = Unidades de transferencia de calor en el gas.

t_1 = Temperatura inicial del gas.

t_2 = Temperatura de salida del gas.

t_w = Temperatura de bulbo húmedo

Para el proceso se asume $N_t = 0.5$

De la Carta Psicométrica del Anexo XI, se

obtiene la temperatura de bulbo húmedo.

Utilizando los datos anteriores para el aire:

$$t_w = 47 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 56 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Calor Suministrado al Aire.

$$Q = E \times q_1 = 339,660 \text{ Kcal/hr}$$

Donde :

$$q_1 = \text{Calor latente del agua} = 540 \text{ cal/gr}$$

$$E = \text{Cantidad de agua a evaporar} = 629 \text{ Kg/hr}$$

Cantidad de Aire Necesaria : W_1

$$W_1 \times C_a \times (T_a - T_s) = Q$$

Donde :

W_1 = Cantidad de aire necesaria.

C_a = Calor específico del aire = 0.25 Kcal/Kg
°C.

T_a = Temperatura de entrada del aire = 150 °C.

T_s = Temperatura de salida del aire = 56 °C.

W_1 = 14454 Kg/hr.

Velocidad Máxima del Aire : V_t

Para hallar la velocidad máxima del aire, se aplica la siguiente relación, asumiendo que la partícula cae en un medio gaseoso, en este caso el aire. (35)

$$V_t = (d_s - d) \times g \times D_p^2 / 18\mu$$

Donde :

d_s = Densidad del sólido seco = 94.3 lb/pie³

d = Densidad del sólido húmedo = 91.0 lb/pie³

D_p = Diámetro de la partícula = 0.0098 pie

μ = Viscosidad del aire = 0.000134 lb/pie-seg.

g = 32.2 lb-pie/lbf(s)(s).

V_t = 4.23 pie/seg.

Flujo Másico del Aire : G_v

$$G_v = V_t \times P \times PM/RT$$

Donde :

P = Presión = 14.7 PSIA.

PM = Peso molecular del aire = 29 lb/mol-lb

T = Temperatura = 762 °R.

V_t = 15228 pie/hr

G_v = 794 lb/hr pie² = 3885 Kg/hr m²

Este valor es el máximo flujo de aire admisible para que no se produzca polvo y con el cual se calcula el área del secador.

Area del Secador : A_s

$$A_s = W_1/G_v$$

$$A_s = 3.7 \text{ m}^2$$

$$D_s = 2.0 \text{ mt.}$$

Cálculo de la Longitud del Secador : L_s

La longitud de una unidad de transferencia para un secador rotatorio se calcula según:

$$L_t = 0.026 \times C_e \times W_1^{0.84} \times D_s$$

$$L_s = 20 \text{ m.}$$

Cálculo de la Retención del Material, RM

$$RM = 0.04 \times V_s$$

$$RM = 2.512 \text{ m}^3$$

Donde :

$$V_s = \text{Volúmen del Secador} = 62.8 \text{ m}^3$$

Cálculo del Tiempo de Paso : t_p

$$t_p = RM \times dm / F_s$$

Donde :

$$dm = \text{Densidad del material seco} = 1510 \text{ Kg/m}^3.$$

$$F_s = \text{Flujo de alimentación} = 11390 \text{ Kg/hr}$$

$$t_p = 0.33 \text{ hr} = 20.0 \text{ min.}$$

Cálculo de la Potencia del Secador : P_s

La potencia necesaria para el funcionamiento del secador, incluyendo el ventilador es :

$$P_s = 9 \times D_s^2$$

$$P_s = 36 \text{ HP}$$

Velocidad de Rotación : NS

$$NS = 9 / D_s$$

$$NS = 4.5 \text{ RPM}$$

Número de Aletas : Z

$$Z = 10 \times D_s$$

$$Z = 20$$

Altura de Aletas : ha

$$h_a = D_s/8$$

$$h_a = 0.25 \text{ mt.}$$

Cálculo de la Inclinación del Secador : S

$$S = \frac{0.23 \times L_s}{(NS)^{0.8} \times D_s \times [t_p - 1.97 \times \beta \times L_s \times G_v/F]}$$

Donde :

β = Constante que depende del material
manejado

$$\beta = S/D_p^{0.5} = 0.0913$$

D_p = Tamaño de la partícula de peso medio del
material manejado = 3000 μ

F = Velocidad de alimentación al secador de
producto seco, Kg/hr m².

$$F = 3078 \text{ Kg/hr m}^2.$$

$$S = 0.038 \text{ m/m}$$

Especificaciones del Secador.

Tipo : Secador Rotatorio Directo

Diámetro : 2.0 m.

Longitud : 20.0 m.

Nº de Aletas : 20

Altura de Aletas : 0.25 m.

Velocidad de Giro : 5 RPM

Inclinación : 0.038 m/m

Potencia Consumida : 50 HP

Material : Acero Inoxidable AISI 316.

4.7.5 Diseño y Especificaciones del Tamiz Vibratorio

La capacidad y el alto rendimiento de los tamices vibratorios, especialmente en los tamaños mas finos, son superiores a los de cualquier otro tipo de tamiz. Otra ventaja de este tipo de tamiz es que la vibración de su tela de tamiz reduce a un mínimo su cegamiento.

Para el proceso se ha seleccionado un tamiz vibratorio de doble piso de baja amplitud (eléctrico), que es el más adecuado para el tamaño de malla requerido (Malla 5 y Malla 6).

Para el funcionamiento de estos tamices se aplica normalmente a la tela del tamiz una vibración de baja amplitud por medio de electroimanes de una frecuencia de 1800 vibraciones /min.

El porcentaje de aberturas en un tamiz se calcula por la siguiente relación : (35)

$$P = \frac{A^2}{(A + D)^2} = (1 - MD)^2$$

Donde :

P = Porcentaje de aberturas.

A = Abertura.

D = Diámetro del alambre en pulg.

M = Número de Mallas por pulgada.

El rendimiento o eficiencia de un tamiz sólo puede definirse en función de las condiciones que haya que cumplir en el tamizado.

No obstante, el rendimiento en las operaciones industriales es alrededor del 60%, y el 75% es extraordinariamente bueno :

Especificaciones del Tamiz Vibratorio.

Dimensiones : 1.5 m x 1.0 m.

Capacidad de Tamizado : 55 TM/m²-24 hr-mm

Angulo de Inclinación : 10°

Potencia Consumida : 30 HP

Tamiz Superior :

Malla Tyler/pulg : 5

Abertura : 3.962 mm

Diámetro del Alambre : 1.120 mm

Porcentaje de Aberturas : 88%

Material : Acero

Tamiz Inferior :

Malla Tyler/pulg : 6

Abertura : 3.327 mm

Diámetro del Alambre : 0.910 mm

Porcentaje de Aberturas : 88%

Material : Acero

4.8 ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS AUXILIARES

Dentro de los equipos auxiliares se considera todos los demás equipos que intervienen en el proceso, y que han sido diseñados de acuerdo a los requerimientos de la etapa a la que pertenecen.

El procedimiento de diseño para estos equipos se explica en el Anexo IX.

A. MOLIENDA

A.1 Especificaciones del Elevador de Cangilones (E-1).

Tipo : Elevador de Cangilones de descarga centrífuga, totalmente cerrado.

Capacidad : 10 TM/hr de roca entera.

Longitud : 33 pies, entre centros de las ruedas dentadas.

Tamaño de los Cangilones : 6" x 4" x 4 1/4"

Espaciamiento entre Cangilones : 12"

Servicio : Transporte de la roca entera del almacén al transportador helicoidal.

Potencia Consumida : 2 HP

Material : Acero al Carbono.

A.2 Especificaciones del Transportador Helicoidal (CV-1).

Tipo : Transportador helicoidal de paso variable, totalmente cerrado.

Capacidad : 10 TM/hr de roca entera.

Longitud : 12 m.

Diámetro : 9"

Velocidad : 35 RPM.

Servicio : Transporte de la roca entera hacia
la tolva.

Potencia Consumida : 5 HP.

Material : Acero al Carbono.

A.3 Especificaciones de la Tolva de Roca Entera (T-1).

Descripción : Tolva de sección rectangular y
tronco cónico, con controlador
de nivel de sólidos.

Capacidad : 19 TM de roca entera.

Sección Recta: 2.5m x 2m x 2m.

Cono : 2.5m x 2m x 2m.

Boca Inferior: 0.40m x 0.40m

Material : Acero al carbono de 1/4" de
espesor.

A.4 Especificaciones del Dosador Gravimétrico (F-1).

Descripción : Dosador gravimétrico de peso
constante Hardinge, Modelo C.

Capacidad : 10 TM/hr de roca entera.

Potencia Consumida : 0.5 HP

Material : Acero al Carbono.

A.5 Especificaciones del Ciclón (C-1).

Descripción : Ciclón separador de la roca
molida.

Sección Vertical

Diámetro : 1.2 m.

Altura : 2.4 m.

Cono :

Altura : 2.4 m.

Boca Inferior: 0.30 m.

Materiales Acero al carbono de 3/16" de
espesor.

**A.6 Especificaciones de la Tolva de Roca Molida
(T-2)**

Descripción : Tolva para roca molida de
sección cuadrada y tronco
cónico.

Capacidad : 32 TM de roca molida.

Sección Recta: 2.5m x 2.5m x 3.0m

Cono : 2.5m x 2.5m x 2.3m

Boca Inferior: 0.60m x 0.60m.

Material : Acero al carbono de 1/4".

B. ACIDULACION.

**B.1 Especificaciones del Transportador Helicoidal
(CV-2).**

Tipo : Transportador helicoidal de paso
variable, totalmente cerrado.

Capacidad : 10 TM/h roca molida.

Longitud : 3 m.

Diámetro : 10"

Velocidad : 25 RPM.

Potencia Consumida : 3HP.

Material : Acero al carbono.

B.2 Especificaciones del Elevador de Cangilones (E-2).

Tipo : Elevador de cangilones de descarga centrifuga, totalmente cerrado.

Capacidad : 10 TM/hr de roca molida.

Longitud : 50 pies, entre centros de las ruedas dentadas.

Tamaño de los Cangilones : 6"x 4"x 4 1/4"

Espaciamiento entre Cangilones : 12"

Potencia Consumida : 3 HP.

Material : Acero al carbono.

B.3 Especificaciones de la Tolva (T-3).

Descripción : Tolva para alimentar la roca al dosador gravimétrico, de sección cuadrada, tronco cónico.

Capacidad : 8.8 TM de roca molida.

Sección Recta: 2m x 2m x 2m

Cono : 2m x 2m x 1.2m

Boca Inferior: 0.15m x 0.15m

Material : Acero al carbono de 1/4" de espesor.

B.4 Especificaciones del Dosador Gravimétrico (F-2).

Descripción : Dosador gravimétrico de peso constante Hardinge, Modelo C.

Capacidad : 10 TM/hr de roca entera.

Potencia Consumida : 0.5 HP

Material : Acero al Carbono.

B.5 Especificaciones del Tanque de Acido Fosfórico (TK-1).

Descripción : Tanque cilindrico vertical para almacenamiento de ácido fosfórico al 75%.

Capacidad : 403 m³.

Diámetro : 8 m.

Altura : 8 m

Material : Acero Inoxidable AISI 316, de 3/8" de espesor, con revestimiento de caucho butilo.

B.6 Especificaciones del Tanque de Agua de Proceso (TK-2).

Descripción : Tanque cuadrado para almacenamiento de agua de proceso.

Capacidad : 294 m³.

Longitud de Lado: 7 m.

Altura : 6 m.

Material : Concreto Armado.

B.7 Especificaciones del Tanque de Dilución (TK-3).

Descripción : Tanque de dilución de acido fosfórico del 75% al 54%, con agitador de turbina.

Capacidad : 9.4 m³

Diámetro : 2.0 m.

Altura 3.0 m.
Material Acero Inoxidable AISI 316. de
 3/8" de espesor. con revesti-
 miento interno de caucho butilo.

Sistema de Agitación.

Descripción : Agitador de turbina de 6 pale-
 tas inclinadas 45°.
Diámetro : 0.70 m.
Velocidad : 240 RPM.
Potencia del Motor : 30 HP.
Material : Acero Inoxidable Hastelloy G.

C. GRANULACION Y SECADO.

C.1 Especificaciones de los Ciclones (C-2, C-3).

Descripción : Ciclones separadores de polvo de
 los gases provenientes del
 secador y del granulador.

Sección Vertical

Diámetro : 0.60 m.
Altura : 1.2 m.
Cono :
Altura : 1.2 m.
Boca Inferior: 0.15 m.
Material : Acero al Carbono de 3/16" de
 espesor.

C.2 Especificaciones del Elevador de Cangilones (E-3).

Tipo : Elevador de cangilones de descarga centrífuga, totalmente cerrado.

Capacidad : 14 TM/hr de superfosfato triple granulado.

Longitud : 10 pies, entre centros de las ruedas dentadas.

Tamaño de los Cangilones: 6" x 4" x 4 1/4"

Espaciamiento entre Cangilones : 12"

Potencia Consumida : 2 HP.

Material : Acero al Carbono.

D. TAMIZADO.

D.1 Especificaciones de la Faja Transportadora (FT-2).

Tipo : Faja transportadora acanalada.

Capacidad : 14 TM/hr de superfosfato triple granulado.

Longitud : 30 m

Ancho de la Banda : 0.30 m

Velocidad : 30 m/min.

Potencia Consumida : 2 HP.

Material : Caucho.

D.2 Especificaciones de las Tolvas para el Producto (TP-1,2,3).

Descripción : Tolvas de sección circular y

tronco cónico.

Capacidad : 6.8 m³.

Sección Recta

Diámetro - 2 m

Altura - 2 m

Cono :

Altura : 2 m.

Boca Inferior : 0.30 mt.

Material Acero al carbono de 1/4" de
espesor.

E. ALMACENAMIENTO.

E.1 Almacén de Roca Entera (A-1).

Dimensiones : 12m x 24m x 6m

Capacidad 2609 TM de roca entera.

Material : Concreto.

**E.2 Tanque de Almacenamiento de Acido Fosfórico
(TK-4).**

Tipo : Tanque Cilindrico Vertical con
fondo plano.

Diámetro : 10 m.

Altura : 9 m.

Capacidad : 706 m³.

Material : Acero Inoxidable AISI 316, re-
cubierto con caucho butilo.

E.3 Tanque de Agua de Proceso (TK-5).

Tipo : Tanque cuadrado.

Dimensiones : 10m x 10m x 8m.

Capacidad 800m³.

Material Concreto Armado.

E.4 Almacén de Superfosfato Triple (A-2).

Dimensiones : 14m x 28m x 7m

Capacidad 3200 TM de superfosfato triple.

Material Concreto.

En el cuadro 4.15 se detalla la Relación de Equipos de la Planta de Superfosfato Triple Granulado, incluyendo los equipos principales y auxiliares.

CUADRO 4.15
RELACION DE EQUIPOS DE LA PLANTA DE
SUPERFOSFATO TRIPLE GRANULADO

EQUIPO	ESPECIFICACION	MATERIAL	POTENCIA CONSUMIDA
E-1	Elevador de Cangilones, totalmente cerrado. Altura : 33 pies Capacidad : 10 TM/hr	Acero al Carbono	2 HP
CV-1	Transportador helicoidal, totalmente cerrado. Longitud : 12 m. Capacidad : 10 TM/hr	Acero al Carbono	5 HP
T-1	Tolva para roca entera, con controlador de nivel. Capacidad : 19 TM	Acero al Carbono de 1/4" de espesor.	
F-1	Dosador gravimétrico de peso constante. Capacidad : 10 TM/hr	Acero inoxidable.	0.5 HP
M	Molino Raymond de anillo y rodillos, con ventilador y clasificador interno. Capacidad : 12 TM/hr	Acero al Carbono Hierro forjado.	300 HP
C-1	Ciclón separador de roca molida.	Acero al carbono de 3/16" de espesor.	
T-2	Tolva para roca molida Capacidad : 32 TM	Acero al carbono de 1/4" de espesor.	
CV-2	Transportador helicoidal, totalmente cerrado Longitud : 3 m. Capacidad : 10 TM/hr	Acero al Carbono.	3 HP
E-2	Elevador de cangilones, totalmente cerrado. Altura : 50 pies Capacidad : 10 TM/hr	Acero al Carbono.	3 HP

EQUIPO	ESPECIFICACION	MATERIAL	POTENCIA CONSUMIDA
CV-3	Transportador helicoidal, totalmente cerrado Longitud : 3m. Capacidad : 10 TM/hr	Acero al Carbono	3 HP
CV-4	Transportador helicoidal, totalmente cerrado. Longitud : 7.5 m. Capacidad : 10 TM/hr	Acero al Carbono	4 HP
T-3	Tolva para la roca de alimentación al reactor. Capacidad : 8.8 TM.	Acero al Carbono de 1/4" de espesor.	
F-2	Dosador gravimétrico de peso constante. Capacidad : 10 TM/hr	Acero inoxidable.	0.5 HP
TK-1	Tanque para almacenamiento de ácido fosfórico. Capacidad : 402 m ³	Acero Inoxidable AISI 316 de 3/8", con revestimiento de caucho butilo	
TK-2	Tanque para almacenamiento de agua de proceso. Capacidad : 294 m ³	Concreto Armado	
TK-3	Tanque para la dilución del ácido fosfórico con agitador de turbina. Capacidad : 9.4 m ³	Acero inoxidable AISI 316 DE 3/8", con revestimiento de caucho butilo	30 HP
R-1 R-2	Reactores de tanque agitado. Capacidad : 0.90 m ³ cada uno.	Acero Inoxidable AISI de 3/8".	10 HP cada uno
E-3	Elevador de cangilones, totalmente cerrado. Altura : 10 pies Capacidad : 14 TM/hr	Acero al Carbono.	2 HP

EQUIPO	ESPECIFICACION	MATERIAL	POTENCIA CONSUMIDA
G	Granulador de tambor rotatorio. Capacidad : 15 TM/hr	Acero Inoxidable AISI 316	25 HP
S	Secador Rotatorio Directo, con sistema de aire caliente. Flujo paralelo.	Acero Inoxidable AISI 316	50 HP
C-2 C-3	Ciclones separadores de polvo.	Acero al carbono de 3/16" de espesor.	
FT-1	Faja transportadora acanalada. Longitud : 8 mt. Capacidad : 14 TM/hr	Caucho	2 HP
FT-2	Faja transportadora acanalada . Longitud : 30 m. Capacidad : 14 TM/hr	Caucho	2 HP
TP-1,2, 3	Tolvas para el producto. Capacidad : 6.8 m ³ cada uno	Acero al carbono de 1/4" de espesor.	
FT-3	Faja transportadora acanalada. Longitud : 5 m. Capacidad : 14 TM/hr	Caucho	2 HP
E-4	Elevador de cangilones, totalmente cerrado. Altura : 33 pies. Capacidad : 14 TM/hr	Acero al Carbono	2 HP
C	1 tamiz vibratorio de 2 pisos(Malla N ^o 5, N ^o 6)	Acero al Carbono	30 HP
E-5	Elevador de cangilones, totalmente cerrado. Altura : 33 pies Capacidad : 14 TM/hr	Acero al Carbono.	2 HP
FT-4	Faja transportadora acanalada. Longitud : 10 m.	Caucho	2 HP

EQUIPO	ESPECIFICACION	MATERIAL	POTENCIA CONSUMIDA
B-1	2 Bombas centrífugas horizontales para ácido fosfórico. Capacidad : 15 GPM Head : 10.0 m.	Acero Inoxidable.	1 HP cada una.
B-2	2 Bombas centrífugas horizontales para agua de proceso. Capacidad : 10 GPM Head : 20 m.	Acero Inoxidable	0.5 HP cada una.
B-3	2 Bombas centrífugas horizontales para ácido fosfórico diluido. Capacidad : 30 GPM Head : 20 m.	Acero Inoxidable	1.5 HP cada una.
L-1,L-2	Torres de Aspersión, que sirven para lavar los gases antes que salgan a la atmósfera. Diámetro : 1.2 mt. Altura : 1.8 mt.	Acero al Carbono	

4.9 DISTRIBUCION DE PLANTA

La distribución de planta propuesta se ha realizado, de acuerdo al proceso de producción y considerando determinadas áreas para el almacenamiento de materias primas y producto terminado. La capacidad de almacenamiento está fijada para 15 días de producción y 15 días de ventas respectivamente.

En la disposición de los equipos se ha dejado suficiente espacio para el control de los mismos y observando las medidas de seguridad que debe satisfacer toda planta industrial productora de fertilizantes.

Se ha considerado un área específica para la instalación de los grupos electrógenos de la central eléctrica.

Se ha preferido el flujo por gravedad de lodo formado en los reactores, por lo cual estos serán colocados sobre plataformas, como es el caso del granulador y el secador.

Es decir, se aprovechará el flujo por gravedad, en las etapas del proceso donde no exista posibilidad de estancamiento o pérdida de continuidad.

La planta contará además con suficiente área para el mantenimiento de los equipos y para una futura expansión de ser requerida.

En la Figura 4.6 se muestra la distribución de planta propuesta.

CAPITULO V

INVERSION Y FINANCIAMIENTO

5.1 INVERSION TOTAL DE CAPITAL

Para todo proceso, la inversión total consiste en las inversiones de capital fijo más el capital de trabajo. Las inversiones de capital fijo incluyen los costos directos e indirectos para la compra e instalación de equipos y servicios, así como las demás instalaciones de la planta.

El capital de trabajo está conformado por el dinero que debe estar disponible para mantener un inventario adecuado de materias primas y productos terminados, y para disponer de dinero efectivo ante cualquier contingencia.

5.1.1 Inversión de Capital Fijo

Para estimar la inversión de capital fijo, se actualizará la inversión requerida para una planta de superfosfato triple granulado similar a la propuesta y situada en Bayóvar.

Se utilizara la relación : (36)

$$\frac{ICF (2)}{ICF (1)} = \left(\frac{CAP 2}{CAP 1} \right)^{0.65} = \left(\frac{I_2}{I_1} \right)$$

Donde :

ICF= Inversión de Capital Fijo.

CAP= Capacidad de Planta.

I = Indice de Costos.

1 = Año Base.

2 = 1992

Los índices utilizados son los índices de costos publicados por la Chemical Engineering a Junio de 1992 (37).

a. Actualizando desde 1980 según la ONUDI :
(38).

Para una planta de superfosfato triple granulado de 165,000 TM/año, la inversión de capital fijo es de 4.95 MM US\$ para el año 1980.

$$ICF(1992) = 4.95 \text{ MMUS\$} \times \left(\frac{79,200}{165,000} \right)^{0.65} \left(\frac{358.9}{234.0} \right)$$

$$ICF(1992) = 4.7 \text{ MMUS\$}$$

b. Basándose en un estudio realizado por MINERO-PERU en Junio de 1992 (39) se estima la inversión de capital fijo en 8.3 MMUS\$ para una planta de superfosfato triple granulado, cuya capacidad sería de 150,000 TM/año.

$$ICF(1992) = 8.3 \text{ MMUS\$} \times \left(\frac{79,200}{150,000} \right)$$

$$ICF(1992) = 4.4 \text{ MMUS\$}$$

De acuerdo a lo anterior, la inversión de capital fijo se estima en 4.4 MMUS\$ a junio de 1992.

Esta inversión se compone de los costos directos e indirectos, como se muestra en el Cuadro 5.1, calculados en base al método de estimación de costos, dado por Peters y Timmerhaus para plantas nuevas (40).

CUADRO 5.1

INVERSION DE CAPITAL FIJO

COMPONENTE	MONTO MUS\$
<u>COSTOS DIRECTOS</u>	
Equipo Adquirido	1012.00
Instalación del Equipo Adquirido	396.00
Instrumentación y Controles (instalados)	132.00
Cañerías y Tuberías (instaladas)	396.00
Instalaciones Eléctricas (colocadas)	88.00
Obras Civiles (incluyendo servicios)	308.00
Mejoras del Terreno	220.00
Instalaciones de Servicios (montados)	484.00
Terreno	44.00
TOTAL COSTOS DIRECTOS	3080.00
<u>COSTOS INDIRECTOS</u>	
Ingeniería y Supervisión	440.00
Gastos de Construcción	352.00
Honorarios del Contratista	132.00
Eventuales	396.00
TOTAL DE COSTOS INDIRECTOS	1320.00
INVERSION DE CAPITAL FIJO	4400.00

5.1.2 Capital de Trabajo

El Capital de Trabajo para la planta está formado por la cantidad total de dinero invertido en :

- (1) Materias primas y abastecimientos que se mantienen en depósito para 15 días de producción.
- (2) Productos terminados en depósito, para 15 días de venta.
- (3) Cuentas por cobrar correspondientes a 10 días de ventas.
- (4) Dinero en efectivo para el pago mensual de los gastos operativos, como salarios, jornales y compra de materias primas; y
- (5) Cuentas por pagar correspondientes a 15 días de materia prima.

El capital de trabajo se estima como el 16% de la Inversión Total de Capital, en base a los criterios de estimación proporcionados por Peters y Timmerhaus (41).

Por lo tanto el monto para capital de trabajo es de 838 MUS\$.

5.1.3 Inversión Total de Capital

Como se mencionó, la inversión total de capital está compuesta por la inversión de capital fijo más el capital de trabajo estimados anteriormente

INVERSION TOTAL DE CAPITAL

COMPONENTE	MONTO, MUS \$
Inversión de Capital Fijo	4,400.00
Capital de Trabajo	838.00
INVERSION TOTAL DE CAPITAL	5,238.00

5.2 FINANCIAMIENTO

El financiamiento de los proyectos a gran escala en los países en desarrollo, como es el caso del Perú, es siempre un problema difícil. Sin embargo, un proyecto viable y bien estructurado de fertilizantes, atraerá al capital necesario de fuentes de financiamiento privadas u oficiales.

Si bien existe en el país capital privado, generalmente es necesario recurrir al financiamiento externo, por lo cual los inversionistas deben tener ciertas garantías para su inversión, en un ambiente político y económico que reduzca al mínimo el riesgo.

Por otro lado, el Grupo Andino, entre sus acuerdos para el desarrollo industrial y tecnológico de la subregión, ha considerado el contar con instituciones financieras propias, a fin de evitar que se dejen de realizar proyectos debido a la falta de recursos económicos.

La Corporación Andina de Fomento (CAF), con sede

en Caracas, es el brazo financiero de la subregión. Tiene un capital de 450 millones de dólares y sus préstamos superan los mil millones. Esta entidad otorga prioridad al financiamiento de proyectos de integración entre los países del Grupo Andino y a los de ámbito nacional provenientes de los sectores productivos, tales como : industrias de manufactura y de bienes de capital, agroindustria, minería e hidrocarburos, cuyo objetivos sean principalmente la generación de exportaciones y/o la sustitución de importaciones de terceros países, en condiciones de eficiencia económica.

El Fondo Andino de Reservas (FAR), con sede en Bogotá, administra en forma conjunta parte de las reservas monetarias de los países miembros. Su capital es de 400 millones de dólares, sus activos superan los 600 millones y sus préstamos los 2000 millones (42). Esta entidad apoya a los países miembros en sus políticas financieras, a fin de facilitar la integración subregional.

Es decir, para poder concretar un proyecto de tal magnitud e importancia para el aumento de la productividad grícola del país, es imprescindible sustentar la factibilidad del mismo, para lograr así obtener financiamiento de las fuentes antes mencionadas.

Para el presente estudio se considera como fuente de financiamiento a la Corporación Andina de Fomento

(CAF), a la cual se le solicitará un préstamo que cubra el 60% de la Inversión Total de Capital.

Las condiciones del préstamo serían las siguientes:

Fuente de Financiamiento : Corporación Andina de Fomento

Monto del Préstamo : 60% de la Inversión Total de Capital, correspondiente a 3,143 MUS \$.

Interés : 12.5% en moneda extranjera (\$)

Período de Amortización : 7 años

Período de Gracia : 1 año

El 40% de la inversión será con capital propio.

5.3 COSTOS DE PRODUCCION

Para la evaluación de los Costos de Producción, se ha tomado las siguientes consideraciones:

1. Según los datos reunidos en la etapa de Estudio de Mercado, se ha podido observar que el precio de la roca fosfórica fluctúa alrededor de 45 \$/TM, con una tasa de crecimiento media anual de aproximadamente el 1%, durante un período de 10 años.
2. El precio del ácido fosfórico grado fertilizante ha sufrido ligeras variaciones durante la última década, dando una tasa de crecimiento media anual del 1%, que será utilizada para calcular el precio de compra.

Para calcular el Costo de Producción Unitario del superfosfato triple granulado, se ha tomado los costos directos, como el costo de la materia prima y mano de obra directa.

Los costos indirectos, constituidos por los costos de mantenimiento, seguros y otros, se han calculado como un porcentaje de la Inversión de Capital Fijo, según :

Los Costos de Mantenimiento son el 4% de la Inversión de Capital Fijo.

Los Costos de Seguros y otros son el 2% de la Inversión de Capital Fijo.

Se considera que los Costos Variables son el 10% de los Ingresos por Ventas.

En el cuadro 5.2 se detallan los Costos de Producción, calculados bajo las consideraciones anteriores.

CAPITULO VI

EVALUACION ECONOMICA Y FINANCIERA

Se considera la evaluación económica y financiera del proyecto, debido a que la posibilidad de financiarlo exclusivamente con recursos de fuente local es limitada. Es decir, la probabilidad de solicitar un préstamo a una entidad financiera, como es el caso de la Corporación Andina de Fomento (CAF) es bastante alta.

6.1 EVALUACION ECONOMICA

La Evaluación Económica del proyecto proporciona datos concretos sobre la rentabilidad del mismo.

Para ello se requiere evaluar los requerimientos para la producción del superfosfato triple, lo que constituye los costos de producción.

Como se ha realizado anteriormente el estudio de mercado, se puede elaborar ya un programa de ventas.

Ambos datos son la base para la elaboración del estado de pérdidas y ganancias del flujo de caja y del balance general proyectados para la planta propuesta.

Para realizar los cálculos respectivos se ha tomado las siguientes consideraciones :

Los gastos administrativos representan el 1% de

los ingresos por ventas.

Los gastos de ventas son el 0.5% de los ingresos por ventas.

El impuesto a la renta es el 35% de la renta neta.

La reserva legal constituye el 10% de la utilidad neta.

La utilidad retenida se considera el 1% de la utilidad neta.

La depreciación se calcula por el método lineal.

La inversión total de capital es de 8,829 MU\$, sin incluir el costo del terreno.

En los cuadros 6.1, 6.2, 6.3, se muestra el programa de producción y requerimientos, el valor de ventas y el capital de trabajo, estimado bajo las consideraciones anteriormente indicadas.

En base a estas estimaciones se elabora el estado de perdidas y ganancias, el flujo caja y el balance general proyectados para la planta propuesta, para un período de operación de 15 años, Ver cuadro 6.4, 6.5 y 6.6.

Con estos cuadros se obtiene el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR), los cuales son medidas de la rentabilidad y factibilidad del proyecto.

Se obtiene el siguiente resultado :

EVALUACION ECONOMICA

VAN = 7.815 MMUS \$ del año 0.

TIR = 0.227

6.2 EVALUACION FINANCIERA

Como se mencionó anteriormente, será necesario solicitar un préstamo para el financiamiento del proyecto. Se ha fijado financiar a través de la Corporación Andina de Fomento el 60% de la Inversión Total de Capital, pagando un interés del 12.5% en moneda extranjera (\$), durante un período de 7 años y con un período de gracia de 1 año.

Bajo estas nuevas condiciones financieras se evalúa nuevamente la rentabilidad del proyecto, calculando el valor actual neto y la tasa interna de retorno.

Se ha elaborado el servicio de la deuda para un período de pago de 7 años, el estado de pérdidas y ganancias, el flujo de caja y el balance general proyectados, tal como se muestra en los cuadros 6.7, 6.8, 6.9. y 6.10.

En base a estos cuadros se obtiene :

EVALUACION FINANCIERA

Financiamiento : 60% de la Inversión Total de Capital.

$VAN = 8.503 \text{ MMUS\$ del año } 0$

$TIR = 0.264$

No obstante, para tener mayor certeza de la factibilidad del proyecto se evalúa la rentabilidad del mismo, a diferentes porcentajes de financiamiento de la inversión total de capital.

En el cuadro 6.11 se puede observar la variación del valor actual neto y de la tasa interna de retorno respectivamente en función de los diferentes niveles de financiamiento (porcentaje de financiamiento).

CUADRO 6.7
SERVICIO DE LA DEUDA
(MMUS\$/AÑO)

INTERESES : 12.5%
INFLACION : 6%

AÑOS	0	1	2	3	4	5	6	7
MONEDA CORRIENTE								
PRESTAMO	3.116	0.445	0.445	0.445	0.445	0.445	0.445	0.445
AMORTIZACION	0.000							
SALDO A FINANCIAR	3.116	2.671	2.226	1.781	1.336	0.890	0.445	0.000
INTERESES	0.000	0.390	0.334	0.278	0.223	0.167	0.111	0.056
MONEDA CONSTANTE DE								
AÑO 0								
PRESTAMO	3.116	0.420	0.396	0.374	0.353	0.333	0.314	0.296
AMORTIZACION	0.000							
SALDO A FINANCIAR	3.116	2.520	1.981	1.495	1.058	0.665	0.314	0.000
INTERESES	0.000	0.368	0.297	0.234	0.176	0.125	0.078	0.037

6.3 PERIODO DE RECUPERO

El periodo de recuperación de la inversión es el mínimo tiempo teóricamente necesario, para recuperar la inversión inicial de capital, en forma de flujo de fondos producidos por el proyecto, basados en los ingresos totales menos todos los costos con excepción de la depreciación.

Por este método, para determinar el tiempo de recuperación de la Inversión Inicial de Capital, se considera sólo la inversión depreciable, de Capital Fijo. Entonces :

$$VAN = \sum_{i=1}^P \frac{FNF_i}{(1 + COK)^i} = ICF$$

Donde :

ICF = Inversión de Capital Fijo.

P = Período de recuperó.

COK = Tasa de corte = 12.5%

De la Evaluación Económica y Financiera se obtiene el siguiente resultado:

EVALUACION ECONOMICA Período de Recuperó = 13 años

EVALUACION FINANCIERA : Período de Recuperó = 12.5 años

6.4 CONCLUSION

Después de haber realizado la evaluación económica y financiera del proyecto, se llega a las siguientes conclusiones:

1. El proyecto para la instalación de un planta de

superfosfato triple granulado es rentable.

2. De la Evaluación Económica resulta un valor actual neto de 7.815 MMU\$ del año 0, con una tasa interna de retorno del 22.7%.
3. De la evaluación financiera se obtiene un valor actual neto de 8.503 MMU\$ del año 0, con una tasa interna de retorno del 26.4%. Es decir la rentabilidad del proyecto aumenta con el financiamiento externo.
4. El período de recupero de la Inversión de Capital Fijo es bastante largo, y disminuye con el nivel de financiamiento externo.

CAPITULO VII

ORGANIZACION Y ADMINISTRACION

Si bien, la planta de superfosfato triple granulado podría formar parte de un gran complejo industrial para la producción de fertilizantes fosfatados, se considera en este estudio como una planta independiente constituida con capital privado. Se hace esta consideración en base a la actual situación de la empresa estatal MINERO-PERU, la cual se encuentra en proceso de privatización.

Por lo tanto, se plantea una empresa cuyos órganos principales y directivos están constituidos por el Directorio y la Gerencia.

La empresa contará además con las siguientes divisiones :

La Administración que será la encargada de prestar el apoyo administrativo directamente relacionado con la Gerencia de Producción y con la Gerencia de Comercialización.

El Departamento de Finanzas, elaborará un sistema para el control de las ventas y para el control y disponibilidad de inventarios y productos, de modo que los cambios por pérdidas sean comunicados rápidamente para la mejor dirección financiera de la empresa.

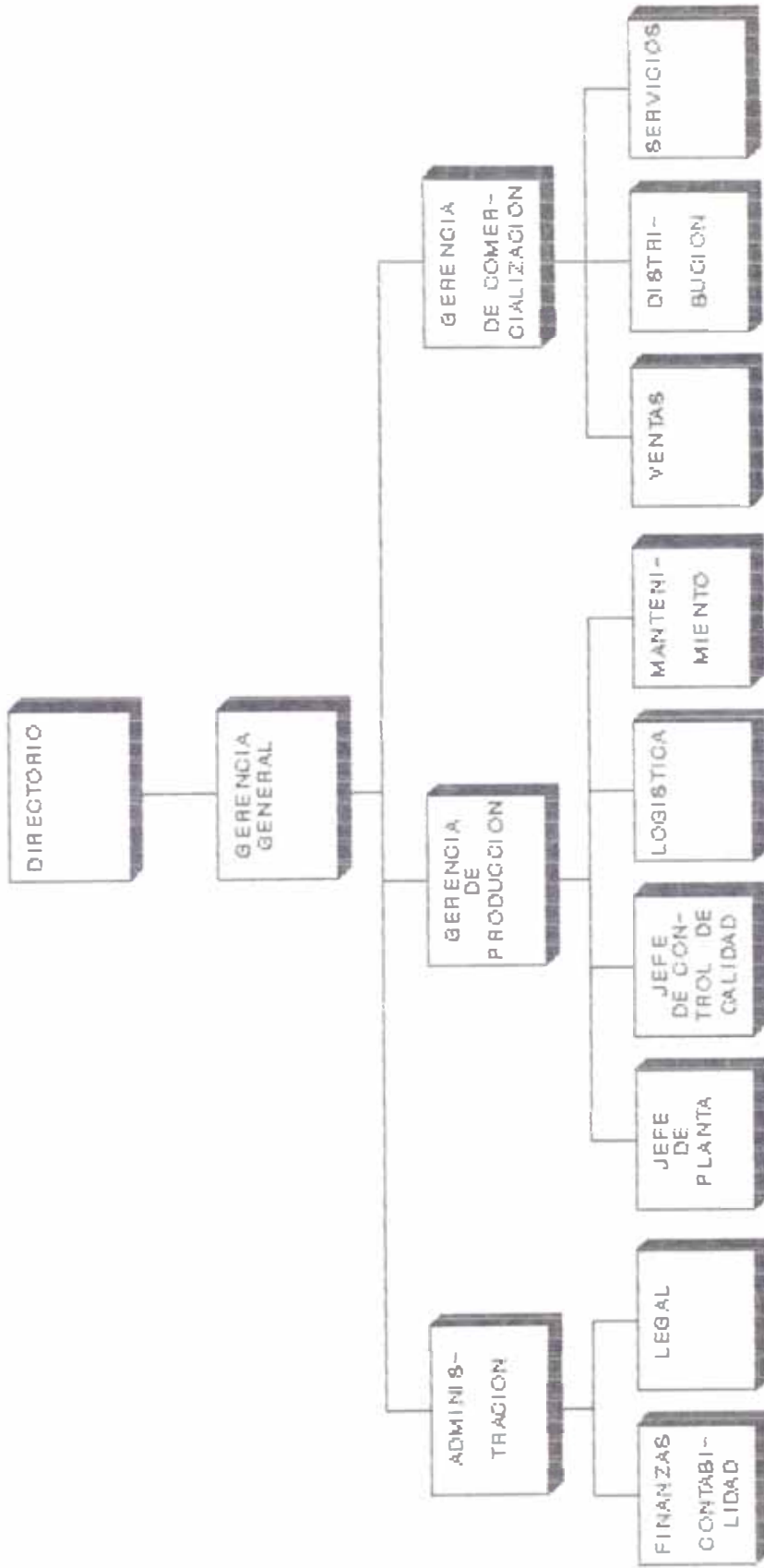
La Gerencia de Producción tendrá la dirección y

supervisión del proceso de producción, del control de calidad, de logística y del mantenimiento de la planta.

La Gerencia de Comercialización, será la encargada de las ventas y distribución a nivel nacional y regional, así como también prestará servicios que faciliten al consumidor la adquisición del fertilizante.

En la Figura 7.1 se muestra el organigrama propuesto.

FIGURA 7.1
ORGANIZACION



BIBLIOGRAFIA

1. Marzo 1986. Principales Tendencias de la Industria de los Fertilizantes en los Países en Desarrollo para el año 2000. ADIFAL. Vol. VIII Nro. 14. Pág. 2
2. Jacob A., Von Uexkull, H. Nutrición y Abonado de los Cultivos Tropicales y Subtropicales. H. & Zonen, Wageningen. 1961.
3. Villagarcía H., Sven, Zapata, F. Manual de Uso de Fertilizantes. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. 1985. Págs. 40-42.
4. Catálogo de Normas Técnicas Nacionales y Metrológicas. Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas ITINTEC, Lima. 1990.
5. Normas Bolivianas 1982. Dirección General de Normas y Tecnología. Ministerio de Industria, Comercio y Turismo.
6. Catálogo de Normas Técnicas Colombianas. Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC. 1988.
7. Catálogo de Normas Ecuatorianas. Centro de Información y Documentación Industrial, Quito. 1992.
8. Catálogo de Normas Venezolanas COVENIN. 1984.
9. Compendio Estadístico 1990-91. Instituto Nacional de Estadística e Informática, Lima. 1991. Tomo I, Pág. 670 - 672.

10. La Industria Química en los Países Andinos 1985. Comité de la Industria Química de la Sociedad Nacional de Industrias, Lima. 1986. Pág. 366,367.
11. La Industria Química en el Area Andina 1990. Comité de la Industria Química de la Sociedad Nacional de Industrias, Lima. 1991. Pág. 280.
12. Allgood John H. International Fertilizer Development Center, Alabama. 1987. Pág. 37.
13. Compendio Estadístico del Grupo Andino 1980-1987. Junta del Acuerdo de Cartagena, Lima. 1989. Pág. 33-37.
14. Inventario y Evaluación de los Recursos Naturales de la Zona del Complejo de Bayóvar. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales ONERN-Organismo de Desarrollo del Complejo de BAYóvar ODECOB, Lima. 1977. Pág. 99.
15. La Industria Química en el Area Andina 1990. Comité de la Industria Química de la Sociedad Nacional de Industrias, Lima. 1991. Pág. 93.
16. Webb, Richard, Fernandez Baca, Graciela. Perú en Números 1992 - Anuario Estadístico. Quanto S.A., Lima. 1992. Pág 661.
17. Inventario y Evaluación de los Recursos Naturales de la Zona del Complejo de Bayóvar. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales ONERN-Organismo de Desarrollo del Complejo de BAYóvar ODECOB, Lima. 1977. Pág. 89.

18. La Industria Química en el Area Andina. Comité Químico de la Sociedad Nacional de Industrias, Lima. 1972. Pág. 487.
19. Sauchelli, Vincent. Química y Tecnología de los Fertilizantes. Compañía Editorial Continental S.A. 1966. Pág. 218
20. Proyecto Bayóvar-Programa Nacional de Fertilizantes- Estudio de Pre-Factibilidad, Etapa I. Minero Perú, Lima 1975. Pág. S-3.
21. Proyecto Bayovar Area I. Explotación de Roca Fosfórica 600,000 TMA. Gerencia Central de Proyectos Minero Perú, Lima. 1992.
22. Sauchelli, Vincent. Química y Tecnología de los Fertilizantes. Compañía Editorial Continental S.A. 1966. Pág. 235-243.
23. Kirk, Raymond E., Othmer, Donald F. Enciclopedia de Tecnología Química Tomo VII. Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana, México. 1962. Pág. 982.
24. Proyecto Bayóvar-Programa Nacional de Fertilizantes- Estudio de Pre-Factibilidad, Etapa I. Minero Perú, Lima 1975. Pág. H-15.
25. Kirk, Raymond E., Othmer, Donald F. Enciclopedia de Tecnología Química Tomo VII. Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana, México. 1962. Pág. 983.
26. Proyecto Bayóvar-Programa Nacional de Fertilizantes- Estudio de Pre-Factibilidad, Etapa I. Minero Perú, Lima 1975. Pág. G-33.

27. Kirk, Raymond E., Othmer, Donald F. Enciclopedia de Tecnología Química Tomo VII. Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana, México. 1962. Pág. 964.
28. Sauchelli, Vincent. Química y Tecnología de los Fertilizantes. Compañía Editorial Continental S.A. 1966. Pág. 131-133.
29. Perry Robert. Biblioteca del Ingeniero Químico. Mc. Graw Hill. 5ta. Edición. Mexico. 1986. Tomo V, Pág. 19-10, 19-11.
30. IBID.
31. Perry, John. Manual del Ingeniero Químico. Editorial Uteha, 3era edición, México. 1968. Pág. 1859.
32. Perry Robert. Biblioteca del Ingeniero Químico. Mc. Graw Hill. 5ta. Edición. Mexico. 1986. Tomo III, Pág. 8-72, 8-73.
33. Sauchelli, Vincent. Química y Tecnología de los Fertilizantes. Compañía Editorial Continental S.A. 1966. Pág. 584.
34. Perry, John. Manual del Ingeniero Químico. Editorial Uteha, 3era edición, México. 1968. Pág. 1239-1262.
35. Foust Alan S. Principios de Operaciones Unitarias. Editorial Continental S.A., 14a Edición Mexico. 1982.
36. Abril, 1990. Estimate Costs Of Scaled-Up Process Plants. Pág. 138.
37. Agosto, 1992. Economic Indicators. Chemical Engineering. Pág. 170.

38. Tecnologías de Procesos para la Fabricación de Fertilizantes Fosfatados. Serie "Desarrollo y Transferencia de Tecnología" Número 8. Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 1980.
39. Proyecto Bayóvar Area I. Explotación de Roca Fosfórica 600,000 TMA. Gerencia Central de Proyectos Minero Perú, Lima. 1992.
40. Peters M. Timmerhaus K. Diseño de Plantas y su Evaluación Económica para Ingenieros Quimicos. Editorial Geminis, Buenos Aires. 1978.
41. IBID. Pág. 141.
42. Octubre 1982. Pacto Andino : La Gran Oportunidad. Revista Peruana de Comercio Internacional. Pág. 17-19.
43. Villagarcía H., Sven, Zapata, F. Manual de Uso de Fertilizantes. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. 1985. Págs. 6-10.
44. Tecnologías de Procesos para la Fabricación de Fertilizantes Fosfatados. Serie "Desarrollo y Transferencia de Tecnología" Número 8. Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 1980. Pág. 7-11.
45. Perry Robert. Biblioteca del Ingeniero Quimico. Mc. Graw Hill. 5ta. Edición. Mexico. 1986. Tomo III, Pág. 7-15.
46. Kirk, Raymond E., Othmer, Donald F. Enciclopedia de Tecnología Química Tomo VII. Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana, México. 1962. Pág. 588.

47. IBID. Pág. 568.
48. Perry Robert. Biblioteca del Ingeniero Químico. Mc. Graw Hill. 5ta. Edición. Mexico. 1986. Tomo III, Pág. 7-5.
49. Ludwig, Ernest. Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants, Vol. I. Gulf Publishing Company, Houston. 1964.
50. Kirk, Raymond E., Othmer, Donald F. Enciclopedia de Tecnología Química Tomo VII. Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana, México. 1962. Pág. 574-576.
51. IBID.