



UNIVERSIDAD NACIONAL
"PEDRO RUIZ GALLO"
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

**"PROYECTO DE PREFACTIBILIDAD PARA
INSTALAR UNA PLANTA DE ACIDO FOSFORICO
A PARTIR DE ROCA FOSFATADA"**

TESIS

**PARA OPTAR EL TITULO DE:
INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTADO POR:

Bach. MENDOZA HERNÁNDEZ LEONARDO ANTONY
Bach. VEGA ALIAGA HARBIN CELSO

ASESOR:

Ing. MSc. HUANGAL SCHEINER SEBASTIAN

LAMBAYEQUE - PERÚ

2015



**UNIVERSIDAD NACIONAL
PEDRO RUIZ GALLO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“PROYECTO DE PREFACTIBILIDAD PARA
INSTALAR UNA PLANTA DE ACIDO FOSFORICO
A PARTIR DE ROCA FOSFATADA”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR:

**Bach. MENDOZA HERNÁNDEZ LEONARDO ANTONY
Bach. VEGA ALIAGA HARBIN CELSO**

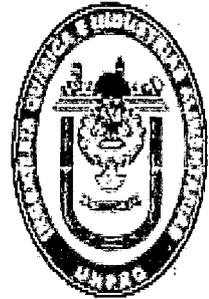
ASESOR:

Ing. MSc. HUANGAL SCHEINER SEBASTIAN

**LAMBAYEQUE – PERÚ
2015**



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“PROYECTO DE PREFACTIBILIDAD PARA INSTALAR
UNA PLANTA DE ACIDO FOSFORICO A PARTIR DE
ROCA FOSFATADA”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUIMICO

PRESENTADO POR:

Bach. MENDOZA HERNÁNDEZ LEONARDO ANTONY

Bach. VEGA ALIAGA HARBIN CELSO

APROBADO POR:

Ing. MSc. Ruben Sachun Garcia
PRESIDENTE

Ing. MSc. Juan Carlos Díaz Visitación
SECRETARIO

Ing. MSc. Jaime Cieza Sanchez
VOCAL

Ing. MSc. Huangal Scheineder Sebastian
ASESOR

Dedicatoria

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitido el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis padres **MENDOZA CAICEDO WILLIAM** y **HERNANDEZ MONTAÑO MAGALY**, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación, siendo el soporte necesario para mi formación profesional con principios y valores depositando en mí su entera confianza.

Leonardo Antony

A Dios porque siempre me cuidó y ayudó en momentos difíciles, este gran logro se lo dedicó a él.

A mi madre **ALIAGA VIDARTE DORIS VIOLETA** quien creyó en mí, me brindo su amor y apoyo constante sin importar lo difícil de la situación, me inculco grandes virtudes y me otorgo sabios consejos, es mi fortaleza y gran motivación para seguir adelante. Este logro es suyo.

Harbin Celso

Agradecimiento

En primer lugar doy infinitamente gracias a **DIOS** por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A mis padres quienes **MENDOZA CAICEDO WILLIAM** y **HERNANDEZ MONTAÑO MAGALY** a lo largo de toda mi vida han apoyado y motivado mi formación académica, creyeron en mí en todo momento.

A la **UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO** y a su **FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**, que nos acogió por cinco años y ahora nos devuelve al mundo convertidos en **INGENIEROS QUIMICOS**.

Al **Ing. MSc. HUANGAL SCHEINER SEBASTIAN**, Asesor de nuestra Tesis quien con su vasta experiencia en la docencia universitaria nos guio en el desarrollo de la presente tesis.

Leonardo Antony

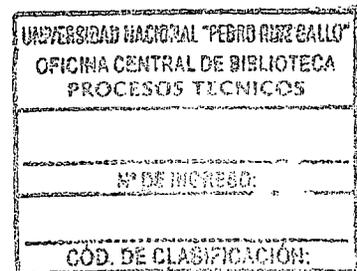
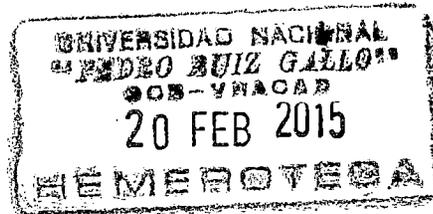
Agradezco infinitamente a **DIOS** por cuidarme, por la salud que me brinda, por escucharme siempre y por permitir lograr este objetivo.

A mi madre **ALIAGA VIDARTE DORIS VIOLETA** gracias por haberme apoyado siempre, por su comprensión, esfuerzo y apoyo incondicional porque si no fuera por ella no hubiese sido posible este triunfo.

A la **UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO** y a su **FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**, que nos acogió por cinco años y ahora nos devuelve al mundo convertidos en **INGENIEROS QUIMICOS**.

Al **Ing. MSc. HUANGAL SCHEINER SEBASTIAN**, Asesor de nuestra Tesis quien con su vasta experiencia en la docencia universitaria nos guio en el desarrollo de la presente tesis.

Harbin Celso



INDICE

DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTO.....	5
RESUMEN.....	9
ABSTRACT.....	10
INTRODUCCIÓN.....	11
I. ESTUDIO DE MERCADO.....	13
1.1. DEFINICIÓN DEL PRODUCTO: ÁCIDO FOSFÓRICO.....	13
1.2. MATERIA PRIMA: ROCA FOSFÓRICA.....	25
1.3. ANÁLISIS DEL MERCADO.....	34
1.4. INFLUENCIA DE LOS INDICADORES ECONOMICOS.....	41
1.5. TAMAÑO DE LA PLANTA.....	47
1.6. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE MERCADO.....	49
II. INGENIERÍA DE PROYECTO.....	50
2.1. UBICACIÓN DE LA PLANTA.....	50
2.2. SELECCIÓN Y DISEÑO DEL PROCESO.....	58
2.3. SELECCIÓN DEL PROCESO.....	72
2.4. DISEÑO DEL PROCESO.....	76
2.5. DIAGRAMA DE FLUJO.....	81
2.6. DIAGRAMA DE BLOQUES.....	82
2.7. BALANCE DE MATERIALES.....	83
2.8. PRINCIPALES EQUIPOS DE PROCESO.....	84
2.9. IMPACTO AMBIENTAL.....	86
III. ESTUDIO ECONÓMICO.....	87
3.1. ESTIMACIÓN DE LA INVERSIÓN DEL PROYECTO.....	87
3.2. ESTIMACIÓN DEL COSTO DE FABRICACIÓN (CTF).....	89
3.3. ANÁLISIS DEL PROYECTO DE INVERSIÓN.....	93

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	98
4.1. CONCLUSIONES.....	98
4.2. RECOMENDACIONES.....	99
V. BIBLIOGRAFIA.....	100
LINKOGRAFÍA.....	102
APÉNDICE	103

RESUMEN

Se realizó el estudio a nivel de pre-factibilidad de la instalación de una planta de producción de ácido fosfórico a partir de la roca fosfatada que se encuentra en los yacimientos de Bayovar.

En la primera parte del estudio (Capítulo III) se realizó el estudio de mercado para lo cual se evaluó las condiciones de uso como insumo industrial tanto del ácido fosfórico grado alimenticio, como del ácido fosfórico grado técnico. Se determinó que la gran cantidad de ácido fosfórico que se utiliza en el Perú, la mayoría se abastece con importaciones de distintos países extranjeros. Las proyecciones indican que se necesitara cerca de 50000 toneladas por lo que la planta se ha fijado en 30000 toneladas al año.

En el Capítulo IV se realizó el estudio técnico del proyecto, seleccionando el mejor proceso para la producción de ácido fosfórico. El proceso seleccionado en base a su simplicidad y rendimiento fue el proceso dihidrato donde se utilizara como reactivo principal el ácido sulfúrico concentrado. Se procesara 3.75 toneladas pro hora de producto para lo cual se necesitará 6.7 ton/h de roca fosfatada.

En el Capítulo V se realizó el estudio Económico. Se estableció que la inversión total del proyecto será de 15'249,080 dólares. El costo de producción será de 281.88 dólares la tonelada. A precio ligeramente menor que el mercado se obtuvo una tasa de retorno sobre la inversión de 59.6%, un periodo de recuperación del dinero de 2.87 años.

La conclusión final es que el proyecto es factible desde el punto de vista de mercado, técnico y económicamente, por lo que se recomienda su instalación.

ABSTRACT

The study was conducted at the pre-feasibility of installing a production of phosphoric acid from phosphate rock found in deposits Bayovar.

In the first part of the study (Chapter III) market research for which the conditions of use as an industrial input both alimentico grade phosphoric acid, as technical grade phosphoric acid was evaluated was performed. It was determined that the large amount of phosphoric acid used in Peru, most import is supplied with various foreign countries. Projections indicate that nearly 50,000 tons at the plant has been set at 30,000 tonnes per year is needed.

In Chapter IV the technical study of the project was carried out selecting the best process for the production of phosphoric acid. The process selected based on their simplicity and performance was process where di-hydrate is used as the principal reactant concentrated sulfuric acid. 3.75 tonnes will be processed when pro product which will require 6.7 ton / h of phosphate rock.

Chapter V Economic study. It was established that the total investment of the project is \$ 15'249,080. The production cost will be \$ 281.88 per ton. A slightly lower price than the market rate of return on investment of 59.6%, a payback period of 2.87 years money was obtained.

The final conclusion is that the project is feasible from the point of view of market, technical and economically, so installation is recommended.

INTRODUCCIÓN

Nuestro país es bien conocido por la disponibilidad de materias primas industriales que son exportadas a otros países donde son procesadas y se vuelva a comprar como productos elaborados para consumo interno.

Una de esos materiales son las rocas fosfatadas que es una materia prima esencial para producir ácido fosfórico. Actualmente las rocas fosfatadas se utilizan solo para formulación en abonos para la agricultura para abastecer de fósforo a las plantas.

Hace muchos años se conoce que en los yacimientos de Bayóvar, región de Piura, tenemos reservas probadas de 428 millones de TM y 1353 millones de TM en reservas de base de roca fosfórica. Pero el potencial del Perú no se limita a Bayóvar. Una reciente publicación de Latin Pacific Business News refiere que existen reservas probadas en Mantaro, región Junín, que podría ser el mayor depósito de ese mineral en el Perú (El Peruano, 1 de julio 2013).

Según información de la SUNAT, nuestro país es un importador de ácido fosfórico. Actualmente se importa más de 15 millones de kilogramos por año lo que representa una salida de divisas de aproximadamente 20 millones de dólares. Esto sin contar con la importación de algunos derivados fosfóricos que también se importan y que podrían elaborar en nuestro país si se produjera ácido fosfórico. Según los Anuarios publicados por la SUNAT sobre las importaciones, nuestro país compra ácido fosfórico principalmente a China, Brasil y México; siendo Brasil un país de destino de las rocas fosfatadas de Bayóvar.

El ácido fosfórico es muy utilizado en nuestro país. Es ingrediente indispensable en la fabricación de aguas gaseosas, un mercado de alto consumo y en crecimiento. También se utiliza como pegamento de prótesis dentales, como catalizador en metales inoxidables, y para preparar fosfatos que se utilizan en ablandadores de agua, fertilizantes y detergentes (QuimiNet.com, 2011).

Existen varios procesos de obtención de ácido fosfórico a partir de la roca fosfatada. Un primer método es por vía seca utilizando un arco eléctrico

con el cual se obtiene ácido fosfórico de alta pureza. Por vía húmeda existen varios sub-métodos: proceso dihidrato, proceso hemihidrato, proceso anhidrita, y proceso de arco eléctrico (UNAD, 2013).

El método a seleccionar dependerá de diferentes factores técnicos que se tendrán que analizar en el desarrollo del proyecto (Baca U.; 2011).

Teniendo reservas probadas de rocas fosfóricas, un mercado consumidor de ácido fosfórico y derivados, tecnología de producción de ácido fosfórico ampliamente conocida, proponemos realizar este proyecto de pre-factibilidad para instalar una planta de ácido fosfórico para darle valor agregado a las rocas fosfatadas y evitar la salida de divisas por las importaciones de ácido fosfórico.

I. ESTUDIO DE MERCADO.

1.1. DEFINICIÓN DEL PRODUCTO: ÁCIDO FOSFÓRICO.

1.1.1. Definición.

Es un compuesto químico de fórmula H_3PO_4 , es un ácido que constituye la fuente de compuestos de importancia industrial llamados fosfatos. También se le denomina ácido orto fosfórico y ácido de fósforo blanco. Es el aditivo alimentario E338 y se cuenta entre las diez sustancias químicas que se producen industrialmente en mayor cantidad (**POLAR**).

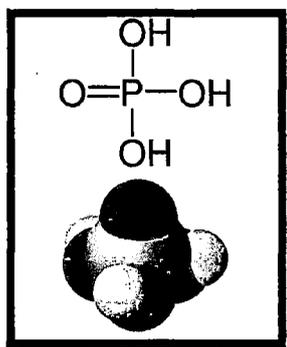


Figura N° 01: Modelo molecular de Ácido fosfórico
Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido_fosf%C3%B3rico

El fósforo es un elemento fundamental para la vida, y, en diferentes formas, se encuentra presente en mayor o menor proporción en prácticamente todos los alimentos. El ácido fosfórico se encuentra como tal en algunos frutos. Es también un producto de la industria química, obtenido en enormes cantidades para diversos usos incluido el alimentario.

Existen dos presentaciones del ácido fosfórico: grado alimenticio y grado técnico.

Ácido fosfórico grado alimenticio

Parámetro	Límite inferior	Límite superior
Ácido fosfórico (como H ₃ PO ₄), % w/w	85,0	.....
Equivalente (como P ₂ O ₅), % w/w	61,56	....
Fluoruros (F), µg/g	...	10,0
Cadmio (Cd), µg/g	....	3,0
Arsénico (As), µg/g	....	3,0
Plomo (Pb), µg/g	....	3,0
Color, U. Apha	....	15
Aspecto	Líquido	
Color	Sin color	
Tiempo de vida	1 año a partir de la fecha de producción	

Fuente: Quimex S.A., 2014.

Propiedades:

- Densidad: 1.573 a 1.693 g/cm³
- Punto de ebullición: 135 a 158°C
- Apariencia: líquido siruposo, claro e incoloro, sin olor
- Corrosivo y fuertemente higroscópico. Muy soluble en agua.
- Presentación: bidones de PVC x 50 kg
- Usos: acidulante en las bebidas refrescantes (colas), en la refinación del azúcar, agente saborizante ácido en mermeladas y jaleas, ingrediente en la masa de pan y la harina de pastel, producción de requesón, etc.

Ácido fosfórico grado técnico

Parámetro	Límite inferior	Límite superior
Ácido fosfórico (como H ₃ PO ₄), % w/w	83,5	.....
Equivalente (como P ₂ O ₅), % w/w	60,5	....
Fluoruros (F), µg/g	...	1100
Sulfatos (SO ₄), µg/g	....	0,60
Hierro (Fe), µg/g	....	50,0
Cloruros (Cl), µg/g	....	25,0
Metales pesados (Pb)	....	30,0
Color, %T	65	...
Aspecto	Líquido	
Color	Incoloro	
Tiempo de vida	2 años a partir de la fecha de producción	

Fuente: Quimex S.A., 2014.

Propiedades:

- Densidad: 1.573 a 1.693 g/cm³
- Punto de ebullición: 135 a 158°C
- Apariencia: líquido verde, ámbar o incoloro
- Corrosivo y fuertemente higroscópico. Muy soluble en agua.
- Presentación: bidones de PVC x 50 kg
- Usos: diversas aplicaciones en la industria (celulosa, textil, caucho, detergentes, lubricantes, anticongelantes, cerámicas, etc.). En la metalurgia se emplea para la limpieza de metales, flotación de minerales y en diversos procesos hidrometalúrgicos. En la industria farmacéutica se usa en la preparación de ácidos nucleicos, antibióticos, etc.

i. Propiedades Físicas.

El ácido fosfórico, en su forma cristalina, es un sólido puro, inodoro, de color blanco. En su forma líquida el ácido fosfórico es transparente, incoloro y viscoso. La presión de vapor depende de la temperatura y la concentración.

A temperatura ambiente se encuentra predominantemente como aerosol, aunque se pueden apreciar vapores a temperaturas superiores. Existen muchas formas condensadas del ácido fosfórico [Ej: $H_4P_2O_7$, $H_5P_3O_{10}$ Y $(HPO_3)_n$] aumentando la posibilidad de una concentración en exceso de 100% de H_3PO_4 . En adelante, la concentración de ácido fosfórico se expresará en términos de su contenido en P_2O_5 . Las propiedades físicas se resumen en el Cuadro 3.1.

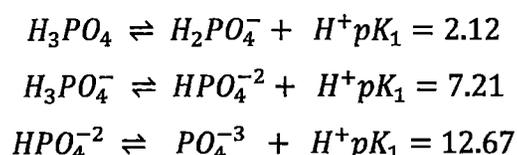
ii. Propiedades Químicas.

El anión asociado con el ácido fosfórico se llama ion fosfato, muy importante en la biología. Normalmente, el ácido fosfórico se almacena y distribuye en disolución.

El ácido fosfórico puro es fuertemente higroscópico y muy soluble en agua suele presentarse en forma de disolución siruposa, generalmente con un 83 a un 98% de H_3PO_4 . Comercialmente suele servirse al 85%. Recién fundido presenta una gran conductividad iónica, probablemente debido al proceso:



En condiciones normales y hasta 350°C, no es un oxidante fuerte, pero a temperaturas mayores de 400°C se hace muy reactivo frente a los metales y frente al cuarzo. Es un ácido medianamente fuerte de tal modo que a 25°C:



Cuadro N° 01
Propiedades físicas del ácido fosfórico

Generalidades	
Nombre (IUPAC) sistemático	Ácido tetraoxofosfórico (V)
Otros nombres	Ácido ortofosfórico
	Tetraoxofosfato (V) de hidrógeno
Fórmula semidesarrollada	H ₃ PO ₄
Fórmula estructural	Ver imagen
Propiedades físicas	
Estado de agregación	Líquido
Densidad	1685 kg/m ³ ; 1,685 g/cm ³
Masa molar	98.00 g/mol
Punto de fusión	315 K (41,85 °C)
Punto de ebullición	431 K (158 °C)
Valores en el SI y en condiciones normales (0 °C y 1 atm), salvo que se indique lo contrario.	

Fuente: Innophos, 2013.

Debido a la disociación triprótica del ácido ortofosfórico, el hecho de que sus bases conjugadas (los fosfatos mencionados anteriormente) cubren un amplio rango de pH, y, porque el ácido fosfórico/soluciones de fosfato son, en general, no tóxico, las mezclas de estos tipos de fosfatos se utilizan a menudo como agentes amortiguadores o para hacer soluciones tampón, donde el pH deseado depende de las proporciones de los fosfatos en las mezclas. Ver Cuadro N° 02

Cuadro N° 02
pH de soluciones de ácido fosfórico respecto a la concentración
de ácido presente.

[A] (mol/L)	pH	[H ₃ PO ₄]/[A] (%)	[H ₂ PO ₄ ⁻]/[A] (%)	[HPO ₄ ²⁻]/[A] (%)	[PO ₄ ³⁻]/[A] (%)
1	1.08	91.7	8.29	6.20×10 ⁻⁵	1.60×10 ⁻¹⁷
10 ⁻¹	1.62	76.1	23.9	6.20×10 ⁻⁵	5.55×10 ⁻¹⁶
10 ⁻²	2.25	43.1	56.9	6.20×10 ⁻⁴	2.33×10 ⁻¹⁴
10 ⁻³	3.05	10.6	89.3	6.20×10 ⁻³	1.48×10 ⁻¹²
10 ⁻⁴	4.01	1.30	98.6	6.19×10 ⁻²	1.34×10 ⁻¹⁰
10 ⁻⁵	5.00	0.133	99.3	0.612	1.30×10 ⁻⁸
10 ⁻⁶	5.97	1.34×10 ⁻²	94.5	5.50	1.11×10 ⁻⁶
10 ⁻⁷	6.74	1.80×10 ⁻³	74.5	25.5	3.02×10 ⁻⁵
10 ⁻¹⁰	7.00	8.24×10 ⁻⁴	61.7	38.3	8.18×10 ⁻⁵

Fuente: Bates, 2003.

El ácido fosfórico puro está constituido por grupos tetraédricos PO₄⁻³ unidos intermolecularmente mediante puentes de hidrógeno. Estos puentes de hidrógeno siguen existiendo en las disoluciones acuosas concentradas y son las responsables del aspecto siruposo de las mismas. Cuando las disoluciones acuosas son más diluidas la unión entre el fosfato y el agua es más fuerte que la unión entre fosfatos. Esto podría variar en el caso de disoluciones de fosfatos diácidos, monoácidos y tribásicos.

El ácido fosfórico es muy comúnmente utilizado como un solución acuosa al 85% de ácido fosfórico. Debido a que es un ácido concentrado, una solución de 85% puede ser corrosivo, aunque no tóxico cuando se diluye. Debido al alto porcentaje de ácido fosfórico en este reactivo, por lo menos algo del ácido ortofosfórico se condensa en ácidos polifosfóricos en un equilibrio dependiente de la temperatura, pero, en aras de la simplicidad y el etiquetado, el 85% representa H₃PO₄ como si fuera todo el ácido ortofosfórico.

Cuadro N° 03
Propiedades químicas del Ácido fosfórico

Propiedades químicas	
Acidez (pKa)	2.12, 7.21, 12.67
pH	1 aprox. (sol. 1 gr/L)
Solubilidad en agua	Miscible
Valores en el SI y en condiciones normales (0 °C y 1 atm), salvo que se indique lo contrario.	

Fuente: Innophos, 2013.

iii. Riesgos y peligros.

Esta sustancia puede ser peligrosa para el ambiente; por lo cual debería prestarse atención especial al agua y al aire. La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosiva por ingestión. La inhalación del vapor puede originar edema pulmonar y la exposición prolongada puede producir la muerte. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata.

La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión; la evaporación de esta sustancia a 20°C no se alcanza, o se alcanza sólo muy lentamente.

No verter nunca agua sobre esta sustancia; cuando se deba disolver o diluir, añadir muy lentamente el ácido al agua mezclando continuamente.

La sustancia polimeriza violentamente bajo la influencia de compuestos azo, epóxidos y otros compuestos polimerizables. Por combustión, formación de humos tóxicos (óxidos de fósforo). La sustancia se descompone en contacto con metales, alcoholes, aldehídos, cianuros, cetonas, fenoles, ésteres, sulfuros, halogenados orgánicos, produciendo humos tóxicos. La sustancia es moderadamente ácida. Ataca a los metales formando gas inflamable de hidrógeno.

Cuadro N° 04
Riesgos y peligros del Ácido Fosfórico

Peligrosidad			
Riesgo	Peligro	Prevención	Actuación
Incendio	No combustible. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes. En contacto con metales produce gas de hidrógeno el cual forma mezclas inflamables con el aire.	No poner en contacto con metales, aldehídos, cianidas, mercaptanos y sulfuros.	En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
Explosión			En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
Exposición	Evitar todo contacto		
Inhalación	Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria, jadeo, dolor de garganta, pérdida del conocimiento.	Ventilación.	Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado y proporcionar asistencia médica. Respiración artificial si estuviera indicada.
Piel	Enrojecimiento, dolor, ampollas.	Guantes protectores y traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y proporcionar asistencia médica
Ojos	Enrojecimiento, dolor, visión borrosa, quemaduras profundas graves.	Gafas ajustadas de seguridad o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.

Ingestión	Calambres abdominales, sensación de quemazón, confusión, dificultad respiratoria, dolor de garganta, pérdida del conocimiento, debilidad.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca, NO provocar el vómito, guardar reposo y proporcionar asistencia médica.
Derrames y fugas			Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente, neutralizar cuidadosamente el residuo, recoger cuidadosamente el residuo y trasladarlo a continuación a un lugar seguro. (Protección personal adicional: equipo autónomo de respiración).
Almacenamiento		Separado de alimentos y piensos, metales, alcoholes, aldehídos, ésteres, fenoles, cetonas, sulfuros, cianuros, peróxidos orgánicos. Mantener en lugar fresco, seco y bien ventilado.	

Fuente: http://www.bedri.es/Libreta_de_apuntes/A/AC/Acido_fosforico.htm

iv. Toxicidad del anión fosfato.

El anión fosfato es un componente esencial del cuerpo humano, normalmente se ingieren entre 1g y 2g de fósforo por persona al día. La exposición laboral al ácido fosfórico no contribuye de manera significativa a la cantidad total de fósforo en el organismo. Los peligros asociados con la exposición a ácido fosfórico

dependen fundamentalmente de su carácter ácido, y la toxicidad está íntimamente relacionada con la concentración. El ácido fosfórico concentrado es corrosivo y en cantidades menores es irritante para la piel, los ojos y las membranas mucosas de la cavidad oral, respiratoria y el tracto gastrointestinal.

Hay una ausencia de datos sobre los efectos que produce la inhalación de ácido fosfórico (mayor que para el pentóxido de fósforo) que nos permita determinar con mayor precisión el nivel umbral de irritación o una evaluación de los efectos que produce una exposición prolongada a bajas concentraciones de dicho ácido.

Estudios realizados por Rushing con el pentóxido de fósforo dieron los siguientes resultados:

A concentraciones de 0,8 - 5,4 mg/m³ su presencia es perceptible pero no produce incomodidad; concentraciones comprendidas entre 3,6 mg/m³ y 11,3 mg/m³ provocan tos entre los trabajadores que no están aclimatados, pero se puede tolerar. Concentraciones de 100 mg/m³ son insoportables excepto para los trabajadores que están acostumbrados.

El pentóxido de fósforo (P₂O₅) es un agente deshidratante que reacciona con la humedad, de forma exotérmica, transformándose en ácido fosfórico. Como genera calor y deseca los tejidos, es lógico pensar que provoca un daño mayor en los tejidos que el ácido fosfórico. Por esta razón aplicar los efectos que produce el pentóxido de fósforo al ácido fosfórico puede suponer una sobrestimación de los peligros del ácido, pero por otra parte podemos asegurar un margen adecuado de seguridad.

v. **Obtención.**

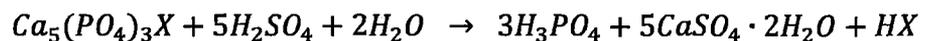
El ácido fosfórico se puede preparar por tres rutas: la de procesos térmicos, el proceso húmedo y lo seco del horno de proceso.

A. Ácido fosfórico térmico.

Este ácido fosfórico muy puro se obtiene por combustión de fósforo elemental para producir anhídrido fosfórico y disolver el producto en solución diluida de ácido fosfórico. Esto produce un ácido fosfórico de alta pureza, ya que la mayoría de las impurezas presentes en la roca se han eliminado en la extracción de fósforo de la roca en un horno. El resultado final es de calidad, sin embargo, para aplicaciones críticas, el tratamiento adicional para eliminar los compuestos de arsénico puede ser necesario.

B. Ácido fosfórico por vía húmeda.

El ácido fosfórico se prepara añadiendo ácido sulfúrico a la roca fosfórica tricálcica, por lo general se encuentran en la naturaleza como apatita. La reacción es:



Donde X puede incluir OH, F, Cl, y el H.

La solución inicial puede contener ácido fosfórico P_2O_5 23-33%, pero puede ser concentrado por la evaporación de agua para producir ácido fosfórico de grado comercial, que contiene alrededor del 54% de P_2O_5 .

La digestión del mineral de fosfato utilizando ácido sulfúrico produce el sulfato de calcio insoluble (yeso), que se filtra y se elimina como fosfoyeso. El proceso se puede mejorar para purificar el ácido fosfórico mediante la remoción de flúor, o por extracción con disolventes y la eliminación de arsénico para producir ácido fosfórico de grado alimentario.



C. Ácido fosfórico en Horno

Este proceso es la tecnología más reciente (. Llamada la "Mejora de Proceso duro", esta tecnología no solo permitirá que las reservas de bajo grado de roca fosfórica, sea comercialmente viable y aumentará la recuperación de P_2O_5 existentes en las reservas de fosfatos.

vi.

Usos.

El ácido fosfórico tiene diversos usos (HSDB, 1995). En la industria manufacturera, es un producto químico intermedio o reactivo en la producción de numerosos fertilizantes agrícolas fosfatados, alimentos, ceras, abrillantadores, jabones y detergentes. Se agrega a los alimentos como conservante, agente de acidificación, potenciador del sabor, y agente clarificador. El ácido fosfórico se utiliza también en procesos como la coagulación de látex de caucho, electropulido, estabilización del suelo, y como catalizador en la producción de propileno y polímeros de buteno, etilbenceno y cumeno. Con mucho, el mayor uso de ácido fosfórico se presenta en la producción de fertilizantes (80-85%).

vii.

Fosfatos.

Son productos formados por la sustitución de parte o todo el hidrógeno del ácido fosfórico por metales. Según el número de átomos de hidrógeno sustituidos, el compuesto obtenido se define como fosfato primario, secundario o terciario. Así, NaH_2PO_4 , con un átomo de hidrógeno sustituido, se denomina fosfato primario de sodio (también dihidrogenofosfato de sodio), y Na_3PO_4 , con tres átomos de hidrógeno sustituidos, fosfato terciario de sodio, también conocido como fosfato de sodio, se usa como detergente y ablandador del agua. Los fosfatos primarios y secundarios contienen hidrógeno y son sales ácidas. Los fosfatos secundarios

y terciarios son insolubles en agua, a excepción de los de sodio, potasio y amonio; los primarios son más solubles.

Los fosfatos son importantes para el metabolismo de animales y plantas. Los huesos contienen fosfato de calcio, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, y el primer paso en la oxidación de la glucosa en el cuerpo es la formación de un éster de fosfato. Para aportar fosfatos al ganado, se usa el hidrogenofosfato de calcio hidratado, $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, como suplemento alimenticio. El fosfato primario de calcio, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, se emplea como ingrediente en fertilizantes para plantas.

En los últimos tiempos se ha incrementado la preocupación por los efectos medioambientales perjudiciales de los fosfatos contenidos en los detergentes domésticos. Los detergentes que contienen fosfatos contribuyen a la contaminación del agua, ya que son un medio nutriente para las algas. Si crecieran en exceso, dificultarían la vida acuática de lagos y ríos por la falta del oxígeno.

1.2. MATERIA PRIMA: ROCA FOSFÓRICA.

1.2.1. Definición.

Se denomina roca fosfórica, a las unidades litológicas y compuestos químicos que presentan alta concentración de minerales fosfatados por procesos naturales, usualmente de la serie apatito – francolita, es también el producto obtenido de la extracción de una mina y del procesamiento subsiguiente de los minerales fosfatados. (Camacho J., 2002).

Sedimentos o rocas con menos del 10% volumétricamente de fosfatos, reciben la denominación de fosfático, pero si el porcentaje de P_2O_5 es superior al 20% recibe el nombre de fosforita.

1.2.2. Composición.

En un depósito mineral, el contenido de fosfato, se expresa como porcentaje de pentóxido de fósforo (P_2O_5), el cual es un indicativo de la pureza del mismo. Los depósitos de roca fosfórica más importantes son de origen sedimentario (UPME, 2005), seguidos por complejos ígneos alcalinos ricos en apatito $[Ca_5(F,Cl,OH)(PO_4)_3]$, que representan una mezcla entre el fluoroapatito $[Ca_5(F)(PO_4)_3]$, hidroxiapatito $[Ca_5(OH)(PO_4)_3]$ y cloroapatito $[Ca_5(Cl)(PO_4)_3]$.

La composición química de los primeros dos minerales es de 55,5 % CaO , 42,3 % P_2O_5 y 53,8% CaO , 41 % P_2O_5 y 6.8 % Cl respectivamente. El apatito de flúor es el más difundido en la naturaleza, el cual se encuentra en las rocas ácidas, mientras que el apatito con cloruro, aparece en las rocas básicas.

En su estructura cristalina con frecuencia pueden detectarse pequeñas cantidades de magnesio (Mg), hierro (Fe), manganeso (Mn) y en ocasiones elementos del grupo Cerio.

El fosfato natural, siempre contiene pequeñas cantidades de flúor (F), el cual puede ser recuperado, al pasar los gases resultantes de la acidulación, por una unidad de remoción y lavado de gases. Allí el tetrafloruro de silicio (SiF_4), se transforma en ácido fluorsilícico, y con la adición de sodio o calcio, permite obtener las correspondientes sales finales de fluorsilicatos. Las sales de flúor encuentran un gran campo de aplicación en la elaboración de productos dentales y morteros anti-ácidos en la industria de la construcción. De esta forma, los fosfatos calcinados y acidulados pueden ser purificados en su contenido de flúor (F), y ser utilizados como suplemento en la alimentación animal (IMC-Agrico, 2001).

En los últimos tiempos, la recuperación de ciertos productos secundarios del proceso de preparación de fertilizantes, permite aprovechar menas más pobres que las requeridas para la

producción exclusiva de los superfosfatos, como por ejemplo la sílice producto de la deflorinación.

1.2.3. Clasificación de las rocas fosfóricas.

Las rocas fosfóricas (UPME, 2005) se dividen en dos grupos importantes: las que albergan menas con apatito (rocas ígneas y metamórficas), y las que acumulan las menas sedimentarias llamadas fosforitas, principalmente como francolita y colofanita.

Entre las menas industriales de apatito, se conocen dos grandes grupos: las menas apatíticas propiamente dichas, y las menas complejas con contenidos elevados de apatito.

La fosforita, por otra parte se define como una formación sedimentaria compuesta por diferentes minerales (cuarzo, glaucomita, calcita, materiales arcillosos) y fosfatos, representados fundamentalmente por fluorapatito o minerales cercanos a él. Los fosfatos están representados por la variedad microcristalina denominada francolita y la criptocristalina colofanita. El contenido de P_2O_5 varía de 3 a 36%.

1.2.4. Textura.

Las texturas de las fosforitas son variables, pero las de más amplia distribución son las concrecionarias (0.05 - 5 cm, a veces 10 - 35 cm en cada concreción), granulares, bioclásticas y masivas (microgranulares). Las fosforitas concrecionarias, yacen en areniscas, arcillas, conglomerados, margas, calizas y otras rocas sedimentarias. Pueden estar diseminadas en estas rocas o formando concentraciones de intensidad variable. Por su composición, los minerales no fosfatados son concreciones arcillosas, glauconíticas o arenosas, el contenido de P_2O_5 en las concreciones varía entre 12 - 35%.

Las fosforitas granulares son rocas sedimentarias con pequeños oolitos cementados, junto con otras partes de cemento ferro – arcilloso o calcáreo, son también areniscas fosfatadas, raramente calizas o margas, a veces no están cementadas y se presentan como arenas fosfáticas.

Generalmente las impurezas en estas fosforitas son el cuarzo, la glauconita y las arcillas. Las fosforitas bioclásticas se agrupan frecuentemente con las granulares en un solo grupo y oolitos, se localizan conchas y braquiópodos, por ejemplo *Obolus* (hasta 80% de $\text{Ca}_3\text{P}_2\text{O}_8$) y *Lingula* (91.47% de $\text{Ca}_3\text{P}_2\text{O}_8$). Estas menas con contenidos mayores de 5% de P_2O_5 , son industriales, ya que su enriquecimiento es viable.

Las fosforitas masivas microgranulares, llamadas a veces “en forma de capa”, son rocas de colores variados, bajo el microscopio se observa que ellas están compuestas por pequeños oolitos o granos microscópicos de composición fosfatada, cementadas por material fosfático - carbonatado o fosfato –silíceo. Es necesario señalar que en estas fosforitas, tanto el mineral cementado, como el cementante, son fosfáticos, y por eso su contenido de P_2O_5 es alto, alcanzando 26–28% e incluso más. El contenido de $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ en las rocas fosfóricas no debe ser mayor del 2.0–2.5% y el de Sílice (SiO_2) de 8-15% para su uso industrial.

1.2.5. Usos.

Las rocas fosfóricas pueden ser utilizadas, ya sea como materia prima para la fabricación industrial de fertilizantes (fosfatos totalmente solubles en agua o parcialmente acidulados), el apatito de la fosforita, constituye también la materia prima para la producción de fósforo elemental, ácido fosfórico y otras sales fosfóricas que se utilizan en las industrias químicas, azucarera y

alimentaria, así como en la metalurgia, medicina, fotografía y otras ramas de la industria.

Las especificaciones técnicas para las menas apatíticas y las fosforitas son variables (FAO, 2007), de modo que una mena apatítica con menor de 33% de P_2O_5 no serviría para la producción de superfosfatos, pero sería adecuada para la obtención de termofosfatos, ácido fosfórico (AF), rocas fosfóricas parcialmente aciduladas (RFPA) y nitrofosfatos.

Una de las principales propiedades de la roca fosfórica para uso agrícola es su reactividad, la cual determina la tasa de disolución del fósforo en el suelo, para su medición se utilizan diferentes medios acuosos (ácido cítrico al 2%, ácido fórmico al 2% y solución neutra de citrato de amonio) como medio de extracción de contenido de P del mineral (FAO, 2007; IFDC, 1995).

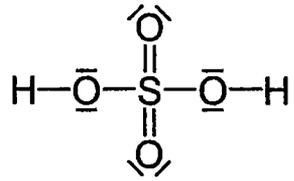
Los yacimientos de fosfatos de Bayóvar están estratégicamente enclavados en la Cuenca del Pacífico, específicamente en la costa norte del Perú en el Desierto de Sechura, con reservas potenciales de 10,000 millones de TM de roca fosfórica y con reservas probadas de más de 400 millones de TM, calculadas como concentrado de 30.5% de P_2O_5 . Por su cercanía al mar, estos yacimientos tienen un fácil acceso a los países de la Cuenca del Pacífico, donde actualmente la importación de roca fosfórica supera los 23 millones de TM.

Los fosfatos de Bayóvar, calificados como el mejor y más eficaz fertilizante del mundo, fueron descubiertos en el siglo pasado, pero es a partir de 1955 que se empiezan a explotar con fines industriales y representa uno de los yacimientos más grandes del mundo, siendo su geología y reservas muy conocidas. Los análisis y pruebas químicas realizadas por un gran número de especialistas independientes en estos últimos 35 años, han demostrado que las características generales de los concentrados de roca fosfórica a ser obtenidos de los depósitos de Bayóvar, son

comparables con los ofrecidos actualmente por Florida, Marruecos, Jordania, Nauru y otros y muy adecuados para producir fertilizantes de valor agregado como el Superfosfato Triple y Fosfato de Diamonio.

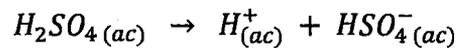
1.2.6. Ácido Sulfúrico.

El ácido sulfúrico es un insumo importante en la producción de ácido fosfórico a partir de roca fosfatada. El ácido sulfúrico, de fórmula H_2SO_4 (óleum: H_2SO_4 con SO_3 en solución),



a temperatura ambiente es un líquido corrosivo, es más pesado que el agua e incoloro (a temperatura y presión ambiente). El óleum tiene un olor picante y penetrante. Esta es la sustancia más importante de la industria química mundial. Sus nombres químicos son ácido sulfúrico y ácido sulfúrico fumante. También es llamado aceite de vitriolo, espíritu de vitriolo, licor de vitriolo o tetraoxosulfato (VI) de hidrógeno, ácido de baterías y ácido de fertilizantes.

El ácido sulfúrico es un ácido diprótico, ya que cada unidad de ácido produce dos iones H en dos etapas independientes:



1.2.6.1. Propiedades físicas.

Cuadro N° 05
Propiedades físicas del Ácido sulfúrico

Datos Físicos	
Apariencia, olor y estado físico	Líquido aceitoso incoloro o café. Inodoro, pero concentrado es sofocante e higroscópico.
Gravedad específica (agua=1)	1.84 (98%); 1.4 (50%)
Punto de ebullición (°C)	274 (100%); 280 (95%)
Punto de fusión (°C)	3 (98%); -64 (65%)
Densidad relativa del vapor (aire=1)	3.4
Presión de vapor (mmHg)	Menor a 0.3 /25°C; 1.0 /38°C
Viscosidad (cp)	21 / 25°C
pH	0.3 (solución acuosa 1 N)
Solubilidad	Soluble en agua y alcohol etílico (descompone en este último)

Fuente: IPCS, 2000.

1.2.6.2. Reactividad.

Además de atacar muchos metales, el ácido sulfúrico concentrado es fuerte agente oxidante y puede dar lugar a la ignición (inicio de explosión) al entrar en contacto con materia orgánica y compuestos tales como nitratos, carburos, cloratos, etc. También reacciona de forma exotérmica con el agua; tiene mayor desprendimiento de calor cuando la proporción es de dos moléculas de agua por molécula de ácido sulfúrico, alcanzando una temperatura de 158°C

(316°F). Presenta una gran afinidad por el agua, debido a lo cual, produce deshidratación de los compuestos orgánicos a veces tan fuerte que llega a carbonizarlos.

El ácido sulfúrico puede contener ciertas cantidades de anhídrido sulfúrico libre y en estas condiciones se conoce como óleum, el cual presenta un aspecto nebuloso; sus vapores son irritantes, de olor penetrante y tóxico.

1.2.6.3. Corrosividad.

Es un líquido altamente corrosivo, particularmente en concentraciones bajo 77,67%, corroe los metales, con excepción del oro, iridio y rodio, dando lugar al desprendimiento de hidrógeno.

1.2.6.4. Propiedades químicas.

El ácido sulfúrico es un ácido fuerte, es decir, en disolución acuosa se disocia fácilmente en iones de hidrogeno (H^+) e iones sulfato (SO_4^{2-}) y puede cristalizar diversos hidratos, especialmente ácido glacial $H_2SO_4 \cdot H_2O$ (monohidrato). Cada molécula produce dos iones H^+ , o sea, que el ácido sulfúrico es dibásico. Sus disoluciones diluidas muestran todas las características de los ácidos: tienen sabor amargo, conducen la electricidad, neutralizan los álcalis y corroen los metales activos desprendiéndose gas hidrógeno. A partir del ácido sulfúrico se pueden preparar sales que contienen el grupo sulfato SO_4 , y sales ácidas que contienen el grupo hidrógeno sulfato, HSO_4 .

El ácido sulfúrico concentrado, llamado antiguamente aceite de vitriolo, es un importante agente desecante. Actúa tan vigorosamente en este aspecto que extrae el agua, y por lo tanto carboniza, la madera, el algodón, el azúcar y el papel.

Debido a estas propiedades desecantes, se usa para fabricar éter, nitroglicerina y tintes. Cuando se calienta, el ácido sulfúrico concentrado se comporta como un agente oxidante capaz, por ejemplo, de disolver metales tan poco reactivos como el cobre, el mercurio y el plomo, produciendo el sulfato del metal, dióxido de azufre y agua.

Cuadro N° 06
Propiedades químicas del Ácido sulfúrico

Solubilidad en agua	Miscible
Kps	n/d
$\Delta_f H^\circ_{\text{liquido}}$	-814 kJ/mol
$S^\circ_{\text{liquido, 1 bar}}$	19 J.mol ⁻¹ .K ⁻¹
Peligrosidad	

Fuente:http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%8acido_sulf%C3%8arico

Precios de Ácido Sulfúrico

El precio varia de 20 a 250 dolares por tonelada metrica de acido sulfurico concentrado. El precio promedio en Chile, uno de los grandes productores para el año 2013 fue de 98.5 dolares/ton. El Precio en el mismo año colocado en el Golfo de U.S.A. fue de 85 a 95 dolares la tonelada, y el precio colocado en el noroeste de Europa varia de 50 a 55 dolares la tonelada (FERTILIZERWEEK, 2013).

1.3. ANÁLISIS DEL MERCADO.

1.3.1. Análisis de la demanda.

1.3.1.1. Demanda histórica.

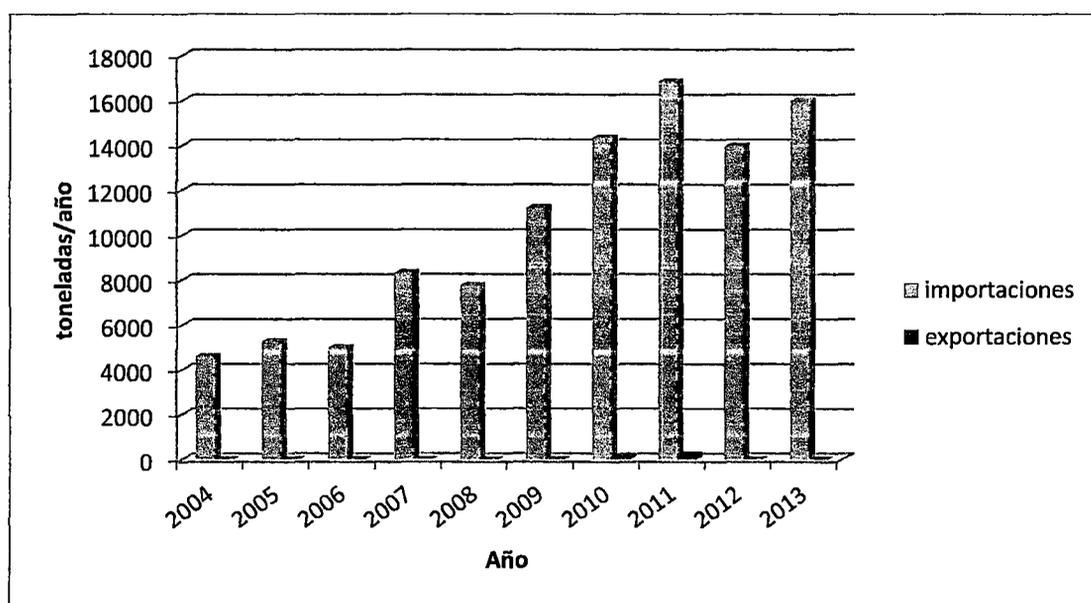
La demanda de ácido fosfórico ha venido incrementándose durante los diez últimos años y presenta una tendencia a continuar su consumo debido a su participación principalmente en la producción de fertilizantes.

En el transcurso de los años la actividad agropecuaria ha ido creciendo constantemente y en consecuencia el uso de fertilizantes fosfatados con el objeto de incrementar la productividad de los suelos ya sea para elevar la producción del sector agrícola, como para activar suelos pobres en nutrientes necesarios para las plantas. Casi en su totalidad, la demanda nacional de ácido fosfórico es compensada por importaciones debido a la ausencia de suficiente producción como para abarcar el consumo en el país. Entre las principales empresas que vienen importando ácido fosfórico están: DROKASA PERU S.A., MERCK PERUANA S.A, MAQUIMSA S.A, CORPORACION MISTI S.A, BRENNTAG PERU S.A, entre otros.

Después de muchos años de crecimiento sostenido, la demanda mundial de fertilizantes fosfatados disminuyó significativamente en 2009. La reducción de la demanda fue causada por el aumento tremendo de precio para el ácido fosfórico, lo que es más importante la disminución de la demanda de fertilizantes, pero el consumo también tuvo un impacto negativo en otras áreas de consumo. Además de los precios de materias primas, los precios de fertilizantes de fosfato fueron impulsados por la depreciación del dólar de EE.UU., y la restricción de China DAP/MAP y las exportaciones de roca fosfórica, como también por el aumento del precio del azufre, consecuentemente en el precio del ácido sulfúrico.

Aproximadamente un estimado de 80-85% del mercado mundial del ácido fosfórico es destinado a la industria de fertilizantes; el resto se consume en una variedad de aplicaciones industriales como desoxidación de acero, galvanización, materiales de construcción, fármacos, comestibles, cosméticos, etc.

Gráfico N° 01
Importaciones y exportaciones de Ácido Fosfórico por toneladas entre los años 2004 – 2013 en el Perú



Fuente: Elaborado por los Autores

1.3.1.2. Estimación de la demanda futura.

Para la Estimación de la Demanda de Ácido Fosfórico se realizó una proyección por diez años a futuro, para lo cual se calculó la demanda en los respectivos años (2014-2023) empleando la ecuación para el caso de insumos tomando como base el año 2023, encontrándose una demanda de **47095 Ton para el 2023** (año diez). Los cálculos se muestran el Apéndice A.

Tabla N° 01
Proyección a la demanda futura de Ácido Fosfórico en
toneladas para los años 2012 – 2021 en el Perú

DEMANDA FUTURA	
2014	33775.764
2015	35255.764
2016	36735.764
2017	38215.764
2018	39695.764
2019	41175.764
2020	42655.764
2021	44135.764
2022	45615.764
2023	47095.764

1.3.1.3. Demanda insatisfecha.

La determinación de la Demanda Insatisfecha se ha tomado como la demanda proyectada para el año 2023. Siendo así, se tiene una **demanda insatisfecha de 47095.764 Toneladas**. Los cálculos se muestran en el Apéndice.

1.3.2. Análisis de la oferta.

1.3.2.1. Tipo de oferta.

El mercado latinoamericano de Ácido fosfórico es abastecido por empresa de países como México, Brasil, Colombia y EEUU y a nivel mundial por países como Holanda, Alemania, Marruecos, etc.; y es de mercado predominantemente de libre comercio.

En el Perú la demanda de ácido fosfórico es provista por importaciones desde diferentes empresas productoras en el mundo y su mercado nacional presenta un tipo de oferta perteneciente a la de un Libre Mercado.

1.3.2.2. Productores nacionales.

En el Perú no hay presencia significativa de producción de ácido fosfórico, a esto se debe el abastecimiento del mercado por importaciones.

Cabe resaltar el desarrollo de proyectos industriales como Bayovar, el cual presenta gran potencial para suplir al mercado nacional de diferentes productos e insumos entre ellos el ácido fosfórico, pero hasta el momento se tienen información que las actividades a realizarse en Bayovar son orientadas a la producción de concentrados de roca fosfórica, lo cual se estaría exportando a Brasil para posteriores aplicaciones industriales.

1.3.2.3. Análisis de la competencia.

La presencia de competencia en el mercado de ácido fosfórico está promovida por las empresas productoras en el mundo, tales como:

- **SUDAMFOS S.A.:** Es una industria química argentina que contribuye a mejorar la calidad de vida, desarrollando, produciendo y comercializando insumos químicos tales como ácido fosfórico, y fosfatos para una amplia variedad de industrias. Los productos de Sudamfos S.A. son de alta calidad y pureza y satisfacen las más rigurosas especificaciones del mercado local e internacional, así como también aquellas especialmente desarrolladas por cada cliente

para sus respectivas aplicaciones en las distintas industrias. Produce Ácido Fosfórico (H_3PO_4) 79.5-80.5 %P/P.

Cuentan con la certificación de las Normas Internacionales ISO 14001 e ISO 9001 (versión 2000) respectivamente. Además de encontrarse finalizando el proceso de certificación la Norma OSHAS 18001.

- **FOSFOBRASIL:** Empresa controlada accionariamente por las empresas: ICL Brasil, Bunge Fertilizantes y Prayon Rupel. Produce ácido fosfórico purificado, empleando el proceso de extracción líquido-líquido desarrollado por Prayon (empresa belga que detenta la tecnología para la producción del ácido fosfórico y derivados), y ácido fosfórico de grado industrial con 59% P_2O_5 .
- **GRUPO POCHTECA:** Es una empresa 100% mexicana que resulta de la fusión en Marzo de 2006 de Tenedora Pochteca, S.A. de C.V con Dermet de México S.A.B. de C.V. cuenta con cuatro divisiones: químicos inorgánicos, solventes y recubrimientos, polímeros y alimentos. La empresa cuenta con 35 sucursales y 5 oficinas de venta en México, así como dos sucursales internacionales en Guatemala y Brasil. Produce Acido fosfórico destinado para obtención de fosfatos - Ingrediente en fragancias - Ajustador de pH - Catalizador en procesos de síntesis - Fertilizante.
- **MEXICHEM:** Es una empresa líder en la industria química y petroquímica global. Cuenta con más de 50 años de trayectoria en la industria y casi 30 de cotizar en la Bolsa de Valores de México. Hoy en día opera en 15 países, vinculando alrededor de 10,000

colaboradores. Sus productos se comercializan en todo el mundo y generan una facturación anual que supera los 3,000 millones de dólares. Es reconocida como proveedor de una gran variedad de materias primas, derivados y productos terminados. Empresa dedicada a la producción y comercialización de ácido fosfórico de grado alimenticio y técnico, fosfatos de sodio alimenticio y técnico y carbón activado liderando en México y con presencia en todo el continente americano.

- **DONGBU HANNONG CHEMICAL:** Industria agroquímica Coreana líder en numerosas categorías de productos, incluidos los agroquímicos, ácido nítrico y ácido fosfórico industrial.
- **TIANJIN RICH SOURCE CHEMICAL:** Es uno de los mayores fabricantes de productos químicos y exportadores en China, nuestros productos relacionados con materiales orgánicos e inorgánicos, pigmentos y colorantes, utilizado principalmente en la industria de revestimientos y pinturas, la industria del caucho, industria del cuero, etc., centrándose en el desarrollo del mercado en el extranjero, nuestros productos han sido vendidos al sudeste asiático, la Unión Europea, América del Sur, Oriente Medio, etc

Durante muchos años, la innovación, nuestras capacidades de producción avanzadas, método de inspección perfecto, excelente calidad de producto y buen servicio post-venta ha otorgado la reputación de alta de nuestros clientes en todo el mundo.

Estas y otras más empresas productoras abastecen gran parte de países sudamericanos entre ellos Perú.

1.3.3. Análisis del precio.

A. Tipo de precio.

El ácido fosfórico es un producto abastecido a nivel nacional por importaciones, por lo cual se determinará su precio de acuerdo a los precios CIF del insumo importado durante el 2013 que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N° 02
Valores CIF de importaciones de Ácido Fosfórico por país de origen durante el año 2013 en el Perú.

País de Origen	Valor CIF(dólares)	Peso Neto(Ton)	Porcentaje CIF
MX - MEXICO	10,172,736.96	11,102,740	68.30
CN - CHINA	3,187,151.97	3,310,781	21.40
KR - KOREA, REPUBLIC OF	979,112.45	1,092,190	6.57
BR - BRAZIL	483,145.80	466,400	3.24
US - UNITED STATES	20,448.78	20,425	0.14
AR - ARGENTINA	17,562.74	15,904	0.12
CH - SWITZERLAND	14,513.23	2,084	0.10
CL-CHILE	13,175.11	5136	0.09
DE - GERMANY	4,891.53	1470	0.03
ES - SPAIN	413.16	4355	0.00

Fuente: Registros de ADUANAS

B. Estimación del precio.

El precio estimado para el Ácido Fosfórico se ha determinado tomando en cuenta el promedio de precios CIF (en \$/Ton) de los 10 primeros países de los cuales se ha realizado mayores cantidades de importación en el año 2013, esto abarca desde importaciones de México con 11,102,740 Ton hasta España con 4355 Ton, los cuales figuran en la Tabla N° 3.3. Siendo así el precio estimado para el Ácido Fosfórico es de 1050 \$/Ton.

1.3.4. Análisis de la comercialización.

A. Canal de distribución.

El canal de distribución es la manera en la que el producto llega hasta el consumidor, y siendo el caso nuestro un producto insumo se plantea el siguiente canal de distribución:

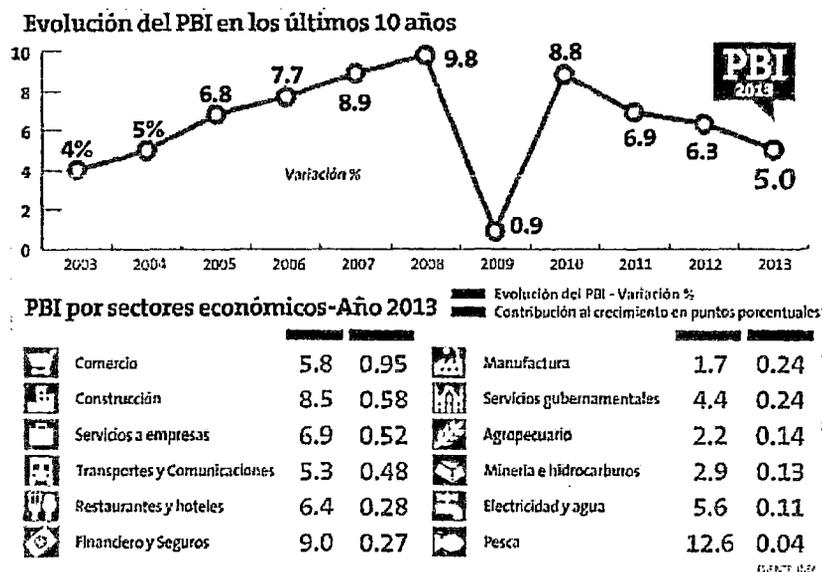


1.4. INFLUENCIA DE LOS INDICADORES ECONOMICOS.

1.4.1. Producto Bruto Interno, PBI.

El análisis de la serie histórica del PBI Trimestral, a precios constantes de 2002, nos permite observar que esta variable macroeconómica presenta un comportamiento positivo, desde el tercer trimestre de 2002 hasta el primer trimestre de 2013, con lo que acumula treinta y un trimestres consecutivos de crecimiento económico, luego por efectos de la crisis financiera internacional esta variable se tornó negativa en los dos trimestre posteriores, mostrando una recuperación a partir del último trimestre de 2013. Asimismo, es importante resaltar que a partir del cuarto trimestre de 2004 hasta el cuarto trimestre de 2008, el PBI registró tasas de crecimiento interanuales superiores a los cinco puntos porcentuales, respecto al mismo periodo del año anterior.

Gráfico N° 04: Evolución del PBI en los últimos 10 años - Perú



Fuente: Perú 21, febrero del 2014.

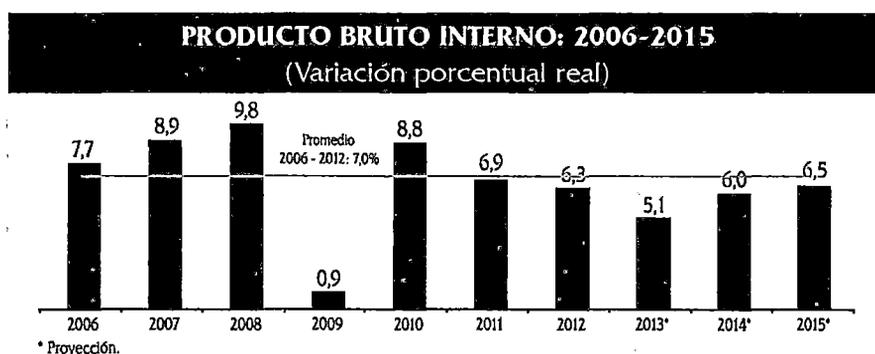
Si observamos en la serie, el comportamiento del PBI de cada uno de los segundos trimestres de los años anteriores, encontramos que en el periodo 2004_II creció 3,3%; en el 2005_II, sube en 6,8%; en el 2006_II, se incrementa en 6,2%; en el 2007_II, aumenta en 8,6%; alcanzando en el 2008 un incremento del 11,7% evidenciando la tasa más elevada de la serie desde el periodo 2002. En el presente trimestre, se actualizó cifras del primer trimestre de 2013. El producto bruto interno (PBI) peruano registró en enero un crecimiento de 3,63% con respecto al mismo mes del año anterior, en el cual tuvo un crecimiento de 3,1%.

Según INEI, la economía peruana sumó nueve meses de crecimiento consecutivo, tras las caídas de 2,08% de junio y 1,38% de julio del 2009, que fueron resultado del impacto de la crisis económica internacional.

El año pasado la economía peruana creció 1,1% en el contexto de la crisis, lo que representó un severo retroceso desde el 9,84% de expansión que logró en el 2008, y que se ubicó entre las tasas de crecimiento más altas del mundo.

El gobierno estima que en 2015 la economía crecerá 4.95%, mientras que el Fondo Monetario Internacional se muestra más optimista y pronostica una expansión de 6,5%. El aumento y la estabilización del PBI con el transcurso de los años harían un sistema económico confiable para la inversión y para el comercio nacional.

Gráfico N° 02
Proyección del Crecimiento del PBI entre los años 2006 – 2015
en el Perú



FUENTE: Banco Central de Reserva del Perú, 2013.

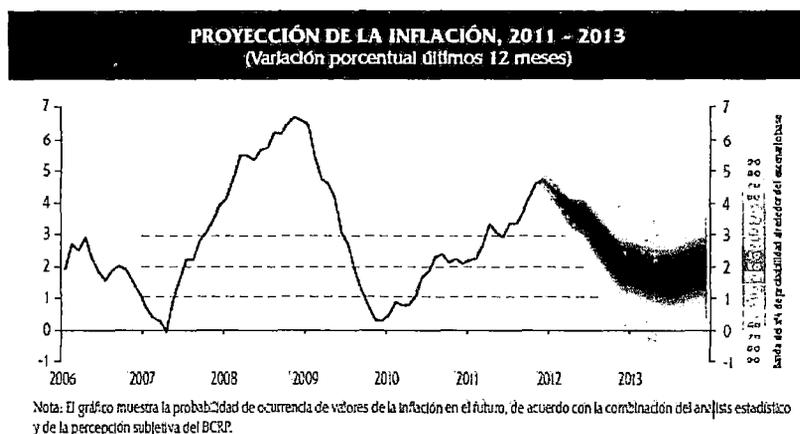
1.4.2. Inflación.

De acuerdo con la Constitución Política, el Banco Central de Reserva del Perú (BCRP) es una entidad pública autónoma cuya finalidad es preservar la estabilidad monetaria. Para el logro de este objetivo, el Banco ejecuta su política monetaria siguiendo un esquema de Metas Explícitas de Inflación. La meta de inflación es 2,0 por ciento con un margen de tolerancia de un punto porcentual hacia abajo (1,0%) y hacia arriba (3,0%). Con ello, el Banco Central busca anclar las expectativas de inflación en un nivel similar al de las economías desarrolladas y establecer un compromiso permanente con la estabilidad de la moneda.

De acuerdo a las estadísticas emitidas por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) las cifras más bajas alcanzadas

hacen referencia al año 2001 con un índice inflacionario de -0.1% . El constante equilibrio inflacionario que se presenta en nuestro país ha sido el motor para el crecimiento económico brindando un ambiente de estabilidad y confiable para el desarrollo industrial.

Gráfico N° 03 Evolución del índice de Inflación entre los años 1980 – 2010 en el Perú



Fuente: Banco Central de Reserva

En mayo de 2010 la inflación anual retornó al rango meta por primera vez desde setiembre de 2009. A partir de esta fecha se observa una ligera tendencia al alza, principalmente por la evolución de los precios de algunos alimentos y de los combustibles.

Gráfico N° 04
Evolución de la Inflación y Meta de Inflación entre Enero 2013 y
Enero 2015 en el Perú



Fuente: Reporte de Inflación Junio 2010, BCRP

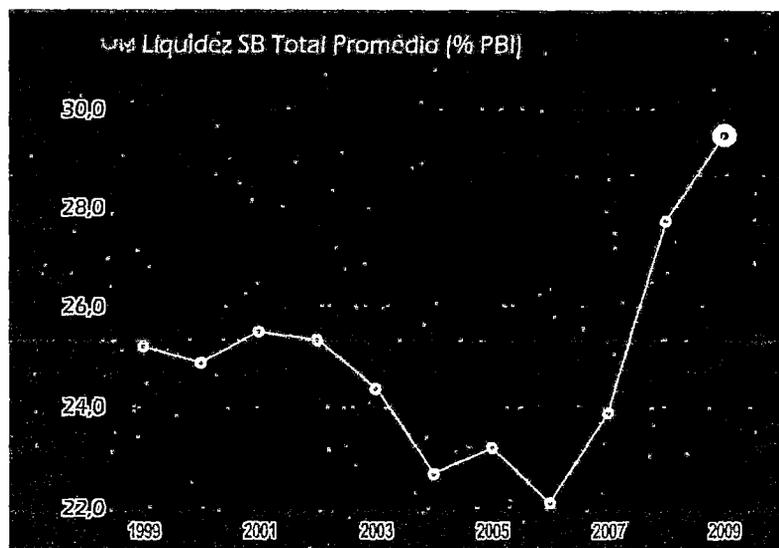
Los datos de inflación observados desde el Reporte de Inflación de marzo de 2010 han estado en línea con las proyecciones contenidas en dicho Reporte. En particular, se ha observado que la inflación inició una fase de convergencia hacia el rango meta, alcanzando un valor de 1,04% en mayo. Asimismo, la revisión y actualización de datos sobre los principales factores que afectarían la tasa de inflación durante los próximos años han generado cambios menores en el escenario central de proyección respecto al contemplado en el Reporte previo. De este modo, la proyección central de inflación para los años 2010 y 2011 es cercana a la del Reporte de Inflación de marzo de 2010. Se proyecta que la inflación se mantendría en el rango meta, como consecuencia de una brecha del producto cada vez más cercana a su valor de equilibrio, expectativas inflacionarias en línea con la meta de inflación, y la reversión de choques transitorios, que afectaron durante el primer semestre del año 2010 tanto a la inflación de precios al por mayor como a la inflación de origen importado.

1.4.3. Liquidez.

La liquidez representa la cualidad de los activos para ser convertidos en dinero efectivo de forma inmediata sin pérdida significativa de su valor. De otra manera, es la cantidad monetaria disponible para realizar intercambios financieros, dando así un sistema de fluidez en el movimiento económico. En nuestro país se aprecia un crecimiento continuo de nivel de liquidez durante los últimos años, este incremento de la liquidez en moneda local se habría explicado por la participación más activa del Banco Central de Reserva (BCR) en el mercado cambiario. También se debe al incremento de los depósitos en soles de las empresas y familias en las entidades financieras.

La estabilidad de la liquidez en un nivel relativamente alto brinda un buen ambiente económico en el desarrollo industrial, caso contrario se daría si esta declina, ya que ocasionaría una interrupción de la fluidez del sistema económico afectando el normal desenvolvimiento respecto al sector industrial.

Gráfico N° 5
Liquidez del Sistema Bancario Total Promedio de 1999 - 2009 en el Perú



Fuente: Registros de Banco Central de Reserva del Perú

1.5. TAMAÑO DE LA PLANTA.

1.5.1. Análisis de los factores determinantes.

✓ **Materia Prima.**

La materia prima, es en nuestro caso la roca fosfórica, será abastecida por proveedores quienes explotan las enormes reservas, del mencionado recurso, ubicadas en la región Piura produciendo concentrados con 33% P_2O_5 . Por lo cual se tendrá en cuenta la disponibilidad de la materia prima, la misma que será equivalente al 10% de la producción anual de concentrado proyectada de 3.9 millones de toneladas.

✓ **Demanda.**

La demanda que acoge el mercado nacional puede en este caso determinar la capacidad de planta, debido a la ausencia de productores de ácido fosfórico en el territorio nacional. La demanda proyectada es de 47095.764 toneladas de ácido fosfórico.

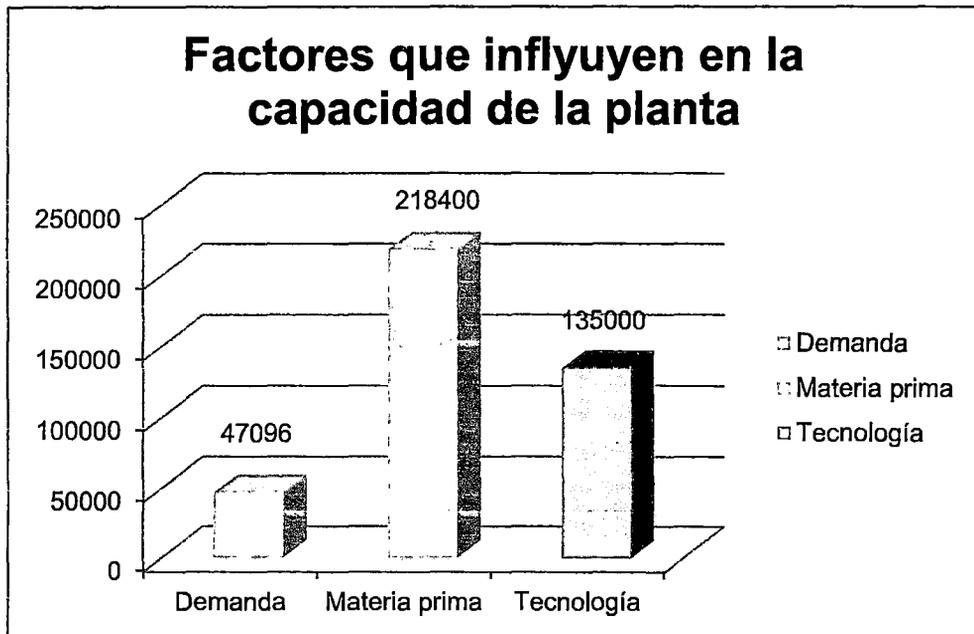
✓ **Tecnología.**

En la actualidad percibimos una progresión continua de la tecnología relacionándose así con la capacidad de planta siendo un importante factor a tener en cuenta respecto a costos de equipos y estructuras que requerirá la planta industrial. Se cuenta con una tecnología como para una capacidad de 135000 Ton de ácido fosfórico.

✓ **Financiamiento.**

La disponibilidad de recursos financieros es observable por el factor de liquidez, el cual tiene un crecimiento positivo. Debido a esto existe un alto potencial financiero para ejecutar proyectos industriales.

Gráfico N° 6
Factores influyentes en la Capacidad de Planta en Ton de ácido fosfórico



Fuente: Elaborado por Los Autores

1.5.2. Determinación del tamaño de planta.

La determinación del tamaño de planta se realizará teniendo en cuenta el caso en el cual la capacidad es igual a la demanda nacional ya que de acuerdo al análisis de factores, la demanda es el factor determinante en la capacidad de planta.

Tal es así el caso que de acuerdo al estudio de mercado realizado se proyectó una demanda futura de **47095.764** Ton para el año 2021; para entonces se plantea cubrir el 60% de la demanda presente.

De acuerdo a lo mencionado la **Capacidad de la Planta de Ácido Fosfórico será de 30000 Ton/año.**

1.6. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE MERCADO.

- ✓ El ácido fosfórico es un insumo que presenta un mercado principalmente destinado a la producción de fertilizantes.
- ✓ La demanda de ácido fosfórico en el Perú es abastecida por importaciones mayoritariamente por países como México, China, Brasil, etc.
- ✓ El mercado de ácido fosfórico en el Perú presenta un tipo de oferta de Libre mercado.
- ✓ Las proyecciones en la demanda futura de ácido fosfórico indican un crecimiento continuo, con una tasa de crecimiento anual de 20.79%, tal que la demanda en el año 2023 será de **47095.764** Toneladas.
- ✓ El precio del ácido fosfórico ha venido incrementándose en los últimos años debido al surgimiento de fluctuaciones negativas en el sistema económico mundial. El precio entonces estimado para el ácido fosfórico será de \$ 1050 por tonelada.
- ✓ La capacidad de la planta de Ácido Fosfórico será de 30000 Ton/año.

II. INGENIERÍA DE PROYECTO

2.1. UBICACIÓN DE LA PLANTA.

Es importante saber en qué región se encontrará la planta industrial, y para esto se proponen regiones y luego se evalúan para poder definir la región en la cual se ubicará la planta

2.1.1. Zonas geográficas alternativas.

Se proponen regiones geográficas para la localización de la planta, de las cuales se propone solo la Región Piura ya que no hay otras regiones en nuestro país que tengan la materia prima.

A. Región Piura.

A.1. TERRITORIO.

La Región Piura se ubica en la Costa y sierra (Andes) norte del Perú frontera con Ecuador. La extensión territorial es de 35,892.49 km², equivalente al 3,0% del territorio nacional. El relieve del suelo es heterogéneo, notándose en la planicie costera el predominio de la formación desértica sobre los tablazos y pampas. La franja costera es la más ancha del Perú y alcanza 200 km. desde el mar hasta los contrafuertes de la Cordillera Occidental de los Andes.

Es de topografía variada y poco accidentada en la costa. En esta región la línea litoral se aleja ostensiblemente de la Cordillera de los Andes, quedando entre ambas una gran planicie, de aproximadamente 200 Km. De ancho comprende el Desierto de Sechura, el más extenso del Perú y el Tablazo de Piura; otros rasgos morfológicos son las dunas, los médanos, la depresión de Bayóvar, las terrazas fluviales formadas por los ríos Chira y Piura. El relieve de la zona andina ocupada principalmente por las provincias de Ayabaca y Huancabamba es accidentado; determinada fundamentalmente por la presencia de la sub-ramal externo de la Cordillera Occidental, que llega a un máximo de 3 700 msnm.

Las principales elevaciones que presenta la región Piura son los cerros: Negro (3967 m.s.n.m.), Viejo (3934 m.s.n.m.), San Juan Canchiaco (3900 m.s.n.m), Pan de Azúcar (3767 m.s.n.m.) y La Viuda (3710 m.s.n.m).

Otro de los accidentes naturales que presenta el departamento de Piura son sus numerosas abras, entre las que destacan la de Suropite a 3 100 m.s.n.m. que da paso a la carretera Piura- Canchaque-Huancabamba, Peña Blanca a 2,980 m.s.n.m., Ingana a 950 m.s.n.m. que da paso a la carretera Piura-Huancabamba, Cruz de Frente a las costas del departamento de Piura existen dos islas : la isla Foca de 0,92 km² frente al litoral del distrito de Paita (provincia Paita) y la isla G. de 0,40 km² frente al litoral del desierto de Sechura en la provincia del mismo nombre. Estas islas, en conjunto, poseen una superficie de 1,32 km² que constituye el área insular del departamento.

A.2. CLIMA.

El clima de la Región Piura es desértico y semi-desértico en la costa y vertientes andinas occidentales, Subtropical en las vertientes orientales. Las precipitaciones son escasas, salvo cuando se produce el fenómeno de "El Niño", en que las lluvias son abundantes y activan las quebradas secas, originando inundaciones y acciones morfológicas de gran dinamismo.

La temperatura anual promedio es 34.2°C, la máxima llega hasta 38°C y la mínima llega hasta 15°C que corresponde a los meses de Febrero y Junio respectivamente. La humedad promedio anual es del 66%, la presión atmosférica media anual es de 1008,5 milibases en tanto que los vientos que siguen una dirección al sur, tienen una velocidad promedio de 3 m/s.

A.3. VIAS DE COMUNICACIÓN.

Las vías de acceso a esta provincia se encuentran muy bien asfaltadas y en buen estado pues la industria petrolera y las demás industrias están que se desarrollan en estos últimos años permiten hacer el

mantenimiento regular a las vías de acceso. Además el turismo es otro influyente en las vías de comunicación.

Desde la Ciudad de Lima: 981 Km. hasta la Ciudad de Piura.

Por Tierra: A través de la Carretera Panamericana Norte.

Por Vía Aérea: Lima – Piura.

El acceso a Piura es el siguiente:

Terrestre:

Lima-Piura: Por la Carretera Panamericana Norte (12 horas en auto aprox.).

Aérea:

Vuelos regulares desde las ciudades de Lima (1 hora y 15 minutos aprox.), Trujillo (40 minutos) y Chiclayo (30 minutos).

También cuenta con dos de los puertos más importante de nuestro país, los cuales son: Talara y Bayóvar.

2.1.2. Selección de la zona geográfica.

En nuestro país, la roca fosfórica solo se puede encontrar en una sola región, la cual es Piura y es por este motivo por la cual solo hemos considerado esta región como única alternativa para localización de nuestra planta de obtención de ácido fosfórico a partir de la roca fosfórica, ya que la disponibilidad de materia prima es determinante para la localización de la planta, además, la cercanía al mar es muy favorable para la comercialización del producto final.

2.1.3. Ubicación de la planta.

2.1.3.1. Alternativas de ubicación.

En la Región de Piura estamos considerando dos lugares en específico los cuales son: el puerto de Bayovar y el otro que se encuentra a una distancia de unos 27 km de distancia desde el puerto de Bayovar, muy cerca de donde se encuentra la mina de fosfatos. El puerto Bayovar es

muy propicio por la cercanía al mar ya que por este se puede comercializar muy bien el ácido fosfórico; en cambio el otro lugar es muy recomendable por la cercanía a la que se encuentra la materia prima. El lugar en el que se ubicaría la planta se decidirá más adelante al hacer un análisis completo.

2.1.3.2. Análisis de factores para determinar la ubicación de la planta.

A. Materia Prima.

Las fuentes de materia prima constituyen uno de los factores más importantes para seleccionar el lugar donde se constituirá esta planta. De esta es cierto si se consumen grandes volúmenes de la misma, ya que es posible reducir los gastos de transporte y almacenaje, eligiendo una ubicación cercana a las fuentes. Debe prestarse la atención al precio de adquisición de las materias primas, a la distancia de las fuentes, a los fletes o gastos de transporte, a la pureza de los materiales y al requerimiento de almacenaje.

En nuestro proyecto la materia prima es producida aquí en Perú, y específicamente en Bayóvar pues existe una gran producción de roca fosfórica y es una de las más grandes en Latinoamérica.

B. Energía eléctrica-combustible.

En la mayoría de las plantas industriales, las necesidades de potencia y de vapor son muy grandes y generalmente se necesitan combustibles para producirlos. El costo de energía de la localidad elegida puede ayudar a decidir si conviene comprarla o si es preferirle generarla.

En los lugares escogidos no se cuenta con la energía necesaria requerida por la planta, por lo que esto demandará un gasto adicional tanto en combustible para generar la propia energía, como del consumo de la red de energía industrial ya que se requerirá de una pequeña central eléctrica para lograr mantener cierta capacidad de energía.

C. Suministro de agua.

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

Al referirnos a nuestro proyecto, la planta consume una gran cantidad considerable de agua, por lo que eso sería un problema en los lugares propuestos ya que no se cuenta con agua adecuada para nuestro proceso. El agua de mar es la única disponibilidad de agua y está mucho más cerca al puerto que al otro lugar que se encuentra a 27 km de distancia, pero utilizarla demandaría un tratamiento.

D. Mercado.

La ubicación de los centros de consumo o de distribución afecta los costos de distribución del producto y el tiempo requerido para los embarques en el caso de las exportaciones. La proximidad de los principales mercados de consumo es una consideración de importancia, ya que los consumidores prefieren comprar en lugares no muy alejados. Con respecto a nuestro proyecto encontramos que la mayor parte de consumidores de ácido fosfórico se encuentran al norte del país por lo tanto las alternativas propuestas cuentan con mucha disponibilidad de mercado.

E. Clima.

Si la planta está ubicada en una zona fría, es posible que los costos resulten incrementados por la necesidad de construir refugios en las cercanías de los equipos. La humedad excesiva, el frío extremo o el tiempo muy calurosos pueden traer consecuencias muy serias sobre la operación económica de la planta.

Al ocuparnos de nuestro proyecto, cabe señalar que en los dos lugares no hay mucha diferencia de clima, pues se encuentran en la misma

región y en la costa y tiene una temperatura promedio de 34.2°C y es un clima desértico y semi-desértico, por lo que demanda un cuidado especial por el excesivo calor ambiental.

F. Facilidad de transporte.

Los más comúnmente utilizados por las empresas industriales son los fluviales o marítimos, el ferrocarril y los transportes por carretera., el mejor método de transporte depende de la clase y cantidad de materia prima a trasladar.

En nuestro proyecto, cabe señalar que en el puerto de Bayóvar ofrece una gran ventaja por su cercanía al mar para así comercializar el producto (ácido fosfórico) por vía marítima; en el otro lugar no se cuenta con la misma facilidad, en este caso se tendría en cuenta más cosas para el transporte.

G. Mano de Obra.

Es necesario examinar la clase y disponibilidad de mano de obra que puede obtenerse en las vecindades del lugar propuesto. Deben considerarse los salarios corrientes, la existencia de otras industrias que posean una política de rotación periódica de la mano de obra.

En cuanto a la mano de obra, podemos afirmar que en los dos lugares no se cuenta con mano de obra calificada disponible, ya que es un lugar muy apartado de las ciudades importantes de esta región de Piura.

H. Disponibilidad de desperdicios.

Se toma mucho en cuenta este factor ya que los residuos generados durante el proceso pueden ser muy contaminantes o no del medio ambiente y por ende del ser viviente, y es por eso que se debe contar con suficiente espacio para poder tratar estos residuos o al menos un lugar donde desecharlo sin causar contaminación alguna.

Hablando de los desperdicios que produjera nuestra planta industrial, al ser ubicada en Bayóvar, se tendría la suficiente disponibilidad para tratar

estos desperdicios; al ser ubicada en el otro lugar al no contar con población alrededor y al ser un desierto el lugar hay mucha más disponibilidad de lugar para el tratamiento de estos desperdicios.

I. Medios de comunicación.

En la actualidad en toda industria debe haber una comunicación fluida entre todos los trabajadores, pues de esta manera se puede seguir un correcto acuerdo. En lugares donde no existen medios de comunicación fluidos, la empresa es la responsable de establecer estos medios de comunicación el cual es nuestro caso ya que en la zona, por no estar poblada no cuenta con los servicios de comunicación como teléfono fijo, internet y teléfono móvil los cuales son indispensables.

J. Servicio sociales.

Se debe de conocer la actividad de las ciudades hacia el desarrollo, requiriéndose un mínimo de lugares de esparcimiento para llevar una vida amena. En lo referente a servicios sociales como hospitales, centros de recreación, etc., evidentemente ambas zonas propuestas pertenecen a un Distrito y Provincia que no cuentan con muchos servicios necesarios por lo que sería necesario desarrollarlo por la empresa concesionaria.

2.1.4. Selección del lugar.

Al haber evaluado los factores que afectan a la localización de la planta obtuvimos como resultado, que el mejor lugar para localizar la planta para obtener ácido fosfórico a partir de la roca fosfórica es el puerto de Bayóvar, pues cuenta con mejores oportunidades.

Cuadro N° 01

Determinación de los valores ponderados para la evaluación de las alternativas para la ubicación geográfica de la planta industrial para la obtención de ácido fosfórico a partir de la roca fosfórica.

FACTORES	Materia prima	Mercado	Suministro de agua	Energía eléctrica	Evacuación de desechos	Mano de obra	Medios de comunicación	Servicios sociales	Medios de transporte	Clima	VALOR PONDERADO
Materia prima		0	1	1	0	1	1	0	1	1	6
Mercado	0		0	0	0	1	1	0	1	0	3
Suministro de agua	1	0		1	1	1	0	0	0	0	4
Energía eléctrica	1	0	1		1	1	0	0	0	0	4
Evacuación de desechos	0	0	1	1		1	0	0	1	0	4
Mano de obra	1	1	1	1	1		0	0	1	0	6
Medios de comunicación	1	1	0	0	0	0		1	0	1	4
Servicios sociales	0	0	0	0	0	0	1		1	0	2
Medios de transporte	1	1	0	0	1	1	0	1		0	5
Clima	1	0	0	0	0	0	1	0	0		2

Fuente: Los autores.

Cuadro N° 01
Evaluación de los factores para determinar la ubicación de una planta industrial para la obtención de ácido fosfórico a partir de la roca fosfórica

FACTORES	VALOR PONDERADO	PIURA PUERTO BAYOVAR	PIURA SECHURA
Materia prima	6	5	6
Mercado	3	3	2
Suministro de agua	4	3	2
Energía eléctrica	4	3	2
Evacuación de desechos	4	2	3
Mano de obra	6	4	3
Medios de comunicación	4	3	3
Servicios sociales	2	1	1
Medios de transporte	5	4	4
Clima	2	1	1
TOTAL		29	27

Fuente: Los autores.

2.2. SELECCIÓN Y DISEÑO DEL PROCESO

Una vez realizado el estudio de mercado y la ubicación respectiva de la planta industrial, ahora se presenta la interrogante: ¿Qué proceso es el más adecuado? Para la producción de Ácido Fosfórico se tiene dos caminos, Vía Húmeda y Vía seca, en los cuales se despliegan varios métodos que se mencionaran posteriormente.

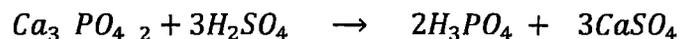
El presente sección está enfocado a someter a los diferentes procedimientos, para producir Ácido Fosfórico a partir de la roca fosfórica, a

una evaluación empleando el Método Técnico que comprende factores importantes como la Calidad del producto final, Complejidad del desarrollo del proceso y la disponibilidad de información; seleccionando de esta manera el proceso industrial que más se ajusta a los requerimiento que pretende el presente proyecto de Instalación de una planta de ácido fosfórico.

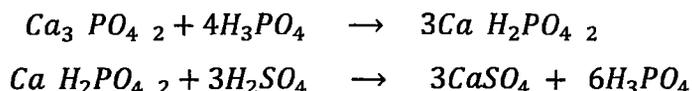
2.2.1. PROCESOS PARA OBTENCION DE ACIDO FOSFÓRICO.

Se han desarrollado dos caminos o vías para la obtención del ácido fosfórico, una denominada vía húmeda y otra denominada vía térmica (seca). La vía térmica proporciona directamente un ácido fosfórico puro, por lo que es el camino idóneo para obtener sales de calidad más exigente.

La química básica del proceso por vía húmeda es excesivamente simple. El fosfato tricálcico de la roca fosfórica es convertido, por reacción con ácido sulfúrico concentrado, en ácido fosfórico y sulfato de calcio sal insoluble.



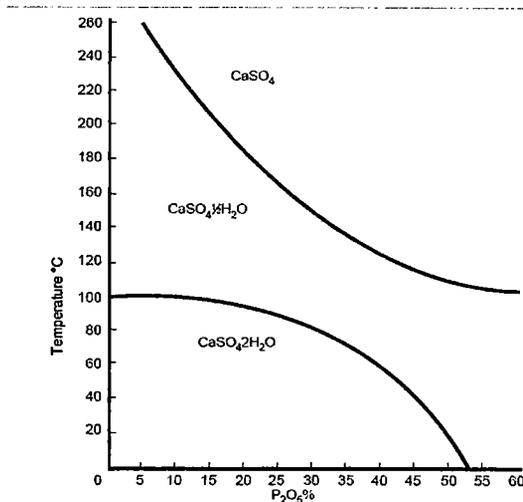
El sulfato de calcio insoluble se separa usualmente del ácido fosfórico por filtración. La reacción entre la roca fosfórica y ácido sulfúrico es autolimitada a causa de la formación de una capa insoluble de sulfato de calcio en la superficie de las partículas de la roca. Este problema se minimiza mantenimiento la roca, inicialmente, en contacto con el ácido fosfórico recirculado para convertirlo en la medida posible a fosfato mono cálcico soluble y luego precipitar el sulfato de calcio con ácido sulfúrico.



El sulfato de calcio existe en varias formas cristalinas diferentes, dependiendo sobre todo en condiciones de temperatura, concentración de P₂O₅ y contenido de sulfatos libre. Las condiciones de operación generalmente se eligen de manera que el sulfato de calcio precipita tanto

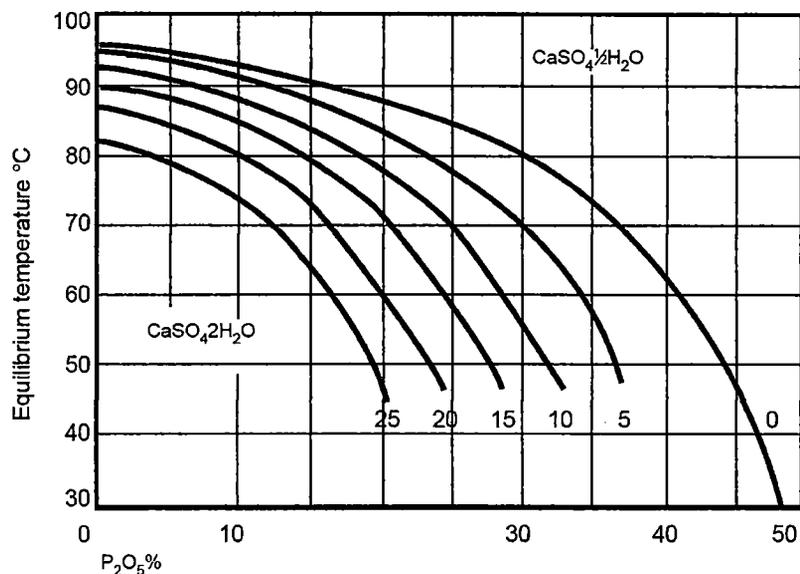
como dihidrato o hemihidrato, 26-32% P_2O_5 a 70-80 °C para la precipitación dihidrato, y 40-52% P_2O_5 a 90-110 °C para la precipitación hemihidrato.

Gráfico N° 12
Dependencia cristalina del $CaSO_4$ en función del P_2O_5 y la temperatura



Fuente: European Fertilizer Manufacturers' Association (EFMA), 2007.

Gráfico N° 13
Dependencia de Equilibrio de Sulfato de Calcio Dihidrato/ α -Hemihidrato en concentración de Ácido sulfúrico, en función de la temperatura y P_2O_5



Fuente: European Fertilizer Manufacturers Association (EFMA), 2007.

Hay muchas impurezas en la roca fosfórica, las cantidades y proporciones de los cuales son muy variables. Los efectos nocivos de algunos se manifiestan en el sistema de reacción, mientras que otros predominan en la filtración o en las propiedades del ácido producto. El flúor está presente en la mayoría de rocas de fosfato en la medida de 2-4% en peso. Este elemento se libera durante la acidificación, en un principio como fluoruro de hidrógeno, pero en presencia de sílice este reacciona rápidamente para formar ácido fluosilícico, H_2SiF_6 . Otros componentes como el magnesio y el aluminio también pueden reaccionar con HF para formar compuestos ($MgSiF_6$ y H_3AlF_6).

El énfasis debe ser puesto en otro grupo de impurezas tales como arsénico, cadmio, cobre, plomo, níquel, zinc y mercurio, que están presentes en la mayoría de rocas de fosfato y que pueden afectar durante la acidulación. Las rocas fosfóricas contienen uranio de origen natural y componentes radiactivos de la serie de desintegración del uranio. La cantidad de uranio es prácticamente nula en algunas rocas de fosfato. Las impurezas tales como hierro, aluminio, sodio, potasio, cloro, etc. tienen alguna influencia en la producción de ácido fosfórico y en la calidad del ácido producido.

2.2.1.1. Proceso dihidrato (DH).

Este es el proceso más difundido y las ventajas de los sistemas de dihidrato son:

- No hay limitaciones a la calidad de la roca fosfórica
- Las temperaturas de operación son bajas.
- La puesta en marcha y parada son fáciles.
- Se puede usar roca sin secar ahorrando los costes del secado.
- El tiempo en línea es alto.

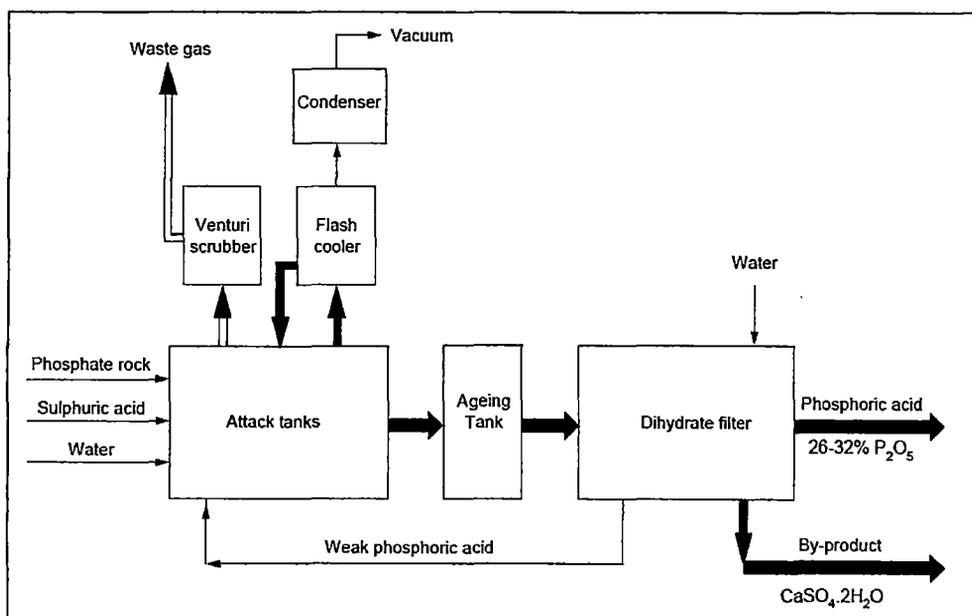
Las desventajas son:

- Producción del ácido relativamente débil (26-32% P_2O_5)
- Alto consumo de energía para concentrar el ácido.
- El ácido tiene niveles altos de F y Al.
- Puede ser necesario moler la roca.
- Pérdidas de P_2O_5 , 4-6% cocrystalizadas con el sulfato de calcio.

El proceso dihidrato comprende cuatro etapas: molienda, reacción, filtración y concentración y estos están representados en el siguiente diagrama:

Figura N° 02

Diagrama de flujo en bloques para el Proceso Dihidrato



Fuente: European Fertilizer Manufacturers Association (EFMA), 2007.



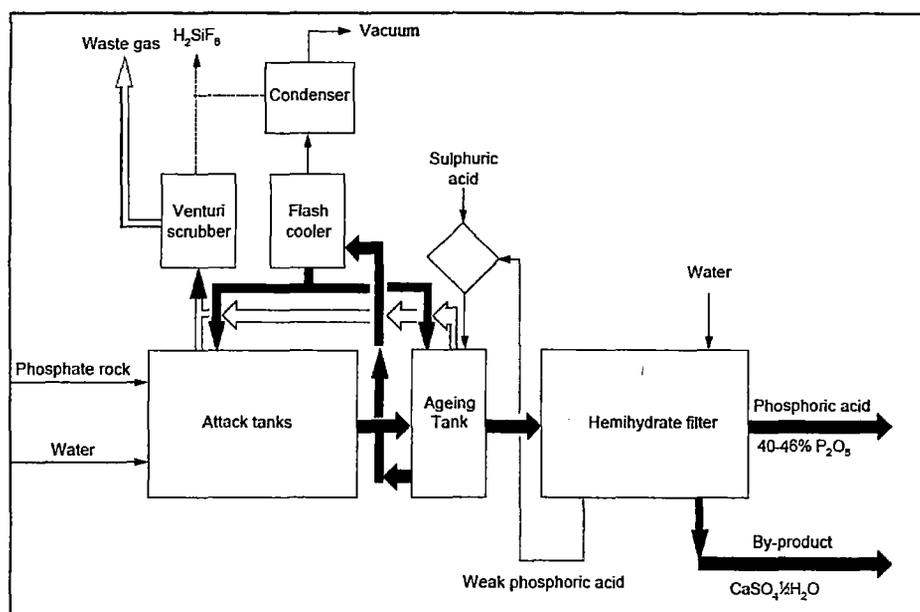
2.2.1.2. Proceso Hemihidrato (HH).

Las condiciones de operación se seleccionan en este proceso tal que el sulfato de calcio precipite en forma hemihidratado. Es posible producir ácido de 40-52% P_2O_5 directamente, con el consiguiente valioso ahorro en las necesidades de energía. Figura N° 03 se muestra un diagrama de flujo simplificado de un proceso de HH. Las etapas son similares a los del proceso dihidrato, pero la molienda puede ser innecesaria.

Las principales ventajas de este proceso, además de la reducción o eliminación del requerimiento del calor de evaporación, son:

- Ahorro de Capital.
- Ácido más puro: El ácido del proceso de HH tiende a contener sustancialmente menos sulfatos libres y sólidos en suspensión y reducir los niveles de aluminio y flúor.

Figura N° 03
Diagrama de flujo en bloques para el proceso Hemihidrato



Fuente: European Fertilizer Manufacturers Association (EFMA).

- Bajos requisitos de molienda de roca. Una tasa satisfactoria de reacción se puede lograr de la roca gruesa más que en el proceso de dihidrato, debido a las condiciones de reacción más severa en el proceso de HH.

Las desventajas de los sistemas de HH son:

- La tasa de filtración: Los cristales de hemihidrato tienden a ser más pequeñas y menos bien formados que los cristales de dihidrato y por lo tanto los lodos de hemihidrato tienden a ser más difíciles de filtrar que los lodos de dihidrato a menos que los modificadores habituales de cristales se utilicen para suprimir la nucleación excesiva. Sin embargo con un buen proceso HH, no hay necesidad de utilizar modificadores habituales de cristales. Existen ejemplos de rocas fosfóricas que producen cristales hemihidrato alcanzando mayores tasas de filtración que los obtenidos con los cristales de dihidrato.
- Fosfato de pérdidas: Las consideraciones balance de agua restringen la cantidad de agua de lavado que se pueden utilizar. Al mismo tiempo, las cantidades de P_2O_5 soluble e insoluble, que queda en la torta de filtro, son mayores debido a la más alta concentración de P_2O_5 en el lodo que se filtra. Sin embargo, la simplicidad de la planta de HH y la ausencia de silicofluoruro y la ampliación chucrovite en el filtro de HH, pueden compensar la mayor pérdida de P_2O_5 insolubles a través de pastel de HH.
- Incrustación: El hemihidrato no es una forma estable de sulfato de calcio y hay una tendencia a que pase a yeso, incluso antes de que el ácido haya sido filtrado. Las condiciones son aún más en favor de la rehidratación

durante el lavado. En una buena planta de HH no hay conversión en la batería del reactor. Una pequeña cantidad de agente anti-incrustante puede ser necesaria en un filtro de HH planta de una sola etapa para evitar la incrustación.

- Filtro de torta de impurezas: La torta es más ácida que la torta de filtro de yeso, debido a las pérdidas adicionales de P_2O_5 y también contiene más flúor y cadmio.
- Corrosión: Los requerimientos sobre los puntos susceptibles de los equipos, en particular agitadores y bombas de lodos, se incrementan a causa de la alta temperatura (100 °C) y concentración de ácido (P_2O_5 un 40-50%) en comparación con una planta de dihidrato.

2.2.1.3. Proceso C: De Recristalización.

La mejor eficiencia de recuperación de P_2O_5 que generalmente se puede esperar en los procesos dihidrato de una sola etapa y hemihidrato considerados hasta ahora, son 94-96% y 90-94% respectivamente.

Las pérdidas de P_2O_5 son retenidas en la torta de filtro y esto puede crear problemas con la disposición o utilización del yeso como subproducto. Parte de esta pérdida de P_2O_5 pasa a solución y pueden ser recuperados cuando el sulfato de calcio es finalmente separado, si el sulfato de calcio es hecho a recristalizarse a su otro hidrato. Esto no sólo aumenta la eficiencia global del proceso, pero también da un sulfato de calcio mucho más limpio.

Varios procesos han sido desarrollados, pero sólo hay tres vías básicas:

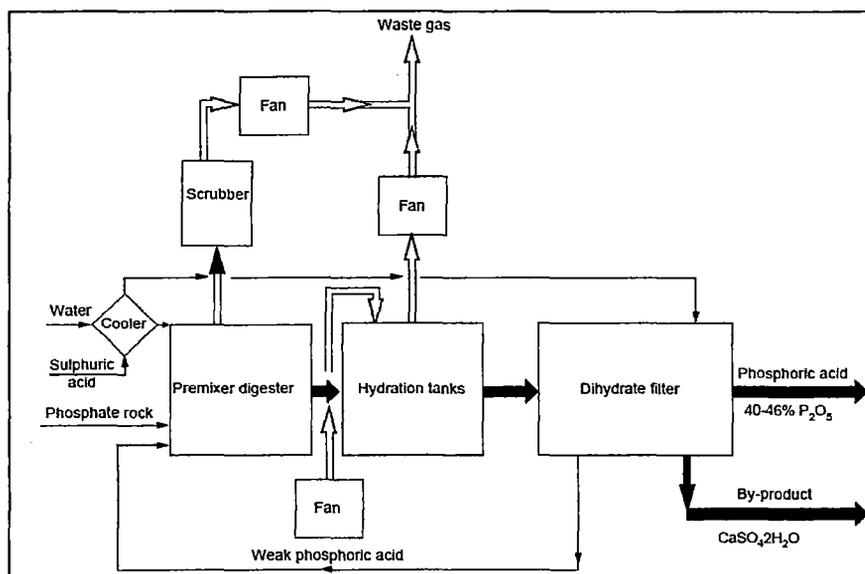
- Acidular en condiciones hemihidrato; recristalizar a dihidrato sin separación intermedia hemihidrato; separar el producto. (Proceso de Recristalización Hemihidrato (HRC))

- Acidular en condiciones hemihidrato; separar el producto; recristalizar hemihidrato a dihidrato; filtrar y retornar los líquidos al proceso. (Hemi-dihidrato (HDH) proceso)
- Acidular en condiciones dihidrato; separar el producto; Recristalizar hemihidrato; filtrar y volver los líquidos al proceso (dihidrato-hemihidrato (HD / HH), proceso).

A. Proceso HRC

El diagrama de flujo de este proceso se asemeja al de proceso dihidrato de reactor múltiples (ver Figura N° 4.1) con la excepción de que el ataque en el reactor opera en condiciones hemihidrato, mientras subsiguientes reactores operan bajo condiciones que favorezcan la rehidratación de hemihidrato en yeso. El ácido producto no es más concentrado que el obtenido por dihidrato pero el yeso es mucho más puro. Un diagrama de flujo para este proceso se muestra en Figura N° 04.

Figura N° 04
Diagrama de flujo en bloques para el Proceso de Recristalización Hemihidrato

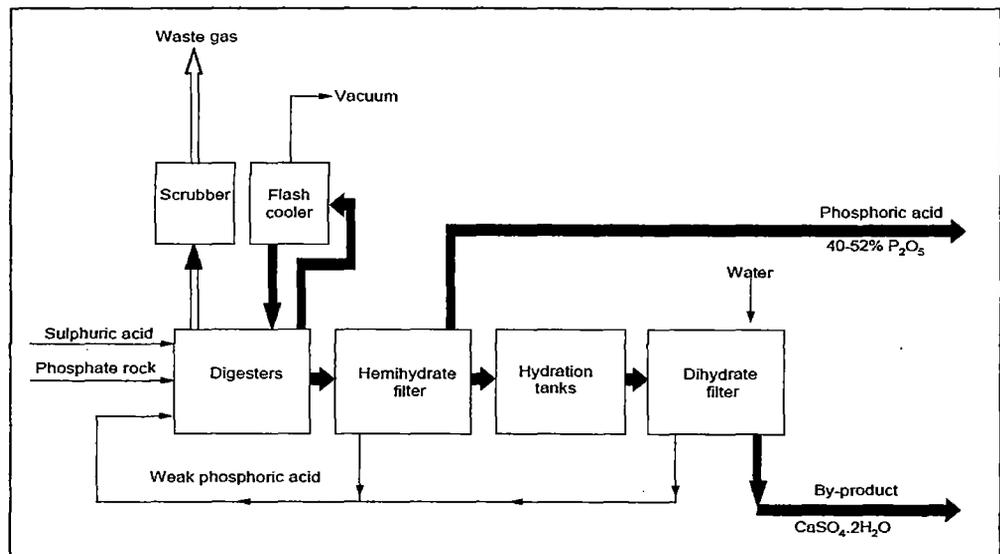


Fuente: European Fertilizer Manufacturers Association (EFMA).

B. Proceso HDH

Es posible obtener ácido directamente de 40-52% P_2O_5 , por acidulación en condiciones hemihidrato y separando el hemihidrato antes de la recristalización, en este proceso. El filtro adicional y otro equipo necesario, se añaden al coste de capital de la planta, pero permite ahorros en un equipo de evaporación. Un diagrama de flujo para este proceso se muestra en la Figura N° 05.

Figura N° 05: Diagrama de flujo en bloques para el Proceso HDH



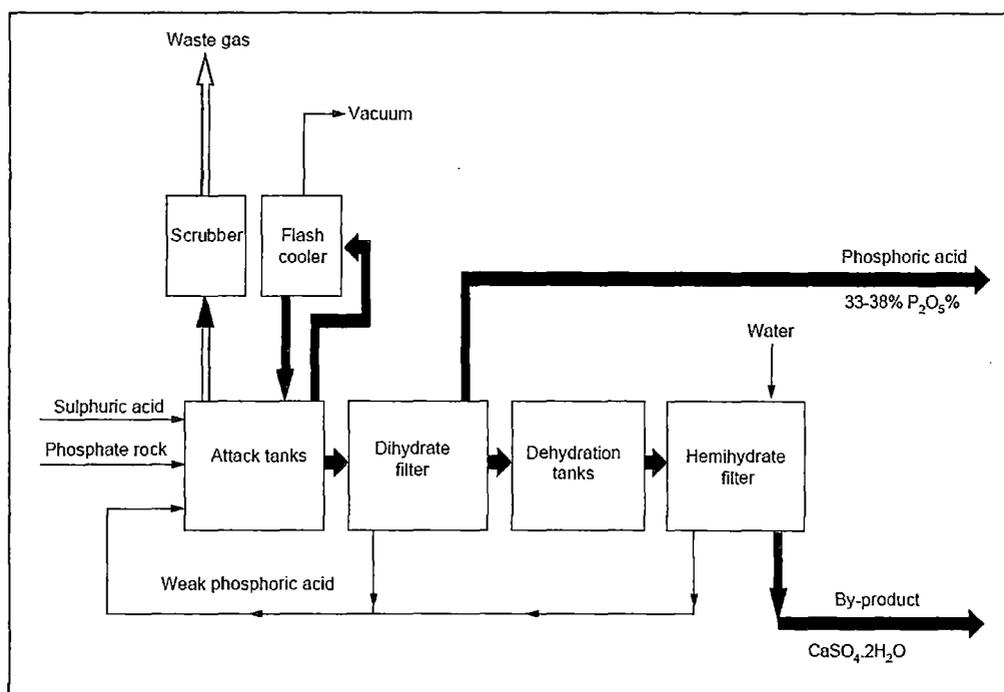
Fuente: European Fertilizer Manufacturers Association (EFMA).

C. Proceso DH/HH.

En este proceso, aunque la reacción se ejecuta bajo condiciones dihidrato, no es conveniente para llevar a cabo un grado muy alto de recuperación de P_2O_5 durante la separación del ácido del dihidrato.

La subsiguiente etapa de deshidratación requiere alrededor de 20-30% P_2O_5 y 10-20% de ácido sulfúrico. La fuerza del ácido producto es 32-35% P_2O_5 . Un diagrama de flujo para este proceso se muestra en la Figura N° 06

Figura N° 06: Diagrama de flujo en bloques para el Proceso Dihemihidrato (DH/HH)



Fuente: European Fertilizer Manufacturers Association (EFMA), 2007.

2.2.1.4. Proceso Con Repulpeo.

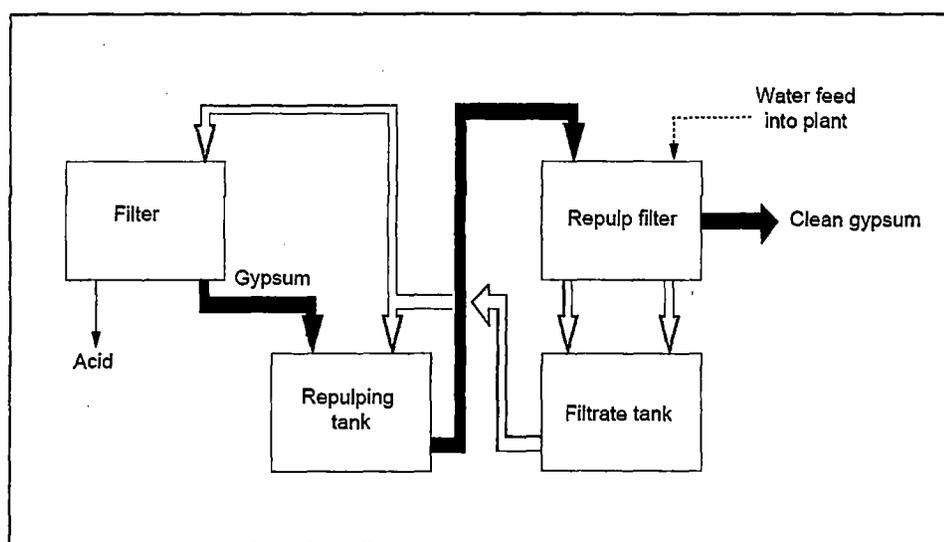
Una nueva optimización del proceso de HRC se puede obtener recirculando y lavando el yeso, seguido de una segunda fase de filtración en el llamado "Proceso de Repulpeo".

La mayoría del ácido libre, que no se remueve en la primera etapa de filtración, se puede remover en este proceso y la eficiencia se

puede mejorar hasta en un 1% (dependiendo de la cantidad de ácido libre).

El yeso del primer filtro se vuelve a disolver en un tanque y luego se bombea a un segundo filtro cuando el yeso es remojado. El yeso es luego lavado con el agua fresca que llega a la planta. El líquido obtenido del segundo filtro se utiliza en el primer filtro para lavar el yeso. El proceso de repulpeo es de hecho un paso adicional en el lavado a contracorriente del yeso con el agua que entra a la planta. El diagrama de flujo para un proceso de repulpeo se muestra en la Figura N° 4.8.

Figura N° 07: Diagrama de flujo en bloques para el Proceso de Repulpeo



Fuente: European Fertilizer Manufacturers Association (EFMA), 2007.

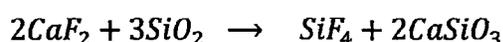
2.2.1.5. Proceso de Horno de arco eléctrico.

El proceso de horno eléctrico se basa en el hecho de que la sílice tiene propiedades de ácido fuerte a temperaturas elevadas. Si una mezcla de roca fosfórica, sílice y carbón se calienta a temperatura suficientemente alta, la sílice puede reemplazar al radical fosfato

para formar un silicato de calcio, y el fósforo elemental puede destilarse de la mezcla reaccionante.

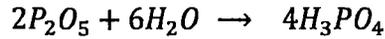
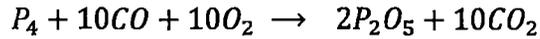
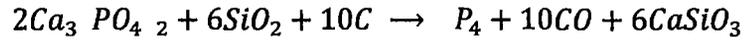
En este proceso la roca fosfórica es reducida a fósforo elemental por la acción de coque y calor en presencia de arena. Luego se oxida con aire a pentóxido de fósforo y enseguida por hidratación se logra ácido fosfórico. La sílice reacciona con la roca a temperaturas sobre los 1200°C (en general se usa 1315°C) para liberar pentóxido de fósforo, que es reducido a fósforo elemental por medio del coque incandescente. La escoria y el ferrofósforo se colectan en el fondo del horno y periódicamente se eliminan mediante una purga.

Generalmente la roca fosfórica posee impurezas, donde cerca de un 20% de flúor presente en la roca también reaccionará, según la siguiente ecuación:

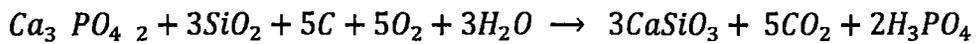


Los gases del horno, fósforo y monóxido de carbono, son retirados del horno por medio de un ventilador. Luego se oxidan ambos gases uno a pentóxido de fósforo y el otro a dióxido de carbono por medio de una cámara de combustión. Enseguida los gases pasan a una torre empacada donde reciben un rocío con agua, donde se forma una niebla de ácido fosfórico y de ahí pasa a un precipitador electrostático (en general se usan tres) de grafito (resistente a la acción del ácido fluorhídrico) para remover cualquier resto de ácido fosfórico. Los gases de escape de la torre son principalmente monóxido de carbono. El ácido fosfórico crudo (85%) es generalmente purificado con arsénico por acción de sulfuro de hidrógeno. Según las condiciones, el ácido puede ser purificado de impurezas tales como sales de calcio por medio de adición de ácido sulfúrico quien las precipitaría. El ácido de 85% puede luego ser diluido en agua hasta un 50%.

Las reacciones que describen el proceso son:

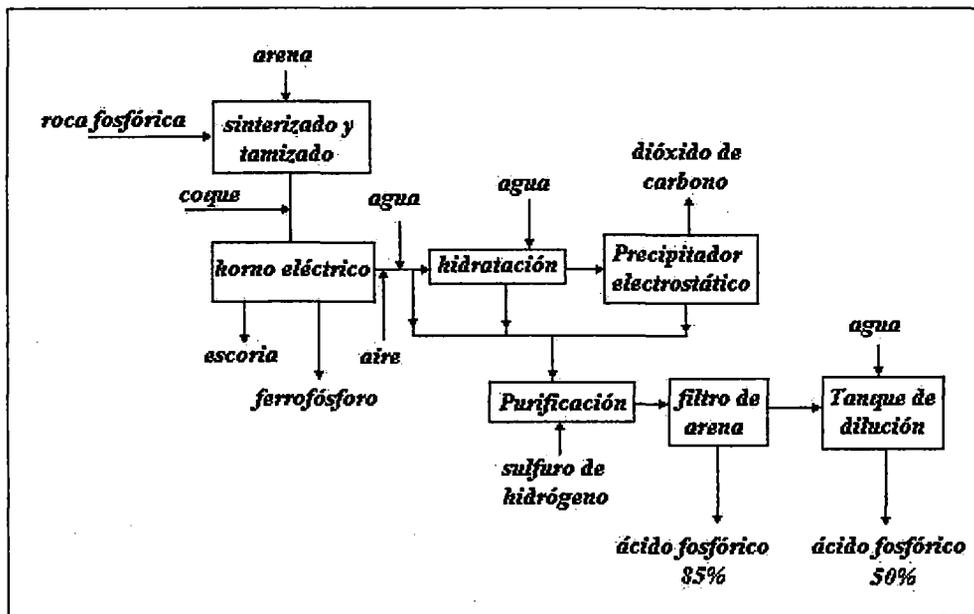


La reacción general es:



El rendimiento del fósforo es aproximadamente de 87 al 92% de la cantidad presente en la roca. Más de la mitad del fósforo restante se combina con el hierro para formar ferrofósforo que es un subproducto valioso.

Figura N° 08: Diagrama de flujo en bloques para el proceso por Horno de arco eléctrico.



Fuente: Mendoza de la Fuente D, 2009.

En algunas condiciones, la escoria de silicato de calcio puede también encontrar mercado. El consumo potencial es aproximadamente de 12000 a 13000 Kw Hr/Ton de fósforo producido. Este es el factor de costo más importante del proceso, por lo cual una fuente de electricidad barata es esencial para que el proceso sea económico.

2.3. SELECCIÓN DEL PROCESO.

2.3.1. Uso del Método de Criterio Técnico .

Para la selección del proceso adecuado para la producción de Ácido Fosfórico aplicamos el Método de Criterio Técnico teniendo en cuenta la evaluación de factores técnicos como Calidad, Complejidad y Disponibilidad de Información para cada uno de los procesos descritos anteriormente. Para este fin realizamos un análisis y ponderación de cada uno de los factores como se muestra en el Cuadro 4.1.

El proceso que obtiene el mayor puntaje es el proceso dihidrato, que es proceso que se describe en detalle a continuación.

2.3.2. Descripción detallada del proceso seleccionado.

El proceso dihidrato comprende cuatro etapas: molienda, reacción, filtración y concentración y estos están representados en el siguiente diagrama:

A. Acondicionamiento de materia prima

La roca fosfórica es obtenida como concentrado molido con 33% P_2O_5 y es recepcionada en una tolva de almacenamiento desde donde se alimenta al primer reactor para su participación en el proceso de obtención de ácido fosfórico.

Cuadro N° 03

Ponderación de procesos alternativos para la producción de Ácido Fosfórico respecto a factores de Calidad, Complejidad y Disponibilidad de Información

FACTORES	VP	Proceso DH	Proceso HH	Proceso HRC	Proceso HDH	Proceso DH/HH	Proceso Repulpeo	Proceso Horno de arco eléctrico
Calidad	10	7	8	6	7	5	4	9
Complejidad	7	3	4	4	3	4	5	3
Disponibilidad Información	9	9	6	5	5	3	1	3
TOTAL	25	19	18	15	15	12	10	15

B. Reacción.

La fluorapatita ($\text{Ca}_{10}\text{F}_2(\text{PO}_4)_6$) de la roca fosfórica es convertida por reacción con ácido sulfúrico concentrado en ácido fosfórico y sulfato de calcio insoluble. Para este fin, el reactor mantiene un volumen de reacción agitada. El sistema de reacción consiste en dos reactores agitados por separado, pero el sistema de reacción en múltiples reactores se sustituye por un solo reactor en algunos procesos.

En el primer reactor tiene lugar una pre-digestión de la roca fosfórica con ácido fosfórico diluido con una conversión del 20% de $\text{Ca}_{10}\text{F}_2(\text{PO}_4)_6$; la pre-digestión forma fosfato mono cálcico ($\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$) soluble en la superficie del grano de roca ya que si es atacado directamente por el ácido sulfúrico concentrado se formaría fosfato de calcio insoluble disminuyendo así la superficie de reacción.

En el segundo reactor, la roca fosfórica restante y el fosfato mono cálcico formado en el primer reactor son convertidos en ácido fosfórico por reacción con ácido sulfúrico concentrado al 98%, precipitando el sulfato de calcio dihidratado formado y resultando una corriente de salida aproximadamente con 26% de H_3PO_4 que es dirigida a un filtro para separación de sólidos. Las condiciones de operación para la precipitación dihidrato son 26-32% P_2O_5 y 70-80 °C; la elevada temperatura es debido a la reacción muy exotérmica con el ácido sulfúrico, para lo cual se acondiciona un sistema de enfriamiento para mantener la temperatura adecuada.

La reacción libera gases de SiF_4 y CO_2 , los cuales son tratados en una torre de lavado con agua.

C. Filtración.

Esta etapa separa el ácido fosfórico del sulfato de calcio dihidratado. Aproximadamente cinco toneladas de yeso se generan por cada tonelada de ácido producto obtenido. El medio filtrante debe moverse en secuencia a través de las distintas fases para un funcionamiento continuo. La separación tiene lugar en un filtro que opera a vacío. El líquido restante es retirado de la torta de filtro, resultando una solución aproximadamente con 49% de H_3PO_4 (35.5% P_2O_5) que es direccionada a un evaporador para concentrar el ácido fosfórico. La torta debe entonces ser descargada y llevada a un filtro lavador; y la tela lavada eficientemente para eliminar el resto de los sólidos que de otro modo podría acumularse y poner en peligro la filtración en los ciclos posteriores. El vacío debe ser liberado durante la descarga de la torta y es beneficioso soplar aire en la dirección contraria en este punto para ayudar a desalojar a los sólidos.

El equipo de filtración más común es de tres tipos básicos: transportable, mesa giratoria o faja de transporte.

D. Concentración

Hay una larga historia de concentradores de contacto directo, en los que la evaporación se efectúa conduciendo el ácido a un contacto íntimo con el calor del gas de combustión procedente de un quemador, lo que permite proveer de materiales en paredes del equipo y espesores adecuados para una transferencia eficaz de calor indirecto. Varios modelos de concentradores de fuego directo ya están desarrollados.

El evaporador de circulación forzada está formado por un intercambiador de calor, vapor o cámara flash, condensador, bomba de vacío, bomba para circulación del ácido y la tubería de circulación. Un depurador de ácido fluosilícico generalmente es incluido en el sistema del evaporador de circulación forzada. Todos los evaporadores en este servicio son en general de diseño de efecto simple debido a la naturaleza corrosiva del ácido fosfórico y al muy alto punto de ebullición. Los intercambiadores de calor son fabricados a partir de grafito o acero inoxidable con el resto de los equipos de caucho revestidos de acero. Todos los diseños de equipos son realizados mediante las mejores prácticas de ingeniería disponibles.

Más de un evaporador puede ser utilizado, con el ácido que pasa en secuencia a través de cada uno, dependiendo del grado de concentración que se requiere.

El proceso de concentración se lleva a cabo en un evaporador que opera a 80°C y bajo 0.6 atm (60.795 kPa) durante el tiempo necesario para concentrar el ácido producto hasta 74-75% en H_3PO_4 (54% P_2O_5). Los vapores formados por compuestos más volátiles son llevados al lavador de gases juntamente con la corriente gaseosa saliente del segundo reactor.

2.4. DISEÑO DEL PROCESO.

2.4.1. Termodinámica del proceso.

A. Reactor.

La temperatura en el reactor no debe superar como máximo los 82°C o cual se tomó 80°C. Sin embargo la reacción que se produce entre el ácido y la roca, es exotérmica. Además la dilución del ácido genera un calor adicional. La temperatura es

la variable principal de la termodinámica del proceso pues de ella depende el $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; si la temperatura supera los 82°C el subproducto formado es hemihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) el cual no se desea.

Al quitarle el calor generado estamos propiciando que la reacción se dé en el sentido de formar más producto, la cual es muy conveniente; pero esta temperatura no tiene mucho efecto sobre la constante de equilibrio debido a que estas reacciones inorgánicas no son de equilibrio, y si lo son, son de muy bajo efecto.

La presión es una variable que no tiene efecto considerable en el sistema de reacción pues los reactantes y productos están en estado sólido y líquido y una pequeña parte está en gaseoso.

B. Evaporador

La termodinámica del evaporador es un poco más complejo que el del reactor, pues aquí influye tanto la temperatura como la presión, ya que se necesita evaporar agua a temperatura de 85°C como máximo y eso se logra haciendo una presión de vacío. La presión es aproximadamente 0.6 atm. Si la temperatura sobre pasa los 85°C puede que ocurran reacciones no deseadas. Si la presión de vacío es mayor que 0.6 atm entonces no será posible evaporar el agua. Es por esto que se debe tener muy en cuenta la termodinámica de este equipo.

2.4.2. Análisis del comportamiento de las variables.

A. Temperatura.

La temperatura tiene influencia significativa durante el proceso de reacción en el segundo reactor tal es así que afecta grandemente la velocidad de reacción a medida que se

incrementa la temperatura. A temperaturas por debajo de los 80°C el proceso se inclina a la formación de fosfatos dihidratados, que por la estructura del cristal son fácilmente separados mediante un filtro; superior a 80°C, la reacción procedería a la formación de fosfatos hidratados que debido a sus características es más complicado separar del producto ácido. De manera representativa se muestra la influencia de la temperatura en el Gráfico N° 01.

B. Presión.

La presión cumple un rol importante en la etapa de concentración del ácido producto, para lo cual se maneja una operación a presiones menores a la atmosférica, de esta manera se puede disminuir el punto de ebullición del agua presente a una temperatura por debajo de los 100°C y de esta manera desalojar la cantidad de agua suficiente como para obtener la concentración de ácido producto requerida por el proceso.

C. Concentración de materia prima y ácido sulfúrico.

La concentración de la roca fosfórica es un punto importante que influye en las condiciones de reacción que operará el proceso de obtención de ácido fosfórico; de acuerdo a la concentración de P_2O_5 presente influirá en el proceso de cristalización del yeso formado y en la temperatura requerida tal como se muestra la relación en el Gráfico N° 01. Consecuentemente la cristalización influirá relativamente en el proceso de separación del yeso formado.

La concentración del ácido sulfúrico afecta la velocidad de reacción, a mayor concentración mayor será la rapidez de reacción. La reacción rápida del ácido sulfúrico concentrado puede formar una capa insoluble de sulfato de calcio en la

superficie de la partícula de roca fosfórica disminuyendo así el área de reacción, por lo cual es conveniente realizar una pre-digestión con ácido diluido antes de añadir el ácido concentrado.

D. Tiempo.

El tiempo de reacción influye en la cristalización del yeso como también en el rendimiento respecto al ácido producido. Para el proceso dihidrato, el tiempo fluctúa entre 7 a 8 horas en la etapa de digestión de la roca, pero cabe mencionar procesos que emplean un mayor tiempo de reacción, dependiendo de la concentración de la roca fosfórica para alcanzar el mejor rendimiento.

2.4.3. Cinética de la reacción.

En el análisis de la cinética de la reacción se ve la influencia tanto de la temperatura, así como también de la presión en la velocidad de la reacción, pues estos son las variables más influyentes. Otra variable influyente en este caso sería el tamaño de la partícula de la roca.

El tiempo de retención en el reactor varía desde 1.5h a 12h dependiendo de las condiciones del proceso. En nuestro proceso, por la temperatura no tan alta en el reactor, la reacción no es tan rápido. Lo que nos limita aumentar la temperatura del sistema de reacción es que se produce un yeso hemihidratado, el cual no se desea por su difícil separación del ácido.

Un estudio realizado al sistema de reacción de la roca fosfórica para producir ácido fosfórico llega a la siguiente conclusión:

- La ecuación que describe el comportamiento de la conversión a través del tiempo para este sistema responde a la siguiente forma:

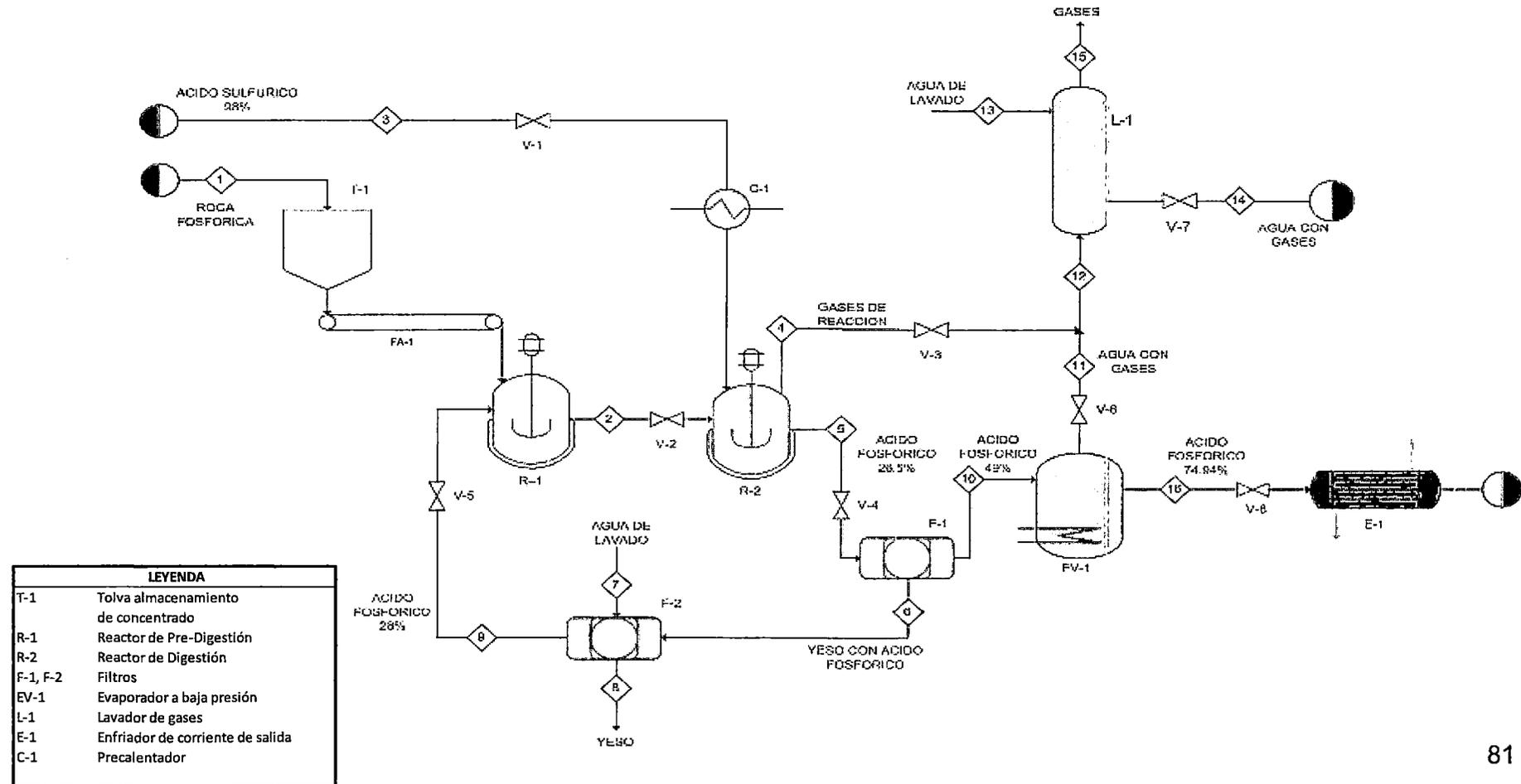
$$Y_C = A_0 + A_1 \cdot t + A_2 \cdot t^2$$

Demostrándose que la influencia de la temperatura sobre la conversión no es tan marcada.

- De un estudio cinético realizado se concluye que existe un predominio de las etapas físicas en el control de la velocidad global del proceso, sin soslayar el efecto combinado de las etapas químicas y físicas, corroborando lo anterior por el estudio de la influencia de la temperatura y el radio de partículas.

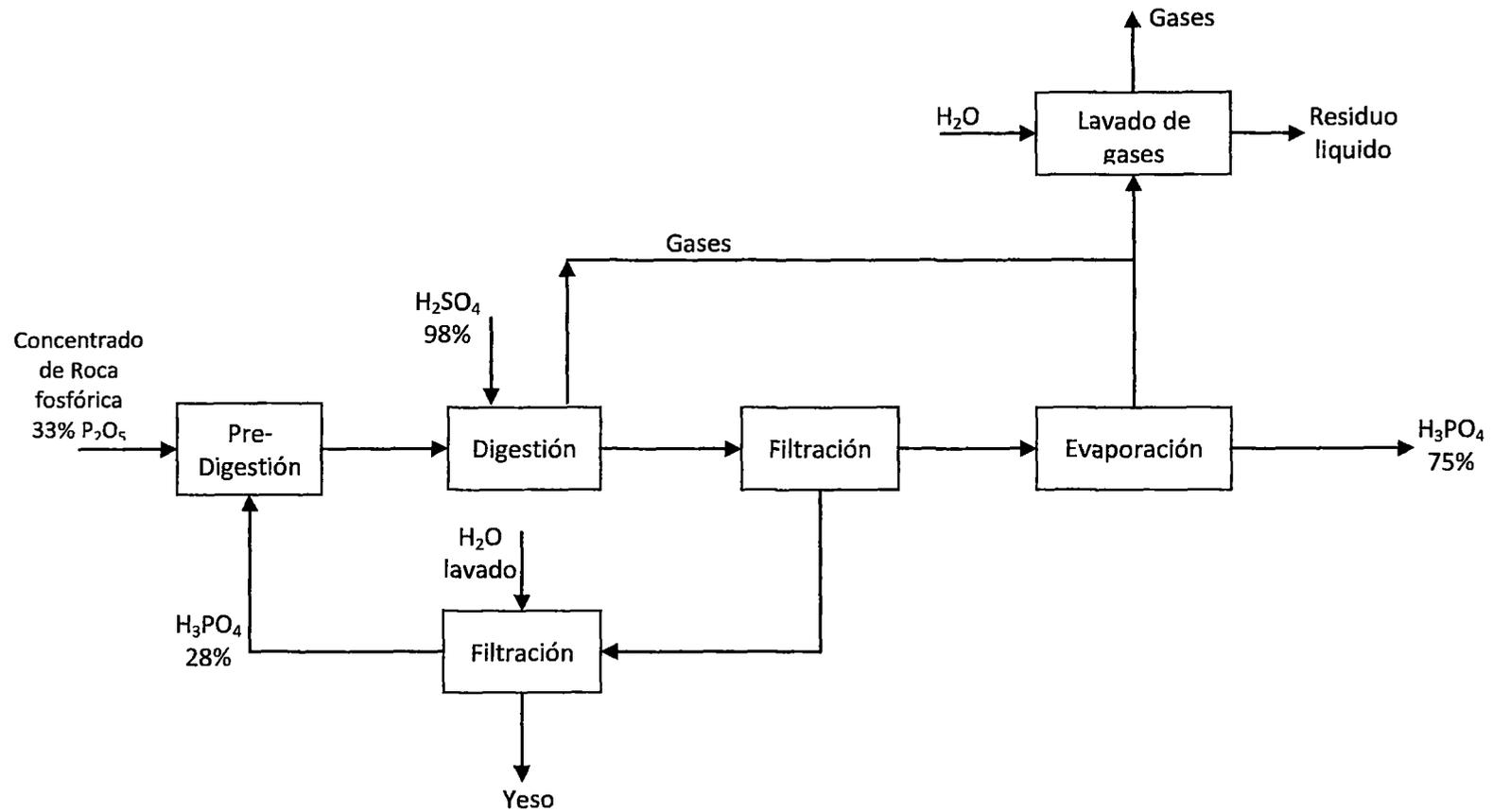
2.5. DIAGRAMA DE FLUJO.

Figura N° 09: Diagrama de Flujo para la Producción de Ácido Fosfórico a partir de Roca Fosfórica



2.6. DIAGRAMA DE BLOQUES

Figura N° 10
Diagrama de Bloques para la Producción de Ácido Fosfórico a partir de la Roca Fosfórica



2.7. BALANCE DE MATERIALES.

Mediante un balance previo realizado con una base de cálculo correspondiente a 1000 Ton de roca fosfórica, se tiene que por 1 Ton de roca se producen 0.5599 Ton de ácido fosfórico al 85%.

Siendo así, de acuerdo con la capacidad de planta de 30000 Ton/año equivalente a 3.75 Ton/hr, entonces se tendrá que procesar 6.7 ton/h de roca fosfotada. Por lo tanto se tendrá que procesar al año 53600 ton.

Cuadro N° 04
Composición de Concentrado de Roca
Fosfórica Comercial

Componente	% Peso
$\text{Ca}_{10}\text{F}_2(\text{PO}_4)_6$	78.08%
CaF_2	1.55%
SiO_2	2.00%
CaCO_3	10.23%
CaO	0.78%
Impurezas	7.36%

Para realización del balance de materia se tendrá en cuenta los siguientes supuestos:

- ✓ En el primer reactor la conversión es del 20% respecto al flujo másico de fluorapatita.
- ✓ La digestión de la roca en el segundo reactor ocurre con una conversión de 94% respecto a fluorapatita.
- ✓ El fosfato monocálcico formado en el pre-digestor es consumido en un 95% en el segundo reactor.

- ✓ El carbonato presente en la roca es consumo en un 95%.
- ✓ El primer filtro opera filtrando el 30% del ácido fosfórico y 17% de agua, reteniendo aproximadamente un 99% de SiO₂, 99.5% de CaO y 92.5% de las impurezas y demás sólidos presentes.
- ✓ La corriente de reflujo L9 presenta un 28% de ácido fosfórico.
- ✓ Se añadirá un exceso de ácido sulfúrico de 2%.

Los cálculos en detalle del balance de masa y energía se muestran en el Apéndice.

2.8. PRINCIPALES EQUIPOS DE PROCESO.

Los principales equipos del proceso se basan en el procesamiento de 6.7 ton/h de roca fosfatada para producir 3.75 ton/h de ácido fosfórico con 85% de pureza. Los equipos principales se han seleccionado en forma similar al fabricante de equipos del proceso por di-hidrato (Phoenix, 2013).

INFORMACION RESUMIDA DEL PROCESO.

- Proceso di-hidrato, tipo húmedo
- Cuatro etapas básicas: Molienda, Reacción, Filtración, Concentración.
- Una sola etapa de filtración
- La molienda de la roca, en lo posible en húmedo.
- Fácil transporte del lodo de yeso residual.

EQUIPO PRINCIPAL

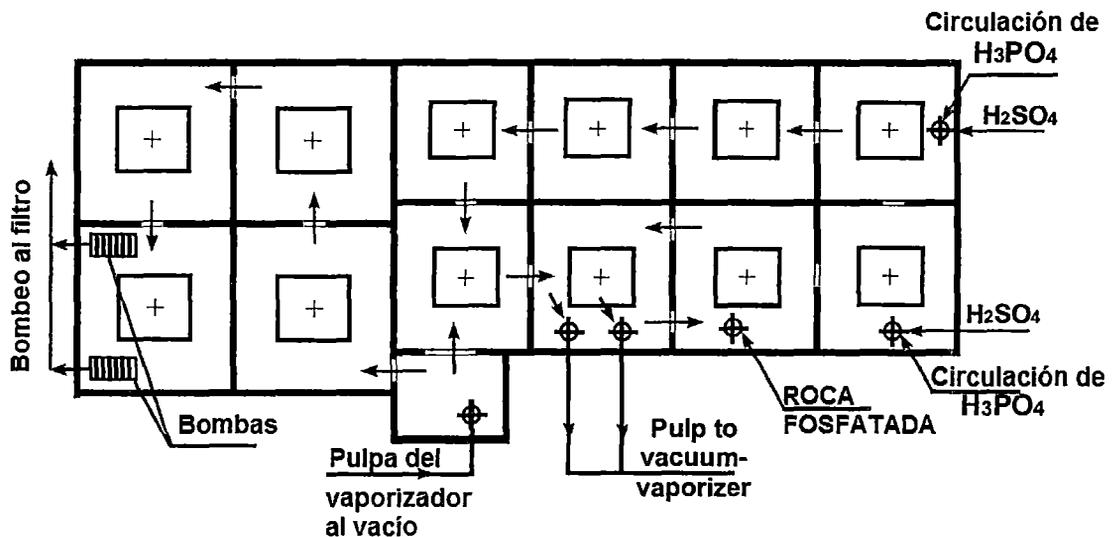
- **Molinos de roca fosfatada, del fabricante Stein-Roubaix/Hardinge**
 - Tipo: molino de bolas de acero de alta resistencia
 - Capacidad: 10 ton/h de roca fosfatada
 - Potencia motor: 75 kW
 - Tamaño de alimentación: 30 mm

Tamaño de producto: 0.074 – 0.038 mm

Velocidad de rotación: 103 rpm

- Dilutor de ácido sulfúrico Vicarb
Volumen de trabajo: 20 m³
Material: acero inoxidable recubierto con grafito
- **Reactor**
Número de reactores: 10 reactores en dos baterías de 5
Material: acero inoxidable con agitador
Volumen de trabajo: 30 m³ cada uno
- **Concentrador de ácido fosfórico, evaporador**
Tipo: evaporador al vacío
Área total del evaporador: 1000 m²
- **Filtro de lodo**
Operación: filtrar el yeso precipitado
Tipo: rotatorio al vacío
Tamaño: diámetro 6 pies x 24 pies de largo
- **Filtros tipo bolsa**
- Conductor de roca fosfatada, del fabricante Vidmar
- Intercambiador de calor para ácido fosfórico
- **Intercambiador de calor de grafito, del fabricante Swenson.**
Tipo: intercambiador de casco y tubo
Material: tubos y casco de grafito
Área de trabajo: 650 pie²
- Bomba de recirculación.

DISTRIBUCIÓN DEL LOS EQUIPOS.



2.9. IMPACTO AMBIENTAL.

El impacto más significativo en este tipo de plantas es la producción de un residuo sólido, conocido como yeso y que químicamente es el sulfato de calcio. El yeso es un residuo de valor comercial en la industria de la construcción.

Teniendo en cuenta el avance importante de la industria de construcción en el norte y en todo el país, entonces se tendrá un subproducto con valor comercial. El kilogramo de yeso de construcción con 5% de humedad es de 2.50 nuevos soles. Por lo tanto se tendrá el dinero suficiente para secar el yeso que sale de la planta en forma de lodo.

Otro residuo sólido que es controlable es el polvo que se generada en la etapa de molienda de la roca fosfatada. Sin embargo, este se controla que no salga al medio ambiente con el uso de ciclones que recircula los polvos de la molienda al proceso.

Lo que significa el ruido de la molienda debe mitigarse proporcionando equipo de protección al personal para evitar ruidos molestos.

III. ESTUDIO ECONÓMICO

Durante el presente capítulo, se hace una descripción detallada del Balance Económico del proyecto, donde se evalúa la factibilidad económica del mismo.

Para estimar la inversión total se ha considerado los precios del año 2014 de los proveedores de maquinaria para el producto motivo del proyecto. La fuente principal consultada ha sido Matches que nos brinda costos actualizados para 275 tipos de equipos de la industria química.

Como criterio de rentabilidad se usa el retorno sobre la inversión, tiempo de recuperación del capital "pay out time", valor presente del flujo de dinero, punto de equilibrio, tasa interna de retorno.

Cabe mencionar que los valores obtenidos de la evaluación económica son susceptibles de ser mejorados. En la evaluación económica no se ha considerado la producción de yeso. Este sub-producto mejoraría substancialmente la economía del proyecto o serviría para cubrir los gastos del yeso en forma de lodo que sale de la planta.

3.1. ESTIMACIÓN DE LA INVERSIÓN DEL PROYECTO.

La inversión total es el capital necesario para la ejecución del proyecto, el que se ha estimado en **\$ 15 249 080**. Este capital se considera integrado por: el capital fijo total y capital de trabajo u operación. El resumen de la inversión total se muestra en la cuadro 05.

3.1.1. CAPITAL FIJO TOTAL.

Este capital es el necesario para la compra e instalación de los equipos principales y auxiliares necesarios para poner la planta en las condiciones para la producción, se consideran además los gastos que demandan la construcción física, los costos indirectos, capital de puesta en marcha y los intereses durante el periodo de culminación del proyecto.

El monto del capital fijo total asciende a **US\$ 12 878 396.**

A. COSTOS DIRECTOS.

Es el capital necesario para la compra e instalación de todo el equipo principal del proceso de los equipos auxiliares, se incluye también gastos en tuberías y accesorios, aislamiento térmico, control por instrumentación, servicios auxiliares, instalaciones eléctricas, cimientos y estructuras, edificios y por último terreno y mejoras.

Este capital asciende a **US\$ 9 305 507.**

B. COSTOS INDIRECTOS.

Son los gastos indirectos que demanda la construcción física de la planta. El monto de este rubro asciende a **US\$ 3 572 888** que comprende gastos de ingeniería y supervisión, construcción, honorarios de construcción e imprevistos. En el caso de los honorarios se considera el 10% de los costos directos.

C. CAPITAL DE PUESTA EN MARCHA.

Comprende los gastos debido a las pruebas y los reajustes del equipo en el arranque del proceso. Se ha estimado un valor de **US\$ 357288** que corresponde al 10% de la suma de los costos directos e indirectos.

D. INTERÉS DE FINANCIAMIENTO.

Se considera el 13.5% de interés de la suma del costo directo más el costo indirecto más el capital puesta en marcha, durante el periodo de complementación del proyecto que abarca el periodo de construcción de la planta que es de 12 meses y el periodo de puesta en marcha antes mencionado de 3 meses: El monto es **US\$ 1 738 583.**

3.1.2. CAPITAL DE TRABAJO.

Se refiere al dinero adicional para operar la planta hasta que opere el dinero de las ventas. Está formado por la cantidad total de dinero invertido en materias primas, inventarios de materiales de proceso, inventario de producto, cuentas por cobrar y caja. El monto asciende a **US\$ 2 370 684.**

A. INVENTARIO DE MATERIAS PRIMAS.

Se ha estimado en función del costo total de materia prima necesaria para un mes. Su valor asciende a **\$ 324 084.**

B. INVENTARIOS DE MATERIA DE PROCESOS.

Su estimación se considera igual al costo de un (1) día del costo de manufactura. Se estima en **\$ 21600.**

C. INVENTARIO DE PRODUCTO.

Para su estimación se considera un (1) mes del costo de manufactura. Se estima en **\$ 600000.**

D. CUENTAS POR COBRAR.

Se estima en base al monto de ventas por un (1) mes. Esto asciende a **\$4825000.**

E. CAJA Y BANCOS.

Es el capital necesario para cubrir los gastos de salario, suministros de operación, etc. Se considera un (1) mes del costo de manufactura. Se estima en **\$ 600000.**

3.2. ESTIMACIÓN DEL COSTO DE FABRICACIÓN (CTF).

El valor total del costo total de fabricación asciende a una suma de **US\$ 6056532** y se obtiene por la suma del total del costo fijo de fabricación (TCFF) y los gastos generales (VAI).

3.2.1. COSTO FIJO DE FABRICACIÓN.

A. COSTOS DIRECTOS DE FABRICACIÓN.

a. Materia prima.

Es el costo de las materias primas e insumos utilizados en un año, en el proceso de fabricación del producto. Este monto asciende a **\$ 3889013.**

b. Mano de obra.

Este rubro comprende al personal que normalmente opera la planta y la estimación se realiza determinando el número de trabajadores y posteriormente el salario que le corresponde a cada trabajador.

El monto total asciende a **\$ 70200.**

c. Supervisión e Ingeniería.

Por ser una planta pequeña se considera un ingeniero supervisor por turno, haciendo un total de 3. El costo total es de \$ **10530**.

d. Mantenimiento.

Estos gastos incluyen el material, mano de obra y supervisión corresponden a: reparaciones accidentales, rutina de mantenimiento y en algunos casos para una mejor revisión de equipos y edificios.

El monto equivale al 1% del capital fijo total, y asciende a \$ **128784**.

e. Auxiliares y servicios.

Comprende a servicios como energía eléctrica y agua (servicio de terceros). Se tomó el 15% del costo de mantenimiento. El monto alcanza el \$ **1721**.

f. Suministro de operación.

Se considera el 15% del costo de mantenimiento. El monto asciende a \$ **19317**.

B. COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN (CIF).

Son ciertos beneficios y facilidades que tienen los trabajadores y además algunos renglones que no están ligados directamente a la manufactura del producto, que se tienen que cargar al costo de producción.

Los Costos Indirectos de Fabricación Ascienden a una suma \$ **42822** y están dados por los siguientes rubros.

a. Cargas a planillas.

Es un costo que paga la empresa por ESSALUD y equivale al 21% de mano de obra. Este monto asciende a \$ 14742.

b. Gastos de laboratorio.

Lo constituyen las pruebas de control de calidad, análisis físicos y/o químicos, y todo lo relacionado para certificar la pureza del producto y viabilidad o para identificar procesos defectuosos. Esta suma equivale al 20% del costo de mano de obra, e igual a \$ 14040.

c. Gastos generales de planta.

Este monto asciende a \$ 14040 y se ha estimado como el 20 % del costo de mano de obra.

C. COSTOS FIJOS DE FABRICACIÓN (CFF).

Son aquellos costos cuyo valor es independiente del nivel de producción o utilización de la planta y comprende la depreciación, impuestos y seguros. La depreciación es el 10% del capital fijo total. Los impuestos son del 2% y seguros 1% del capital fijo total. Este costo es \$ 1674191.

3.2.2. GASTOS GENERALES (VAI).

Los gastos efectuados en una compañía que no están en los costos de manufactura, pero que son necesarios para que la planta funcione con eficiencia, son agrupados como gastos generales y se conocen por el concepto de ventas y distribución, administración, e investigación y desarrollo. Las Ventas equivalen al

10 % del total del costo fijo de fabricación, la Administración al 35 % de la mano de obra e Investigación al 2% de mano de obra. Estos gastos hacen a un valor \$ 202356.

3.3. ANÁLISIS DEL PROYECTO DE INVERSIÓN.

El objetivo de la evaluación, es la obtención de los elementos de juicio necesarios para emitir una decisión final si el proyecto satisface o no los requerimientos o exigencias de los inversionistas en función a su rentabilidad.

3.3.1. RETORNO SOBRE LA INVERSIÓN (RSI).

Se expresa como la relación porcentual entre las utilidades netas antes y después del pago de los impuestos. Los resultados obtenidos son de 59.6% antes del pago de impuestos, y 30.8% después de pagar los impuestos.

3.3.2. TIEMPO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN (TRI).

Llamado periodo de recuperación del efectivo, periodo de reembolso (tiempo periodo de pago). Son los años necesarios para recuperar la inversión despreciable original a partir de las utilidades o márgenes de depreciación.

Los cálculos indican que el dinero invertido será recuperado en 2.87 años.

3.3.3. PUNTO DE EQUILIBRIO.

El punto de equilibrio que representa el porcentaje de la capacidad de la planta en la que no existen pérdidas ni ganancias es de 32.3 %.

CUADRO Nº 05
INVERSIÓN TOTAL DEL PROYECTO

1.1	Capital Fijo Total				\$12878396
1.1.1	Costos Directos			\$ 9305507	
	a.	Costos de Equipo instalado	\$ 1199850		
	b.	Costo de tuberías y accesorios	\$ 1733117		
	c.	Costo de Control por instrumentación	\$ 933217		
	d.	Costo de auxiliares y servicios	\$ 1733117		
	e.	Costo de instalaciones eléctricas	\$ 293297		
	f.	Costos de edificios	\$ 479940		
	g.	Costo de terrenos y mejoras	\$ 266633		
1.1.2	Costos Indirectos			\$3572888	
	a.	Costo de Ingeniería y Supervisión	\$ 799900		
	b.	Costos de construcción	\$ 1066533		
	c.	Costo de honorarios para contratistas	\$ 533267		
	d.	Gastos imprevistos	\$ 1066533		
1.2	Capital de trabajo				\$ 2370684
1.2.1	Inventario de materia prima			\$ 324084	
1.2.2	Inventario de materia en proceso			\$ 21600	
1.2.3	Inventario de producto			\$ 600000	
1.2.4	Cuentas por cobrar			\$ 825000	
1.2.5	Disponibile en caja			\$ 60000	
INVERSIÓN TOTAL DE PROYECTO					\$15 249 080

CUADRO 5.2 COSTO TOTAL DE FABRICACIÓN

1.1	Costos de fabricación			\$ 373921
1.1.1	Costo directo de fabricación		\$ 4137162	
	a.	Costo de materia prima	3889013	
	b.	Costo de mano de obra	70200	
	c.	Costo de supervisión e ingeniería	10530	
	d.	Costo de mantenimiento	128784	
	f.	Costo de auxiliares y servicios	19317	
	g.	Costo de suministros de operación	19317	
1.1.2	Costos indirectos de fabricación		\$ 42822	
	a.	Carga a planillas	14742	
	b.	Gastos de laboratorio	14040	
	c.	Gastos generales de planta	14040	
1.1.3	Costos fijos de fabricación		\$ 1674192	
	a.	Depreciación	1287839	
	b.	Impuestos	257568	
	c.	Seguros	128784	
1.2	Gastos generales			\$ 202356
1.1.2	Gastos V.A.I		\$ 202356	
COSTO TOTAL DE FABRICACIÓN				\$ 6 056 532
TOTAL DE UNIDADES PRODUCIDAS POR AÑO			30000	toneladas
COSTO UNITARIO DEL PRODUCTO			281.88	\$ / ton

CUADRO N° 06
ESTADO DE PERDIDAS Y GANANCIAS

		Producción anual			30000	toneladas
		Precio de venta por unidad			336	\$/kg
		Ingreso neto de ventas anuales			10080000	\$
		Costo total de fabricación (producción)			6056532	\$
		Utilidad Bruta			4023468	\$
		Impuesto a la renta (30 %)			928492	\$
		Utilidad neta			3094975	\$

Ingreso neto de ventas anuales = Producción anual * Precio de venta unitario

Utilidad Bruta = Ingreso Neto de Ventas Anuales - Costo Total de Fabricación

Utilidad Neta = Utilidad Bruta - Impuesto a la Renta.

CUADRO N° 06: ANÁLISIS ECONÓMICO

	Valor	Aceptable
a. Retorno sobre la Inversión antes del pago de impuestos	59.6 %	> 35 %
b. Retorno sobre la Inversión después del pago de impuestos	23.8 %	> 12 %
c. Tiempo de recuperación del dinero	2.87	< 5 años
d. Punto de equilibrio	32.3%	< 50%
e. Relación beneficio - costo	1.25	-----

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1. CONCLUSIONES.

a. De análisis de mercado.

Se evaluó las condiciones de mercado para demostrar la aceptación de ácido fosfórico con 85% de concentración. Se consideró básicamente reemplazar las importaciones de este insumo importante para diferentes industrias en nuestro país, como las fábricas de gaseosas, la cerveceras y otros. Se fijó abastecer 30000 toneladas al año de producto.

b. De análisis técnico.

Se determinó que el todos los procesos existentes el más conveniente es el proceso húmedo llamado también proceso di-hidrato. Esta tecnología es conocida a nivel mundial y por lo tanto es factible instalarlo en nuestro país. La planta estará localizada en Bayovar, cerca de la vetas de rocas fosfatada disponibles en ese lugar.

c. De análisis financiero.

Se evaluó de factibilidad financiera y se hizo un análisis económico. La inversión alcanza un valor de **15'249,080** dólares. El costo de producción es de 281.88 dólares la tonelada. Considerando un precio de venta de 336 dólares la tonelada se obtiene una tasa interna de retorno sobre la inversión de 59.6%, un periodo de recuperación del dinero de 2.87 años, y un beneficio/costo de 0.25 dólares.

d. De análisis ambiental.

El impacto ambiental es positivo, porque se obtiene un residuo solido en forma de lodo que tiene uso comercial. Se trata de yeso, que se puede vender a 2.50 nuevos soles el kilogramo. No existe otro residuo contaminante importante.



4.2. RECOMENDACIONES.

- Instalar la planta de producción de ácido fosfórico para reemplazar las importaciones de este producto y disminuir la salida de divisas de nuestro país.
- Ampliar el estudio de mercado para utilizar el ácido fosfórico para preparar fertilizantes que combinen NPK.
- Instalar otra planta de ácido fosfórico en la zona de rocas fosfatadas de la zona de Ocucaje, del sur de Ica.

V. BIBLIOGRAFIA

AUSTIN T. G. 2001. Manual de Procesos Químicos en la Industria, Primera Edición, Editorial Mac Graw Hill, México D.F.

BACA URBINA, GABRIEL, 2011. "Evaluación de Proyectos". Tercera Edición-McGraw Hill-México.

BANCO CENTRAL DE RESERVA DEL PERU. 2013. SINTESIS: Reporte de Inflación, Diciembre 2013. Lima, Perú.

BATES R.G. 2003. Determination of pH: Theory and Practice. 2da. Ed. Nueva York, John Wiley and Sons.

CAMACHO J. 2002. Mapa de Recursos Minerales de Colombia. Minerales Industriales. INGEOMINAS.

El Peruano. (2013). Roca Fosfórica: insumo vital para la agricultura. Tribuna Parlamentaria. Publicado: 01/07/2013. Lima, Perú.

EFMA – EUROPEAN FERTILIZER MANUFACTURER'S ASSOCIATION. 2007. Production of Phosphoric acid. Bélgica, pag 12-15.

FERTILIZERWEEK. 2013. Sulphuric acid – Market Analysis. CRU International Ltd. Registered in England N° 940750.

FAO. 2007. Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible. ISBN, 9789253050307. Job Number, Y5053/S. Número en series, 13 Boletines FAO.

GUTIERREZ RIOS E. 2008. Química Inorgánica. Tercer Edición. Editorial Reverte S.A., México.

INNOPHOS S.R.L. 2013. Ácido fosfórico – Hoja de seguridad de materiales. Subsidiaria de Chemtrec – USA. Innophos Fosfatados de México.

INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION. 1998. "The Fertilizer Industry's Manufacturing Processes and Environmental Issues", Mineral Fertilizer Production and the Environment, UNEP, 26th Publication, Págs. 29-31. United Nations.

IPCS – International Programme on Chemical Safety. 2000. Fichas Internacionales de Seguridad Química: Acido Sulfurico. ICSC: 0362. CAS: 7664-93-9. Comunidad Europea.

MENDOZA DE LA FUENTE D. 2009. La producción de fertilizante a partir de gas natural. Instituto Politécnico Nacional, Escuela superior de ingeniería química e industrias extractivas. México.

PERU 21.2014. PBI peruano registro en 2013 su menor tasa en cuatro al crecer 5.02%. Lima, 15 de febrero del 2014.

PHOENIX EQUIPMENT CORPORATION. 2013. 400000 TPY Phosphoric Acid Plant. USA. www.phxequip.com.

QUIMEX S.A. 2014. Productos Químicos Industriales. Ácido fosfórico grado alimenticio – Hoja técnica. CAL-FOR-002/ver.02. México.

QUIMEX S.A. 2014. Productos Químicos Industriales. Ácido fosfórico grado técnico – Hoja técnica. CAL-FOR-002/ver.02. México.

QuimiNet.com. (2011). Usos y aplicaciones del ácido fosfórico. Oficina Matriz México. <http://www.quiminet.com/articulos>.

SUNAT. 2013. Anuarios de Importación. Estadísticas de Comercio Exterior. Lima, Perú.

UMPE – Unidad de Planeación Minero Energética. 2005. Análisis de la Estructura Productiva y Mercados de la roca fosfórica. Informe Final, Contrato 1571-08-2005. Colombia.

UNAD – Universidad Nacional Abierta a Distancia. (2013). Tecnología Química. Unidad 1: industria basada en compuestos inorgánicos.

BCRP, B. C. (s.f.). "Panorama actual y proyecciones macroeconómicas", *Reporte de Inflación Junio 2010. Diseño e Impresión BANCO CENTRAL DE RESERVA DEL PERÚ.* Lima, 2010

Henry Meza. "Comportamiento de la Economía Peruana en el Segundo Trimestre de 2010", *Informe Técnico PBI Trimestral N° 03. Lima, Agosto 2010.*

Pedro Ángeles Chero, "Diseño de plantas industriales", Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias, Lambayeque, Perú.

LINKOGRAFÍA

- http://en.wikipedia.org/wiki/Phosphoric_acid.
http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido_fosf%C3%B3rico.
- http://greco.fmc.cie.uva.es/mineralogia/contenido/clases_miner7_4_2_3.html.
http://www.bedri.es/Libreta_de_apuntes/A/AC/Acido_fosforico.htm.
- http://issuu.com/capet/docs/capitulo3_roca_fosfatica_latinoam_rica
- <http://www.fertilizando.com/novedades/20070601novedadesnpk.asp>
- <http://www.sriconsulting.com/CEH/Public/Reports/760.4000/>.
- <http://www.fundacionempresaspolar.org/quimica/fasciculo13.pdf>
mnhkhggghjkh
ghjhjhgggghjk
- <http://www.aduanet.gob.pe/cl-ad-itestadispartida/resumenPPaisS01Alias>
- <http://www.trademap.org/>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Departamento_de_Piura
- <http://www.mincetur.gob.pe/newweb/portals/0/PIURA.pdf>
- <http://www1.inei.gob.pe/biblioinei/pub/bancopub/Est/Lib0828/libro.pdf>

APÉNDICE

A.1. CALCULO DE TASA DE CRECIMIENTO.

Tabla N° 04
Consumo nacional de Ácido Fosfórico en toneladas durante los años
2004 - 2013 en el Perú

años	importaciones(Ton)	exportaciones(Ton)
2004	4604	2.402
2005	5288	0.05
2006	4993	1.21
2007	8347	5
2008	7783	0.35
2009	11251	3.2993
2010	14365	117.83
2011	16850	228.43
2012	13977	7.35
2013	16015	3.53

A.2. DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA FUTURA

DEMANDA FUTURA	
2014	33775.764
2015	35255.764
2016	36735.764
2017	38215.764
2018	39695.764
2019	41175.764
2020	42655.764
2021	44135.764
2022	45615.764
2023	47095.764

A.3. CÁLCULO DE DEMANDA INSATISFECHA

Por ser importaciones (muy pocas exportaciones) la demanda insastifecha proyecta corresponde a la demanda proyectada para el año 2023.

$$D_i = D_{2023}$$

$$D_i = 47095.764$$

A.4. ESTIMACIÓN DEL PRECIO

País de Origen	Valor FOB(dólares)	Valor CIF(dólares)	Peso Neto(Ton)	Valor CIF (\$/Ton)
MEXICO	9,424,190.49	10,172,736.96	11,102.740	916.236619
CHINA	2,895,944.66	3,187,151.97	3,310.781	962.658651
KOREA, REPUBLICA OF	898,051.62	979,112.45	1,092.190	896.467144
BRAZIL	452,293.60	483,145.80	466.400	1035.90437
ESTADOS UNIDOS	19,067.04	20,448.78	20.425	1001.16426
ARGENTINA	15,069.35	17,562.74	15.904	1104.29703
SWITZERLAND	12,934.37	14,513.23	2.084	1964.12188
CHILE	10,519.72	13,175.11	5.136	1565.24727
GERMANY	4,224.66	4,891.53	0.01470	1332.143
ESPAÑA	318.45	413.16	0.04355	948.70264

$$\text{Promedio CIF} = \frac{\text{CIF}}{10}$$

$$\text{Promedio CIF} = \frac{916.236619 + 962.658651 + \dots + 948.702641}{10}$$

$$\text{Promedio CIF} = \$ 1050.69$$

El precio estimado para el Ácido Fosfórico con 85% de pureza será de \$ 1050.69 por tonelada.

A.5. CALCULO DE CAPACIDAD DE PLANTA.

Para este cálculo se toma la demanda futura en el año 2023 y considerando un factor de riesgo del 60%, realizándose el siguiente procedimiento:

$$Q = \text{Factor de riesgo} \times D_{2023}$$

$$D_{2019} = 47095 \text{ Ton}$$

$$Q = \text{Capacidad de planta}$$

$$\text{Factor de riesgo} = 0.60$$

$$Q = 0.60 \times 47095$$

$$Q = 28257 \frac{\text{Ton}}{\text{año}}$$

Estimando un tiempo de producción de 8000 Horas/año:

$$Q = \frac{28257 \text{ Ton/año}}{8000 \text{ Hrs/año}}$$

$$Q = 3.53 \text{ Ton/horas}$$

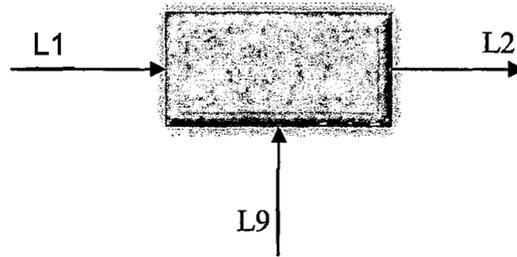
La capacidad de la planta de Ácido Fosfórico será de 30000 Toneladas por año equivalente a 3.75 Toneladas por hora.

A.6. BALANCES DE MASA Y ENERGIA EN LOS EQUIPOS DE PROCESO.

A.6.1. BALANCE EN EL PRE-DIGESTOR.

Las cantidades de flujo de la corriente L9 se han obtenido realizando un proceso iterativo previo al balance general.

Las cantidades están en toneladas por hora en todos los cuadros.

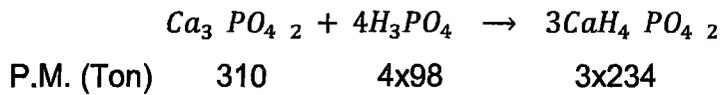
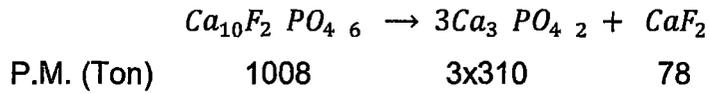


Cuadro N° 07

Flujos másicos en la corriente L9

COMPONENTE	L1
$\text{Ca}_{10}\text{F}_2(\text{PO}_4)_6$	4.6192
H_3PO_4	
H_2SO_4	
$\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$	
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	
SiO_2	0.1183
CaO	0.0461
CaCO_3	0.6050
CaF_2	0.0919
SiF_4	
HF	
CO_2	
H_2O	
Impurezas	0.4355
TOTAL	5.9160

- El 20% de fluorapatita de consumen ocurriendo las siguientes reacciones:



- De acuerdo con la estequiometria de reacción:

$$\begin{array}{ccc} 1008 & \longrightarrow & 3x3x234 \\ 0.2x4.6192 & \longrightarrow & X1 \\ \hline & & X1 = 1.9301 \end{array}$$

Se produce 1.9301 Ton/hr de CaH₄(PO₄)₂.

$$\begin{array}{ccc} 1008 & \longrightarrow & 3x4x98 \\ 0.2x4.6192 & \longrightarrow & X2 \\ \hline & & X2 = 1.0778 \end{array}$$

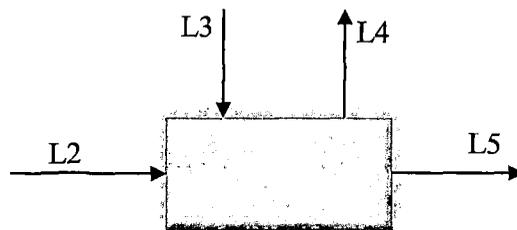
Se consumen 1.0778 Ton/hr de H₃PO₄.

- Resultando un balance como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 08
Balance de Materiales en el Primer Reactor

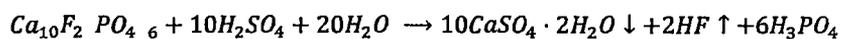
COMPONENTE	Entrada		Salida
	L1	L9	L2
$\text{Ca}_{10}\text{F}_2(\text{PO}_4)_6$	4.6192		3.6954
$\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$			1.9301
H_3PO_4		5.7873	4.7095
SiO_2	0.1183		0.1183
CaO	0.0461		0.0461
CaCO_3	0.6050		0.6050
CaF_2	0.0919		0.1634
H_2O		14.8817	14.8817
Impurezas	0.4355		0.4355
TOTAL	5.9160	20.6690	26.5850
	26.5850		

A.6.2. BALANCE EN EL DIGESTOR.



En este segundo reactor suceden las siguientes reacciones:

- o Con una conversión de fluorapatita de 94%:



P.M. (Ton) 1008 10x98 20x18 10x172 2x20 6x98

Se forman 5.9273 Ton/hr de sulfato de $CaSO_4 \cdot 2H_2O$.

$$\begin{array}{rcl} 1008 & \longrightarrow & 10x172 \\ 0.94x3.6954 & \longrightarrow & X3 \\ \hline & & X3 = 5.9273 \end{array}$$

Se forman 0.1378 Ton/hr de HF:

$$\begin{array}{rcl} 1008 & \longrightarrow & 2x20 \\ 0.94x3.6954 & \longrightarrow & X4 \\ \hline & & X4 = 0.1378 \end{array}$$

Se forman 2.0263 Ton/hr de H_3PO_4 :

$$\begin{array}{rcl} 1008 & \longrightarrow & 6x98 \\ 0.94x3.6954 & \longrightarrow & X5 \\ \hline & & X5 = 2.0263 \end{array}$$

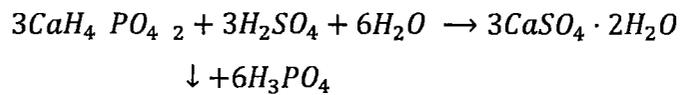
Se consumen 3.3772 Ton/hr de H_2SO_4 :

$$\begin{array}{rcl} 1008 & \longrightarrow & 10x98 \\ 0.94x3.6954 & \longrightarrow & X6 \\ \hline & & X6 = 3.3772 \end{array}$$

El agua necesaria para esta reacción es de 1.2406 Ton/hr:

$$\begin{array}{rcl}
 1008 & \longrightarrow & 20 \times 18 \\
 0.94 \times 3.6954 & \longrightarrow & X7 \\
 \hline
 & & X7 = 1.2406
 \end{array}$$

- o El fosfato mono cálcico se consume en un 95%:



P.M. (Ton)	3x234	3x98	6x18	3x172	6x98
------------	-------	------	------	-------	------

Se producen y consumen de la siguiente manera:

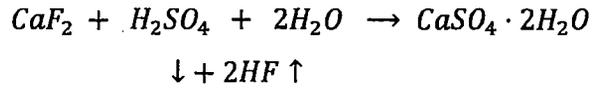
$$\begin{array}{rcl}
 3 \times 234 & \longrightarrow & 3 \times 172 \\
 0.95 \times 1.9301 & \longrightarrow & X8 \\
 \hline
 & & X8 = 1.3478 \text{ Ton/hr de } CaSO_4 \cdot 2H_2O
 \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl}
 3 \times 234 & \longrightarrow & 6 \times 98 \\
 0.95 \times 1.9301 & \longrightarrow & X9 \\
 \hline
 & & X9 = 1.5358 \text{ Ton/hr de } H_3PO_4
 \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl}
 3 \times 234 & \longrightarrow & 3 \times 98 \\
 0.95 \times 1.9301 & \longrightarrow & X10 \\
 \hline
 & & X10 = 0.7679 \text{ Ton/hr de } H_2SO_4
 \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl}
 3 \times 234 & \longrightarrow & 6 \times 18 \\
 0.95 \times 1.9301 & \longrightarrow & X11 \\
 \hline
 & & X11 = 0.2821 \text{ Ton/hr de } H_2O
 \end{array}$$

- o El CaF_2 formado en el primer reactor es consumido y la aproximadamente la mitad del HF formado es convertido en SiF_4 por reacción con la sílice SiO_2 presente:



P.M. (Ton) 78 98 2x18 172 2x20

En esta reacción se producen y consumen lo siguiente:

$$\begin{array}{ccc} 78 & \longrightarrow & 172 \\ 0.0715 & \longrightarrow & X12 \end{array}$$

X12 = 0.1577 Ton/hr de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

$$\begin{array}{ccc} 78 & \longrightarrow & 2x20 \\ 0.0715 & \longrightarrow & X13 \end{array}$$

X13 = 0.0367 Ton/hr de HF

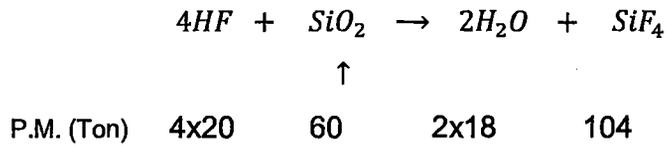
$$\begin{array}{ccc} 78 & \longrightarrow & 98 \\ 0.0715 & \longrightarrow & X14 \end{array}$$

X14 = 0.0898 Ton/hr de H_2SO_4

$$\begin{array}{ccc} 78 & \longrightarrow & 2x18 \\ 0.0715 & \longrightarrow & X15 \end{array}$$

X15 = 0.0330 Ton/hr de H_2O

De acuerdo a la reacción, se producen y consumen:

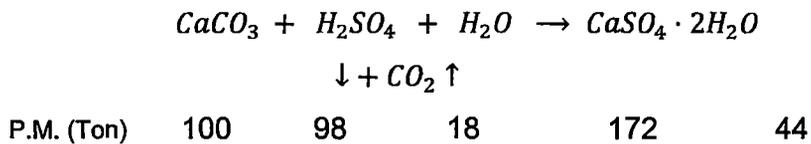


4x20	→	2x18
0.5x0.1745	→	X16
X16 = 0.0393 Ton/hr de H ₂ O		

4x20	→	104
0.5x0.1745	→	X17
X17 = 0.1134 Ton/hr de SiF ₄		

4x20	→	60
0.5x0.1745	→	X18
X18 = 0.0654 Ton/hr de SiO ₂		

- El carbonato presente es consumido en un 95% y convertido en ácido fosfórico de la manera siguiente:



De acuerdo a la estequiometria de la reacción se tiene:

100	→	172
0.95x0.6050	→	X19
X19 = 0.9886 Ton/hr de CaSO ₄ ·2H ₂ O		

100	→	44

$$\begin{array}{ccc} 0.95 \times 0.6050 & \longrightarrow & X20 \\ \hline & & X20 = 0.2529 \text{ Ton/hr de CO}_2 \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} 100 & \longrightarrow & 98 \\ 0.95 \times 0.6050 & \longrightarrow & X21 \\ \hline & & X21 = 0.5633 \text{ Ton/hr de H}_2\text{SO}_4 \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} 100 & \longrightarrow & 18 \\ 0.95 \times 0.6050 & \longrightarrow & X22 \\ \hline & & X22 = 0.1035 \text{ Ton/hr de H}_2\text{O} \end{array}$$

- o Balance por componente:

$\text{Ca}_{10}\text{F}_2(\text{PO}_4)_6$ remanente: $0.06 \times 3.9654 = 0.2217 \text{ Ton/hr}$

$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ total formado: $X3 + X8 + X12 + X19 = 8.4214 \text{ Ton/hr}$

H_3PO_4 formado: $X5 + X9 = 3.5621 \text{ Ton/hr}$

HF formado: $X4 + X13 - 0.5(X4 + X13) = 0.0873 \text{ Ton/hr}$

SiF_4 formado: $X17 = 0.1134 \text{ Ton/hr}$

CO_2 formado: $X20 = 0.2529 \text{ Ton/hr}$

H_2SO_4 consumido: $X6 + X10 + X14 + X21 = 4.7982 \text{ Ton/hr}$

H_2O consumida: $X7 + X11 + X15 - X16 + X22 = 1.6199 \text{ Ton/hr}$

$\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_3$ remanente: $0.05(1.9301) = 0.0965 \text{ Ton/hr}$

CaF_2 remanente: $0.1634 - 0.0715 = 0.0919 \text{ Ton/hr}$

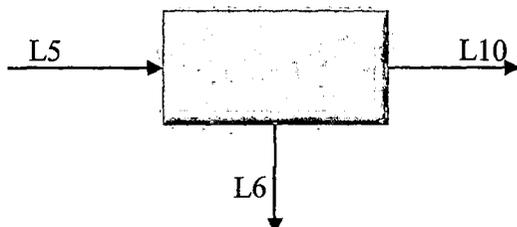
SiO_2 remanente: $0.1183 - X18 = 0.0529 \text{ Ton/hr}$

CaCO_3 remanente: $0.05(0.6050) = 0.0303 \text{ Ton/hr}$

Cuadro N° 09
Balance de Materiales en el Segundo Reactor

COMPONENTE	L2	L3	L4	L5
Ca ₁₀ F ₂ (PO ₄) ₆	3.6954			0.2217
H ₃ PO ₄	4.7095			8.2716
H ₂ SO ₄		4.8941		0.0959
CaH ₄ (PO ₄) ₂	1.9301			0.0965
CaSO ₄ .2H ₂ O				8.4213
SiO ₂	0.1183			0.0529
CaO	0.0461			0.0461
CaCO ₃	0.6050			0.0303
CaF ₂	0.1634			0.0919
SiF ₄			0.1134	
HF				0.0873
CO ₂			0.2529	
H ₂ O	14.8817	0.0999		13.3617
Impurezas	0.4355			0.4355
TOTAL	26.5850	4.9940	0.3663	31.2127
	31.579		31.579	

A.7. BALANCE EN EL PRIMER FILTRO



El 30% del ácido fosfórico es filtrado.

El 99% de SiO₂ es retenido en el filtro.

Aproximadamente el 99.5% del CaO es retenido.

El 17% del agua es filtrada

El 92.5% de impurezas son retenidas en el filtro

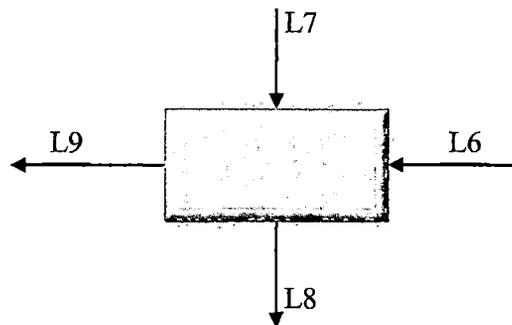
La fluorita remanente es retenida en el filtro, así como el carbonato de calcio, el fluoruro de calcio.

Cuadro N° 10
Balance de Materiales en el Primer Filtro

COMPONENTE	L5	L6	L10
Ca ₁₀ F ₂ (PO ₄) ₆	0.2217	0.2217	
H ₃ PO ₄	8.2716	5.7873	2.4843
H ₂ SO ₄	0.0959		0.0959

$\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$	0.0965		0.0965
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	8.4213	8.4213	
SiO_2	0.0529	0.0524	0.0005
CaO	0.0461	0.0459	0.0002
CaCO_3	0.0303	0.0303	
CaF_2	0.0919	0.0919	
SiF_4			
HF	0.0873		0.0873
H_2O	13.3617	11.0902	2.2715
Impurezas	0.4355	0.4029	0.0326
TOTAL	31.2127	26.1439	5.0688
		31.2127	

A.8. BALANCE EN EL SEGUNDO FILTRO.



Todos los sólidos quedan retenidos y todo el ácido pasa a la corriente L9 con una concentración de 28% aproximadamente. El yeso descargado presenta un 23.5% de humedad.

L9 = 19.2502 Ton/hr de ácido al 28% (cantidad obtenido por previo calculo iterativo).

- o Flujo en L9:

$$L9 = \frac{\text{Flujo masico de } H_3PO_4 \text{ en L6}}{0.28}$$

$$L9 = \frac{5.7873}{0.28} = 20.6689 \text{ Ton/hr}$$

- o Flujo en L8:

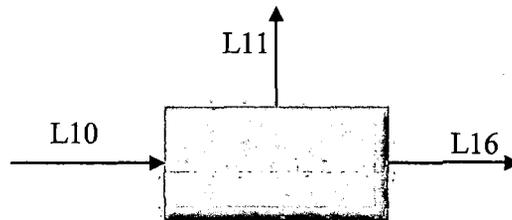
$$L8 = \frac{\text{Flujo masico de sólidos en L6}}{0.72}$$

$$L8 = \frac{9.2664}{0.72} = 12.87 \text{ Ton/hr}$$

Cuadro N° 11
Balance de Materiales en el Segundo Filtro

COMPONENTE	L6	L7	L8	L9
Ca ₁₀ F ₂ (PO ₄) ₆	0.2217		0.2217	
H ₃ PO ₄	5.7873			5.7873
CaSO ₄ .2H ₂ O	8.4213		8.4213	
SiO ₂	0.0524		0.0524	
CaO	0.0459		0.0459	
CaCO ₃	0.0303		0.0303	
CaF ₂	0.0919		0.0919	
H ₂ O	11.0902	7.3951	3.6036	14.8817
Impurezas	0.4029		0.4029	
TOTAL	26.1439	7.3951	12.870	20.6690
	33.539		33.539	

A.9. BALANCE EN EL EVAPORADOR.

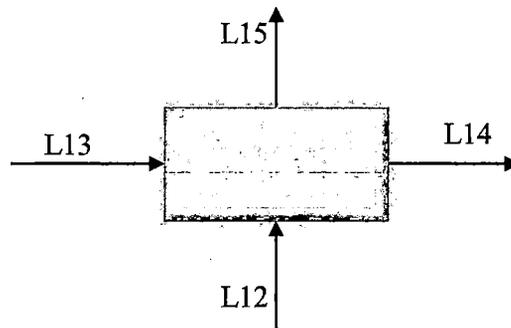


Todo el HF y gran parte del agua e impurezas son removidas con la finalidad de obtener un ácido fosfórico al 75%.

Cuadro N° 12
Balance de Materiales en el Evaporador

COMPONENTE	L10	L11	L16
H ₃ PO ₄	2.4843		2.4843
H ₂ SO ₄	0.0959		0.0959
CaH ₄ (PO ₄) ₂	0.0965		0.0965
CaSO ₄ .2H ₂ O			
SiO ₂	0.0005		0.0005
CaO	0.0002		0.0002
HF	0.0873	0.0873	
H ₂ O	2.2715	1.6623	0.6092
Impurezas	0.0326	0.0068	0.0258
TOTAL	5.0688	1.7564	3.3124
		5.0688	

A.10. BALANCE EN EL LAVADOR DE GASES.



- Todos los componentes en la corriente L12 son captados en agua debido a la alta solubilidad que presentan. Se estima que la corriente L14 sale a 40°C.

Por medio de un balance de energía, se determina el flujo de agua necesaria L13 para el lavado de gases:

$$Cp_m = 1.6862 \frac{kJ}{Kg.K}$$

- Calor sensible que pierden los gases:

$$Q_s = L12 \times Cp_m \times T_f - T_0$$

$$Q_s = 2122.7 \times 1.6862 \times 353 - 313 = 143171.8696$$

- Calor latente requerido por el vapor de agua:

$$Q_L = m_{H_2O} \cdot \lambda_{H_2O}$$

$$Q_L = \frac{1662.3 \text{ kg}}{\text{h}} \times \frac{2253 \text{ kJ}}{\text{kg}} = 3745161.9 \text{ kJ/hr}$$

- o Flujo de agua requerido:

$$L13 = \frac{Q_s + Q_L}{C_{p_{H_2O}} \times T_f - T_0}$$

$$L13 = \frac{3888333.77}{4.18 \times 313 - 298} = \frac{62014.8927 \text{ Kg}}{\text{hr}} = 62.0149 \text{ Ton/hr}$$

Cuadro N° 13
Balance de Materiales en el Lavador de Gases

COMPONENTE	L12	L13	L14	L15
SiF ₄	0.1134		0.1134	
HF	0.0873		0.0873	
CO ₂	0.2529		0.2529	
H ₂ O	1.6623	62.0149	63.6772	
Impurezas	0.0068		0.0068	
TOTAL	2.1227	62.0149	64.1376	
	64.1376		64.1376	

A.11. BALANCE DE ENERGIA.

Cuadro N° 14
Calores de Formación y Capacidades Caloríficas

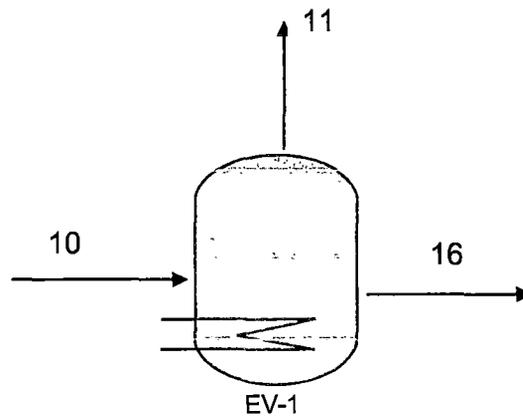
COMPUESTO	CALOR DE FORMACION Kcal/mol	CAPACIDAD CALORIFICA Cal/mol*K
$\text{Ca}_{10}\text{F}_2(\text{PO}_4)_6$	- 3262.2	95
H_2SO_4	-193.69	De acuerdo a su concentración
H_2O	-68.3174	18
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	-479.33	46.8
HF	-75.75	De acuerdo a su concentración
H_3PO_4	-309.32	De acuerdo a su concentración
$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	-986.137	39.5
$\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$	-746.04	-
CaCO_3	-289.5	30.8
SiO_2	-203.35	10.754
SiF_4	-370	-
CO_2	-94.052	-
CaF_2	-286.5	15.833
CaO	-	10.228

Fuente: PERRY'S CHEMICAL ENGINEERS' HANDBOOK, 7ma edición.

A.12. BALANCE EN EL EVAPORADOR, EV-1.

La temperatura de entrada al enfriador es de aproximadamente de 70°C ya que se estableció, que desde la salida del reactor y el paso por el filtro

1 se pierde aproximadamente 10°C. El balance de energía es el siguiente.



Datos

Corriente 10

Flujo másico = 5.0863 Tn/h

Temperatura = 70°C

Cp = 642 Kcal/Tn°C

Corriente 11

Flujo másico = 1.7606 Tn/h

Temperatura = 85°C

Presión = 0.6 atm

Calor latente del agua (a 0.6 atm) = 548080 Kcal/Tn

Corriente 16

Flujo másico = 3.323 Tn/h

Temperatura = 85°C

Cp = 488.5 Kcal/Tn°C

Calculando el calor que se tiene que suministrar en el evaporador es:

$$Q = 1.7606 \frac{Tn}{h} * \frac{548080 Kcal}{Tn} + 5.0863 \frac{Tn}{h} * 642 \frac{Kcal}{Tn °C} 85 - 70 °C$$

$$Q = 1013910.854 Kcal/h$$

El calor calculado tiene que ser suministrado por vapor de agua a 100°C, y se ha establecido que la temperatura de salida del vapor de agua es 75°C y la cantidad que se necesita es:

Calor latente del agua (a 1atm) = 539292.5 Kcal/h

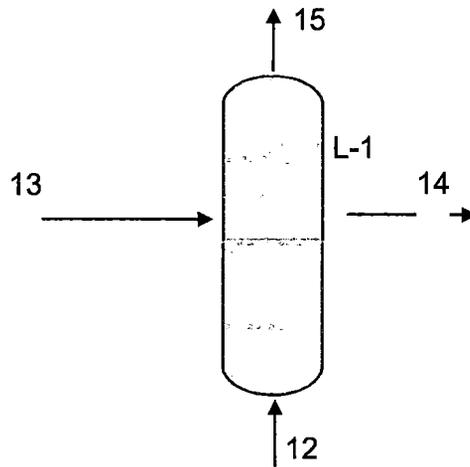
Cp del agua = 1000 Kcal/Tn °C

$$Q = 1013910.854 \frac{Kcal}{h} = m * 539292.5 \frac{Kcal}{h} + m * 1000 \frac{Kcal}{Tn °C} * (100 - 70)$$

$$m = 1.7968 Tn/h$$

Entonces, la masa de vapor de agua que se necesita para evaporar el agua y concentrar el ácido fosfórico hasta 75% es 1.7968 Tn/h.

A.13. BALANCE EN LA TORRE LAVADOR, L-1



Los datos de flujo másico para este balance de energía, y así como para todos, se obtiene del balance de materia. Cuyos datos son los que siguen:

Cuadro N° 15
Balance de Energía en el Lavador de Gases

	12	13	14	15
Temperatura	84.00	25.00		
Presión (Kpa)	101.325	101.325	101.325	101.325
Cp (Kcal/Tn °C)	403.00	1000.00	-	-
Flujo másico (Tn/h)	2.1287	62.1124	64.2411	0.0000

El balance de energía en la torre lavador es, básicamente para determinar la temperatura de salida. Primeramente tenemos que calcular la cantidad de calor que se le puede quitar a la corriente 12. El cálculo realizado es como sigue.

Calor a retirar:

Flujo de agua en corriente 12 = 1.6665 Tn/h

Calor latente = 538480 Kcal/Tn

$$Q_P = 2.1287 \frac{Tn}{h} * 403 \frac{Kcal}{Tn \text{ } ^\circ C} * 84 - T + 1.6665 \frac{Tn}{h} * 538480 \frac{Kcal}{Tn}$$

Ese mismo calor es aprovechado por al agua (corriente 13).

$$Q_P = Q_G$$

$$2.1287 \frac{Tn}{h} * 403 \frac{Kcal}{Tn \text{ } ^\circ C} * 84 - T + 1.6665 \frac{Tn}{h} * 538480 \frac{Kcal}{Tn} = 62.1124 \frac{Tn}{h} * 1000 \frac{Kcal}{Tn \text{ } ^\circ C} * (T - 25)$$

$$T = 40.1 \text{ } ^\circ C$$

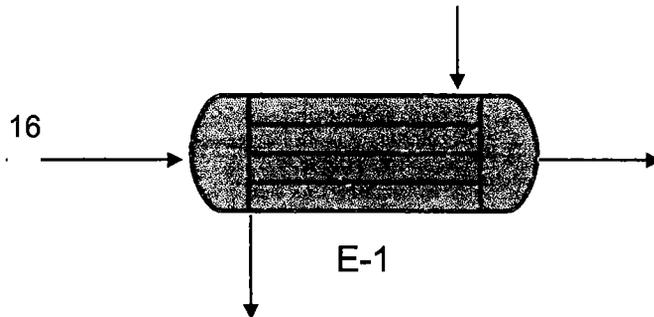
Por lo que el calor perdido o ganado es:

$$Q_P = Q_G = 935073.9803 \text{ Kcal/h}$$

La temperatura de salida del agua en el cual están disueltos los gases (corriente 14) es de 40.1°C.



A.14. BALANCE EN EL ENFRIADOR, E-1.



En este enfriador se determinara la cantidad de agua que se necesitara para disminuir la temperatura de 85°C a 30°C. Los cálculos respectivos se muestran a continuación.

Flujo másico = 3.323 Tn/h

Temperatura de entrada = 85°C

Temperatura de salida = 30°C

Cp = 488.5 Kcal/Tn°C

El calor a retirar es:

$$Q_p = 3.323 \frac{Tn}{h} * 488.5 \frac{Kcal}{Tn^\circ C} * (85 - 30)$$

$$Q_p = 89280.7025 \frac{Kcal}{h}$$

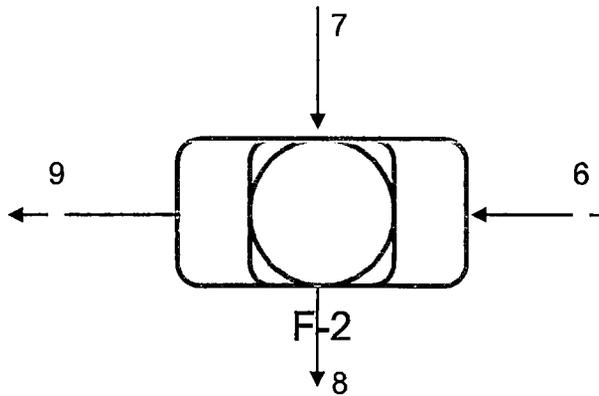
Ese calor es ganado por el agua, por lo que:

$$Q_G = Q_P = 89280.7025 \frac{Kcal}{h} = m * 1000 \frac{Kcal}{Tn^{\circ}C} * 40 - 25^{\circ}C$$

$$m = 5.952 \frac{Tn}{h}$$

Vamos a tener que necesitar 5.952 Tn/h de agua a 25°C para enfriar el ácido fosfórico a 30°C.

A.15. BALANCE EN EL FILTRO 2, F-2



El balance de energía que se realizó en este equipo es para poder conocer la temperatura de salida de la corriente 9. Los cálculos necesarios para determinar la temperatura de la corriente 9 se muestran a continuación.

Los datos de las corrientes son:

Cuadro N° 16
Balance de Energía en el Segundo Filtro

	6	7	8	9
Temperatura (°C)	70.00	60.00		
Presión (KPa)	101.325	101.325	101.325	101.325
Cp (Kcal/Tn °C)	918.3	1000	-	766.6
Flujo másico (Tn/h)	26.1198	6.6492	12.1001	20.6690

Tanto el calor perdido por la corriente 6 y el calor ganado por la corriente 7 son las mismas, por lo que se establece lo siguiente:

$$Q_P = Q_G$$

$$26.1198 * 918.3 * 70 - T = 6.6492 * 1000 * (T - 60)$$

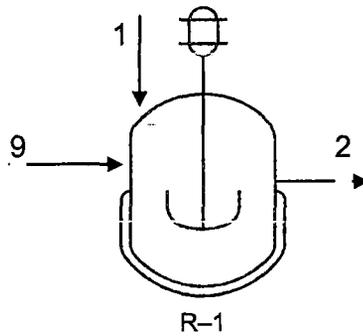
$$T = 67.8^{\circ}\text{C}$$

Entonces el calor ganado o cedido es:

$$Q = 26.1198 * 918.3 * 70 - T = 6.6492 * 1000 * T - 60 = 52768.7782 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

Al mezclar las corriente 6 y 7 se hace un intercambio de calor de 52768.7782 Kcal/h, el cual permite que las corrientes 8 y 9 salgan a una temperatura de 67.8°C.

A.16.. BALANCE EN EL REACTOR 1, R-1



Cuadro N° 17
Balance de Energía en el Primer Reactor

	1	9	2
Temperatura (°C)	25.00	67.80	66.10
Presión (KPa)	101.325	101.325	101.325
Cp (Kcal/Tn °C)	111.83	766.60	870.20
Flujo másico (Tn/h)	5.9194	20.6690	26.5884

En el primer reactor ocurre una reacción importante, aunque no es muy exotérmica por lo que no se considera en los cálculos. La reacción que ocurre en este reactor es la siguiente:



La temperatura de salida del reactor esta mas influenciada por las temperaturas de las corriente 9 y 1 que por la exotermicidad de la reacción. Entonces los resultados son:

$$Q_P = Q_G$$

$$20.669 * 766.6 * (67.8 - T) = 5.9194 * 111.83 * (T - 25)$$

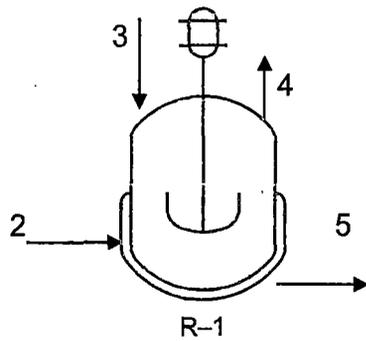
$$T = 66.1^\circ\text{C}$$

Entonces el calor ganado o perdido es:

$$Q_P = Q_G = 5.9194 * 111.83 * T - 25 = 27206.8 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

Con el resultado de la temperatura hallada en la corriente 2, que es 66.1°C, determinamos que hay un intercambio de calor de 27206.8 Kcal/h.

A.17. BALANCE EN EL REACTOR 2, R-2.



Cuadro N° 18
Balace de Energía en el Segundo Reactor

	2	3	4	5
Temperatura (°C)	66.10	40.00	80.00	80.00
Presión (KPa)	101.325	101.325	101.325	101.325
Cp (Kcal/Tn °C)	870.20	339.30	-	870.20
Flujo másico (Tn/h)	26.5884	4.9859	0.3681	31.2061

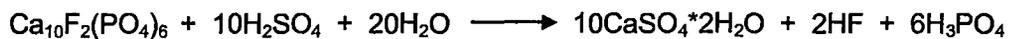
Flujo másico de cada corrientes y sus componentes (Tn/h)

componentes	2	3	4	5	reaccionan
$\text{Ca}_{10}\text{F}_2(\text{PO}_4)_6$	3.698			0.231	3.467
H_3PO_4	4.709			8.268	-
H_2SO_4		4.886		0.093	4.793
$\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$	1.931			0.097	1.834
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$				8.410	-
SiO_2	0.118			0.053	0.065

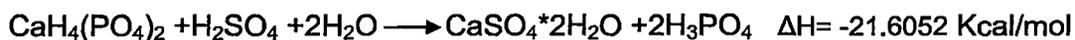
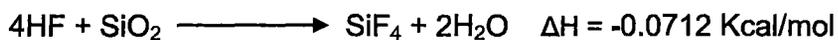
CaO	0.046			0.046	-
CaCO ₃	0.605			0.030	0.575
CaF ₂	0.163			0.092	0.071
SiF ₄			0.114		-
HF				0.087	0.087
CO ₂			0.254		-
H ₂ O	14.882	0.997		13.364	2.515
Impurezas	0.436			0.436	0.436
TOTAL	26.588	4.986	0.368	31.206	

Es el reactor principal en el cual se dan muchas reacciones y las cuales son muy exotérmicas, por lo que es necesario quitarle calor con agua y la cantidad de agua necesaria es lo que se va a calcular.

Las reacciones más influyentes en el reactor son las siguientes:



$$\Delta H = -235.272 \text{ Kcal/mol}$$



Antes de comenzar con el balance de las reacciones, calculamos la temperatura de mezcla entre la corriente 2 y 3 ya que la corriente 2 está a 66.1°C y la corriente 3 está a 40°C, por lo que esto indica un intercambio de calor. La temperatura de mezcla es:

$$Q_P = Q_G$$

$$26.5884 * 870.2 * 66.1 - T = 4.9859 * 339.3 * (T - 40)$$

$$T = 64.3^\circ\text{C}$$

Ya con esta temperatura se puede calcular la cantidad de agua necesaria para mantener el reactor a una temperatura de 80°C.

Calor total producido.

Los calores de reacción han sido convertidos a Kcal/Tn

$$Q = 233404.8 * 3.467 + 3560 * 0.087 + 218746 * 0.575 + 92330 * 1.834 - 791600 * 0.071$$

$$Q = 1047927.3761 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

El calor a retirar es:

$$Q_{\text{retirar}} = 1047927.3761 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} - 0.368 + 31.574 * 870.2 * (80 - 64.1)$$

$$Q_{\text{retirar}} = 617105.3391 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

Este calor será retirado con agua, y la cantidad que se necesita es:

$$Q = 617105.3391 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} = m * 1000 * (80 - 25)$$

$$m = 11.2201 \frac{\text{Tn}}{\text{h}}$$

La cantidad de agua necesaria es 11.2201 tn/h alimentado a una temperatura de 25°C.

B. DISEÑO DEL REACTOR (R-1)

- **CONDICIONES DE OPERACIÓN**

Temperatura de Operación	:	66 °C
Presión de Operación	:	101.33 kPa
Tiempo de Residencia	:	3 h

- **CALCULO DEL VOLUMEN Y SUS DIMENSIONES**

Cuadro N° 19
Flujos de entrada al primer Reactor de Pre-digestión

CORRIENTE	COMPUESTO	DENSIDAD (ton/m ³)	MASA (ton/h)	VOLUMEN (m ³ /h)
1	Roca fosfórica	3.2	5.919	1.85
9	H ₃ PO ₄ (28%)	1.1426	20.669	18.09

Fuente: Loa Autores

Como no se conocen datos experimentales de la velocidad de la reacción, pero si se conocen datos de tiempo de residencia (τ) de los reactantes dentro del tanque del Reactor, se tiene:

Tiempo de resistencia (τ) = 3 horas

Flujo volumétrico (V^o):

$$V^o = V^o 1 + V^o(9)$$

$$V^o = 1.85 \text{ m}^3 + 18.9 \text{ m}^3$$

$$V^{\circ} = 19.94 \text{ m}^3/h$$

Hallando el volumen (V) del reactor R-1:

$$V = V^{\circ} * \tau$$

$$V = 19.94 \frac{\text{m}^3}{h} * 3h$$

$$V = 59.82 \text{ m}^3$$

Como el diámetro del reactor debe ser igual a la altura del líquido y esa es la cantidad de volumen real que existe en el reactor; se tiene que el diámetro es:

$$D = H$$

$$V = \frac{\pi * D^2 * H}{4}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * V}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{4 * 59.82}{\pi}}$$

$$D = 4.24 \text{ m}$$

Considerando un volumen de diseño (V_d) en un 25% más del volumen de proceso, se tiene que la altura del reactor será:

$$V_d = V * 1.25$$

$$V_d = 59.82 * 1.25$$

$$V_d = 74.77 \text{ m}^3$$

$$V_d = \frac{\pi * D^2 * H}{4}$$

$$H = \frac{4 * V_d}{\pi * D^2} = \frac{4 * 74.77}{\pi * 4.24^2}$$

$$H = 5.30 \text{ m}$$

- **CALCULO DE DIAMETRO DE ACOPLAMIENTOS**

Para realizar los cálculos, todos los flujos se han considerado flujo turbulento.

- **Corrientes de entrada**

- ✓ **Corriente 9 (H₃PO₄ al 28%).**

$$\text{Densidad } \rho = 71.3302 \text{ lb/pie}^3$$

$$\text{Flujo masico} = 45567.345 \text{ lb/h}$$

$$Q = \frac{m}{\rho} = \frac{45567.345}{71.3302}$$

$$Q = 0.1775 \text{ pie}^3/\text{s}$$

$$D = 3.9 * Q^{0.45} * \rho^{0.13}$$

$$D = 3.9 * 0.1775^{0.45} * 71.3302^{0.13}$$

$$D = 3.12''$$

$$\text{NPS} = 4''$$

El diámetro nominal encontrado para el acoplamiento de la corriente 9, por el cual se va alimentar H_3PO_4 al 28% en peso al reactor R-1, es de 4" NPS.

- **Corrientes de salida**

- ✓ **Corriente 2 (mezcla de roca fosfórica con H_3PO_4).**

$$\text{Densidad } \rho = 83.9479 \text{ lb/pie}^3$$

$$\text{Flujo masico} = 58617.38754 \text{ Lb/h}$$

$$Q = \frac{m}{\rho} = \frac{58617.38754}{83.9479}$$

$$Q = 0.194 \frac{\text{pie}^3}{s}$$

$$D = 3.9 * Q^{0.45} * \rho^{0.13}$$

$$D = 3.9 * 0.194^{0.45} * 83.9479^{0.13}$$

$$D = 3.32''$$

$$\text{NPS} = 4''$$

El diámetro nominal encontrado para el acoplamiento de la corriente 2, por el cual se va a retirar la mezcla de reacción del reactor R-1, es de 4" NPS

- **DISEÑO DEL SISTEMA DE AGITACIÓN**

Las relaciones y ecuaciones son tomadas del capítulo 10 de Chemical Process Equipment, Walas.

Las condiciones para el primer reactor son:

$$V_1 = 59.818 \text{ m}^3$$

$$D_1 = 4.24 \text{ m}$$

La viscosidad de la mezcla se ha tomado respecto a los sólidos presentes (19% de sólidos) asumiendo que la viscosidad de los sólidos es similar a la de una masa de yeso para molde que es de 4000 cP, por lo tanto la viscosidad estaría dada por:

$$\mu_1 = 0.19 \times 4000 = 760 \text{ cP}$$

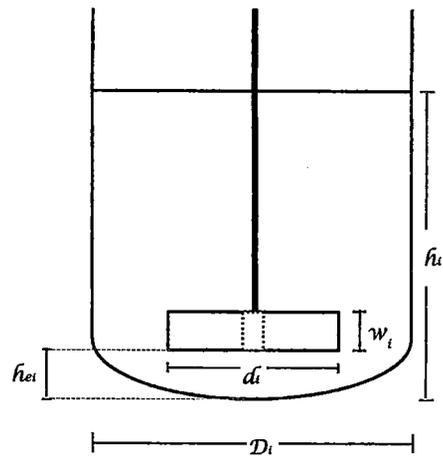


Figura N° 4.1 Dimensiones del impelente tipo Turbina de paletas inclinadas

- **Características del impelente**

Tipo de Impelente: Turbina de 6 paletas inclinadas

$$d_1 = 0.5D_1 = 2.12 \text{ m}$$

$$h_1 = D_1 = 4.24 \text{ m}$$

- **Número de impelentes**

$$N^\circ \text{ de impelentes} = \frac{h_1}{D_1} = \frac{4.24}{4.24} = 1$$

- **Posición del impelente**

$$h_{e1} = \frac{h_1}{3} = \frac{4.24}{3} = 1.413 \text{ m}$$

$$w_1 = \frac{d_1}{8} = \frac{2.12}{8} = 0.265 \text{ m}$$

- **Caudal, Q**

$$\text{Area } A_1 = \frac{\pi}{4} D_1^2$$

$$A_1 = \frac{\pi}{4} 4.24^2 = 14.119 \text{ m}^2$$

$v_1 = 0.6 \text{ ft s}$ Tabla 10.2 de *Chemical Process Equipment*, Walas

$$v_1 = 0.183 \text{ m/s}$$

$$Q_1 = v_1 A_1$$

$$Q_1 = 0.183 \times 14.119 = 2.584 \text{ m}^3/\text{s}$$

- **Velocidad del impelente, N**

Tomamos un valor supuesto inicial para $N_r = 40 \text{ rpm}$

$$N_{Re} = \frac{\rho \cdot N_r \cdot d_1^2}{\mu} \quad \begin{array}{l} \rho = 1344.7 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 83,947 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} \\ \mu = 760 \text{ cP} \end{array}$$

$$N_{Re} = \frac{1344.7 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 40 \times 60 \frac{1}{\text{h}} \times 2.12 \text{ m}^2}{760 \text{ cP} \times \frac{1 \frac{\text{Kg}}{\text{m.s}}}{1000 \text{ cP}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}} = 5301.42$$

Con N_{Re} y $D/T=0.5$ se obtiene el valor de N_Q de Figura 10.7 de *Chemical Process Equipment*, Walas:

$$\Rightarrow N_Q = 0.58$$

$$N_r = \frac{Q_1}{N_Q \cdot d_1^3} = \frac{2.584 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{60 \text{ s}}{\text{min.}}}{0.58 \times 2.12 \text{ m}^3} = 28.05 \text{ rpm}$$

Reemplazamos el nuevo valor de N_r en la ecuación de Reynolds:

$$N_{Re} = \frac{1344.7 \frac{Kg}{m^3} \times 28.05 \times 60 \frac{1}{h} \times 2.12 m^2}{760cP \times \frac{1 \frac{Kg}{m.s}}{1000cP} \times \frac{3600 s}{1 h}} = 3717.62$$

$$\Rightarrow N_Q = 0.57$$

$$N_r = \frac{Q_1}{N_Q \cdot d_1^3} = \frac{2.584 \frac{m^3}{s} \times \frac{60 s}{min.}}{0.57 \times 2.12 m^3} = 28.547 rpm$$

Reemplazamos nuevamente el nuevo valor de N_r :

$$N_{Re} = \frac{1344.7 \frac{Kg}{m^3} \times 28.547 \times 60 \frac{1}{h} \times 2.12 m^2}{760cP \times \frac{1 \frac{Kg}{m.s}}{1000cP} \times \frac{3600 s}{1 h}} = 3783.49$$

Con N_{Re} y $D/T=0.5$ se obtiene el valor de N_Q de Figura 10.7 de Chemical Process Equipment, Walas:

$$\Rightarrow N_Q = 0.57$$

$$N_r = \frac{Q_1}{N_Q \cdot d_1^3} = \frac{2.584 \frac{m^3}{s} \times \frac{60 s}{min.}}{0.57 \times 2.12 m^3} = 28.55 rpm$$

$$\therefore N = 37 RPM$$

- **Número de potencia, N_p**

Reemplazamos el valor de N obtenido en el paso anterior en la ecuación de Reynolds:

$$N_{Re} = \frac{1344.7 \frac{Kg}{m^3} \times 37 \times 60 \frac{1}{h} \times 2.12 m^2}{760cP \times \frac{1 \frac{Kg}{m.s}}{1000cP} \times \frac{3600 s}{1 h}} = 4903.81$$

Con este valor de Reynolds se obtiene el valor de N_p en la Figura 10.6 de Chemical Process Equipment, Walas:

$$N_p = 1.3$$

- **Potencia del motor**

Reemplazamos datos obtenido en la siguiente ecuación:

$$P = \frac{N_p \cdot N^3 \cdot d_1^5 \cdot \rho}{g_c}$$

$$P = \frac{1.3 \cdot 37 \text{min}^{-1} \times \frac{1 \text{min}}{60 s}^3 \cdot 2.12 m^5 \cdot 1344.7 \frac{Kg}{m^3}}{9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$P = 1789.49 \frac{Kg.m}{s} = 23.86 HP$$

$$P = 25 HP \quad \text{valor nominal}$$

- **CALCULO DE ESPESOR DEL RECIPIENTE**

Datos:

El reactor opera a presión atmosférica

Material: Acero 316 (SA-240, 316)

$$P_{op} = 14.7 \text{ psi} \quad \Rightarrow \quad P = 14.7 \times 1.2 = 17.64 \text{ psi}$$

$$T_{op} = 150^\circ F \quad \Rightarrow \quad T = 150 + 50 = 200^\circ F$$

$$S = 16100 \text{ psi}$$

$$E = 80\% \quad R = 83.46 \text{ pulg.} \quad C = 0.0625 \text{ pulg.}$$

- **Espesor de pared**

$$e = \frac{P \times R}{SE - 0.6P} + C$$

$$e = \frac{17.64 \times 83.46}{16100 \times 0.8 - 0.6 \times 17.64} + 0.0625 = 0.177 \text{ pulg.}$$

$$e \approx 1/4''$$

- **Espesor de tapas**

Tipo: Toriesférica

$$e = \frac{0.885PL}{SE - 0.1P} + C$$

$$L = \frac{r}{0.06} = \frac{83.46 \text{ pulg.}}{0.06} = 1391$$

$$e = \frac{0.885 \times 17.64 \times 1391}{16100 \times 0.8 - 0.1 \times 17.64} + 0.0625 = 1.749 \text{ pulg.}$$

$$e \approx 2''$$

C. DISEÑO DEL REACTOR (R-2)

- **CONDICIONES DE OPERACIÓN**

Temperatura de Operación	:	80 °C
Presión de Operación	:	101.33 kPa
Tiempo de Residencia	:	5 h

- **CALCULO DEL VOLUMEN Y SUS DIMENSIONES**

Cuadro N° 20
Flujos de entrada al segundo Reactor de Digestión

CORRIENTE	COMPUESTO	DENSIDAD (ton/m³)	MASA (ton/h)	VOLUMEN (m³/h)
2	Mezcla	1.3447	26.588	19.77
3	H ₂ SO ₄ (98%)	1.8163	4.986	2.75

Fuente: Loa Autores

Como no se conocen datos experimentales de la velocidad de la reacción, pero si se conocen datos de tiempo de residencia (τ) de los reactantes dentro del TK del Reactor, se tiene:

Tiempo de resistencia (τ) = 5 horas

Flujo volumétrico (V°):

$$V^\circ = V^\circ 2 + V^\circ(3)$$

$$V^\circ = 19.77 \text{ m}^3 + 2.75 \text{ m}^3$$

$$V^\circ = 22.52 \text{ m}^3/h$$

Hallando el volumen (V) del reactor R-1:

$$V = V^\circ * \tau$$

$$V = 22.52 \frac{\text{m}^3}{h} * 5h$$

$$V = 112.59 \text{ m}^3$$

Como el diámetro del reactor debe ser igual a la altura del líquido y esa es la cantidad de volumen real que existe en el reactor; se tiene que el diámetro es:

$$D = H$$

$$V = \frac{\pi * D^2 * H}{4}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * V}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{4 * 112.59}{\pi}}$$

$$D = 5.23 \text{ m}$$

Considerando un volumen de diseño (V_d) en un 25% más del volumen de proceso, se tiene que la altura del reactor será:

$$V_d = V * 1.25$$

$$V_d = 112.59 * 1.25$$

$$V_d = 140.74 \text{ m}^3$$

$$V_d = \frac{\pi * D^2 * H}{4}$$

$$H = \frac{4 * V_d}{\pi * D^2} = \frac{4 * 140.74}{\pi * 5.23^2}$$

$$H = 6.55 \text{ m}$$

- **CALCULO DE DIAMETRO DE ACOPLAMIENTOS**

Todos los flujos de las corrientes son consideradas turbulentas.

- **Corrientes de entrada**

- ✓ **Corriente 2 (mezcla de roca fosfórica con H₃PO₄).**

El diámetro nominal encontrado para el acoplamiento de la corriente 2, por el cual se va a retirar la mezcla de reacción del reactor R-1, es de 4" NPS.

Este diámetro nominal encontrado del acoplamiento es el mismo en el reactor R-1 y en el reactor R-2.

- ✓ **Corriente 3 (H₂SO₄ al 98%)**

$$\text{Densidad } \rho = 113.388 \text{ lb/pie}^3$$

$$\text{Flujo masico} = 10.992.028 \text{ Lb/h}$$

$$Q = \frac{m}{\rho} = \frac{10.992.028}{113.388}$$

$$Q = 0.0269 \frac{\text{pie}^3}{\text{s}}$$

$$D = 3.9 * Q^{0.45} * \rho^{0.13}$$

$$D = 3.9 * 0.0269^{0.45} * 113.388^{0.13}$$

$$D = 1.42''$$

$$\text{NPS} = 1\frac{1}{2}''$$

El diámetro nominal encontrado para el acoplamiento de la corriente 3, por el cual se va a ingresar el H_2SO_4 al 98% en peso al reactor R-2, es de 1½" NPS

- **Corrientes de salida**

- ✓ **Corriente 4 (Gases)**

$$\text{Densidad } \rho = 0.1155 \text{ lb/pie}^3$$

$$\text{Flujo masico} = 811.3011 \text{ Lb/h}$$

$$Q = \frac{m}{\rho} = \frac{811.3011}{0.1155}$$

$$Q = 1.951 \frac{\text{pie}^3}{\text{s}}$$

$$D = 3.9 * Q^{0.45} * \rho^{0.13}$$

$$D = 3.9 * 1.951^{0.45} * 0.1155^{0.13}$$

$$D = 3.98"$$

$$\text{NPS} = 4"$$

El diámetro nominal encontrado para el acoplamiento de la corriente 4, por el cual se va a retirar los gases producidos en la reacción del reactor R-2, es de 4" NPS.

✓ **Corriente 5 (Producto de la reacción)**

$$\text{Densidad } \rho = 90.67667 \text{ lb/pe}^3$$

$$\text{Flujo masico} = 68797.45286 \text{ Lb/h}$$

$$Q = \frac{m}{\rho} = \frac{68797.45286}{90.67667}$$

$$Q = 0.2108 \frac{\text{pe}^3}{\text{s}}$$

$$D = 3.9 * Q^{0.45} * \rho^{0.13}$$

$$D = 3.9 * 0.2108^{0.45} * 90.67667^{0.13}$$

$$D = 3.48''$$

$$\text{NPS} = 4''$$

El diámetro nominal encontrado para el acoplamiento de la corriente 5, por el cual se va a retirar los productos de la reacción del reactor R-2, es de 4" NPS.

- **DISEÑO DEL SISTEMA DE AGITACIÓN**

Las condiciones para el segundo reactor son:

$$V_2 = 112.589 \text{ m}^3$$

$$D_2 = 5.23 \text{ m}$$

La viscosidad de la mezcla se ha tomado respecto a los sólidos presentes (30% de sólidos) asumiendo que la viscosidad de los sólidos es similar a la de una masa de yeso para molde que es de 4000 cP, por lo tanto la viscosidad estaría dada por:

$$\mu_2 = 0.30 \times 4000 = 1200 \text{ cP}$$

- **Características del impelente**

Tipo de Impelente: Turbina de 6 paletas inclinadas

$$d_2 = 0.5D_2 = 2.615 \text{ m}$$

$$h_2 = D_2 = 5.23 \text{ m}$$

- **Número de impelentes**

$$N^\circ \text{ de impelentes} = \frac{h_2}{D_2} = \frac{5.23}{5.23} = 1$$

- **Posición del impelente**

$$h_{e2} = \frac{h_2}{3} = \frac{5.23}{3} = 1.74 \text{ m}$$

$$w_2 = \frac{d_2}{8} = \frac{2.615}{8} = 0.327 \text{ m}$$

- **Caudal, Q**

$$\text{Area } A_2 = \frac{\pi}{4} D_2^2$$

$$A_2 = \frac{\pi}{4} 5.23^2 = 21.483 \text{ m}^2$$

$$v_2 = 0.7 \frac{ft}{s} \quad \text{Tabla 10.2 de Chemical Process Equipment, Walas}$$

$$v_2 = 0.213 \text{ m/s}$$

$$Q_2 = v_2 A_2$$

$$Q_2 = 0.213 \times 21.483 = 4.576 \text{ m}^3/\text{s}$$

- **Velocidad del impelente, N**

Tomamos un valor supuesto inicial para $N_r = 50 \text{ rpm}$

$$N_{Re} = \frac{\rho \cdot N_r \cdot d_2^2}{\mu} \quad \rho = 1452.5 \frac{Kg}{m^3} = 90.6767 \frac{lb}{ft^3}$$

$$\mu = 1200 \text{ cP}$$

$$N_{Re} = \frac{1452.5 \frac{Kg}{m^3} \times 50 \times 60 \frac{1}{h} \times 2.615 \text{ m}^2}{1200 \text{ cP} \times \frac{1 \frac{Kg}{m \cdot s}}{1000 \text{ cP}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}} = 6897.58$$

Con N_{Re} y $D/T=0.5$ se obtiene el valor de N_Q de Figura 10.7 de Chemical Process Equipment, Walas:

$$\Rightarrow N_Q = 0.6$$

$$N_r = \frac{Q_2}{N_Q \cdot d_2^3} = \frac{4.576 \frac{m^3}{s} \times \frac{60 \text{ s}}{\text{min.}}}{0.6 \times 2.615 \text{ m}^3} = 25.59 \text{ rpm}$$

Reemplazamos el nuevo valor de N_r en la ecuación de Reynolds:

$$N_{Re} = \frac{1452.5 \frac{Kg}{m^3} \times 25.59 \times 60 \frac{1}{h} \times 2.615 m^2}{1200cP \times \frac{1 \frac{Kg}{m.s}}{1000cP} \times \frac{3600 s}{1 h}} = 3530.18$$

Con N_{Re} y $D/T=0.5$ se obtiene el valor de N_Q de Figura 10.7 de Chemical Process Equipment, Walas:

$$\Rightarrow N_Q = 0.58$$

$$N_r = \frac{Q_2}{N_Q \cdot d_2^3} = \frac{4.576 \frac{m^3}{s} \times \frac{60 s}{min.}}{0.58 \times 2.615 m^3} = 26.47 rpm$$

Reemplazamos el nuevo valor de N_r en la ecuación de Reynolds:

$$N_{Re} = \frac{1452.5 \frac{Kg}{m^3} \times 26.47 \times 60 \frac{1}{h} \times 2.615 m^2}{1200cP \times \frac{1 \frac{Kg}{m.s}}{1000cP} \times \frac{3600 s}{1 h}} = 3651.58$$

Con N_{Re} y $D/T=0.5$ se obtiene el valor de N_Q de Figura 10.7 de Chemical Process Equipment, Walas:

$$\Rightarrow N_Q = 0.58$$

$$N_r = \frac{Q_2}{N_Q \cdot d_2^3} = \frac{4.576 \frac{m^3}{s} \times \frac{60 s}{min.}}{0.58 \times 2.615 m^3} = 26.47 rpm$$

$$\therefore N = 37 RPM$$



- **Número de potencia, N_p**

Reemplazamos el valor de N obtenido en el paso anterior en la ecuación de Reynolds:

$$N_{Re} = \frac{1452.5 \frac{Kg}{m^3} \times 37 \times 60 \frac{1}{h} \times 2.615 m^2}{1200cP \times \frac{1 \frac{Kg}{m.s}}{1000cP} \times \frac{3600 s}{1 h}} = 5104.21$$

Con este valor de Reynolds se obtiene el valor de N_p en la Figura 10.6 de Chemical Process Equipment, Walas:

$$N_p = 1.3$$

- **Potencia del motor**

Reemplazamos datos obtenido en la siguiente ecuación:

$$P = \frac{N_p \cdot N^3 \cdot d_2^5 \cdot \rho}{g_c} = \frac{1.3 \cdot 37 \text{min}^{-1} \times \frac{1 \text{min}}{60 s}^3 \cdot 2.615 m^5 \cdot 1452.5 \frac{Kg}{m^3}}{9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$P = 5519.51 \frac{Kg.m}{s} = 73.59 HP$$

$$P = 75 HP \quad \text{valor nominal}$$

- **CALCULO DE ESPESOR DEL RECIPIENTE**

Datos:

El reactor opera a presión atmosférica

Material: Acero 316 (SA-240, 316)

$$P_{op} = 14.7 psi \quad \Rightarrow \quad P = 14.7 \times 1.2 = 17.64 psi$$

$$T_{op} = 176^\circ F \quad \Rightarrow \quad T = 176 + 50 = 226^\circ F$$

$$S = 15736 psi$$

$$E = 80\% \quad R = 102.953 \text{ pulg.} \quad C = 0.0625 \text{ pulg.}$$

- **Espesor de pared**

$$e = \frac{P \times R}{SE - 0.6P} + C$$

$$e = \frac{17.64 \times 102.953}{15736 \times 0.8 - 0.6 \times 17.64} + 0.0625 = 0.207 \text{ pulg.}$$

$$e \approx 1/4''$$

- **Espesor de tapas**

Tipo: Toriesférica

$$e = \frac{0.885PL}{SE - 0.1P} + C$$

$$L = \frac{r}{0.06} = \frac{102.953 \text{ pulg.}}{0.06} = 1715.88$$

$$e = \frac{0.885 \times 17.64 \times 1715.88}{15736 \times 0.8 - 0.1 \times 17.64} + 0.0625 = 2.19 \text{ pulg.}$$

$$e \approx 2\frac{1}{4}''$$

ANALISIS ECONÓMICO

Costo FOB del equipo principal:

$$\text{FOBprinc} = 1376750 \text{ dólares}$$

Costo FOB del equipo auxiliar:

$$\text{FOBaux} = 896340 \text{ dólares}$$

Costo FOB total del equipo principal y auxiliar:

$$\text{FOBtotal} = \text{FOBprinc} + \text{FOBaux} \quad \text{FOBtotal} = 2273090 \text{ dólares}$$

Costo CIF de todo el equipo, es 1.2 por el costo FOB. En el caso de que todo el equipo se fabrique en el Perú, el costo FOB es igual que el costo CIF. Si se fabrica parte en el Perú y parte en el extranjero, se considera el CIF como 1.15 del costo FOB

$$\text{CIFtotal} = 1.15 * \text{FOBtotal} \quad \text{CIFtotal} = 2614053.5 \text{ dólares}$$

Costo de entrega: 2% Del precio CIF

$$\text{Centrega} = 0.02 * \text{CIFtotal} \quad \text{Centrega} = 52281.07 \text{ dólares}$$

Costo de equipo en la planta: es el costo CIF total y el costo de entrega

$$\text{EquiPlant} = \text{CIFtotal} + \text{Centrega} \quad \text{EquiPlant} = 2666334.57 \text{ dólares}$$

Costo de instalación de todo el equipo: 45% del Equipo Planta

$$\text{CostInsta} = 0.45 * \text{EquiPlant} \quad \text{CostInsta} = 1199850.5565 \text{ dólares}$$

Costo de Instrumentación y Control (instalado): 35% del Equipo Planta - PF

$$\text{CostInst} = 0.35 * \text{EquiPlanta}$$

$$\text{CostInst} = 933217.0995 \text{ dólares}$$

Costo de tubería y accesorios (instalado): 65% del Equipo Planta

$$\text{CostTubAc} = 0.65 * \text{EquiPlanta}$$

$$\text{CostTubAc} = 1733117.4705 \text{ dólares}$$

Costo de sistema eléctrico (instalado): 11% del Equipo Planta

$$\text{CostElec} = 0.11 * \text{EquiPlanta}$$

$$\text{CostElec} = 293296.8027 \text{ dólares}$$

Costo de edificios (incluye servicios): 18% del Equipo Planta

$$\text{CostEdif} = 0.18 * \text{EquiPlanta}$$

$$\text{CostEdif} = 479940.2226 \text{ dólares}$$

Costo Mejoras de terrenos: 10% del Equipo Planta - PFF

$$\text{CostMej} = 0.10 * \text{EquiPlanta}$$

$$\text{CostMej} = 266633.457 \text{ dólares}$$

Costo Servicios (instalado): 65% del Equipo Planta

$$\text{CostSer} = 0.65 * \text{EquiPlanta}$$

$$\text{CostSer} = 1733117.47 \text{ dólares}$$

COSTOS DIRECTOS TOTALES: la suma del equipo en la planta más los costos de instalación, control e instrumentación, tubería y accesorios, sistema eléctrico, edificios, mejora de terrenos, servicios:

$$\text{CDT} = \text{EquiPlanta} + \text{CostInsta} + \text{CostInst} + \text{CostTubAc} + \text{CostElec} + \text{CostEdif} + \text{CostMej} + \text{CostSer}$$

$$\text{CDT} = 9305507.6493 \text{ dólares}$$

Costos de Ingeniería y Supervisión: 30% del

$$\text{CostIng} = 30 * \text{EquiPlanta}$$

$$\text{CostIng} = 799900.371 \text{ dólares}$$

Costo de la construcción: 40% del Equipo Planta

$$\text{CostConst} = 0.40 * \text{EquiPlanta}$$

$$\text{CostConst} = 1066533.828 \text{ dólares}$$

Costos de seguros e impuestos de la construcción: 4% del Equipo Planta

$$\text{CostSeg} = 0.04 * \text{EquiPlant}$$

$$\text{CostSeg} = 106653.3828 \text{ dólares}$$

Costo de Honorarios para los contratistas: 20% del EquipoPlanta

$$\text{CostHon} = 0.20 * \text{EquiPlant}$$

$$\text{CostHon} = 533266.914 \text{ dólares}$$

Gastos Imprevistos: 40% del EquipoPlanta

$$\text{GastImp} = 0.40 * \text{EquiPlant}$$

$$\text{GastImp} = 1066533.828 \text{ dólares}$$

COSTOS INDIRECTOS TOTALES: Suma de los costos de ingeniería y supervisión, gastos de construcción, seguros e impuestos, honorarios para contratistas, y gastos imprevistos.

$$\text{CIDT} = \text{CostIng} + \text{CostConst} + \text{ostConst} + \text{CostSeg} + \text{CostSeg} + \text{CostHon} + \text{GastImp}$$

$$\text{CIDT} = 3572888.3238 \text{ dólares}$$

INVERSION DE CAPITAL FIJO: Es la suma del costos directos totales y los costos indirectos totales

$$\text{ICF} = \text{CDT} + \text{CIDT}$$

$$\text{ICF} = 12878395.9731 \text{ dólares}$$

COMPROBACION: El capital fijo en plantas de industria química es

3.1 por el costo del equipo de proceso para procesar sólidos

4.7 por el costo del equipo de proceso para procesar líquidos

3.6 por el costo del equipo de proceso para procesar sólidos/líquidos

Los costos de los equipos son mayores, debido a que en su mayoría son de acero inoxidable. Los factores que se usan varían entre 1.5 a 2.5.

$$\text{ICF1} = 4.7 * \text{EquiPlant}$$

ICF1 = 12531772.479 dólares

!El valor obtenido se parece al valor anterior de 12878395.9731 dólares!

CAPITAL DE TRABAJO: en promedio se considera 10 a 20% de la inversión de capital fijo, o también:

- 70% del EquipoPlanta – PSS (procesa solo sólidos)
- 75% del Equipo Planta – PSF (procesa sólidos-fluidos)
- 89% del Equipo Planta – PFF (procesa solo fluidos)

Requerimientos de las materias primas basicas: roca fosfatada, acido fosforico.

MatPrima1 = 6700 kg/hr (roca fosfatadas)

MatPrima2 = 2659.094 kg/hr (acido sulfurico)

Precio1 = 0.61 dol/kg (precio de roca fosfatada)

Precio2 = 0.0049 dol/kg (precio del acido sulfuric concentrado)

En el proyecto se va a trabajar 8000 horas al año, con sistema continuo, equivalente a trabajar 3 turnos de 8 horas por día.

Inventario de Materia Prima: se considera un mes de materia a los precios de puesto en planta.

InvMP1 = (8000 hr/12)*MatPrima1*Precio1 InvMP1 = 315398.06 dol

InvMP2 = (8000 hr/12)*MatPrima2*Precio2 InvMP2 = 8686.3737*dol

InvMP = InvMP1 + InvMP2

InvMP = 324084.4337*dol

Inventario de Materia en Proceso: se considera un día del costo total de producción

Producto = 750 kg/hr

CostoProd = 1.2 dol/kg valor aproximado

InvMPProc = Producto*24hrCostoProd InvMPProc = 21600* dol

Inventario de producto en almacén: se considera el costo de manufactura para un mes de producción.

InvProdAlm = (8000/12)*Producto*CostoProd InvProdAlm = 600000*dol

Cuentas por Cobrar: equivalente a un mes de ventas

PrecioVen = 1.65 dol/kg valor aproximado

CuentaC = (8000/12)*Producto*PrecioVen CuentaC = 825000*dol

Disponibilidad en Caja: Costo de un mes de producción. Sirve para pagar salarios, suministros e imprevistos.

DispCaja = (8000/12) hrProducto*CostoProd DispCaja = 600000*dol

CAPITAL DE TRABAJO

CapTra = InvMP + InvMPProc + InvProdAlm + CuentaC + DispCaja

CapTra = 2370684.4337* dol

COMPROBACION

CTrab = 0.89*EquiPlant

CTrab = 2373037.76673

¡El valor es parecido al valor calculado!

INVERSION TOTAL: Es la suma del capital fijo mas el capital de trabajo

INVT = ICF + CapTra

INVT = 15249080.4068*dol

COSTO DEL PRODUCTO TOTAL

COSTO DE MANUFACTURA: costo de producción directa + cargas fijas + costos de producción indirecta.

A) Costo de Materia prima (10-50% del costo del producto total)

$$\text{CostMatPri1} = \text{MatPrima1} * 8000 \text{hr} * \text{Precio1} \quad \text{CostMatPri1} = 3784776.72 * \text{dol}$$

$$\text{CostMatPri2} = \text{MatPrima2} * 8000 \text{hr} * \text{Precio2} \quad \text{CostMatPri2} = 104236.4848 * \text{dol}$$

$$\text{CMP} = \text{CostMatPri1} + \text{CostMatPri2}$$

$$\text{CMP} = 3889013.2048 * \text{dol}$$

B) Costo de mano de obra: dependen del número de personas por turno lo cual está en relación con el grado de automatización de la planta. Se considera 10 -20% del costo total de manufactura.

$$\text{TrabTurno} = 6$$

$$\text{Mens} = 300 \text{dol}$$

$$\text{CMobra} = 6 * 3 * 13 * \text{Mens}$$

$$\text{CMobra} = 70200 * \text{dol}$$

C) Costo de supervisión e ingeniería: 10 - 20% del costo de mano de obra

$$\text{Csuping} = 0.15 * \text{CMobra}$$

$$\text{Csuping} = 10530 * \text{dol}$$

D) Costo de mantenimiento y reparación: 1-10% de la inversión de capital fijo.

Se va a considerar 1%.

$$\text{Cmant} = 0.01 * \text{ICF}$$

$$\text{Cmant} = 128783.9597 * \text{dol}$$

E) Costo de auxiliares y servicios: 15% del costo de mantenimiento y reparación

$$C_{aux} = 15 * C_{mant}$$

$$C_{aux} = 19317.594 * \text{dol}$$

F) Costo de suministros de operación: 10-20 % del costo de mantenimiento o 0.5 al 1% de la inversión de capital fijo.

$$C_{sum} = 0.15 * C_{mant}$$

$$C_{sum} = 19317.594 \text{ dol}$$

COSTO DIRECTO DE FABRICACION: Es la suma de los items, a, b, c, d, e y f

$$CDF = C_{Mobra} + C_{suping} + C_{mant} + C_{aux} + C_{sum}$$

$$CDF = 4137162.3525 * \text{dol}$$

G) Cargas a la planilla: 21% del costo de mano de obra

$$C_{plan} = 0.21 * C_{Mobra}$$

$$C_{plan} = 14742 * \text{dol}$$

H) Gastos de Laboratorio: 10 a 20% de la mano de obra

$$C_{lab} = 0.20 * C_{Mobra}$$

$$C_{lab} = 14040 * \text{dol}$$

I) Gastos generales de planta: 10 - 20% del costo de mano de obra

$$G_{gen} = 0.20 * C_{Mobra}$$

$$G_{gen} = 14040 * \text{dol}$$

COSTO INDIRECTO DE FABRICACION: Es la suma de los items: g, h, i, y varía entre 50-70% del costo de mano de obra.

$$C_{IFab} = C_{plan} + C_{lab} + G_{gen}$$

$$C_{IFab} = 42822 * \text{dol}$$

J) Depreciación: se considera 10% del capital fijo

$$\text{Dep} = 0.10 \cdot \text{ICF}$$

$$\text{Dep} = 12878839.5973 \cdot \text{dol}$$

K) Impuestos: 1 al 4% del capital fijo total

$$\text{Imp} = 0.02 \cdot \text{ICF}$$

$$\text{Imp} = 257567.9195 \cdot \text{dol}$$

L) Seguros: 0.4 a 1% del capital fijo total

$$\text{Seg} = 0.01 \cdot \text{ICF}$$

$$\text{Seg} = 128783.9597 \cdot \text{dol}$$

COSTO FIJO DE FABRICACION: la suma de los items, J, K y L

$$\text{CFF} = \text{Dep} + \text{Imp} + \text{Seg}$$

$$\text{CFF} = 1674191.4765 \cdot \text{dol}$$

COSTO DE FABRICACION: Es la suma de los costo directo de fabricación, costo indirecto de fabricación y costo fijo.

$$\text{CFab} = \text{CDF} + \text{CIFab} + \text{CFF}$$

$$\text{CFab} = 5854175.829 \cdot \text{dol}$$

M) Ventas: gastos en oficina de ventas, personal de ventas, propaganda, distribución se considera 10% del costo fijo de fabricación.

$$\text{Vent} = 0.10 \cdot \text{CFF}$$

$$\text{Vent} = 167419.1477 \cdot \text{dol}$$

N) Administración: salario de ejecutivos, planilla de oficinistas, suministros de oficinas, comunicaciones. Corresponde al 15% de costo de mano de obra, supervisión y mantenimiento

$$\text{Adm} = 0.15 \cdot (\text{CMobra} + \text{Csuping} + \text{Cmant})$$

$$\text{Adm} = 31427.094 \cdot \text{dol}$$

Ñ) Investigación y Desarrollo: se considera 5% del costo de Mano de obra

$$\text{Inv} = 0.05 * \text{CMobra}$$

$$\text{Inv} = 3510 * \text{dol}$$

GASTOS GENERALES (VAI): es la suma de M, N y Ñ

$$\text{VAI} = \text{Vent} + \text{Adm} + \text{Inv}$$

$$\text{VAI} = 202356.2416 * \text{dol}$$

COSTO TOTAL DE FABRICACION: Es igual a la suma de los costo de fabricación y los gastos generales.

$$\text{CTF} = \text{CFab} + \text{VAI}$$

$$\text{CTF} = 6056532.0706 * \text{dol}$$

COSTO UNITARIO

$$\text{Producto} = 3750 \text{ kg/hr}$$

$$\text{ProdAnual} = \text{Producto} * 8000 \text{hr}$$

$$\text{ProdAnual} = 300000 \text{ toneladas}$$

$$\text{CostUnit} = \text{CTF} / \text{ProdAnual}$$

$$\text{CostUnit} = 285 \text{ dol/ton}$$

ANALISIS DEL ESTADO DE PERDIDAS Y GANANCIAS

Precio de Venta por unidad (ex-fabrica):

$$P_{venta} = 450 \text{ dol/ton}$$

Ingreso de ventas anuales

$$Ing_{ventas} = Prod_{Anual} * P_{venta}$$

$$Ing_{ventas} = 10080000 * \text{dol}$$

Costo de Fabricación

$$CTF = 6056532.0706 * \text{dol}$$

Utilidad Bruta: la diferencia entre los ingresos por ventas y el costo Total de Fabricación

$$U_{bruta} = Ing_{ventas} - CTF$$

$$U_{bruta} = 4023467.9294 * \text{dol}$$

Impuestos a la renta: se considera 30% de la utilidad neta

$$Imp_{Rent} = (U_{bruta}/1.3) * 0.3$$

$$Imp_{Rent} = 928492.5991 * \text{dol}$$

Utilidad neta: utilidad bruta menos los impuestos a la renta

$$U_{neta} = U_{bruta} - Imp_{Rent}$$

$$U_{neta} = 3094975.3303 * \text{dol}$$

ANALISIS ECONOMICO:

Retorno sobre la inversión antes de impuestos:

$$P = INVT$$

$$IV = U_{bruta}$$

$$VS = Dep$$

$$n = 5$$

$$P = IV \cdot \left[\frac{(1 + ia)^n - 1}{ia \cdot (1 + ia)^n} \right] + \frac{VS}{(1 + ia)^n}$$

Despejando $ia = 59.6\%$

Retorno sobre la inversión después de los impuestos

$$P = INVT$$

$$IV1 = Uneta$$

$$VS = 1 \cdot Dep$$

$$n = 5$$

$$P = IV1 \cdot \left[\frac{(1 + ia1)^n - 1}{ia1 \cdot (1 + ia1)^n} \right] + \frac{VS}{(1 + ia1)^n}$$

Despejando $ia1 = 23.8\%$

Tiempo de Recuperación de dinero antes de impuestos

$$TR1a := \frac{INVT}{Ubruta + Dep}$$

$$TR1a = 2.8711 \text{ años}$$

Tiempo de Recuperación de dinero después de impuestos

$$TR1d := \frac{INVT}{Uneta + Dep}$$

$$TRId = 3.4793 \text{ años}$$

PUNTO DE EQUILIBRIO: el punto de equilibrio ocurre cuando el costo de producto total anual igual a las ventas anuales totales. El costo total del producto es igual a la suma de los costos fijos (Costos fijos de fabricación, costos indirectos de fabricación y VAI) y los costos directos de fabricación para n unidades al año. Las ventas anuales totales es el producto del número de unidades por el precio de venta por unidad.

$$CDF = 4137162.3525^* \text{ dol}$$

$$CUDF = CDF/ProdAnual \text{ Costo unitario directo de fabricación}$$

$$CUDF = 0.6895^* \text{ dol/kg}$$

$$neq = CIFab + CFF + VAI$$

$$Pventa - CUDF$$

$$neq = 1937831.5532\text{kg}$$

$$PTOEQ = (neq/ProdAnual)^* 100$$

$$PTOEQ = 32.2972\%$$