

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y TEXTIL**



**“ RECUPERACIÓN DE LICOR MONOCÁLCICO A PARTIR DE  
UNA CORRIENTE EFLUENTE EN EL PROCESO DE OBTENCIÓN  
DE FOSFATO BICÁLCICO”**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO QUIMICO**

**POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS**

**PRESENTADO POR:**

**JUAN FRANCISCO QUEZADA TORRES**

**LIMA – PERU**

**2006**

## **RESUMEN**

En el presente informe se describe el tratamiento de una corriente efluente del proceso de obtención de Fosfato Bicálcico. La corriente a tratar es caracterizada con la finalidad de conocer el contenido de fósforo que se descarga al colector general. Se realizan pruebas de filtración a nivel piloto, obteniéndose resultados favorables para la recuperación del fósforo en forma de licor monocálcico, lo cual es la base para realizar el escalamiento respectivo a nivel industrial.

El licor separado del proceso de filtración es recirculado al proceso productivo, optimizando de esta manera el consumo de materias primas, evitando también, descargas al efluente. Los sólidos retenidos en los filtros prensa son obtenidos como una torta los cuales son almacenados en canchas de almacenamiento para su posterior disposición a un relleno sanitario autorizado por los organismos competentes.

## **INDICE**

<b>I. INTRODUCCIÓN.</b>	<b>04</b>
<b>II. MARCO LEGAL.</b>	<b>05</b>
<b>III. DESARROLLO DE LOS CONCEPTOS Y TÉCNICAS.</b>	<b>10</b>
<b>III.1 El fósforo, nutriente clave en la alimentación animal.</b>	<b>10</b>
<b>III.1.1 Importancia del fósforo en el organismo animal</b>	<b>10</b>
<b>III.1.2 Valor biológico o biodisponibilidad.</b>	<b>10</b>
<b>III.1.3 Necesidades de fósforo en la dieta animal.</b>	<b>11</b>
<b>III.1.4 Consecuencias de deficiencias en el aporte de fósforo.</b>	<b>11</b>
<b>III. 2 Características técnicas del fosfato bicalcico.</b>	<b>12</b>
<b>III.3 Otras tecnologías de producción de fosfatos comerciales.</b>	<b>14</b>
<b>III.4 Proceso de obtención del fosfato bicálcico.</b>	<b>15</b>
<b>III.4.1 Recepción y almacenamiento de materia prima</b>	<b>15</b>
<b>III.4.2 Preparación de materia prima.</b>	<b>16</b>
<b>III.4.3 Etapas del proceso.</b>	<b>17</b>
<b>III.4.4 Descripción del proceso.</b>	<b>18</b>
<b>III.4.5 Efluentes del Proceso.</b>	<b>29</b>
<b>IV. DESARROLLO DEL TEMA</b>	<b>31</b>
<b>IV.1. Identificación de la corriente a tratar.</b>	<b>31</b>
<b>IV.2. Caracterización de la corriente de deshecho.</b>	<b>31</b>
<b>IV.3. Pruebas en planta piloto.</b>	<b>32</b>
<b>IV.4. Bases de diseño de la planta de filtración de lodos.</b>	<b>34</b>
<b>IV.5. Parámetros para la selección del filtro prensa.</b>	<b>36</b>
<b>IV.6. Evaluación Económica.</b>	<b>40</b>
<b>V. CONCLUSIONES.</b>	<b>44</b>
<b>VI. BIBLIOGRAFIA.</b>	<b>45</b>
<b>VII. APÉNDICE.</b>	<b>46</b>

## **I. INTRODUCCIÓN.**

El presente informe detalla la forma de optimizar el proceso de obtención de Fosfato Bicálcico (Fosbic), al recuperar licor monocálcico con alto contenido de Fósforo de una corriente efluente. Para ello se plantea implementar un sistema de filtración del tipo Prensa el cual permitirá recuperar como licor filtrado, licor monocálcico y como torta, material insoluble que no ha sido atacado en las etapas del proceso.

El licor monocálcico es recirculado al proceso recuperando  $P_2O_5$ , el cual es equivalente a obtener mayor cantidad de producto terminado / materia prima utilizada, lo que se traduce en un ahorro significativo al disminuir el consumo unitario de roca fosfórica que es la materia prima principal.

Los lodos obtenidos de la filtración (torta de lodos filtrados) serán almacenados temporalmente en una cancha de concreto, hasta su disposición final en un relleno sanitario por una empresa autorizada ante la autoridad competente.

La implementación del proyecto permitirá:

- Evitar la contaminación del medio ambiente por la descarga de los lodos del espesador de colas de la planta hacia el colector de efluentes.
- Adecuarse a las Normas y Leyes Medio-Ambientales vigentes.
- Optimizar la recuperación de fósforo de la roca fosfórica.

## **II. MARCO LEGAL**

El Marco Legal del presente proyecto se basa en la Ley N° 28611 "Ley General del Ambiente", el Decreto Legislativo N°757, "Ley Marco para el Crecimiento de la Inversión Privada" y sus normas modificatorias y conexas; y de acuerdo al D. S. N°019-97-ITINCI del Ministerio de la Producción: "Reglamento de Protección Ambiental para el Desarrollo de Actividades de la Industria Manufacturera", al cual pertenece la actividad de la Planta de Fosfato Bicálcico.

### **Normatividad Aplicable al Estudio**

Luego de la Constitución Política del Perú, que se indica a continuación se ha listado las normatividades de acuerdo a la mayor relación con el presente estudio y no guardan ninguna correlación de fechas:

- "Constitución Política del Perú". 1993(Art. 2, inc. 22). En un nivel de jerarquía legal mayor, otorga expresamente la categoría de derecho fundamental de la persona a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida (Art. 2 inc. 22). Señala, asimismo, que el Estado determina la política nacional del ambiente y promueve el uso sostenible de los recursos naturales, la conservación de la diversidad biológica y áreas naturales protegidas y el desarrollo de la amazonía.
- Ley N° 28611: "Ley General del Ambiente", 13/10/05. Esta ley contiene un Título Preliminar de 11 Artículos, 4 títulos con sus respectivos capítulos, y las disposiciones transitorias, complementarias y finales. Esta ley es la norma ordenadora del marco normativo de la gestión ambiental en el Perú. Establece los principios y normas básicas para asegurar el efectivo ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, así como el cumplimiento del deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país.

- D. Leg. N° 757: "Ley Marco para el Crecimiento de la Inversión Privada". 13/11/1991. Mediante esta Ley Marco se determinó que la "Autoridad Ambiental Competente" para conocer los asuntos relacionados con la aplicación de las disposiciones del Código del Medio Ambiente, fueran los Ministerios de los sectores correspondientes a las actividades que desarrollan las empresas, sin perjuicio de las atribuciones que correspondan a los Gobiernos Regionales y Locales.
- Ley 26410: "Ley del Consejo Nacional del Ambiente (CONAM)". 22/12/1994. El CONAM es un organismo descentralizado, con personería jurídica de derecho público interno, con autonomía funcional, económica, financiera, administrativa y técnica encargado de promover la conservación del ambiente, a fin de coadyuvar al desarrollo integral de la persona humana sobre la base de garantizar una adecuada calidad de vida y, propiciar el equilibrio entre el desarrollo socioeconómico, el uso sostenible de los recursos naturales y la conservación del ambiente.
- Ley 23407: "Ley General de Industria". 29/05/1982. Establece que las empresas industriales deberán desarrollar sus actividades sin afectar el medio ambiente, alterar el equilibrio de los ecosistemas, ni causar perjuicio a las colectividades.
- D.S. N°001-97-ITINCI: "Disponen que las empresas industriales manufactureras se adecuen a las normas de Protección Ambiental a ser aprobadas por el MITINCI". 05/01/1997. Define un esquema especial de plazos y procedimientos para la ejecución del PAMA, para empresas en actividad según su ubicación geográfica y la zonificación que la municipalidad correspondiente haya establecido. Señala que las empresas industriales que ejecuten un PAMA, para adecuarse a los niveles permisibles, no podrán ser obligadas o conminadas a suspender sus actividades o trasladar sus establecimientos de conformidad con el art. 103 de la Ley N° 23407.
- D. S. N° 019-97-ITINCI: "Reglamento de Protección Ambiental para el Desarrollo de las Actividades de la Industria Manufacturera". 01-10-97. Se

fijan los lineamientos de Política Ambiental del ex – MITINCI (actual Ministerio de la Producción), donde se señala como aspecto relevante el principio de prevención en la gestión ambiental, a través de prácticas que reduzcan o eliminen la generación de elementos o sustancias contaminantes en la fuente generadora.

- R. M. N° 108-99-ITINCI/DM: “Guías para Elaboración de Estudios de Impacto Ambiental, Programas de Adecuación y Manejo Ambiental, Diagnóstico Ambiental Preliminar y Formato de Informe Ambiental”. 04-10-99. Es un documento en el cual se definen los objetivos, requerimientos y estructura de las Guías para Elaboración de Estudios Ambientales; incluyendo los lineamientos para el PAMA
  
- Decreto Supremo N° 044-98-PCM: “Reglamento Nacional para la Aprobación de LMP”. 11-11-98. Declaran Inicio de Actividades Conducentes a la Aplicación de Programa Anual para Aprobación de Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles.
  
- Ley 26842: “Ley General de la Salud”. 20/07/1997. Establece que: “Toda persona natural o jurídica está impedida de efectuar descargas de desechos o contaminantes en el agua, el aire, o el suelos, sin haber adoptado las precauciones de depuración que señalan las normas sanitarias y de protección del ambiente”.
  
- D. Leg. 295: “Código Civil”. 25/07/1984. Establece que el propietario, en ejercicio de su derecho y especialmente dentro de su desarrollo industrial debe abstenerse de perjudicar las propiedades contiguas, su seguridad, tranquilidad y la salud de sus habitantes.
  
- D. Leg. 635: “Código Penal”. 08/04/1991. Establece responsabilidad criminal para aquel que violando las normas de protección ambiental, contamina el ambiente introduciendo residuos sólidos, líquidos, gaseosos o de cualquier otra naturaleza por encima de los límites establecidos y que causen o puedan

causar perjuicio o alteraciones en la flora, fauna o en los recursos hidrobiológicos.

- D. Leg. N° 17752: “Ley General de Aguas”. 25/07/1969. Señala, entre otros aspectos, que el Estado es el encargado de formular el manejo de los recursos hídricos del país, mediante inventarios, forma de administración, conservación y su uso racional.
- Ley N° 27314: “Ley General de Residuos Sólidos”. 21/07/2000. Establece derechos, obligaciones, atribuciones y responsabilidades de la sociedad en su conjunto, para asegurar una gestión y manejo de los residuos sólidos, sanitaria y ambientalmente adecuada, con sujeción a los principios de minimización, prevención de riesgos ambientales y protección de la salud y el bienestar de la persona humana.
- Ley 26821: “Ley Orgánica para el Aprovechamiento de los Recursos Naturales”. 26/06/1997. Regula el régimen de aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, en tanto constituyen patrimonio de la Nación, estableciendo sus condiciones y las modalidades de otorgamiento a particulares, en concordancia con lo establecido en el Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales y los convenios internacionales ratificados por el país.
- Decreto Supremo N° 057-2004 PCM. “Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos N° 27314”. 24/07/2004. Es el reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos que consta de 10 títulos, 150 artículos, y otras disposiciones donde se define el ámbito de su aplicación. En el Título III, Capítulo III, se refiere al manejo de Residuos Sólidos del Ámbito de Gestión no Municipal, que comprende aspectos de Almacenamiento, Recolección y Transporte, Tratamiento y Disposición Final.
- D.S. N° 42-F: “Reglamento de Seguridad e Higiene Industrial”. 22-05-64.
- D.S. N° 028/60 ASPL: “Reglamento de Desagües Industriales”. 29-12-60.



- R.D. N° 1472-72-IC-DGI. “Reglamento de Comités de Seguridad e Higiene Industrial”. 28/08/1972.
- D.S: N° 42-F: “Reglamento de Seguridad Industrial”. 22/05/1964.
- R.M. N° 535-97-SA/DM: Código de Principios Generales de Higiene.
- D.S. 007-83-SA. Modifican la Ley General de Aguas en sus títulos I, II y III. 17-03-83.
- D.S. N° 274-69-AP/DGA. Reglamento del Título IV "De las Aguas Subterráneas" de la Ley General de Aguas. 30-12-69.
- D.S. 007-83-SA. Reglamento relativo a los Límites de Calidad de Agua.

### **III. DESARROLLO DE LOS CONCEPTOS Y TECNICAS**

#### ***III.1 El Fósforo, Nutriente clave en la alimentación animal***

El papel del fósforo en la alimentación animal ha adquirido un nuevo significado en los últimos años.

La preocupación medioambiental ha llevado a revisar el contenido de fósforo en las dietas para intentar **minimizar** la excreción del fósforo. Sin embargo, hay indicios de que esta reducción va demasiado lejos en algunos casos, comprometiendo la productividad y el bienestar animal.

Se deberá, por lo tanto, poner atención en dar un suplemento suficiente de fósforo a los animales especialmente a aquellos de alta productividad.

##### **III.1.1. Importancia del Fósforo en el organismo animal**

El fósforo es un elemento esencial para todos los organismos vivos. Además de su importante papel como constituyente del esqueleto, el fósforo es también un componente esencial de los compuestos orgánicos y, de este modo, está involucrado en casi todos los aspectos del metabolismo. El fósforo es una parte importante de los ácidos nucleicos, ADN y ARN. Es un componente de muchas coenzimas y está involucrado en la transferencia de energía en compuestos fosforilados de glucosa y sus derivados, de otros azúcares y de compuestos de alta energía tales como adenosin-di- y tri fosfato (ADP, ATP) y creatin fosfato.

##### **III.1.2. Valor Biológico o Biodisponibilidad**

El valor biológico o grado de eficiencia biológica, es el nivel de disponibilidad o aprovechamiento del elemento por el animal, en este caso del fósforo. Existen varios estudios sobre ello y también existen divergencias sobre todo con los

fosfatos de calcio no procesados químicamente, como en el caso del fosfato de roca y la harina de huesos. Algunos datos se muestran en los siguientes cuadros:

**Cuadro III.1- Contenido y valor biológico del Fósforo**

Fuente	P (%)	Ca (%)	VB (%)
Fosfato de roca (bajo fluor)	12 - 15	35	50 - 70
Fosfato de roca natural	9-10	18 - 20	25 - 35
Harina de huesos	11	25	90 - 100
Harina de huesos	14	34	35
Fosfato bicálcico	18.5	26	100

Fuente: Thompson (1989), citado por Tayarol, 1993.

**Cuadro III.2- Contenido y biodisponibilidad del Fósforo**

Fuente	Biodisponibilidad (%)	P (%)
Bicálcico	100.0	18 - 19
Supertriple	95.7	20 - 21
Roca Fosfórica	60 - 70	9 - 11

Fuente: EMBRAPA, COMIG y ANDIF, DBO Rural, marzo del 2000

Desde el punto de vista técnico, el mayor inconveniente de la harina de huesos es la posibilidad de transmisión de enfermedades infecciosas contagiosas, como por ejemplo el botulismo, que constituye una amenaza a la ganadería en las regiones donde la mineralización correcta aún es desconocida.

### **III.1.3. Necesidades de Fósforo en la dieta animal**

Los alimentos para animales deberían contener el fósforo suficiente requerido por estos durante todas las fases de producción. Una deficiencia causaría pérdidas en la productividad animal mientras que los excesos conducirían a una menor eficiencia en la absorción del fósforo lo que resultaría en concentraciones más elevadas de fósforo en las heces.

El ratio calcio/ fósforo en las dietas animales puede variar en un rango bastante amplio sin causar serios daños. Sin embargo, cuando cada elemento está presente en gran exceso, interfiere en la absorción del otro desde el tracto digestivo.

### **III.1.4. Consecuencias de deficiencias en el aporte de Fósforo**

La deficiencia de fósforo causa problemas tales como, anomalías en los huesos, bajo crecimiento, etc.

La deficiencia de fósforo puede ser absoluta, causada por un suministro insuficiente de fósforo contenido en la alimentación, o bien relativa, debido a una pobre digestibilidad. Esto último es causado por una proporción más amplia de calcio frente al fósforo en la alimentación, lo que posiblemente pueda causar a la precipitación de fosfato cálcico no aprovechable en el intestino. Bajo estas condiciones se reducen las concentraciones de calcio y fósforo en la sangre.

El uso de fosfatos inorgánicos altamente asimilables permite suministrar los niveles requeridos de fósforo aprovechable y contribuir a una crianza de animales menos agresiva con el medio ambiente.

### ***III.2. Características Técnicas del Fosfato Bicálcico (Fosbic)***

$\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  es un orto fosfato dicálcico dihidratado, empleado como fuente mineral portante de FOSFORO y CALCIO biológicamente asimilable para la

formulación de alimentos balanceados y sales desmineralizadas para consumo animal.

Su proceso se basa en la reacción de la roca fosfórica con ácido clorhídrico, la solución resultante es purificada eliminando el flúor indeseable, posteriormente se adiciona sales de calcio alcalinas neutralizando la acidez residual.

El fosfato dicálcico dihidratado obtenido  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  es filtrado y secado a temperaturas moderadas para preservar sus dos moléculas de agua hidratación, permitiendo alcanzar un fósforo de alta bio-asimilación.

Tiene una sobresaliente disponibilidad biológica y esto lo hace especial entre los fosfatos, entre las ventajas que se destacan tenemos:

Es una fuente concentrada de fósforo y calcio.

Tiene una calidad uniforme garantizada.

Su forma inorgánica de fósforo tiene alto valor biológico.

Siendo un producto inorgánico no tiene peligro de contaminación.

No es higroscópico, se puede almacenar en silos, sacos o depósitos abiertos.

El fosfato dicálcico dihidratado es preparado por la reacción del ácido clorhídrico con la roca fosfórica obteniéndose un producto más homogéneo, en la forma de cristales monoclinicos con una composición muy cerca del producto técnico puro.

#### **Ortofosfato ( $\text{PO}_4$ ) ADECUADA ABSORCION DEL FOSFORO**

El fosfato debe estar en la forma individual ( $\text{PO}_4$ ) orto para ser utilizada y absorbida por el animal.

#### **Dihidratado ( $2\text{H}_2\text{O}$ ) MEJORA EL VALOR BIOLÓGICO**

El agua de hidratación química permite estabilizar la forma iónica (orto fosfato) logrando que el fósforo se absorba a través de la pared intestinal mejorando su disponibilidad biológica.

### ***III.3. Otras Tecnologías de producción de Fosfatos Comerciales***

#### **A. FOSFATOS DEFLUORINADOS**

Los fosfatos defluorinados son una mezcla de roca fosfórica con carbonato de sodio y ácido defluorinado, son producidos calentando ácido fosfórico a temperaturas promedio de 1400 ° C para reducir la concentración del flúor por debajo de 0.2%.

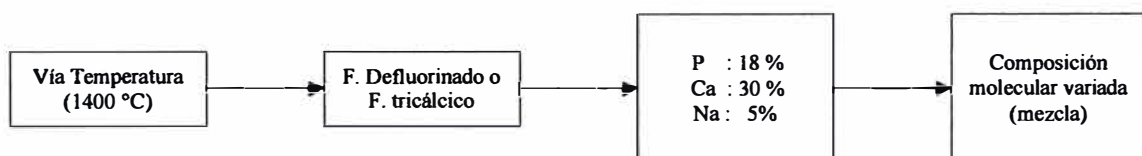
Los factores que afectan la biodisponibilidad del fósforo en el producto fosfato tricalcico defluorinado son:

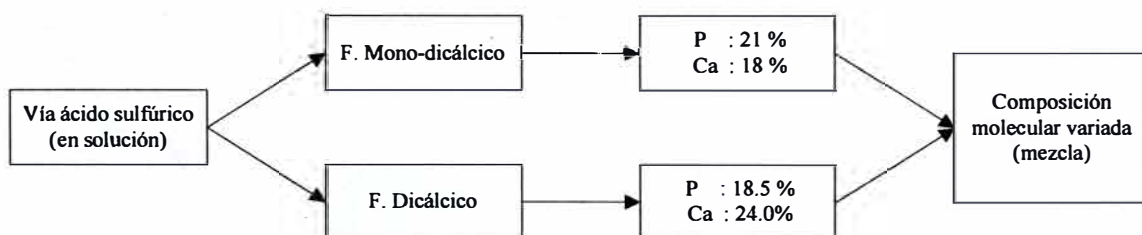
- Proceso por vía térmica a altas temperaturas de 1200 – 1500 °C.
- Formación de meta y pirofosfatos no asimilables.

#### **B. FOSFATOS MONOCÁLCICOS**

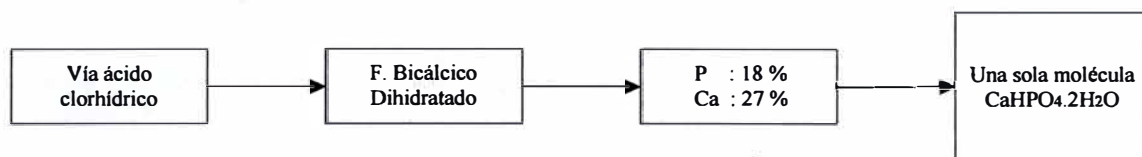
Los fosfatos mono-dicálcicos (M-DCP) y los di-monocalcicos (D-MCP) son producidos reaccionando la roca fosfórica y el ácido sulfúrico. Los dos productos finales varían en calidad del fosfato mono y dicálcico y son rotulados según el fosfato predominante.

#### **PROCESO TÉRMICO**





## PROCESO QUÍMICO



### III.4. Proceso de obtención del Fosfato Bicálcico

Las materias primas necesarias para la obtención del fosfato bicálcico son:  
Roca Fosfórica, Ácido Clorhídrico, Carbonato de Calcio, Soda Caústica.

#### III.4.1 Recepción y almacenamiento de materia prima

- **Roca Fosfórica.** Proviene de Marruecos y su recepción se realiza cada 4 meses, se almacena en canchas abiertas a la atmósfera.
- **Carbonato de Calcio.** Proviene de canteras de Huancayo. Se reciben de 02 tamaños diferentes: 1/4", 2-4". Se almacenan en canchas abiertas a la atmósfera.
- **Ácido Clorhídrico.** Proveniente del subproducto de otra planta, desde donde se bombea y almacena en tanques cerrados.
- **Soda Cáustica.** Proveniente de otra planta, desde donde se bombea y almacena en tanques abiertos.

**Cuadro III.3. Materias Primas e Insumos de Planta FOSBIC**

MATERIA PRIMA / INSUMOS	PROCEDENCIA	TIPO DE EMBALAJE	CARACTERÍSTICAS
Roca Fosfórica	Marruecos	Granel	Fosfatos = 69 – 71% Humedad = 1,0% Insolubles = 1,0%
Piedra Caliza	Huancayo-La Oroya	Granel	CaCO <sub>3</sub> = 95% %H= 4-6% MgCO <sub>3</sub> = 2,0% Insolubles = 1,0%
Floculante	Francia	Sacos x 25Kg	Polianilamida
Antiespumante	BASF Alemania	Cilindros 190 Kg. c/u	Esteres fenólicos de alto peso molecular
Soda Cáustica	Planta Cloro Soda	Granel	Concentración = 49 – 50% 750 gpl Densidad Relativa= 1,52
Ácido Clorhídrico	Planta Cloro Soda	Granel	Concentración = 33% 380 – 385gpl Densidad Relativa= 1.156

**III.4.2 Preparación de materia prima**

- **Roca Fosfórica.** Se realiza un tamizado para eliminar material de tamaño fuera de especificación.
- **Carbonato de Calcio en suspensión.** Se realiza mediante una operación de molienda, en donde se obtiene carbonato de calcio de una granulometría específica, para luego adicionarle agua en tanques de preparación, obteniéndose carbonato de calcio en suspensión de una concentración definida.
- **Ácido Clorhídrico.** Se realiza una dilución de 33 % a 6 %, mediante líneas de reciclo de proceso.
- **Soda Cáustica.** Se realiza una dilución de 50 % a 100 g/l.



### III.4.3 Características Fisicoquímicas de las Materias Primas

#### ▪ Acido Clorhídrico

Fórmula: HCl	33 (%) mín. concentración 380 (gr/lt) mín. concentración
Apariencia	– Solución incolora o ligeramente amarilla, y fumante. – Olor penetrante e irritante, típico del cloruro de hidrógeno.
Solubilidad	Alta solubilidad en agua. Solución ligeramente exotérmica.
Densidad Relativa	1.16
Temperatura de Ebullición	81 – 84° C (178 – 183° F)
Temperatura de Congelación	-45° C (-49° F)
Presión de Vapor	25 mm Hg a 20° C
Peso Molecular	36,465
Reactividad	Altamente reactivo. Ataca a la mayoría de los metales desprendiendo hidrógeno.

#### ▪ Roca Fosfórica

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Dry basis at 100/105 °C)	%	31,80
CaO	%	54,00
SiO <sub>2</sub>	%	1,12
BPL	%	69,50
H <sub>2</sub> O	%	2,60
Granulometría		
Malla +35	%	26,25
Malla +60	%	12,57
Malla +65	%	9,79
Malla +100	%	26,78
Malla +170	%	13,40
Malla +200	%	7,45
Malla +325	%	1,70
Malla -325	%	2,07
OTROS		
Cadmio	ppm	10
Cobre	ppm	16
Molibdeno	ppm	20
Arsénico	ppm	15
Densidad Aparente	gr/cc	1,43
Color		Crema pardo

### **III.4.4 Etapas del Proceso**

El proceso productivo se puede dividir básicamente en cuatro etapas.

#### **A. Ataque y Purificación Monocálcico.**

Esta etapa se realiza en un reactor, en el que entran en contacto la roca fosfórica y el ácido clorhídrico obteniéndose licor monocálcico, al cual se le adiciona carbonato de calcio en suspensión para precipitar impurezas insolubles que serán separadas mediante espesadores en etapas posteriores.

#### **B. Precipitación y Decantación.**

El licor proveniente de la etapa anterior (rico en fosfato monocálcico), es bombeado a una batería de precipitación, la cual consiste de una serie de tanques agitados en donde se le da el tiempo de residencia necesario para que se complete la reacción entre el licor y el carbonato de calcio en suspensión, obteniéndose el fosfato bicálcico. El producto se encuentra en forma de lodos, los cuales se separan en un sistema de espesadores.

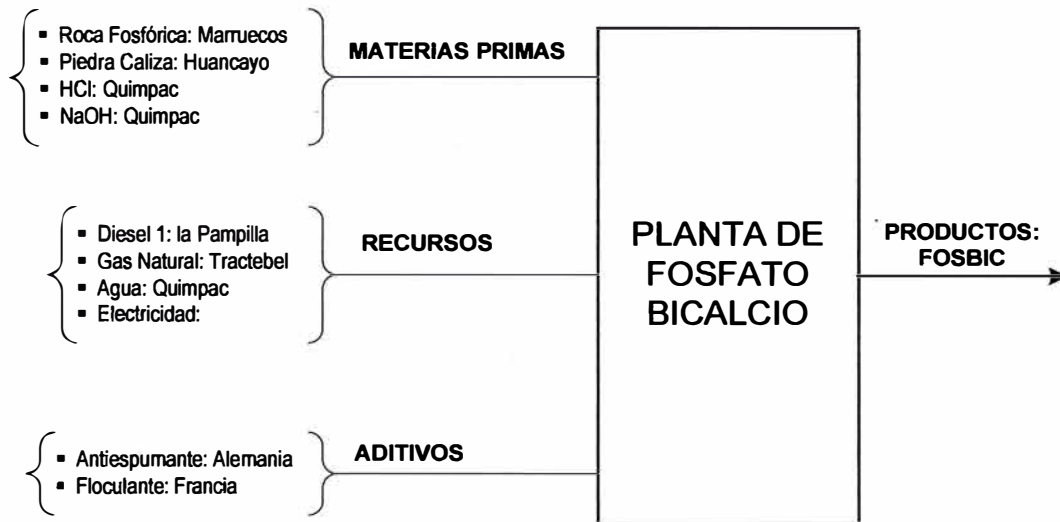
#### **C. Filtración de lodos.**

Los lodos obtenidos del proceso anterior son bombeados a un sistema de filtración continuo, en donde la torta formada es el producto final conteniendo un alto porcentaje de humedad.

#### **D. Secado y envasado de producto.**

La torta proveniente de la filtración, es llevada hacia un proceso de secado para reducir la humedad hasta valores dentro de la especificación del producto y luego envasado mediante un sistema automático.

En la Figura III.1, se ilustra globalmente la actividad de la Planta de FOSBIC.

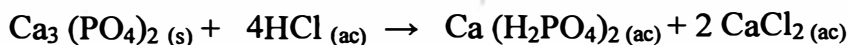
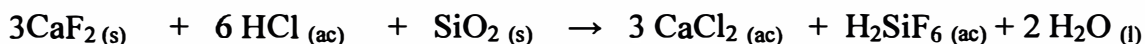
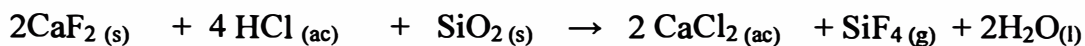
**Fig. III.1 – Esquema global de la Planta FOSBIC**

### III.4.5 Descripción del Proceso

#### A. Ataque y Purificación Monocálcico.

La roca fosfórica es llevada a un tanque de preparación DP-05, en donde se le adiciona agua para formar una pulpa la cual se introduce por la parte superior del reactor DFR-01. El ácido clorhídrico concentrado (33 %) es diluido en el tanque DP-03 con reciclos propios del sistema hasta obtener una concentración de 6 %, luego es introducido por la parte inferior del reactor. En el interior del reactor, reaccionan en contracorriente la pulpa y el ácido, produciéndose la solubilización del  $P_2O_5$  de la roca.

Las reacciones que ocurren en el ataque del ácido clorhídrico a la roca fosfórica, son las siguientes:

**REACCION PRINCIPAL****REACCION SECUNDARIA**

La reacción principal se favorece a ciertas condiciones de acidez residual a la salida del reactor, específicamente a una concentración de 9-11 g/l de esta manera se asegura que la mayor cantidad de  $\text{P}_2\text{O}_5$  pase como licor monocálcico  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ .

La siguiente etapa del proceso consiste en la eliminación del fluor. Este elemento procede de la roca fosfórica donde se encuentra en forma de fluorapatito o fluoruro de calcio y es la impureza más importante que no debe sobrepasar ciertos límites debido a la influencia que tiene en la retrodegradación del producto final, es decir, la pérdida de solubilidad del producto al pasar a otra forma menos soluble por la presencia de fluor en exceso, lo que afecta directamente la asimilación del fósforo.

El producto obtenido a la salida del reactor es llevado a un tanque agitado (DP-02), en donde se realiza la eliminación del fluor y disminución de la acidez mediante la adición de carbonato de calcio en suspensión.

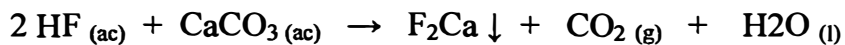
La disminución de la acidez en el tanque DP-02, tiene por finalidad neutralizar al HCl residual, el cual sería perjudicial en la siguiente etapa del proceso porque favorecería la solubilidad del fluor precipitado. Las reacciones que ocurren en esta etapa son las siguientes.

### **DEFLUORINADOR DP-02**

#### **Neutralización:**



#### **Defluorinador:**



#### **Eliminación de Fluor:**



Luego de la defluorinación en el DP-02 se obtiene una mezcla de licor monocálcico  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ , roca fosfórica que no ha reaccionado en su totalidad e impurezas precipitadas en forma de lodos, los cuales son separados en el espesador E-01.

El espesador E-01 tiene por finalidad separar dos corrientes: licor monocálcico por rebose y lodos por decantación.

El licor monocálcico rebosa a un tanque de paso (DP-04) donde se almacena para posteriormente ser enviado a una batería de precipitación. (etapa de precipitación y decantación)

Los lodos son enviados a la zona de reataque, que consiste en dos unidades en serie DP-06 A,B para recuperar  $\text{P}_2\text{O}_5$  de la roca no reaccionada.

Estos lodos ingresan a la unidad DP06A donde se adiciona HCl concentrado (33%) con el objetivo de extraer el pentóxido remanente ( $P_2O_5$ ) de la roca no atacada, teniendo lugar las mismas reacciones que se dan en el ataque principal. Seguidamente estos lodos pasan a la unidad DP06B en el que ingresan dos corrientes de proceso: lodos provenientes del espesador E-06 y licor de la unidad DP-16, las que serán detalladas mas adelante.

Los dos tanques DP06 A,B se comportan como un pequeño reactor y un defluorinador respectivamente, con la finalidad de recuperar la mayor cantidad de pentóxido de la roca no atacada, y eliminar también el fluor residual adicionando corrientes de proceso de carácter básico.

La solución que sale del reataque ingresa a un segundo espesador E-02, aquí se decantan los lodos arrastrados. El líquido que sobrenada contiene principalmente licor monocalcico y ácido clorhídrico, esta corriente se utiliza en la dilución del HCL del 33% a 6 % en la unidad DP-03 para ser enviada al reactor en el ataque de la roca fosfórica.

Los lodos separados en el espesador E-02 y el licor de rebose del quinto espesador E-05, son enviados al espesador de colas E-03, aquí se recupera el pentoxido de fósforo de las etapas de *ataque y purificación y precipitación y decantación*, para ser enviado al proceso.

El ingreso de licor monocalcico recuperado por el espesador E-03, es a través de la unidad DP-16, que es un tanque de paso para controlar el nivel y concentración del tanque de ácido DP-03.

Los lodos obtenidos del E-03, se descargaban directamente al colector, contaminando directamente la zona aledaña a la playa, aparte de perder una cantidad considerable de fósforo.

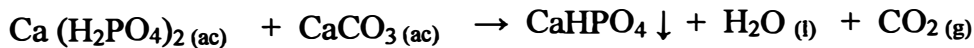
## B. Precipitación y Decantación.

El licor obtenido del espesador E-01 rebosa al tanque DP-04, el cual se utiliza como un tanque de almacenamiento para luego enviar el licor monocálcico a la batería de precipitación, la cual consiste de 12 tanques agitados conectados en serie (DP-08), donde se le da el tiempo de residencia necesario para que precipite el fosfato bicálcico.

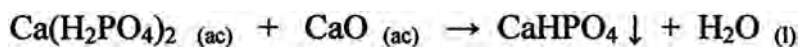
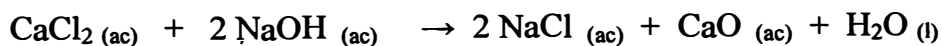
La precipitación se inicia al momento de adicionar carbonato de calcio en suspensión al primer precipitador (DP-08-01), y a medida que pasa por cada precipitador se va incrementando la cantidad de producto formado. En el último precipitador (DP-08-12) se le adiciona soda diluida para precipitar de manera rápida el pentóxido residual.

Las reacciones que ocurren en esta etapa son las siguientes.

### PRECIPITADOR DP08-1



### PRECIPITADOR DP-08-12



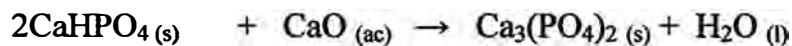
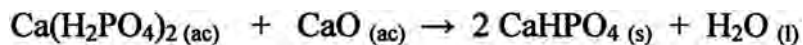
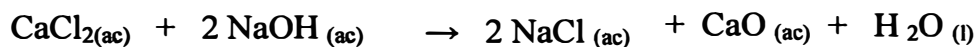
El producto obtenido en el último precipitador (fosfato bicálcico en forma de lodos) ingresa al espesador E-04, aquí el licor separado se envía a la unidad DP-09 y los lodos pasan al espesador E-05 para ser lavados mediante adición de agua para eliminar las impurezas que arrastra el producto.

La principal impureza que se elimina es el ión cloruro; este perjudica al producto final no solamente por ser inerte y rebajar el porcentaje de  $\text{P}_2\text{O}_5$  en el producto final, sino igualmente por su higroscopicidad y su poder de retrodegradación.

El espesador E-05 es la última unidad donde se separa el producto final en forma de lodos lavados antes de que pase a la etapa de filtración. El lavado se realiza mediante adición de agua industrial y corrientes que provienen de la etapa de filtración, como son el agua de succión de las bombas de vacío y agua de lavado de telas que arrastran producto no filtrado en forma de suspensión para minimizar pérdidas del producto final.

Los licores provenientes de los reboses de los espesadores E-04 y E-05 que contienen  $P_2O_5$  residual, que no pudo ser precipitado en la batería de precipitación, ingresan a la unidad DP-09 para hacerlo precipitar directamente con NaOH.

Las reacciones que ocurren en esta etapa son las siguientes:



Para que las pérdidas de  $P_2O_5$  soluble en los licores finales sean los menores posibles, se hace una precipitación de  $P_2O_5$  casi total regulando la concentración de soda, obteniendo una mezcla de fosfato bicálcico y tricálcico ( $CaHPO_4$ ,  $Ca_3(PO_4)_2$ ). Esta mezcla se envía a un último espesador E-06, donde se separa lodos de licor. El licor es eliminado en la línea de efluente con trazas  $P_2O_5$  y los lodos (Lodos Blancos) son enviados a la unidad DP06B (Zona Reataque).



### **C. Filtración de lodos.**

Los lodos obtenidos en el espesador E-05 (fosfato bicálcico), ingresan a la unidad DP-10, que consiste de un tanque con sistema de agitación para homogenizar los lodos antes de ser bombeados a 02 filtros rotatorios en paralelo (FE 6x6 y FE 10x10). Estos filtros son del tipo clásico con tambor rotativo, utilizando como medio filtrante una tela de poliéster monofilamento. Las aguas succionadas por las bombas de vacío son enviadas al espesador E-05 para contribuir con el lavado del producto como se mencionó anteriormente.

La calidad de los lodos de fosfato bicálcico influye mucho en lograr una buena filtración, dado que, si es excesivamente fino o arrastra impurezas gelatinosas, la filtración es muy difícil.

El fosfato bicálcico que sale de la filtración lleva aproximadamente un 25 % de humedad. Por tanto, es necesario secarlo, ya que el producto final no debe sobrepasar del 2 % de humedad.

### **D. Secado y envasado de producto.**

El secado se efectúa en dos secadores independientes, uno para la torta obtenida del filtro FE 10x10 el cual es del tipo Flash, el otro es para la torta del filtro FE 6x6 y es un secador rotatorio.

Durante el secado hay que evaporar la humedad libre que lleva el producto, junto con parte del agua de cristalización. Si el secado es excesivo se produce una mayor deshidratación, a la que puede seguir una retrogradación del bicálcico a pirofosfato, según la reacción.

$2\text{CaHPO}_4 (s) \leftrightarrow \text{P}_2\text{O}_7\text{Ca}_2 (s) + \text{H}_2\text{O} (l)$ , reacción que se inicia a 250°C y es total a los 900 °C.

**Secador Flash.**

La torta proveniente del filtro rotatorio FE 10x10, ingresa mediante una serie de tornillos mezcladores al Secador Flash, que consta de un venturi vertical, en el cual el producto ingresa y en la garganta del venturi ocurre la transferencia de calor del aire caliente proveniente del quemador

El producto seco es enviado hacia un ciclón F-02, el underflow es dividido en dos partes; una sirve como reciclo que se mezcla con la torta húmeda que sale del filtro rotatorio y la otra porción, es enviada hacia una serie de tornillos transportadores, que descargan en las tolvas de almacenamiento de producto.

El overflow es llevado a un colector de polvos (Z-12) para disminuir la cantidad de finos al medio ambiente.

**Secador Rotatorio.**

La carga de este secador proviene de la torta del filtro rotatorio FE 6x6, el cual ingresa e inmediatamente el producto es secado mediante una corriente de aire caliente a través de la cámara cilíndrica giratoria, que permite que el producto avance longitudinalmente en forma helicoidal, permitiendo que la transferencia de calor sea homogénea. El producto seco es dividido; una parte es enviada a un tornillo elevador T10B, que transporta el producto hacia las tolvas de almacenamiento, la otra hacia 02 ciclones en paralelo con la finalidad de obtener dos reciclos del underflow y mezclarlo con la torta húmeda del FE 6x6. El overflow es enviado a un colector de polvos Z-11.

### III.4.6 Características Físicoquímicas del Producto.

**Producto:** Fosfato Bicálcico Dihidratado (PHOSBIC 18%)

**Fórmula química:**  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

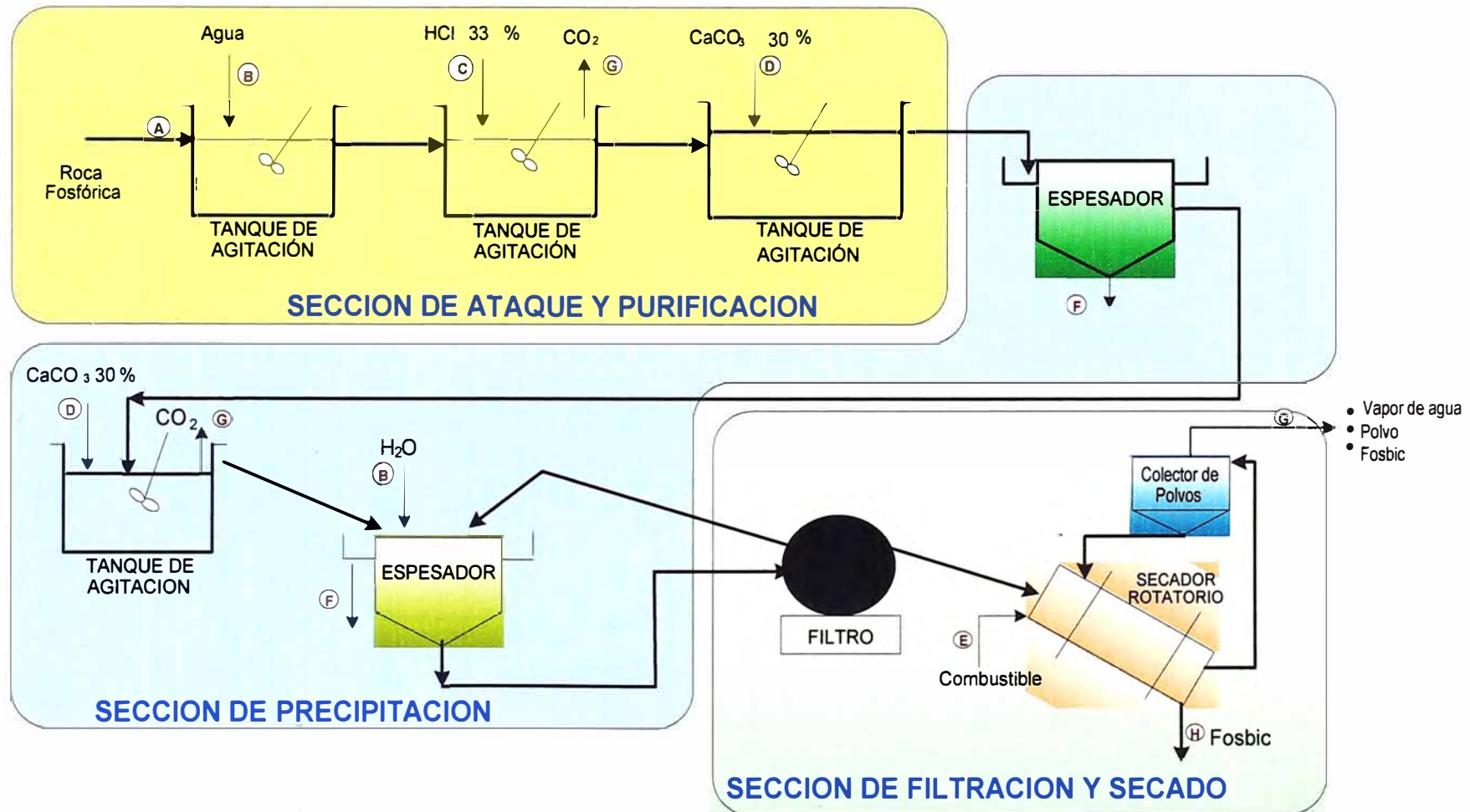
**Otras Denominaciones:**

Phosbic 18 %, Fosfato Dicálcico Dihidratado, Fosfato Bicálcico Dihidratado, Calcium Hydrogenorthophosphate Dyhydrate, Dicalcium Phosphate 2-Hydrated, Dihydrated Dicalcium Phosphate, Phosphate Bicalcique Dyhydrate.

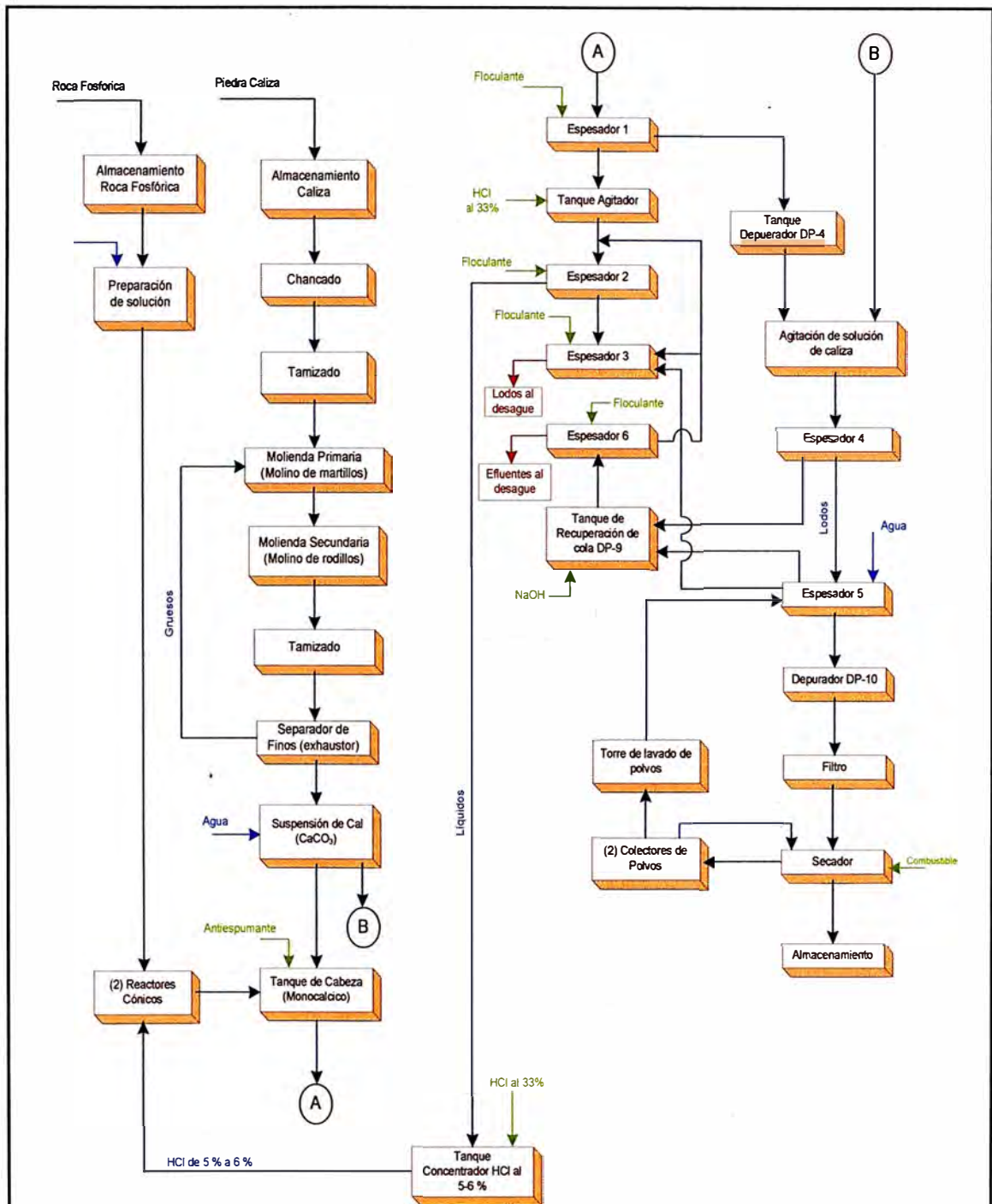
**Especificaciones Técnicas:**

Características	Límites	Unidad	Métodos de Ensayo
– Humedad Adherente (como H <sub>2</sub> O)	Max. 2.50	%	FB.500.01
– Insolubles	Max. 1.00	%	FB.500.02
– Fósforo (como P)	Min.18.0	%	FB.500.03
– Calcio (como Ca <sup>2+</sup> )	Max.27.5	%	FB.500.04
– Flúor (como F)	Max. 0.18	ppm	FB.500.05
– Cloruro (como NaCl)	Max. 0.50	%	FB.500.06
– Hierro (como Fe)	Max. 500	ppm	FB.500.07
– Sulfato (como SO <sub>4</sub> )	Max. 3.00	%	FB.500.08
– Perdida por Calcinación	Min. 17.5	%	FB.500.09
– Solubilidad			
– En HCl al 0.4%	Min. 99.0	%	FB.500.10
– En Ac. Cítrico al 2%	Min. 98.0	%	FB.500.11
– En Citrato de Amonio	Min. 98.0	%	FB.500.12
– En Agua	Insoluble	%	FB.500.13
– Densidad Aparente	Aprox. 0.7	g/cc	FB.500.14
– pH (suspensión al 5%)	5.5 – 6.5		FB.500.15
Granulometría			FB.500.16
– Malla Tyler N°	% Pasante		
– M 18	Min. 99.9		
– M 100	Min. 65.0		
– M 325	Max. 35.0		

Figura III.2 - Diagrama de Flujo General de la Planta de FOSBIC



**Figura III.3 - Diagrama de Bloques General de la Planta de FOSBIC**



PLANO 01

### **III.4.7 Efluentes del Proceso**

Los efluentes generados como resultado del proceso productivo son vertidos directamente al desagüe, y provienen de los lodos generados del espesador E-03 y el licor que rebosa del espesador E.06; los cuales se unen de forma progresiva conforme su ubicación, para ser posteriormente vertidos a un colector general.

El cuadro III.4 muestra los agentes contaminantes, así como el impacto y efectos que podrían ocasionar sobre el medio ambiente dependiendo de la concentración de cada uno.

El contenido de metales pesados tales como: arsénico, cadmio, manganeso y cromo provienen de las impurezas de la roca fosfórica, pero cada uno de estos elementos se encuentran por debajo del límite máximo permisible tomando como referencia valores del Banco Mundial.

El efluente proveniente del espesador E-06, esta compuesto principalmente de cloruro de calcio en pequeñas concentraciones, la cual son descargados al colector general.

Por lo tanto, nuestro objeto de estudio serán los lodos provenientes del espesador E-03, compuesto principalmente de roca fosfórica no reaccionada, sólidos inertes y licor monocálcico con alto contenido de fósforo ocluido en el lodo.

**Cuadro III.4 - Identificación de Contaminantes - Planta Fosfato Bicálcico**

AGENTE CONTAMINANTE		FUENTE	IMPACTO	EFEKTOS
EFLUENTES LÍQUIDOS	Sólidos Insolubles	Liberados del Espesador 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alteración del Ecosistema Marino</li> </ul>	<p>MEDIO AMBIENTE</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Modifica la biomasa del fondo marino.</li> </ul>
	CaCl <sub>2</sub>	Liberados del Espesador 6	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alteración del Ecosistema Marino</li> </ul>	<p>MEDIO AMBIENTE</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Modifica las características del agua, decoloración, dureza, salinidad e incrustaciones.</li> </ul>
	Arsénico	Liberados del Espesador 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alteración del Ecosistema Marino</li> </ul>	<p>SALUD Y SEGURIDAD</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Alteraciones nerviosas, cardiovasculares, renales, hepáticas, cáncer de piel, tumores en vejiga, hígado, riñón y pulmón.</li> </ul> <p>MEDIO AMBIENTE</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Muerte de peces, acumulación en su carne y en moluscos.</li> </ul>
	Cadmio	Liberados del Espesador 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alteración del Ecosistema Marino</li> </ul>	<p>SALUD Y SEGURIDAD</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Obstrucción pulmonar, bronquitis crónica, fibrosis progresiva, debilitamiento de los huesos.</li> </ul> <p>MEDIO AMBIENTE</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Muerte de peces, acumulación en su carne y en moluscos.</li> </ul>
	Cromo	Liberados del Espesador 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alteración del Ecosistema Marino</li> </ul>	<p>SALUD Y SEGURIDAD</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Irritación de la piel, perforación del tabique nasal, daño hepático, renal y pulmonar, alteración inmunológica.</li> </ul> <p>MEDIO AMBIENTE</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Muerte de peces, acumulación en su carne y en moluscos.</li> </ul>
	Manganeso	Liberados del Espesador 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alteración del Ecosistema Marino</li> </ul>	<p>SALUD Y SEGURIDAD</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Síntomas que simulan el síndrome de Parkinson.</li> </ul> <p>MEDIO AMBIENTE</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Muerte de peces, acumulación en su carne y en moluscos.</li> </ul>



## IV. DESARROLLO DEL TEMA

El presente Estudio describe las bases de diseño, costos de los equipos y finalmente una evaluación económica sobre el Proyecto de Implementación de una Planta de Filtración de Lodos Efluentes de Fosfato Bicálcico

Para la elaboración de este Estudio, se han tomado como base de trabajo, los datos levantados en diversas pruebas piloto de filtración, lo que ha permitido enfocar de manera precisa la solución más adecuada para el tratamiento del efluente mencionado.

### IV.1. *Identificación de la Corriente a Tratar*

La corriente que será objeto de nuestro estudio, proviene de la descarga de lodos del espesador E-03. Actualmente los lodos son descargados desde el espesador E-03 directamente hacia el colector general, originando contaminación del litoral adyacente a las instalaciones de la planta, así como también, pérdida de licor monocálcico con alto contenido de fósforo.

### IV.2. *Caracterización de la corriente Efluente*

#### CARACTERÍSTICAS DEL EFLUENTE

Caudal del Efluente	17 m <sup>3</sup> /h
Concentración de sólidos	150 g/l
Peso específico de la suspensión	1.16 g/ml
Peso específico de los sólidos	2.40 g/ml
Temperatura	25-30 °C
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5-7 g/l
pH	1.3 – 1.6

### **IV.3. Pruebas en Planta Piloto**

#### **IV.3.1 Objetivo**

El objetivo de las pruebas piloto es determinar el contenido de pentóxido de fósforo, acidez residual y contenido de fluor que se puede recuperar después del proceso de filtración de los lodos provenientes del espesador E-03, para ser recirculado al proceso principal sin afectar la calidad del producto final.

Otro punto importante es encontrar la proporción de mezcla del licor recuperado con el licor monocálcico del proceso principal y evaluar también como influye el agua de lavado de torta al ser utilizada en la preparación de la pulpa.

#### **IV.3.2 Descripción de las pruebas.**

Las pruebas a nivel piloto se realizaron con un filtro prensa de 07 placas de 50x50 cm cada placa, utilizando como material filtrante, lonas de polipropileno.

Las pruebas consisten en llenar el filtro prensa por medio de una bomba de alta presión hasta alcanzar una presión constante de 70 psi, inmediatamente después de observar que no existe flujo de licor filtrado, significa que el filtro esta saturado y la torta formada esta lista para ser lavada. Luego del lavado se realiza un soplado en contracorriente, para disminuir la humedad de la torta.

Durante cada etapa del proceso de filtración (llenado, lavado, soplado y descarga de la torta) se realizan muestreos en línea para realizar análisis físico-químicos, determinando de esta manera el comportamiento de cada variable del proceso.

**Figura IV.1 Proceso de Filtración Lodos del Espesador E-03**



**Figura IV. Obtención de torta de lodos del Espesador E-03**



### **IV.3.3 Resultados de la evaluación piloto.**

- Los resultados muestran que se puede recuperar el 80 % de la corriente de lodos a tratar como licor filtrado.
- El porcentaje de  $P_2O_5$  que se recupera en el licor filtrado es del 40 %.
- Con respecto a la formación de la torta, este toma en promedio un tiempo de 8 minutos en formarse.
- El porcentaje de  $P_2O_5$  remanente en la torta es del orden del 3 %.
- La humedad de la torta es del 45 %.
- La relación licor monocálcico / filtrado debe estar en el rango de 10:1,4 a 10:1,6, ya que entre estos valores la concentración de pentóxido es máxima, mientras que la de fluor se mantiene por debajo de los 100 ppm. De esta manera se optimiza la recuperación de fósforo sin afectar la calidad del producto final.
- La cantidad de Fosfato bicálcico que se puede obtener a partir de la cantidad de  $P_2O_5$  presente en el licor filtrado es del 0.009 TM / m<sup>3</sup> de lodo tratado.

**Cuadro IV.1 – Resultados de la Evaluación Piloto**

<b>DATOS DE OPERACIÓN</b>									
N° Prueba		1	2	3	4	5	6	7	8
N° Placas		7	7	7	7	7	7	7	7
Tipo Tela		486	486	486	486	486	486	486	486
<b>DATOS DE ALIMENTACIÓN</b>									
Presión de trabajo	psi	67-70	67-70	67-70	67-70	67-70	67-70	67-70	67-70
Tiempo	min	62	60	65	61	60	63	62	65
Volumen	ml	150500	151000	155000	150000	151000	153000	153000	156000
pH		1.19	1.20	1.22	1.19	1.20	1.21	1.22	1.23
Concentración Sólidos	g/l	151	148	152	150	150	152	150	151
Conc. P2O5 en líquido	g/l	5.70	5.70	5.70	5.67	5.65	5.71	5.70	5.72
Conc. P2O5 en sólido	%	4.25	4.23	4.25	4.20	4.17	4.22	4.23	4.24
<b>DATOS DE LICOR FILTRADO</b>									
Volumen Recuperado	ml	120410	120700	122415	121115	120850	122515	122350	124710
Conc. P2O5	g/l	4.12	4.15	4.20	4.18	4.13	4.21	4.18	4.23
Densidad	g/l	1.031	1.029	1.030	1.028	1.032	1.033	1.029	1.031
<b>OBTENCIÓN DE TORTA</b>									
Presión de secado	psi	36	34	35	38	36	35	38	36
Tiempo	min	6	6	8	7	6	7	8	6
Peso húmedo	g	32420	30080	32450	31300	32350	32480	32650	31950
% Humedad	%	45.00	45.27	44.92	45.10	43.33	44.24	46.24	45.43
% P2O5 en Torta	%	3.51	3.59	4.30	4.42	3.71	3.82	4.55	3.99
pH referencial en torta		1.52	1.53	1.55	1.60	1.58	1.55	1.58	1.57
<b>RESULTADOS</b>									
Vol. Filtr. / Vol. Alim	%	80.01	79.93	78.98	80.74	80.03	80.08	79.97	79.94
Peso P2O5 recuperado	g	686.37	687.990	697.766	686.722	682.803	699.561	697.395	713.341
Peso FBC / m3 lodo tratado	TM/m3	0.0111	0.0111	0.0110	0.0112	0.0110	0.0112	0.0111	0.0112

**Cuadro IV.2 – Resultados de la evaluación de P2O5 y Fluor al incorporar al proceso el licor filtrado**

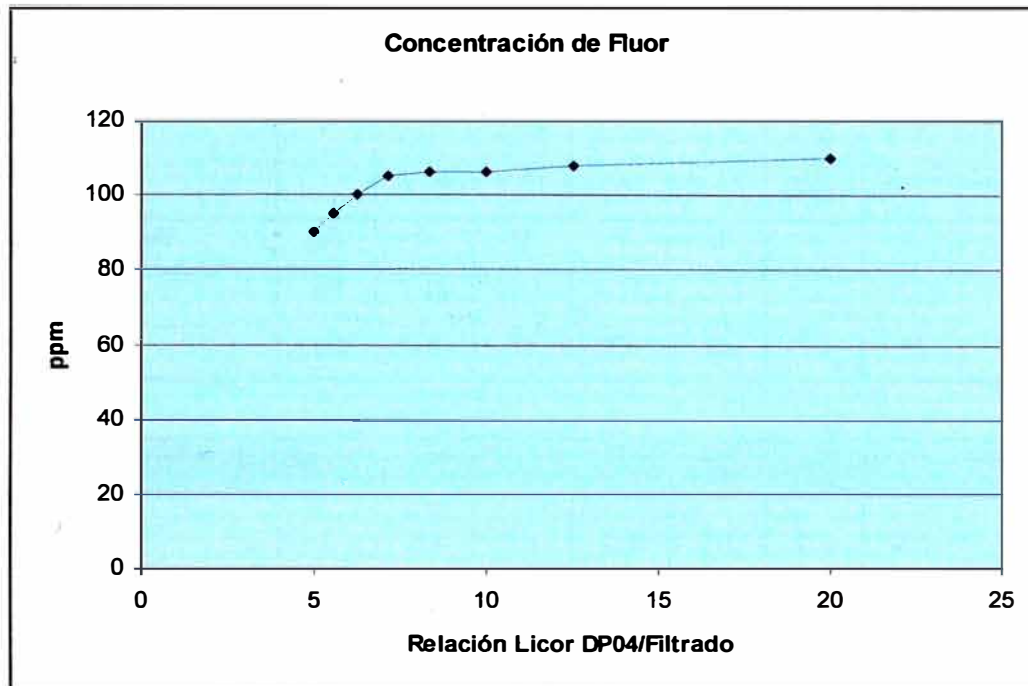
<b>Características Físico-Químicos Licor Monocálcico DP04</b>									
pH		1.22	1.25	1.28	1.28	1.29	1.30	1.27	1.31
Densidad	g/l	1.136	1.138	1.32	1.34	1.135	1.136	1.133	1.138
HCl Residual	g/l	2.53	2.61	2.63	2.55	2.51	2.62	2.56	2.62
P2O5	g/l	34.30	33.6	34.8	34.8	35.1	35.0	34.9	35.2
Fluor	ppm	100	106	112	110	100	113	112	112

<b>Características Físico-Químicos Licor Filtrado</b>									
pH		1.25	1.32	1.27	1.30	1.33	1.31	1.29	1.33
Densidad	g/l	1.031	1.029	1.030	1.028	1.032	1.033	1.029	1.031
HCl Residual	g/l	1.32	1.51	1.35	1.40	1.45	1.39	1.35	1.38
P2O5	g/l	4.12	4.15	4.20	4.18	4.17	4.22	4.23	4.24
Fluor	ppm	82	94	85	88	90	85	86	86

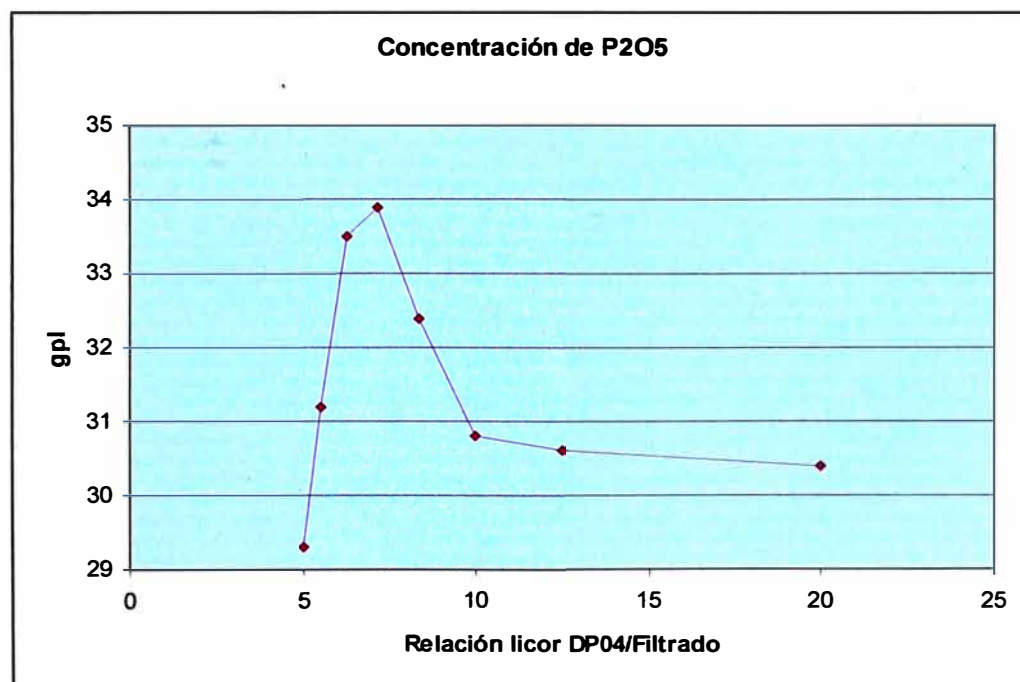
<b>Características Físico-Químicos Mezcla Licor Monocálcico y Filtrado</b>									
Relación Licor (DP04/Filtrado)		10/0.5	10/0.8	10/1.0	10/1.2	10/1.4	10/1.6	10/1.8	10/2.0
pH		1.20	1.25	1.32	1.32	1.34	1.37	1.37	1.38
Densidad	g/l	1.124	1.122	1.118	1.115	1.110	1.110	1.111	1.112
HCl Residual	g/l	2.52	2.50	2.48	2.51	2.51	2.45	2.50	2.50
P2O5	g/l	30.4	30.6	30.8	32.4	33.9	33.5	31.2	29.3
Fluor	ppm	110	108	106	106	105	100	95	90



**Figura IV.3 Variación de la concentración de Fluor al incorporar al proceso el licor filtrado**



**Figura IV.4 Variación de la concentración de P2O5 al incorporar al proceso el licor filtrado**



**Cuadro IV.3 – Evaluación del agua de lavado de filtración al incorporarlo al proceso productivo**

<b>Características Físico-Químicos agua de lavado de torta</b>									
pH Inicial		1.67	1.56	1.55	1.44	1.50	1.52	1.48	1.51
pH Final		3.55	3.61	3.60	3.45	3.62	3.50	3.61	3.52
HCl Residual	g/l	0	0	0	0	0	0	0	0
P2O5	g/l	1.15	1.10	1.12	1.18	1.12	1.13	1.15	1.15
Fluor	ppm	48	55	53	55	50	55	46	48

<b>Características Físico-Químicos Mezcla Agua de lavado y Roca</b>									
Relación Agua : Roca		2:1	2:1	2:1	2:1	2:1	2:1	2:1	2:1
pH		5.15	4.95	5.13	5.20	5.25	5.18	5.10	4.85
HCl Residual	g/l	0	0	0	0	0	0	0	0
P2O5	g/l	1.10	0.85	0.92	1.10	0.99	1.12	1.12	1.11
Fluor	ppm	33	35	32	29	30	32	35	31



**Cuadro IV.4 – Características Físico-Químicas de torta filtrada**

<b>Parámetro</b>	<b>%</b>
Humedad	42-45
Fósforo (P)	2.18
Pentóxido de Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	5.00
Calcio (Ca)	40.00
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	7.00
Fluor (F)	5.00
Cloruro (Cl)	2.00
Sílice (SiO <sub>2</sub> )	22.20
Roca fosfórica de baja ley ( Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> )	10.93
Oxido de calcio (CaO)	35.54
Sulfato de Calcio (CaSO <sub>4</sub> )	9.91
Fluoruro de calcio (CaF <sub>2</sub> )	10.27
Cloruro de calcio (CaCl)	4.24

#### **IV.4. Bases de diseño de la Planta de Filtración de Lodos**

##### **CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO A FILTRAR**

##### **A. Cuando está como LODOS**

1. Caudal del efluente	=	17.0 m <sup>3</sup> /h
2. Concentración de sólidos	=	150 g/l
	=	13.45 % en peso
3. Peso específico de la suspensión	=	1.116 g/ml
4. Peso específico de los sólidos	=	2.40 g/ml
5. Temperatura	=	25 – 30 °C
6. pH	=	1.3 – 1.6
7. Sólidos insolubles	=	1.67 TM/h
8. El lodo es abrasivo y ácido		

##### **B. Cuando está como LÍQUIDO (LICOR DE FILTRADO)**

1. Densidad del Líquido	=	1.03 g/ml
2. Pentóxido de fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	=	3.5 g/l
3. Acidez libre (HCl)	=	1.02 g/l
4. Flúor (F)	=	134.8 ppm

##### **C. Cuando esta como SÓLIDO**

1. Densidad del sólido	=	2.4 g/ml
2. Pentóxido de fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	=	4 – 6 % peso
3. Oxido de calcio (CaO)	=	45 – 55 % peso
4. Insolubles (SiO <sub>2</sub> )	=	4 – 6 % peso
5. Flúor (F)	=	15 – 25 % peso

### Análisis granulométrico

<b>Malla</b>	<b>% Retenido</b>	<b>% Acumulado</b>
100	1.4	1.4
170	2.8	4.2
200	1.8	6.0
325	3.0	9.0
<325	91.0	100.0

### **D. Cuando está como TORTA**

pH referencial	=	2.3 – 3.5
Peso específico de la torta	=	1.5 – 1.6 g/ml
Humedad de la torta	=	42.0 – 45.0 %

#### **IV.5 Parámetros para selección del Filtro Prensa**

Tomamos como base del cálculo los 17.0 m<sup>3</sup>/h de efluente.

Caudal = 17.0 m<sup>3</sup>/h

% sólidos = 13.45% (134.5 g/l)

Peso específico de torta = 1.5 g/ml (torta húmeda en el filtro)

Volumen de torta a retener en el filtro prensa =  $17.0 \times 0.1345 / 1.5 = 1.524 \text{ m}^3/\text{h}$

##### ***A. LODOS POR DIA***

Operando 24 horas la planta de filtración, se necesitaría un filtro prensa que pueda retener un volumen de :  $1.524 \times 24 = 36.576 \text{ m}^3 / 24 \text{ h}$

Utilizando 2 filtros prensa tendríamos el valor = 18.288 m<sup>3</sup> cada 12 horas

Se elige trabajar cada 4 horas, entonces =  $18.288 / 3 = 6.096 \text{ m}^3 = 6.1 \text{ m}^3$

##### ***B. CAPACIDAD DE FILTROS PRENSA***

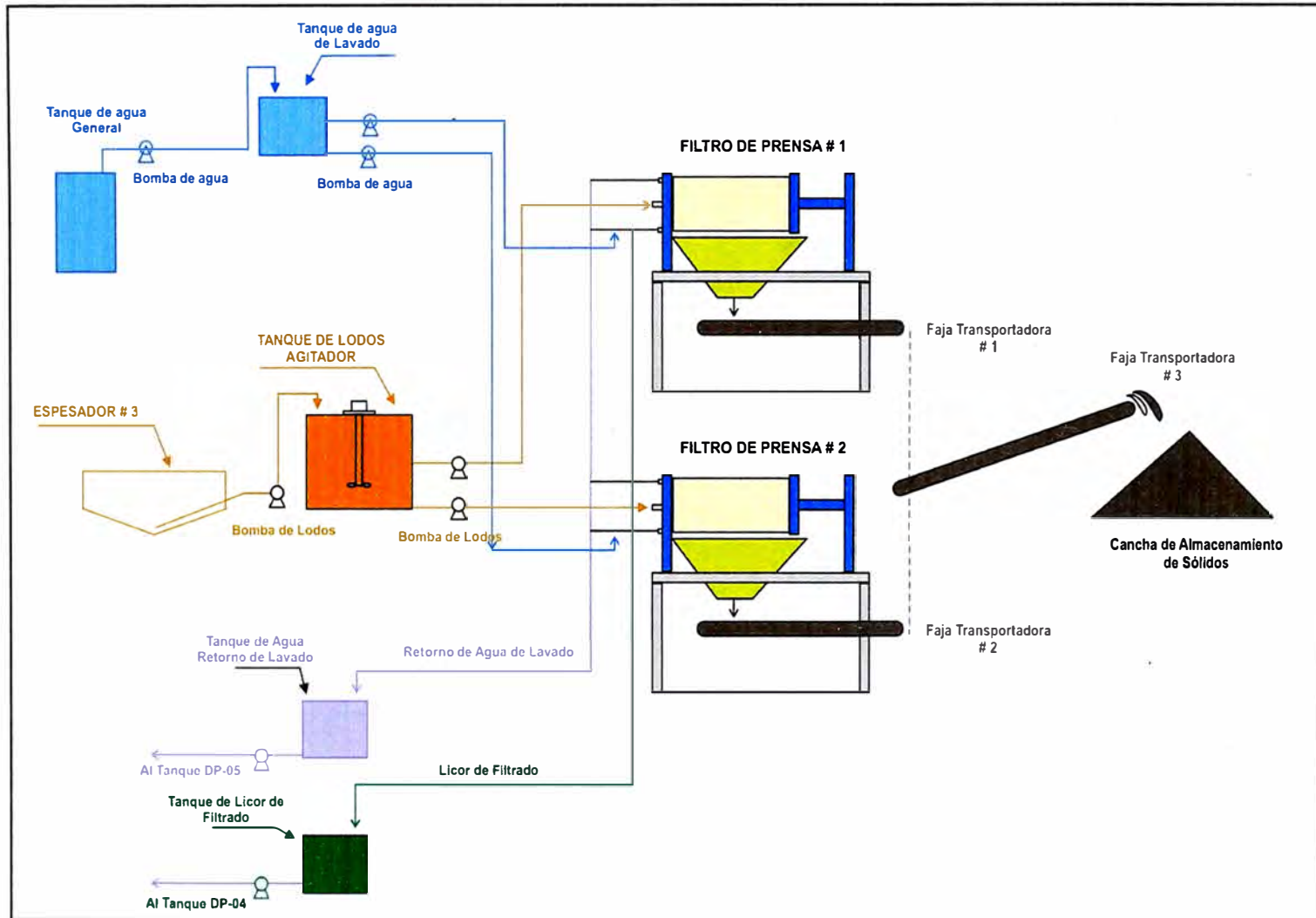
De las tablas de selección de filtros prensa, se advierte en el Apéndice # 02, del catálogo de Lenser No. 4.3108.0082.0 para un tamaño de placa de 1500 mm, torta de 40 mm, tiene una capacidad de cámara de 68.23 lt. Entonces dividimos  $6100 \text{ l} / 68.23 \text{ l} = 89.4$  cámaras filtrantes.

Seleccionamos un filtro prensa con 90 placas filtrantes, de 1500 mm, torta de 40 mm,.

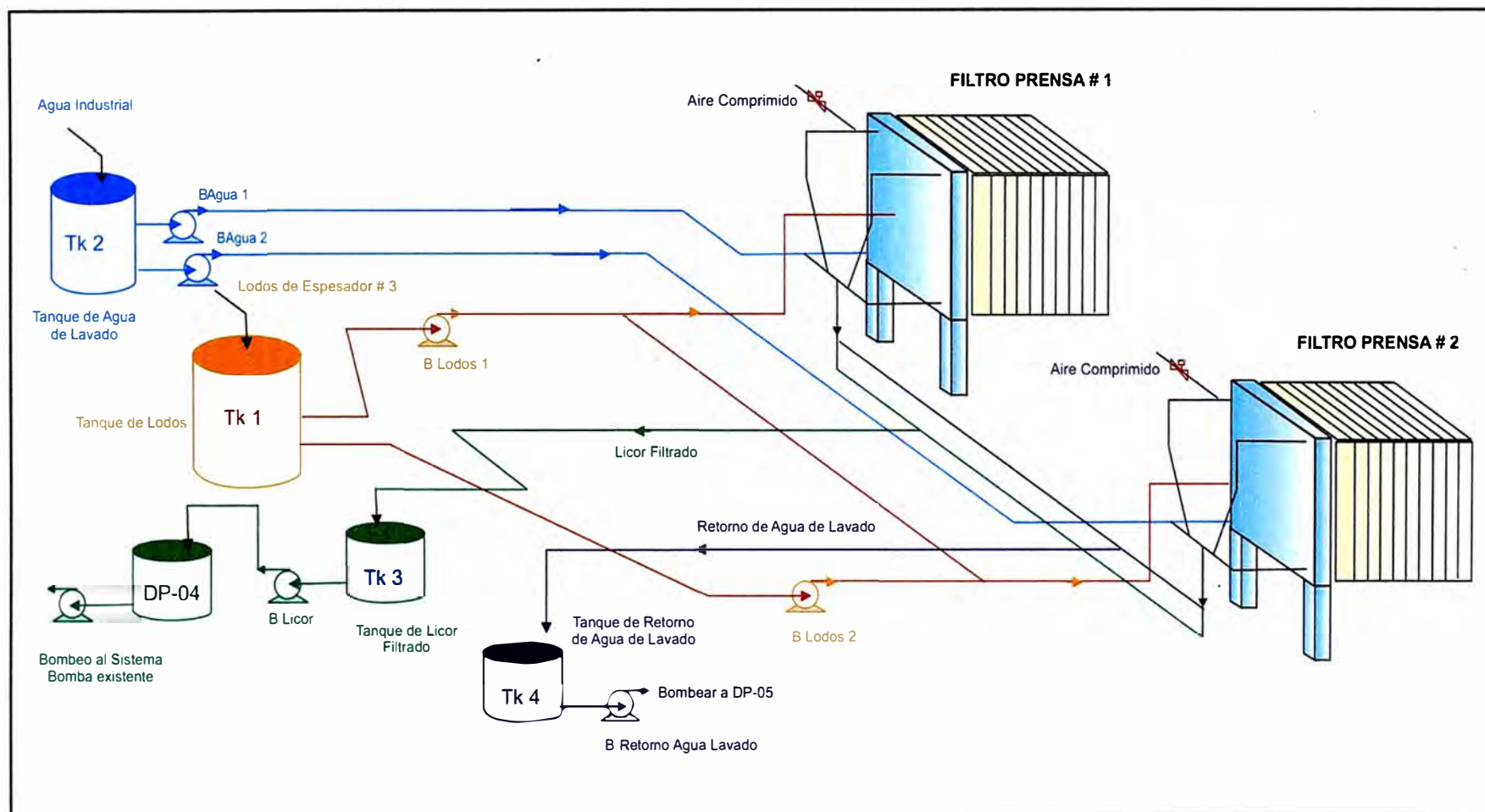
Después que se llena un filtro entra a operar el otro filtro y viceversa, cada uno de manera independiente.

**Cuadro IV.3 – Evaluación de la puesta en marcha de los Filtros Prensa**

<b>DATOS DE OPERACIÓN</b>									
Evaluación		1	2	3	4	5	6	7	8
Horas de operación (h)		7	7	7	7	7	7	7	7
Lodos efluente (m <sup>3</sup> /h)		17.8	16.5	18.0	16.9	17.3	17.0	16.6	17.3
<b>ALIMENTACIÓN</b>									
Presión de trabajo	psi	80-85	80-85	80-85	80-85	80-85	80-85	80-85	80-85
Tiempo	min	115	120	150	150	155	158	158	160
Caudal	m <sup>3</sup> /h	80	80	82	82	80	80	85	80
pH		1.35	1.45	1.55	1.56	1.59	1.62	1.60	1.63
Concentración Sólidos	g/l	147.9	152.0	155.0	147.9	148.0	153.5	156.5	155.4
HCl Residual	g/l	0.12	0.15	0.18	0.19	0.20	0.25	0.18	0.21
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	g/l	6.40	5.40	5.82	5.82	4.95	6.95	6.30	5.65
<b>LICOR FILTRADO</b>									
Caudal	M <sup>3</sup> /h	9.60	9.50	10.02	10.03	10.05	9.90	10.20	9.59
pH		1.25	1.71	1.38	1.78	1.65	1.45	1.52	1.50
Densidad	g/l	1.046	1.043	1.048	1.028	1.024	1.027	1.024	1.036
HCl Residual	g/l	1.50	1.50	1.36	1.10	1.20	1.10	1.10	1.15
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	g/l	4.12	4.00	3.90	5.00	3.60	4.20	4.20	4.10
Fluor	ppm	84	92	82	94	98	90	89	91
<b>TORTA</b>									
Presión de secado	psi	90	90	90	90	90	90	90	90
Tiempo	min	10	10	10	10	10	10	10	10
Peso específico	g/ml	1.55	1.57	1.59	1.61	1.60	1.58	1.57	1.58
% Humedad	%	42.5	42.3	41.9	43.0	42.6	42.1	42.0	42.3
% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> en Torta	%	3.12	3.15	3.28	3.57	3.85	3.24	3.95	3.67
pH referencial en torta		2.34	2.52	2.33	2.75	2.48	2.89	3.25	3.35

**Figura IV.5 Diagrama Esquemático del Proceso de Filtrado**

**Figura IV.6 Diagrama de Flujo del Proceso de Filtración**





**Figura IV.7 Puesta en marcha de filtro de Lodos**



**Figura IV.8 Descarga de torta filtrada**





#### IV.6 Evaluación Económica

##### RESUMEN DE COSTO DE CAPITAL

Identificación del Equipo	Código	Especificaciones de Capacidad (dimensión)	Costo de compra del Equipo $C_P$	Factor Base $F_{BM}$	Costo Base $C_{BM}$	Total MUS\$
<b>Filtros Prensa</b>						
Filtro de lodos	FP1	60 m <sup>2</sup>	24000 x 1.2698	3.5	106666.67	
Filtro de lodos	FP2	60 m <sup>2</sup>	24000 x 1.2698	3.5	106666.67	
Filtros Prensa Total						<b>213,333.33</b>
<b>Recipientes de Proceso</b>						
Tanque de lodos	DP21	L=3.5m, D=3.15m	20000 x 1.2698	1	25396.83	
Tanque de licor filtrado	DP22	L=2.2m, D=3.90m	12000 x 1.2698	1	15238.10	
Tanque de agua lavado	DP23	L=3.5m, D=3.10m	10100 x 1.2698	1	12825.40	
Tanque de agua retorno	DP24	L=3.5m, D=3.10m	10100 x 1.2698	1	12825.40	
Recipientes Total						<b>66,285.71</b>
<b>Bombas</b>						
Bomba de lodos	B31	30 HP	12000 x 1.2698	1	15238.10	
Bomba de licor filtrado	B32	20 HP	7200 x 1.2698	1	9142.86	
Bomba de agua lavado	B33	3 HP	3800 x 1.2698	1	4825.40	
Bomba de agua retorno	B34	20 HP	7200 x 1.2698	1	9142.86	
Bomba Total						<b>38,349.21</b>
Modulo Simple, Total						<b>317,968.25</b>
Imprevistos y Honorarios						<b>57,234.54</b>
Costo de módulo Total						<b>375,202.54</b>
Instalaciones Auxiliares						<b>112,560.76</b>
<b>CAPITAL BASICO</b>						<b>487,763.30</b>

**COSTO DE MANUFACTURA**

PROYECTO: Planta de Filtración de Lodos  
LOCALIZACIÓN: Lima

CAPACIDAD: 91080 TM / AÑO

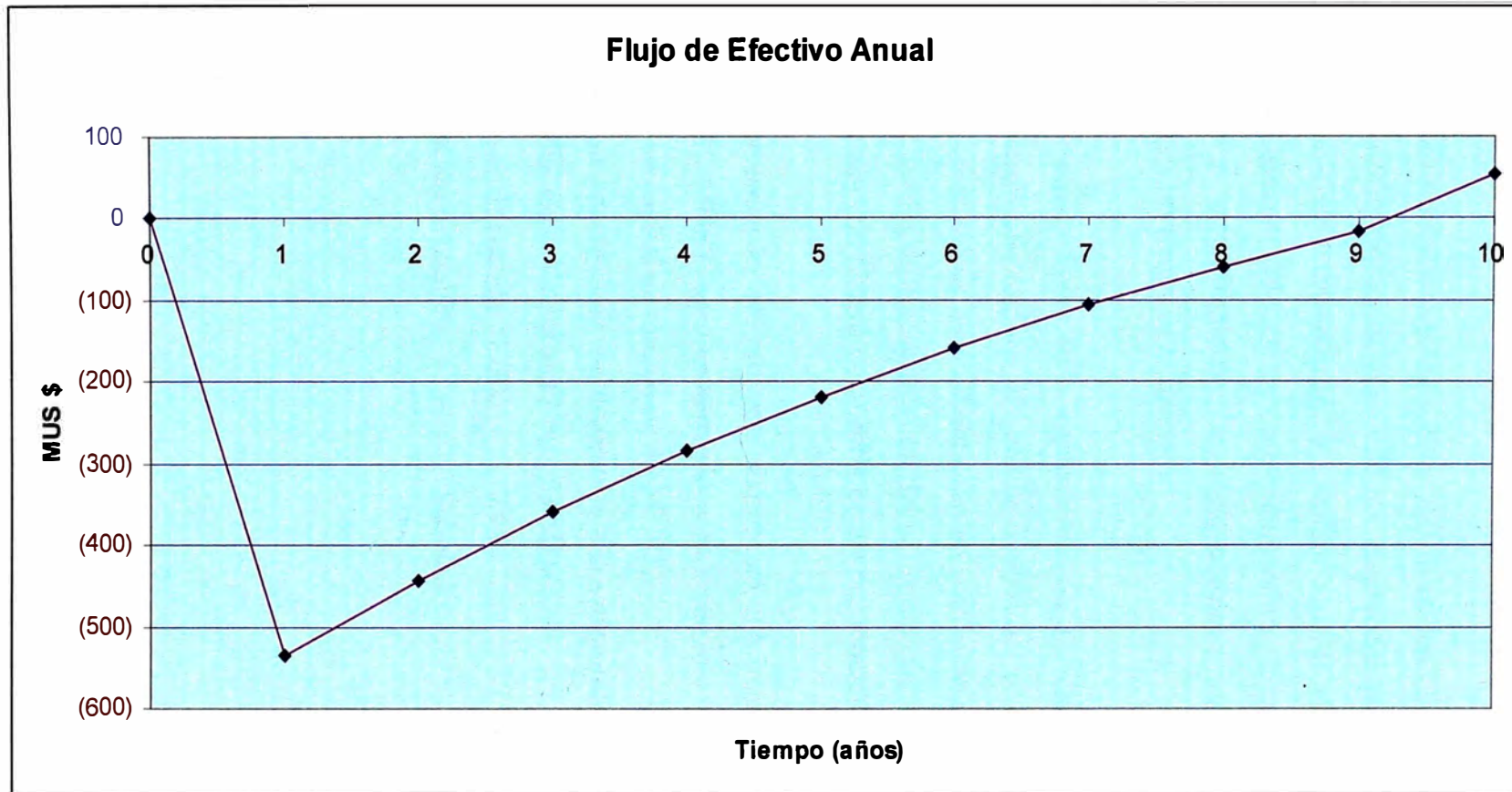
CAPITAL FIJO 488  
CAPITAL DE TRABAJO 49  
INVERSION CAPITAL TOTAL 537

<b>COSTO MANUFACTURA</b>	<b>MUSS / AÑO</b>	<b>MUSS / TM</b>
<b>GASTOS DIRECTOS</b>		
MATERIAS PRIMAS	148	0.00162
MANO OBRA OPERACIÓN	20	0.00022
SUPERVISIÓN	4	0.00004
<b>SERVICIOS</b>		
ELECTRICIDAD	127.643	0.00140
AGUA PROCESO	1.856	0.00002
AIRE PROCESO	1.856	0.00002
AIRE INSTRUMENTOS	3.713	0.00004
MANEJO DESHECHOS	150	0.00150
MANTENIMIENTO Y REPARACIONES	29	0.00003
SUMINISTROS DE OPERACIÓN	4	0.00004
CARGOS DE LABORATORIO	3	0.00003
PATENTES Y DERECHOS	22	0.00022
<b>TOTAL A<sub>DME</sub></b>	<b>515</b>	<b>0.00515</b>
<b>GASTOS INDIRECTOS</b>		
GENERALES, EMPACADO, ALMACEN	32	
IMPUESTOS LOCALES	7	
SEGUROS	22	
<b>TOTAL A<sub>INE</sub></b>	<b>42</b>	<b>0.00042</b>
<b>COSTO MANUFACTURA TOTAL A<sub>NE</sub></b>		<b>557</b>
<b>DEPRECIACIÓN A<sub>BD</sub></b>		<b>49</b>
<b>GASTOS GENERALES (OVERHEAD)</b>		
GASTOS ADMINISTRATIVOS	8	
GASTOS DE DISTRIBUCIÓN Y VENTAS	72	
INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO	36	
<b>TOTAL A<sub>GE</sub></b>	<b>116</b>	<b>116</b>
<b>GASTO TOTAL A<sub>TE</sub></b>		<b>722</b>
		<b>0.00793</b>
<b>INGRESOS Y MARGEN</b>		
	<b>MUSS / AÑO</b>	<b>MUSS / TM</b>
INGRESOS POR VENTAS	A <sub>S</sub> 819	0.00900
GANANCIA ANUAL NETA	A <sub>NP</sub> 97	0.00107
IMPUESTO A LA RENTA	A <sub>IT</sub> 29	0.00032
GANANCIA NETA DESPUES IMPUESTO	A <sub>NNP</sub> 68	0.00075

**Cuadro IV.3 – Flujo de Efectivo**

Termino del año	Inversión de Capital $A_T$	Ingreso por Ventas $A_S$	G. Totales – Depreciación $A_{TE}-A_{BD}$	Ingreso de efectivo $A_{CI}$	Depreciación $A_{BD}$	Ganancia Neta $A_{NP}$	Impuesto $A_{IT}$	Ganancia neta – Impuestos $A_{NNP}$	Flujo de efectivo ANCI	Flujo de efectivo acumulado	Factor de Descuento $i=0.12$	Flujo de efectivo descontado	Flujo de efectivo descontado acumulado
1	(600)								(600)	(600)	0.893	(535.7)	(535.7)
2		820	(673)	146	49	97	29	68	117	(483)	0.797	93.3	(442.4)
3		820	(673)	146	49	97	29	68	117	(366)	0.712	83.3	(359.1)
4		820	(673)	146	49	97	29	68	117	(249)	0.636	74.4	(284.7)
5		820	(673)	146	49	97	29	68	117	(132)	0.567	66.4	(218.3)
6		820	(673)	146	49	97	29	68	117	(15)	0.507	59.3	(159.1)
7		820	(673)	146	49	97	29	68	117	102	0.452	52.9	(106.1)
8		820	(673)	146	49	97	29	68	117	209	0.404	47.3	(58.9)
9		820	(673)	146	49	97	29	68	117	336	0.361	42.2	(16.6)
10	100	820	(673)	146	49	97	29	68	217	1138	0.322	69.9	53.2

Figura IV.3 Diagrama de Flujo de Efectivo Anual



**VPN = 53.2 MUSS, TIR = 24 %, Periodo de recupero = 9.2 años**

## V. CONCLUSIONES

- La implementación del proyecto de filtración de lodos reducirá la contaminación ambiental generada por el proceso productivo, disminuirá la presencia de incrustaciones y asentamiento de sólidos en la línea de descarga hacia el colector general, reduciendo la frecuencia de trabajos de limpieza y mantenimiento, lo cual ocasiona interrupciones en las operaciones normales de la planta.
- Otro aporte importante de la implementación del sistema de filtración, es la recuperación de fósforo, al obtener el 80% del volumen de la corriente efluente, en forma de licor filtrado con un contenido de 40 % de  $P_2O_5$ , con lo cual se consigue la disminución del consumo unitario de roca fosfórica, que representa un ahorro de materia prima por tonelada de producto.
- La implementación del proyecto significará una inversión total del orden de los 537 MUS\$, correspondiendo a la inversión fija un monto de 488 MUS\$ y un capital de trabajo de 49 MUS\$.

Los índices económicos son favorables a la sostenibilidad del Proyecto:

Valor actual neto (VAN) al 12 %: 53 MUS\$

Tasa interna de retorno (TIR) 24 %

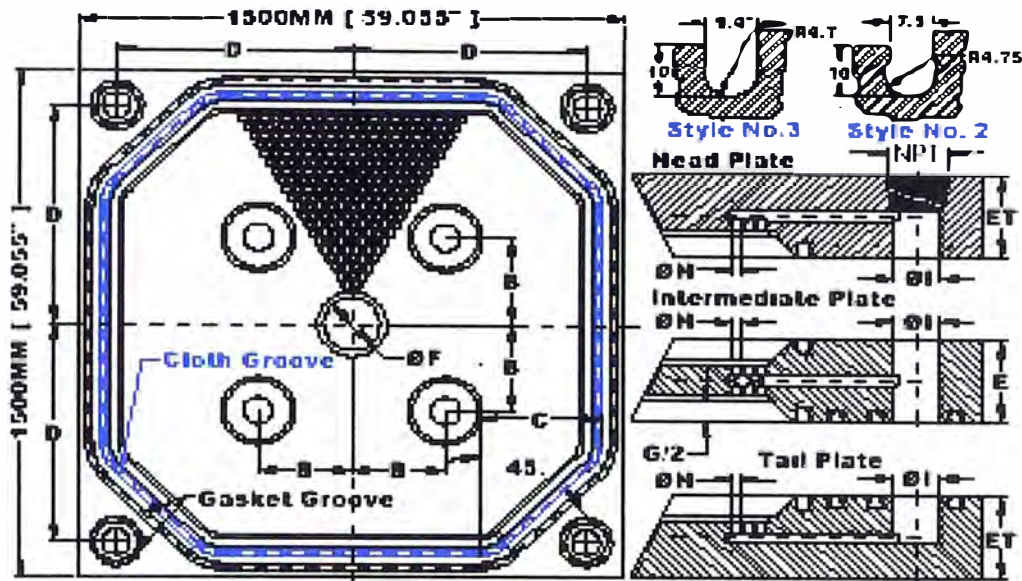
Recuperación inversión 9.2 años

## **VI. BIBLIOGRAFIA**

- CEFIC, El Fósforo, Nutriente clave en la Alimentación Animal, Mundo Ganadero, 2005, Pág. 29.
- VAN DER KLIS, J.D. y VERSTEEGH, H.A.J. (1996) En: Recent Advances in Animal Nutrition. Eds. P.C. Garnsworthy, J. Wiseman Press, Reino Unido. Pág: 71.
- Chesson A; Recent Advances in Animal Nutrition; Eds. Haresign, W. Haresign y D.J.A. Cole. Butterworths, London. Pág. 89.
- Turton R; Bailie R; Whiting W; Shaeiwitz J, Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes, Prentice Hall; Pág. 39.
- Ulrich G, Diseño y Economía de los Procesos de Ingeniería Química, Mc Graw Hill; Pág. 297.

VII. APÉNDICE.

CATÁLOGO DE LENSER NO. 4.3108.0082.0



Polypropylene molded chamber filter element with piped filtration area, Pip height 4 mm, pip diameter 8 mm, Approx. 68 % open filtration area, Operating pressure 16 bar, Various materials: please see type key Main Dimensions acc.  
 Aluminium 6061-T6 machine to chamber filter element with ribs filtration area, Ribs height 4 mm, Approx. 68 % open filtration area, Operating pressure 16 bar, Various materials: please see type key Main Dimensions acc.

V= Volume Area (Cu.Ft) M= Plate Weight A= Filtration Area (SQ.Ft)

Dimensions MM

Cake	Bossed	Pad	Holes	Plate End	Hole	Plate	Porting	Dia	Weight	Area	Area	
G/2	B	C	D	E	ET	F	NPT	H	I	M	A	V
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	In	mm	mm	Kg	Ft <sup>2</sup>	Ft <sup>3</sup>
15	228.0	158.0	650-665	45	54	76.2-152.4	2.00-3.00	8.0	51-76	72.6	40.440	0.978
20	228.0	163.0	650-665	50	57	76.2-152.4	2.00-3.00	8.0	51-76	74.8	40.505	1.301
25	228.0	168.0	650-665	55	59	76.2-152.4	2.00-3.00	8.0	51-76	77.1	40.591	1.622
30	228.0	172.0	650-665	60	61	76.2-152.4	2.00-3.00	8.0	51-76	79.4	40.677	1.942
32	228.0	174.0	650-665	62	62	76.2-152.4	2.00-3.00	8.0	51-76	80.3	40.709	2.069
40	228.0	180.0	650-665	68	65	76.2-152.4	2.00-3.00	8.0	51-76	82.5	40.795	2.448

Modelo	Tamaño (mm)	Volumen (l)	Area (m <sup>2</sup> )	Espesor de torta (mm)
FP 120/30	1500	68.23	2.1375	40



# Figura III.4 Diagrama de Procesos de la Planta Fosbic

