

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y
METALURGICA**



**PRUEBAS EXPERIMENTALES A NIVEL DE ESTUDIO DE
PRE-FACTIBILIDAD DE BENEFICIO DE ROCA FOSFORICA
DE BAYOVAR**

TESIS

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO METALURGISTA**

ELABORADO POR:

REINALDO LEMBI CASTROMONTE

ASESOR

ING. EDGAR FORTUNATO SEGURA TUMIALAN

**LIMA - PERU
2012**

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a los Ingenieros Edwilde Yoplac Castromonte, Alberto Landauro Abanto, Julio Uza Teruya, Edgar Segura Tumialan, Dra. Orfelinda Avalo Cortez, por su asesoramiento y aportes en el desarrollo de la presente Tesis.

A todos mis profesores que con sus conocimientos y ejemplo, por brindarme la oportunidad de evidenciar los aportes de investigación metalúrgica

DEDICATORIA

En memoria a mi esposa Irma Luz Coterá Cerrón, mis hijas Diana Carolina, Ivette Romina y Claudia Ivanna, por acompañarme fervientemente en los proyectos que juntos trazamos, así como en el logro de las metas y objetivos que planeamos y alcanzamos.

A mi madre Rosa por su ejemplo de lucha incansable y hermanos Edwilde, Alberto y Maritza, que siempre me acompañan en los proyectos de mi vida.

RESUMEN

El mineral de fosfato en estudio tiene las siguientes leyes, 21.93 de P_2O_5 .

De acuerdo a las pruebas iniciales de lavado, atrición y clasificación es factible llegar a obtener un producto de fosfato de 25.47 % P_2O_5 , con un contenido de insolubles de 9.42 %; se llega a una recuperación total de 88.63% P_2O_5 para un tiempo de atrición de 40 min.

Como podemos observar, las leyes de fosfatos no se llegan a concentrar para lograr los objetivos en esta etapa de lavado y clasificación debido a los contenidos de Sílice y calizas, así como también elementos contaminantes.

En función de las pruebas realizadas, se llega a la conclusión que para obtener un concentrado de fosfato de buena calidad es necesario continuar con pruebas de flotación tanto aniónicas como catiónicas y así lograr alcanzar las leyes comerciales que son el objetivo de este estudio.

Las pruebas de flotación aniónicas se efectuaron inicialmente orientadas a la selección de un reactivo adecuado (pruebas de selección del reactivo) y luego con los 2 mejores resultados se tomaron en cuenta para la dosificación y los tiempos de flotación.

Posteriormente, se continuó con la flotación inversa Catiónica para limpiar de sílice los fosfatos.

Finalmente se presenta un resumen total como se llega a la calidad de concentrado de fosfato con el proceso de flotación incluido:

De acuerdo a los resultados óptimos, es factible llegar a obtener un concentrado de fosfatos de **30.61% P_2O_5** e insoluble con una ley de 3.09%, con una recuperación total de **78.94%** y una relación de concentración total de 1.55.

Índice de Figuras

	Pagina
Figura N°1.1 Mineral de Roca Fosfórica	13
Figura N°1.2 Concentrado de Roca Fosfórica	14
Figura N°1.3 Ubicación del Proyecto Fosfatos	17
Figura N°1.4 Mapa de Ubicación de Concesiones y de los pozos de perforación.	18
Figura N°1.5 El Ciclo del Fosforo	19
Figura N°2.1 Análisis Granulométrico Valorado de Roca Fosfórica.	32
Figura N°3.1 Lavado en Tambor y Clasificación.	35
Figura N°4.1 Atrición y Clasificación Secundaria Variando %Sólidos.	38
Figura N°4.2 Atrición en Celda y Clasificación Secundaria Variando el Tiempo.	39
Figura N°5.1 Diagrama de flujo del proceso de Flotación	48
Figura N°6.1 Diagrama de Flujo de Pruebas con Hidrociclón	51
Figura N°7.1 Diagrama de Flujo Tentativo del Proceso de Concentración de Fosfato	59
Figura N°7.2 Diagrama de Balance de Materia de los Procesos	63

INDICE

	Pagina
RESUMEN	3
INDICE	4
INDICE DE CUADROS	6
INDICES DE FIGURAS	9
INTRODUCCIÓN	10
Antecedentes	10
Alcances de la Investigación	10
Objetivo	11
Justificación	11
CAPITULO I	
1. ASPECTOS GENERALES	12
1.1 La roca fosfórica	12
1.2 El mercado de fosfatos	14
1.3 Demanda de fertilizantes	15
1.4 El proyecto fosfatos de Bayóvar	15
1.5 Tipos de fosfatos y su origen	18
1.5.1 Minerales y rocas	19
1.5.2 Transformación de las rocas fosfóricas	22
1.5.3 Fosfatos grado alimenticio	23
1.6 Fundamento Teórico de la flotación de minerales no metálico	26
1.6.1 Generalidades	26
1.6.2 Flotación de Fosfatos	26
1.6.3 Reactivos de flotación de Fosfatos	27
1.6.3.1 Colectores Aniónicos Carboxílicos	27
1.6.3.2 Colectores Catiónico (aminas)	27
CAPITULO II	
2. CARACTERIZACIÓN DEL MINERAL DE FOSFATO	29
2.1 Determinación de la cabeza experimental y análisis de multi- elementos ICP	29

2.2 Cuadros comparativos con otros minerales de fosfato	31
2.3 Análisis granulométrico valorado del mineral de cabeza	31
2.4 Densidad del mineral de fosfato	32
CAPITULO III	
3. ETAPA DE LAVADO Y CLASIFICACION	33
3.1 Evaluación de tiempo de lavado en tambor	33
3.2 Clasificación con mallas Tyler <-10m, +200m>	33
3.3 Evaluación de los resultados obtenidos	34
CAPITULO IV	
4. ETAPA DE ATRICION Y CLASIFICACION	36
4.1 Evaluación del porcentaje de sólidos en la atrición y clasificación con mallas Tyler <-20m, +200m>	36
4.2 Evaluación de tiempo de atrición y clasificación con mallas Tyler <-20m, +200m>	37
4.3 Evaluación de los resultados obtenidos	39
CAPITULO V	
5. PRUEBAS DE FLOTACIÓN	41
5.1 Elección de reactivos Aniónicos y Catiónico	42
5.1.1 Flotación Aniónica	42
5.1.1.1 Adición de Reactivos Colectores Aniónicos	43
5.1.1.2 Variación de la dosificación del colector	43
5.1.1.3 Variación de tiempos de flotación	43
5.1.2 Flotación Catiónica (insolubles)	43
5.1.2.1 Variación de la adición de Colectores Catiónicos	43
5.1.2.2 Variación de la dosificación del colector Flotigan 2835 y MT-302 R30	44
5.2 Evaluación de los resultados de Flotación	44
CAPITULO VI	
6. PRUEBAS DE VERIFICACION EN EL LABORATORIO	49
6.1 Producción de concentrados de fosfatos por clasificación y atricionado	

usando el hidrociclón	49
6.2 Producción de concentrados de fosfatos por lavado, atrición y flotación Aniónica y Catiónica	50
6.3 Discusión de Resultados en Función del Fundamento Teórico de la Flotación de minerales no metálico	55
CAPITULO VII	
7. INGENIERIA DE DISEÑO Y ANALISIS ECONOMICO DEL PROYECTO DE UNA PLANTA DE FOSFATOS	56
7.1 Parámetros considerados para el diseño	56
7.2 Diagrama de Flujo tentativo	58
7.3 Balance de materiales en las operaciones	60
7.4 Selección del equipo adecuado	60
7.5 Consideraciones de demanda y tamaño de la Planta	61
7.6 Estimación de la Inversión	61
7.7 Costos de producción	61
7.8 Valorización de los concentrados	61
7.9 Evaluación del proyecto	62
CONCLUSIONES	64
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	65
ANEXOS	
Nº 1 Diagrama de Flujo de la Propuesta	
Nº 2 Análisis granulométrico valorado de los fosfatos	
Nº 3 Pruebas de Lavado y Clasificación	
Nº 4 Pruebas de atrición y clasificación variando porcentaje de Sólidos	
Nº 5 Pruebas de atrición y clasificación variando el tiempo	
Nº 6 Pruebas de Flotación	
Nº7 Equipos y Costos del Proceso	

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Los fosfatos que se explotan y benefician con un ritmo anual de más de 170 millones de toneladas, son uno de los más importantes minerales no metálicos concentrados por flotación. Su importancia se debe a que son indispensables para la vida de los vegetales y animales, siendo en consecuencia importantísimos fertilizantes.

El ingrediente activo de los fosfatos es la apatita ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), que puede estar acompañada por varios otros componentes, tales como la fluorapatita ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_3\text{F}$), cloroapatita ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$), e hidroxiapatita ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_3\text{OH}$).

Los fertilizantes que se usan en forma directa deben tener un mínimo de 30,0% de P_2O_5 . Antiguamente se explotaban solo los minerales de alta ley, dejando a un lado los más pobres. Actualmente se explotan yacimientos que tienen entre 5 y 30% de P_2O_5 y se concentran los minerales hasta llegar a la ley necesaria por métodos gravimétricos y por flotación.

Alcances de la Investigación

Dentro de los alcances de esta investigación está, el lograr el mínimo de operaciones de la roca fosfórica para llegar a obtener un concentrado de fosfato de grado comercial como son:

- Lavado en tambor y clasificación
- Atrición y clasificación
- Flotación directa e inversa.

Objetivo

Se tiene como objetivo, lograr concentrar un mineral de roca fosfórica de leyes medianas a bajas, mediante lavado, deslamado, atrición, clasificación y finalmente aplicando las técnicas metalúrgicas de flotación de no-metálicos de fosfatos.

Justificación

Se consideran como minerales no metálicos aquellos que no sirven directamente para la obtención de metales. Son principales materias primas para las industrias química, cerámica, de la construcción, del vidrio, de abrasivos, de combustibles, de fertilizantes, de minerales radioactivos, de piedras preciosas, de pinturas minerales, etc. Hablando estrictamente, hasta las aguas industriales se pueden considerar como minerales no metálicos.

Los minerales no metálicos tienen características específicas que las distinguen metalúrgicamente de los metálicos. Son generalmente de menor flotabilidad que los sulfuros y metales nativos. Con excepción del azufre, talco y grafito que tienen gran flotabilidad natural debido a su estructura apolar, los otros minerales no metálicos son más polarizados que los sulfuros y en consecuencia, más hidrofílicos. Esta es la razón por la cual los colectores se adsorben sobre ellos con menor afinidad que sobre los sulfuros y por qué se desorben con relativa facilidad. Se pensó que mientras en el caso de los sulfuros existía una quimisorción, en el de los minerales no metálicos generalmente había solo adsorción física de los colectores. Sin embargo esta suposición no tiene validez general porque los minerales no metálicos se pueden flotar tanto con colectores catiónicos como con aniónicos y con los primeros (ácidos grasos, jabones, colectores carboxílicos) las reacciones son aparentemente del mismo orden que entre estos colectores y los sulfuros. En el caso de los colectores catiónicos (aminas) puede realmente tratarse de adsorciones físicas.

La facilidad con que se adsorben y desorben los colectores sobre las superficies de los minerales no metálicos, los hace sensibles a los cambios físico-químicos en la pulpa. Su pH, como lo observó Gaudin, es de mucho más importancia que en el caso de minerales metálicos. Además, las flotaciones son extremadamente sensibles a la presencia de ciertos iones y lamas en la pulpa, tiempo de acondicionamiento, manera de agregar los reactivos, etc. En resumen, la flotación de estos minerales requiere un preciso control de las condiciones en que se realiza.

CAPITULO I

1. ASPECTOS GENERALES

1.1 La roca fosfórica

La International Fertilizer Association (IFA) asegura que la mayoría de plantas requiere de 16 nutrientes esenciales para garantizar un adecuado crecimiento y desarrollo. Asimismo, cada nutriente cumple un rol específico en el crecimiento de las plantas y el rendimiento de los suelos. Por otro lado, cada suelo reúne características únicas debido a la influencia de diversas condiciones climáticas alrededor del mundo. Por consiguiente, en muy pocas ocasiones se encuentran presentes todos los nutrientes esenciales en un suelo y es por eso que se requiere el uso de fertilizantes que contengan nitrógeno, fósforo y potasio para corregir las deficiencias.

El fósforo es un macro nutriente vital en la transferencia de energía, la fotosíntesis y la división de células. Asimismo, su aporte es esencial para el crecimiento de las plantas ya que promueve tanto el desarrollo de la raíz como la resistencia a las sequías. La gran mayoría de suelos naturales y agrícolas son deficientes en fósforo y, por lo tanto, requieren de la aplicación de fertilizantes que contengan dicho elemento al menos una vez al año.

La roca fosfórica (**ver figura N°1.1**), es la principal fuente de fósforo, el cual aparece en forma de Pentóxido de Fósforo (P_2O_5). La composición química y física de una roca fosfórica es definida por la formación geológica del yacimiento, las condiciones climáticas a las que ha sido expuesto el mineral, los contaminantes del suelo, entre otras variables. Asimismo, esta composición

determina la calidad de la roca y la aceptación de la misma en el mercado internacional.

Si bien las reservas globales de roca fosfórica son amplias, su explotación no siempre resulta económicamente viable. En la actualidad, resulta difícil encontrar grandes yacimientos de roca fosfórica de alta ley con infraestructura disponible y de fácil acceso, aún sin explotar.

Históricamente la roca fosfórica de Bayóvar ha sido mundialmente conocida por su buen contenido de P_2O_5 , su alta solubilidad y su bajo nivel de impurezas. Esto la posiciona como una roca fácilmente comercializable en el mercado internacional. Adicionalmente, la roca fosfórica de Bayóvar no es muy dura, lo cual facilita su extracción y, debido a su reactividad, permite mejorar las recuperaciones en la planta. Por último, esta roca no sólo cumple con los exigentes estándares de calidad de los productores de ácido fosfórico sino que también posee propiedades únicas que le permiten ser aplicada directamente como fertilizante en suelos ácidos.

Las pruebas realizadas en los laboratorios de FL Smith, China Bluestar, CIMM Perú y Tecsup demuestran la calidad mencionada. En consecuencia, el concentrado de roca fosfórica de Bayóvar es un producto de alta calidad que puede ser ofrecido a todas las industrias que la consumen, (**ver figura N°1.2**).



Figura N°1.1 Mineral de Roca Fosfórica



Figura N°1.2 Concentrado de Roca Fosfórica

1.2 Mercado de fosfatos

La industria de fertilizantes consume en promedio el 80% de la producción global de roca fosfórica. Asimismo, dentro de esta industria, la mayor parte se utiliza como insumo en la fabricación de ácido fosfórico y otra gran parte se destina a la fabricación de Superfosfato Simple (SSP), Nitrofosfatos, Superfosfato Triple (TSP) y al tratamiento de tierras ácidas (fertilizante de aplicación directa). En consecuencia, la demanda de roca fosfórica depende en gran medida de los factores que afectan la demanda de los fertilizantes de fosfatos.

La demanda mundial actual de roca fosfórica es de aproximadamente 170 millones de toneladas por año y los principales consumidores son China, Estados Unidos, Marruecos, Rusia, Brasil e India. En el corto plazo, se espera que para el año 2012 dicha demanda sea de 191,5 millones de toneladas por año. Asimismo, las proyecciones indican que esta tendencia se mantendrá y que, para el año 2017, la demanda mundial de roca fosfórica se incrementará a 216,1 millones de toneladas por año.

Como se puede apreciar, la demanda de roca fosfórica continuará incrementándose año tras año con lo cual será necesario encontrar nuevas fuentes de roca fosfórica. Sin embargo, las reservas mundiales son finitas y, como se mencionó anteriormente, cada vez resulta más difícil encontrar depósitos de roca de alta calidad y con condiciones logísticas favorables. En

consecuencia y dado que no existe un sustituto competitivo para la roca fosfórica en la producción de fertilizantes, el mercado sentirá la presión de la creciente demanda, lo que probablemente resultará en un incremento en el precio internacional de la roca fosfórica.

1.3 Demanda de fertilizantes

La población mundial se incrementa cada año en 75 millones de personas. Para el año 2020 la totalidad de agricultores del mundo tendrá que abastecer a 7,6 billones de personas, lo que requerirá un incremento en la producción agrícola de alrededor del 20%. Asimismo, el consumo de alimentos de mayor calidad, más saludables y ricos en proteínas, continúa incrementándose año tras año debido a que millones de personas, principalmente en los países en desarrollo, tienen un poder adquisitivo cada vez mayor.

Por otro lado, la cantidad de tierras agrícolas disponibles está disminuyendo rápidamente debido al crecimiento poblacional y a la expansión de las ciudades. Con una cantidad limitada de tierras disponibles, el sector agrícola deberá hacer frente al incremento en la demanda de alimentos mediante un incremento en la productividad de las tierras y un aumento de las cosechas por hectárea.

Los nutrientes necesarios para incrementar la productividad de las tierras serán un factor cada vez más importante en la solución del problema, lo cual hace que las perspectivas futuras de la industria de fertilizantes de fosfato sean positivas y que los factores que soportan dicho crecimiento prevalezcan. En resumen, el mundo necesita encontrar una manera sostenible de producir más alimentos para más personas en menos tierras. El mundo necesita más fertilizantes.

1.4 El Proyecto Fosfatos de Bayóvar

El Proyecto Bayóvar nace a partir de la adjudicación de manera indefinida de la concesión de Diatomitas Bayóvar N°9 a favor de Cementos Pacasmayo S.A.A. el 29 de agosto del año 2007 en el Concurso Público Internacional N° PRI-89-2007 para la promoción de la inversión privada en las concesiones

remanentes del Proyecto Bayóvar. Dicha concesión se encuentra ubicada en el distrito y provincia de Sechura, departamento de Piura (**ver figura 1.3**), aproximadamente a 1,000 Km. al norte de la capital de Lima, a 110 Km. al sur de Piura y a 30 Km del Océano Pacífico. En el 2009 se completó un programa de perforación de 90 calicatas y 172 pozos perforándose en total 15,378 metros en Bayóvar N°9 determinando así la presencia de roca fosfórica (**ver figura N°1.4**).

El 01 de Setiembre de 2009 se constituyó Fosfatos del Pacífico S.A., a través de un proceso de reorganización simple entre Cementos Pacasmayo S.A.A. y Cementos Selva S.A. mediante el cual Cementos Pacasmayo S.A.A., segregando sus activos tangibles e intangibles relacionados al negocio de Fosfatos, constituye conjuntamente con Cementos Selva S.A. la nueva compañía. En tal sentido, desde el 01 de Setiembre de 2009 Fosfatos del Pacífico S.A. – FOSPAC – es la subsidiaria del Grupo IPSA que se dedicará a la explotación y comercialización de los recursos de Roca Fosfórica de la Concesión Bayóvar N°9. Cabe señalar, que mediante el mencionado proceso de reorganización simple Cementos Pacasmayo S.A.A. cedió en favor de Fosfatos del Pacífico S.A. sus derechos y obligaciones relativas a la Concesión Minera Bayóvar N°9 así como sus derechos y obligaciones derivadas del Contrato de Superficie Usufructo y Servidumbre sobre los terrenos superficiales a dicha Concesión, los mismos que fueron adquiridos mediante la suscripción del correspondiente Convenio con la Fundación Comunal San Martín de Sechura, propietaria de tales tierras superficiales. Por último, el 13 de Noviembre de 2009, se listaron las acciones de Fosfatos del Pacífico S.A. (FOSPACC1) en la Bolsa de Valores de Lima.

Con la finalidad de determinar los recursos de la Concesión Bayóvar N°9, se contrató a la empresa Mintec, la cual, utilizando el reconocido software Minesight, determinó una magnitud de **recurso de 625 millones de toneladas de roca fosfórica con 18.1% de P₂O₅**. Asimismo, se realizaron análisis de laboratorio con las empresas FL Smith, China Bluestar, CIMM Perú y Tecsup, en los cuales se determinó que es posible obtener una concentración de 30.6% de P₂O₅ y una recuperación aproximada del 75% de manera consistente.

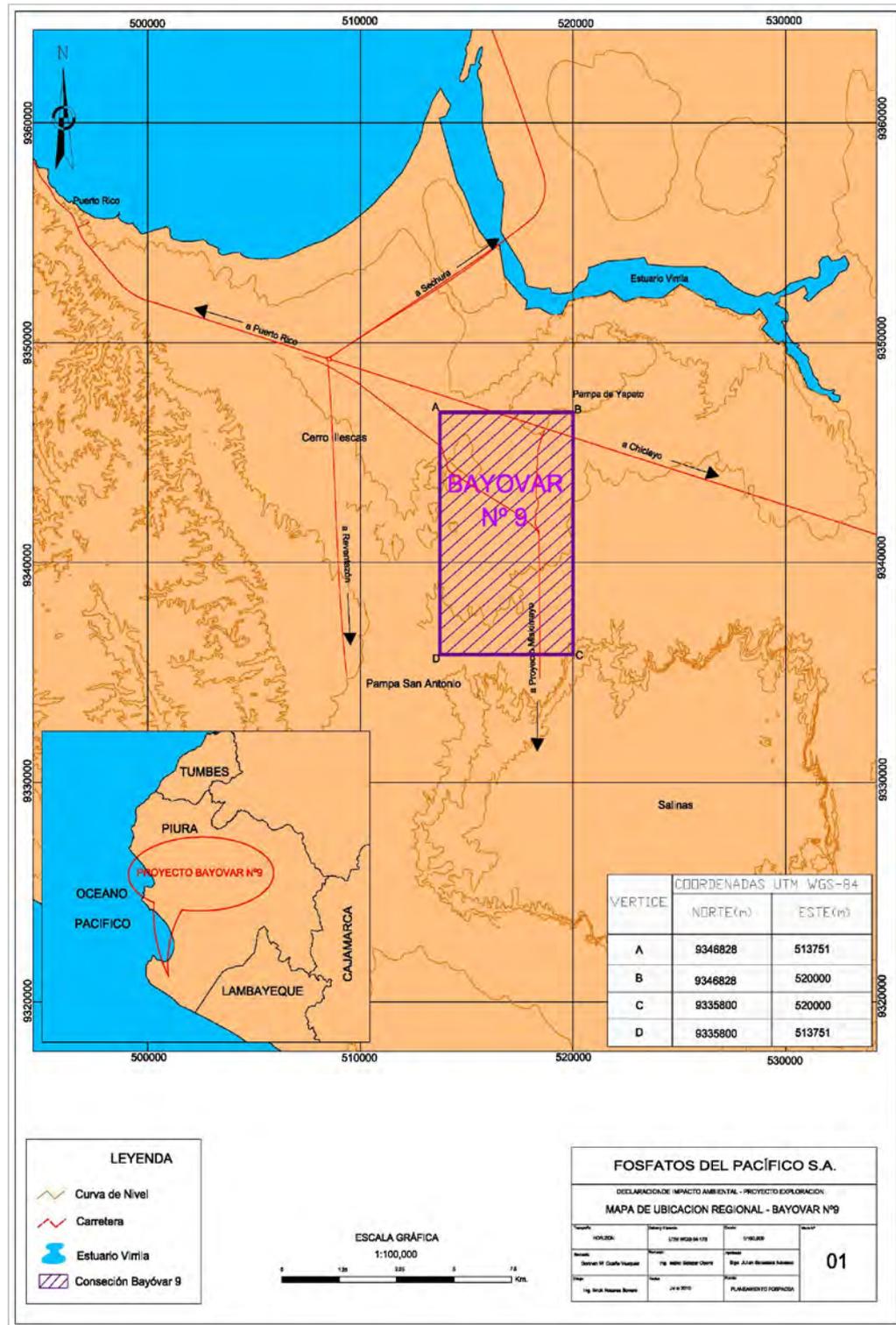


Figura N°1.3 Ubicación del Proyecto Fosfatos

El proceso de beneficio seleccionado para concentrar la roca fosfórica consiste principalmente en restregar, atriconar, flotar, y filtrar el mineral.

Debido a las características del yacimiento así como su ubicación, el proyecto Fosfatos de Bayóvar representa una oportunidad única para la explotación y comercialización de roca fosfórica de alta calidad, convirtiéndose así en una importante y competitiva fuente del recurso para los mercados ubicados en la Cuenca del Pacífico.

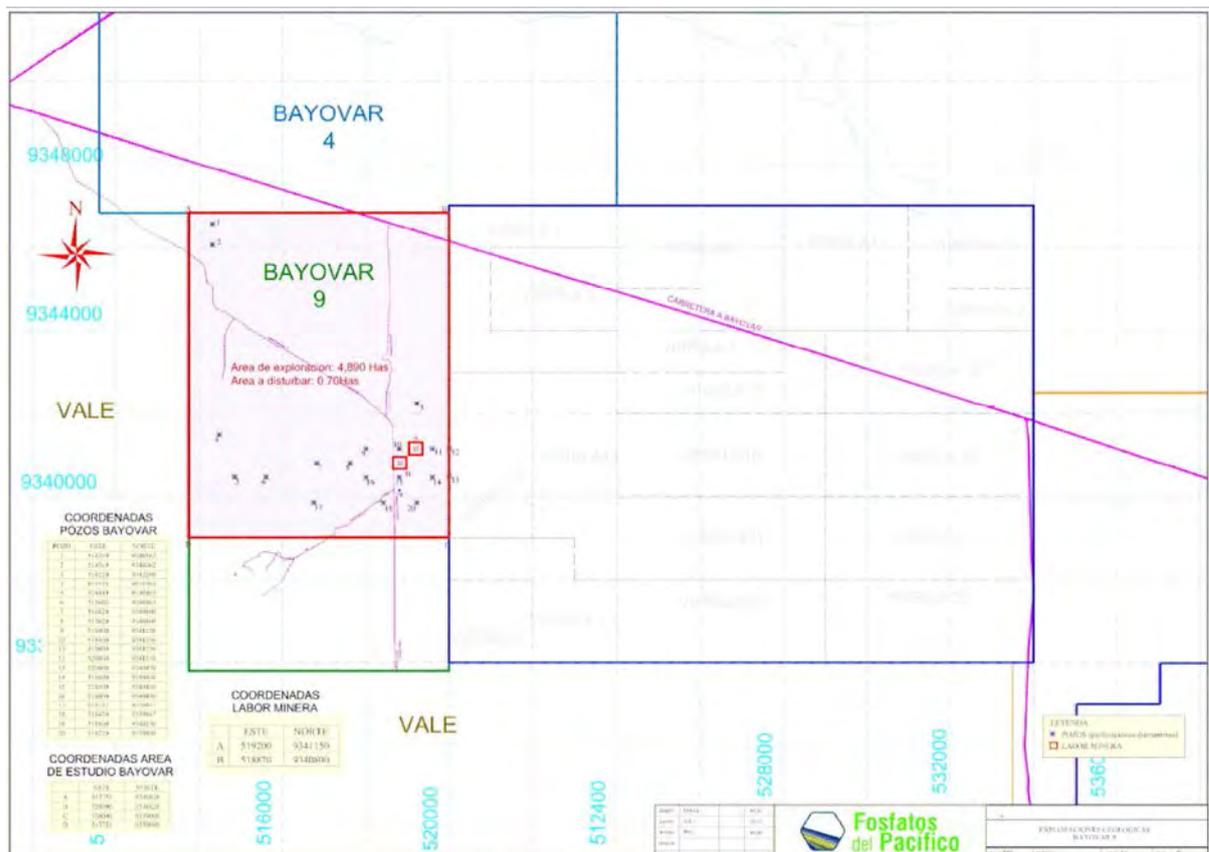


Figura N°1.4 Mapa de Ubicación de Concesiones y de los pozos de perforación.

1.5 Tipos de fosfatos y su origen

El fósforo, generalmente en forma de fosfatos, es un elemento ampliamente utilizado en el sector agropecuario como fertilizante (**ver figura N°1.5**) y como suplemento mineral en la nutrición de los animales. La mayoría del fósforo utilizado proviene de minerales fosfatados, principalmente rocas. Estas rocas tienen un uso limitado como suplemento mineral para animales debido a su escasa solubilidad y como fertilizante debido a la disponibilidad relativamente lenta para el crecimiento de la planta. Se hace necesaria la transformación química de estos materiales para obtener otros que tengan mayor solubilidad y disponibilidad. Dicha transformación se realiza tratando la roca fosfórica

Tabla N°1.1. Minerales de fosfatos naturales comunes

Amblygonita	$\text{Li,Na)AlPO}_4(\text{F,OH})$
Apatitas	
- Carbonato-apatita	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{CO}_3\text{H}_2\text{O}$
- Cloroapatita	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$
- Fluorapatita	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$
- Hidroxiapatita	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$
Autunita	$\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 10\text{-}12\text{H}_2\text{O}$
Brusita	$\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Lazulita	$\text{MgAl}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2$
Monazita	$(\text{Ce,Lu})\text{PO}_4$
Piromorfita	$\text{Pb}(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$
Torbernita	$\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{-}12\text{H}_2\text{O}$
Turquesa	$\text{CuAl}_6(\text{Pb}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Rocas fosfóricas: Los fosfatos que se explotan comercialmente son los que más abundan en la naturaleza como es el caso de las apatitas, incluyendo fluorapatita, cloroapatita e hidroxiapatita. Hay grandes depósitos en Rusia, Estados Unidos, África del Norte y China.

Existen dos tipos de depósitos, los de origen volcánico, como los de Rusia en la Península de Kola, y los depósitos de origen sedimentario, como los de África del Norte. En la **Tabla N°1.2** se presenta la producción minera y las reservas probadas de roca fosfórica en el mundo. También existen importantes reservas en Brasil, Perú, México, En Venezuela existen depósitos importantes en la región suroeste, conformada por el estado Táchira, la Municipalidad de Páez en Apure y Ezequiel Zamora de Barinas.

En los depósitos ígneos el fósforo está presente como apatitas con muy bien formados cristales y con bajo grado de sustitución

En los depósitos sedimentarios, el fósforo se encuentra como apatitas con un grado mucho mayor de sustitución y menor grado de cristalización, características que hacen más fácil el procesamiento industrial. Este tipo de fosfatos se conoce como fosforitas. La mayoría de la producción mundial (80%) y de las reservas de roca fosfórica (70%) son de origen sedimentario.

Tabla N°1.2. Producción minera y reservas probadas de roca fosfórica en el mundo 1991

País	Producción Mundial TM	%	Reservas probadas TM	%
África Marruecos y Sahara Occ	22.000.000	13.8	21.440.000.000	63.5
Senegal	2.200.000	1.4	160.000.000	0.5
Sur África	3.200.000	2.0	2.530.000.000	7.5
Togo	2.300.000	1.4	60.000.000	0-2
Túnez	6.600.000	4.1	270.000.000	0.8
Norte y Sur América E.U.A.	47.000.000	29.4	4.440.000.000	3.1
Asia				
China	18.000.000	11.3	210.000.000	0.7
Israel	3.500.000	2.2	10.000.000	0.1
Jordania	6.000.000	3.8	480.000.000	1.4
Otros	49.000.000	30.7	4.190.000	12.4

La composición general de la roca fosfórica se muestra en la **Tabla N°1.3**

Tabla N°1.3. Análisis químico de una roca fosfórica de buena calidad

Fosfato (como P ₂ O ₅)	30%
Calcio (como CaO)	48%
Residuo insoluble en ácido	2%
Hierro (como Fe ₂ O ₃)	0.6%
Aluminio (como Al ₂ O ₃)	0.6%
Fluoruro (como F)	3%
Magnesio (como MgO)	0.6%
Carbono - total (como C)	3%
Carbono - CO ₃ (como C)	1%
Sodio (como Na ₂ O)	1%
Azufre - total (como S)	1%
Azufre - sulfuro (como S)	200 ppm
Cloruro (como Cl)	50ppm

Más del 80% de la producción mundial de roca fosfórica se usa en la producción de fertilizantes, mientras que el 10% se usa en la producción de fosfatos de grado alimenticio. Tanto la industria de fertilizantes como la de alimentos usan la roca fosfórica o derivados de ésta (Ej. H₃PO₄) como materia prima para producir materiales con una disponibilidad mayor, tanto para las plantas como para los animales.

1.5.2 Transformación de las rocas fosfóricas

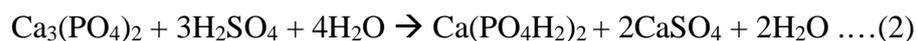
Como ya se señaló anteriormente la roca fosfórica se encuentra principalmente en depósitos de origen sedimentario. Esta roca consiste principalmente de fosfato tricálcico insoluble además de otros materiales presentes, incluyendo el flúor. Para ser usada como fertilizante o como alimento animal, esta roca necesita ser transformada para hacerla soluble en agua, aunque sea solamente un poco.

Fertilizantes: Los fertilizantes representan a la industria química uno de los productos con uno de los más grandes mercados. La industria de fertilizantes es una gran industria en los países desarrollados, y es muy importante que se consolide también en los países en vías de desarrollo. Como ya se apuntó anteriormente, más del 80% de la producción mundial de roca fosfórica se usa en la producción de fertilizantes.

El ácido fosfórico (H_3PO_4) tiene tres átomos de hidrógeno que pueden ser substituidos por un metal. Este ácido se forma según la siguiente ecuación:

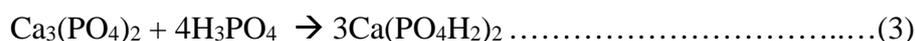


En el fosfato tricálcico todos los hidrógenos han sido substituidos por el calcio. Esta sal debe ser convertida a una forma más soluble, como lo es el fosfato mono cálcico, en el cual un sólo átomo de hidrógeno es substituido por el calcio. Esta conversión se realiza usando ácido sulfúrico, el cual convierte a la roca fosfórica en superfosfato, según la siguiente reacción química simplificada.



Esta operación requiere grandes cantidades de ácido sulfúrico, resultando entonces un producto conocido como superfosfato, con un peso mucho mayor que la roca fosfórica original. Además, el superfosfato también contiene un peso muerto debido al sulfato de calcio formado como producto secundario en el proceso de

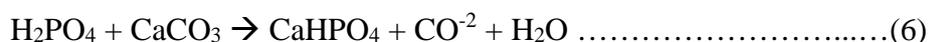
manufactura. Esta cantidad de sulfato de calcio puede ser reducida, reemplazando el ácido sulfúrico por ácido fosfórico, resultando entonces en la formación del superfosfato triple, en el cual el calcio original aparece ahora como mono fosfato de calcio, según la siguiente simple reacción,



En lugar de usar ácido sulfúrico o ácido fosfórico para tratar la roca fosfórica también se puede usar ácido nítrico. El resultado es la formación de nitrato de calcio (fuente de nitrógeno para las plantas) en lugar de sulfato de calcio. Esto es, se obtendría una mezcla fertilizante. Otra posibilidad para obtener mezclas de fertilizante, es neutralizar el ácido fosfórico producido con Hidróxido de amonio, obteniéndose en este caso fosfato de amonio. Mejoras constantes en los procesos de producción de fertilizantes se realizan a menudo.

1.5.3 Fosfatos grado alimenticio

Esta industria no es tan importante como la anterior. Solamente el 10% de la producción mundial de roca fosfórica se usa en la producción de fosfatos alimenticios. El método más usado en la obtención de este tipo de fosfatos está basado en una reacción química elemental. El punto de partida es el ácido fosfórico puro obtenido de la roca fosfórica. El ácido fosfórico se hace reaccionar con otros materiales, cuya especificidad depende del tipo de fosfato a producir. Así por ejemplo, haciendo reaccionar el ácido fosfórico con carbonato de calcio, se obtendrían fosfatos de calcio, mono cálcico o di cálcico, como se indica:



Dependiendo del control que se tenga sobre el proceso de manufactura. De la misma manera, otros tipos de fosfatos, como fosfatos de sodio y

fosfato de magnesio, se pueden obtener, dependiendo del correspondiente material reaccionante utilizado. Por ejemplo,



En todo caso, los fosfatos resultantes de estos procesos se aíslan por cristalización, evaporación o filtración.

Los polifosfatos se producen por reacciones de condensación, generalmente a temperaturas altas, de los fosfatos ácidos (i.e. mono y dihidrofosfato). El tratamiento utilizado depende del producto final y del ente manufacturero. En la **Tabla N°1.4** se presenta la fórmula de los compuestos fosfatados más comunes.

Debido a la naturaleza química diferente de la fuente de fosfato y a los diferentes procesos de manufactura, se obtienen fosfatos alimenticios con diferentes características. Una de las características importantes es la disponibilidad del fosfato, la cual depende de factores tales como tamaño de la partícula y el grado de cristalización, características estas dadas por la estructura química del fosfato. Otros factores influyentes son la concentración de otros elementos y el pH. Para obtener una disponibilidad consistente, se requiere de estrictos controles de calidad en el proceso de manufactura, para evitar la formación de formas de fosfato no disponibles. También se hace necesario controlar las impurezas que generalmente se encuentran presentes en la roca fosfórica, tales como flúor, cadmio y arsénico, y que pueden contaminar el producto final. En Europa Occidental, estas impurezas están limitadas a 0.2% de flúor, 10 ppm de arsénico y 30 ppm de plomo, 0.1 ppm de mercurio, y por cada unidad de % de P, un máximo de 0.5 ppm de cadmio.

Tratamientos químicos similares a los anteriores se pueden realizar introduciendo energía calorífica a la reacción con el objeto de que se desprenda el flúor contenido en la roca fosfórica como ácido

fluorhídrico, obteniéndose un producto conocido como fosfato desfluorinado. El flúor es de especial importancia en la nutrición animal de vacunos, ya que elevados niveles en la dieta pueden causar la saturación de flúor en el organismo, presentándose entonces fractura; y daños a nivel de los riñones, glándula hepática, corazón y anemia entre otros. Se ha observado incluso retardo en el crecimiento, problemas de fertilidad y disminución de la producción de leche.

Mientras que en general, los fosfatos de calcio se usan en la nutrición animal como fuente de fósforo, los fosfatos y polifosfatos de sodio (**Tabla N°1.4**) se usan en el procesamiento de alimentos para consumo humano, como un aditivo para mejorar y/o conservar las propiedades del alimento. Así tenemos, que la adición del fosfato apropiado incrementa la capacidad de retención de agua en carnes crudas y cocidas. Estos fosfatos se usan en la producción de salchichas, curado de jamones y para controlar la deshidratación o pérdida de agua en aves, pescados y mariscos. Para estos fines el tripolifosfato de sodio es el más usado. El ácido fosfórico se usa en las bebidas gaseosas por su buen sabor en medio azucarado, además de contribuir a bajar el pH de la bebida.

Tabla N° 1.4. Fórmula molecular de los fosfatos más comúnmente producidos.

Ácido fosfórico o ácido ortofosfórico	H_3PO_4
Fosfato de calcio monobásico	$Ca(H_2PO_4)_2$
Fosfato de calcio dibásico anhidro (Fosfato di cálcico anhidro)	$CaHPO_2$
Fosfato de calcio dibásico dihidratado (Fosfato di cálcico hidratado),	$CaHPO_4 \cdot 2H_2O$
Fosfato mono-di cálcico (Grado alimenticio)	Combinación de las dos formulas de arriba
Fosfato de magnesio (Dibásico trihidratado)	$MgHPO_4 \cdot 3H_2O$
Fosfato de monosódico	NaH_2PO_4
Fosfato disódico	Na_2HPO_4
Polifosfatos de sodio	
-Pirofosfato de sodio	$Na_4P_2O_7$
-Tripolifosfato de sodio	$Na_5P_3O_{10}$
-Hexametáfosfato de sodio	$(NaPO_3)_n \quad n=10-15$

El fosfato disódico se usa en el procesamiento de quesos, y también se usan fosfatos en el polvo de hornear y acondicionadores de la sal y el azúcar.

1.6 Fundamento Teórico de la Flotación de Minerales No Metálicos

1.6.1 Generalidades

Los reactivos de flotación son el componente y la variable más importante del fenómeno de la flotación, debido a que no puede efectuarse ésta sin la participación de los reactivos.

Los reactivos de flotación, son productos químicos naturales o artificiales, que aseguran que la flotación de minerales sea selectiva y eficiente y produce condiciones óptimas para mejorar este método de concentración de minerales. Son generalmente surfactantes o modificadores de la superficie de los minerales.

1.6.2 Flotación de Fosfatos

La apatita se encuentra esencialmente en dos tipos de depósitos, metamórficos, en que aparece en forma de cristales gruesos y otros en que aparece en su forma microcristalina que se llama colofana. Mientras que los cristales gruesos se pueden flotar fácilmente, la flotación de la colofana es dificultada por su naturaleza porosa y por la interferencia de la ganga lamosa.

Pero en general la flotación de la apatita no es difícil, puesto que normalmente hay que separarla de una ganga silicosa. Son posibles dos alternativas:

- a) Flotación de la apatita con ácidos grasos, deprimiendo la ganga.
- b) Flotación de la ganga con aminas, deprimiendo la apatita.

El primer método es económicamente factible, pero el segundo es demasiado caro. Sin embargo, como la flotación con ácidos grasos no permite la obtención de productos limpios, se ha optado por un sistema de tratamiento doble: primero se flota la apatita con ácidos grasos, obteniéndose altas recuperaciones, pero concentrados de ley mediana y, enseguida, estos se purifican por flotación de la sílice con aminas, obteniéndose un concentrado de alta ley.

1.6.3 Reactivos de flotación de Fosfatos

1.6.3.1 Colectores Aniónicos Carboxílicos (Ácidos grasos)

Este numeroso grupo de colectores contiene todos los ácidos grasos y sus sales, los jabones. Históricamente estos colectores han desempeñado un importante papel en la flotación de metales y sales debido a sus fuertes propiedades colectoras. Sin embargo, su relativa poca selectividad impide una eficiente separación de los sulfuros de sus gangas, lo que ha causado su gradual y casi absoluto reemplazo por los colectores sulfhídricos. Hoy en día, estos colectores se utilizan solamente en algunos casos de flotación de minerales oxidados y no metálicos.

Los colectores carboxílicos se pueden obtener por oxidación de parafinas o a partir de productos naturales tales como grasa de animales y aceites vegetales. Hay ácidos saturados y no saturados, con y sin dobles enlaces en la cadena de hidrocarburos. Los no saturados son mejores colectores que los saturados.

El número de carbonos no tiene que ser ni muy alto ni muy bajo para que sus propiedades colectoras sean satisfactorias. Los resultados óptimos se obtienen con cadenas entre 8 y 12 carbonos. Los colectores con menor número de carbonos, en la pulpa, forman fácilmente, con los iones alcalinos, jabones muy solubles, lo que es causa de un alto consumo de colector. Los ácidos grasos con mayor número de carbono, por otra parte son muy insolubles, lo que causa dificultades en su aplicación.

1.6.3.2 Colectores Catiónicos (Aminas)

Este grupo de colectores está principalmente representado por las aminas y sales cuaternarias de amonio. Químicamente, las aminas se pueden considerar como derivados del amoniaco, cuyos hidrógenos están reemplazados por radicales. Según el número de hidrógenos reemplazados, tenemos aminas primarias, secundarias y terciarias. Las sales cuaternarias se obtienen por la

acción de cloruros sobre las aminas terciarias. En este caso, la valencia del nitrógeno varía de tres a cinco.

La característica de los colectores catiónicos es la presencia, precisamente, del nitrógeno pentavalente. No solo las sales amoniacaes tienen este nitrógeno, sino también las aminas en soluciones acuosas o ácidas cambian la valencia de su nitrógeno de tres a cinco.

Estos colectores se distinguen por su fácil adsorción y desorción, dependiendo de su concentración en la pulpa, habiendo casos en que se pueden eliminar de un concentrado al lavarlo con agua fría. En general, son menos selectivos que los aniónicas. Por otra parte, en algunos casos especiales sirven con mayor eficiencia que estos. Aplicaciones típicas de ellos se encuentran en la flotación de minerales no metálicos, tales como cuarzo, silicatos, aluminosilicatos y varios óxidos.

Se ha establecido con gran claridad la estrecha relación entre la flotabilidad de minerales con estos colectores y el pH de la pulpa. Esto se debe a reacciones químicas secundarias que se hacen posibles bajo ciertas condiciones y que a veces eliminan el colector o favorecen su actuación. También se ha podido notar que el aumento de temperatura en las pulpas, igual que en las flotaciones con jabón, favorece las recuperaciones.

Los colectores catiónicos son muy sensibles a la presencia de iones ajenos en la pulpa y en consecuencia, se pueden usar en flotaciones con aguas sumamente duras, incluso agua de mar. Por otra parte, debido a su adsorción bastante frágil por el mineral y a su poca selectividad, estos colectores son muy sensibles a las lamas finas, en presencia de las cuales decae notoriamente su eficiencia.

Se presenta un Diagrama de flujo de la propuesta para el trabajo de investigación en el **Anexo N°1**

CAPITULO II

2. CARACTERIZACIÓN DEL MINERAL

La muestra total recibida para estos estudios se entregó en un big pack de 1,000 kg, la cual fue homogenizada en su totalidad y cuarteada sucesivamente hasta obtener muestras más pequeñas.

La muestra de mineral a estudiar presentó una granulometría gruesa de más o menos 4" en pequeña proporción y mayor cantidad de finos con una coloración beige, que es lo común de la coloración que presentan las rocas fosfóricas. Con las muestras secas tal como llegaron se procedió a cuartear en pesos de 3 a 7Kg. enviándose a sus respectivos ensayos así como también para las pruebas a realizarse como a continuación se indica.

2.1 Determinación de ensaye de cabeza experimental y análisis multi-elementos ICP

La muestra en su totalidad se homogenizó, cuarteándose en muestras de 3 – 4kg, tomándose una de ellas para el ensaye por P₂O₅, CaO, F, Sulfatos, cloruros e insolubles. Los ensayos de cabeza experimental del mineral de roca fosfórica, se dan en la **Tabla N° 2.1**

Tabla N° 2.1 Análisis de Mineral de Cabeza

Análisis de Mineral de Cabeza		
Determinaciones	Unidades	Leyes
Humedad	%	7.12
P ₂ O ₅	%	21.93
Insolubles	%	13.76
CaO	%	40.33
F	%	2.56
SO ₄ ⁼	%	1.39
Cloruros	ppm	402

Asimismo para poder observar los metales contaminantes se mandaron ensayar por multielementos ICP, y así poder compararlos con los concentrados comerciales. Los resultados se dan a continuación en la **Tabla N° 2.2**

Tabla N° 2.2 Determinación de multielementos por ICP.

Determinación Multielementos por ICP						
N°	Elemento	Método	Lim. Detec.		Unidad	Ensaye
			Min.	Max.		
1	Ag	ICP-MA01	0.2	100	ppm	2.2
2	Al	ICP-MA01	0.01	15	%	1.18
3	As	ICP-MA01	3	10000	ppm	41
4	Ba	ICP-MA01	1	10000	ppm	147
5	Be	ICP-MA01	0.5	10000	ppm	1
6	Bi	ICP-MA01	5	10000	ppm	<5
7	Ca	ICP-MA01	0.01	15	%	>15.00
8	Cd	ICP-MA01	1	10000	ppm	7
9	Co	ICP-MA01	1	10000	ppm	1
10	Cr	ICP-MA01	1	10000	ppm	120
11	Cu	ICP-MA01	0.5	10000	ppm	18.4
12	Fe	ICP-MA01	0.01	15	%	0.6
13	Ga	ICP-MA01	10	10000	ppm	<10
14	K	ICP-MA01	0.01	15	%	0.31
15	La	ICP-MA01	0.5	10000	ppm	10.6
16	Mg	ICP-MA01	0.01	15	%	0.53
17	Mn	ICP-MA01	2	10000	ppm	57
18	Mo	ICP-MA01	1	10000	ppm	9
19	Na	ICP-MA01	0.01	15	%	1.08
20	Nb	ICP-MA01	1	10000	ppm	2
21	Ni	ICP-MA01	1	10000	ppm	14
22	P	ICP-MA01	0.01	15	%	9.87
23	Pb	ICP-MA01	2	10000	ppm	15
24	S	ICP-MA01	0.01	10	%	1.36
25	Sb	ICP-MA01	5	10000	ppm	<5
26	Sc	ICP-MA01	0.5	10000	ppm	7.7
27	Sn	ICP-MA01	10	10000	ppm	<10
28	Sr	ICP-MA01	0.5	5000	ppm	1490
29	Ti	ICP-MA01	0.01	15	%	0.05
30	Tl	ICP-MA01	2	10000	ppm	<2
31	V	ICP-MA01	2	10000	ppm	79
32	W	ICP-MA01	10	10000	ppm	<10
33	Y	ICP-MA01	0.5	10000	ppm	25.4
34	Zn	ICP-MA01	0.5	10000	ppm	72.9
35	Zr	ICP-MA01	0.5	10000	ppm	40.9

2.2 Cuadro comparativo con otros minerales de roca fosfórica

Se tomaron como base algunos datos referenciales de unos informes de Química del Pacífico S.A.

Tomando como referencia a los concentrados de Bayóvar, asimismo algunas especificaciones técnicas de Química del Pacífico S.A. (Quimpac), se presenta una tabla de comparación para ver las impurezas de metales tóxicos, para los fosfatos y se muestran a continuación en la **Tabla N° 2.3**

En este cuadro podemos apreciar que los elementos tóxicos como el As, Cr, Fe y Mn están muy por encima de las especificaciones técnicas de QUIMPAC.

Tabla N° 2.3 Comparativo con otros concentrados de Roca fosfórica.

Elemento	Unidades	Leyes Cab.	Conc. Bayóvar	Espec. Tec. Quimpac
P ₂ O ₅	%	21.93	28.39	Min.30
Arsénico (como As)	ppm	41	8	10
Cadmio (como Cd)	ppm	7	16	10
Cobalto (como Co)	ppm	1	1	1
Cromo (como Cr)	ppm	120	153	20
Hierro (como Fe)	%	0.6	0.34	0.1
Manganeso	ppm	57	52	15
Niquel (como Ni)	ppm	14	< 1	15
Plomo (como Pb)	ppm	15	22	20

2.3 Análisis granulométrico valorado del mineral de cabeza

Se realizó un análisis granulométrico valorado para poder observar y analizar cómo se distribuyen los valores de P₂O₅ en cada fracción de tamaño y realizar una clasificación adecuada.

Para esto se tomó aproximadamente una muestra de 5,500g del mineral de roca fosfórica homogenizada y cuarteada se realizó el análisis granulométrico en húmedo para deslamar los finos y luego secando la fracción +200m Tyler a una temperatura moderada de 60°C para seguidamente tamizarlos en un rop tap.

Los resultados nos demuestran que en las partículas de tamaños menores que 200m tyler (74 micrones) se tiende a acumular los insolubles y los fosfatos en los tamaños en el rango de malla Tyler (-10, +200) o (-2mm, +74 micrones) en el caso de los metales tóxicos, estos se distribuyen en todos los tamaños.

Mayor información se tiene en los cuadros del **Anexo N° 2**.

De estos análisis los resultados se dan a continuación en la **Tabla N° 2.4** y **Figura N° 2.1**

Tabla N° 2.4 Análisis Granulométrico Valorado de Roca Fosfórica

Malla ASTM	Abertura		Peso (%)			Leyes (%)		Distribución (%)	
	micrones	Promedio Geométrico	Parcial	Acum. Grueso	Acum. Fino	P ₂ O ₅	Insol.	P ₂ O ₅	Insol.
< +3/4 >	19000		4.33	4.33	95.67	16.63	11.92	3.23	3.73
<-3/4, +1/2>	12700	16848	2.25	6.58	93.42	16.83	16.39	1.70	2.66
<-1/2, +1/4>	6350	9861	1.82	8.39	91.61	14.31	17.66	1.17	2.32
<-1/4, +10 >	2000	3136	5.13	13.53	86.47	16.94	20.18	3.90	7.49
<-10, +20>	850	1487	4.13	17.66	82.34	17.87	22.61	3.31	6.75
<-20, +40>	425	563	8.59	26.25	73.75	22.35	14.16	8.61	8.79
<-40, +50>	297	360	8.80	35.05	64.95	25.44	8.78	10.04	5.58
<-50, +60>	250	273	9.19	44.24	55.76	25.55	7.56	10.54	5.02
<-60, +80>	180	207	15.05	59.30	40.70	25.23	8.49	17.04	9.24
<-80, +100>	149	165	14.41	73.71	26.29	25.02	9.94	16.17	10.35
<-100, +150>	105	125	18.08	91.79	8.21	23.97	13.75	19.43	17.96
<-150, +200>	74	99	4.07	95.86	4.14	19.37	25.89	3.54	7.62
<-200, +400>	37	63	1.79	97.65	2.35	12.55	35.49	1.01	4.60
< -400 >			2.35	100.00	0.00	3.02	46.53	0.32	7.89
TOTAL			100.00			22.30	13.84		

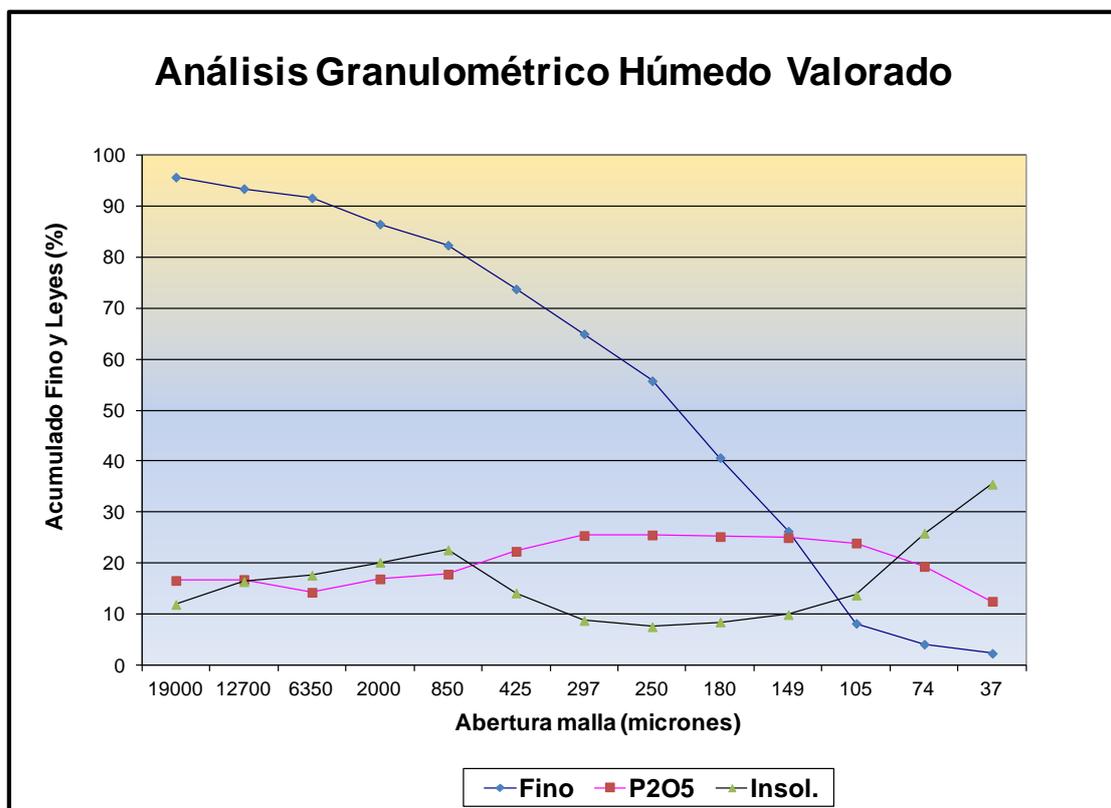


Figura N° 2.1 Análisis Granulométrico Valorado de Roca Fosfórica.

2.4 Densidad del mineral de fosfato

La densidad del mineral de roca fosfórica determinada en laboratorio es 2,7g/cc

CAPITULO III

3. ETAPA DE LAVADO Y CLASIFICACION

Se realizaron pruebas de lavado y clasificación para las muestras y poder determinar un tiempo optimo de lavado.

Las variables que se determinaron y calcularon en esta etapa son las siguientes:

- 1) Determinación de los pesos y porcentajes en peso de los diferentes productos obtenidos.
- 2) Determinación de las leyes de P_2O_5 e Insolubles en los diferentes productos obtenidos.
- 3) Cálculo de la distribución de P_2O_5 e Insolubles en los diferentes productos obtenidos.
- 4) Cálculo de la relación de concentración y la ley de cabeza calculada de P_2O_5 e Insolubles.

3.1 Evaluación del tiempo de lavado en tambor

Se evaluó el tiempo de lavado en tambor, para lo cual se hicieron cuatro (4) pruebas de lavado en trompito acondicionado para ello. Los tiempos de lavado fueron de 5, 10, 20 y 40 minutos

3.2 Clasificación con mallas Tyler (-10, +200) o (-2mm, +74micras)

De acuerdo a lo observado en el análisis granulométrico valorado, se decidió en primera instancia hacer la clasificación en el rango de tamaños menores a la malla 10 (2mm) y mayores a la malla 200 (74micras), primero realizando un lavado en tambor seguido de una clasificación con la malla 10 Tyler, separando los tamaños mayores y luego con la otra fracción -10m se tamizó con la malla 200 Tyler, para separar las lamas.

Las condiciones de estas pruebas se dan en forma amplia en los cuadros E01, E02, E03, E04 del **Anexo N° 3**.

3.3 Evaluación de los resultados obtenidos

En esta etapa se puede observar que para un tiempo de 20 minutos, fue factible llegar a obtener un producto de fosfato de 24,32 % P_2O_5 , con un contenido de insolubles de 12,05%; la que con una relación de concentración de 1,15 se llega a una recuperación de 92,70 % P_2O_5

Un resumen se presenta en las **Tablas N° 3.1 y 3.2**

Tabla N° 3.1 Variación de Tiempos de Lavado

Prueba #	Tiempo (min.)	PESO (%)	Ley (%)		Recup. (%)		R.C.
			P_2O_5	Insol.	P_2O_6	Insol.	
E01	5	81.6	24.46	12.13	88.7	69.9	1.23
E02	10	75.0	24.48	12.44	87.4	63.1	1.33
E03	20	86.7	24.32	12.05	92.7	75.1	1.15
E04	40	87.1	24.34	12.28	93.7	75.3	1.15

Con respecto a los contaminantes se llega a obtener la siguiente calidad:

Tabla N° 3.2 Comparativo de tiempo con elementos indeseables

Elemento	Unidades	Leyes Cabeza	Tiempo (minutos)			
			5	10	20	40
P_2O_5	%	21.93	24.46	24.48	24.32	24.34
Insolubles	%	13.76	12.13	12.44	12.05	12.28
As	Ppm	41	44	43	44	58
Cd	Ppm	7	5	5	5	5
Co	Ppm	1	1	2	1	1
Cr	Ppm	120	111	111	109	107
Fe	%	0.6	0.51	0.5	0.5	0.48
Mn	Ppm	57	62	58	57	56
Ni	Ppm	14	12	12	12	11
Pb	Ppm	15	10	13	10	13

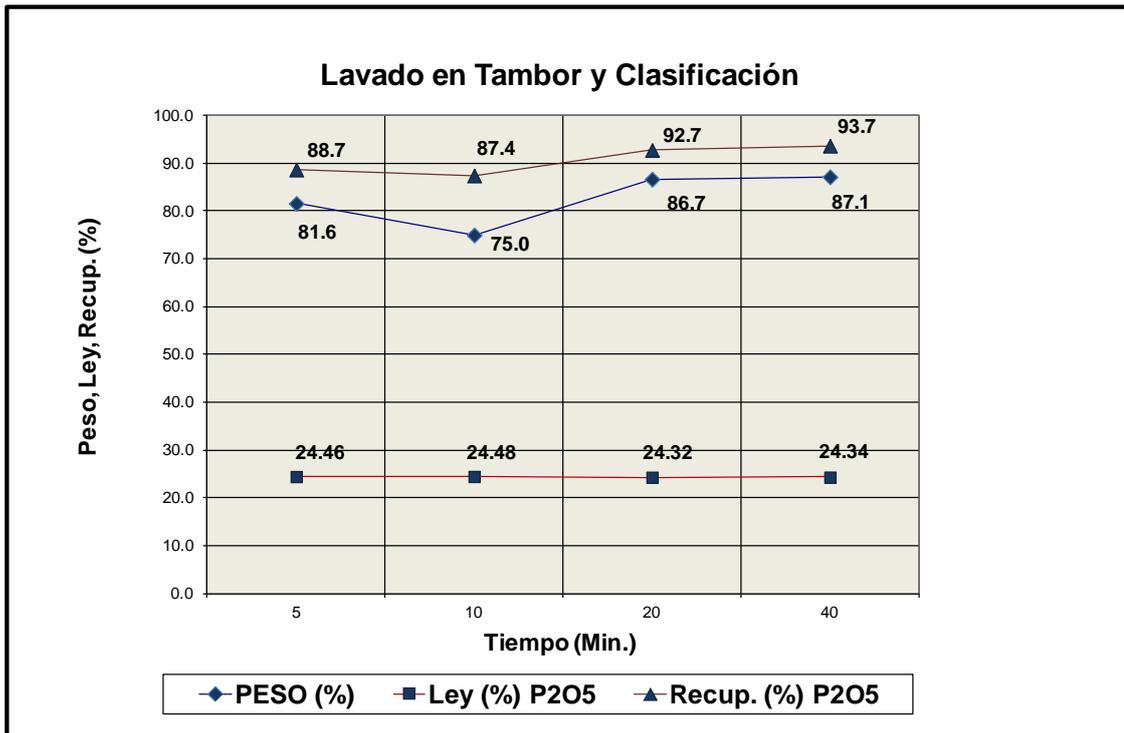


Figura N°3.1 Lavado en Tambor y Clasificación

CAPITULO IV

4. ETAPA DE ATRICION Y CLASIFICACION

Se realizaron pruebas de Atrición y clasificación con los productos de lavado entre las mallas Tyler 10M y 200M o (-2mm, +74micras) para todas las muestras.

Las variables que se determinaron y calcularon son las siguientes:

- 1) Determinación de los pesos y porcentajes en peso de los diferentes productos obtenidos.
- 2) Determinación de las leyes de P_2O_5 e Insolubles en los diferentes productos obtenidos.
- 3) Cálculo de la distribución de P_2O_5 e Insolubles en los diferentes productos obtenidos.
- 4) Cálculo de la relación de concentración y la ley de cabeza calculada de P_2O_5 e Insolubles.

4.1 Evaluación del porcentaje de sólidos en Atrición y clasificación con malla Tyler +200m (74 micras)

Se realizaron tres (3) pruebas para evaluar el porcentaje de sólidos, con un volumen de Pulpa de 0,7 lt en una celda de atrición acondicionada a un equipo de Flotación Denver con una velocidad de 1000 RPM.

Los porcentajes de sólidos a los que se realizaron las pruebas fueron: 40, 50 y 60%, después del cual se separaba mediante clasificación el producto +200m de las lamas -200m (74 micrones).

Todas las pruebas se hicieron bajo las mismas condiciones, el tiempo de atrición fue de 10min.

Las condiciones de estas pruebas se dan en forma amplia en los cuadros E05, E06, E07 del **Anexo N°4**.

Un resumen se presenta en las **Tablas N°4.1 y 4.2** además de un gráfico en la **Figura N°4.1**

Tabla N° 4.1 Variación del Porcentaje de Sólidos

Prueba #	Sólidos (%)	Peso (%)	Ley (%)		Distribución (%)		R.C.
			P ₂ O ₅	Insol.	P ₂ O ₅	Insol.	
E05	40	97.6	24.88	10.55	99.5	90.1	1.02
E06	50	97.3	25.71	10.39	99.4	89.0	1.03
E07	60	97.2	25.10	10.51	99.4	88.7	1.03

Como se puede observar, en esta etapa es factible obtener un producto de fosfato de 25,10 % P₂O₅, con un contenido de insolubles de 10,51 %; con una relación de concentración de 1,03 se llega a una recuperación de 99,40 % P₂O₅. Con respecto a los contaminantes se llega a obtener la siguiente calidad:

Tabla N° 4.2 Elementos Contaminantes en la Atrición y clasificación

Elemento	Unidades	Leyes Cabeza	Lavado Tambor y Clasif 20'	(% Sólidos)		
				40	50	60
P ₂ O ₅	%	21.93	24.32	24.88	25.71	25.10
Insolubles	%	13.76	12.05	10.55	10.39	10.51
As	ppm	41	44	43	65	61
Cd	ppm	7	5	5	5	5
Co	ppm	1	1	2	1	1
Cr	ppm	120	109	109	110	102
Fe	%	0.6	0.5	0.44	0.44	0.42
Mn	ppm	57	57	55	59	56
Ni	ppm	14	12	12	12	12
Pb	ppm	15	10	11	10	11

4.2 Evaluación de tiempo de atrición y clasificación con mallas Tyler 20m (425micras) y 200m (74micras)

Las prueba se realizó con un volumen de pulpa de 0,7 lt en una celda de atrición acondicionada a un equipo Denver con una velocidad de 1000 RPM y a una concentración de sólidos de 60%, a tiempos de 10, 20 y 40 minutos, después del cual se tamiza con la malla Tyler 20m (425 micras) y el producto se deslama con la malla 200 Tyler (74 micrones). Todas las pruebas se realizaron bajo las mismas condiciones.

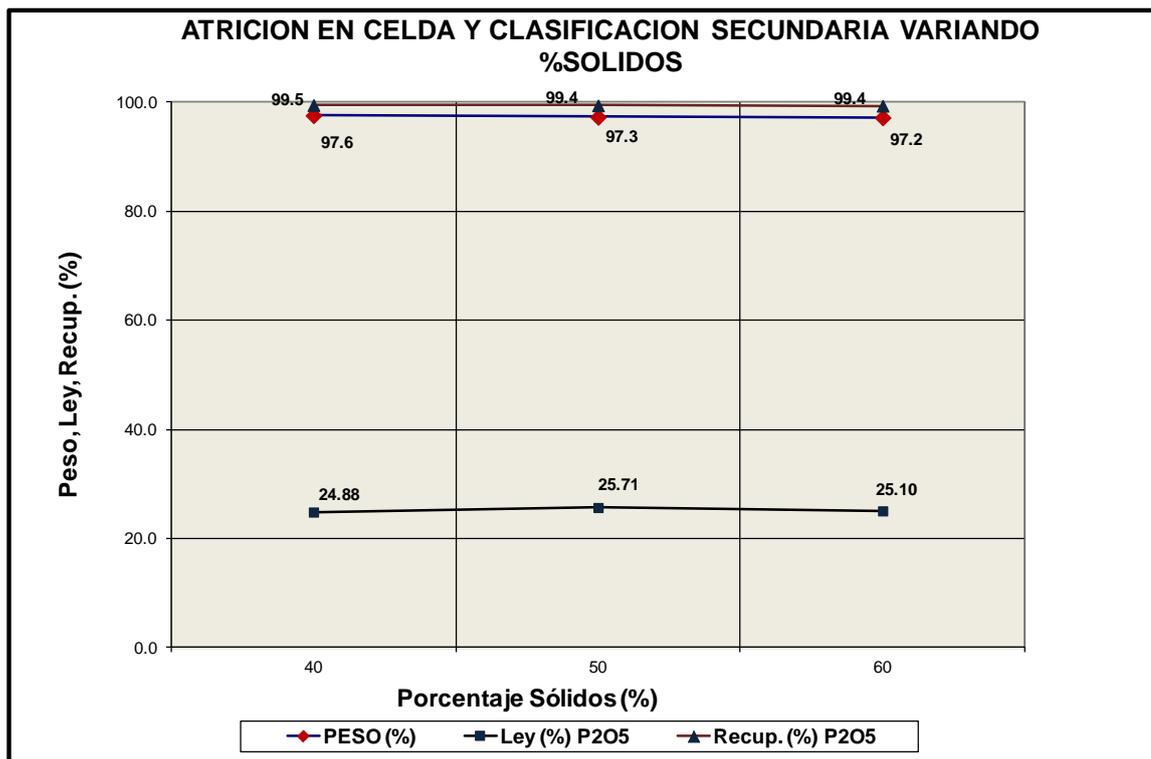


Figura N°4.1 Atrición y Clasificación Secundaria Variando %Sólidos.

Las condiciones de estas pruebas se dan en forma amplia en los cuadros E08, E09, E10 del **Anexo N°5**.

Un resumen se da a continuación en la **Tabla N°4.3**. y un grafico en la **Figura N°4.2**

Tabla N° 4.3 Resumen de Pruebas Variando el Tiempo de Atrición.

Prueba N°	Tiempo (min.)	Peso (%)	Ley (%)		Distribución (%)		R.c.	Recup. Total
			P ₂ O ₅	Insol.	P ₂ O ₅	Insol.		
E08	10	92.5	24.85	10.21	95.8	79.5	1.08	88.84
E09	20	92.6	24.91	9.86	96.5	77.4	1.08	89.54
E10	40	90.9	25.47	9.42	95.6	72.4	1.10	88.63

En esta etapa es factible llegar a obtener un producto de fosfato de 25,47% P₂O₅, con un contenido de insolubles de 9,42% con una relación de concentración parcial de 1,08, se llega a una recuperación total de 88,63% P₂O₅ para un tiempo de atrición de 40 min.

Con respecto a los contaminantes se llega a obtener la siguiente calidad mostrada en la **Tabla N°4.4**.

Tabla N°4.4 Elementos Contaminantes Variando el tiempo Atrición y Clasificación 60%S

Elemento	Unidades	Leyes Cabeza	Lavado Tambor y Clasif 20'	Atric. Clasif. 60 %S	Tiempo (min.)		
					10	20	40
P ₂ O ₅	%	21.93	24.32	25.10	24.85	24.91	25.47
Insolubles	%	13.76	12.05	10.51	10.21	9.86	9.42
As	ppm	41	44	61	69	61	66
Cd	ppm	7	5	5	5	5	5
Co	ppm	1	1	1	1	0.5	0.5
Cr	ppm	120	109	102	96	98	90
Fe	%	0.60	0.50	0.42	0.38	0.38	0.34
Mn	ppm	57	57	56	46	51	55
Ni	ppm	14	12	12	9	9	8
Pb	ppm	15	10	11	10	10	10

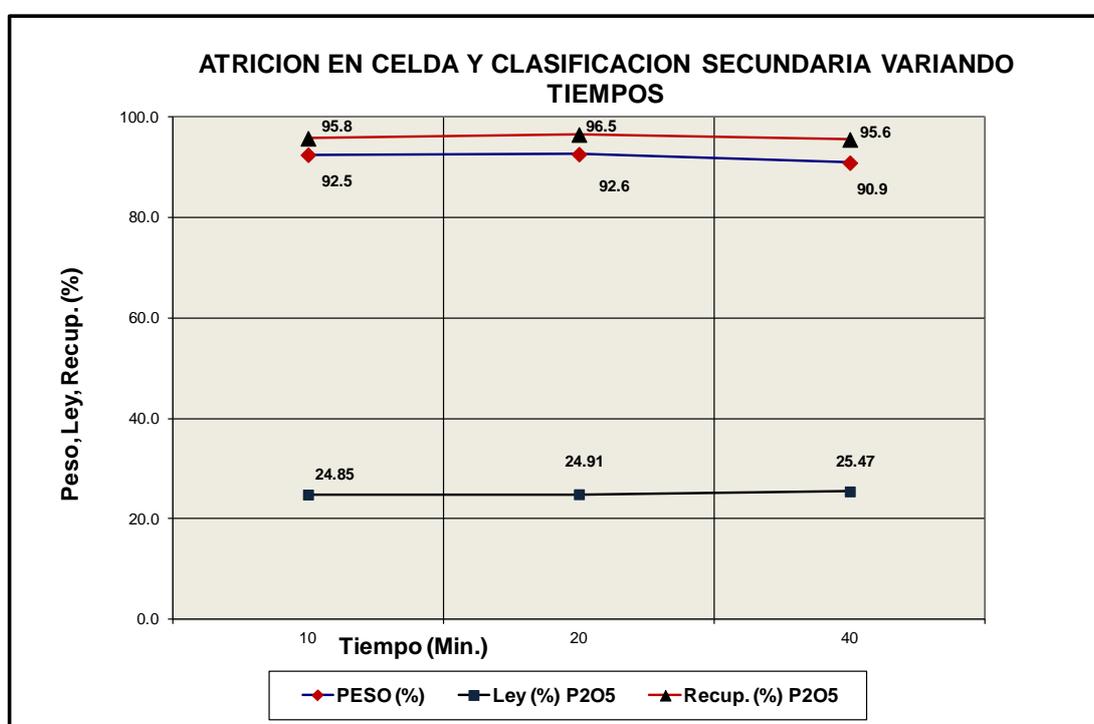


Figura N°4.2 Atrición en Celda y Clasificación Secundaria Variando el Tiempo.

4.3 Evaluación de Resultados de las pruebas de atrición y clasificación

De acuerdo al esquema desarrollado, es factible obtener un producto de fosfato hasta esta etapa de 25,47 % P₂O₅, con un contenido de insolubles de 9,42 %; y una recuperación total de 88,63% P₂O₅. A continuación se presenta la **Tabla N°4.5** resumen de la etapa y una grafica en la **Figura N°4.2**

Tabla N° 4.5 Resumen de la etapa de Atrición y Clasificación

Elemento	Unidades	Leyes Cabeza	Concentrado Fosfatos
P ₂ O ₅	%	21.93	25.47
Insolubles	%	13.76	9.42
As	ppm	41	66
Cd	ppm	7	5
Co	ppm	1	0.5
Cr	ppm	120	90
Fe	%	0.60	0.34
Mn	ppm	57	55
Ni	ppm	14	8
Pb	ppm	15	10

CAPITULO V

5 PRUEBAS DE FLOTACIÓN

El objetivo consistió en determinar los niveles de recuperación y determinar la calidad de los concentrados de fosfatos producidos mediante la aplicación de flotación por espuma en laboratorio.

- 1) Las pruebas de flotación aniónicas se efectuaron inicialmente orientadas a la selección de un reactivo adecuado (pruebas de selección del reactivo) y luego con los 2 mejores resultados se tomaron en cuenta para la dosificación y los tiempos de flotación.

Los parámetros que se variaron fueron:

- a) Elección de reactivo aniónico; Flotisor FS-2, Flotisor 2875, Flotisor SM15, Acido Oleico, QT-4080.
- b) Variación de dosificación con las 2 mejores (1.0, 1.5, 2.0) kg/Tm.
- c) Variación de tiempos de flotación (3 y 5) min.

- 2) Posteriormente, se continuó con la flotación inversa catiónica para limpiar de sílice los fosfatos.

Los parámetros que se variaron son:

- a) Elección de reactivo catiónico; Flotigan 2835, MT 3234, MT 302R30.
- b) Variación de dosificación con las 2 mejores (1.0, 1.5, 2.0) kg/Tm.
- c) Variación de tiempos de flotación (3 y 5) min.

El material en su totalidad se lavó y clasificó, luego se le hicieron 2 atriciones y clasificación de 10 min c/u hasta obtener el rango tamaño de partícula de <-20, +170 >, en todas las pruebas de flotación se tomó 1000 g de muestra, el producto

entró a la flotación en la que previamente se acondicionó al 50% de sólidos con la adición del 50% de la dosificación del reactivo especificada en el reporte y el otro 50% de la dosificación se adicionó en la flotación. El tiempo de acondicionamiento se realizó a 4 minutos en todos los casos.

Las variables respuestas que se determinaron y calcularon fueron las siguientes:

- 3) Determinación de los pesos y porcentajes en peso de los diferentes productos obtenidos.
- 4) Determinación de las leyes de P_2O_5 e Insolubles en los diferentes productos obtenidos.
- 5) Cálculo de la distribución de P_2O_5 e Insolubles en los diferentes productos obtenidos.
- 6) Cálculo de la relación de concentración y la ley de cabeza calculada de P_2O_5 e Insolubles.

Los colectores usados son los que se dan en la **Tabla N°5.1**

Tabla N°5.1 Colectores Usados en las Pruebas de Flotación.

Colector	Naturaleza	Productor
Acido Oleico	Aniónico	Mabelsa (Nacional)
Flotisor FS-2	Aniónico	Clariant
Flotisor 2875-L	Aniónico	Clariant
Flotisor SM-15	Aniónico	Clariant
Flotigan 2875	Catiónico	Clariant
QT-4080	Catiónico	MINPERU
T-400	Catiónico	MINPERU
MT-302 R30	Catiónico	Mercantil
MT- 3234	Catiónico	Mercantil

5.1 Elección de reactivo Aniónicos y Catiónicos

Primero se ejecutaron pruebas para definir el reactivo a usar, tanto aniónico en las pruebas de flotación directas, así como también el catiónico en las pruebas de flotación inversa.

5.1.1 Flotación Aniónica

En estas pruebas se usaron varios colectores Aniónicos para minerales no metálicos, como son los ácidos grasos y evaluar la respuesta de estos a los requerimientos del proceso.

5.1.1.1 Adición de Reactivos Colectores Aniónicos

En todos los casos el acondicionamiento se realizó a pH 10,5 con la adición de hidróxido de sodio, se realizaron pruebas de flotación en las que se varió fundamentalmente la adición de colectores.

Las condiciones de estas pruebas se dan en los cuadros E11, E12, E13, E14, E15, E16 y E17 del **Anexo N°6**.

5.1.1.2 Variación de la dosificación del Colector Aniónico

De acuerdo a las pruebas realizadas se determinó que el (Acido Oleico/SM15 y Flotisor/2875-L) son los colectores aniónicos más adecuados para la flotación de este mineral. En este segundo set de pruebas se varió la dosificación del colector entre 1,5 a 3,0 Kg. /TM, las condiciones de estas pruebas se dan en los cuadros E18, E11, E13, E19, E12, E20, E14, E21, E16, E22, E23 y E15 del **Anexo N°6**.

5.1.1.3 Variación de Tiempos de flotación.

Se realizaron pruebas variando el tiempo de flotación para buscar el óptimo, las condiciones de estas pruebas se dan en los cuadros E24, E19, E25, E21, E26, E15, E27 y E20 del **Anexo N°6**.

En todas estas pruebas se adicionó silicato de sodio en una dosificación de 0,5 Kg/TM como dispersante de lamas.

5.1.2 Flotación Colectores Catiónicos (Insolubles)

En estas pruebas se usaron varios colectores catiónicos para minerales no metálicos, como son las aminas y evaluar la respuesta de estos a los requerimientos del proceso.

5.1.2.1 Variación de la adición de Colectores Catiónicos

En todos los casos, el acondicionamiento se hizo a pH 7,5 con la adición de NaOH, se realizó cinco pruebas en las que se varió la adición de colector catiónico. Las condiciones de estas pruebas

se dan con amplitud en los cuadros E28, E29 y E30 del **Anexo N°6**.

Se siguió el mismo procedimiento de la flotación aniónica, en donde las variables respuestas que se determinaron y calcularon son las mismas que se indicaron en los acápite anteriores.

5.1.2.2 Variación de la dosificación del colector Flotigan 2835 o MT-302 R30

Se determinó que el mejor colector catiónico es el colector MT-302R30 y de acuerdo a esto se vario la dosificación de este colector entre 0,3 a 0,7 Kg/TM. Las condiciones de estas pruebas se dan en los cuadros E28, E29 y E30 del **Anexo N°6**.

En todas estas pruebas se adicionó almidón desde el acondicionamiento para dispersar las lamas y acido fosfórico como depresor de fosfatos

5.2 Evaluación de Resultados de flotación

La primera metodología que se tomó en cuenta, fue la flotación de los fosfatos mediante colectores aniónicos, probándose una serie de colectores en una primera etapa, los resultados se dan en forma amplia en los cuadros E11, E12, E13, E14, E15, E16 y E17 del **Anexo N°6** y un resumen en la **Tabla N°5.2** que se da a continuación:

Tabla N°5.2 Resumen de Flotación con Colectores Aniónicos

Prueba N°	Colector		Peso (%)	Leyes (%)		Distribución (%)		Rel. Conc.
	Marca	kg/TM		P ₂ O ₅	Ins.	P ₂ O ₅	Ins.	
E11	Acido Oleico	2.34	48.7	28.65	3.84	52.3	20.0	2.06
E12	Acido Oleico/SM-15	2.34	70.3	28.11	4.80	74.4	35.8	1.42
E13	Acido Oleico/2875L	2.34	11.1	25.28	9.79	10.6	11.6	8.98
E14	Flotisor FS-2	2.23	87.9	27.93	5.28	92.9	48.9	1.14
E15	Flotisor F-S2/SM-15	2.23	88.8	27.67	5.84	93.7	52.4	1.13
E16	Flotisor FS-2/2875L	2.23	58.9	28.24	4.72	62.7	28.3	1.70
E17	QT-4080	2.05	56.6	29.24	6.64	59.7	35.3	1.77

De acuerdo a la calidad y recuperación del fosfato se decidió por realizar pruebas variando la dosificación del colector Acido Oleico/SM15 y

Flotador FS2/2875L, cuyos resultados se dan en forma amplia en los cuadros E18, E11, E13, E19, E12, E20, E14, E21, E16, E22, E23 y E15 del **Anexo N°6** y un resumen en la **Tabla N°5.3** que se da a continuación:

Tabla N°5.3 Comparativo de dosificación Colectores Aniónicos

Prueba N°	Colector		Peso (%)	Leyes (%)		Distribución (%)		Rel. Conc.
	Marca	kg/TM		P ₂ O ₅	Ins.	P ₂ O ₅	Ins.	
E18	Acido Oleico	1.95	11.4	26.26	7.44	11.1	9.1	8.74
E11	Acido Oleico	2.34	48.7	28.65	3.84	52.3	20.0	2.06
E13	Acido Oleico/2875L	2.34	11.1	25.28	9.79	10.6	11.6	8.98
E19	Acido Oleico/2875L	3.12	78.5	28.31	4.08	83.8	34.3	1.27
E12	Acido Oleico/SM-15	2.23	70.3	28.11	4.80	74.4	35.8	1.42
E20	Acido Oleico/SM-15	2.73	87.0	28.45	5.19	92.3	46.2	1.15
E14	Flotador FS-2	2.23	87.9	27.93	5.28	92.9	48.9	1.14
E21	Flotador FS-2	2.98	89.4	28.23	5.28	94.3	50.1	1.12
E16	Flotador FS-2/2875L	2.23	58.9	28.24	4.72	62.7	28.3	1.70
E22	Flotador FS-2/2875L	2.98	58.2	29.47	3.58	62.2	23.9	1.72
E23	Flotador FS-2/SM-15	1.86	73.6	28.36	4.96	77.8	38.3	1.36
E15	Flotador FS-2/SM-15	2.23	88.8	27.67	5.84	93.7	52.4	1.13

Así como también se consideró adecuado la flotación de los fosfatos mediante tiempos de flotación, estos resultados se dan en forma amplia en los cuadros E24, E19, E25, E21, E26, E15, E27 y E20 del **Anexo N°6** y un resumen en la **Tabla N°5.4** que se da a continuación:

Tabla N°5.4 Comparativo de Tiempos Colectores Aniónicos

Prueba N°	Colector		PESO (%)	Leyes (%)		Distribución (%)		Rel. Conc.
	Marca	T (min.)		P ₂ O ₅	Ins.	P ₂ O ₅	Ins.	
E24	Acido Oleico/2875L	3	65.5	28.74	3.73	69.9	27.3	1.53
E19	Acido Oleico/2875L	4	78.5	28.31	4.08	83.8	34.3	1.27
E25	Flotador FS-2	3	75.4	28.40	5.07	79.7	40.0	1.33
E21	Flotador FS-2	4	89.4	28.23	5.28	94.3	50.1	1.12
E26	Flotador FS-2/SM-15	3	78.5	25.98	10.44	76.9	88.3	1.27
E15	Flotador FS-2/SM-15	4	88.8	27.67	5.84	93.7	52.4	1.13
E27	Acido Oleico/SM-15	2	86.8	28.38	4.86	92.1	44.6	1.15
E20	Acido Oleico/SM-15	4	87.0	28.45	5.19	92.3	46.2	1.15

Los resultados más óptimos se dan con los reactivos Acido Oleico/SM 15 y Flotador FS-2/2875L

Se tomó en cuenta la flotación de las impurezas mediante colectores catiónicos, estos resultados se obtienen con las pruebas E28, E29 y E30 del **Anexo N°6** y un resumen de estos se dan en la **Tabla N°5.5**

Tabla N°5.5 Comparativo de Colectores Catiónicos

Prueba N°	Colector		Peso (%)	Leyes (%)		Distribución (%)		Rel. Conc.
	Marca	kg/TM		P ₂ O ₅	Ins.	P ₂ O ₅	Ins.	
E28	MT 302 R30	0.18	3.5	14.6	33.93	1.8	12.3	28.73
E29	MT 302 R30	0.18	3.6	16.03	28.14	2.1	10.8	27.81
E30	F-SM-15	0.10	3.5	16.41	30.08	2.0	10.9	28.64

De acuerdo a la prueba, se observó que el Flotador SM 15 generaba mucha espuma, no resultando adecuado para este caso, se consideró más adecuado el uso del MT 302R30 para la flotación inversa.

Se realizaron pruebas completas con los dos resultados más óptimos de flotación aniónicas y cuyos resultados se dan en forma amplia en los cuadros E31, E32 del **Anexo N°6**, y un resumen de estos se dan en la **Tabla N°5.6**

Tabla N°5.6 Resumen de Pruebas de Flotación Aniónicas y Catiónicos.

Prueba N°	Colector		Peso (%)	Leyes (%)		Distribución (%)		Rel. Conc.
	Marca	kg/TM		P ₂ O ₅	Ins.	P ₂ O ₅	Ins.	
E31	Acido Oleico/SM-15	2.73	82.6	30.61	3.09	89.3	27.9	1.21
E32	Flotador FS-2/2875L	2.98	87.0	30.44	3.95	92.1	40.2	1.15

Finalmente se presenta un resumen total por etapas en la **Tabla N°5.7**, como se llega a la calidad de concentrado de fosfato con el proceso de flotación incluido:

Tabla N°5.7 Resumen por Etapas

Producto	Peso (%)	Leyes (%)		Distribución (%)		Rel. Conc.
		P ₂ O ₅	Insol.	P ₂ O ₅	Insol.	
Cabeza Ensayada	100	23.82	12.78	100	100	1
Cabeza Atricionada<-20, +170>	78.3	27.18	9.57	88.4	57.3	1.28
Etapa Flotación	82.6	30.61	3.09	89.3	27.9	1.21
Total	64.7	30.61	3.09	78.94	15.99	1.55

De acuerdo a los resultados obtenidos se procedió a seguir los siguientes esquemas de tratamiento:

Esquema de tratamiento

- a) Dos atriciones durante 10 minutos y clasificación por la malla +170 a 60 % de sólidos.
- b) Flotación aniónicas del fosfato en el producto >170 a pH 10,5 con ácido oleico/SM15 (2,73 Kg/TM)
- c) Lavado del concentrado de fosfatos a pH 5 con ácido sulfúrico (1 lavado) y dos últimos lavados con agua.
- d) Flotación inversa para Limpieza del concentrado con el colector catiónico MT302R30 (0,30 Kg./TM).

Con estos resultados y aplicando el esquema es factible llegar a obtener un concentrado de fosfatos de 30,61% P₂O₅ e insoluble con una ley de 3,09%, con una recuperación de 78,94% y una relación de concentración de 1,55, en relación a los elementos tóxicos se presenta una **Tabla N°5.8** con los contenidos en las últimas pruebas:

Tabla N°5.8 Resumen con los elementos indeseables

Leyes (%), As, Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Pb (ppm)									
P ₂ O ₅	Ins.	As	Cd	Co	Cr	Fe	Mn	Ni	Pb
30.61	3.09	62	7	3	95	0.25	37	8	16
30.44	3.95	61	7	3	95	0.26	40	11	15
Cabeza Atricionada		64	6	<1	95	0.37	50	9	10
Cabeza		87	8	1	106	0.50	56	13	12

A continuación se presenta en la **Figura N°5.1** un diagrama del proceso de flotación:

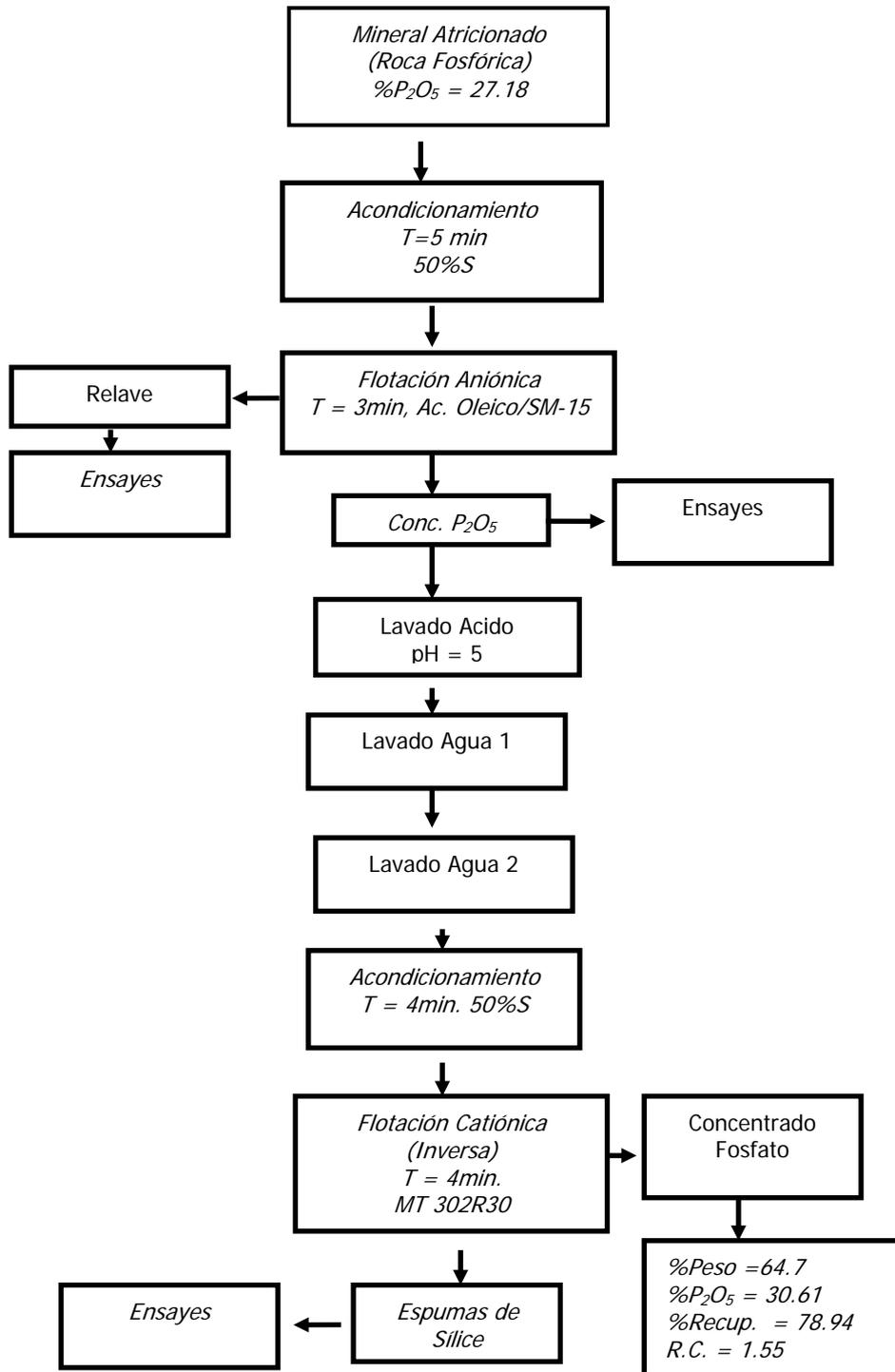


Figura N°5.1 Diagrama de flujo del proceso de Flotación

CAPITULO VI

6. PRUEBAS DE VERIFICACION EN LABORATORIO.

En esta etapa se trata de reproducir lo realizado anteriormente, para verificar y con algunas condiciones adicionales, pero con mayor cantidad de material, usando incluso el hidrociclón para separar las lamas.

6.1 Producción de concentrados de fosfatos por Lavado en Tambor, Atrición y Clasificación usando el Hidrociclón

La muestra con una ley de cabeza de P_2O_5 de 23,82% se lavó en un Trompito durante 10 min, luego se tamizó con la malla 10, el producto con tamaños menores a 10m se clasificó con el Hidrociclón a una presión 4 Psi obteniéndose un producto Underflow1 que contiene 24,31% de P_2O_5 , una recuperación de 87,1% con una relación de concentración de 1,2 para esta etapa, como se muestra en la **Tabla N°6.1**

Tabla N°6.1 Lavado y Primera Clasificación en Hidrociclón

Producto	Peso (%)	Leyes (%)		Distribución (%)		Rel. Conc.
		P_2O_5	Insol.	P_2O_5	Insol.	
< Gruesos +10 >	14.5	15.68	19.58	10.1	17.9	6.9
Underflow1	80.3	24.31	13.94	87.1	70.5	1.2
Overflow1	5.2	11.87	35.63	2.8	11.7	19.2

El producto Underflow1 de la primera etapa se atricionó durante 10 minutos y luego se tamizó con la malla 20, el producto con tamaños menores a malla 20 se clasificó con el Hidrociclón a una Presión de 5 Psi, obteniendo un producto de Underflow2 que contiene 28,77% de P_2O_5 , una recuperación de 82,1% con una relación de concentración de 1,3 para esta segunda etapa como se observa en la **Tabla N°6.2**.

Tabla N°6.2 Atrición y Segunda Clasificación en Hidrociclón

Producto	Peso (%)	Leyes (%)		Distribución (%)		Rel. Conc.
		P ₂ O ₅	Insol.	P ₂ O ₅	Insol.	
<-10, +20>	5.8	21.68	21.22	4.7	11.7	17.2
Underflow2	77	28.77	7.03	82.1	51.4	1.3
Overflow2	17.2	20.75	22.59	13.2	36.9	5.8

El producto total obtenido en todas las etapas contiene 28,77% de P₂O₅, una recuperación de 71,5% con una relación de concentración de 1,6 para toda la etapa como se observa en **Tabla N°6.3** siguiente:

Tabla N°6.3 Producto obtenido en la etapa de clasificación con Hidrociclón

Producto	Peso (%)	Leyes (%)		Distribución (%)		Rel. Conc.
		P ₂ O ₅	Insol.	P ₂ O ₅	Insol.	
Producto Etapa Hidroc	61.8	28.77	7.03	71.5	36.2	1.6

A continuación se muestra el diagrama de Flujo de las pruebas con Hidrociclón en la **Figura N°6.1**

6.2 Producción de concentrados de fosfatos por flotación Aniónica y Catiónica

Se simuló la producción de 100 kg de concentrado de fosfatos mediante la aplicación de procesos de lavado, deslamado, atrición, clasificación y flotación de la muestra.

Las condiciones de trabajo fueron:

- Inicialmente cada lote de muestras se homogenizó y cuarteó a fin de tener muestras aproximadamente de 18 a 20 Kg. c/u
- Se realizaron 11 lavados en tambor con un tiempo de 10 minutos cada uno.
- Con una dilución 1:2 en peso, se procedió a lavarlos en tambor y clasificarlos con malla 10 (2 mm.).
- A partir del producto <-10m > se deslamó con el Hidrociclón.
- El underflow0 se procedió a atricionar a 65% sólidos por 10 minutos cada uno y luego se clasificó con malla 20 (850 micrones).
- El producto <-20m> se deslamó con el uso del Hidrociclón.
- El underflow1 se procedió a atricionar a 65% sólidos por 10 minutos cada uno y luego se deslamó con el uso del Hidrociclón.
- El underflow2 quedó como producto de esta etapa.

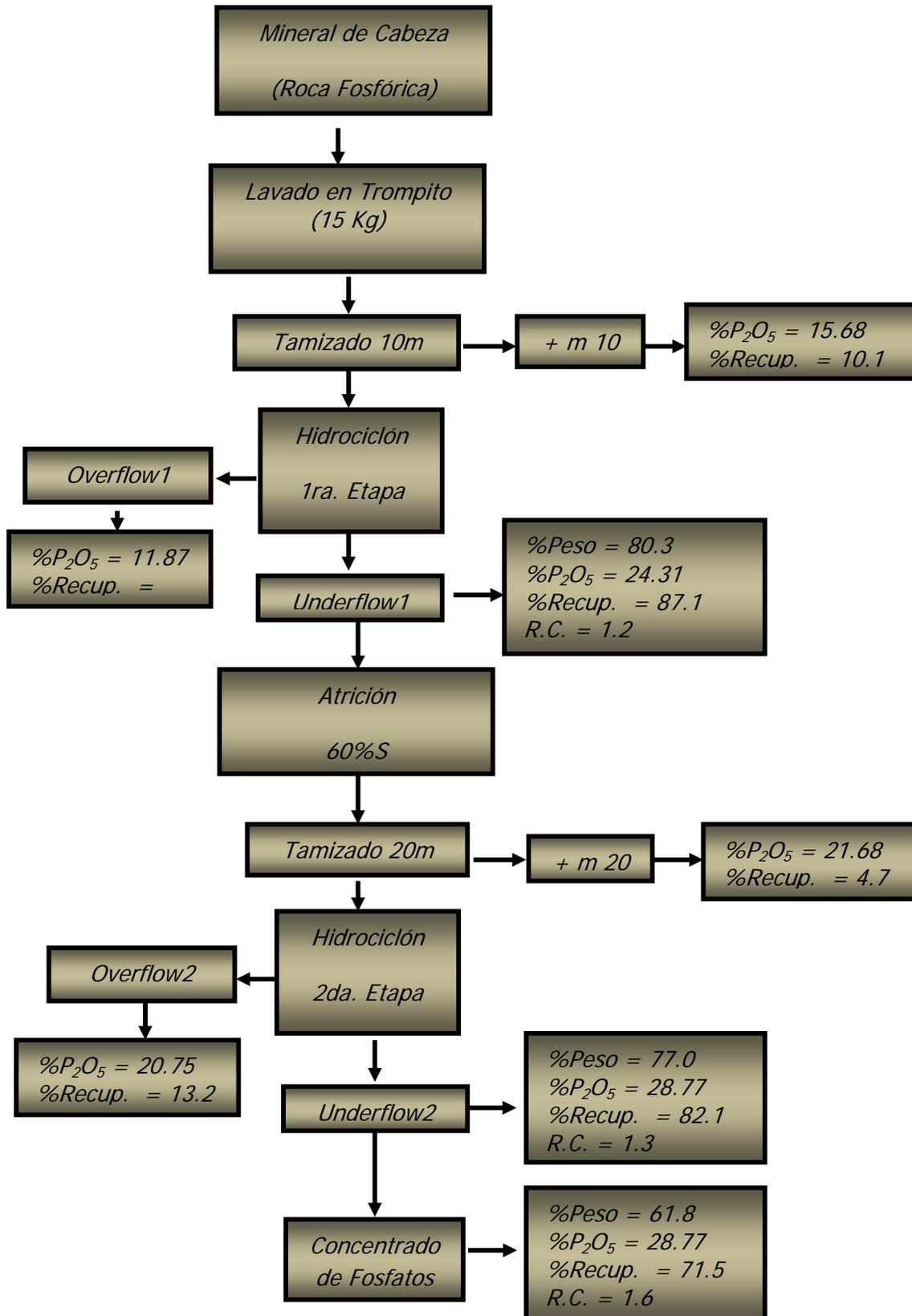


Figura N°6.1 Diagrama de Flujo de Pruebas con Hidrociclón

El promedio de Pesos del total de pruebas se da en **Tabla N°6.4:**

Tabla N°6.4 Pesos totales de la prueba de lavado, clasificación y atrición

Producto	Peso (%)
<+m10>	13.33
<+m20>	2.45
Conc. Atrición	74.33
Lamas	9.89
Total	100.00

En esta etapa se proceso 203,2 Kg. de mineral de la roca fosfórica, obteniéndose 141,98 Kg de mineral atricionado, como se puede observar en el cuadro del **Anexo N°7**, y un balance de pesos totales usados en esta etapa se presenta en la **Tabla N°6.5**

Tabla N°6.5 Lavado, clasificación, atrición y deslamado en Hidrociclón

Muestras	Peso		Peso			Lamas
	Húmedo	Seco	<+M10>	<+m20>	<-m20>	
1	20,200	18,988	2,850	485	13,900	1,753
2	19,200	18,048	2,350	415	13,500	1,783
3	18,900	17,766	2,230	455	13,455	1,626
4	17,200	16,168	2,025	390	12,050	1,703
5	18,500	17,390	2,340	492	12,900	1,658
6	18,000	16,920	2,270	339	12,600	1,711
7	18,400	17,296	2,327	423	12,800	1,746
8	17,100	16,074	1,985	372	12,025	1,692
9	18,100	17,014	2,264	406	12,650	1,694
10	19,700	18,518	2,539	468	13,800	1,711
11	17,900	16,826	2,283	435	12,300	1,808
Totales	203,200	191,008	25,463	4,680	141,980	18,885
%Peso			13.33	2.45	74.33	9.89

El producto lavado y atricionado pasó a la etapa de flotación:

- a) Flotación aniónica del fosfato en el producto a pH 10,5
- b) Se acondiciona a 60% sólidos con la adición de los siguientes reactivos:
 - Hidróxido de Sodio: 0,53 Kg. /TM.
 - Silicato de Sodio: 0,56 Kg. /TM.
 - Diesel 2: 0,54 Kg./TM
 - Acido Oleico: 2,04 Kg. /TM.
 - Flotador SM-15: 0,37 Kg./TM
 - Tiempo de acondicionamiento: 4 minutos

- c) Luego se adiciona agua hasta nivel de flotación y se flota durante 2 minutos
- d) Con el concentrado de fosfato se procede a lavado ácido a pH =5 con ácido sulfúrico (1 lavado) y dos últimos lavados con agua:

- Ácido Sulfúrico: 2,30 Kg./TM.
- Tiempo: 4 minutos.
- 1er. Lavado con agua, tiempo: 3 minutos
- 2do. Lavado con agua, tiempo: 3 minutos.

- e) Flotación inversa para limpieza del concentrado con el colector catiónico

- f) Se acondiciona a 60% sólidos con la adición de los siguientes reactivos:

- Hidróxido de Sodio: 0,09 Kg./TM.
- Almidón (5%): 0,56 Kg./TM.
- Acido Fosfórico: 5,58 Kg./TM.
- MT 302 R32: 0,18 Kg./TM.
- Tiempo de acondicionamiento: 2 minutos

- g) Luego se adiciona agua hasta nivel de flotación y se flota durante 5 minutos

Los concentrados se entregaron en lotes de 5 kg c/u con su respectivo control de calidad.

El promedio de Pesos del total de pruebas de Flotación se da en **Tabla N°6.6:**

Tabla N° 6.6 Pesos Totales de la Etapa de Flotación

Producto	Peso (%)
Conc. P ₂ O ₅	82.26
Lamas	2.29
Conc. Sílice	2.96
Relave	12.49
Total	100.00

Con estos resultados tendremos un Concentrado con un Peso referido a la cabeza como se observa en **Tabla N°6.7:**

Tabla N°6.7 Peso (%) de concentrado de fosfato total de la prueba

Producto	Peso (%)
Conc. P ₂ O ₅	61.14

Se presenta el cuadro de ensaye de los productos de flotación en **Tabla N° 6.8**

Tabla N° 6.8 Ensaye de los productos de flotación

CODIGO	Leyes (%)		Distribución (%)	
	P ₂ O ₅	Insolubles	P ₂ O ₅	Insolubles
Cabeza Ensayada	23.82	12.78		
CPF-01	29.25 28.99	3.33 3.32	75.1 74.4	15.9 15.9
CPF-02	28.97 29.27	4.12 4.03	74.4 75.1	19.7 19.3
CPF-03	29.25 29.45	3.63 3.59	75.1 75.6	17.4 17.2
CPF-04	29.77 29.75	3.52 3.69	76.4 76.4	16.8 17.7
CPF-05	30.23 30.37	3.74 3.74	77.6 78.0	17.9 17.9
CPF-06	30.03 30.19	3.10 3.14	77.1 77.5	14.8 15.0
CPF-07	30.47 30.30	3.14 3.01	78.2 77.8	15.0 14.4
CPF-08	30.18 30.48	3.28 3.21	77.5 78.2	15.7 15.4
CPF-09	30.49 30.60	3.21 3.16	78.3 78.5	15.4 15.1
CPF-10	30.31 30.46	2.34 2.40	77.8 78.2	11.2 11.5
CPF-11	30.27 30.31	2.86 2.80	77.7 77.8	13.7 13.4
CPF-12	29.89 29.95	2.48 2.43	76.7 76.9	11.9 11.6
CPF-13	30.11 30.19	2.11 2.23	77.3 77.5	10.1 10.7
CPF-14	29.41 29.64	3.54 3.55	75.5 76.1	16.9 17.0
CPF-15	30.40 30.45	2.28 2.26	78.0 78.2	10.9 10.8
CPF-16	30.12 30.20	2.30 2.26	77.3 77.5	11.0 10.8
CPF-17	30.15 30.45	2.17 2.12	77.4 78.2	10.4 10.1
CPF-18	30.06 30.31	2.52 2.63	77.2 77.8	12.1 12.6
CPF-19	30.24 30.38	2.33 2.40	77.6 78.0	11.1 11.5
CPF-20	29.83 29.83	2.72 2.81	76.6 76.6	13.0 13.4
CPF-21	29.69 29.89	3.24 3.37	76.2 76.7	15.5 16.1
% Peso	61.14			

En esta etapa se proceso 126,0 Kg. de mineral de roca fosfórica, obteniéndose 123,11 Kg. de concentrado de fosfatos, como se puede observar en la **Tabla N°6.9**.

Los equipos y accesorios usados para estas pruebas se mencionan en el **Anexo N°7**

Tabla N°6.9 Pesos totales de las pruebas de flotación

PRUEBA Nº	Pesos		%Peso total			Leyes (%)		Recuperaciones (%)		
	Cabeza	Relave	Conc SiO ₂	Conc. P ₂ O ₅	Peso total	Conc. P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	Insolubles	P ₂ O ₅	Insolubles
1	6000	307	143	5417	5867	67.1	29.25	3.33	75.1	15.9
2							28.99	3.32	74.4	15.9
3	6000	230	166	5474	5870	67.8	28.97	4.12	74.4	19.7
4							29.27	4.03	75.1	19.3
5	6000	610	81	5108	5799	63.3	29.25	3.63	75.1	17.4
6							29.45	3.59	75.6	17.2
7	6000	712	95	5030	5837	62.3	29.77	3.52	76.4	16.8
8							29.75	3.69	76.4	17.7
9	6000	496	131	5202	5829	64.4	30.23	3.74	77.6	17.9
10							30.37	3.74	78.0	17.9
11	6000	632	165	5070	5867	62.8	30.03	3.10	77.1	14.8
12							30.19	3.14	77.5	15.0
13	6000	641	205	4997	5843	61.9	30.47	3.14	78.2	15.0
14							30.30	3.01	77.8	14.4
15	6000	977	129	4721	5827	58.5	30.18	3.28	77.5	15.7
16							30.48	3.21	78.2	15.4
17	6000	701	120	4990	5811	61.8	30.49	3.21	78.3	15.4
18							30.60	3.16	78.5	15.1
19	6000	683	237	4938	5858	61.2	30.31	2.34	77.8	11.2
20							30.46	2.40	78.2	11.5
21	6000	885	155	4824	5864	59.8	30.27	2.86	77.7	13.7
22							30.31	2.80	77.8	13.4
23	6000	815	194	4912	5921	60.9	29.89	2.48	76.7	11.9
24							29.95	2.43	76.9	11.6
25	6000	1097	207	4559	5863	56.5	30.11	2.11	77.3	10.1
26							30.19	2.23	77.5	10.7
27	6000	487	167	5223	5877	64.7	29.41	3.54	75.5	16.9
28							29.64	3.55	76.1	17.0
29	6000	1150	165	4511	5826	55.9	30.40	2.28	78.0	10.9
30							30.45	2.26	78.2	10.8
31	6000	965	207	4696	5868	58.2	30.12	2.30	77.3	11.0
32							30.20	2.26	77.5	10.8
33	6000	1229	277	4358	5864	54.0	30.15	2.17	77.4	10.4
34							30.45	2.12	78.2	10.1
35	6000	845	202	4854	5901	60.1	30.06	2.52	77.2	12.1
36							30.31	2.63	77.8	12.6
37	6000	1227	250	4372	5849	54.2	30.24	2.33	77.6	11.1
38							30.38	2.40	78.0	11.5
39	6000	499	219	5223	5941	64.7	29.83	2.72	76.6	13.0
40							29.83	2.81	76.6	13.4
41	6000	553	213	5166	5932	64.0	29.69	3.24	76.2	15.5
42							29.89	3.37	76.7	16.1
Totales	126,000	15,741	3,728	103,645	123,114	1284.0				
% Peso		12.49	2.96	82.26	97.71	61.14	30.0	3.0	77.0	14.3

6.3 Discusión de Resultados en Función del Fundamento Teórico de la Flotación de minerales no metálicos

De acuerdo a los fundamentos teóricos mencionados para recuperar fosfatos por medio de flotación con ácidos grasos en flotación directa y luego mediante el uso de las aminas en la flotación inversa se llega a los niveles comerciales de 30% P₂O₅ y una recuperación de 77%.

Estos resultados nos confirman que aplicando la técnica adecuada podemos llegar a cumplir con los objetivos del proyecto para recuperar minerales no metálicos y hacer rentable técnico-económica su explotación.

CAPITULO VII

7. INGENIERIA DE DISEÑO Y ANALISIS ECONOMICO DEL PROYECTO DE UNA PLANTA DE ROCA FOSFORICA

Los yacimientos de roca fosfórica peruanos, al ser explotados deberían considerar una planta de flotación de fosfatos dentro del proyecto total.

En este capítulo se trata de establecer en forma general y esquemática, el diseño de una planta para separar el concentrado de fosfato, a fin de contribuir en un nivel muy elemental con cualquier proyecto que tenga como fin el beneficio de minerales no-metálicos.

7.1 Parámetros a considerar para el diseño de la Planta de Fosfatos

De acuerdo a las pruebas realizadas se determinaron los siguientes parámetros:

a) Etapa de Lavado y Clasificación

Lavado en Tambor:

- Tiempo de retención: 10 minutos
- Porcentaje de Sólidos (%S): 50

Clasificación Primaria:

Gruesos en Zaranda

- Malla de corte Superior: 10m Tyler (2 mm).

Deslamado en Hidrociclón

- Malla de corte Inferior: 170m Tyler (75 micrones)

b) Etapa de Atrición y Clasificación:

Primera Atrición:

- Tiempo de retención: 10 minutos
- Porcentaje de Sólidos (%S): 65

Clasificación Secundaria:

- Gruesos: Zaranda
- Malla de corte Superior: 20m Tyler (2 mm).
- Finos: Deslamado en Hidrociclón
- Malla de corte Inferior: 170m Tyler (75 micrones)

Segunda Atrición:

- Tiempo de retención: 10 minutos
- Porcentaje de Sólidos (%S): 65

Clasificación Terciaria:

- Finos: Deslamado en Hidrociclón
- Malla de corte Inferior: 170m Tyler (75 micrones)

Etapas de Flotación**h) Flotación Aniónica del fosfato**

Acondicionamiento: 50% sólidos

Tiempo: 4 minutos.

Reactivos:

- Hidróxido de Sodio: 0,53 Kg. /TM.
- pH: 10,5
- Silicato de Sodio: 0,56 Kg. /TM.
- Diesel 2: 0,54 Kg./TM
- Ácido Oleico: 2,04 Kg. /TM.
- Flotador SM-15: 0,37 Kg./TM

Flotación Directa: 25% sólidos

Tiempo: 2 minutos

i) Lavado Ácido

- Ácido Sulfúrico: 2,30 Kg. /TM.
- pH: 5 (1 lavado)
- tiempo: 4 minutos.
- 1er. Lavado con agua, tiempo: 3 minutos
- 2do. Lavado con agua, tiempo: 3 minutos.

j) Flotación Catiónica del Fosfato:

Acondicionamiento: 50% sólidos

Tiempo:	2 minutos.
Reactivos:	
• Hidróxido de Sodio:	0,09 Kg./TM.
• Almidón (5%):	0,56 Kg./TM.
• Ácido Fosfórico:	5,58 Kg./TM.
• MT 302 R32:	0,18 Kg./TM.
Flotación Inversa:	25% sólidos
Tiempo:	5 minutos

7.2 Diagrama de Flujo tentativo

Esquema de tratamiento

- e) Lavado en Tambor a 50% sólidos durante 10 minutos, seguido de clasificación a tamaños menores de 2mm (-10m), seguido de un deslamado con hidrociclón (+170m).
- f) Dos atriciones durante 10 minutos c/u a 65 % de sólidos, y clasificación por la malla (-20m) seguido de un deslamado con hidrociclón (+170m).
- g) Flotación aniónicas del fosfato en el producto (-20m, +170m) a pH 10.5 con ácido oleico/SM15 (2,73 Kg./TM).
- h) Lavado del concentrado de fosfatos a pH 5 con ácido sulfúrico (1 lavado) y dos últimos lavados con agua.
- i) Flotación inversa para Limpieza del concentrado con el colector Catiónico (0,30 Kg./TM).

A continuación se presenta el diagrama de flujo tentativo del proceso de concentración de fosfato en la **Figura 7.1**

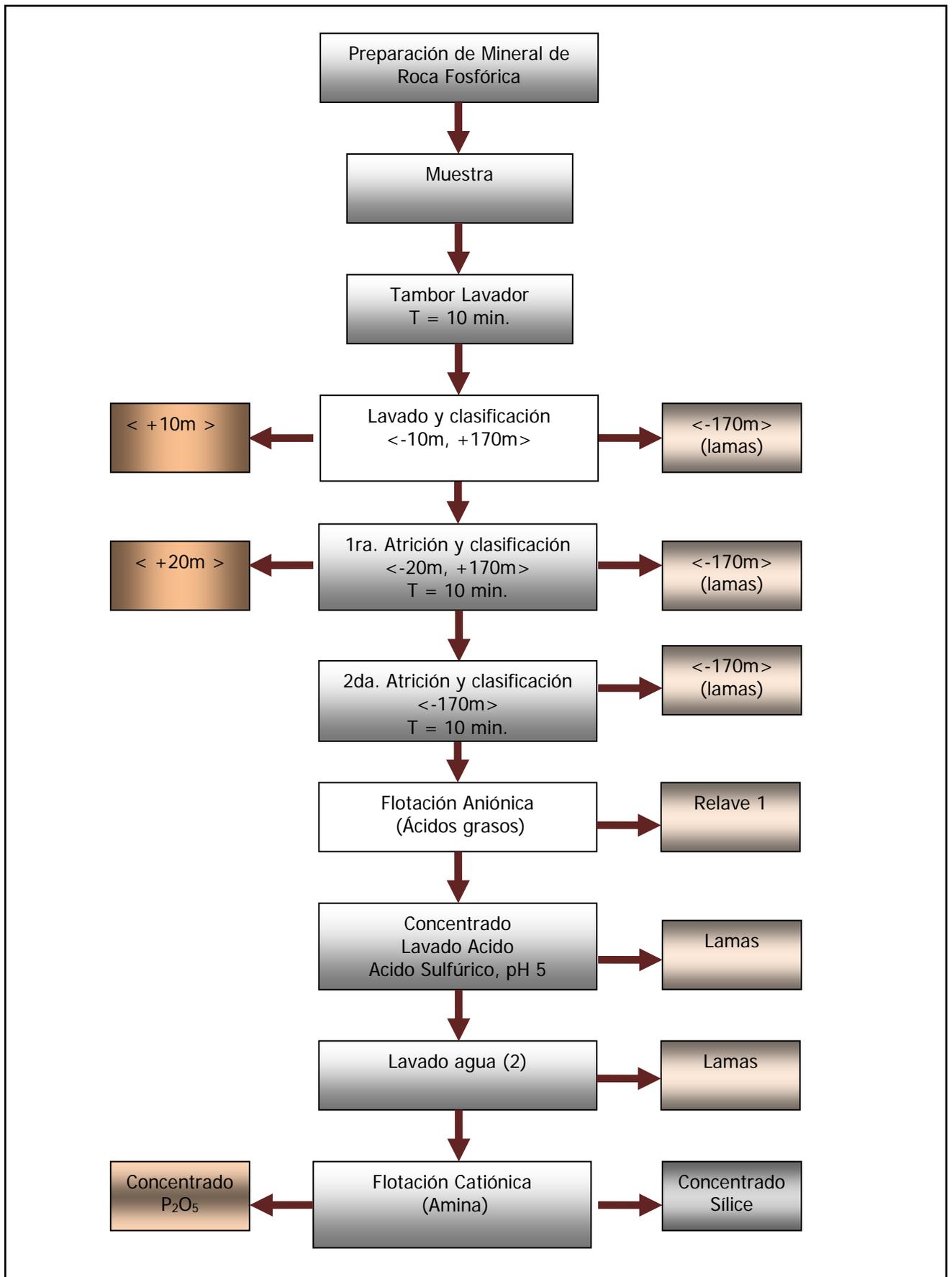


Figura 7.1 Diagrama de Flujo Tentativo del Proceso de concentración de Fosfato.

7.3 Balance de materiales en las operaciones

Para realizar el balance de materiales, se calculan a partir del tonelaje diario a pasar por la planta, el porcentaje de sólidos, las toneladas de pulpa, volumen de pulpa, así como el volumen de agua y la densidad de pulpa.

Por ser un cálculo repetitivo, indicaremos solamente las formulas usadas y los resultados en el balance de materiales que se presentan en el diagrama de la **Figura N°7.2 (Pág. 63 y Anexo N°7).**

Nomenclatura y Fórmulas:

%S: Porcentaje en peso de sólidos.

TMD: Toneladas métricas por día (seco)

T pulpa: $(TMD/\%S)*100$

T agua: $(T \text{ pulpa}/100)*(100-\%S)$

V (m³) agua: T agua/Densidad agua

V (m³) pulpa: T agua/Densidad agua + TM/Densidad mineral

Densidad pulpa: T pulpa/Volumen pulpa

Galones por minuto pulpa = Volumen pulpa (m³/D)*0.183*(GPM/m³/D)

G.E.: Gravedad Especifica mineral

7.4 Selección del equipo adecuado

De acuerdo a los requerimientos se necesitan los siguientes equipos para una operación adecuada:

Etapas Lavado y Clasificación:

- Tolva de Recepción de mineral
- Faja transportadora
- Tambor Lavador
- Zaranda Vibratoria 2 pisos.
- Bomba de pulpas.
- Hidrociclón para deslamar.

Etapas de Atrición y Clasificación:

- Celdas de Atrición
- Zaranda de Alta frecuencia
- Bomba de pulpas
- Hidrociclón para deslamar

- Espesador de Lamas.

Etapa de Flotación:

- Acondicionador flotación directa
- Celdas de flotación Rougher
- Tanque de lavado acido
- Espesadores CCD (3)
- Bombas de pulpa (4)
- Acondicionador flotación inversa
- Celdas de flotación Rougher

Etapa de Espesamiento y Filtrado:

- Espesador de Concentrado de fosfato
- Filtro banda
- Patio de acumulado de concentrados para despacho.

7.5 Consideraciones de demanda y tamaño de la Planta

El proyecto considera un recurso de 625 millones de toneladas de roca fosfórica con 18,1% de P_2O_5 y de acuerdo a los requerimientos, se considera una producción de 2`500,000 T/año de concentrado de 30% P_2O_5 , con una recuperación de 75% y una relación de concentración de 2.2, el tamaño de la Planta de seria de 5`500,000 T/año de roca fosfórica, con un tratamiento de 15,000 t/día.

7.6 Estimación de la Inversión

La estimación de la Inversión para el proyecto está considerada en 500 millones de dólares para la realización de todo el proyecto desde el inicio hasta el cierre de mina por un periodo de 30 años.

7.7 Costos de producción

El costo de producción total estaría entre US\$ 70 – 75 por tonelada de concentrado P_2O_5 producido, el cual se definirá después de las pruebas de optimización y pilotaje del proyecto.

7.8 Valorización de los concentrados

El costo del concentrado en el mercado varía entre los US\$ 100 y 140, con un promedio de US\$ 120 T concentrado P_2O_5 .

7.9 Evaluación del proyecto

Hasta esta etapa de pre-factibilidad se concluye que el proyecto pase a su estudio de factibilidad, realizando las pruebas de optimización y pilotaje, para realizar la Ingeniería básica y de detalle, reduciendo los riesgos en la inversión del proyecto.

Planta de Concentración Proyecto Fosfatos Pre-Factibilidad

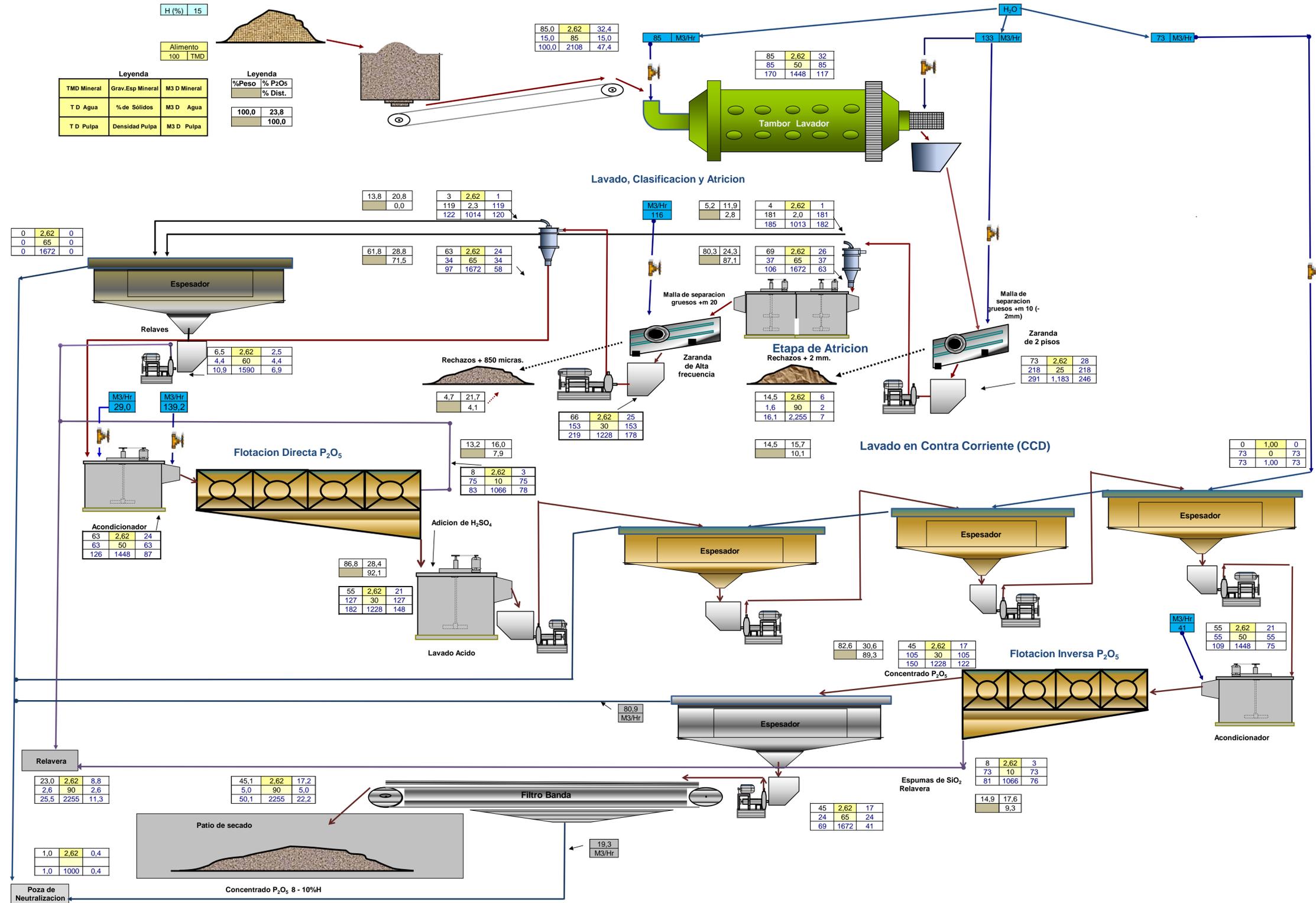


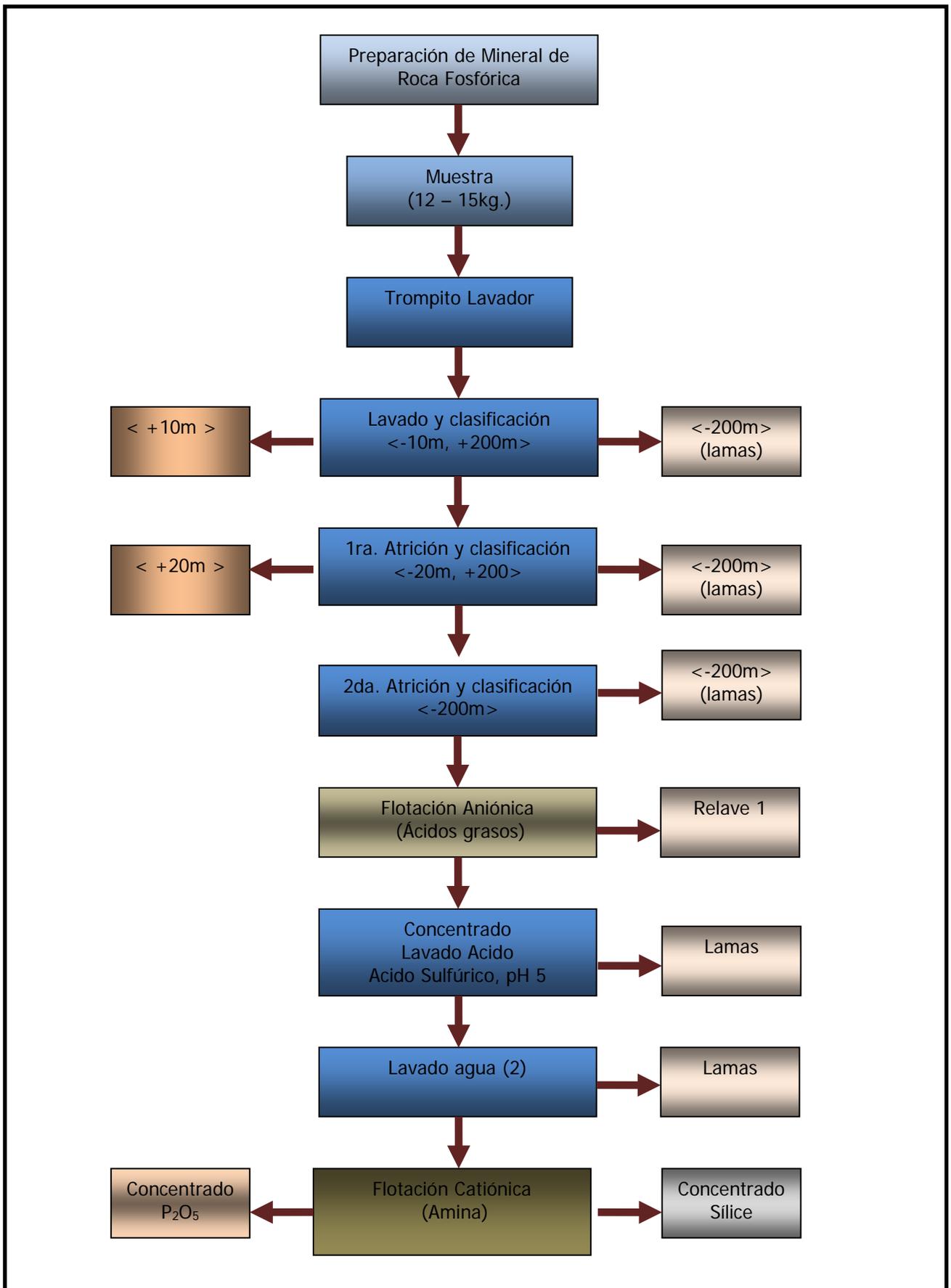
Figura N°7.2 Balance de Materiales de la Propuesta

CONCLUSIONES.

- 1) De acuerdo a lo observado en las etapas de lavado en tambor, clasificación y atrición, las leyes de fosfatos no se llegan a concentrar para lograr los niveles comerciales de 30% P_2O_5 , debido a los contenidos de Sílice y calizas, así como también elementos contaminantes.
- 2) El producto total obtenido por medio del circuito de Clasificación con Hidrociclón en todas las etapas se llega a 28,77% de P_2O_5 , una recuperación de 71,5% con una relación de concentración de 1,6. El circuito de Lavado y clasificación usando el Hidrociclón ayuda en los procesos de concentración de fosfatos.
- 3) En función de las pruebas realizadas, se llega a la conclusión que para obtener un concentrado de fosfato de buena calidad era necesario continuar con procesos de flotación tanto aniónicas como catiónicas y así lograr con los objetivos.
- 4) Se puede observar que con las pruebas en mayores cantidades se replican lo obtenido en muestras pequeñas y de acuerdo a estos resultados, aplicando el proceso de flotación es factible llegar a obtener un concentrado de fosfatos de 30,61% P_2O_5 e insolubles con una ley de 3,09%, con una recuperación total de 78,94% y una relación de concentración total de 1,55.
- 5) Esto se podría optimizar con mejoras de tiempos en lavado, atrición, pruebas de variabilidad en cada capa, ya que estos estudios preliminares de pre-factibilidad se realizaron con mineral no-metálico tomados de trincheras.
- 6) Se podría mejorar también con el uso de reactivos catiónicos (aminas) de mejor performance y tratar de eliminar etapas como la de flotación directa.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

1. A. Sutulov, Flotación de minerales – Flotación de No-metálicos.
2. Fosfatos del Pacifico S.A., Memoria Anual del ejercicio 2009
3. Andrew Mular, Roshan Bhappu – Diseño de Plantas de Procesos de Minerales.
4. José Manzaneda – Procesamiento de Minerales.
5. Adán, J; Cajuste, L.; y Nuñez, R. 1980. Caracterización química, mineralógica y evaluación agronómica de roca fosfórica de diferentes depósitos. Agrociencia- No. 41, pp 95-112.. Centro de Edafología, México.
6. Godoy, S y Chicco, C. 1991. Uso de fosfatos sedimentarios en la alimentación animal. Revista de la Facultad de Agronomía de la UCV. 17:1- 4, 281-298 PP
7. Khan, Naheeda. 1994. Phosphorus: the essential element. Feed Mix. Special issue on phosphates. 4-7 pp.
8. Romero, P. 1991. Desarrollo integral de los fosfatos del suroeste de Venezuela. Revista de la Facultad de Agronomía de la UCV. 17:1- 4, 19-24 pp.
9. Thomsen, J. 1994. From rock to feed: production of inorganic phosphates. Feed Mix. Special issue on phosphates. 16-17 pp,
10. U.S. Department of Commerce, Mineral Commodity Summaries, 1992.
11. Obdulio J. Ferrer Los tipos de fosfatos y su origen, Departamento de Química, Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela. Apartado postal 15205

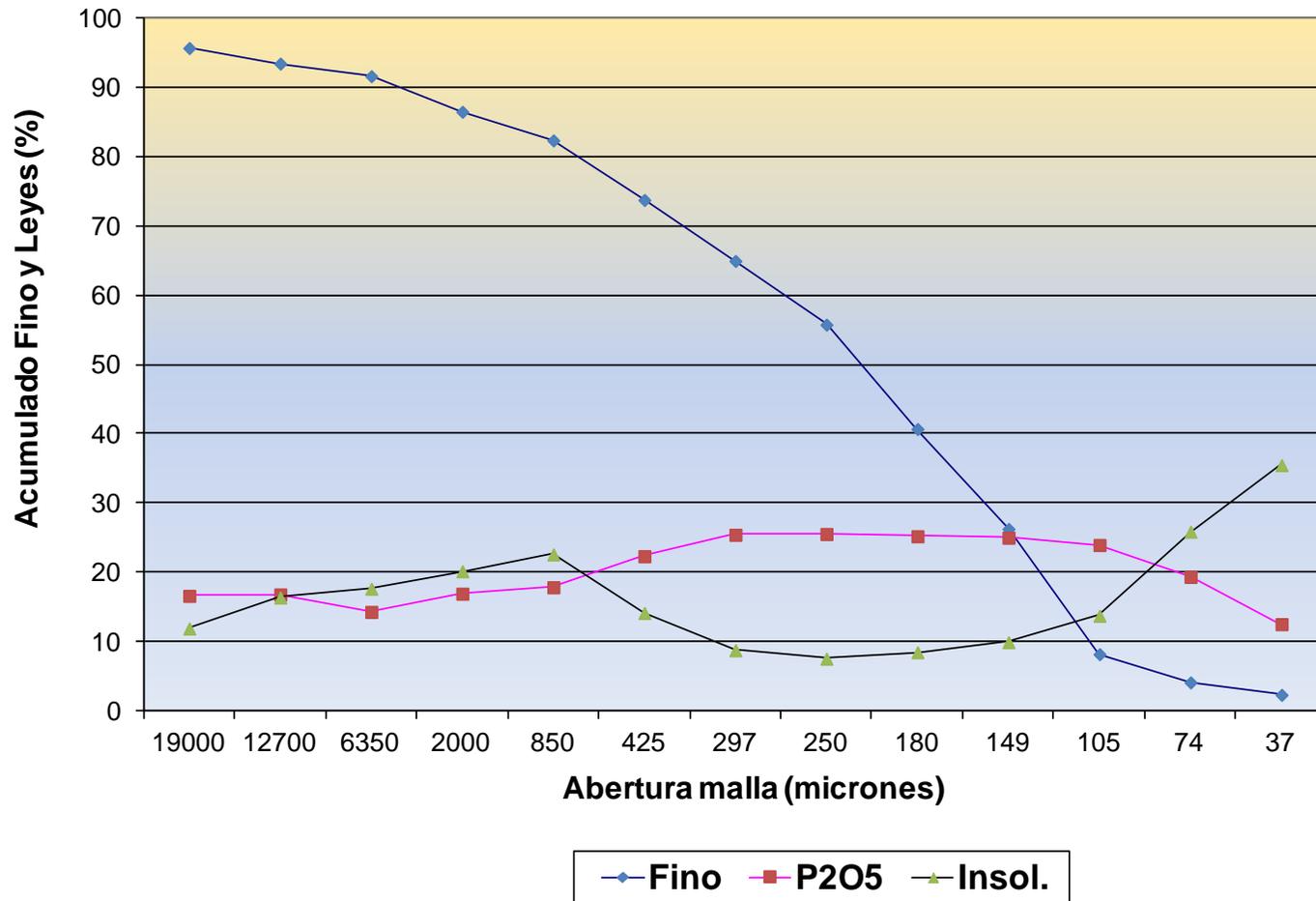


Análisis Granulométrico en Húmedo Valorado de Roca Fosfórica

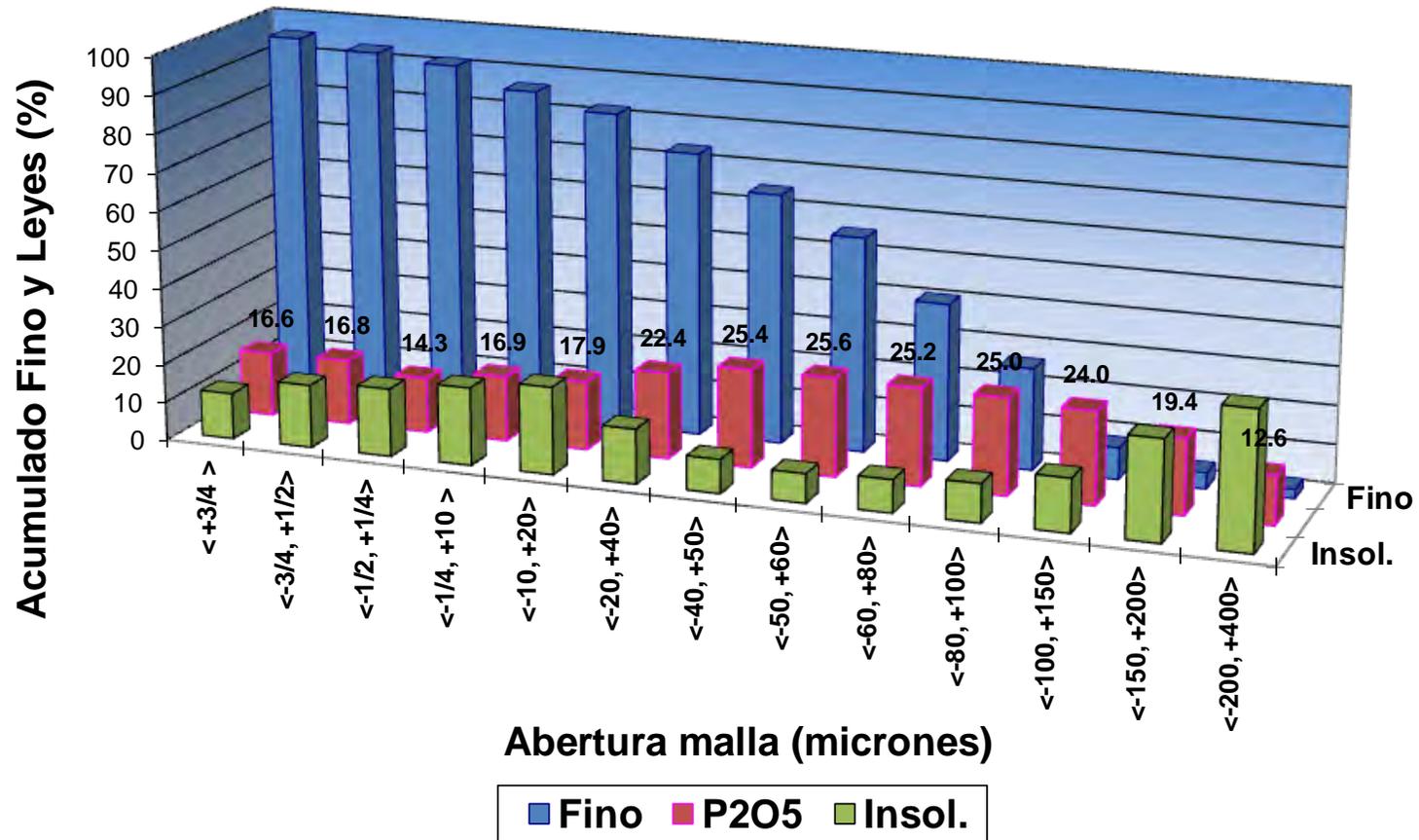
Mineral de Cabeza - Roca Fosfórica

Malla ASTM	Abertura		Peso (grs.)	Peso (%)			Leyes (%)		Distribución (%)	
	micrones	Prom Geom		Parcial	Grueso	Fino	P ₂ O ₅	Insol.	P ₂ O ₅	Insol.
< +3/4 >	19000		214.4	4.33	4.33	95.7	16.6	11.9	3.2	3.7
<-3/4, +1/2>	12700	16848	111.2	2.25	6.58	93.4	16.8	16.4	1.7	2.7
<-1/2, +1/4>	6350	9861	89.9	1.82	8.39	91.6	14.3	17.7	1.2	2.3
<-1/4, +10 >	2000	3136	254.2	5.13	13.53	86.5	16.9	20.2	3.9	7.5
<-10, +20>	850	1487	204.6	4.13	17.66	82.3	17.9	22.6	3.3	6.8
<-20, +40>	425	563	425.4	8.59	26.25	73.8	22.4	14.2	8.6	8.8
<-40, +50>	297	360	435.8	8.80	35.05	64.9	25.4	8.8	10.0	5.6
<-50, +60>	250	273	455.2	9.19	44.24	55.8	25.6	7.6	10.5	5.0
<-60, +80>	180	207	745.4	15.05	59.30	40.7	25.2	8.5	17.0	9.2
<-80, +100>	149	165	713.6	14.41	73.71	26.3	25.0	9.9	16.2	10.4
<-100, +150>	105	125	895.0	18.08	91.79	8.2	24.0	13.8	19.4	18.0
<-150, +200>	74	99	201.6	4.07	95.86	4.1	19.4	25.9	3.5	7.6
<-200, +400>	37	63	88.8	1.79	97.65	2.3	12.6	35.5	1.0	4.6
< -400 >			116.2	2.35	100.00	0.0	3.0	46.5	0.3	7.9
TOTAL			4951.3	100.00			22.3	13.8		

Análisis Granulométrico Húmedo Valorado



Análisis Granulométrico Húmedo Valorado



COMPAÑÍA :
MINA O VETA :

ROCA FOSFORICA

Tipo de Prueba:

ATRICION EN CELDA Y CLASIFICACION SECUNDARIA VARIANDO TIEMPOS

Resumen								
Prueba #	Tiempo (min.)	PESO (%)	Ley (%)		Recup. (%)		R.C.	Recup. Tot. P ₂ O ₅ (%)
			P ₂ O ₅	Insol.	P ₂ O ₅	Insol.		
E08	10	92.5	24.85	10.21	95.8	79.5	1.08	88.84
E09	20	92.6	24.91	9.86	96.5	77.4	1.08	89.54
E10	40	90.9	25.47	9.42	95.6	72.4	1.10	88.63

Atricion y Clasificacion							
Elemento	Unidades	Leyes Cabeza	Lavado Tambor y Clasif 20'	Atric. Clasif 60 %S	Tiempo (min.)		
					10	20	40
P ₂ O ₅	%	21.93	24.32	25.10	24.85	24.91	25.47
Insolubles	%	13.76	12.05	10.51	10.21	9.86	9.42
As	ppm	41	44	61	69	61	66
Cd	ppm	7	5	5	5	5	5
Co	ppm	1	1	1	1	0.5	0.5
Cr	ppm	120	109	102	96	98	90
Fe	%	0.60	0.50	0.42	0.38	0.38	0.34
Mn	ppm	57	57	56	46	51	55
Ni	ppm	14	12	12	9	9	8
Pb	ppm	15	10	11	10	10	10

COMPAÑÍA :
MINA O VETA :

ROCA FOSFORICA

PRUEBA
E08

BALANCE BATCH REPORTE DE PRUEBA EXPERIMENTAL

Tipo de Prueba:

ATRICION EN CELDA Y CLASIFICACION SECUNDARIA VARIANDO TIEMPOS

PRODUCTO	PESO grs.	PESO (%)	LEYES (%), As, Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Pb (ppm)										RECUPERACIONES (%)								REL. CONC.			
			P ₂ O ₅	Insol.	As	Cd	Co	Cr	Fe	Mn	Ni	Pb	P ₂ O ₅	Insol.	As	Cd	Co	Cr	Fe	Mn		Ni	Pb	
< +20 >	54.4	4.2	19.49	20.26	43	8	2	124	0.6	152	18	12	3.4	7.2	2.7	6.6	6.6	4.7	5.2	11.9	6.3	4.7		
< -20, +200 >	1193.8	92.5	24.85	10.21	69	5	1	96	0.38	46	9	10	95.8	79.5	95.4	90.8	72.8	80.0	72.1	78.7	69.6	86.2	1.08	
< -200 >	42.2	3.3	5.76	48.23	38	4	8	517	3.39	156	88	30	0.8	13.3	1.9	2.6	20.6	15.2	22.7	9.4	24.1	9.1		
TOTAL	1290.4	100.0	CABEZAS CALCULADAS										100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	
Cab. Ensayada			24.00	11.88	67	5	1.3	111	0.49	54	12	11												
			24.32	12.05	44	5	1.0	109	0.50	57	12	10												
Condiciones			Observaciones																					
Mineral = 659 grs.			Los Insolubles se concentran en la fraccion mas fina																					
Agua = 439 cc.			El As se concentra en la fracion con los fosfatos																					
Dilucion = 0.7			El Cd se concentra en la fracion con los fosfatos																					
Tiempo = 10 min.			El Co se concentra en la fracion mas fina																					
% S = 60			El Cr se concentra en la fracion mas fina																					
Malla 1 = 20m			El Fe se concentra en la fracion mas fina																					
Malla 2 = 200m			El Mn se concentra en la fracion mas fina																					
			El Ni se concentra en la fracion mas fina																					
			El Pb se concentra en la fracion mas fina																					
% -200 m =																								
% +10 m =																								

Se aprecia que con la atricion de 10 min a 60%S no hay incremento significativo en la ley de P₂O₅ de una cabeza calculada de 24.00 se incrementa a 24.85

La atricion y clasificacion ayuda a eliminar parte de elementos indeseables.

COMPAÑÍA :
MINA O VETA :

ROCA FOSFORICA

PRUEBA
E09

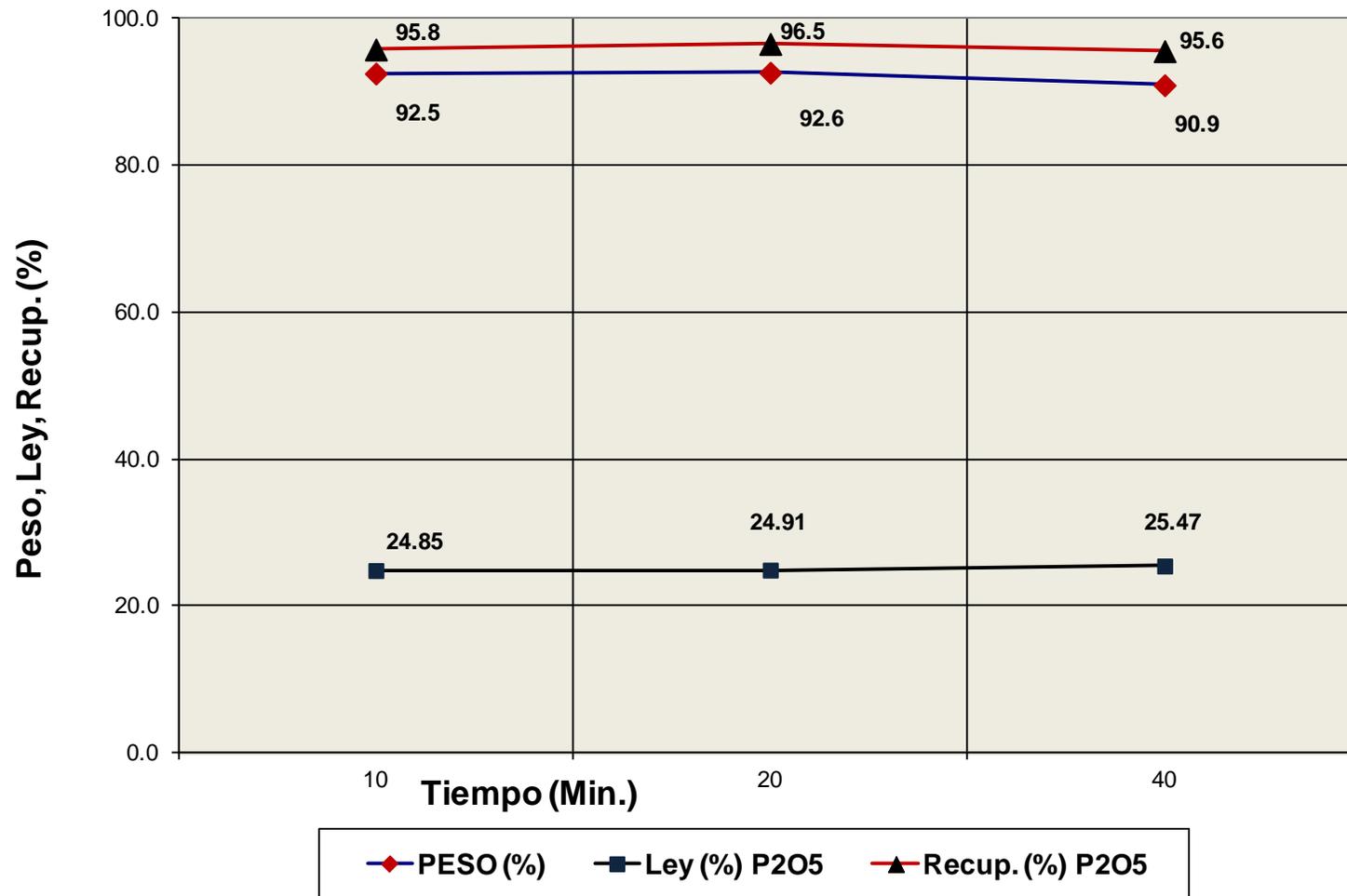
BALANCE BATCH REPORTE DE PRUEBA EXPERIMENTAL

Tipo de Prueba:

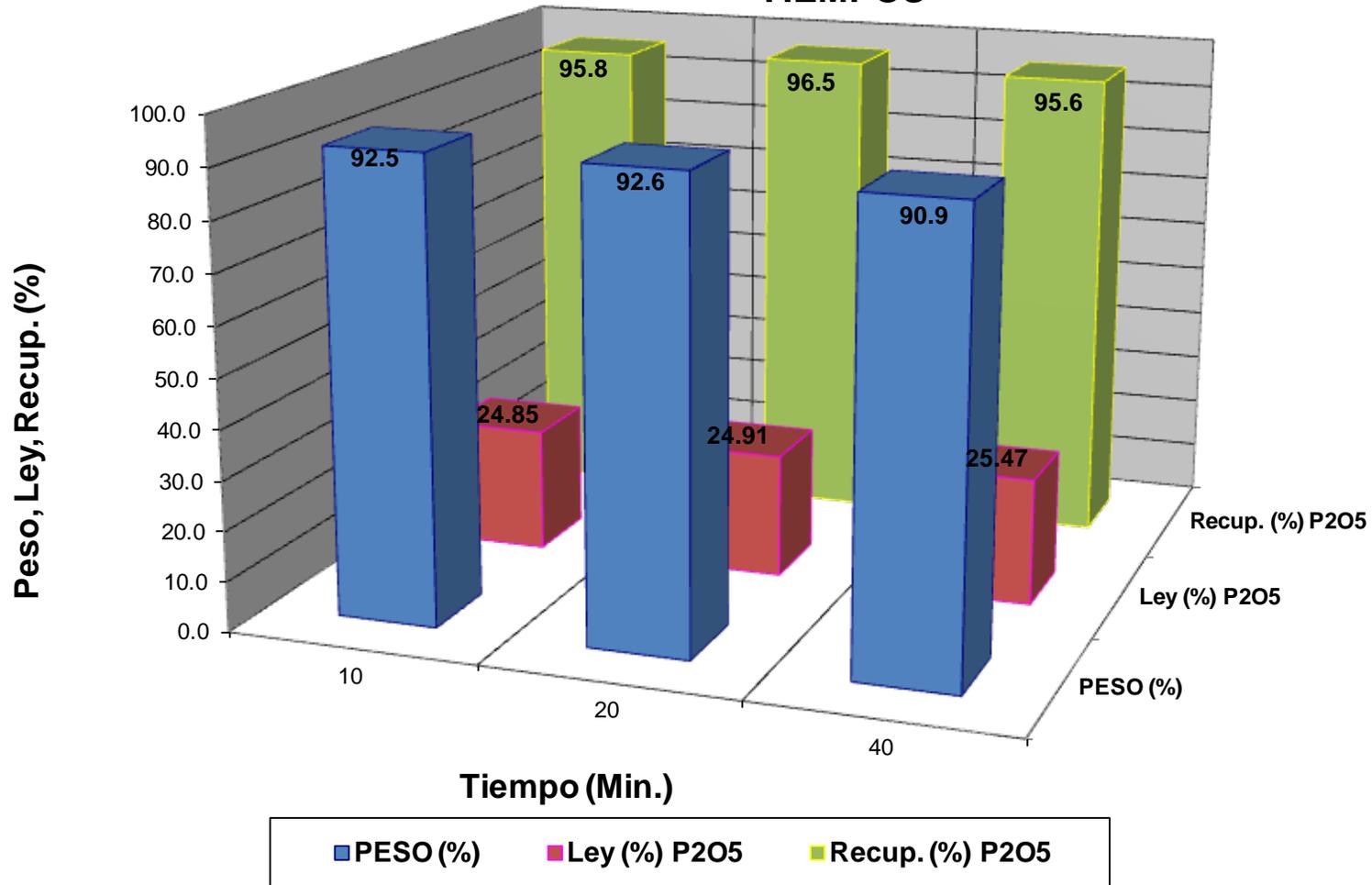
ATRICION EN CELDA Y CLASIFICACION SECUNDARIA VARIANDO TIEMPOS

PRODUCTO	PESO grs.	PESO (%)	LEYES (%), As, Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Pb (ppm)										RECUPERACIONES (%)										REL. CONC.	
			P ₂ O ₅	Insol.	As	Cd	Co	Cr	Fe	Mn	Ni	Pb	P ₂ O ₅	Insol.	As	Cd	Co	Cr	Fe	Mn	Ni	Pb		
< +20 >	39.4	3.0	17.97	21.22	37	8	2	123	0.53	150	17	12	2.3	5.5	1.9	4.8	7.4	3.2	3.2	7.8	4.3	3.4		
< -20, +200 >	1197.6	92.6	24.91	9.86	61	5	0.5	98	0.38	51	9	10	96.5	77.4	96.8	91.7	56.0	78.2	68.7	81.1	68.9	86.5	1.08	
< -200 >	55.9	4.3	6.42	46.76	17	4	7	498	3.34	149	75	25	1.2	17.1	1.3	3.4	36.6	18.6	28.2	11.1	26.8	10.1		
TOTAL	1292.9	100.0	CABEZAS CALCULADAS										100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	
Cab. Ensayada			23.90	11.80	58	5	0.8	116	0.51	58	12	11												
			24.32	12.05	44	5	1.0	109	0.50	57	12	10												
Condiciones			Observaciones																					
Mineral = 659 grs. Agua = 439 cc. Dilucion = 0.7 Tiempo = 20 min. % S = 60 Malla 1 = 20m Malla 2 = 200m			Los Insolubles se concentran en la fraccion mas fina El As se concentra en la fracion con los fosfatos El Cd se concentra en la fracion con los fosfatos El Co se concentra en la fracion mas fina El Cr se concentra en la fracion mas fina El Fe se concentra en la fracion mas fina El Mn se concentra en la fracion mas fina El Ni se concentra en la fracion mas fina El Pb se concentra en la fracion mas fina																					
% -200 m = % +10 m =			Se aprecia que con la atricion de 20 min a 60%S no hay incremento significativo en la ley de P ₂ O ₅ de una cabeza calculada de 23.90 se incrementa a 24.91 La atricion y clasificacion ayuda a eliminar parte de elementos indeseables.																					

ATRICION EN CELDA Y CLASIFICACION SECUNDARIA VARIANDO TIEMPOS



ATRICION EN CELDA Y CLASIFICACION SECUNDARIA VARIANDO TIEMPOS



RESUMEN

Comparativo colectores aniónicos

Prueba N°	Colector		Peso (%)	Leyes (%)		Distribución (%)		Rel. Conc.
	Marca	kg/TM		P ₂ O ₅	Ins.	P ₂ O ₅	Ins.	
E11	Acido Oleico	2.34	48.7	28.65	3.84	52.3	20.0	2.06
E12	Acido Oleico/SM-15	2.34	70.3	28.11	4.80	74.4	35.8	1.42
E13	Acido Oleico/2875L	2.34	11.1	25.28	9.79	10.6	11.6	8.98
E14	Flotisor FS-2	2.23	87.9	27.93	5.28	92.9	48.9	1.14
E15	Flotisor F-S2/SM-15	2.23	88.8	27.67	5.84	93.7	52.4	1.13
E16	Flotisor FS-2/2875L	2.23	58.9	28.24	4.72	62.7	28.3	1.70
E17	QT-4080	2.05	56.6	29.24	6.64	59.7	35.3	1.77

Comparativo de dosificación Colectores Aniónicos

Prueba N°	Colector		Peso (%)	Leyes (%)		Distribución (%)		Rel. Conc.
	Marca	kg/TM		P ₂ O ₅	Ins.	P ₂ O ₅	Ins.	
E18	Acido Oleico	1.95	11.4	26.26	7.44	11.1	9.1	8.74
E11	Acido Oleico	2.34	48.7	28.65	3.84	52.3	20.0	2.06
E13	Acido Oleico/2875L	2.34	11.1	25.28	9.79	10.6	11.6	8.98
E19	Acido Oleico/2875L	3.12	78.5	28.31	4.08	83.8	34.3	1.27
E12	Acido Oleico/SM-15	2.23	70.3	28.11	4.80	74.4	35.8	1.42
E20	Acido Oleico/SM-15	2.73	87.0	28.45	5.19	92.3	46.2	1.15
E14	Flotisor FS-2	2.23	87.9	27.93	5.28	92.9	48.9	1.14
E21	Flotisor FS-2	2.98	89.4	28.23	5.28	94.3	50.1	1.12
E16	Flotisor FS-2/2875L	2.23	58.9	28.24	4.72	62.7	28.3	1.70
E22	Flotisor FS-2/2875L	2.98	58.2	29.47	3.58	62.2	23.9	1.72
E23	Flotisor FS-2/SM-15	1.86	73.6	28.36	4.96	77.8	38.3	1.36
E15	Flotisor FS-2/SM-15	2.23	88.8	27.67	5.84	93.7	52.4	1.13

Comparativo de Colectores Catiónicos

Prueba N°	Colector		Peso (%)	Leyes (%)		Distribución (%)		Rel. Conc.
	Marca	kg/TM		P ₂ O ₅	Ins.	P ₂ O ₅	Ins.	
E28	MT 302 R30	0.18	3.5	14.6	33.93	1.8	12.3	28.73
E29	MT 302 R30	0.18	3.6	16.03	28.14	2.1	10.8	27.81
E30	F-SM-15	0.10	3.5	16.41	30.08	2.0	10.9	28.64

COMPAÑÍA :
MINA O VETA :

ROCA FOSFORICA
BALANCE BATCH REPORTE DE PRUEBA EXPERIMENTAL
FLOTACION DIRECTA

FECHA

PRUEBA
E22

PRODUCTO	PESO grs.	PESO (%)	LEYES (%)							RECUPERACIONES (%)							REL. CONC.
			P ₂ O ₅	SiO ₂	Ins.					P ₂ O ₅	SiO ₂	Ins.					
Conc. P2O5	573.8	58.2	29.47	3.18	3.58					62.2	23.0	23.9					1.72
Relave	412.8	41.8	24.93	14.79	15.85					37.8	77.0	76.1					
TOTAL	986.6	100.0	CABEZAS CALCULADAS							100.0	100.0	100.0					
			27.57	8.04	8.71												
Cab. Ensayada			27.18	9.57													

Atricion	Flotacion Anionica	Flotacion Cationica	Observaciones:																																																				
Mineral = 1000 grs. Malla1 = 20 m Malla2 = 170 m Tiempo = Agua = cc. pH = 7.9	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Acond.</th> <th>Minutos</th> <th>pH</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>4</td> <td>10.5</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="2">Reactivos</th> <th colspan="2">kg/TM</th> </tr> <tr> <td>NaOH (gr)</td> <td>0.7</td> <td colspan="2">0.70</td> </tr> <tr> <td>NaSiO2 ml.</td> <td>10</td> <td colspan="2">0.50</td> </tr> <tr> <td>Flotador FS-2 gotas</td> <td>400</td> <td colspan="2">2.98</td> </tr> <tr> <td>Flotador 2875-L gotas</td> <td>50</td> <td colspan="2">0.66</td> </tr> <tr> <td>Diesel - 2 gotas</td> <td>100</td> <td colspan="2">0.72</td> </tr> </tbody> </table>	Acond.	Minutos	pH			4	10.5		Reactivos		kg/TM		NaOH (gr)	0.7	0.70		NaSiO2 ml.	10	0.50		Flotador FS-2 gotas	400	2.98		Flotador 2875-L gotas	50	0.66		Diesel - 2 gotas	100	0.72		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Acond.</th> <th>Minutos</th> <th>pH</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="2">Reactivos</th> <th colspan="2">kg/TM</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Acond.	Minutos	pH						Reactivos		kg/TM						Lavado en tambor T (min.) = 10 Clasif Primaria: Mallas <10, 200> 1ra. Atricion: T (min.) = 10 Clasif Secundaria: Mallas <20, 200> 2da. Atricion: T (min.) = 10 Clasif Terciaria: Mallas < +170 >				
Acond.	Minutos	pH																																																					
	4	10.5																																																					
Reactivos		kg/TM																																																					
NaOH (gr)	0.7	0.70																																																					
NaSiO2 ml.	10	0.50																																																					
Flotador FS-2 gotas	400	2.98																																																					
Flotador 2875-L gotas	50	0.66																																																					
Diesel - 2 gotas	100	0.72																																																					
Acond.	Minutos	pH																																																					
Reactivos		kg/TM																																																					
Reactivos ml. kg/TM																																																							
Sin reactivos	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Flotacion Rougher</th> <th>Minutos</th> <th>pH</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>4</td> <td>10</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ac. Oleico gotas</td> <td>200</td> <td colspan="2">1.56</td> </tr> <tr> <th>1ra. Limpieza</th> <th>Minutos</th> <th>pH</th> <th></th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th></th> <th>Minutos</th> <th>pH</th> <th></th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Flotacion Rougher	Minutos	pH			4	10		Ac. Oleico gotas	200	1.56		1ra. Limpieza	Minutos	pH							Minutos	pH						<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Flotacion Rougher</th> <th>Minutos</th> <th>pH</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>1ra. Limpieza</th> <th>Minutos</th> <th>pH</th> <th></th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th></th> <th>Minutos</th> <th>pH</th> <th></th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Flotacion Rougher	Minutos	pH						1ra. Limpieza	Minutos	pH							Minutos	pH						
Flotacion Rougher	Minutos	pH																																																					
	4	10																																																					
Ac. Oleico gotas	200	1.56																																																					
1ra. Limpieza	Minutos	pH																																																					
	Minutos	pH																																																					
Flotacion Rougher	Minutos	pH																																																					
1ra. Limpieza	Minutos	pH																																																					
	Minutos	pH																																																					

Equipos usados en Lavado, Clasificación, Atrición y Deslamado con Hidrociclón y flotación:

Equipos y materiales	Observaciones
Lavado y Clasificación:	
Trompito Lavador	
Malla 10 Tyler	2 mm.
Malla 20 Tyler	850 micras
Equipo Hidrociclón Eral con apex 1/2 pulgada	Presión 3 - 4 PSI
Bomba SRL pulpa	1 1/2 "x 1 1/4"
Atricionador	1200 RPM
Baldes	18 Lts.
Flotación Aniónica:	
Equipo Denver	1300 RPM
Celdas (3Kg. c/u) 30% Sólidos	
Fuentes de secado	Varios
Reactivos	Varios
Lavado Acido	
Equipo Denver usado como agitador	1300 RPM
Reactivos	Varios
Flotación Catiónica	
Equipo Denver	1300 RPM
Celdas (3Kg. c/u) 30% Sólidos	
Fuentes de secado	Varios
Reactivos	Varios
Muflas (4)	

Reactivos y costos en la Etapa de Flotación:

Reactivos	Cantidad kg/TM	Precio (\$US/kg)	Proc. Mineral Anual TM	Reactivo/Mes (kg.)	Costo Mensual (\$)	Costo Diario (\$)	Costo \$/TM
Flotación Aniónica							
Hidróxido de Sodio:	0.53	1.13	1,639,344	72,404	82,058	2,735	0.60
Silicato de Sodio:	0.56	0.91	1,639,344	76,503	69,362	2,312	0.51
Diesel 2:	0.54	0.98	1,639,344	73,770	72,295	2,410	0.53
Acido Oleico:	2.04	4.31	1,639,344	278,689	1,200,219	40,007	8.79
Flotador SM-15:	0.37	4.00	1,639,344	50,546	202,186	6,740	1.48
Costo parcial de la Etapa						54,204	11.90
Lavado Acido							
Acido Sulfúrico:	2.3	0.15	1,639,344	314,208	47,131	1,571	0.35
Flotación Catiónica							
Hidróxido de Sodio:	0.09	1.13	1,639,344	12,295	13,934	464	0.10
Almidón	0.56	0.65	1,639,344	76,503	49,727	1,658	0.36
Acido Fosfórico:	5.58	1.81	1,639,344	762,295	1,382,295	46,077	10.12
MT 302 R32:	0.18	3.00	1,639,344	24,590	73,770	2,459	0.54
Costo parcial de la Etapa						50,658	11.12
Costo Total en Reactivos- Etapa Flotación						106,433	23.37

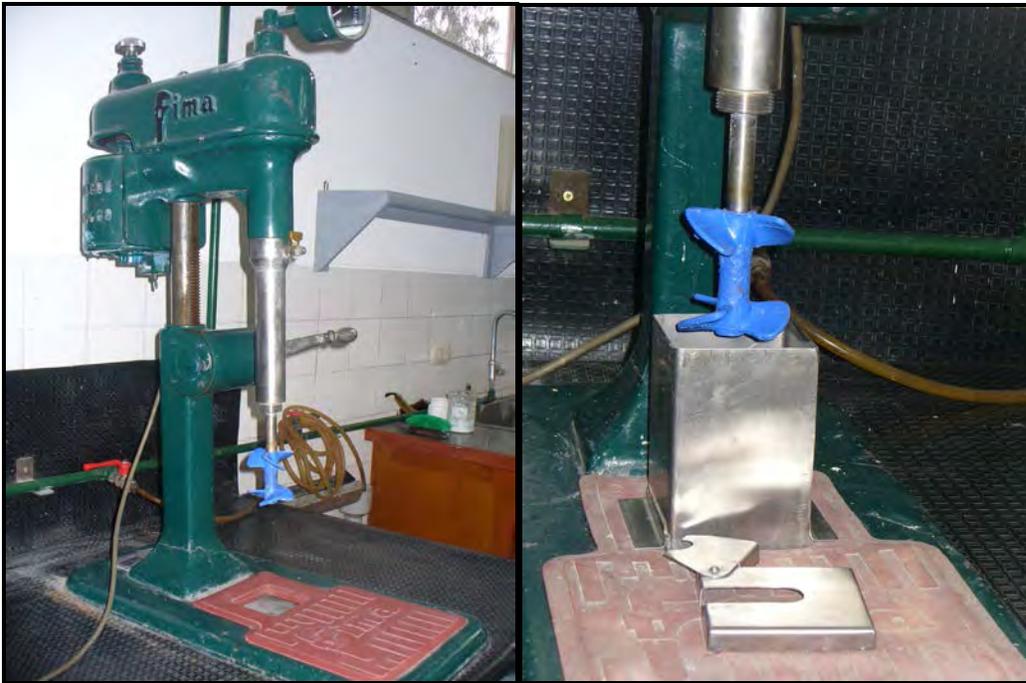
EQUIPOS USADOS EN LAS PRUEBAS DE CONCENTRACION DE FOSFATOS



Lavado en Tambor



Ckto deslamado con Hidrociclón



Equipo de Atricion



Equipo de Flotacion