

**Diseño de una planta química para la obtención de ácido
fosfórico basado en el estudio de la necesidad de productos
fosfatados en Cuba**

Design of a chemical plant to obtain phosphoric acid based on the
study of the need for phosphate products in Cuba

Claudia Guirola-Céspedes^{1*} <http://orcid.org/000-0002-7455-9590>

Erenio González-Suárez¹ <http://orcid.org/0000-0001-5741-8959>

Nestor Ley-Chong¹ <http://orcid.org/0000-0001-5575-246x>

Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química y Farmacia.
Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas; Santa Clara, Villa Clara, Cuba

*Autor para la correspondencia. Correo electrónico cguirola@uclv.edu.cu

RESUMEN

La producción de ácido fosfórico como fuente de numerosos productos fosfatados representa uno de los temas de mayor interés económico en la actualidad para Cuba. La industria de este producto deriva una serie de fosfatos que pueden ser utilizados en la producción de fertilizantes, la cual, en nuestro país, es muy escasa y presenta una alta demanda. Además, existen reservas naturales de la roca fosforita que se pueden emplear para producir el ácido fosfórico, desarrollar la industria de fertilizantes y a su vez potenciar la agricultura y economía nacionales. El presente trabajo tiene como objetivo proponer el diseño preliminar de una planta química para la obtención de ácido fosfórico, a partir de la fosforita cubana. Para ello se realizó una búsqueda bibliográfica que aportó datos de gran utilidad para el proceso y a partir de la misma se estableció el esquema de producción con

etapas fundamentales de reacción química, filtración y evaporación. Se efectuaron los balances de materiales correspondientes y se determinó el equipamiento necesario que incluye reactores, filtros prensa y un evaporador. Finalmente se realizó la evaluación económica a través de la determinación de indicadores de rentabilidad, que reveló un valor actual neto de \$10 205 137,34, una tasa interna de retorno de 65% y un período de recuperación de la inversión de aproximadamente 1,8 años, lo que demuestra que el proceso de obtención de ácido fosfórico a partir de la fosforita resulta económicamente viable.

Palabras clave: ácido fosfórico; roca fosfórica; fertilizantes; productos fosfatados.

ABSTRACT

The production of phosphoric acid as a source of numerous phosphate products represents one of the issues of greatest economic interest for Cuba today. The industry of this product derives a series of phosphates that can be used in the production of fertilizers, which, in our country, is very scarce and has a high demand. In addition, there are natural reserves of phosphorite rock that can be used to produce phosphoric acid, develop the fertilizer industry and in turn boost agriculture and the national economy. The objective of this work is to propose the preliminary design of a chemical plant to obtain phosphoric acid from Cuban phosphorite. For this, a bibliographic search was carried out that provided very useful data for the process and from it the production scheme was established with fundamental stages of chemical reaction, filtration and evaporation. The corresponding material balances were made and the necessary equipment was determined, which includes reactors, press filters and an evaporator. Finally, the economic evaluation was carried out through the determination of profitability indicators, which revealed a net present value of \$10 205 137,34, an internal rate of return of 65% and an investment recovery period of approximately 1,8 years, which demonstrates that the process of obtaining phosphoric acid from phosphorite is economically viable.

Keywords: phosphoric acid; phosphate rock; fertilizers; phosphate products.

Recibido: 15/01/2023

Aceptado: 18/04/2023

Introducción

El ácido fosfórico (H_3PO_4), constituye una fuente de compuestos llamados fosfatos que cuenta con numerosas aplicaciones en diversos sectores de interés económico y comercial. Se obtiene mediante el tratamiento de rocas de fosfato de calcio con ácido sulfúrico, generalmente, en la industria de los huesos calcinados o del tricálcico natural.⁽¹⁾ La industria de este producto incluye una serie de minerales que son de gran importancia, entre ellos, los pertenecientes al grupo apatita con la fórmula general $Ca_{10}(PO_4)_6X_2$, donde X puede ser cloruro, fluoruro o hidróxido. Entre los fosfatos naturales más comunes derivados del ácido ortofosfórico podemos citar: apatita o fosforita, wawellita, vivianita y piromorfita, los cuales poseen gran importancia en el metabolismo de los animales y plantas, de ahí que los fosfatos tengan gran participación en la producción de fertilizantes.

La necesidad de producir ácido fosfórico en Cuba se debe fundamentalmente a la producción de fertilizantes minerales, como productos a base de nitrógeno, fosfato y potasio, la cual es muy escasa y presenta una demanda que se satisface principalmente a través de importaciones. El diseño de una planta química capaz de producir dicho ácido no solo contribuiría favorablemente a la fertilización de los suelos para la explotación de los cultivos sino que potenciaría además el desarrollo del programa alimentario nacional.

Su producción involucra como materia prima fundamental, a la roca fosfórica o fosforita, la cual de sus componentes el primordial es el fósforo, que actúa como fertilizante. Además, posee calcio y silicio que corrige la acidez del suelo, estimula el desarrollo de la raíz, interviene en la formación de los órganos de reproducción y acelera la maduración de los frutos. Ubicada en la zona de Trinidad de Guedes, perteneciente a la provincia de Matanzas, se encuentra el yacimiento de fosforita

más importante en Cuba con importantes reservas de fosforitas granulares (284 900 t), con un contenido medio de P_2O_5 de 23,55%, fosforitas arcillosas de cubierta, (85 139,4 t) con un valor medio de 12,29% de P_2O_5 y fosforitas arcillosas margosas (74 323,2 t) con valor medio de 14,03 % de P_2O_5 . Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente, en el presente trabajo se propone el diseño preliminar de una planta química para la obtención de ácido fosfórico, a partir del mineral conocido como la fosforita cubana.

Materiales y métodos

Para comenzar el diseño de la planta de producción de ácido fosfórico es necesario partir de la revisión bibliográfica, para conocer las principales aplicaciones y características del producto, así como de las materias primas. La caracterización química de las rocas fosfóricas fue realizada por el Laboratorio Central de Minerales "José I. del Corral". (2,3, 4, 5, 6, 7, 8, 9)

De la propia bibliografía se analizan las diferentes alternativas de producción, de las cuales, la más viable, fue mediante el proceso dihidrato. Para dicha alternativa se establecen las condiciones de operación y el esquema de producción. Luego se efectúan los balances de materiales correspondientes y se determina el equipamiento necesario. El diseño incluye la evaluación económica de la planta a través de los indicadores económicos Tasa Interna de Retorno, Valor Actual Neto y Periodo de Recuperación al Descontado.

Resultados y discusión

La fosforita y sus usos

Si bien es un elemento esencial para todas las formas de vida, representa uno de los tres macronutrientes que necesitan las plantas. El principal uso de la roca fosfórica es la producción de una gama de fosfatos y fertilizantes de multinutrientes que son fundamentales para aumentar el rendimiento de los

cultivos y mantener el suministro mundial de alimentos. Sin embargo, el fósforo es también un suplemento nutritivo importante en la alimentación animal, cuya demanda es determinada por la producción mundial de carne. Además, se requieren cantidades más pequeñas de fósforo para una amplia gama de aplicaciones industriales y alimentarias.⁽¹⁰⁾

Cerca del 80 % de toda la roca fosfórica se utiliza para producir ácido fosfórico por vía húmeda (WPA), el cual es utilizado para producir una variedad de fertilizantes sucesivos y otros productos.

Principales aplicaciones del ácido fosfórico

- Fertilizantes fosfatados concentrados: este es el segmento más significativo, incluyendo el fosfato diamónico (DAP), el fosfato monoamónico (MAP) y el superfosfato triple (TSP). Estos fertilizantes se producen a gran escala y se comercializan a nivel mundial en grandes volúmenes.
- Fertilizante multinutriente: el WPA puede utilizarse para producir una amplia gama de formulaciones de micronutrientes 'NPK', cuya demanda ha ido en aumento en los últimos años.
- Alimento para animales: los suplementos alimenticios para animales que contienen fósforo, como el fosfato dicálcico (DCP), se producen por la vía del WPA.
- Aplicaciones industriales y alimentarias: el WPA puede purificarse para producir un ácido de alta pureza para su uso como intermediario en la producción de fosfatos industriales y alimentarios. Un uso importante de este ácido purificado es en la producción de sales de fosfato, como el tripolifosfato de sodio (STPP). Ver figura 1

El ácido fosfórico también es utilizado en la industria de alimentos y como ingrediente para bebidas no alcohólicas, por ejemplo, en refrescos tipo cola para darles un gusto levemente ácido.⁽¹¹⁾ Es muy útil en el laboratorio debido a su resistencia a la oxidación, a la reducción y a la evaporación. Además, es empleado como pegamento de prótesis dentales y como catalizador en

metales inoxidables. Se emplea para producir fosfato de calcio sintético y así recubrir implantes ortopédicos que son utilizados a su vez en la reparación del sistema óseo del cuerpo humano. También en los fosfatos que se utilizan como ablandadores de agua y detergentes.⁽¹²⁾ Ver figura 1

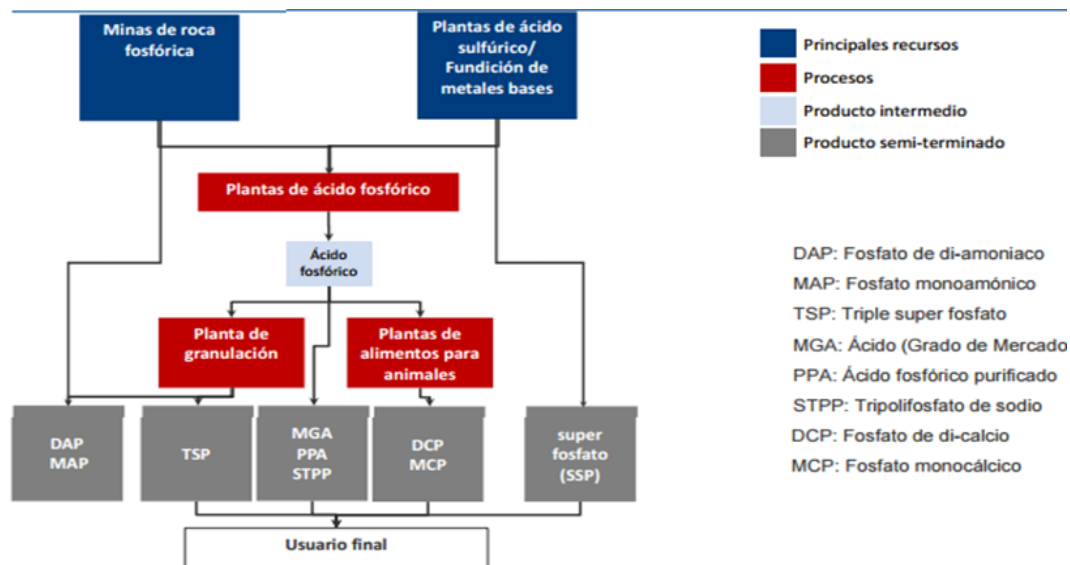


Fig. 1- Cadena de valor industrial de fosfato ⁽¹³⁾

Principales alternativas de obtención de ácido fosfórico

Hay muchos tipos de procesos de fabricación de ácido fosfórico, pero los principios básicos mencionados son los mismos para todos. La cantidad de ácido fosfórico que queda en el yeso derivado puede variar con la diferencia de la forma cristalina del sulfato de calcio.^(14, 15)

El ácido fosfórico se puede obtener en forma de anhídrita, semihidrato o dihidrato. Por último, existen los procesos que obtienen una calificación final determinada en una sola etapa y los que lo hacen en varias etapas.⁽¹⁵⁾

En la tabla 1 se muestran los diferentes procesos de obtención de ácido fosfórico debido a las diferentes rocas y a los sistemas de eliminación del yeso.

Tabla 1- Procesos de obtención de ácido fosfórico

Proceso dihidrato	Procesos: Prayon, Rhone Poulenc, Dorr-Oliver, Nissan Chemical y otros
Proceso hemi-dihidrato	Nissan Chemical H-process, Mitsubishi Chemical Industry process y Nippon Kokan process
Proceso di-hemidrato	Central-Prayon
Procesos hemihidrato	Fisons HH y procesos Occidentales
Proceso hemi-dihidrato modificado	Fisons HDH Nissan Chemical

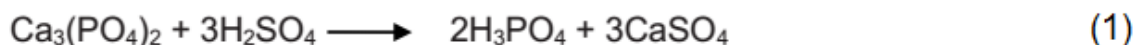
Proceso Dihidrato

El proceso químico del ácido fosfórico por vía húmeda (Dihidrato) se compone de las siguientes etapas:

Recepción de la roca: consiste en el almacenamiento de la roca proveniente de la mina y su posterior secado como parte de su preparación para las etapas siguientes del proceso.

Molienda: la molienda de la roca se realiza para obtener una mayor superficie de contacto entre el ácido sulfúrico y el P_2O_5 (roca fosfática) en el área de reacción, de esta forma se aprovecha al máximo el contenido fosfático de la roca y ocurre en un molino de bolas. Luego, la roca ya micromizada se clasifica y separa en finos óptimos que van para la sección de reacción y los granos gruesos que regresan al molino.

Reacción: la química básica del proceso húmedo es muy simple. El fosfato tricálcico en la roca fosfórica se convierte por reacción química con ácido sulfúrico concentrado en ácido fosfórico y sales insolubles de sulfato de calcio.



La roca fosfática seca y molida se alimenta al reactor, así como el ácido sulfúrico al 98% y el ácido fosfórico al 17% de P_2O_5 proveniente de la etapa de filtración. La reacción ocurre en un Reactor Tanque Continuamente Agitado (CSTR, por sus siglas en inglés), donde se produce un medio de reacción compuesto fundamentalmente por cristales de yeso en crecimiento, ácido fosfórico en fase líquida (al 28% de P_2O_5), cantidades controladas de iones sulfato en solución,

agua y otros compuestos procedentes de la roca. La formación de espuma se controla adicionando antiespumante en el reactor. La operación es discontinua, pero se utilizan tres reactores en cascada: dos tanques de reacción y un tanque de envejecimiento para hacerla de forma continua debido a que el tiempo de reacción es de 6 h. En el tanque de reacción ocurre el ataque de ácido sulfúrico con la roca fosfórica y el ácido fosfórico débil (17% de P_2O_5) que se recircula de la etapa de filtración. El tanque de envejecimiento es para que la reacción ocurra completamente y que sirva como alimentación al sistema de filtración.

La reacción entre la roca fosfórica y el ácido sulfúrico es autolimitada, porque se forma una capa insoluble de sulfato de calcio en la superficie de las partículas de la roca. Este problema se controla, manteniendo la roca en contacto con ácido fosfórico recirculado a la reacción, para convertirla lo más rápido posible a fosfato monocálcico y entonces precipitando el sulfato de calcio junto con el ácido sulfúrico⁽¹⁶⁾, para ello la etapa cuenta con un sistema de recirculación del lodo que ayuda a mantener la temperatura del lodo de reacción en 80°C y la formación del sulfato de calcio en su forma deshidratada; luego el lodo rebosa al tanque. Los gases son trasladados a través de una corriente de aire inducido hacia el lavador de gases (lavadero de gases Venturi), en donde son abatidos por medio de una gran cantidad de agua y una vez depurados son expulsados a la atmósfera. Finalmente, el lodo que se encuentra en el tanque es enviado a la sección de filtración.

Filtración: el lodo proveniente de la sección de reacción se hace pasar por un filtro prensa, los sólidos son separados del ácido fosfórico y la torta de yeso remanente es sometida a dos lavados con agua caliente la cual se va reconcentrando en cada etapa del lavado hasta llegar al 28% de P_2O_5 . El ácido fosfórico filtrado en la primera sección (ácido producido al 28% P_2O_5) es enviado al tanque sedimentador (sistema de clarificación) antes de ser bombeado a la sección de evaporación. El segundo filtrado (17% P_2O_5 , producto del primer lavado) es retornado hacia el reactor. El tercer filtrado (producto del lavado de agua caliente) es recirculado como fluido del lavado de la torta en la segunda sección para obtener el primer filtrado. El yeso (< 1,5% P_2O_5 , base seca) se

descarga al tanque de yeso donde con ayuda del agitador es mezclado con agua fría, y finalmente es enviado al sistema de disposición de yeso.

Evaporación: el ácido obtenido en el primer filtrado de la sección de filtración con una concentración de 28% P_2O_5 aproximadamente, es enviado a un sistema de evaporación al vacío con recirculación forzada, donde es concentrado hasta 40 % P_2O_5 . El proceso de concentración se lleva a cabo en un evaporador, conectado a un intercambiador de calor alimentado con vapor de baja presión, el cual mantiene la temperatura del ácido recirculado en 80°C. El ácido recirculado se mezcla con el ácido alimentado antes de entrar a la cámara de vacío, incrementado así su concentración hasta 40% de P_2O_5 . El sistema de evaporación opera a una presión de vacío entre 140 y 180 mmHg, para que el punto de ebullición del agua disminuya hasta una temperatura entre 79 y 80°C. El ácido fosfórico al 40% P_2O_5 es enviado a los tanques de almacenamiento.

Almacenamiento: el ácido contenido es almacenado en lugares venteados secos y frescos apartados del calor solar a una temperatura entre (40-75) °C.

A continuación, se muestra un diagrama de flujo de este proceso (figura 2):

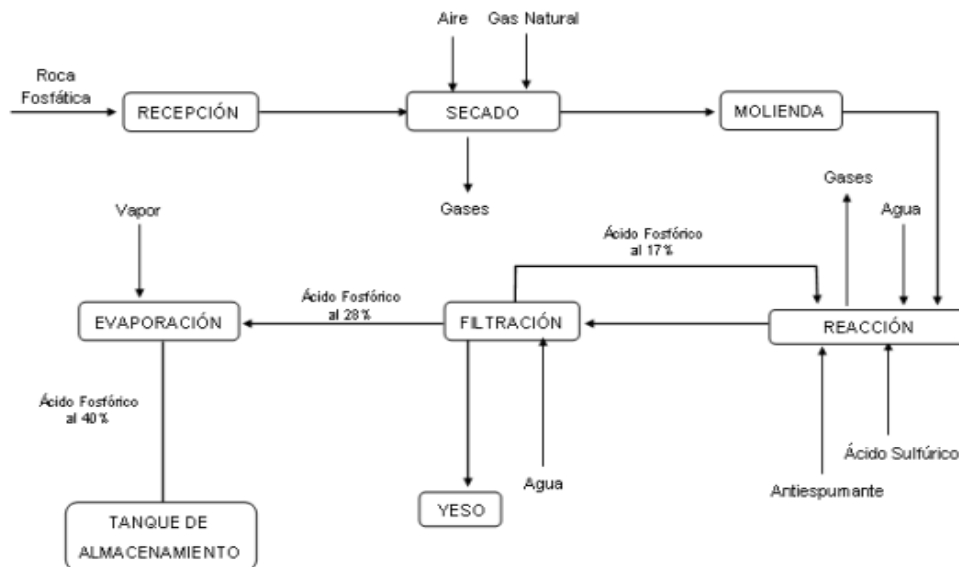


Fig. 2- Proceso Dihidrato ⁽¹⁰⁾

Balance de materiales

Según Srivasta,⁽¹⁷⁾ la información necesaria que aporta datos para la realización de los balances se muestra en la tabla 2. La tabla 3 revela los resultados obtenidos en los balances de materiales.

Tabla 2- Datos necesarios para los balances de materiales

Datos	Valor	Unidad de medida
Concentración de P ₂ O ₅ del licor del lodo	28	%
Gravedad específica del licor	1,3	-
Composición del licor en el lodo	75	% masa
Composición del yeso en el lodo	25	% masa
Gravedad específica del yeso	2,32	-
Cantidad de ácido sulfúrico que no reacciona	2,5	%
P ₂ O ₅ pérdidas en filtrado	3,0	%
% de ácido sulfúrico	98	%

Tabla 3- Resultados de los balances de materiales

Balance de Materiales	Resultados	Unidad
98% H ₂ SO ₄ requerido	28,36	t/d
Consumo de roca fosfórica	28,88	t/d
Yeso	48,71	t/d
Lodo en el reactor	83,99	m ³
P ₂ O ₅ en el licor	10,65	T
P ₂ O ₅ en la roca	8,13	T
P ₂ O ₅ reciclado	2,52	T
Agua para la cristalización	10,23	T
Agua para la vaporización	9,62	T
Licor en el lodo	62,99	m ³
H ₃ PO ₄ contenido en el licor	14,69	T
H ₂ SO ₄ que no reacciona en el licor	1,57	T
Al ₂ O ₃	0,36	T
Fe ₂ O ₃	0,39	T
MgO	0,05	T
F-	0,03	T
CaO	0,10	T
Total de los componentes en el licor	37,05	T
Agua contenida en el 30% de P ₂ O ₅ (lodo,)	44,84	T
P ₂ O ₅ donde hay menos pérdidas en el filtrado	8,17	T
Agua para la dilución	34,41	T
Agua contenida en la roca	0,43	T
Agua contenida en H ₂ SO ₄	0,02	T
Agua utilizada en el proceso	53,80	T
Volumen del ácido Recirculado	53,77	m³

Equipamiento necesario

En la tabla 4 se muestra el equipamiento necesario para el proceso se establece a partir de los resultados de los balances de masa y energía correspondientes procesados por Armas.¹⁰

Tabla 4- Equipamiento necesario

Etapa	Equipo	Cantidad	Parámetros principales
Reacción Química	Tanque de reacción	2	V = 10 m ³ H= 2,63 m D= 2,19 m
	Tanque de envejecimiento	1	V = 20m ³ H= 3,32 m D= 2,76 m
Filtración	Filtros <u>Sperry</u>	4	Ancho = 1,65 m Altura = 2,05 m Volumen = 28,29 m ³
Evaporación	Evaporador	1	A = 26,42 m ²
Almacenamiento	Tanques de almacenamiento de H ₂ SO ₄	1	V = 18 m ³
	Tanque de almacenamiento de P ₂ O ₅ al 32 %	1	V = 17 m ³

Evaluación Económica

La evaluación económica de la planta propuesta fue realizada según la metodología del Peters and Timmerhaus.⁽¹⁸⁾ Para ello, fueron determinados los costos de inversión y producción de la planta, los cuales fueron procesados con el objetivo de valorar la factibilidad económica del proceso y así determinar los indicadores dinámicos de rentabilidad, que aparecen en la tabla 5.

Tabla 5- Indicadores de rentabilidad

Indicador	Valor
Valor Actual Neto (VAN)	\$10 205 137,34
Tasa de Rendimiento Interna (TIR)	65 %
Plazo de Recuperación al Descontado (PRD)	1,8

A continuación, se observa en la figura 3 el PRD, el cual revela un periodo de recuperación de la inversión de 1,8 años aproximadamente.

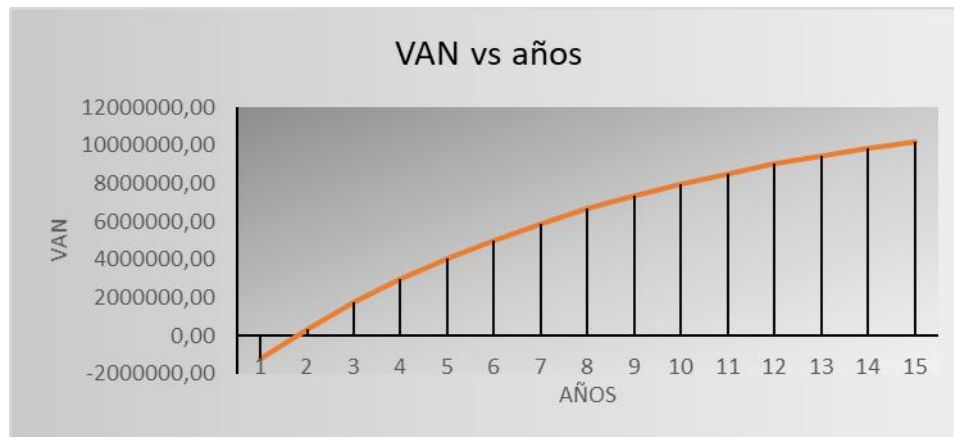


Fig.3- Gráfico del PRD

Como se puede apreciar los resultados son rentables y los indicadores dinámicos muestran también resultados positivos, lo cual justifica la factibilidad de la planta.

Conclusiones

1. La fosforita cubana ofrece posibilidades para ser utilizada como materia prima, tanto desde el punto de vista estructural como de su disponibilidad en la síntesis de ácido fosfórico.
2. El ácido fosfórico en Cuba presenta una gran demanda en la producción de fertilizantes, lo cual beneficiaría el desarrollo de la agricultura y la economía en general.
3. El proceso Dihidrato, consta de cuatro etapas fundamentales, entre ellas la molienda, reacción química, filtración y evaporación.
4. El equipamiento fundamental del proceso incluye dos tanques de reacción de 10 m^3 cada uno y un tanque de envejecimiento de 20 m^3 , un evaporador de simple efecto con área de transferencia de calor de $26,47 \text{ m}^2$ y cuatro filtros prensas Sperry de 1,65 m de ancho y 2,05 de altura.

5. Se demuestra la factibilidad técnico-económica de la planta obteniéndose los siguientes indicadores de rentabilidad: VAN de 10 205 137,34 \$/año, una TIR de 65 % y un PRD de 1,8 años.

Referencias bibliográficas

1. AWWAD, N. S; EL-NADI, Y.A.; HAMED, Mostafa M. Successive processes for purification and extraction of phosphoric acid produced by wet process. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 2013, 74, p.69- 74. ISSN: 0255-270.
2. INDUSTRIA BÁSICA. Análisis de muestras mineralógicas. NRIB, 1983.
3. INDUSTRIA BÁSICA. Preparación de muestras para análisis mineralógico. NRIB-786, 1986.
4. LABORATORIO CENTRAL DE MINERALES "JOSÉ I. DEL CORRAL". Sistema de cuarteo y homogenización para muestras de laboratorio. NC 11-01-04,1976.
5. LABORATORIO CENTRAL DE MINERALES "JOSÉ I. DEL CORRAL". Preparación de muestras para ensayos básicos y complementarios. NC 11-05-02 ,1976.
6. LABORATORIO CENTRAL DE MINERALES "JOSÉ I. DEL CORRAL". Análisis químico de calizas, margas y dolomitas. NC 44-19 ,1980.
7. LABORATORIO CENTRAL DE MINERALES "JOSÉ I. DEL CORRAL". Determinación de materia orgánica en muestras de suelos. NRAA-892 ,1985
8. LABORATORIO CENTRAL DE MINERALES "JOSÉ I. DEL CORRAL". NILM ,1988.
9. ORDOÑEZ, Yan C; RODRÍGUEZ, Carmen; RODRÍGUEZ, Leonardo. Determinación de las condiciones óptimas para la obtención de un fertilizante fosfatado a partir de la roca fosfórica cubana. *Ingeniería y Competitividad*, 2017, **19**(2), p. 131 – 142. E-ISSN: 2027- 8284.
10. ARMAS HERNÁNDEZ, Lenier. *Diseño de una planta química para la obtención de ácido fosfórico basado en el estudio de la necesidad de productos fosfatados*

en Cuba. 2021. Tesis de grado. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Facultad de Química Farmacia. Departamento de Ingeniería Química.

11. SCHORR, Michael; VALDEZ, Benjamín; OCAMPO, Juan de Dios. Selección de materiales para la fabricación de equipamiento en plantas productoras de ácido fosfórico. *Química Hoy*, 2011, **1** (4), p. 41-46. ISSN: 2007- 1183.

12. HASSAN, E. *Decreasing iron content in wet-process phosphoric acid*. [en línea]. Florida Institute of Phosphate Research: 2001. Final Report. Disponible en:<https://fipr.floridapoly.edu/wp-content/uploads/2014/12/01-154-171Final.pdf>.

13. Caracterización y análisis de mercado internacional de minerales en el corto, mediano, y largo plazo con vigencia al año 2035. En: *Repositorio Digital Biblioteca UPME* [en línea]. CRU, 2018 [Fecha de consulta: 18 de septiembre de 2021]. Disponible en <https://bdigital.upme.gov.co>.

14. EL-BORAEY, Hanaa A., et al. Beneficiation of Low-Grade Phosphate Ore Using Desliming and Gravity Separation Technique. *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences (JCBPS)*, 2017, **7**(2), p. 301. E-ISSN: 2249-1929.

15. EFMA EUROPEAN FERTILIZER MANUFACTURERS' ASSOCIATION, et al. Production of phosphoric acid. *Best available techniques for control in the European fertilizer industry*, 2000. Disponible en: https://www.fertilizerseurope.com/wp-content/uploads/2019/08/Booklet_4_final.pdf

16. RODRÍGUEZ, Carmen Acosta. *Estudio sobre la producción de ácido fosfórico y derivados para la obtención de fertilizantes*. Proyecto de Investigación. Centro de Ingeniería e Investigaciones Químicas. Laboratorio de Química Inorgánica. La Habana, 2016.

17. SRIVASTAVA, A. *Phosphoric Acid Production* [Online]. 2019. [Accessed 15 mayo 2019]. Available: (<https://www.cheresourceds.com>)

18. PETERS, M. S; TIMMERHAUS, K. D.; WEST, R.E. *Plant design and economics for chemical engineers*. Fourth edition. University of Colorado: McGraw-Hill Book Co, 1991. ISBN:0-97-100871-3.

Conflictos de interés

Los autores declaran que no hay conflictos de intereses

Contribución de los autores

Claudia Guirola Céspedes: contribuyó con la recopilación de la información bibliográfica, realización de los balances de materiales y participó en la escritura del artículo.

Erenio González Suárez: dirigió la investigación y aportó su experiencia en la metodología de la investigación, además de participar en la estructura del artículo.

Néstor Ley Chong: realizó la evaluación económica de la investigación y determinación del equipamiento necesario, así como en la estructura del artículo.