

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA PLANTA DE ACIDULACIÓN DE ROCA
FOSFÓRICA PARA LA EMPRESA DE FOSFATOS DE NORTE DE SANTANDER.**

autor

LUIS MIGUEL NARVÁEZ MEJÍA

Director

SANDRA MILENA CASTRO ESCOBAR

MAGISTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS MECÁNICA, MECATRÓNICA E INDUSTRIAL

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

PAMPLONA, noviembre 2021

DEDICATORIA.

Este trabajo se lo dedico principalmente a Dios, por ser el artífice de este proceso, por darme la sabiduría, motivación y fuerza necesaria para continuar en este proceso cada día hasta llegar a la meta de esta etapa.

A mis padres, por su apoyo, sus consejos, su motivación, trabajo y sacrificio a lo largo de todos estos años, gracias a ustedes pude llegar al final de esta meta, espero se sientan orgullosos de mí, así como me siento orgulloso de tenerlos como padres.

A mi hija Laura Isabella que se ha convertido en mi motor para superarme cada día, a mi hermana por estar presente y apoyarme en cada momento, a lo largo de esta etapa. A mis abuelos y mis tíos quienes siempre han velado por lo mejor para mí y me han apoyado en cada paso que doy. A la memoria de Alfonso Ortiz, que desde el inicio de esta etapa confió en mí y ahora que llego a la meta estaría orgulloso.

A los docentes que hicieron parte de este proceso transmitiendo muchas enseñanzas, a la empresa Fosfonorte S.A por abrirme las puertas para continuar el proceso de aprendizaje, en especial a mi directora Sandra Castro por su compromiso, apoyo y motivación en la ejecución de

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

este proyecto. En general, a todas aquellas personas que de una u otra manera han hecho parte de este proceso y me motivaron cada día para salir adelante en esta etapa.

Resumen

En este proyecto se realizará la propuesta de diseño de la planta de acidulación de roca fosfórica para la empresa de fosfatos de norte de Santander, validando dicho diseño a través del software ProModel, lo cual permitirá establecer la viabilidad del diseño. Para la propuesta del diseño se tendrán que garantizar las condiciones necesarias para un producto de buena calidad, las cuales son establecidas por el área química de la empresa quien han realizado el proceso de acidulación a pequeña escala.

Los resultados obtenidos de la simulación del diseño de la planta de acidulación de roca fosfórica permitirán establecer la viabilidad del diseño, adicional a eso se analizará los valores relacionados por el área contable estableciendo que tan rentable resulta este proceso productivo para la empresa.

Palabras clave

Acidulación, Roca fosfórica, simulación, diseño de plantas, distribución de plantas, procesos productivos,

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

Abstract

His project will carry out the design proposal of the phosphoric rock acidulation plant for the phosphate company in northern Santander, validating said design through ProModel software, which will allow establishing the feasibility of the design. For the design proposal the necessary conditions for a good quality product will have to be guaranteed, which are established by the chemical area of the company who have carried out the small-scale acidulation process.

The results obtained from the simulation of the phosphoric rock acidulation plant design will establish the feasibility of the design, additional to that the values related by the accounting area will be analyzed establishing how profitable this productive process is for the company

Keywords

Acidulation, Phosphoric rock, simulation, plant design, plant distribution, production processes.

Tabla de contenido

1.	Introducción	13
2.	Marco Conceptual.....	15
2.1.	Fosfonorte s.a.....	15
2.1.1.	Reseña histórica y descripción de la empresa	15
2.1.2.	Ubicación	16
2.1.3.	Misión empresarial.....	17
2.1.4.	Visión empresarial.....	17
2.1.5.	Política de calidad empresarial.....	18
2.1.6.	Objetivos de calidad empresarial	18
2.1.7.	Productos.....	19
2.1.7.1.	Fosfoindustrial 35%.....	19
2.1.7.2.	Fertifoscal 30%	20
2.1.7.3.	Fosfoabono 25%	22
2.1.7.4.	Fosfoabono Organomineral	23
2.1.7.5.	Fosfoabono Organomineral II	24
2.1.7.6.	Fosfoenmienda Inorgánica	26
2.1.7.7.	Fosfoabono Inorgánico	28
2.2.	Antecedentes	30
2.3.	Bases Teóricas	35
2.3.1.	La industria minera en Colombia	37
2.3.2.	Minería de roca fosfórica	38
2.3.3.	Descripción del proceso	40
2.4.	Bases Legales.....	42
3.	Planteamiento del problema.....	44
3.1.	Diagrama causa raíz del problema.....	45
3.2.	Formulación del problema	46
4.	Objetivos	47

4.1.	Objetivo General.....	47
4.2.	Objetivos Específicos.....	47
5.	Justificación	48
6.	Metodología	50
6.1.	Tipo de investigación.....	50
6.2.	Diseño de la investigación	50
6.3.	Fases metodológicas	51
6.3.1	Recolección de información.....	52
6.3.2	Tratamiento de la información	52
6.3.3	Propuesta de diseño.....	52
6.3.4	Simulación de la propuesta de diseño	53
6.3.5	Herramientas de ingeniería.....	53
7.	Cronograma y descripción de actividades	54
7.1.	Cronograma de actividades:.....	54
7.2.	Descripción de actividades por cada objetivo propuesto:.....	54
8.	Resultados	57
8.1.	Diagnosticar la distribución de la planta industrial de la empresa de fosfatos de Norte de Santander.....	57
8.2.	Realizar la propuesta de diseño de la planta de acidulación de roca fosfórica de la empresa de fosfatos de Norte de Santander.	59
8.3.	Simular la propuesta de diseño de la planta de acidulación de roca fosfórica de la empresa de fosfatos de Norte de Santander.	64
8.4.	Determinar la viabilidad del diseño de la planta de acidulación de roca fosfórica de la empresa de fosfatos de Norte de Santander a través de la simulación.....	65
9.	Conclusiones.....	71
10.	Recomendaciones	75
11.	Referencias bibliográficas.....	76
12.	Anexos	80

Lista de tablas

Tabla 1. Cronograma y descripción de Actividades	54
Tabla 2. Insumos de producción	60

Lista de figuras

Ilustración 1 Entrada Planta Fosfonorte S.A.....	16
Ilustración 2 Mapa de ubicación planta Fosfonorte S.A.....	17
Ilustración 3 Descripción Fosfoindustrial 35%.....	20
Ilustración 4 Empaque Fosfoindustrial 35%.....	20
Ilustración 5. Empaque Fertifoscal 30%.....	21
Ilustración 6 Descripción Fertifoscal 30%.....	21
Ilustración 7 Descripción Fosfoabono 25%.....	22
Ilustración 8 Empaque Fosfoabono 25%.....	22
Ilustración 9 Descripción Fosfoabono Organominera.....	24
Ilustración 10 Empaque Fosfoabono Organomineral.....	24
Ilustración 12 Descripción Fosfoabono Organomineral II.....	26
Ilustración 13 Descripción Fosfoenmienda Inorgánica.....	27
Ilustración 14 Empaque Fosfoenmienda Inorgánica.....	28
Ilustración 15 Descripción Fosfoabono Inorgánico.....	29
Ilustración 16 Empaque Fosfoabono Inorgánico.....	29
Ilustración 17 Diagrama Causa Raíz Fuente: El Autor.....	45
Ilustración 18. Esquema de la metodología implementada.....	51
Ilustración 19. Reactor Batch pequeña escala, secuencia fotografía.....	59

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

	10
Ilustración 20. Plano de la planta de acidulación formato dwg.	62
Ilustración 21. Simulación en ProModel	65
Ilustración 22. Costos de producción.....	66

Lista de anexos

Anexo 1 Plano de la planta de producción Fosfonorte S.A.	80
Anexo 2 Plano Fosfonorte S.A.	81
Anexo 3 Caracterización química de la roca lixiviada de Fosfonorte S.A.	82
Anexo 4 Tanques de secado.....	83
Anexo 5 Video proceso de horneado	83
Anexo 6 Video simulación ProModel.....	83

Lista de ecuaciones

Ecuación 1 Relación Costo Beneficio.....	68
Ecuación 2 Formula TIR Fuente: (IEP)	69

1. Introducción

La minería es una de las actividades del sector primario de la economía más importantes, y a su vez una labor que se ha realizado desde las primeras civilizaciones, ya que la búsqueda de materiales ya sean nuevos o existentes ha sido constante en todas las épocas del desarrollo del hombre actual. Los recursos naturales obtenidos de la minería constituyen los objetos que utilizamos en nuestro diario vivir, las civilizaciones han avanzado y llegado hasta donde nos encontramos hoy en día a través de la industrialización de los materiales extraídos en las minas.

En Colombia, la producción de roca fosfórica se remonta a los años 70, cuando la industria se estableció para abastecer a la comunidad agrícola, la cual es utilizada en la modalidad de roca molida para aplicación directa.

El mineral extraído se destina a la producción de ácido fosfórico, producto intermedio utilizado principalmente para la elaboración de fertilizantes. Según la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC), Colombia no tiene una amplia trayectoria y vocación en producción de abonos, a pesar de que, si tiene un alto consumo. (UPME, 2016)

La Empresa de Fosfatos de Norte de Santander, FOSFONORTE S.A, es una empresa creada desde 1975, FOSFONORTE S.A. es una sociedad mercantil cuyo capital está dividido en acciones.

FOSFONORTE S.A. se dedica a la explotación de yacimientos de Roca Fosfórica, catalogado este como la mayor concentración de Fosforo y de Calcio en la geografía colombiana como empresa líder en este campo, está comprometida en el desarrollo integral del departamento Norte de Santander.

La minería de roca fosfórica se basa en la extracción de un recurso no renovable que a medida que pasa el tiempo se va escaseando y eventualmente se explotará toda la que se encuentra dentro del yacimiento.

La empresa de fosfatos del Norte de Santander (Fosfonorte S.A.) dentro de su plan de crecimiento y en aras de mantenerse vigente y ampliar su capacidad ha comprendido la necesidad de apostarle a la ciencia y la tecnología, fijando como meta una implementación de una planta de acidulación de minerales, enfocando su funcionamiento en el tratamiento de la roca fosfórica.

En este proyecto se realizará una propuesta para el diseño para la planta de acidulación de roca fosfórica de la empresa de fosfatos de Norte de Santander, validando dicha propuesta a través de las herramientas de la simulación computarizada con el fin de establecer la viabilidad de la planta.

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

2. Marco Conceptual

2.1. Fosfonorte s.a

2.1.1. *Reseña histórica y descripción de la empresa*

La Empresa de Fosfatos de Norte de Santander, FOSFONORTE S.A, es una empresa creada desde 1975, FOSFONORTE S.A. es una sociedad mercantil cuyo capital está dividido en acciones, los socios o aportantes son quienes lograron consolidar su capital mediante sus aportes, bajo este tipo de empresa los socios no responderán con sus activos personales por las deudas contraídas, sino que lo harán con el capital aportado.

Actualmente es una empresa de economía mixta, según lo establece el Artículo 97 de la Ley 489 de 1998, las sociedades de economía mixta, son sociedades comerciales con aportes efectuados tanto por particulares como por entidades públicas de cualquier tipo, independientemente de la participación que el Estado tenga en ellas. (Gaviria, 2019)

FOSFONORTE S.A. se dedica a la explotación de yacimientos de Roca Fosfórica, catalogado este como la mayor concentración de Fosforo y de Calcio en la geografía colombiana como empresa líder en este campo, está comprometida en el desarrollo integral del departamento Norte de Santander.

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

La empresa FOSFONORTE S.A. es una empresa líder que aporta de manera importante al desarrollo de la Región. Que se preocupa por cada día adquirir conocimientos que le ayuden a mejorar cada día su calidad y servicio al cliente, Además para estar a la vanguardia en tecnología. Para aplicar los conocimientos tiene empleados capacitados preparados en cada área, para lograr óptimos resultados. (S.A, s.f.)

2.1.2. Ubicación

La Empresa de Fosfatos de Norte de Santander, FOSFONORTE S.A. tiene instaladas sus oficinas en la avenida 7A N° 9N-251 Barrio Sevilla, en la ciudad de Cúcuta, Norte de Santander. Mientras que la planta FOSFONORTE S.A se encuentra en kilómetro 54 sobre la vía que de Cúcuta conduce a Sardinata, Norte de Santander.



Ilustración 1 Entrada Planta Fosfonorte S.A

Fuente: www.fosfonorte.com.

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

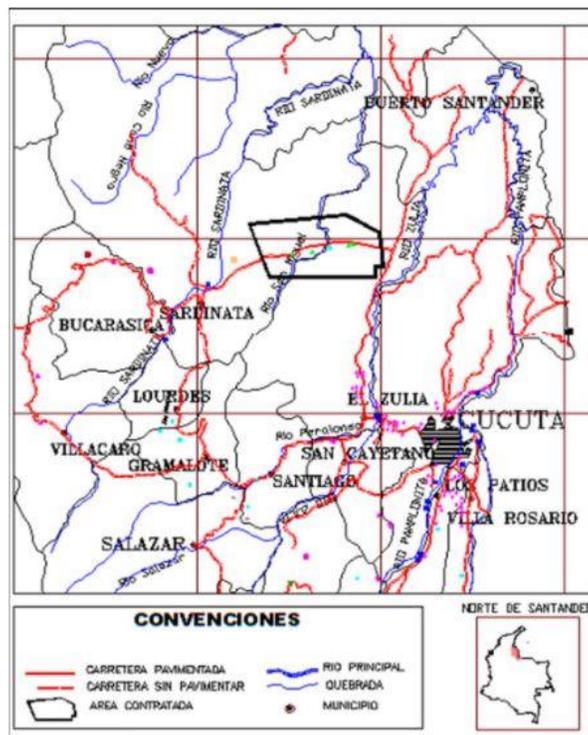


Ilustración 2 Mapa de ubicación planta Fosfonorte S.A

Fuente: www.fosfonorte.com.

2.1.3. Misión empresarial

FOSFONORTE S.A. se dedica a la explotación, industrialización, y comercialización de la roca fosfórica realiza un manejo racional del recurso natural no renovable y ofrece productos competitivos para el mejoramiento de los sistemas de producción agrícola. (S.A, s.f.)

2.1.4. Visión empresarial

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

FOSFONORTE S.A. será una empresa competitiva en el sector agrícola y ganadero satisfaciendo sus necesidades de fertilizantes fosfóricos. La calidad, el mejoramiento continuo de los productos y la excelencia en el servicio al cliente serán una responsabilidad integral. El talento humano se distinguirá por sus altos niveles de liderazgo, participación y compromiso con el desarrollo económico y social del Departamento Norte de Santander y del País. (S.A, s.f.)

2.1.5. Política de calidad empresarial

FOSFONORTE S.A. está comprometida en el uso racional del recurso minero para producir y comercializar roca fosfórica concentrada y fertilizantes orgánico-minerales de acuerdo a los requerimientos legales y del mercado, contando con personal competente, mejorando continuamente sus procesos en armonía con el medio ambiente, contribuyendo así al desarrollo de la región al beneficio de los directivos y bienestar de sus colaboradores. (S.A, s.f.)

2.1.6. Objetivos de calidad empresarial

- Cumplimiento de requisitos legales del mercado.
- Mejorar la competencia del personal.
- Incrementar la rentabilidad de la organización.
- Mejorar los procesos del sistema de calidad (S.A, s.f.)

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

2.1.7. Productos

2.1.7.1. Fosfoindustrial 35%.

La Roca Fosfórica constituye una alternativa viable para la recuperación de suelos ácidos como los del trópico, también es una fuente económica y valiosa de Fósforo y Calcio, y una forma de contribuir a la conservación del medio ambiente.

La Roca Fosfórica de Norte de Santander es un mineral producto de la formación de Apatita Nódulos, Olitos, fragmentos de Huesos Fosilizados, Cuarzo en gran tamaño de limo y Criptocristalino; Calcita en forma de cemento de grano fino, que se encuentra en roca fresca; Arcilla Fluorita, Oxido de Fe y Wuavelita, aunque en pequeñas cantidades se encuentra materia orgánica en promedio de 4,5%. El Fósforo contenido en la Roca Fosfórica se encuentra como Fluoropatita este compuesto es químicamente un fosfato tricalcico unido al fluoruro de calcio que resulta insoluble en el H₂O, pero que constituye el material más importante de los compuestos usados como productores de Fósforo para el proceso de Fertilización. Partiendo de la Roca Fosfórica del 35%, obtenemos un producto que es utilizado como materia prima para fertilizantes químicos, por su concentración de P₂O₅ se establecen líneas de productos como el Fosfoabono 25% P₂O₅, el Fertifoscal 30% P₂O₅ los cuales son de aplicación directa y resultan muy indicados en suelos ácidos. (S.A., s.f.)

Fosfato de Calcio Natural – Tipo Industrial

Registro de Venta ICA. N° 10381

N	P	K	Ca
0	35	0	48

Granulometría

Tamaño máximo de partícula 2 mm

Retenido malla 100: 95% mín

Empaque: Bultos de 50 Kg.

Ilustración 3 Descripción Fosfoindustrial 35%



Ilustración 4 Empaque Fosfoindustrial 35%

Fuente: www.fosfonorte.com.

2.1.7.2.Fertifoscal 30%

El Fertifoscal 30% es un producto con contenido de 30% de P₂O₅, 30% de Calcio lo que nos representa mayores aportes al suelo y economía respecto a la calidad de sus contenidos. Se recomienda aplicar los fertilizantes en los primeros estados del desarrollo del

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

cultivo, es decir, desde antes de la siembra hasta la floración. A partir de la Floración los requerimientos nutricionales, como norma bajan especialmente para cultivos de ciclo corto. En el caso de fósforo con excepción de suelos fuertemente ácidos donde la floración es más alta, se recomienda hacer una sola aplicación al momento de la siembra.



Ilustración 5. Empaque Fertifoscal 30%

Fuente: www.fosfonorte.com.

Fertifoscal 30%

Registro de Venta ICA. N° 5642

N	P	K	Ca
0	30	0	43

Granulometría malla -100: 80 %

Empaque: Bultos de 50 Kg.

Ilustración 6 Descripción Fertifoscal 30%

Fuente: www.fosfonorte.com.

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

2.1.7.3. Fosfoabono 25%

Es un fertilizante para aplicación directa al suelo, elaborado con roca fosfórica molida con contenido de fósforo total (P_2O_5) del 25% y calcio (CaO) de 30% plenamente garantizado mediante análisis sistemáticos en todos los procesos de producción desde su explotación en mina hasta su procesamiento en la planta de molienda. En las leguminosas; es un componente esencial de algunas vitaminas y enzimas y estimula el desarrollo radicular y el vigor de las plantas.

Registro de Venta ICA. N° 835

N	P	K	Ca
0	25	0	30

Granulometría Malla -100:80%

Empaque: Bultos de 50 Kg.

Ilustración 7 Descripción Fosfoabono 25%

Fuente: www.fosfonorte.com.



Ilustración 8 Empaque Fosfoabono 25%

Fuente: www.fosfonorte.com.

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

2.1.7.4. Fosfoabono Organomineral

Es un Fertilizante o Abono Organomineral, en forma de polvo, de uso agrícola para aplicación al suelo, cuyos altos contenidos de Calcio (CaO), Magnesio (MgO), Fosforo (P₂O₅), Sílice (SiO₂) y el aporte de Materia Orgánica (M.O.) permiten recomendarlo para recuperar, mejorar y mantener el nivel de fertilidad y el potencial de producción de los suelos ácidos, con pHs menores de 5.5, y que presenten severas deficiencias de estos nutrientes esenciales para las plantas y niveles moderados de aluminio (Al), hierro (Fe) y/o manganeso (Mn). Es muy importante destacar que el calcio (Ca) es un nutriente fundamental para incrementar el vigor y el endurecimiento de los tejidos de las plantas; la síntesis de las proteínas; la absorción y utilización del magnesio, potasio y boro; la producción de granos y semillas y la calidad de los productos alimenticios. El magnesio (Mg) es el único mineral que forma parte de la molécula de la clorofila; interviene en el transporte y favorece el metabolismo del fosforo; activa numerosos sistemas enzimáticos y propicia la formación de aceites y grasas en los productos vegetales. El fosforo (P) participa en la utilización de azúcares y el almidón en las plantas, en la formación del núcleo durante la división celular, en la elaboración de las grasas y albuminas y en la transmisión de los factores hereditarios. Así mismo, estimula el desarrollo radicular, la floración y la maduración de los frutos y forma parte de las proteínas, enzimas, el ácido fítico, los ácidos nucleicos, la fitina, las nucleoproteínas y los fosfolípidos.

P, Ca, Mg, Si y Abono Orgánico

Registro de Venta ICA. N° 7523

Uso y manejo: Recomendado para recuperar y mejorar suelos ácidos ($\text{pH} < 5.5$) deficientes en M.O., P, Ca, Mg y Si.

Dosis de aplicación: 300-500 Kg/Ha de acuerdo con los análisis de suelos y los requerimientos nutricionales de los cultivos.

Ilustración 9 Descripción Fosfoabono Organominera

Fuente: www.fosfonorte.com.



Ilustración 10 Empaque Fosfoabono Organomineral

Fuente: www.fosfonorte.com.

2.1.7.5. Fosfoabono Organomineral II

Es un fertilizante o abono organomineral, en forma de polvo, de uso agrícola, para aplicación al suelo, cuyas altas concentraciones de Calcio (CaO) y Fosforo (P₂O₅) y moderados aportes de Nitrógeno (N), Azufre (SO₄=) y Materia Orgánica (M.O.), permiten recomendarlo

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

como una fuente nutricional muy eficiente para corregir las deficiencias de estos nutrientes esenciales para las plantas, en cualquier suelo y cultivo y para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos agrícolas. Es muy importante señalar que el calcio (Ca) incrementa el vigor de las plantas; endurece los tejidos; promueve la síntesis de las proteínas y la absorción y utilización del magnesio, potasio y boro; estimula la producción de granos y semillas y mejora la calidad de los productos alimenticios. El fósforo (P) interviene en el metabolismo de los azúcares y el almidón por las por las especies vegetales; promueve la formación del núcleo durante la división celular; facilita la elaboración de albuminas y grasas y es necesario para la transmisión de factores hereditarios. Así mismo, el fósforo estimula el desarrollo radicular, la floración y la maduración de los frutos y forma parte de las proteínas, enzimas, nucleoproteínas, los ácidos nucleicos y los fosfolípidos. El azufre ($\text{SO}_4^{=}$) es muy importante para la formación de los aminoácidos y las proteínas que contienen azufre; propicia la formación de los nódulos en las leguminosas; es un componente esencial de algunas vitaminas y enzimas y estimula el desarrollo radicular y el vigor de las plantas.

N, P, Ca, S y Abono Orgánico

Registro de Venta ICA. N° 7529

Uso y manejo: Recomendado como fuente nutricional en suelos deficientes en M.O., N, P, Ca, y S. Especialmente formulado para fertilizar pastos de corte y pastoreo.

Dosis de aplicación: 200-400 Kg/Ha de acuerdo con los análisis de suelos y los requerimientos nutricionales de los cultivos.

Empaque: Bultos de 50 Kg.

Ilustración 11 Descripción Fosfoabono Organomineral II

Fuente: www.fosfonorte.com.



Organomineral II

Fuente: www.fosfonorte.com.

2.1.7.6. Fosfoenmienda Inorgánica

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

Es una Enmienda Inorgánica en forma de polvo seco, de uso agrícola, cuyas altas concentraciones de Calcio (CaO), Magnesio (MgO), Fosforo (P₂O₅) y Sílice (SiO₂) son apropiadas para recomendarla como acondicionador y mejorador de suelos ácidos, con pHs menores de 5.5 y que registren severas deficiencias en estos nutrientes esenciales para las plantas y altos contenidos aluminio (Al), hierro (Fe) y/o manganeso (Mn). Es muy importante destacar que el calcio (Ca) es un nutriente que incrementa el vigor y endurecimiento de los tejidos de las plantas; promueve la formación de proteínas y la producción de granos y semillas; facilita la absorción y la utilización del magnesio, potasio y boro y mejora la calidad de los productos alimenticios. El magnesio (Mg) es el único mineral que forma parte de la molécula de la clorofila; facilita el transporte y metabolismo del fosforo en las plantas, activa numerosos sistemas enzimáticos y facilita la formación de aceites y grasas en los productos vegetales.

P, Ca, Mg y Si

Registro de Venta ICA. N° 7522

Uso y manejo: Recomendado para recuperar y mejorar suelos ácidos (pH<5.5) deficientes en P, Ca, Mg y Si.

Dosis de aplicación: 200-400 Kg/Ha de acuerdo con los análisis de suelos y los requerimientos nutricionales de los cultivos.

Empaque: Bultos de 50 Kg.

Ilustración 12 Descripción Fosfoenmienda Inorgánica

Fuente: www.fosfonorte.com.

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.



Ilustración 13 Empaque Fosfoenmienda Inorgánica

Fuente: www.fosfonorte.com.

2.1.7.7. Fosfoabono Inorgánico

Es un Fertilizante o Abono Inorgánico, en forma de polvo seco, de uso agrícola para aplicación al suelo, cuyas altas concentraciones de Calcio (CaO) y Fosforo (P₂O₅) y aportes adecuados de Nitrógeno (N) y Azufre (SO₄=), clasificados dentro de los nutrientes esenciales para las plantas, generalmente, deficientes en la gran mayoría de los suelos agrícolas de esta región y el país, permiten recomendarlo como una fuente nutricional muy eficiente para satisfacer las necesidades de estos nutrimentos en cualquier suelo y cultivo. Es muy importante señalar que el calcio (Ca) incrementa el vigor de las plantas; endurece los tejidos; promueve la síntesis de las proteínas y la absorción y utilización del magnesio, potasio y boro; estimula la producción de granos y semillas y la calidad de los productos alimenticios. El fosforo (P)

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

participa en la utilización de los azúcares y el almidón por las plantas; promueve la formación del núcleo durante la división celular; facilita la elaboración de albuminas y grasas y es necesario para la transmisión de factores hereditarios.

N, P, Ca y S

Registro de Venta ICA. N° 7528

Uso y manejo: Recomendado como fuente nutricional en suelos deficientes en N, P, Ca, y S. Especialmente formulado para fertilizar pastos de corte y pastoreo.

Dosis de aplicación: 200-300 Kg/Ha de acuerdo con los análisis de suelos y la variedad sembrada.

Empaque: Bultos de 50 Kg.

Ilustración 14 Descripción Fosfoabono Inorgánico

Fuente: www.fosfonorte.com.



Ilustración 15 Empaque Fosfoabono Inorgánico

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

2.2. Antecedentes

A lo largo del tiempo, se han realizado diversos estudios y propuestas sobre diseño y distribución de plantas de producción y/o industriales, con el fin de optimizar los diferentes procesos desarrollados en ellas, a continuación, se presentan una serie de referencias, en las que se pueden observar dichas propuestas, tanto a nivel nacional como internacional.

PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA FABRICACIÓN DE TEJAS DE MICROCEDIMENTOS EN EL CANTÓN CUENCA

El estudio intenta hacer un análisis de los principales materiales para cubierta utilizados comúnmente para la construcción de viviendas en el país y la alternativa del uso de un material poco conocido y que debido sus características es una excelente opción, la teja de microcemento; también se considera un análisis de ingeniería de la planta de producción, esto contribuye a la determinación de los elementos necesarios para fabricar el producto, considerando la ubicación de la planta, la mano de obra requerida directa e indirectamente, las materia primas, los suministros y los servicios complementarios necesarios para la operación (Parra, 2014).

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA AUTOMATIZADA DE TRATAMIENTO DE AGUAS ACIDAS DE INTERIOR MINA ORCOPAMPA – COMPAÑÍA DE MINAS DEL PERÚ

El proyecto fue ejecutado por el área de proyectos y entregada al área de medio ambiente (cliente interno), ambos de la UM Orcopampa, Este consiste en la gestión, diseño, procura, construcción, puesta en marcha y transferencia de una planta de tratamiento para las aguas de las bocaminas Prometida, Nazareno y Rampa Mario ubicadas en la UM Orcopampa, con el objetivo de elevar el PH de un rango acido a un rango neutral (de 6.5 a 8.5), también cumplir con el D.S. 004-2017-MINAM - categoría ECA 3 (Arroyo, 2019).

DISEÑO DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DE ELABORACIÓN DE CERVEZA EN LA PROVINCIA DE SEVILLA

Este proyecto está basado en el diseño de la ingeniería básica de una planta industrial de elaboración de cerveza, incluyendo todas las tecnologías necesarias para el desarrollo, ejecución e implantación de un proyecto de tal calibre. Comenzando con el desarrollo conceptual de una planta cervecera, continuando con el diseño de los procesos, obra civil, layout e instalaciones auxiliares, y finalizando con los detalles más profundos relacionados con el impacto ambiental

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

que causan las actividades y operaciones llevadas a cabo en la industria de este sector, se ha elaborado este proyecto que, a pesar de ser académico, tiene un enfoque científico y profesional en el sector cervecero (Cruz, 2018).

PROPUESTA DE DISEÑO Y DISTRIBUCION DE PLANTA PARA LA EMPRESA ALAMBRES Y MALLAS S.A.

Este proyecto busca mejorar la Calidad y Clima Laboral de la empresa ALAMBRES Y MALLAS S.A, desde organizar varias referencias de Mallas y Varillas, hasta poder moldear la Distribución en Planta (Layout), para lograr optimizar tiempos y movimientos, cumplir la demanda de Malla Electrosoldada, tener cada referencia en un lugar definido, exactitud del inventario y organizar de forma adecuada las zonas de almacenamiento (Chaparros, 2014).

PROPUESTA PARA EL DISEÑO Y DISTRIBUCIÓN DE PLANTA PARA LAS INSTALACIONES DE PRODUCCIÓN DE BIOPINTURAS MEDIANTE TÉCNICAS DE INGENIERÍA

Se desarrolla una propuesta para el diseño y distribución en planta de la empresa BioPinturas S.A.S., ubicada en el municipio de Funza, Cundinamarca. Para esto, se realizó una estimación de la capacidad de recursos necesaria para el cumplimiento de la demanda proyectada de dos años, con el fin de generar una alternativa válida para la ubicación de las áreas de trabajo.

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

Así mismo, se genera una propuesta para el diseño de almacén, mediante el análisis de jerarquización ABC y aplicación de las siete técnicas de almacenaje, buscando mejorar la localización de los productos y reducir la distancia de recorrido para la recolección de estos. Finalmente, como apoyo se realiza una propuesta para la implementación de la metodología 5s, con el fin de aportar al diseño y distribución de la planta y del almacén, logrando beneficios como minimización de desperdicios, mejora en el flujo de material, desplazamiento de operarios, y orden y limpieza en las áreas (Roa, 2017).

DISEÑO DE PROCESO CON CAPACIDAD DEFINIDA, PARA LA PLANTA DE ACIDULACIÓN DE MAGNESIO Y FOSFORITA EN LA EMPRESA PULVERIZAR S.A

Dentro de este trabajo se selecciona los recursos necesarios para un proceso productivo, en torno a la especificación de la capacidad establecida por Pulverizar S.A, para una nueva planta de fertilizantes acidulados, tomando como minerales a tratar, la fosforita y el silicato de magnesio.

Se parte con una caracterización del diseño, evaluando diferentes aspectos con la empresa como las proyecciones de producción, decisiones de localización, requerimientos de producto y proceso, detectando variables que influían en el diseño, como Capacidad de la Maquinaria, Volumen de abastecimiento de las Materia Primas, área ocupada por los equipos, mano de obra,

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

entre otras. Dichas variables se evalúan y definen dentro de la propuesta de diseño (Colorado, 2013).

REUBICACIÓN Y REDISEÑO DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE INDUAGRICOLA ZULIA S.A.

El desarrollo del proyecto se basa en establecer la ubicación que le brinde a Induagricola Zulia S.A mayor rentabilidad a futuro. Para esto se inicia con el análisis de los procesos productivos y la maquinaria con la que actualmente la empresa está operando y así conocer sus necesidades y determinar qué tipo de maquinaria es la ideal para sus procesos productivos. Al seleccionar el tipo de maquinaria que se debe comprar, se realizan las propuestas de distribución en planta teniendo en cuenta las condiciones que son necesarias para la conservación de los productos que ofrece la empresa. A cada propuesta de distribución en planta se le realiza análisis financiero con el fin de demostrar numéricamente los efectos de las mejoras propuestas e inversiones a realizar.

Por último, se establecen los factores que se considera son determinantes para la ubicación de la planta de producción y se realiza el análisis por medio del método de los factores ponderados dando como resultado que la mejor ubicación para la planta es el municipio de San Martín en la finca San Judas Tadeo también se muestra por medio del simulador Flexsim como

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

la empresa está operando actualmente y como operaria en la ubicación seleccionada con la distribución en planta y mejoras propuestas (Acevedo, 2012).

2.3. Bases Teóricas

Se denomina roca fosfórica al producto obtenido de la extracción de una mina y del procesamiento metalúrgico subsiguiente de los minerales fosfatados. Además del mineral fosfatado principal, los depósitos de roca fosfórica también poseen minerales accesorios e impurezas. Si bien cantidades importantes de los minerales accesorios y de las impurezas son eliminadas durante el proceso de beneficio, el mineral beneficiado siempre contiene algunas de las impurezas originales en diversas combinaciones y concentraciones, algunos de los cuales pueden tener una influencia profunda en la eficiencia de la roca fosfatada utilizada para la aplicación directa. (FAO, Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible, 2007)

Las rocas fosfóricas pueden ser utilizadas ya sea como materia prima para la fabricación industrial de los fertilizantes fosfatados solubles en agua o bien como fuentes de fósforo para la aplicación directa en la agricultura. (FAO, Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible, 2007)

La industria mundial de los fosfatos está basada en la explotación de algunos depósitos de rocas fosfóricas. A pesar de su composición extremadamente variable, son la fuente comercial de fósforo utilizada como materia prima para la fabricación de fertilizantes fosfatados y otros

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

productos químicos. A diferencia de otros productos básicos como el hierro, el cobre y el azufre, las rocas fosfóricas tienen escasa oportunidad de sustitución o de reciclado. Ocupan el segundo puesto (excluidos el carbón y los hidrocarburos) en peso y volumen brutos en el comercio internacional. La industria de los fertilizantes consume cerca del 90 por ciento de la producción mundial de roca fosfórica. Las rocas fosfóricas son también utilizadas para fines industriales y para la producción de productos alimenticios y de suplementos para la alimentación de animales. Otro uso importante es la fabricación del fósforo elemental y de sus derivados, en particular el tripolifosfato de sodio, que es el compuesto principal de los detergentes de alto poder para el lavado de ropa. (FAO, Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible, 2007)

Las rocas fosfóricas sedimentarias están compuestas principalmente de apatitas. Estas apatitas poseen una amplia sustitución isomórfica en la red cristalina y, por lo tanto, poseen una gran variación en su composición química mostrando un amplio rango de propiedades. (FAO, Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible, 2007)

Las rocas fosfóricas de origen sedimentario son aptas para aplicación directa porque consisten de agregados de microcristales ampliamente abiertos y débilmente consolidados, con un área específica relativamente grande. Presentan una proporción considerable de sustitución isomórfica en la red cristalina y contienen minerales accesorios e impurezas en cantidades y proporciones variables. Diversos autores han indicado que estas rocas son adecuadas para la aplicación directa a los suelos bajo ciertas condiciones. (FAO, Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible, 2007)

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

2.3.1. La industria minera en Colombia

La industria minera es denominada una de las actividades económicas primarias para el ser humano y se compone por el conjunto de actividades que se realizan para obtener recursos naturales de un yacimiento comúnmente llamado “mina”, a través de dicha de la explotación o extracción de los minerales acumulados en el suelo y el subsuelo. Se dice que el proceso de minería comienza una vez el proceso de prospección y exploración finaliza, es decir cuando se indica que el terreno es susceptible para nstalar todo el equipo comenzar el desarrollo y explotación del yacimiento para la obtención de los minerales. (Minero, s.f.)

En Colombia, la Agencia Nacional de Minería (ANM) estableció a través de su labor de Seguimiento, Control y Fiscalización de los títulos, que la minería no se concentra en una o dos zonas del país. Pese a que muchas personas aseguran que las actividades mineras en Colombia se concentran principalmente en la costa norte, debido a que allí se ubican grandes empresas carboníferas.

La ANM por medio de tres coordinaciones zonales (Zona Centro, Zona Norte y Zona Occidente), que a su vez agrupan a doce Puntos de Atención Regional (PAR), luego de su primera fase de estudio que terminó en diciembre de 2014 y en la cual se fiscalizaron el 100% de los títulos vigentes, ya presenta resultados sobre lo que realmente es la minería y dónde se realiza esta actividad.

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

De los 9.602 títulos mineros vigentes en Colombia, el 17% de ellos se encuentran en departamentos adscritos al PAR de Nobsa, 16,5% corresponden a departamentos del PAR Bogotá, 16% están a cargo de la Gobernación de Antioquia, 8% a los PAR Ibagué y Cúcuta, los cuales juntos suman el 65% del total de los títulos. El 35% restante se encuentra distribuido en PAR Bucaramanga 7%, Cartagena 6%, Manizales 5%, Cali 5%, Valledupar 5,5%, Medellín 2%, Pasto 2% y Quibdó 2%. (ANM, 2015)

2.3.2. Minería de roca fosfórica

Se denomina roca fosfórica al producto obtenido de la extracción de una mina y del procesamiento metalúrgico subsiguiente de los minerales fosfatados. Además del mineral fosfatado principal, los depósitos de roca fosfórica también poseen minerales accesorios e impurezas llamados «ganga». Si bien cantidades importantes de los minerales accesorios y de las impurezas son eliminadas durante el proceso de beneficio, el mineral beneficiado siempre contiene algunas de las impurezas originales. Dentro de las impurezas se encuentran sílice, minerales arcillosos, calcita, dolomita y óxidos hidratados de hierro y aluminio en diversas combinaciones y concentraciones, algunos de los cuales pueden tener una influencia profunda en la eficiencia de la roca fosfatada utilizada para la aplicación directa. Roca fosfórica es el nombre común comercial de unos 300 fosfatos de diferentes calidades en conocidos en el mundo. Las rocas fosfóricas pueden ser utilizadas ya sea como materia prima para la fabricación industrial de los fertilizantes

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

fosfatados solubles en agua o bien como fuentes de fósforo para la aplicación directa en la agricultura. (FAO, Publicación conjunta de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y del Organismo Internacional de Energía Atómica, 2007)

En Colombia, la producción de roca fosfórica se remonta a los años 70, cuando la industria se estableció para abastecer a la comunidad agrícola, la cual es utilizada en la modalidad de roca molida para aplicación directa. Según las proyecciones de la ANM, la producción de roca fosfórica ha estado en aumento en los últimos años, lo cual ha permitido cubrir la demanda interna para la fabricación de diferentes productos de uso industrial. El del mineral extraído se destina a la producción de ácido fosfórico, producto intermedio utilizado principalmente para la elaboración de fertilizantes. Ahora bien, según la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC), Colombia no tiene una amplia trayectoria y vocación en producción de abonos, a pesar de que, si tiene un alto consumo, siendo el segundo de la región latinoamericana después de Costa Rica en uso de fertilizantes de acuerdo con el volumen (en kilogramos) empleados por hectárea de tierra cultivable. Según información del Sistema de Inteligencia Comercial de LegisComex, el país le está apostando a los abonos importados, debido a que estos están presentando una disminución hasta del 20% en sus precios en comparación con los productos nacionales, provocando que los campesinos, quienes son los que más utilizan estos insumos, paguen un alto costo disminuyendo la productividad del sector. (UPME, 2016)

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

2.3.3. Descripción del proceso

El proceso de la extracción de roca fosfórica comienza en el yacimiento donde los ingenieros de minas establecen el área a explorar, se toman muestras del material en dicha zona y son llevadas al laboratorio para determinar la concentración de fosforo presente en la zona a explotar.

Posteriormente determinada y aprobada la concertación de fosforo (23-38%) de la muestra del área de explotación se realiza la extracción de los mantos del material mediante el uso de maquinaria pesada (Retroexcavadora, buldócer, volquetas), el material es transportado en volquetas hasta un patio de acopio donde una retroexcavadora se encarga de organizar y apilar dicho material. Un cargador frontal transporta el material al área del **deslode**.

En el **deslode** el material es limpiado para eliminar la mayor cantidad de impurezas posibles y las rocas grandes son trituradas por un molino de matillos rotatorios de 40 Hp, el material baja por una rampa de separación con ayuda del agua y la gravedad, el material en su recorrido pasa por cinco (5) zarandas que lo clasifican de acuerdo a su tamaño de grano. Al finalizar el proceso de deslode el material es almacenado en unas piscinas de sedimentación de acuerdo a su tamaño de grano, mientras que el grano más fino cuya concentración de fosforo se encuentra alrededor del 35% (mina) se separa y almacena, todo el material tiene un proceso de secado a temperatura ambiente donde pierde la mayor parte de su humedad para posteriormente ir al proceso de **secado**.

El material que ha perdido gran parte de su humedad de forma natural pasa a un proceso de **secado**, en este proceso se lleva el material a unas tolvas que están conectadas a un tronillo sin fin, que a su vez está conectado a un horno secador, el material pasa a lo largo del horno rotatorio donde se eleva su temperatura y pierde su humedad.

El material a la salida de los hornos se hace pasar por unas zarandas que garantizan la granulometría adecuada de acuerdo al producto que se esté procesando, luego el material transportado en coches con capacidad de 1 tonelada hacia un patio de almacenamiento donde será depositado con ayuda de un cargador frontal en una tolva donde en su salida se empacará de acuerdo a la presentación solicitada por el cliente ya sean bultos de 50 Kg o Big Bag de 1000 Kg. Al material que no pasa por la zaranda se le denomina “**gruesos**”, los gruesos son acumulados en un patio de acopio.

Los gruesos acumulados son mezclados con material depositados en las piscinas de sedimentación (lodos), en este proceso de **mezclado**, se revuelven los lodos con los gruesos y en ocasiones con el material fino denominado mina hasta que se logre un porcentaje de fósforo adecuado según la demanda.

Seguido al proceso de mezclado se realiza la **molienda**, la mezcla es transportada hasta una tolva donde inicia el proceso de molienda, dicha tolva está conectada a una banda de alimentación y a su vez acoplada a un molino triturador donde se reduce el tamaño de grano al máximo permitido por la máquina, a la salida del molino se encuentra un tornillo sin fin que alimenta un molino pulverizador que se encarga de reducir más los granos de roca fosfórica, el

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

molino pulverizador está acoplado a un elevador de cangilones que se encarga de transportar el material a lo alto de un silo de almacenamiento. A la salida del silo de almacenamiento se uno un tornillo sin fin que evacuará el material almacenado cuando se requiera, haciéndolo pasar una última vez por una zaranda que garantizará que el tamaño de grano es el requerido para las especificaciones del producto en fabricación, dicha zaranda cuenta con una plataforma equipada con bascula que permite empacar el producto en la presentación adecuada.

El producto terminado y empacado será almacenado de acuerdo a sus características y presentación disponible para ser transportado a su destino final.

2.4. Bases Legales

Actualmente en Colombia la actividad minera está regulada por el Ministerio de Minas y Energía.

El Ministerio de Minas y Energía se crea a raíz de la Segunda Guerra Mundial (1939-1945), una época de conflicto internacional durante la cual surgieron problemas de orden económico que repercutieron directamente en el progreso de Colombia. Ante esta situación, el Gobierno Nacional diseñó un plan para la defensa y el fomento de las industrias existentes, buscando el aprovechamiento de los recursos naturales y el desarrollo de otras fuentes de producción. El Decreto 968 del 18 de mayo de 1940 estableció por primera vez el Ministerio de Minas y Petróleos y al mismo tiempo modificó la organización del Ministerio de la Economía

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

Nacional. Durante los años siguientes el Ministerio fue reestructurado mediante diversos decretos dentro de los cuales se resalta el decreto 636 del 10 de abril de 1974 con el cual se modifica el nombre del Ministerio de Minas y Petróleos por el de Ministerio de Minas y Energía. (Minenergía, s.f.)

En el mes de noviembre del año 2011 el Ministerio de Minas y Energía crea mediante el decreto 4134 DE 2011 la Agencia Nacional de Minería, ANM. El objeto de la Agencia Nacional de Minería, ANM, es administrar integralmente los recursos minerales de propiedad del Estado, promover el aprovechamiento óptimo y sostenible de los recursos mineros de conformidad con las normas pertinentes y en coordinación con las autoridades ambientales en los temas que lo requieran, lo mismo que hacer seguimiento a los títulos de propiedad privada del subsuelo cuando le sea delegada esta función por el Ministerio de Minas y Energía de conformidad con la ley. (Ministro de Minas y Energía, 2011)

La empresa de fosfatos de Norte de Santander, Fosfonorte se rige por todas las disposiciones y mandatos que establece el Código de Minas expedido mediante la Ley 685 del 2001 en Bogotá, D. C. Durante el gobierno del señor Andrés Pastrana Arango y como Ministro de Minas y Energía el señor Ramiro Valencia Cossio. (Republica, 2001).

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

3. Planteamiento del problema

La minería de roca fosfórica se basa en la extracción de un recurso no renovable que a medida que pasa el tiempo se va escaseando y eventualmente se explotará toda la que se encuentra dentro del yacimiento. Lo cual conlleva a la exploración de nuevos terrenos en búsqueda de materia prima que permita seguir con la explotación y alarga la vida productiva de una empresa.

Sumando a eso las empresas que se dedican a la extracción y comercialización de roca fosfórica enfrentan el problema de la variabilidad de la concentración de fosforo en la roca que es extraída y procesada de los yacimientos en los que centran su operación mercantil.

Convirtiéndose en una etapa crucial para el futuro de la empresa cuando las reservas de alta calidad y de mayor accesibilidad se comienzan a agotar; en este el material de menor concentración, las escasas toneladas de material de alta calidad y las decisiones administrativas determinaran el futuro de la empresa.

Fosfonorte S.A. es una empresa que se ha dedicado a la explotación de diferentes yacimientos de roca fosfórica desde mediados de la década de mil novecientos setenta (1975), manteniéndose con el transcurrir de los años como una de las principales comercializadoras de roca fosfórica del país, no obstante, Fosfonorte debe apostarle a la ciencia y tecnología para poder mantenerse vigente en los años venideros a causa de la disminución inevitable de terrenos donde se encuentra concentrada la materia prima que es la base de la operación empresarial.

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

La empresa de fosfatos del Norte de Santander (Fosfonorte S.A.) dentro de su plan de crecimiento y en aras de mantenerse vigente y ampliar su capacidad productiva con el pasar del tiempo, ha comprendido la necesidad de apostarle a la ciencia y la tecnología para la creación de nuevos proyectos fijando como meta una implementación de una planta de acidulación de minerales, enfocando su funcionamiento en el tratamiento de la roca fosfórica, estableciendo como objetivo fundamental que el producto procesado tenga una mayor concentración de fósforo y sea asimilable directamente a los cultivos y plantas.

3.1. Diagrama causa raíz del problema.



Ilustración 16 Diagrama Causa Raíz

Fuente: El Autor

3.2. Formulación del problema

¿Cómo crear nuevas alternativas de producción para la empresa de fosfatos del Norte de Santander (Fosfonorte S.A.) brindando una solución para la escases de los mantos y garantizando que el producto procesado tenga una mayor concentración de fosforo y sea asimilable directamente a los cultivos y plantas?

4. Objetivos

4.1. Objetivo General

Diseñar la propuesta para el diseño de la planta de acidulación de roca fosfórica de la empresa de fosfatos de Norte de Santander, y validarla a través de la simulación.

4.2. Objetivos Específicos

- Diagnosticar la distribución de la planta industrial de la empresa de fosfatos de Norte de Santander.
- Realizar la propuesta de diseño de la planta de acidulación de roca fosfórica de la empresa de fosfatos de Norte de Santander.
- Simular la propuesta de diseño de la planta de acidulación de roca fosfórica de la empresa de fosfatos de Norte de Santander.
- Determinar la viabilidad del diseño de la planta de acidulación de roca fosfórica de la empresa de fosfatos de Norte de Santander a través de la simulación.

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

5. Justificación

Para la empresa Fosfonorte S.A. esta decisión resulta de gran importancia para mantenerse vigente en el mercado, y permitirá a la empresa comprender y analizar de mejor manera la viabilidad de la ejecución de la planta de acidulación, pero este proyecto ayudara a actuar en pro mejor la oferta de productos de la compañía ya que se crearía un nuevo portafolio de productos acidulados, representado en mayores ingresos para la compañía y un mayor desarrollo para la región ya que se crearían nuevos puestos de trabajo, la empresa actualmente cuenta con 53 empleos directos.

Las rocas fosfóricas parcialmente aciduladas son obtenidas haciendo reaccionar las rocas fosfóricas generalmente con ácido sulfúrico (H_2SO_4) o ácido fosfórico (H_3PO_4) en cantidades menores que las necesitadas para producir el superfosfato triple o el superfosfato simple, respectivamente. El uso de las rocas fosfóricas parcialmente aciduladas se ha propagado en Europa y América del Sur desde que Nordengren (1957) informó acerca de su uso. Las rocas fosfóricas parcialmente aciduladas pueden ofrecer un medio económico de aumentar la eficiencia agronómica de las fuentes locales de roca fosfórica que de otra manera no serían adecuadas para la aplicación directa. Por esta razón, una gran cantidad de estudios han sido y continúan a ser realizados a nivel internacional (Hammond et al., 1986b; Rajan y Marwaha, 1993; Chien y Menon, 1995a; Chien, 2003b; Zapata, 2003).

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

Las rocas fosfóricas parcialmente aciduladas son menos costosas que los fertilizantes fosfatados (solubles en agua) completamente acidulados debido a que se necesitan cantidades menores de ácido y de energía por unidad de fósforo en el producto. Además, las rocas fosfóricas parcialmente aciduladas son a menudo más concentradas que el superfosfato simple. En algunas situaciones la acidulación parcial puede ser un medio preferido para mejorar la eficiencia de las rocas fosfóricas importadas. (FAO, Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible, 2007)

La acidulación parcial de la roca fosfórica con ácido sulfúrico, ha sido usada con éxito para mejorar su solubilización e incrementar la eficiencia agronómica de esta fuente de fósforo. (Armando Morillo, 2007)

Este proyecto tiene como fundamento apoyar a una toma de decisiones objetiva y acertada; cualidad que poseen los ingenieros industriales de la universidad de Pamplona, quienes pueden participar y desarrollar las opciones más idóneas para lograr los objetivos de las organizaciones.

6. Metodología

6.1. Tipo de investigación

Para poder desarrollar el objetivo del proyecto que consiste en proponer el diseño para la planta de acidulación de roca fosfórica de la empresa de fosfatos de Norte de Santander, será empleada la investigación aplicada ya que el objetivo es encontrar estrategias que puedan ser empleadas en el abordaje de un problema específico. La investigación aplicada se nutre de la teoría para generar conocimiento práctico, y su uso es muy común en ramas del conocimiento como la ingeniería. (significados.com, 07)

Teniendo en cuenta cada una de las ramas de este tipo de investigación:

Investigación aplicada tecnológica: sirve para generar conocimientos que se puedan poner en práctica en el sector productivo, con el fin de impulsar un impacto positivo en la vida cotidiana.

Investigación aplicada científica: tiene fines predictivos. A través de este tipo de investigación se pueden medir ciertas variables para pronosticar comportamientos que son útiles al sector de bienes y servicios, como patrones de consumo, viabilidad de proyectos comerciales, etc. (significados.com, 07)

6.2. Diseño de la investigación

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

La investigación es no experimental, ya que carece de una variable independiente. En cambio, el investigador observa el contexto en el que se desarrolla el fenómeno y lo analiza para para obtener información. la investigación no experimental se realiza cuando, durante el estudio, el investigador no puede controlar, manipular o alterar a los sujetos, sino que se basa en la interpretación o las observaciones para llegar a una conclusión. Esto significa que el método no debe basarse en correlaciones, encuestas o estudios de caso, y no puede demostrar una verdadera relación de causa y efecto (QuestionPro, 2019).

6.3. Fases metodológicas

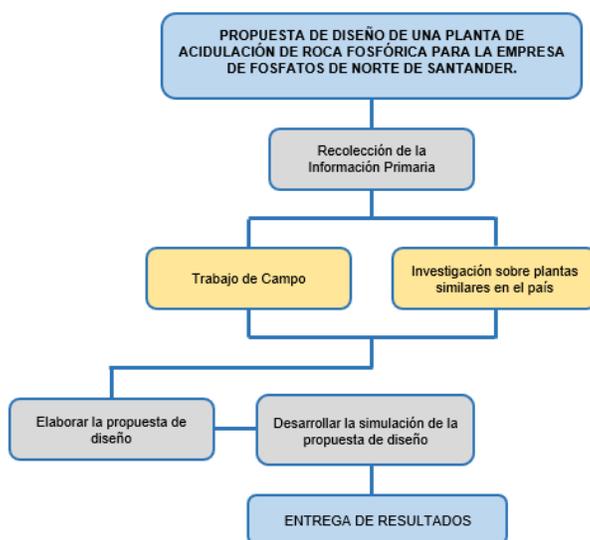


Ilustración 17. Esquema de la metodología implementada.

Fuente: El Autor.

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

6.3.1 Recolección de información

Para la realización del proyecto se contará con información primaria, colectada como trabajo de campo por medio del análisis del funcionamiento de una planta a escala reducida que se encuentra en la empresa, con la cual se están realizando pruebas al producto para determinar su funcionabilidad y calidad; otro medio para la recolección de información será la investigación al funcionamiento de plantas similares que se encuentran en diferentes departamentos de Colombia, como Boyacá.

6.3.2 Tratamiento de la información

Con la información colectada se van a determinar las características de diseño de la planta.

6.3.3 Propuesta de diseño

Una vez hallados todos los parámetros y características, se procede a realizar el diseño de la planta, la cual contara con un óptimo funcionamiento que permita la reducción de desperdicios de materia prima en la producción y minimice los tiempos de proceso, garantizando una buena rentabilidad.

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

6.3.4 Simulación de la propuesta de diseño

Después de tener una propuesta viable de diseño, se realiza la simulación de la misma en condiciones ideales, con el fin de verificar una óptica funcionalidad.

6.3.5 Herramientas de ingeniería

En primera instancia para el desarrollo de este proyecto se utilizará el diagrama de Ishikawa, permitiendo establecer las causas que se derivan de la implementación de un proceso de acidulación de roca fosfórica en Fosfonorte S.A.

Finalmente se utilizará el diagrama de flujo, para poder hacer una descripción óptima del proceso productivo de la acidulación de la roca fosfórica en Fosfonorte S.A.

7. Cronograma y descripción de actividades

7.1. Cronograma de actividades:

Tabla 18. *Cronograma y descripción de Actividades*

OBJETIVOS	ACTIVIDAD	SEMANAS															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Diagnosticar la distribución de la planta industrial de la empresa de fosfatos de Norte de Santander.	1. Revisar la información de la planta	■															
	2. Evaluar la distribución de la planta	■	■														
Realizar la propuesta de diseño de la planta de acidulación de roca fosfórica de la empresa de fosfatos de Norte de Santander	3. Investigar el proceso de acidulación.		■														
	4. Analizar el proceso de acidulación a pequeña escala			■	■												
	5. Plantear la propuesta de diseño					■	■	■	■	■							
Simular la propuesta de diseño de la planta de acidulación de roca fosfórica de la empresa de fosfatos de Norte de Santander.	6. Realizar el modelo de simulación de la planta en ProModel.									■	■	■	■	■			
Determinar la viabilidad del diseño de la planta de acidulación de roca fosfórica de la empresa de fosfatos de Norte de Santander a través de la simulación.	7. Validar el diseño a través de la simulación															■	■

Fuente: El Autor

Para la realización de este proyecto se contará con un tiempo de 16 semanas que inician a partir del 8 de febrero de 2021

7.2. Descripción de actividades por cada objetivo propuesto:

Diagnosticar la distribución de la planta industrial de la empresa de fosfatos de Norte de Santander.

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

1. Revisar la información de la planta. La primera tarea que se llevará a cabo es la de solicitar y verificar la información relacionada con el funcionamiento de la planta, como son planos, descripción del proceso y etapas de procesos de producción.
2. Evaluar la distribución de la planta. De acuerdo a la información solicitada, determinar las posibles oportunidades de mejora para la empresa.

Realizar la propuesta de diseño de la planta de acidulación de roca fosfórica de la empresa de fosfatos de Norte de Santander.

3. Investigar el proceso de acidulación. Por medio de consultas a páginas web e información recopilada a encargados de la parte química de la empresa, se van a caracterizar los diferentes factores que influyen en el proceso de la acidulación.
4. Analizar el proceso de acidulación a pequeña escala. Como la empresa cuenta con una planta de acidulación a pequeña escala se va a observar el funcionamiento de la misma, para determinar si tiene o no un óptimo funcionamiento y realizar correctivos de ser necesario.
5. Plantear la propuesta de diseño. Teniendo en cuenta la información anteriormente recopilada y las características necesarias para el diseño se procede a realizar el mismo.

Simular la propuesta de diseño de la planta de acidulación de roca fosfórica de la empresa de fosfatos de Norte de Santander.

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

6. Realizar el modelo de simulación de la planta en ProModel. De acuerdo al diseño propuesto, se hace la simulación en esta herramienta, basándose en condiciones ideales de funcionamiento.

Determinar la viabilidad del diseño de la planta de acidulación de roca fosfórica de la empresa de fosfatos de Norte de Santander a través de la simulación.

7. Validar el diseño a través de la simulación. De acuerdo al funcionamiento de la planta en la simulación realizada se determina si cuenta con las características necesarias para el proceso y de considerarse necesario se realizan los cambios pertinentes.

8. 1Resultados

A continuación, se describe el desarrollo de cada actividad propuesta para finalmente dar cumplimiento a los objetivos:

8.1. Diagnosticar la distribución de la planta industrial de la empresa de fosfatos de Norte de Santander.

Revisar la información de la planta.

La primera tarea que se llevó a cabo fue la de solicitar y verificar la información relacionada con el funcionamiento de la planta, como resultado se obtienen los plano del anexo (Anexo 1 Plano de la planta de producción Fosfonorte S.A. y Anexo 2 Plano Fosfonorte S.A.).

Mediante el análisis del plano, la observación de la planta productiva (Anexo 5. Video zona de producción) y entrevistas realizadas a los operarios de la empresa, se evidencia que la distribución del proceso y las fases del mismo se llevan de manera adecuada, pero el resultado deja gran porcentaje de roca fosfórica sin comercializar, debido a que no alcanza la concentración necesaria de fósforo para su comercialización. Este material es desperdiciado ya que no se cuenta con un proceso adecuado para darle uso.

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

Evaluar la distribución de la planta.

De acuerdo a la información solicitada, se determinaron las siguientes oportunidades de mejora para la empresa:

- Los tanques de secado (Anexo 4 Tanques de secado) tienen una altura de 1.2m, la cual es muy profunda y dificulta el proceso, dado que no se logra evaporar la humedad en su totalidad, situación que se intensifica en los días de lluvia, para esto sería conveniente realizar un rediseño de los tanques, reduciendo la altura de los mismo, lo cual optimizaría el proceso, dado que se acorta el periodo de tiempo requerido para el secado del material.
- Se observa que hay equipos a los cuales no se les da uso, lo que representa una devaluación de los mismos, ya que muchos de ellos presentan fallas por el no uso y/o por el almacenamiento incorrecto, dichos equipos podrían ser utilizados en la elaboración de nuevos productos o en su defecto comercializados para evitar pérdidas económicas debido a la devaluación de los activos.
- Se observa que se pueden implementar mayores avances tecnológicos en el proceso productivo, esto con el fin de evitar o minimizar sobrecargas, lesiones y/o accidentes en los trabajadores, fundamentalmente en el proceso de empaclado y cocido de los bultos, con esto también se lograría una optimización en los tiempos del proceso.

8.2. Realizar la propuesta de diseño de la planta de acidulación de roca fosfórica de la empresa de fosfatos de Norte de Santander.

Investigar el proceso de acidulación.

Como se evidencia en la fundamentación teórica se hizo investigación del tema en diversas páginas web con el fin de obtener la documentación necesaria para diseñar la planta de acidulación.

Analizar el proceso de acidulación a pequeña escala.

Como la empresa contaba con una planta de acidulación a pequeña escala se observó el funcionamiento de la misma, para determinar si tenía o no un óptimo funcionamiento y realizar correctivos de ser necesario.



Ilustración 18. Reactor Batch pequeña escala, secuencia fotografía

En el laboratorio de química de la empresa de fosfatos de Norte de Santander, se realizó el proceso a pequeña escala, utilizando el reactor batch a pequeña escala, determinando las características del proceso de producción y los materiales requerido, teniendo en cuenta la Caracterización química de la roca lixiviada de Fosfonorte S.A (Anexo 3 Caracterización química de la roca lixiviada de Fosfonorte). A través de eso se estableció que el proceso de acidulación de roca fosfórica requiere de la utilización de ácido nítrico y tiosulfato de amonio, el proceso requiere una hora de mezcla en el reactor batch, adicionalmente el proceso requiere un tiempo de curado de 28 días, para acentuar sus propiedades, posteriormente el producto se someterá a un proceso de horneado, para luego ser clasificado mediante una zaranda que garantiza el tamaño de grano necesario, para la elaboración de una (1) tonelada de roca fosfórica acidulada requiere las siguientes proporciones:

Tabla 1. *Insumos de producción Fuente: Fosfonorte S.A.*

MATERIAL	CANTIDAD REQUERIDA
ROCA FOSFÓRICA	1 TONELADA
TIOSULFATO DE AMONIO	250 LITROS
ACIDO NITRICO	750 LITROS

Plantear la propuesta de diseño.

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

Teniendo en cuenta la información anteriormente recopilada y las características necesarias para el diseño se procede a realizar el mismo:

El diseño de la planta de acidulación de roca fosfórica de la empresa de fosfatos de norte de Santander está constituido por un espacio de 240 m² (16 m * 15 m), conformado por un área de carga elevada 1.5 m del nivel inferior permitiendo acceder de forma rápida, segura y eficiente a la parte superior de los equipos para depositar los diferentes materiales en estos, en la parte baja se encuentra una zona donde están ubicados los dos tanques de almacenamiento, el reactor batch, el horno secador y la zaranda, al frente, separada por una zona de tránsito para el minicargador y los operarios se encuentran la zona de enfriamiento donde se deposita el material para realizar el curado, una zona de acople temporal donde el material que pasa por la zaranda aguarda su turno de ser empacado en la maquina empacadora, y por ultimo encontraremos la zona de almacenamiento, donde se deposita el material listo para ser comercializado en bultos de cincuenta kilos.

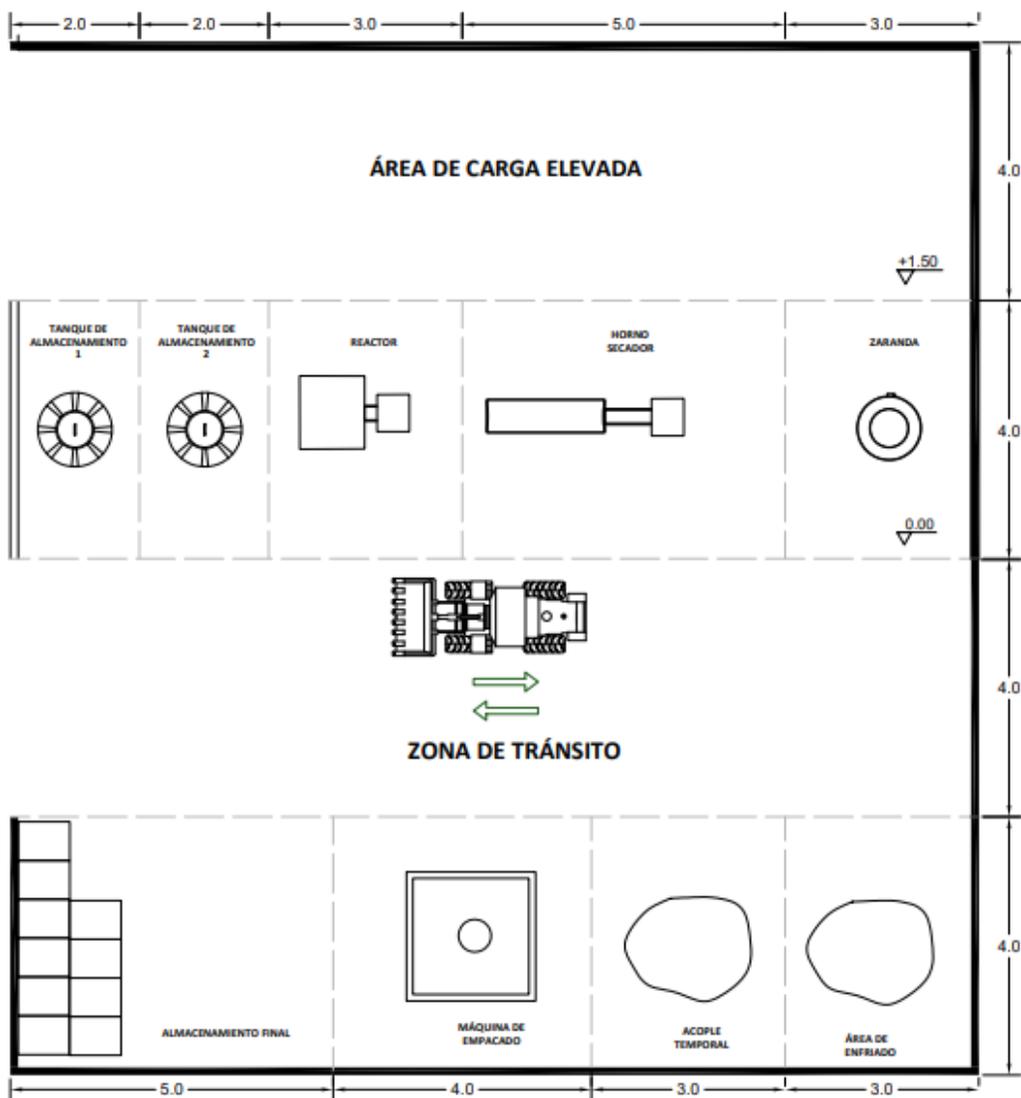


Ilustración 19. Plano de la planta de acidulación formato dwg.

Los equipos utilizados en este proceso productivo son:

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

- Minicargador New Holland L223: este equipo servirá para transporte de los diferentes materiales, este es un equipo que se encuentra en la empresa sin uso.
- Horno secador rotatorio: En este equipo extraerá toda la humedad del material, lo cual permite alargar la vida útil del producto, el horno tiene una capacidad de procesar 5 toneladas por horas, y es heredado del proceso principal.
- Reactor Batch de Doble Hélice: la adquisición de este equipo es indispensable para el proceso, este reactor de 10 Hp, 36 RPM y de 2,75 m por 1,51 m será el encargado de mezclar la materia prima del proceso de adulación.
- Zaranda: su función es clasificar el material de acuerdo al tamaño de grano necesario para el producto, la zaranda cuenta con un motor de 1.6 Hp, está elaborada en acero inoxidable SAE 316 y posee un área de trabajo de 1 m².
- Maquina empacadora: Este equipo elaborado en acero inoxidable SAE304, con una velocidad de empacado de 7-9 sacos/min con sistema de dosificación de tornillo tendrá la misión de empacar el producto en costales de 50 Kg.
- Tanques de almacenamiento: Estos tanques almacenan el ácido nítrico y tiosulfato de amonio, tiene una capacidad de 1100 litros, una base con un diámetro de 1.15 m, su peso es de 18 Kg, cuenta con un doble anillo de refuerzo para mejorar su resistencia.

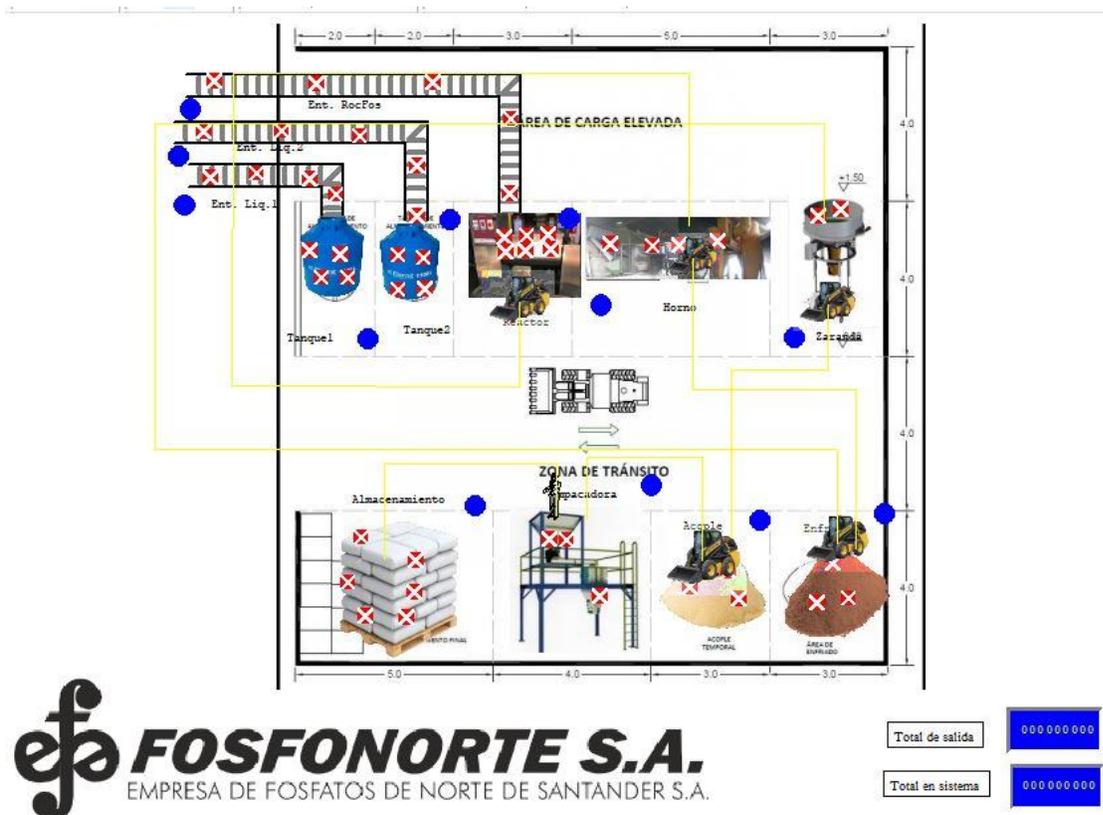
8.3. Simular la propuesta de diseño de la planta de acidulación de roca fosfórica de la empresa de fosfatos de Norte de Santander.

Realizar el modelo de simulación de la planta en ProModel.

ProModel es un simulador con animación y optimización para hacer modelos de simulación y optimizarlos. Permite simular cualquier tipo de sistemas de manufactura, logística, servicios, call centers, manejo de materiales, etc . ProModel es un paquete de simulación que no requiere programación, aunque si lo permite. Prácticamente, cualquier sistema puede ser modelado. Una vez que el modelo ha sido creado, éste puede ser optimizado para encontrar los valores óptimos de los parámetros clave del modelo. Algunos ejemplos incluyen determinar la mejor combinación de factores para maximizar producción minimizando costo, minimizar el número de camiones sin penalizar el servicio, etc. (ProModel)

De acuerdo al diseño propuesto, se hace la simulación en ProModel, basándose en condiciones ideales de funcionamiento (Anexo 6. Video Simulación). La simulación se ejecutó durante 20000 horas, es decir, durante 4.16 años (50 meses) teniendo en cuenta que la empresa labora dos turnos de 8 horas de lunes a viernes excluyendo festivos, mostrando al final que han salido 57 toneladas de producto y se encuentran 3 en proceso (todo simulado con las cantidades necesarias para producir una tonelada del producto a la vez).

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.



efo FOSFONORTE S.A.
EMPRESA DE FOSFATOS DE NORTE DE SANTANDER S.A.

Ilustración 20. Simulación en ProModel

8.4. Determinar la viabilidad del diseño de la planta de acidulación de roca fosfórica de la empresa de fosfatos de Norte de Santander a través de la simulación.

Validar el diseño a través de la simulación.

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

A través de la simulación de la planta de acumulación de roca fosfórica de la empresa de fosfatos de Norte de Santander, se puede determinar que el diseño propuesto para el proceso es viable, dado que cumple con los requerimientos necesarios para el proceso productivo, adopta las características de los equipos necesarios para la producción y asegura un producto excelente debido a la calidad de los insumos.

Al evaluar los costos suministrados por el área contable de fosfonorte (ver ilustración) se determina que no es viable económicamente la planta de acidulación, dado que el costo de producción es muy alto y no se alcanza a cubrir dicho egreso con la ganancia esperada por tonelada, cabe resaltar que el valor estimado del producto es de \$ 38.000 COP.

COSTOS DE PRODUCCIÓN DE UNA TONELADA DE ROCA FOSFÓRICA ACIDULADA					
ÍTEM REQUERIDOS	CANTIDAD SIMULADA:		60 Toneladas		
	CANTIDAD REQUERIDA	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL UNA TONELADA	PRECIO PRODUCCIÓN SIMULADA	
ACIDO NÍTRICO (Litros)	750	\$ 4.000	\$ 3.000.000	\$ 180.000.000	
TIOSULFATO DE AMONIA (Litros)	250	\$ 5.600	\$ 1.400.000	\$ 84.000.000	
MICARGADOR (Horas)	5	\$ 60.000	\$ 300.000	\$ 18.000.000	
HORNO (Horas)	1	\$ 65.000	\$ 65.000	\$ 1.300.000	
MAQUINA EMPACADO (Horas)	1	\$ 35.000	\$ 35.000	\$ 700.000	
OTROS INSUMOS	1	\$ 40.000	\$ 40.000	\$ 2.400.000	
SALARIO PROMEDIO OPERARIOS	4	\$ 1.300.000	\$ 5.200.000	\$ 260.000.000	
ZARANDA (Horas)	1	\$ 55.000	\$ 55.000	\$ 3.300.000	
TOTAL			\$ 10.095.000	\$ 549.700.000	
GANANCIA ESPERADA					
	BULTO 50 KG	VALOR TONELADA	VALOR TONELADAS SIMULADA	DIFERENCIA	
PRECIO DE VENTA ESPERADO	\$ 38.000	\$ 760.000	\$ 45.600.000	-\$ 504.100.000	

Datos suministrados por el área de contabilidad de la empresa.

Ilustración 21. Costos de producción.

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

Bajo estas condiciones para que la planta sea viable, el precio del producto (bulto de 50Kg) tendría no podría ser inferior a \$ 458.000 COP, lo cual no corresponde al mercado objetivo de la empresa.

Para poder llevar a cabo el proceso de acidulacion de roca fosfórica se tendrían que reducir costos, principalmente en los acidos utilizados ya que estos representan el 33% de los costos de producción por tonelada, para lo cual se requieren nuevos estudios y ensayos químicos.

- **Índice Costo/Beneficio**

El análisis del costo-beneficio es un proceso que se refiere a la evaluación de un determinado proyecto, un esquema para tomar decisiones de cualquier tipo. Ello involucra, de manera explícita o implícita, determinar el total de costos y beneficios de todas las alternativas para seleccionar la mejor o más rentable. Este análisis se deriva de la conjunción de diversas técnicas de gerencia y de finanzas con los campos de las ciencias sociales, que presentan tanto los costos como los beneficios en unidades de medición estándar usualmente monetarias para que se puedan comparar directamente. (Aguilera Díaz, 2017)

Para saber si un proyecto es viable bajo este enfoque, se debe considerar la comparación de la relación B/C hallada con 1. Así:

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

Si $B/C > 1$, esto indica que los beneficios son mayores a los costos. En consecuencia, el proyecto debe ser considerado.

$B/C = 1$, significa que los beneficios igualan a los costos. No hay ganancias. Existen casos de proyectos que tienen este resultado por un tiempo y luego, dependiendo de determinados factores como la reducción de costos, pueden pasar a tener un resultado superior a 1.

$B/C < 1$, muestra que los costos superan a los beneficios. En consecuencia, el proyecto no debe ser considerado. (ESAN, 2017)

Para calcular la relación (B/C), primero se halla la suma de los beneficios adquiridos al presente, y se divide sobre la suma de los costes también descontados.

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{Beneficio total adquirido}}{\text{Costos del proyecto}}$$

Ecuación 1 Relación Costo Beneficio

$$\frac{\text{Beneficios}}{\text{Costos}} = \frac{\$45.600.000}{\$549.700.000} = 0,082954339$$

Mediante la relación Beneficios/Costos, se observa que los costos de ejecución del proyecto durante el periodo simulado son muy altos en comparación con los beneficios, obteniendo un valor de 0,0829 en la relación Beneficios/Costos. Por ende, se determina que el proyecto no es viable económicamente.

- **Plazo de Recuperación Contable**

El periodo de recuperación de la inversión - PRI - es considerado un indicador que mide tanto la liquidez del proyecto como también el riesgo relativo pues permite anticipar los eventos en el corto plazo. Es un instrumento que permite medir el plazo de tiempo que se requiere para que los flujos netos de efectivo de una inversión recuperen su costo o inversión inicial. (C., 2010)

El periodo de recuperación de la inversión es un indicador de evaluación de proyectos de inversión, indicando la liquidez del proyecto, así como el riesgo relativo. El indicador consiste en el cálculo del tiempo que se requiere para que los flujos de efectivo de una inversión recuperen el costo inicial. (GÓMEZ VILLARRAGA, 2013)

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{Fn}{(1+i)^n} = 0$$

Ecuación 2 Formula TIR Fuente: (IEP)

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

Donde:

Fn: Flujo de caja en el periodo n

n: número de periodos

i: Valor de la inversión inicial

Para el caso de la planta de acidulación de roca fosfórica en la empresa Fosfonorte S.A. no es posible calcular dicho indicador, ya que en el tiempo simulado y de acuerdo con los datos suministrados por el área de contabilidad de la empresa, la brecha entre costos y beneficios aumenta conforme aumenta la producción del producto acidulado, esto hace que en ese periodo no se recupere la inversión inicial del proyecto, ya que dadas estas condiciones de elaboración para la roca acidulada se estaría trabajando a pérdidas, lo cual no es rentable para la empresa, dicha situación se confirma con el cálculo de la relación Beneficio/Costo cuyo resultado es menor a 1.

9. Conclusiones

- Implementar el proceso de acidulación genera grandes oportunidades comerciales para la empresa tanto a nivel regional como a nivel nacional, esto dado que se crea un nuevo portafolio de productos aplicables directamente a los cultivos, favoreciendo a los cultivadores y ampliando el mercado objetivo de la empresa.
- Con la implementación del proceso de acidulación en la empresa de fosfatos de Norte de Santander, se logra reducir el porcentaje de material desperdiciado (Actualmente es aproximadamente 25% por tonelada y pasa a ser aproximadamente 5%); a su vez genera nuevos ingresos económicos dado que se crean nuevos productos.
- Mediante la planta de acidulación se logra el procesamiento de alrededor de 90 toneladas de roca fosfórica concentradas en los cinco tanques de secado, y de igual manera se aprovecharían aproximadamente 235 toneladas que se consideran “desperdicios” al finalizar el proceso, dado la mayor parte de este material no alcanza el porcentaje de fósforo necesario para ser comercializado dentro del portafolio de productos.
- Diagnosticando la actual distribución de la planta industrial de la empresa de fosfatos de Norte de Santander, se evidenció que se pierde mucho tiempo debido a la poca automatización de los procesos, dichos procesos podrían ser optimizados con el uso de tecnologías que aporten a la mejora de la producción

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

y la reducción de los tiempos empleados en estos, adicional a eso es necesario automatizar la fase de empaclado que actualmente tiene Fosfonorte S.A., la forma manual de empaclar el producto genera cuellos de botella en la línea de producción, también presenta riesgos para la persona que realiza la tarea, debido a las posturas poco ergonómicas que deben adoptar los operarios al realizar el empaclado, a que deben levantar y trasladar cargas de manera manual, esta tarea puede generar un accidente, además la realización de manera repetitiva puede llegar a causar una enfermedad laboral en el colaborador de la empresa. También, se evidencia que los tanques de secado no cuentan con un diseño adecuado, dificultando la tarea para la cual son utilizados. La alimentación de los hornos es de manera manual. Por último, se observa que las pérdidas de material por bajo porcentaje de fósforo son muy altas, dado que la empresa no cuenta con un proceso que permita el aprovechamiento de este material.

- La propuesta de diseño de la planta de acidulación de roca fosfórica de la empresa de fosfatos de Norte de Santander, es viable ya que cumple con las expectativas generadas en cuanto al proceso productivo, garantizando las condiciones necesarias para un producto de calidad, dicha viabilidad se determina por medio del análisis de la simulación, donde se permite conocer el comportamiento de la planta a lo largo de un periodo de 4.2 años, mostrando que los equipos asociados al proceso son óptimos para para la producción del producto. Con la realización de esta propuesta de diseño de la planta de acidulación de la empresa se satisface la necesidad de crear un producto de aplicación directa, con este proceso se mejora el porcentaje de fósforo total en la roca fosfórica permitiendo la recuperación de cientos de toneladas acumuladas como residuos del proceso principal por no cumplir con las características necesarias para el consumidor final. Con la elaboración de esta propuesta de diseño se emplean equipos que se encuentran inutilizados en el proceso principal.

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

- El análisis de los costos de producción determina que la planta de acidulación de roca fosfórica no es viable económicamente para la empresa de fosfatos de Norte de Santander, esto se debe a que el valor de los insumos es alto, en especial el precio de los ácidos requeridos para la acidulación estos representan un 33% del costo de producción por tonelada. El cálculo de la relación costo beneficio arroja un valor menor a uno (1) lo cual indica que el proyecto no es viable para ejecutar dado que los costos superan los beneficios obtenidos durante el periodo simulado. La simulación arroja un total de toneladas producidas en un periodo de tiempo. Este valor corresponde a un proceso de elaboración “en serie”, es decir hasta que no se completa la elaboración de una tonelada no se inicia el procesamiento de la siguiente, las toneladas producidas pueden ser mayores, modificando el sistema de producción, permitiendo comenzar la elaboración de la siguiente tonelada antes de finalizar la actual. Con esto se podrán elevar las ganancias obtenidas. Esta acción elevaría los costos de producción dado que requiere el uso de mayor cantidad de ácido.

- Con la simulación de la propuesta de diseño de la planta de acidulación de roca fosfórica de la empresa de Fosfatos de Norte de Santander, mediante la utilización del software ProModel con licencia educativa, se puede determinar que, bajo las características y cantidades suministradas por el área química para la elaboración de una tonelada de roca fosfórica acidulada, se habrán fabricado 57 toneladas de roca fosfórica acidulada y 3 más se encontrarán en proceso al finalizar la simulación. Dicha simulación se ejecutó por 4,2 años, teniendo en cuenta que la empresa trabaja de lunes a sábado (Excluyendo festivos) durante dos turnos de ocho horas cada uno. De igual manera se evidencia que la variable que más afecta la producción de roca fosfórica acidulada es el tiempo, ya que el producto requiere un proceso de curado que tarda 28 días, el curado se realiza fortalecer sus propiedades, maximizando la absorción de ácidos en la roca

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

fosfórica lo que permite aumentar el porcentaje de fosforo total y el nivel de absorción por las plantas y/o cultivos elevando el nivel de calidad del producto final.

10. Recomendaciones

- Se evidencia gran cantidad de material sobrante o desperdiciado al finalizar el proceso lo cual se transforma en pérdidas económicas para la empresa, por ende, se recomienda implementar un nuevo proceso productivo con dicho material, logrando minimizar dichas pérdidas.
- Se evidencia que la empresa no cuenta con un portafolio de productos de aplicación directa en los cultivos, esto hace que compañías lejanas hagan presencia en la región, reduciendo el mercado objetivo de la empresa, se hace necesario la creación de una gama de productos que satisfagan las necesidades del mercado.
- Se recomienda elaborar nuevos análisis y pruebas químicas que puedan determinar otras alternativas para llevar a cabo el proceso de acidulación con diferentes agentes acidulantes, ya que los utilizados en la simulación (Ácido Nitríco y Tiosulfato de Amonio) tienen un elevado costo y se necesitan altas cantidades de estos para la elaboración de una tonelada de producto.

11. Referencias bibliográficas

Acevedo, L. (2012). Obtenido de <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2012/144204.pdf>

Aguilera Díaz, A. (2017). *El costo-beneficio como herramienta de decisión en la inversión en actividades científicas*. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/>:

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2073-60612017000200022&lng=es&tlng=es.

ANM. (2015). *Agencia Nacional de Minería* . Recuperado el 21 de Febrero de 2021, de www.anm.gov.co

Armando Morillo, O. S. (2007). Roca fosfórica acidulada como fuente de fósforo en un suelo ácido con o sin encalado. *Bioagro*.

Arroyo, A. (16 de Abril de 2019). Obtenido de

https://repositorio.esan.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12640/1527/2019_MAPM_17-1_06_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

C., J. D. (Febrero de 2010). *Periodo de recuperación de la inversión - PRI*. Obtenido de pymesfuturo.com: <https://www.pymesfuturo.com/pri.htm>

Chaparrós, S. (30 de Mayo de 2014). Obtenido de

https://repository.uniminuto.edu/bitstream/handle/10656/2947/TTL_ChaparroSantosKellyCatherine_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Colorado, I. (2013). Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/77273114.pdf>

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

- Cruz, J. V. (2018). Obtenido de <https://ingemecanica.com/proyectos/proyecto40.html>
- ESAN. (Enero de 2017). *El índice beneficio/costo en las finanzas corporativas*. Obtenido de ESAN: <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2017/01/el-indice-beneficiocosto-en-las-finanzas-corporativas/>
- FAO, O. D. (2007). Publicación conjunta de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y del Organismo Internacional de Energía Atómica. *BOLETÍN FAO*, 13, 94.
- FAO, O. D. (2007). *Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible*. Roma: FAO.
- Gaviria, J. C. (29 de mayo de 2019). *asuntos:legales*. Recuperado el 14 de Febrero de 2021, de <https://www.asuntoslegales.com.co/consultorio/sociedades-de-economia-mixta-y-su-regimen-contratual-2867225>
- GÓMEZ VILLARRAGA, F. (2013). *PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN DESCONTADO Y SU APLICACIÓN EN LA AMORTIZACIÓN*. Obtenido de Revista Internacional Legls de Contabilidad & Auditoria : https://xperta.legis.co/visor/rcontador/rcontador_daa584c1b300011ce0430a010151011c/revista-internacional-legis-de-contabilidad-y-auditoria/periodo-de-recuperacion-de-la-inversion-descontado-y-su-aplicacion-en-la-amortizacion
- IEP, I. E. (s.f.). *Instituto Europeo de Posgrado*. Obtenido de Cómo calcular la Tasa Interna de Retorno (TIR): <https://www.iep-edu.com.co/como-calculer-la-tasa-interna-de-retorno-tir/>
Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

Minenergía. (s.f.). *Ministerio de Minas y Energías*. Obtenido de

<https://www.minenergia.gov.co/historia1>

Minero, M. (s.f.). *Mexico Minero*. Recuperado el 21 de Febrero de 2021, de

www.mexicomintero.org

Ministro de Minas y Energía. (03 de Noviembre de 2011). DECRETO 4134 DE 2011. Bogota.

Parra, F. O. (2014). Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7983/1/UPS-CT004849.pdf>

ProModel. (s.f.). *ProModel Mexico*. Obtenido de promodel.com.mx:

<http://promodel.com.mx/promodel/>

QuestionPro. (2019). *QuestionPro*. Obtenido de

<https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-no-experimental/>

Republica, C. d. (15 de Agosto de 2001). Código de minas. Bogota.

Roa, J. N. (01 de 01 de 2017). Obtenido de

https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1037&context=ing_industrial

S.A, F. (s.f.). *FOSFONORTE S.A*. Recuperado el 14 de Febrero de 2021, de

<https://fosfonorte.com/web/quienes-somos/>

S.A., F. (s.f.). *www.fosfonorte.com*. Recuperado el 14 de Febrero de 2014, de

<https://fosfonorte.com/web/product/fosfoindustrial-35/>

significados.com. (2021 de Marzo de 07). *Tipos de investigación*. Obtenido de

<https://www.significados.com/tipos-de-investigacion/>

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.

UPME, U. d. (2016). *Balance del mineral 2012 - 2016*. Colombia.

Propuesta de Diseño de una Planta de Acidulación de Roca Fosfórica para la Empresa de Fosfatos de Norte de Santander.