

**EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y FINANCIERA PARA LA
OBTENCIÓN DE SULFATO DE AMONIO PARA FERTILIZANTES
COLOMBIANOS S.A.**

**XAVIER ANTONIO PALACIO VIDES
SEBASTIÁN RAMÍREZ RAMÍREZ**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2016**

**EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y FINANCIERA PARA LA
OBTENCIÓN DE SULFATO DE AMONIO PARA FERTILIZANTES
COLOMBIANOS S.A.**

**XAVIER ANTONIO PALACIO VIDES
SEBASTIÁN RAMÍREZ RAMÍREZ**

**Proyecto Integral de Grado para optar al título de:
INGENIERO QUIMICO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2016**

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado 1

Jurado 2

Bogotá D.C., Agosto de 2016

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García – Peña

Vicerrectoría Académica y de Posgrados

Dr. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García – Peña

Decano Facultad de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director Programa de Ingeniería Química

Ing. Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme permitido llegar a este punto con salud para lograr mis objetivos y a mis padres, por acompañarme en todo momento con sus consejos, valores, amor y motivación constante para culminar mi carrera profesional.

A mi hermana, por estar conmigo en todo momento, brindándome su cariño y fuerza para afrontar los problemas que se presentaron.

A mi novia por darme su amor, su paciencia y comprensión durante la culminación de este trabajo.

A la ingeniera Elizabeth Torres, por compartir su tiempo, sus conocimientos y por impulsar el desarrollo de nuestra formación profesional.

A mis abuelas, por sus oraciones diarias para salir adelante en mi profesión.

Finalmente a mi compañero de tesis, quien quiso compartir conmigo esta inolvidable experiencia aportando sus valiosos conocimientos, su buena vibra, esfuerzo, colaboración y acogida familiar.

Sebastián Ramírez Ramírez

Le doy gracias a Dios por permitirme terminar con esta meta sin desfallecer, y a la Virgen María por acompañarme en estos 5 años de esfuerzo, y en cada momento de dificultad y bendición.

A mis padres, por apoyarme de forma incondicional en mi proyecto de vida y por estar a mi lado en cada meta por más duro que sea. Sin importar las adversidades o dificultades siempre estuvieron para apoyarme.

A mis abuelos, que me apoyaron y siempre me motivaron a seguir adelante con mi sueño. A los maestros y amigos que me acompañaron. Cada uno me lleno de conocimiento y experiencias inolvidables.

Y a “Pechiche” que me acompañó durante una gran parte y me dio uno de los regalos más hermosos que pude recibir en estos 5 años.

Por último, agradezco a mi compañero de proyecto con quien se forjó una amistad que espero perdure gran parte de nuestras vidas.

Xavier Antonio Palacio Vides

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	20
1. GENERALIDADES	21
1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA PLANTA	21
1.2 MARCO TEÓRICO	23
1.2.1 Procesos para obtener sulfato de amonio.	23
1.2.1.1 Proceso directo.	23
1.2.1.2. Proceso indirecto.	25
1.2.1.3. Proceso semidirecto.	26
1.2.1.4. Proceso sistema BASF.	26
1.3. FERTILIZANTES	28
1.3.1. Fertilizantes nitrogenados.	28
1.3.2. Sulfato de amonio.	28
1.4. MATERIAS PRIMAS	29
1.4.1. Hidróxido de amonio	29
1.4.1.1 Propiedades físicas	29
1.4.1.2 Usos	29
1.4.2. Ácido sulfúrico	30
1.4.2.1 Propiedades físicas.	30
1.4.2.2 Usos	30
2. SELECCIÓN DE MÉTODO	31
2.4 SELECCIÓN DE LA RUTA	31
2.4.1 Proceso directo.	31
2.4.2 Proceso indirecto.	32
2.4.3 Proceso semidirecto.	32
2.4.4 Sistema BASF.	33
2.5 MATRIZ COMPARATIVA	34
2.6 DESARROLLO EXPERIMENTAL DEL MÉTODO SELECCIONADO	34
2.6.1 Metodología.	35
2.6.2 Obtención del producto.	35
2.6.3 Cristalización.	36
2.6.4 Filtración.	37
2.6.5 Secado.	37
2.6.5.1 Curva de secado.	37
2.7 CARACTERIZACIÓN DEL SULFATO DE AMONIO	38
2.7.1 Nitrógeno amoniacal.	38
2.7.2 Acidez libre.	39
2.7.3 Humedad.	40
2.8 DISEÑO DE EXPERIMENTOS	40
2.9 RESULTADOS DEL PROCESO BASADO EN LA EXPERIMENTACIÓN	41
2.9.1 Reacción.	41

2.9.2	Cristalización.	43
2.9.3	Filtrado.	44
2.9.4	Secado.	45
2.10	REQUERIMIENTOS DE MASA A NIVEL LABORATORIO	47
2.11	REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA A NIVEL LABORATORIO	48
2.11.1	Requerimientos de energía reactor.	48
2.11.1.1	Calor de reacción.	48
2.11.1.2	Cambio de entalpía de los reactivos a la entrada	50
2.11.1.3	Cambio de entalpía de producto a la salida	50
2.11.2	Requerimientos de energía cristizador.	52
2.11.3	Requerimientos de energía en el secado.	53
2.12	CARACTERIZACIÓN DE SULFATO DE AMONIO	53
2.12.1	Nitrógeno amoniacal.	53
2.12.2	Humedad.	55
2.12.3	Acidez libre.	55
2.13	CONCLUSIONES	56
3.	DISEÑO DEL PROCESO	57
3.4	EQUIPOS	58
3.4.1	Tanques de almacenamiento de materia primas.	58
3.4.2	Reactor-cristizador.	58
3.4.2.1	Análisis proveedores.	58
3.4.2.2	Características y diseño.	58
3.4.2.3	Agitador.	62
3.4.3	Filtro.	64
3.4.4	Secador	64
3.4.4.1	Secadores mecánicos.	64
3.5	ACCESORIOS EN EL PROCESO	65
3.5.1	Bombas.	65
3.5.2	Tubería.	65
3.5.3	Accesorios.	65
3.6	MATERIALES DE CONTRUCCIÓN EQUIPOS	66
4.	EVALUACIÓN FINANCIERA	68
4.4	DIAGNÓSTICO	68
4.5	ANÁLISIS PEST	69
4.5.1	Factores económicos	69
4.5.2	Factores políticos	71
4.5.3	Factores ambientales	71
4.6	MERCADO POTENCIAL	72
4.7	SUPUESTOS GENERALES	76
4.8	COSTOS DE MATERIA PRIMA	77
4.9	COSTO DE EQUIPOS	77

4.10	COSTOS DE OPERACIÓN	78
4.10.1	Mano de obra directa.	78
4.10.2	Costos indirectos.	79
4.10.3	Costos energéticos.	79
4.10.4	Reactor-cristalizador.	79
4.10.4.1	Agitador.	79
4.10.4.2	Enfriamiento.	80
4.10.4.3	Calentamiento.	80
4.10.5	Filtro.	81
4.10.6	Secado.	81
4.11	GASTOS PREOPERATIVOS.	81
4.12	ACTIVOS FIJOS.	82
4.13	VENTAS	82
4.14	FLUJO DE CAJA	83
5. CONCLUSIONES		90
6. RECOMENDACIONES		91
BIBLIOGRAFÍA		92
ANEXOS		96

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Relación concentración ácido-base	35
Tabla 2. Relación cantidad de volumen ácido-base	36
Tabla 3. Solubilidad sulfato de amonio en agua	37
Tabla 4. Flujos de reacción	42
Tabla 5. Temperatura inicial y final reacción	42
Tabla 6. Tiempo de cristalización	44
Tabla 7. Peso inicial y final en la filtración	45
Tabla 8. Materia prima laboratorio.	47
Tabla 9. Calor de formación de sustancias.	49
Tabla 10. Porcentaje de nitrógeno amoniacal.	53
Tabla 11. Porcentaje de humedad inicial	55
Tabla 12. Porcentaje de acidez libre	56
Tabla 13. Perfil de oportunidades y amenazas económicas	70
Tabla 14. Perfil de oportunidades y amenazas políticas	71
Tabla 15. Perfil de oportunidades y amenazas ambientales	72
Tabla 16. Producción de fertilizantes en Colombia.	73
Tabla 17. Venta de fertilizantes en Colombia.	74
Tabla 18. Importaciones de fertilizantes a Colombia.	75
Tabla 19. Porcentaje de inflación.	76
Tabla 20. Índice de precios al consumidor.	77
Tabla 21. Costo anual materia prima	77
Tabla 22. Costo de equipos	78
Tabla 23. Valores por concepto de salario mínimo en Colombia	78
Tabla 24. Costos Indirectos.	79
Tabla 25. Gastos Preoperativos.	81
Tabla 26. Activos Fijos.	82
Tabla 27. Precio potencial de venta.	83
Tabla 28. Flujo de caja del proyecto de viabilidad técnica y financiera de Sulfato de Amonio, dado en pesos colombianos corrientes	84
Tabla 29. Amortización préstamo	85
Tabla 30. Indicadores.	85
Tabla 31. Resultados de corriente en reactor por estequiometría	109
Tabla 32. Resultados de corriente en cristizador por estequiometría	110
Tabla 33. Resultados de corriente en filtración por estequiometría	111
Tabla 34. Resultados de secado en proceso experimental	112
Tabla 35. Resultados de eficiencia por estequiometría de reacción	113
Tabla 36. Resistencia química de materiales	122

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Determinación Nitrógeno Amoniacal	38
Ecuación 2. Determinación acidez libre	39
Ecuación 3. Determinación de humedad	40
Ecuación 4. Calor requerido.	48
Ecuación 5. Entalpía de reacción.	49
Ecuación 6. Entalpía de los reactivos	50
Ecuación 7. Entalpía de productos	50
Ecuación 8. Energía cristalizador	52
Ecuación 9. Energía Secador	53
Ecuación 10. Tiempo en el Reactor-Cristalizador	61
Ecuación 11. Cantidad lotes por año	61
Ecuación 12. Cantidad de Sulfato de amonio por lote	61
Ecuación 13. Volumen Reactor-Cristalizador	61
Ecuación 14. Volumen seguro del Reactor-Cristalizador	62
Ecuación 16. Costo Total anual.	79
Ecuación 17. Costo anual de agitación	80
Ecuación 18. Costo anual de la bomba	81

LISTA DE DIAGRAMAS

	pág.
Diagrama 1. Proceso de obtención de Sulfato de Amonio de forma directa	24
Diagrama 2. Proceso de obtención de Sulfato de Amonio de forma indirecta	25
Diagrama 3. Diagrama del proceso de obtención de sulfato de amonio del sistema BASF	27
Diagrama 4. Norma NTC 211	38
Diagrama 5. Norma NTC 39	39
Diagrama 6. Norma NTC 35	40
Diagrama 7. Proceso realizado	57
Diagrama 8. Diseño y características del Reactor-Cristalizador	63
Diagrama 9. Proceso de reacción	109
Diagrama 10. Proceso de cristalización	110
Diagrama 11. Proceso de filtración	111
Diagrama 12. Proceso de secado	112
Diagrama 13. Proceso de secado	114
Diagrama 14. Proceso de filtración	115
Diagrama 15. Proceso de filtración	115
Diagrama 16. Proceso de reacción	116

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Corrientes de obtención de forma directa	24
Cuadro 2. Corrientes obtención forma indirecta	26
Cuadro 3. Corrientes de obtención sistema BASF	27
Cuadro 4. Ventajas y desventajas proceso directo	32
Cuadro 5. Ventajas y desventajas del proceso indirecto	32
Cuadro 6. Ventajas y desventajas del proceso semidirecto	33
Cuadro 7. Ventajas y desventajas del sistema BASF	33
Cuadro 8. Matriz comparativa	34

LISTA DE GRÁFICOS

	pág.
Gráfico 1. Curva de secado	46
Gráfico 2. Materia prima laboratorio	47
Gráfico 3. Calor de formación de sustancias	49
Gráfico 4. Porcentaje de nitrógeno amoniacal	54
Gráfico 5. Producción de fertilizantes en Colombia	74
Gráfico 6. Venta de fertilizantes en Colombia	74
Gráfico 7. Importaciones de fertilizantes a Colombia	75

LISTA DE IMÁGENES

	pág.
Imagen 1. Ubicación geográfica de la empresa Fertilizantes Colombianos S.A.	22
Imagen 2. Momento de mezcla del ácido sulfúrico y el hidróxido de amonio. Observación de temperatura	43
Imagen 3. Proceso de cristalización experimental	44

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Caracterización del Sulfato de Amonio	96
Anexo B. Caracterización del Hidróxido de Amonio	102
Anexo C. Cotización sulfato de amonio con empresa Ciamsa S.	108
Anexo D. Procedimiento experimental	109
Anexo E. Balance de masa a nivel industrial	114
Anexo F. Cálculos generales	117
Anexo G. Materiales para la fabricación de los equipos	122
Anexo H. Cotización de equipos con Proyectos, construcciones y suministros CAM – PAL	124

GLOSARIO

ACIDEZ LIBRE: conjunto de ácidos, no neutralizados, presentes en un fertilizante.¹

ALIMENTOS PARA LAS PLANTAS: cualquier sustancia que contenga, en forma inmediatamente aprovechable, cantidades significativas de los nutrientes necesarios para un adecuado crecimiento y desarrollo de las plantas. Así, materiales tales como las sales de amonio, superfosfato y sales de potasio, son alimentos para las plantas.²

EFICACIA: término que expresa la capacidad de un fertilizante para dar el resultado esperado. El coeficiente de eficacia se mide normalmente por la relación existente entre la cantidad asimilada por el cultivo en un tiempo dado, respecto a la cantidad total aplicada.³

ELEMENTOS PRIMARIOS: son aquellos elementos nutritivos que las plantas necesitan en gran cantidad. Por lo general los suelos no contienen la cantidad suficiente que requiere una cosecha abundante.⁴

ELEMENTOS SECUNDARIOS: son aquellos elementos nutritivos que las plantas necesitan en cantidad moderada. Su abundancia en el suelo suele estar acorde con la demanda de los cultivos.⁵

FERTILIZANTE: es cualquier material orgánico o inorgánico, natural o sintético, que se adiciona al suelo con la finalidad de suplir en determinados elementos esenciales para el crecimiento de las plantas.⁶

FERTILIZANTE NITROGENADO: es el que contiene elemento nitrógeno (N). Puede ser simple, como el Nitrato de amonio, Sulfato de amonio, Urea, etc., o binario, como el Nitrato potásico, el Fosfato diamónico, etc.⁷

HUMEDAD: agua libre contenida en un fertilizante, expresada en % de su peso.⁸

¹CHAMBA HERRERA, Leonardo. Glosario de términos útiles en nutrición y fertilización. [consultado 04 de febrero de 2016]. Disponible en Internet: http://servicios.educarm.es/templates/portal/ficheros/websDinamicas/20/glosario_fertilizant es.pdf p.1

² Ibíd., p. 3.

³ Ibíd., p. 9.

⁴ Ibíd., p. 9.

⁵ Ibíd., p. 9.

⁶ Ibíd., p. 13.

⁷ Ibíd., p. 14.

⁸ Ibíd., p. 18.

NITRÓGENO (N): el nitrógeno es un constituyente de toda célula viva. Es parte de la clorofila, de las proteínas y de otras muchas sustancias que forman el cuerpo de los animales y plantas. Como fertilizante lo requieren en grandes cantidades todos los cultivos. Promueven el crecimiento de las hojas y tallos y aumenta el vigor de las plantas. Da brillo a las hojas y mejora su calidad. Aumenta el contenido proteínico de los cultivos que se destinan a la alimentación y ayuda a elevar los rendimientos de muchas cosechas. Da un color oscuro saludable a las hojas que contienen clorofila. Mucho nitrógeno puede perjudicar la calidad del tabaco y de las frutas; puede retardar la madurez, causar “el acame” y aumentar la susceptibilidad a las enfermedades. La deficiencia de nitrógeno puede reconocerse por el color pálido, delgado y verde amarillento de las hojas, crecimiento lento y bajos rendimientos.⁹

pH (CONCENTRACIÓN DE IONES DE HIDROGENO): el valor de pH o concentración de iones de hidrógeno de cualquier solución, suelo o compuesto, es simplemente un número que denota su grado de acidez o alcalinidad. Una solución neutra tiene un valor de pH 7,0; valores superiores a 7,0 indican alcalinidad, e inferiores a 7,0 indican acidez en escala logarítmica.¹⁰

⁹ *Ibíd.*, p. 22.

¹⁰ *Ibíd.*, p. 23.

RESUMEN

En el siguiente trabajo de grado se desarrolló el diseño conceptual para la obtención de Sulfato de Amonio en cristales. Partiendo de concentraciones de hidróxido de amonio y ácido sulfúrico con los que cuenta la empresa FERTILIZANTES COLOMBIANOS S.A., y las posibles combinaciones producto de éstas, para así determinar la combinación que genere un mayor porcentaje de nitrógeno amoniacal en el producto.

Teniendo en cuenta que las materias primas utilizadas en el proceso son subproductos de un proceso y materia prima sobrante, no es necesaria la caracterización de éstas. Se inicia con la reacción de neutralización, seguida de la cristalización que permite sobresaturar la solución para obtener los cristales de sulfato de amonio, se continúa con la filtración para eliminar la mayor cantidad de impurezas y agua posible, y finaliza con el secado y caracterización de los cristales para asegurar que cumplen con los requerimientos para ser considerado un fertilizante.

El sulfato de amonio obtenido tiene un porcentaje de nitrógeno amoniacal mínimo de 20,82 % y una acides libre máxima del 0.26 % los cual se encuentran por encima de los requerimientos establecidos, para ser considerado un fertilizante químico. El porcentaje de Nitrógeno Amoniacal se tomó como referencia para seleccionar el mejor proceso, que permitió elegir el 1M-2M para realizar el dimensionamiento de equipos y los balances de masa y energía.

Además, se determinaron las especificaciones de los equipos, condiciones de operación, diagrama del proceso y el análisis financiero, teniendo en cuenta las condiciones de mercadeo y que se espera producir 234 kg de Sulfato de amonio por cada Batch.

Palabras clave: Sulfato de amonio. Fertilizante. Nitrógeno amoniacal. Hidróxido de amonio. Ácido sulfúrico.

INTRODUCCIÓN

Los fertilizantes son sustancias que contienen nutrientes, los cuales ayudan a mejorar la composición química, física y biológica del suelo, el cual genera que las plantas se desarrollen más rápido por la fácil captación de los nutrientes. En este caso el fertilizante denominado “Sulfato de Amonio” es un fertilizante químico. En este proyecto se describen las características del sulfato de amonio, el proceso de obtención y sus características, y un detallado estudio financiero que permitió establecer la viabilidad del proyecto

Este proyecto de grado tiene el propósito de ampliar el mercado actual de Fertilizantes Colombianos S.A. y apoyar el desarrollo del entorno agrícola del país, considerando que el Sulfato de Amonio tiene múltiples características para ser usado como fertilizante único o parte de un fertilizante compuesto. Además de la necesidad de producto en el área de cobertura geografía de Fertilizantes Colombianos S.A. y la demanda de sus productos.

La importancia del presente trabajo radica en que, existe materia prima suficiente para darle un uso diferente y obtener un producto que complemente a los demás productos que tiene la empresa en la actualidad. Además de los beneficios monetarios que este proyecto podría aportar a la empresa, cuenta con unos beneficios Ambientales, teniendo en cuenta que se evitara vertimientos de sustancias químicas a fuentes hídricas.

Las limitaciones de este proyecto se basan en no poder ser escalado a nivel Planta Piloto lo que permite obtener una mayor exactitud y confiabilidad en los requerimientos de masa y energía para obtener la cantidad de producto deseada.

El objetivo general es Evaluar la Factibilidad Técnica y Financiera para la producción de Sulfato de Amonio para Fertilizantes Colombianos – Ferticol S.A. y los objetivos específicos son: Seleccionar el método de obtención del Sulfato de Amonio; Evaluar el método seleccionado por medio de un desarrollo experimental; Determinar los requerimientos energéticos, materia prima y equipos en el proceso; y Realizar el análisis financiero del proceso.

1. GENERALIDADES

La empresa Fertilizantes Colombianos S.A. tiene por objeto la producción, distribución y venta de productos petroquímicos, especialmente en la línea de abonos químicos. Los fertilizantes que en la actualidad produce son los siguientes:

Nitrato de Amonio Grado 26-0-0

Urea Grado 46-0-0

Nitrato de Calcio Líquido Grado 15.5-0-0- 31.0 CaO p/v

Nitrato de Amonio Líquido Grado 29-0-0 p/v

Solución U.N.A. Grado 42-0-0 p/v

Ácido Nítrico 55%

Y cuenta con la siguiente infraestructura de servicios industriales:

Planta de Arcilla

Planta de Clarificación y Potabilización de Agua

Planta de Suavización y Desmineralización de Agua

Planta de Energía Eléctrica

Generación de vapor

Actualmente la empresa estaba desaprovechando el ácido sulfúrico y el hidróxido de amonio, los cuales se dan como corrientes secundarias de los procesos que actualmente se desarrollan. De conformidad con lo anterior, es factible aprovechar estos recursos para la obtención de Sulfato de Amonio, el cual cuenta con características únicas que puede llegar a brindar al suelo como fertilizante único, o haciendo parte de un fertilizante compuesto.

1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA PLANTA

El municipio de Barrancabermeja está localizado en el departamento de Santander, en el sector centro-oriental de Colombia, en la margen derecha del río Magdalena. Hace parte del valle del Magdalena, sin embargo la región es más conocida con el nombre de Magdalena Medio con una superficie de 1.154 km². La altitud del terreno de Barrancabermeja está entre 75 y 146 metros sobre el nivel del mar. La temperatura oscila entre los 26°C la mínima y 32°C la máxima.

La planta de producción será situada en el lote que actualmente ocupa FERTICOL S.A. el cual se encuentra en el barrio Boston y delimita así:

Imagen 1. Ubicación geográfica de la empresa Fertilizantes Colombianos S.A.



Fuente: Google Maps [en línea]. Estados Unidos. [Consultado el 14 de febrero de 2016]. Disponible en Internet: <https://www.google.it/maps/@7.0749487,-73.8323721,19z>

Norte: con lotes 38 y 42 A.O.S., Potrero N° 8A.

Sur: con la carretera nacional para tráfico pesado procedente de Bucaramanga, con desarrollo en dos carriles y separador en la extensión del lindero con la planta industrial o lote de terreno que es o fue del seminario de Salazar Hermanos.

Oriente: con la carretera nacional.

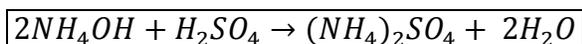
Occidente: con la vía al corregimiento El Llanito y la ciénaga San Silvestre.

La principal vía de acceso al terreno de la planta industrial es la vía al corregimiento El Llanito, importante carretera hacia el municipio de Puerto Wilches, a 10 minutos del centro de la ciudad.

1.2 MARCO TEÓRICO

1.2.1 Procesos para obtener sulfato de amonio. Para la obtención de sulfato de amonio se conocen dos procesos, los cuales pueden ser: directo, indirecto, semi-directo y sistema BASF (acrónimo de una empresa química Alemana, cuyo nombre es BadischeAnilin- und Soda-Fabrik).

1.2.1.1 Proceso directo. En el proceso directo el hidróxido de amonio es introducido a un reactor con ácido sulfúrico, para permitir la reacción de obtención de sulfato de amonio:



Seguidamente se lleva la mezcla a un evaporador donde inicia la formación de núcleos cristalinos en la solución sobresaturada de sulfato de amonio.

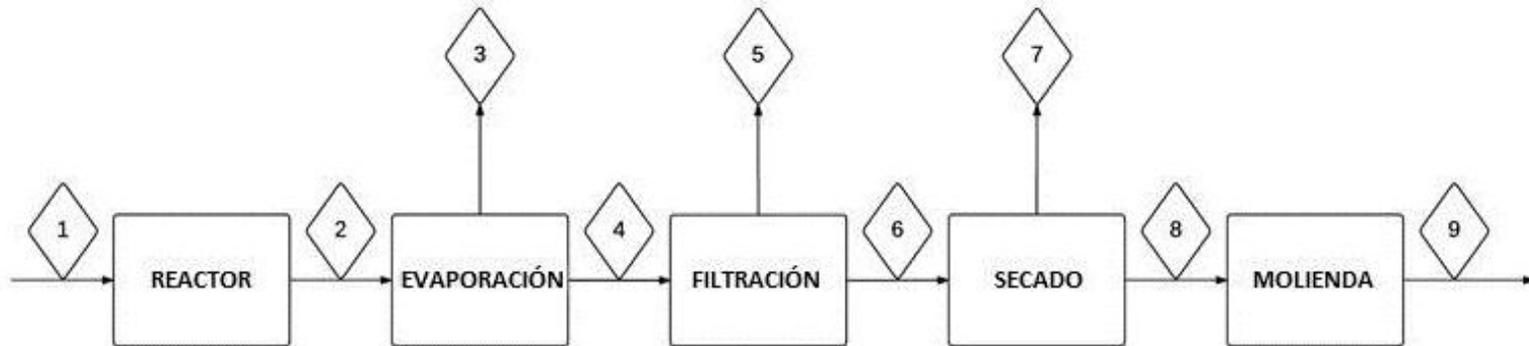
Los cristales junto a la solución en la que se encuentran son llevados a un filtro donde se separan los cristales del licor madre, el cual contiene materia prima que no reaccionó en el proceso y sulfato de amonio que no se cristalizó.

Debido a que los cristales de sulfato de amonio obtenidos no cuentan con la humedad necesaria para que se cumplan con los requerimientos físicos establecidos, es necesario llevarlos a un proceso de secado en el cual se alcance el límite permitido.

“Posterior a esto pasa por un molino y un tamizado para obtener el diámetro de partícula deseado y obtener sulfato de amonio para su respectiva comercialización”¹¹.

¹¹RAMIREZ TRIANA, Luz Aida. Producción de sulfato de amonio. Trabajo de Grado Ingeniería Química. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América, Facultad de Ingeniería Química, 1996. 229 p.

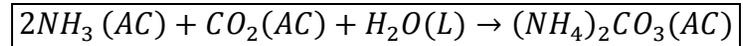
Diagrama 1. Proceso de obtención de Sulfato de Amonio de forma directa



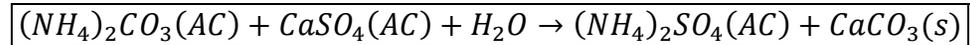
Cuadro 1. Corrientes de obtención de forma directa

Corriente	Composición
1	Ácido sulfúrico – hidróxido de amonio
2	Sulfato de amonio en solución
3	Agua
4	Cristales húmedos
5	Licor madre
6	Cristales húmedos
7	Agua
8	Cristales secos
9	Producto terminado

1.2.1.2. Proceso indirecto. En el proceso indirecto se hace reaccionar amoníaco con agua y dióxido de carbono para obtener carbonato de amonio:

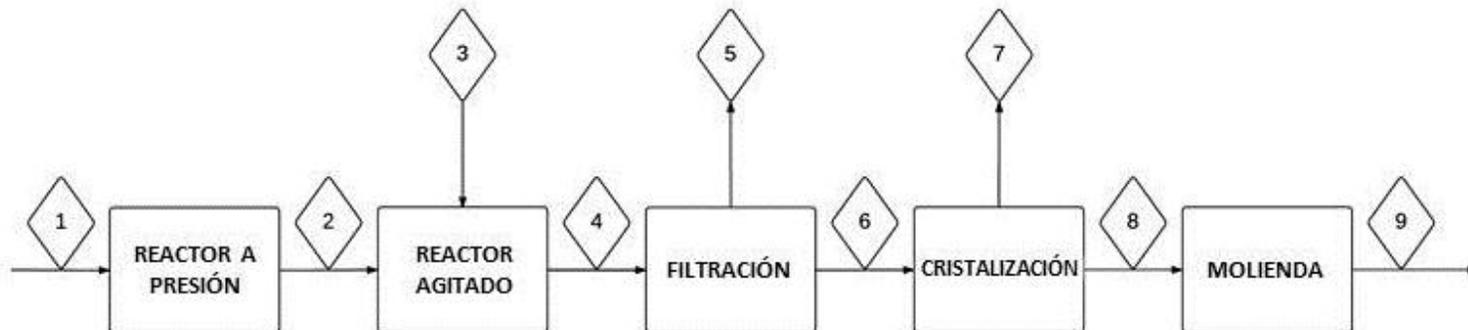


El carbonato de amonio obtenido se hace reaccionar con agua y yeso para generar la obtención del sulfato de amonio:



“Esta última mezcla obtenida como producto de la reacción es filtrada para eliminar el carbonato de calcio y posterior a esto el sulfato de amonio obtenido es cristalizado, molido y tamizado para su comercialización”¹².

Diagrama 2. Proceso de obtención de Sulfato de Amonio de forma indirecta



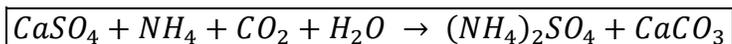
¹²Ibíd.

Cuadro 2. Corrientes obtención forma indirecta

Corriente	Composición
1	Amoniaco con agua y dióxido de carbono
2	Carbonato de amonio
3	Yeso y agua
4	Mezcla reactante
5	Carbonato de calcio
6	Sulfato de amonio en solución
7	Agua
8	Cristales secos
9	Producto terminado

1.2.1.3. Proceso semidirecto. “En el proceso semidirecto el alquitrán y las sales fijas del amonio se precipitan a bajas temperaturas, este gas purificado entra a un saturador donde se mezcla con el ácido sulfúrico. Las sales fijas que han quedado se descomponen con lechada de cal y vapor, y por último el amoniaco que queda libre se vuelve a recircular al saturador”¹³.

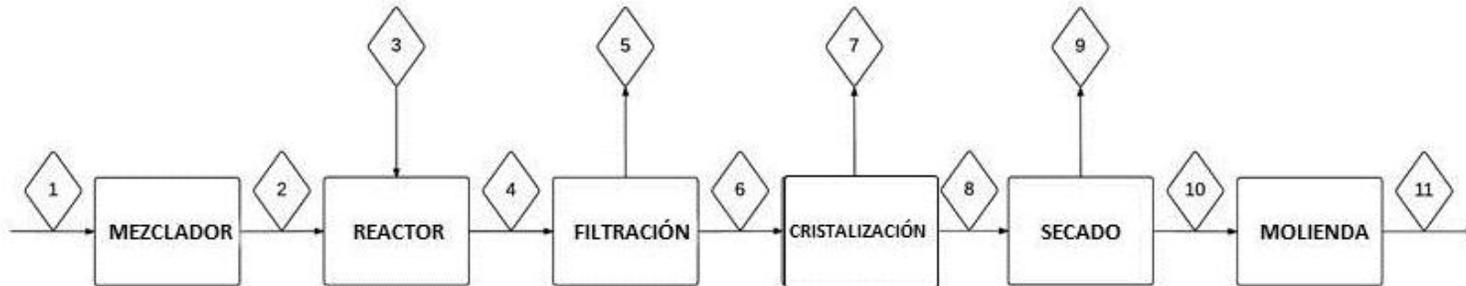
1.2.1.4. Proceso sistema BASF. Otro proceso para la obtención de sulfato de amonio es el sistema BASF, este proceso se desarrolla de la siguiente manera: a partir de yeso, la anhidrita molida se mezcla con licor madre del proceso, al realizar este proceso se generará una pasta, esto pasa a unos reactores con agitación en el cual se agrega CO₂ y NH₄. Después de dejar pasar el tiempo de reacción necesario, el CaCO₃ se filtra, el líquido obtenido tiene 40% de sulfato de amonio, este es concentrado, evaporando el agua en exceso que tiene, después de esto se centrifuga y por último se seca.¹⁴



¹³ Ibíd.

¹⁴ Ibíd.

Diagrama 3. Diagrama del proceso de obtención de sulfato de amonio del sistema BASF



Cuadro 3. Corrientes de obtención sistema BASF

Corriente	Composición
1	Anhidrita molida y licor madre
2	Pasta
3	Amoniaco y dióxido de carbono
4	Mezcla reactante
5	Carbonato de calcio
6	Sulfato de amonio solución
7	Agua
8	Cristales húmedos
9	Agua
10	Cristales secos
11	Producto terminado

1.3. FERTILIZANTES

Un fertilizante es una sustancia que contiene elementos o compuestos químicos los cuales son nutritivos para las plantas o vegetales, de forma que puedan ser absorbidos por las plantas fácilmente. Son utilizados generalmente para aumentar la producción de vegetales y evitar deficiencia de los suelos por falta de nutrientes.

1.3.1. Fertilizantes nitrogenados. El fertilizante nitrogenado es una sustancia que en su composición química contiene nitrógeno, de tal forma que las plantas lo puedan absorber fácilmente, ayudando al crecimiento, desarrollo y producción de éstos.

El aumento en el consumo de los fertilizantes nitrogenados a nivel mundial se debe a que el nitrógeno es un compuesto que ayuda al crecimiento y desarrollo de las plantas. Otro punto a favor de este tipo de fertilizantes, es que el suelo a nivel mundial está muy escaso de nitrógeno, aunque se encuentre abundantemente en el aire. Por esta razón es necesario utilizarlo con el fin de mejorar los suelos para los cultivos.

Los fertilizantes nitrogenados fabricados a nivel industrial se producen gracias a la síntesis de amoníaco. Los fertilizantes sólidos más conocidos son: urea, sulfato de amonio y nitrato de amonio.

1.3.2. Sulfato de amonio. El sulfato de amonio está compuesto por amonio y sulfato. Éste tiene un PH ácido recomendado para aplicar en suelos calizos y alcalinos. El producto es excelente como fertilizante por lo que contiene azufre y nitrógeno, necesarios para que la planta crezca saludable.

Éste por la cantidad de nitrógeno que aporta al suelo ayuda a que las plantas puedan hacer el proceso de síntesis de la clorofila. Gracias a ello, las plantas adelantan el proceso de la fotosíntesis. También las vitaminas que generan necesitan del nitrógeno que el sulfato de amonio les puede brindar. Por último, los nutrientes que brindan los alimentos necesitan del nitrógeno. Por eso el sulfato de amonio es utilizado en los campos forrajeros, campos de hortalizas, cereales y gramíneas.

✓ **Propiedades físicas.** El sulfato de amonio es sólido. Se encuentra en cristales o gránulos, es de color blanco y tiene un olor a amoníaco, el sulfato de amonio así solo no es muy peligroso para la salud, pero si se mezcla con agua tiende a volverse un poco corrosivo.

Se almacena en tanques que no sean de materia oxidante; de igual manera, en lugares seguros, zonas secas, frescas y ventiladas. Es necesario tener precaución al ingerir porque genera ardor en la garganta igual que al inhalarlo. Al contacto con

la piel y ojos produce irritación. La Pontificia Universidad Javeriana ¹⁵ amplía la información acerca del Sulfato de Amonio. (Ver Anexo A)

✓ **Usos.** Es usado como fertilizante.

1.4. MATERIAS PRIMAS

1.4.1. Hidróxido de amonio

1.4.1.1 Propiedades físicas. El hidróxido de amonio es una sustancia incolora y tiene un olor acre. Se encuentra en la lista de sustancias peligrosas del derecho a saber y en la lista de sustancias extremadamente peligrosas para la salud. Generalmente se encuentra en concentraciones del 30%.

Se almacena en cisternas y vagonetas de acero, y para su transporte hay que tener precaución porque tiene amoniaco libre en solución, que se va a encontrar presurizado.

Es un compuesto muy riesgoso para la salud de las personas, puede ser muy toxico por método de ingestión, líquido y vapor muy irritante para la piel y ojos. En el Derecho a Saber publicado por el New Jersey Department of Health ¹⁶ se profundiza acerca de este compuesto. (Ver Anexo B)

1.4.1.2 Usos

- Industria textil: fabricación del rayón y caucho.
- Otras industrias: fertilizantes, refrigeración, condensación, polimerización y fotografía.
- Productos farmacéuticos.
- Combustibles.
- Síntesis orgánica.

¹⁵ Ficha de datos de seguridad: sulfato de amonio. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. [Consultado en febrero 13 del 2016]. Disponible en Internet: [http://portales.puj.edu.co/doc-quimica/fds-labqca-dianahermith/\(NH4\)2SO4.pdf](http://portales.puj.edu.co/doc-quimica/fds-labqca-dianahermith/(NH4)2SO4.pdf)

¹⁶ Derecho a Saber: hojas informativas sobre sustancias peligrosas. Estados Unidos: New Jersey Department of Health [Consultado el 13 de febrero del 2016]. Disponible en <<http://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/0103sp.pdf>>

1.4.2 Ácido sulfúrico

1.4.2.1 Propiedades físicas. El ácido sulfúrico es un líquido aceitoso, incoloro y sin olor. Es un compuesto bastante corrosivo que pertenece al grupo de ácidos fuertes y es uno de los productos que más se fabrica a nivel mundial.

Se almacena en tanques de material irrompible o en acero inoxidable. Se debe tener precaución al transportarlo. Debe transportarse solo, sin ningún otro tipo de material. Por ser muy reactivo no puede estar cerca a fuentes de calor o ignición.

Al ser tan corrosivo requiere máximo cuidado en su manipulación. Ingerirlo puede provocar quemaduras en boca y esófago, y al contacto de la piel y ojos. El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia – Ideam, tiene un completo informe acerca de este insumo químico. ¹⁷

1.4.2.2 Usos

- Industria de abonos químicos: es importante para la producción de fertilizante fosfatos y sulfato de amonio.
- Refinación del petróleo.
- Fabricación de productos químicos: obtención de otros ácidos y elaboración de sulfatos metálicos.
- Otras aplicaciones: fabricación de colorantes, pinturas y pigmentos, industria metalúrgica, tejidos, plásticos, catalizador, baños electro-galvanizados, etc.

¹⁷ Guía 4 Ácido Sulfúrico: Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia – Ideam [consultado el 13 de febrero del 2016]. Disponible en <<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018903/Links/Guia4.pdf>>

2. SELECCIÓN DE MÉTODO

El fundamento del presente capítulo es la selección del método adecuado para llevar a cabo la obtención de Sulfato de Amonio a nivel de laboratorio, que será la opción para adelantar el escalado del proceso.

Esta selección considerará las delimitaciones técnicas y económicas, que permitan una mayor factibilidad del proceso.

Además, se pretende que el método seleccionado permita una caracterización del mismo y ayude a llevar el proceso a un mayor nivel de producción, y se determinen los equipos y dimensionamiento de estos, necesarios para obtener el Sulfato de Amonio.

2.4 SELECCIÓN DE LA RUTA

Mediante la siguiente matriz se evaluarán los procesos, para determinar cuál es el más factible para la producción de sulfato de amonio en la empresa Fertilizantes Colombianos S.A.

2.4.1 Proceso directo. Para adelantar el proceso directo de obtención del Sulfato de Amonio hay varias condiciones que cumplir, que ya se encuentran resueltas.

En primer lugar la empresa Fertilizantes Colombianos S.A. cuenta con las materias primas necesarias para el proceso por cuanto corresponden a subproductos de un proceso que ya posee para la obtención de hidróxido de amonio y ácido sulfúrico. Esto asegura que no se incrementarán los costos de producción para la empresa.

En la operación del proceso será necesario un reactor, cuya obtención es fácil para la empresa. No se requerirán otros equipos.

El diseño es más complejo porque el proceso requiere incorporar varios componentes en el reactor y agitación. Considerando que la reacción de los químicos utilizados es exotérmica, el operario deberá usar chaqueta de enfriamiento con el fin de prevenir lesiones, y la capacitación necesaria para el correcto proceder en el reactor. Estos requerimientos deberán considerarse por parte de la empresa.

Por último, el mantenimiento y limpieza del equipo será sencillo porque se trata de un solo equipo principal utilizado. Deberá realizarse el mantenimiento preventivo programado con el fin de mantener el equipo en óptimas condiciones.

Cuadro 4. Ventajas y desventajas proceso directo

Ventajas	Desventajas
Obtención de materias primas Operaciones unitarias sencillas Reacción sencilla Mantenimiento equipos Diseño	Control de temperatura reacción

2.4.2 Proceso indirecto. En el proceso indirecto, se requiere adquirir como materias primas el dióxido de carbono líquido y el yeso con los cuales no cuenta la empresa. Esto ampliaría los costos de producción.

En la operación se requerirían dos reactores, lo que hace más compleja la tarea de cuidar los dos procesos y la correcta transformación de la materia prima.

En cuanto al diseño, es de considerar que generaría costos para diseñar los dos reactores necesarios en el proceso.

Así mismo se hace más compleja la tarea de limpieza y mantenimiento de los equipos utilizados en el proceso: dos reactores y las tuberías que los unirían. Esto aumenta costos de mantenimiento.

Cuadro 5. Ventajas y desventajas del proceso indirecto

Ventajas	Desventajas
Reacciones sencillas Operaciones unitarias sencillas No se controla temperatura	Adquisición de materias primas Uso 2 reactores Mantenimiento

2.4.3 Proceso semidirecto. En el proceso semidirecto, la empresa debe adquirir materias primas como el alquitrán y la cal. Esto genera costos de producción.

En la operación se requiere un proceso de enfriamiento del reactor para que se sedimenten las sales de amonio, aumentando así el consumo de energía eléctrica, y por ende los costos de producción.

El reactor debe tener altas especificaciones porque su ubicación sería en Barrancabermeja, ciudad que posee altas temperaturas es cualquier época del año.

Finalmente, si el reactor tiene especificaciones especiales, así mismo requeriría un cuidadoso trabajo de limpieza y mantenimiento; los repuestos serían más caros y así aumentan los costos del mantenimiento. Los mantenimientos podrían tardar más por la especificidad de las piezas del equipo en este proceso.

Cuadro 6. Ventajas y desventajas del proceso semidirecto

Ventajas	Desventajas
Operaciones unitarias sencillas Reacciones sencillas	Adquisición de materias primas Uso de 2 reactores Bajas temperaturas Costos energéticos altos Mantenimiento

2.4.4 Sistema BASF. En el sistema BASF, la empresa debería comprar yeso, lo corresponde a un costo de producción adicional.

En la operación, se requeriría un mezclador antes que el reactor. Esto dificulta el proceso porque requiere se formaría una masa pesada que deberá transportarse del mezclador al reactor.

En cuanto al diseño, será necesario un mezclador y un reactor, y así mismo en la operación debe considerarse la atención del operario en los dos equipos para alcanzar el producto terminado. La viscosidad de la pasta que pasaría del mezclador al reactor es un reto por superar en el diseño.

Y por último la limpieza y el mantenimiento deben realizarse a dos equipos y la tubería simultáneamente, lo que dificulta las tareas de limpieza y la garantía de que la tubería se mantendrá libre de impurezas de la pasta.

Cuadro 7. Ventajas y desventajas del sistema BASF

Ventajas	Desventajas
Operaciones unitarias sencillas Reacciones sencillas Diseño	Adquisición de materias primas Mantenimiento

2.5 MATRIZ COMPARATIVA

A continuación se realiza la matriz comparativa de los posibles procesos de obtención de Sulfato de Amonio en Fertilizantes Colombianos S.A. teniendo en cuenta la factibilidad técnica y financiera que tiene para la empresa, desarrollar cada proceso: directo, indirecto, semidirecto y sistema BASF.

Cuadro 8. Matriz Comparativa

Procesos	Criterios de evaluación			
	Adquisición de materias primas	Operaciones	Diseño	Mantenimiento
Directo	X	X	X	X
Indirecto		X		
Semidirecto		X		
Sistema BASF		X	X	

Al finalizar la matriz de comparación de los diferentes procesos que se requieren para la obtención del Sulfato de Amonio, se determinó que el proceso más factible a desarrollar por parte de la empresa Fertilizantes Colombianos S.A. es el directo.

Cuenta con la materia prima para el proceso, las operaciones requeridas son pocas y sencillas, y el mantenimiento al único equipo reactor requerido es sencillo de realizar.

2.6 DESARROLLO EXPERIMENTAL DEL MÉTODO SELECCIONADO

A continuación se detallan los pasos que se llevaron a cabo para el desarrollo de la obtención de Sulfato de Amonio a nivel de laboratorio, partiendo del método directo.

El hidróxido de amonio como residuo se origina en la planta de amoniaco y urea; en una corriente de concentraciones 2,3 y 4 molar; mientras que la solución de ácido sulfúrico se utiliza para el proceso de resinas en el tratamiento de agua, con una corriente de concentraciones 1 y 2 molar.

En la actualidad estas corrientes de hidróxido de amonio y ácido sulfúrico son arrojadas al sistema de drenaje de la empresa, con destino final en las quebradas de los alrededores de las instalaciones.

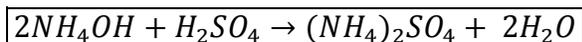
2.6.1 Metodología. Para obtener el Sulfato de Amonio se definieron las concentraciones de ácido sulfúrico e hidróxido de amonio con las cuales cuenta la empresa y estarán a disposición para el proceso. Para cada posible combinación se realizó un duplicado como se relaciona a continuación:

Tabla 1. Relación concentración ácido-base

Muestra	Concentración ácido (M)	Concentración base (M)
1	1	2
2		3
3		4
4		2
5		3
6		4
7	2	2
8		3
9		4
10		2
11		3
12		4

Teniendo en cuenta las concentraciones y posibles combinaciones de éstas, se determinará la combinación que permita obtener un mayor porcentaje de nitrógeno amoniacal en el Sulfato de Amonio. Además se evaluaron las características para determinar si el producto obtenido cuenta con los parámetros necesarios para ser considerado un fertilizante.

2.6.2 Obtención del producto. La reacción se realiza de forma estequiométrica teniendo como base un (1) litro de volumen de reacción.



Siendo las cantidades a adicionar las siguientes:

Tabla 2. Relación cantidad de volumen ácido-base

Muestra	Volumen ácido (ml)	Volumen base (ml)
1	500	500
2	500	500
3	600	400
4	600	400
5	666,6	333,3
6	666,6	333,3
7	333,3	666,6
8	333,3	666,6
9	430	570
10	430	570
11	500	500
12	500	500

En un vaso precipitado se realiza la mezcla reactante. Antes de realizarla se registran los pesos de ácido y base, y las temperaturas correspondientes a cada solución. El tiempo de reacción debe ser de una (1) hora para que en este período de tiempo se asegure una completa formación de Sulfato de Amonio y prevenir la evaporación del gas amoniaco, permitiendo así que el Sulfato de Amonio siga en solución.

Además, la agitación no es un factor que afecte la formación de producto como tampoco es alterado por la temperatura, a menos que supere el punto en el cual el ácido sulfúrico se descompone en sulfitos y por ende halla una disminución en la eficiencia de la reacción. Este punto está definido por la literatura y es 60°C.

2.6.3 Cristalización. Con el propósito de determinar el tiempo de evaporación (cristalización) de la mezcla, producto de la reacción del hidróxido de amonio y el ácido sulfúrico en las diferentes proporciones establecidas en la parte de reacción; se toma la mezcla reactante y se identifican las condiciones iniciales de temperatura y peso.

Posteriormente la mezcla reactante se lleva a la plancha de calentamiento entre el intervalo determinado de temperatura y se da inicio a la toma del tiempo en el cronometro hasta la formación de cristales en la solución.

Para las condiciones finales, ya una vez obtenido los cristales, se miden la temperatura y el peso. Este procedimiento se realizó para cada posible combinación que se estableció en la reacción.

Tabla 3. Solubilidad sulfato de amonio en agua

Temperatura (°C)	Solubilidad (g)	Solubilidad (g/100 g agua)
20	75.4	0.75
30	78.0	0.78
40	81.0	0.81
60	88.0	0.88
80	95.3	0.95
100	103.3	1

Fuente: 1 PERRY, R. Perry's chemical engineers handbook. Octava edición. McGraw-Hill Professional. 2007.

Para determinar la temperatura fue necesario conocer la solubilidad del Sulfato de Amonio en agua, a diferentes temperaturas, con lo cual se determinó que entre 80 y 100 °C se obtiene una mayor concentración de Sulfato de Amonio como se muestra en la Tabla 3. Dentro de este rango, se escogió la temperatura de 95 °C para lograr la saturación de cristales.

2.6.4 Filtración. Una vez obtenida la mezcla producto de la cristalización, se hace pasar por un papel filtro en el cual quedan retenidos los cristales por su tamaño de partícula y la solución saturada atraviesa el mismo. Por último se toma el peso neto de los cristales contenidos en el papel filtro y la temperatura, al igual que la temperatura de la solución saturada.

2.6.5 Secado. Considerando que los cristales de Sulfato de Amonio obtenidos hasta este punto en el proceso tienen demasiada humedad para ser considerado un fertilizante, se requiere adelantar un proceso de secado y así retirar el exceso de agua de los cristales hasta alcanzar el máximo permitido por la norma NTC 99, del 1% máximo de humedad.

Se determinó que el proceso de secado puede realizarse a 130 °C teniendo en cuenta que se dispone de un secador cuya temperatura máxima es de 150 °C.

2.6.5.1 Curva de secado. La determinación la curva de secado se da mediante la experimentación. Se somete la solución ya cristalizada de Sulfato de Amonio a un proceso de secado en el cual cada 20 minutos se realiza un pesaje de la muestra, y de esta manera se determina el tiempo necesario para que el producto se encuentre en la humedad que cumple los requerimientos técnicos.

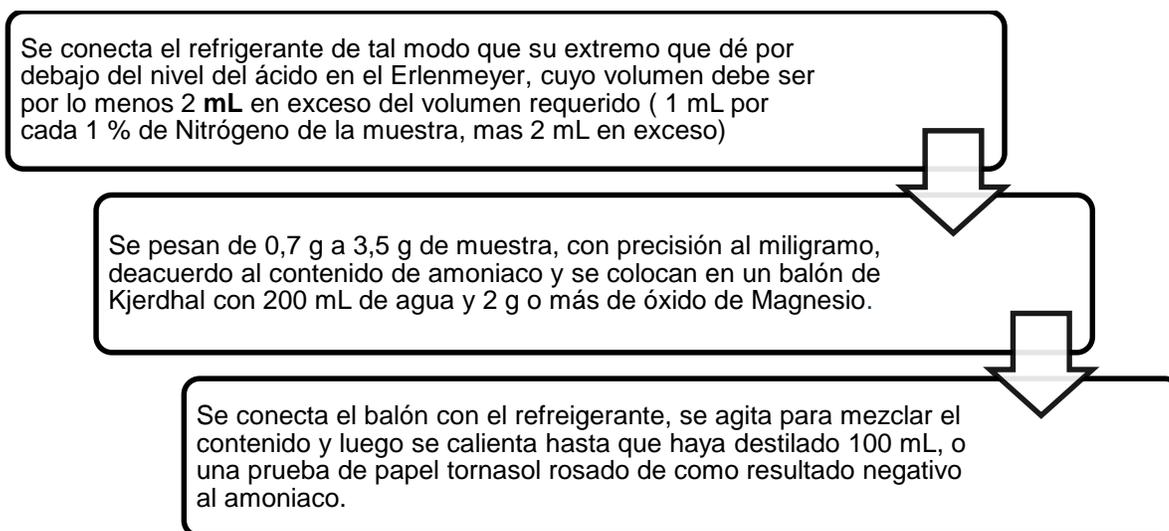
Se realizó una curva de secado por muestra, a 130 °C, manteniendo constante la temperatura a presión atmosférica y con una muestra de 50 g de cristales.

2.7 CARACTERIZACIÓN DEL SULFATO DE AMONIO

La caracterización del producto obtenido se realiza con base a la norma NTC 99, la cual indica las especificaciones que debe tener el Sulfato de Amonio para ser considerado un fertilizante.

2.7.1 Nitrógeno amoniacal. Se parte de lo establecido en la norma NTC 99 en la cual se establece el valor mínimo de nitrógeno amoniacal que debe tener el Sulfato de Amonio para ser considerado un fertilizante. Esta es la variable principal teniendo en cuenta que se quiere lograr un mayor porcentaje de nitrógeno amoniacal. Se realizó la medición mediante el procedimiento establecido en la norma NTC 211 que se detalla en el siguiente diagrama.

Diagrama 4. Norma NTC 211



Ecuación 1. Determinación Nitrógeno Amoniacal

$$\% = \frac{1,4(ANa - BNb) - (CNa - DNb)}{M}$$

Donde:

A: Volumen de solución valorada de ácido sulfúrico o clorhídrico usados en la muestra, en mililitros.

B: Volumen de solución valorada de hidróxido de sodio o potasio gastados en la muestra, en mililitros.

C: Volumen de solución valorada de ácido sulfúrico o clorhídrico usado en el ensayo en blanco, en mililitros.

D: Volumen de solución de hidróxido de sodio o potasio gastados en el ensayo en blanco, en mililitros.

Na: Normalidad de la solución valorada de ácido sulfúrico o clorhídrico.

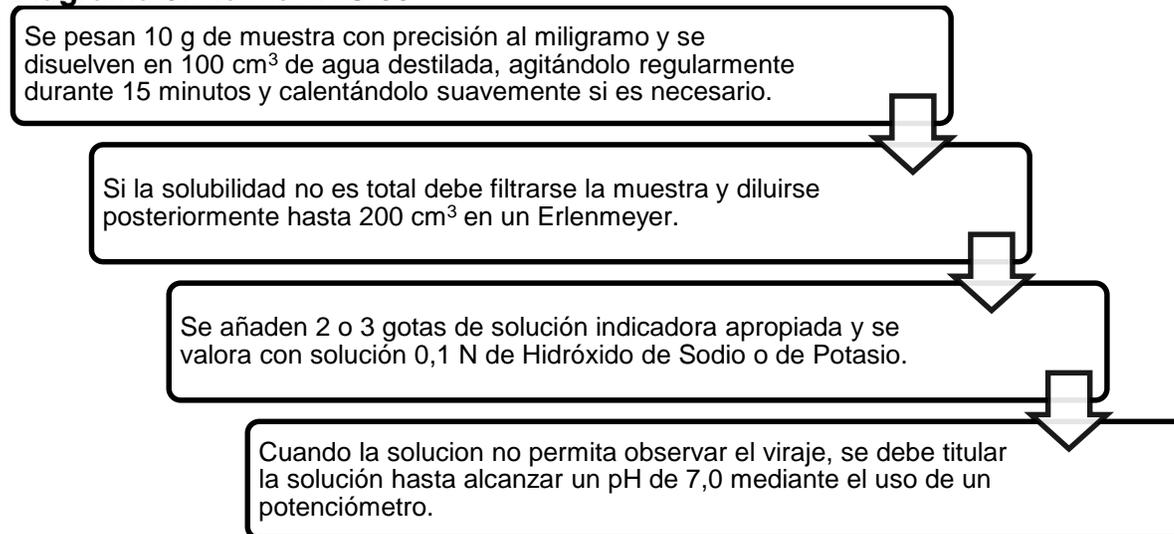
Nb: Normalidad de la solución valorada de hidróxido de sodio o potasio.

M: Peso de la muestra en gramos.

1,4: Peso equivalente del nitrógeno por 100.

2.7.2 Acidez libre. El contenido de acidez de la muestra obtenida se determinó mediante la norma NTC 39 y para la cual se prepararon soluciones con el sulfato de amonio; para posteriormente agregarle indicador y realizar una titulación con hidróxido de sodio.

Diagrama 5. Norma NTC 39



Ecuación 2. Determinación acidez libre

$$A = \frac{0,049(V_1N_1 - V_2N_1)}{\rho} \times 100$$

Donde

A: Acidez libre calculada como ácido sulfúrico o fosfórico, en porcentaje.

V₁: Volumen de solución de hidróxido de sodio o de potasio utilizada en la valoración de la muestra, en mililitros.

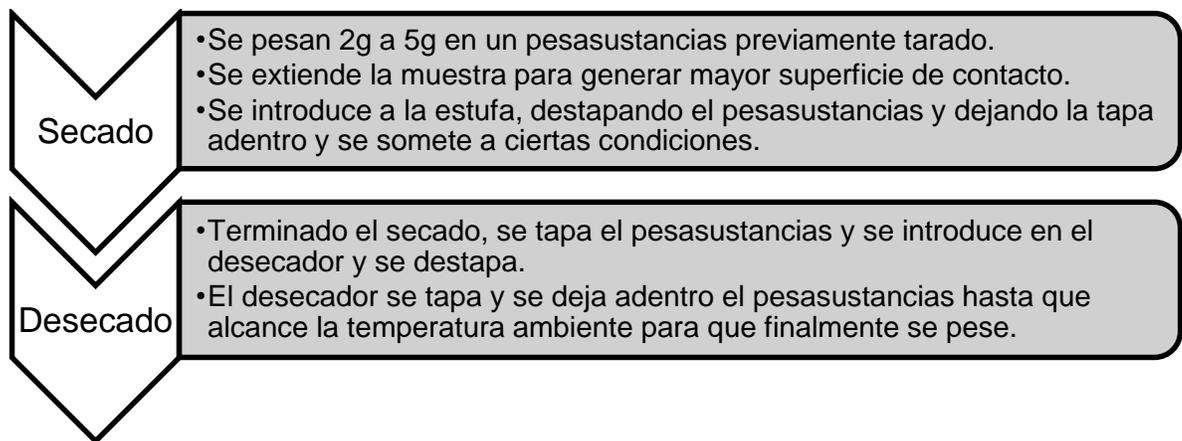
N₁: Normalidad de la solución de hidróxido de sodio o de potasio empleada en la valoración.

V₂: Volumen de la solución de hidróxido de sodio o potasio empleada en la valoración del blanco, en mililitros.

p: Masa de la muestra ensayada, en gramos.

2.7.3 Humedad. El contenido de humedad que debe tener la muestra obtenida del sulfato de amonio se encuentra en la norma NTC 35. En ésta se puede ver que los datos obtenidos de todas las muestras realizadas arrojan un 1% de humedad según lo indicado por la norma. Gracias a esto se identifica que todas las muestras obtenidas son catalogadas como fertilizante por poseer esta característica.

Diagrama 6. Norma NTC 35



Ecuación 3. Determinación de humedad

$$H = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%$$

Donde

H: Contenido de humedad, en porcentaje.

m₁: Masa inicial de la muestra, en g.

m₂: Masa final de la muestra, en g.

2.8 DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Para realizar el diseño de experimentos se tienen en cuenta los siguientes requerimientos:

- Analizar las variables en diferentes niveles.

- Establecer las variables independientes y los efectos que éstas puedan generar a las variables respuesta a estudiar.
- Seleccionar los niveles a los cuales las variables del proceso van a mostrar un rendimiento necesario o mayor.

De este modo, el arreglo de un diseño de experimentos que más se acomoda a dichas condiciones es un arreglo de tratamientos factorial, lo que nos permite investigar al mismo tiempo, los efectos que generan diferentes factores.

El realizar un diseño de experimentos proporciona una información importante con relación a los experimentos que se vayan a realizar, ayudando así a la planificación y ejecución de dichos ensayos experimentales.

Con base al proceso experimental que se llevará a cabo, se observó que el diseño que más se ajusta al proceso de investigación es el diseño experimental completo al azar.

$$\# \text{ tratamientos} = \left(\prod \text{niveles variables independiente} \right) * F$$

Donde F es el número de repeticiones de la prueba.

Este tipo de diseño no solo determina el efecto que tiene el nivel de cada factor a estudiar, sino que también estudia la interacción que estos pueden tener, permitiendo determinar cómo los niveles de un factor afectan la conducta de las variables respuesta, sobre los niveles del otro factor.

2.9 RESULTADOS DEL PROCESO BASADO EN LA EXPERIMENTACIÓN

A continuación se describen las condiciones para obtener Sulfato de Amonio partiendo de la experimentación.

Todos los balances de masa realizados en el procedimiento experimental se hallan en el Anexo D.

2.9.1 Reacción. El calor desprendido por la reacción no es suficiente para calentar la solución hasta llegar al punto de sobresaturación, lo que se evidencia al observar que no hay un cambio significativo en el volumen de la mezcla producto de la reacción.

La reacción continúa durante el proceso de cristalización. Lo que mejora la conversión del proceso.

Las cantidades de materia prima en cada muestra se expresan a continuación. Se nota un leve decremento en la cantidad de solución al terminar el tiempo de

reacción como consecuencia de la lenta evaporación de agua. A continuación se relacionan los pesos de entrada y salida en cada muestra.

Tabla 4. Flujos de reacción

Muestra	Corriente 1(g)	Corriente 2(g)
1	988,32	987,92
2	989,39	988,19
3	993,83	991,73
4	996,88	996,58
5	985,02	984,62
6	982,99	981,89
7	987,56	986,58
8	985,99	985,65
9	988,95	988,56
10	988,36	987,57
11	999,82	999,61
12	999,33	999,17

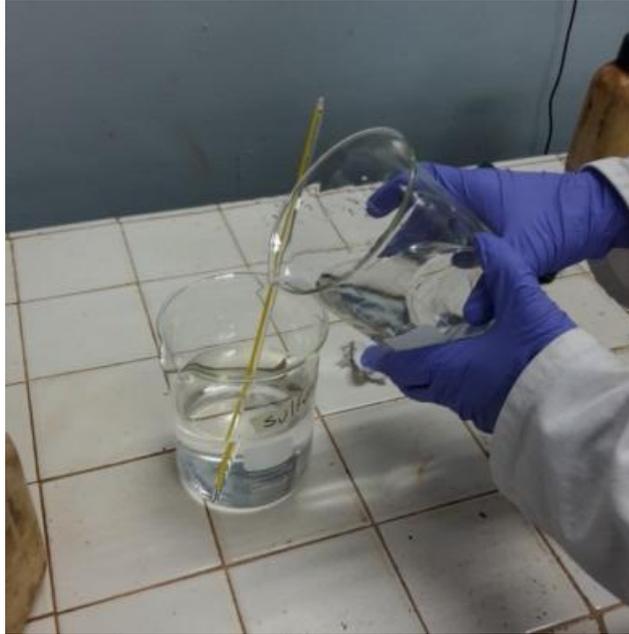
Teniendo en cuenta que la temperatura de la reacción aumenta debido a que esta es de carácter exotérmica, este aumento se ve representado en la siguiente tabla.

Tabla 5. Temperatura inicial y final reacción

Muestra	Temperatura Base (°C)	Temperatura Ácido (°C)	Temperatura Mezcla (°C)
1	29	39	50
2	29	39	52
3	29	35	56
4	29	37	52
5	29	36	56
6	29	34	55
7	29	48	61
8	29	44	60
9	29	42	50
10	29	40	53
11	29	50	61
12	29	53	63

La temperatura de reacción se debe mantener a menos de 60 °C. Por esta razón es necesario someterlo a un agente térmico externo. En el caso de la experimentación no fue necesario, porque la muestra no subió hasta esa temperatura.

Imagen2. Momento de mezcla del ácido sulfúrico y el hidróxido de amonio. Observación de temperatura



2.9.2 Cristalización. El tipo de cristalización que se utiliza es el de vía húmeda, en el cual una solución se satura hasta el punto de que se forman los primeros cristales. La saturación se genera evaporando el agua e impurezas encontradas en la mezcla. De esta forma se sobresatura la mezcla y genera la nucleación de los cristales, para tener sólo el Sulfato de Amonio sólido.

Se lleva la mezcla obtenida de la reacción a una temperatura de 95 °C durante un período de entre 153 y 178.4 min. Tiempo necesario para obtener una completa cristalización del Sulfato de Amonio.

Tabla 6. Tiempo de cristalización

Muestra	Tiempo de cristalización (min)
1	178,4
2	177,9
3	169,3
4	170,9
5	162,1
6	163,6
7	168,4
8	167,6
9	158,6
10	157,2
11	152,4
12	153

Los cristales obtenidos mediante este proceso no son completamente Sulfato de Amonio, no cuentan con las características necesarias para ser considerado un fertilizante y no cuentan con una forma definida.

Imagen3. Proceso de cristalización experimental



2.9.3 Filtrado. Obtenidos los cristales, es necesario separarlos de la fase líquida por medio de la filtración. En ella se observó que los cristales obtenidos todavía cuentan con un alto grado de humedad, lo que hace necesario el proceso de secado.

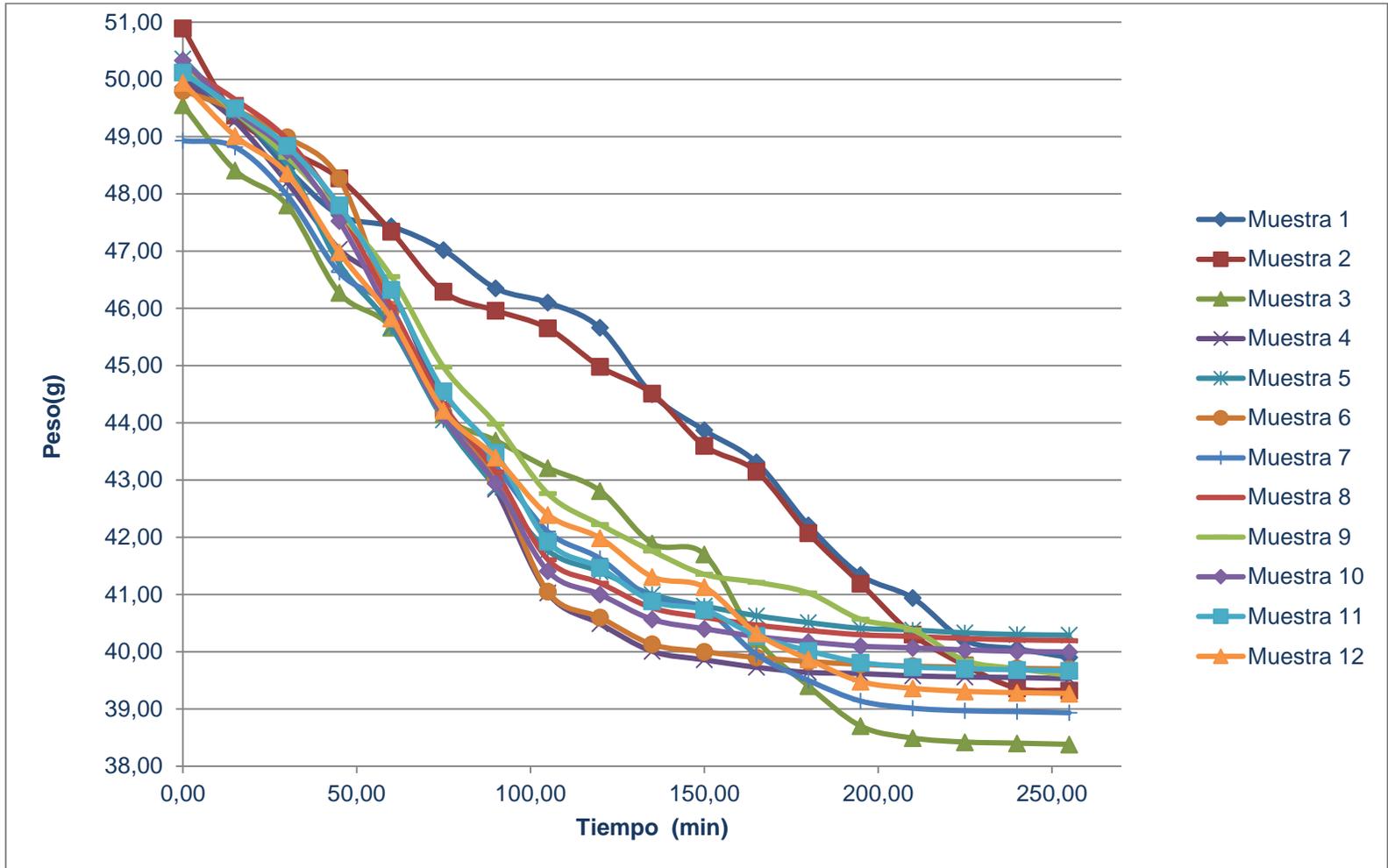
Se prosigue al paso de secado para bajar el porcentaje de humedad de la muestra y alcanzar el porcentaje mínimo permitido por la norma, para ser considerado un fertilizante.

Tabla 7. Peso inicial y final en la filtración

Muestra	Peso inicial (g)	Peso final (g)
1	125,0	96,3
2	127,1	94,1
3	154,6	122,1
4	156,3	118,8
5	161,5	127,2
6	164,8	128,4
7	126,2	103,5
8	125,4	102,0
9	159,7	128,8
10	158,1	125,5
11	196,4	159,6
12	197,5	159,3

2.9.4 Secado. El periodo de secado consta de dos etapas. En la primera, la velocidad de secado es constante y lineal. En la segunda, la velocidad de secado es decreciente para que la cantidad de humedad máxima se evapore. El horno de secado se operó a 130 °C y a presión atmosférica. Dado que la norma exige un mínimo de humedad en el Sulfato de Amonio, fue necesario surtir este proceso.

Gráfico 1. Curva de Secado



La gráfica tiene dos secciones. En la primera, la velocidad de secado es constante (ante crítico) que corresponde al tramo desde un contenido de humedad alto hasta un contenido de humedad más bajo que se acerque a los requerimientos. En la segunda, la velocidad de secado disminuye pero se llega a la humedad necesaria para que sea considerado un fertilizante. Además, cada una de las muestras cumple con este requerimiento.

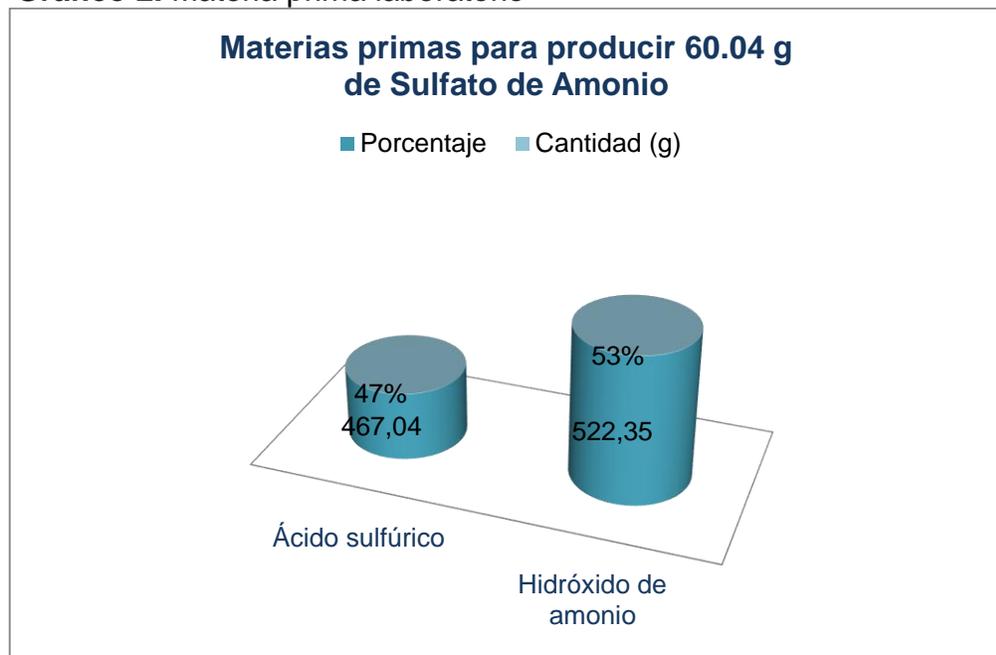
2.10 REQUERIMIENTOS DE MASA A NIVEL LABORATORIO

Los cálculos de los consumos de materias primas se realizan teniendo en cuenta la estequiometría y los resultados obtenidos a nivel laboratorio para producir 60.04 g de Sulfato de Amonio.

Tabla 8. Materia prima laboratorio.

Materias primas para producir 60.04 g De Sulfato de Amonio	
Ácido sulfúrico (g)	467.0
Hidróxido de Amonio (g)	522,35

Gráfico 2. Materia prima laboratorio



Teniendo en cuenta que el agua no sólo se forma en el proceso sino que además entra a éste, haciendo parte de las disoluciones.

$$2 \frac{\text{mol}}{\text{l}} \text{ hidróxido de amonio} * 0.5 \text{ l} * \frac{35.04}{1 \text{ mol}} = 35.04 \text{ g de hidróxido de amonio}$$

Por tanto la cantidad de agua que entra en los 522.35 g de solución de hidróxido de amonio es 487.31

En el ácido sulfúrico ingresa la siguiente cantidad de agua:

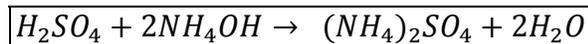
$$1 \frac{\text{mol}}{\text{l}} \text{ ácido sulfúrico} * 0.5 \text{ l} * \frac{98.079}{1 \text{ mol}} = 49.0395 \text{ g de ácido sulfúrico}$$

En la solución de ácido sulfúrico ingresan 418 g de agua.

2.11 REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA A NIVEL LABORATORIO

A continuación se presentan los requerimientos energéticos que se necesitaron a nivel laboratorio para llevar a cabo el proceso de reacción, cristalización y secado.

2.11.1 Requerimientos de energía reactor. Los reactivos se alimentan a temperatura ambiente, teniendo en cuenta la reacción:



Por tanto el calor requerido que se suministra al reactor es:

Ecuación 4. Calor requerido.

$$Q_R = \Delta H_2 - \Delta H_1 + \Delta H_R$$

ΔH_2 Cambio de entalpía de productos a la salida

ΔH_1 Cambios de entalpía de reactivos a la entrada

ΔH_R Calor de reacción

2.11.1.1 Calor de reacción. Se desprecia la cantidad de agua que ingresa en las disoluciones teniendo en cuenta que actúan como un inerte.

Ecuación 5. Entalpía de reacción.

$$\Delta H_R = \Delta H_f \text{ productos} - \Delta H_f \text{ reactivos}$$

$$\Delta H_R = (\Delta H_f (NH_4)_2SO_4 + \Delta H_f H_2O) - (\Delta H_f H_2SO_4 + \Delta H_f NH_4OH)$$

Teniendo en cuenta que los calores de formación de cada sustancia se expresan a continuación:

Tabla 9. Calor de formación de sustancias.

Sustancia	Calor de formación de sustancias
Ácido Sulfúrico	-811,32
Hidróxido de amonio	-366,5
Sulfato de Amonio	-1173,1
Agua	-285

Gráfico 3. Calor de formación de sustancias



Como consecuencia de que los calores de formación se encuentran en función de la masa, es necesario multiplicar cada calor de formación por la cantidad involucrada.

$$\Delta H_R = \left((\Delta H_{f (NH_4)_2SO_4} * m_{(NH_4)_2SO_4}) + (\Delta H_{f H_2O} * m_{H_2O}) \right) - (\Delta H_{f H_2SO_4} * m_{H_2SO_4} + \Delta H_{f NH_4OH} * m_{NH_4OH})$$

$$\Delta H_R = -30327.244 \text{ Kj}$$

$$\Delta H_R = -7248.38 \text{ kcal}$$

2.11.1.2 Cambio de entalpía de los reactivos a la entrada

Ecuación 6. Entalpía de los reactivos

$$\Delta H_1 = m_i \int C_p * dT$$

La temperatura de entrada al reactor es aproximada a la referencia. Por tanto no hay un cambio de entalpía y ésta es cero.

$$\Delta H_1 = 0$$

2.11.1.3 Cambio de entalpía de producto a la salida

Ecuación 7. Entalpía de productos

$$\Delta H_2 = m_i \int_{T_c}^{T_r} C_{pi} * dT + m_j * \lambda_{vapor}$$

M_i = Masa de cada uno de los productos

C_{pi} = Capacidad calorífica en función de la temperatura

T_c = Temperatura de referencia

T_r = Temperatura producto salida

M_j = Masa vaporizada

λ Vapor = Calor latente de vaporización

Teniendo en cuenta que durante el período de reacción la mayor parte del volumen se mantiene, la masa vaporizada de cada sustancia es cero.

✓ **Ácido sulfúrico**

$$\Delta H_2 = m_i \int_{T_c}^{T_r} C_{pi} * dT$$

$$\Delta H_2 \text{ ácido sulfúrico} = 309.80 \text{ Kcal}$$

✓ **Sulfato de amonio**

$$\Delta H_2 \text{ sulfato de amonio} = 123.24 \text{ kcal}$$

✓ **Agua**

$$\Delta H_2 \text{ agua} = 11.758 \text{ kcal}$$

- ✓ **Hidróxido de amonio.** Teniendo en cuenta que no se puede determinar con precisión la capacidad calorífica, se usa la regla de Kopp, la cual brinda una estimación a las propiedades de esta sustancia.

Esto se hace mediante los aportes de cada átomo a la molécula.

$$N = (8 \text{ cal/g} \cdot \text{C}) * 1 \text{ átomo de N} = 8$$

$$H = (4.3 \text{ cal/g} \cdot \text{C}) * 5 \text{ átomo de H} = 21.5$$

$$O = (6 \text{ cal/g} \cdot \text{C}) * 1 \text{ átomo de O} = 6$$

$$\Delta H_2 \text{ Hidróxido de amonio} = 44.96 \text{ kcal}$$

Considerando la entalpía de cada sustancia y debido a que no se pudieron determinar las cantidades después de la reacción, se tiene en cuenta la estequiometría.

$$\Delta H_2 \text{ total} = \Delta H_2 \text{ hidróxido de amonio} + \Delta H_2 \text{ agua} + \Delta H_2 \text{ sulfato de amonio} + \Delta H_2 \text{ ácido sulfúrico}$$

$$\Delta H_2 \text{ total} = 489.758 \text{ kcal}$$

Reemplazados los valores obtenidos en:

$$Q_R = \Delta H_2 - \Delta H_1 + \Delta H_R$$

Se tiene que:

$$Q_R = -6758.622 \text{ kcal}$$

El reactor cuenta con una chaqueta de enfriamiento que recibe el calor producido por la reacción exotérmica e impide que sobrepase los límites de 60 °C, temperatura en la cual se inicia la evaporación de sulfitos.

$$-Q_R = Q_{\text{agua}}$$

$$Q_{\text{agua}} = 6758.22 \text{ kcal}$$

$$6758.22 \text{ kcal} = m_{\text{agua}} * C_{p_{\text{agua}}} * (T_f - T_i)$$

La temperatura a la que ingresa el agua es a 27 °C y la máxima temperatura a la que puede salir para llegar a las torre de enfriamiento es de 70 °C.

$$m_{\text{agua}} = 157.0108 \text{ m}^3$$

Es la cantidad de agua que se debe agregar para mantener la temperatura por debajo de la deseada.

2.11.2 Requerimientos de energía cristizador. Los requerimientos energéticos de este equipo se calcularon considerando que el proceso determinante en este paso, es la eliminación de la mayor cantidad de agua y esto se da mediante el uso de la mayor parte de la energía para eliminarla.

Este cálculo de energía se estimó mediante la siguiente ecuación, y se despreciaron los demás calores debido a que estos son instantáneos y no son suficientes para permitir por sí solos la cristalización:

Ecuación 8. Energía cristizador

$$Q = m_{\text{agua}} * C_{p_{\text{agua}}} * (T_f - T_i) + (m_{\text{agua}} * \lambda_{\text{agua}})$$

Q: Calor requerido en el proceso

M_{agua}: Masa de agua e evaporar

C_P agua: Poder calorífico del agua

T_f: Temperatura final

T_i: Temperatura inicial

Magua = Masa de agua retirada

λ Vapor = Calor latente de vaporización

$$Q = 17.4673 \text{ W}$$

2.11.3 Requerimientos de energía en el secado. El tiempo de secado permite determinar la cantidad de energía que utiliza en los cristales de sulfato de amonio para lograr que estos tengan la humedad necesaria.

Ecuación 9. Energía Secador

$$Q = m_{cristales} * Cp_{cristales} * (T_f - T_i) + (m_{agua} * \lambda_{agua})$$

$$Q = 0.8923 w$$

2.12 CARACTERIZACIÓN DE SULFATO DE AMONIO

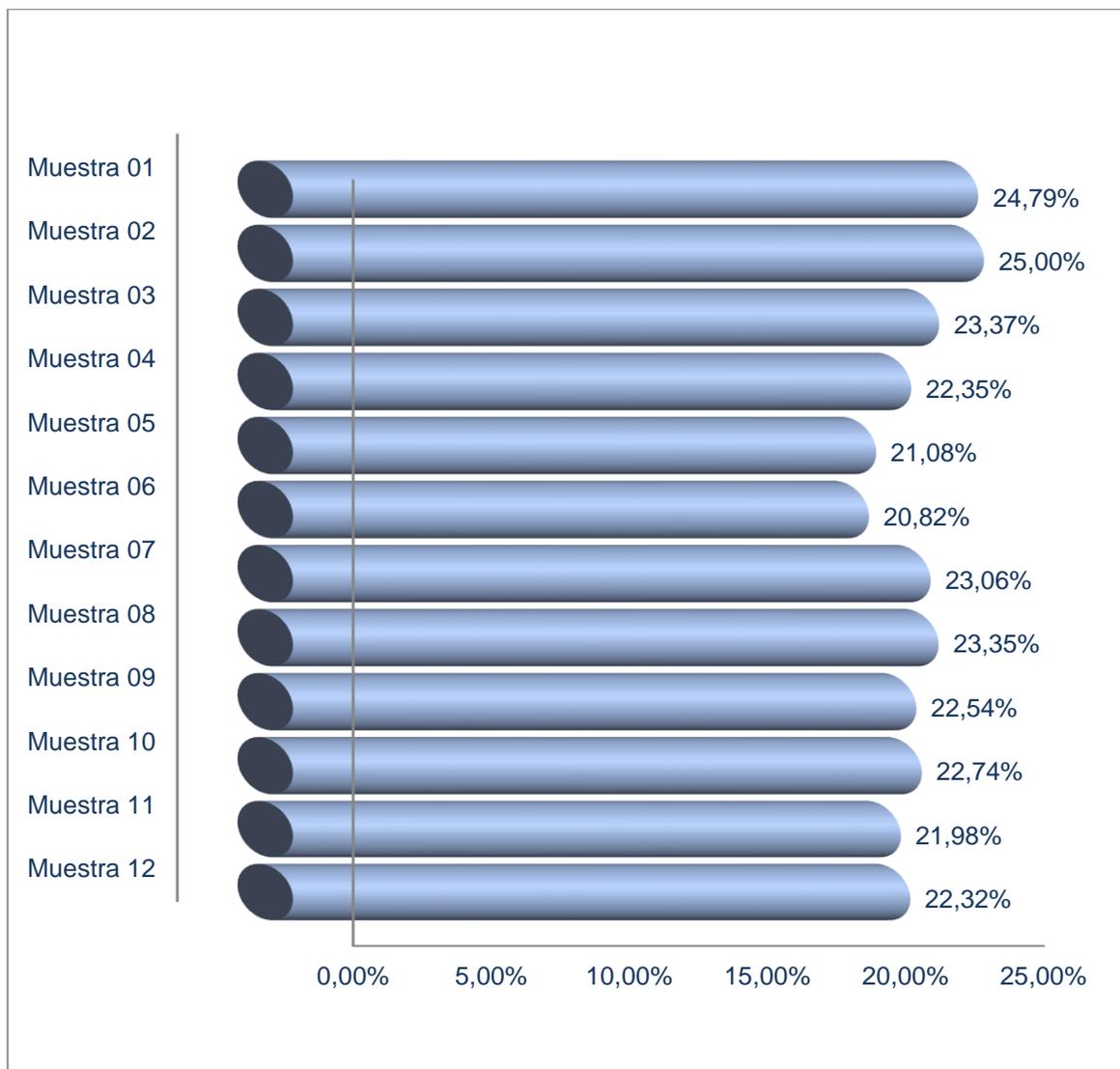
Para finalizar, el producto obtenido en cada proceso es caracterizado, teniendo como base los parámetros establecidos en la norma NTC 99 para fertilizantes y el abono.

2.12.1 Nitrógeno amoniacal. A continuación se presentan los resultados del porcentaje de nitrógeno amoniacal de cada una de las muestras del proceso de obtención de sulfato de amonio, los cuales se obtuvieron tomando como parámetro la norma NTC 211, que establece un porcentaje mínimo de 20 %.

Tabla 10. Porcentaje de nitrógeno amoniacal.

Muestra	Porcentaje de nitrógeno amoniacal
1	24,79
2	25,00
3	23,37
4	22,35
5	21,08
6	20,82
7	23,06
8	23,35
9	22,24
10	22,74
11	21,98
12	22,32

Gráfico 4. Porcentaje de nitrógeno amoniacal



Teniendo en cuenta que el parámetro que se quiere alcanzar en el producto es de mayor porcentaje de nitrógeno amoniacal en el Sulfato de Amonio obtenido, se escogen las concentraciones 1 y 2 molar de ácido y base respectivamente, para hacer los cálculos de materia prima necesaria, asimismo el dimensionamiento de equipos.

2.12.2 Humedad. La humedad inicial se determinó mediante la norma NTC 35 antes del proceso de secado. Se tomaron las condiciones de 130 °C durante 5 horas a presión atmosférica y se eliminó el agua de cada muestra durante el tiempo determinado.

Tabla 11. Porcentaje de humedad inicial

Muestra	Humedad (%)
1	21,85
2	20,02
3	22,53
4	21,78
5	20,9
6	21,86
7	20,46
8	20,74
9	21,22
10	21,37
11	21,52
12	21,42

2.12.3 Acidez libre. A cada muestra se le determinó la acidez libre mediante la nota NTC 39 que se encuentra especificada en el diagrama 5, y fue comparado con los requisitos que se encuentran estipulados en la norma NTC 99 para fertilizantes y abonos. La acidez libre para cada una de las muestras se encontró por debajo del máximo establecido según la normatividad.

Tabla 12. Porcentaje de acidez libre

Muestra	Porcentaje Acidez libre (%)
1	0,22
2	0,26
3	0,20
4	0,22
5	0,24
6	0,22
7	0,25
8	0,24
9	0,23
10	0,23
11	0,22
12	0,23

2.13 CONCLUSIONES

Todas las muestras cumplieron con los requerimientos establecidos en la Norma NTC 99. Hubo una variación en el componente de humedad, nitrógeno amoniacal y acidez libre en las muestras obtenidas. Teniendo en cuenta que se quiere lograr un mayor porcentaje de nitrógeno amoniacal, las muestras para realizar el dimensionamiento son las 1 y 2.

A partir de estos resultados, se prosigue con el dimensionamiento de los equipos y conocer la cantidad de materia prima necesaria para el proceso, los cuales van a servir de guía para un mejor estudio del proceso seleccionado.

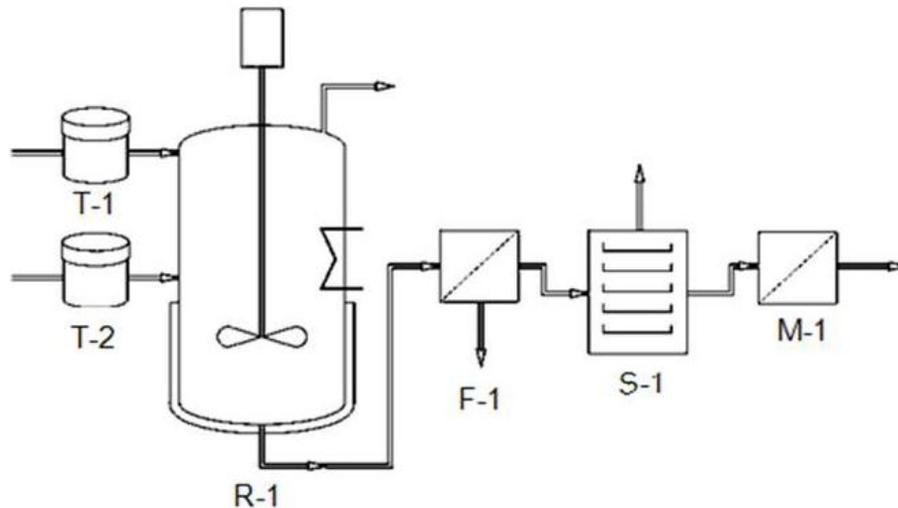
3. DISEÑO DEL PROCESO

Del capítulo anterior, se toma el proceso que será dimensionado y cuenta con las siguientes etapas:

- Reactor: Se mezclan el hidróxido de amonio y el ácido sulfúrico. Se deja un tiempo de reacción de una (1) hora.
- Cristalizador: Se evapora el agua, se sobresatura la mezcla y se forman los cristales.
- Filtración: Se retira el agua que queda en los cristales y se dejan un poco secos los cristales.
- Secado: Se dispone a una temperatura de 130 °C para secar los cristales del sulfato de amonio.

El balance a nivel industrial se desarrolla en el Anexo E.

Diagrama 7. Proceso de obtención del sulfato de amonio



T-1: Tanque de almacenamiento 1

T-2: Tanque de almacenamiento 2

R-1: Reactor-Cristalizador

F-1: Filtro

S-1: Secador

M-1: Molino

Se determinan los equipos necesarios para llevar a cabo el proceso de obtención de Sulfato de Amonio, teniendo en cuenta que en la actualidad existen diversas alternativas de equipos que pueden brindar beneficios en el proceso.

Considerando que la diferencia entre el volumen del reactor y el cristalizador no es significativa, se plantea que estos dos equipos se incluyan en una sola etapa del proceso y permitir así una disminución significativa en costos.

3.4 EQUIPOS

A continuación, se presentan las características de diseño y el dimensionamiento de los equipos requeridos para la producción de Sulfato de Amonio. Se tienen en cuenta los equipos que la empresa posee en la actualidad.

3.4.1 Tanques de almacenamiento de materia primas. Los recipientes de almacenaje seleccionados son verticales y totalmente cerrados para evitar contaminación de las materias primas. Deben contar con un fondo de forma cónica para evitar acumulación.

Los tanques de almacenamiento requieren los siguientes accesorios:

- Indicador de nivel
- Indicador de presión
- Válvulas para controlar los flujos de entrada y salida

3.4.2 Reactor-cristalizador. Los procesos de reacción y cristalización serán llevados a cabo en el mismo equipo, con la intención de aprovechar la energía con la que cuenta la solución y disminuir los costos en equipos.

3.4.2.1 Análisis proveedores. Teniendo en cuenta la importancia de la etapa de adquisición de equipos por ser uno de los primeros y fundamentales pasos para llevar a cabo un proyecto, se contactó y realizó la cotización requerida, con el proveedor de la empresa Fertilizantes Colombianos S.A.

Por ser una empresa de propiedad estatal con varias décadas de existencia, cuenta con contratistas de confianza para la adquisición de equipos.

3.4.2.2 Características y diseño. El reactor seleccionado para el proceso es tipo Batch, porque permite un escalado directo desde ensayos a nivel laboratorio (HARRIOT 2003 PAG 89). Será un tanque vertical con agitación, provisto con una chaqueta de enfriamiento y un serpentín para manipular la temperatura del reactor hasta la deseada, teniendo en cuenta que dentro del reactor se dará una reacción exotérmica. El fondo del reactor será de forma cónica para evitar acumulaciones.

El material seleccionado tanto del agitador como del reactor debe ser resistente a los efectos que pueden ocasionar tanto las materias primas como el producto, y las altas temperaturas de la ciudad dónde estará ubicado.

Además, el reactor debe contar con los siguientes accesorios que permitan su total funcionamiento:

- Controlador de temperatura
- Indicador de temperatura
- Indicador de presión
- Indicador de nivel
- Válvulas para controlar los flujos de entrada y salida

Como los cristales del producto obtenido son corrosivos y abrasivos, se hace necesario utilizar materiales adecuados.

Las principales ventajas de los reactores por lotes, radican en su diseño simple y económico, la poca instrumentación que requieren y la flexibilidad que ésta tiene.

Se determina la cantidad de materia prima necesaria en cada proceso BATCH. Así se calcula el volumen que debía tener el reactor. Se tuvo en cuenta que durante la experimentación no hubo cambios significativos en volumen, al mezclar las materias primas.

Además, como lo propone Diana Minayo¹⁸ el reactor debe disponer de un agitador vertical de hélice, de paso cuadrado, de tres palas porque requiere menor potencia comparado entre la gran variedad que se encuentra en el mercado.

Según el referente teórico de R. Fogler en Elements of Chemical Reaction Engineering, el dimensionamiento del volumen de reacción para un reactor Batch se puede obtener sin tener en cuenta las ecuaciones tradicionales de diseño, siempre y cuando se siga el algoritmo que se presenta a continuación:

¹⁸MINAYO ALDAZ, Diana Belén. Diseño del proceso de obtención de sulfato de amonio (fertilizante) a partir de hidróxido de amonio y ácido sulfúrico existentes en las bodegas del Consejo Nacional de Control de Sustancias Estupefacientes y Psicotrópicas (CONSEP). Trabajo de Grado Ingeniera Química y Agroindustrial. Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2014. 217 Pag.

Variables de diseño¹⁹:

- Capacidad de producción requerida anual (Toneladas/año)
- Disponibilidad horaria operativa del equipo (horas/año)
- Tiempo de reacción por lote (horas/lote)
- Densidad global de la mezcla (Toneladas/m³)
- Tiempo total por lote (horas/lote)
- Volumen de reacción (m³)

Algunas de las variables necesarias para el diseño son producto de la experimentación o tienen en cuenta la necesidad de la empresa de producir Sulfato de Amonio.

La capacidad requerida por la empresa es de 1.500 toneladas/año. Al existir una necesidad del producto que puede aumentar, el dimensionamiento del equipo se realiza con un sobredimensionamiento de entre el 15 y el 20 por ciento. Para este caso el valor escogido es del 20%.

El tiempo operativo del equipo se determinó tomando en cuenta que la planta opera 5 días de la semana, en dos turnos de 8 horas. Con 52 semanas anuales se dispone de 4.160 horas, ignorando días festivos que se puedan presentar.

Las paradas programadas para hacer ajustes del proceso y mantenimiento, se realizan en horarios extras a los que se estipularon anteriormente.

Valorando de nuevo los referentes teóricos de Fogler²⁰, el tiempo óptimo de reacción es de 1 hora, además se indica que para un proceso convencional o común, el tiempo de limpieza y adecuación para este tipo de procesos es de 2 horas, si no supera los 4.500 kilos netos de producto.

La densidad de la mezcla reactante escogida para realizar el dimensionamiento es de 990 kg/m³.

El tiempo total por corrida Bath se obtiene mediante la suma del tiempo de reacción, el tiempo de cristalización y el tiempo de limpieza y adecuación:

¹⁹FOGLER, H Scott.Elements of chemical reaction engineering.4a edición.México.Person Education.2008.1112 p.

²⁰Ibíd.

Ecuación 10. Tiempo en el Reactor-Cristalizador

$$t = \text{Tiempo de reacción} + \text{Tiempo cristalización} + \text{Tiempo de limpieza}$$

$$t = 6 \text{ horas}$$

Las ecuaciones que relacionan las variables de diseño citadas anteriormente con el volumen de reacción son las siguientes:

Ecuación 11. Cantidad lotes por año

$$\text{cantidad lotes por año} \left(\frac{\text{lotes}}{\text{año}} \right) = \frac{\text{disponibilidad horaria operativa del equipo} \left(\frac{\text{Horas}}{\text{año}} \right)}{\text{Tiempo total por lote} \left(\frac{\text{Horas}}{\text{Lote}} \right)}$$

$$\text{cantidad lotes por año} \left(\frac{\text{lotes}}{\text{año}} \right) = 462 \frac{\text{lotes}}{\text{año}}$$

Ecuación 12. Cantidad de Sulfato de amonio por lote

$$\text{Capacidad por lote} = \frac{\text{Capacidad de producción requerida anual} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{Año}} \right) * 1.2}{\text{cantidad lotes-año} \left(\frac{\text{lotes}}{\text{año}} \right)}$$

$$\text{Capacidad por lote} = 3,9 \frac{\text{ton}}{\text{lote}}$$

Se deben producir 3,9 toneladas por lote de mezcla reactante. Estimando las proyecciones que tiene la empresa, se aumenta un 10% más para ampliar la capacidad de producción, es decir, en total se podrán producir 4,3 toneladas de mezcla, lo que permitirá una producción de 234 Kg de Sulfato de Amonio por Batch.

Ecuación 13. Volumen Reactor-Cristalizador

$$\text{Volumen de reacción} = \frac{\text{capacidad por lote (ton)}}{\text{densidad global}}$$

$$\text{volumen de reacción (m}^3\text{)} = 4,34 \text{m}^3$$

Se establece un aumento de seguridad, este es del 30 por ciento. Un parámetro establecido para reactores Batch con el fin de evitar principalmente riesgos de seguridad y para no operar el equipo a máxima capacidad.²¹
Teniendo en cuenta lo anterior se tiene que:

Ecuación 14. Volumen seguro del Reactor-Cristalizador

$$\text{volumen seguro del reactor(m}^3\text{)}=\text{volumen de reacción(m}^3\text{)}*1.3$$

$$\text{volumen seguro del reactor(m}^3\text{)}= 5,65 \text{ m}^3$$

Los parámetros del diseño del reactor son delimitados por Stanley Walas²² en el texto Chemical Process Equipment Selection and Design. Para recipientes donde dé lugar a reacciones químicas en fase líquida, el diámetro del tanque deberá ser máximo una tercera parte de la altura del recipiente con el propósito de que la mezcla reactante se encuentre lo más homogénea posible.

El diámetro total del agitador no deberá superar la tercera parte del diámetro del recipiente y el espesor de las paletas una octava parte del diámetro total del agitador. Además la distancia entre el agitador y el fondo del tanque debe ser dos terceras partes de la altura total del tanque.

Teniendo en cuenta que este tipo de procesos se pueden dimensionar de forma directa, la cantidad de ácido y base que entran al reactor-cristalizador serian: 2,05 toneladas y 1,85 toneladas respectivamente.

3.4.2.3 Agitador. El agitador que se empleará es de tipo mecánico, el cual funciona mediante rotación y permite un movimiento uniforme en el fluido. Estos sistemas poseen tres partes fundamentales que se encargan de transmitir el movimiento al fluido. El eje se encarga de transmitir la cantidad del movimiento proveniente del motor y el variador de velocidad se encarga de variar la velocidad de giro.

Existen tres tipos principales de agitadores: tipo aspa, tipo turbina y tipo paleta. El primero de ellos está indicado para sistemas de viscosidad no superior a los 2000 cP y para tamaños de partícula entre los 0.1 a 0.5 mm; el segundo está diseñado para favorecer altos números de Reynolds en procesos que requieran altos regímenes de revoluciones y torque. Los dos primeros se indican usualmente para

²¹COUPER, J.R; PENNEY, W.R; FAIR, J.R. Chemical process equipment: selection and design. 3a. Edición. Amsterdam, Butterworth-Heinemann. 2012. 864 p.

²²WALAS, Stanley M. Chemical process equipment: selection and design. Boston. Butterworths. 1988. 774 p.

sistemas de fase líquida o con sólidos en suspensión de alta o mediana flotabilidad según Cheremisinoff.²³

El agitador escogido es el de tipo Pitched Blade con una inclinación de 45 grados y con 4 cuchillas, este fue escogido debido a que con este tipo de mezcladores se obtienen flujos axiales y radiales combinados y es eficaz para el intercambio de calor. Teniendo en cuenta que la distancia entre las paletas debe ser entre 0.3 y 0.8 del diámetro del agitador, la velocidad de agitación en la reacción no es una variable que afecte la eficiencia; por tanto, la velocidad será la que permita una mezcla reactante homogénea.

Diagrama 8. Diseño y características del Reactor-Cristalizador

Diseño geométrico del reactor			
Volumen 5,65 m³			
Variable del diseño	Longitud (m)		
Altura	4,02		
Diámetro	1,34		
Distancia libre de fondo	1,34		
Diámetro agitador	0,45		
Espesor de paletas	0,06		
	Propiedades del fluido		
	Características	Unidad de medida	Valor
	Viscosidad	cP	1,03
	Densidad	kg/m ³	990
	Escala de agitación		5
	Geometría del reactor		
	Características	Unidad de medida	Valor
	Relación D/T		0,3
	Volumen de agitación	m ³	5,65
	Diámetro equivalente del agitador T eq	mm	1930,4
	Cálculos del agitador		
	Requerimientos	Unidad de medida	Valor
	Diámetro del agitador	mm	579,1
	Velocidad de agitación	rpm	172,23
	Potencia recomendada (Pr)	kW	2,61

²³ CHEREMISINOFF, Nicholas. Handbook of chemical processing equipment. Boston. ButterworthHeinemann. 2000. 558 p.

3.4.3 Filtro. El filtro seleccionado es tipo prensa porque la empresa ya lo posee, y las características son las necesarias en el proceso: filtra mezclas sólidas y líquidas mediante el bombeo de los sólidos entre cada par de bastidores y una vez llenos, mediante un tornillo se van oprimiendo unos contra otros expulsando el agua saturada a través de la tela. Los filtros prensa pueden comprimir y deshidratar sólidos hasta obtener del 25% al 60% por peso del sólido compactado.²⁴

3.4.4 Secador

3.4.4.1 Secadores mecánicos. Los secadores mecánicos son equipos que generan un corriente de aire caliente con dirección hacia el producto de interés, haciendo uno se equipos mecánicos como ventiladores o turbinas. Éstos normalmente tienen un quemador que calienta el aire. Los combustibles utilizados para este proceso son el gas natural, la gasolina y el carbón. El adecuado se selecciona dependiendo de la cantidad de calor requerida. Son combustibles de menor costo y bajo mantenimiento.

También se pueden encontrar secadores que generan el calor de forma eléctrica, mediante una serie de resistencias juntas al ventilador. La principal ventaja de estos equipos es su temperatura controlada, pero su desventaja es el costo operativo por alto consumo energético.

Normalmente estos equipos poseen controles de temperatura con termostatos que permiten estabilizar la temperatura y hacer que el equipo trabaje intermitentemente. Así se consume menos energía y el equipo opera mejor.

Los secadores mecánicos más comunes son los de bandejas y los secadores rotativos. El secador de bandejas trabaja de la siguiente forma: el aire caliente pasa a través de las bandejas que tiene el producto y le quita la humedad al sólido mientras éste sigue avanzando. En los secadores rotatorios en aire circula dentro de un cilindro que contiene el producto y gira sobre su eje central. La rotación que tiene aumenta los gradientes de temperatura y humedad, secando el producto.

El secador que se utiliza en el proceso debe ser un equipo que opere con cantidades bajas de producto. Al momento de diseñarlo es más importante la eficiencia energética y la productividad que el costo inicial del equipo o el mantenimiento del mismo.

²⁴ El funcionamiento del filtro de prensa. ¿Qué son los filtros de prensa? En: Quiminet.com, información y negocios segundo a segundo. [En línea]. (30, enero, 2008) Disponible en: <http://www.quiminet.com/articulos/el-funcionamiento-del-filtro-prensa-23843.htm>

El secador que se seleccionó fue el rotativo tipo tambor que funciona con aire caliente. Este tipo de secadores funcionan para sólidos que no son térmicamente sensibles y se caracterizan por su facilidad de construcción y operación.

Estos secadores se pueden trabajar en las dos formas de configuración: en paralelo y en contracorriente, siendo esta última la mejor configuración, porque alcanza diferencia de temperaturas altas y genera un menor consumo energético, procurando que no afecte el producto final.

Asegura Minayo²⁵ que el secador rotatorio es uno de los más utilizados en la industria, es sencillo y versátil para una gran variedad de materiales. Especialmente usado para el secado productos granulares como sulfatos, nitratos y fosfatos de amonio.

Fertilizantes Colombianos S.A. cuenta con un secador de tambor rotatorio de tipo cilíndrico, instalado en forma horizontal de una longitud de 53' 6 ½ " con una inclinación aproximada de 3 grados. Su interior está dividido en una parte lisa de 3.6 metros de longitud, revestida con lámina de acero inoxidable y otra parte provista de paletas en forma helicoidal, con el objeto de formar una cortina para que el producto este más en contacto con el aire caliente.

3.5 ACCESORIOS EN EL PROCESO

Adicional a los equipos e instrumentos que se requieren, son necesarios algunos accesorios para que el proceso se realice de forma segura.

3.5.1 Bombas. Las bombas empleadas en todo el proceso son centrífugas debido a su bajo precio. Puede utilizarse con líquidos que contienen grandes cantidades de sólidos en suspensión. Ocupa poco espacio y es de fácil mantenimiento.

Teniendo en cuenta las características de las materias manipuladas en el proceso, el material empleado para la bomba es acero inoxidable para impedir la corrosión y fracturas en las mismas.

3.5.2 Tubería. El material seleccionado para estas es CPVC debido a su bajo costo, estabilidad térmica y es inerte químicamente, resistente a los ataques corrosivos del ácido sulfúrico.

3.5.3 Accesorios. Se recomienda que los empaques, sellos de bombas, reactores y equipos auxiliares para operación en los cuales se involucren soluciones ácidas, sean en poliuretanos termoplásticos de alta resistencia química.

²⁵MINAYO. Op. cit., p. 31.

De esta manera se asegura un buen funcionamiento del proceso y se evitan las paradas no programadas y la fuga de materiales que puedan causar daños importantes a equipos o personas.²⁶

3.6 MATERIALES DE CONTRUCCIÓN EQUIPOS

Para determinar el material de construcción adecuado, se tiene en cuenta la resistencia del material. El objetivo es asegurar la operatividad de la planta y evitar daños en los equipos.

Se considera el punto de vista técnico en el cuál el material debe ser resistente a la corrosión y a la abrasividad, para evitar daños prematuros en los equipos.

Las sustancias químicas para determinar la resistencia son tanto, materias primas como producto. A pesar de que en el proceso se utilizan corrientes de baja concentración, los materiales deben soportar soluciones concentradas teniendo en cuenta que puede ser usado con concentraciones mayores.

La resistencia a la corrosión (ver Anexo G) que deben tener los materiales para la construcción de los equipos son:

- Tanque almacenamiento: el material escogido para ácido sulfúrico es de bronce y el de hidróxido de amonio es de acero inoxidable 316, porque nos permite almacenarlo hasta una temperatura de 48 °C.
- Reactor-Cristalizador: este puede ser construido en acero inoxidable 316 el cual permite una resistencia moderada ante la corrosión de materias primas y productos. Para complementarlo se necesitará una resina que permita aumentar la resistencia del material y disminuir la fricción de los cristales con la superficie, lo cual ayuda al desgaste con el tiempo, intentando no afectar la reacción química y las propiedades físicas del proceso.

Los tanques de materia prima: el material escogido para el almacenamiento es acero inoxidable. El material utilizado para el reactor debe ser resistente a la materia prima y a la solución, producto de la reacción es decir castiron (Ni resist).

El evaporador (cristalizador) debe ser resistente a la acción del nitrato de amonio castiron (Ni resist) y además contar con un recubrimiento en una resina (poliéster) teniendo en cuenta que los cristales de sulfato de amonio son higroscópicos abrasivos, es decir que al humedecerlos se tornan abrasivos.

²⁶ HELMBOLDT, Otto. Aluminum compounds inorganic. Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry. Séptima edición. Volume 1. Wiley-VCH. 2011.

Cada material debe contar con el espesor adecuado que permita una operación segura y una duración prolongada de los equipos.

En el Anexo F se presentan los cálculos generales.

4. EVALUACIÓN FINANCIERA

4.4 DIAGNÓSTICO

Los fertilizantes contienen, principalmente, macronutrientes básicos de las plantas los cuales son nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K); así como otros nutrientes o elementos secundarios como el calcio (Ca), el magnesio (Mg) y el azufre (S), y otros elementos denominados menores.

En el mercado se pueden encontrar fertilizantes simples inorgánicos en los cuales sólo se incluye un micronutriente. Entre los más importantes se encuentra la urea, el fosfato diamónico y el cloruro de potasio. Además se comercializan fertilizantes compuestos inorgánicos, en los cuales se encuentran macronutrientes y nutrientes secundarios en diferentes concentraciones, composiciones y formulación.

Actualmente la producción mundial de fertilizantes ronda los 250 millones de toneladas anuales²⁷, donde el mayor porcentaje son fertilizantes simples, es decir, nitrogenados, fosfóricos y potásicos. Los mayores productores mundiales de fertilizantes son China, Francia, España y Estados Unidos. Por su parte, los principales consumidores de fertilizantes son Estados Unidos, China e India, debido a la escala de producción agropecuaria que presentan y a las necesidades crecientes de alimentación que tienen para sus poblaciones.

Teniendo en cuenta los análisis realizados por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, los factores del mercado que afectan el precio de los fertilizantes son la oferta, el precio del petróleo y el gas. Además de las limitaciones de materia prima en los depósitos de fósforo y potasio, y los precios de extracción de éstos.

En la demanda del producto se cuenta con el crecimiento del ingreso per cápita en China, India y otros países de mercados emergentes, que presionan la demanda de fertilizantes para producir alimentos requeridos por sus numerosas poblaciones. Esto necesariamente genera un aumento en el valor de los insumos.

En Colombia según el ICA²⁸ se producen alrededor de mil 500 millones de toneladas, siendo los fertilizantes con macronutrientes (simples) los que tienen mayor porcentaje de producción. Los mayores productores de fertilizantes en el país son Monómeros Colombo Venezolanos S.A., Abonos Colombianos S.A. –

²⁷ Fertilizantes en el mundo [en línea]. Argentina: Grupo fosfatos agrominerales, 2016, [Consultado 02 de febrero de 2016]. Disponible en Internet: <http://fosfatos.gl.fcen.uba.ar/index.php/fertilizantes/consumo-y-reservas/>

²⁸ Fertilizantes y bioinsumos agrícolas [en línea]. Colombia: Instituto Colombiano Agropecuario ICA, 2016. [Consultado 02 de febrero de 2016]. Disponible en Internet: <http://www.ica.gov.co/getdoc/a5c149c5-8ec8-4fed-9c22-62f31a68ae49/Fertilizantes-y-Bio-insumos-Agricolas.aspx>

Abocol, Ecofértil S.A., Yara Colombia Ltda., Nutrición de Plantas S.A. y C.I. de Azúcares y Mieles S.A. – Ciamsa.

En el país también existen medianas y pequeñas empresas que producen fertilizantes para el mercado local y algunas para el mercado externo. Su producción industrial incluye, además de fertilizantes compuestos NPK enriquecidos con elementos menores y secundarios, algunas materias primas intermedias obtenidas a partir de otros minerales. Las empresas más pequeñas por su parte, se ocupan de procesar cales, roca fosfórica y otros minerales para su aplicación directa en agricultura.

La producción colombiana de minerales, como materia prima para la fabricación de fertilizantes, no alcanza a satisfacer la demanda interna. Por esta razón, se importa anualmente un alto volumen de compuestos de fósforo, nitrógeno, potasio, calcio, magnesio y azufre.

4.5 ANÁLISIS PEST

Para analizar las influencias de los diferentes factores del macro-entorno que afectan a la empresa Fertilizantes Colombianos S.A., podemos utilizar la herramienta de análisis PEST, que agrupa dichas influencias en cuatro grandes categorías: Políticas-legales, Económicas, Socio-culturales y Tecnológicas (PEST). Aunque estén separadas en categorías, todas las variables se relacionan entre sí. Cuando uno de los factores cambia, afecta al entorno competitivo de la organización.

Las puntuaciones que se aplican al análisis PEST indican a mayor número (3) una mayor oportunidad o amenaza, y a menor número (1) una menor oportunidad o amenaza.

4.5.1 Factores económicos. Teniendo en cuenta la actual crisis económica y de desempleo por la que atraviesa el país, el desarrollo de proyectos que beneficien el sistema agrícola y lo potencialice, ayuda a mitigar los impactos negativos en la economía.

Por esta razón el desarrollo de nuevos fertilizantes abre mercados que beneficiarían económicamente a Fertilizantes Colombianos S.A.

Se debe considerar que, la producción de insumos en Colombia no es suficiente para abastecer las necesidades de producción, por tanto se importan ciertos insumos para la elaboración de fertilizantes.

Esto aumenta el precio de los fertilizantes, y el por ende el costo de producción para cada agricultor. Las inconformidades del sector agrícola se han expresado mediante paros agrarios en los últimos años.

Cabe resaltar que entre 80-90% de los fertilizantes que se comercializan en Colombia son vendidos por siete empresas que dominan el mercado. Es de inferir que hay un mercado estable y sin perturbaciones significativas en el sistema.

Igualmente el gobierno actual está ofreciendo incentivos a los agricultores para mitigar los impactos generados por el fenómeno de El Niño en 2016 y evitar así los incrementos bruscos en los productos agrícolas.

“El sector agrícola tiene un aporte significativo en el Producto Interno Bruto, además como fuente de empleo. Si bien este aporte ha disminuido teniendo desde 1990 cuando era del 16,5 %, a 6.3 % en el 2015. Aun así sigue siendo un renglón muy importante de la economía y una fuente de empleo”²⁹.

Tabla 13. Perfil de oportunidades y amenazas económicas

Factores económicos	Oportunidad		Amenaza	
	Nivel	Puntos	Nivel	Puntos
Acuerdos de libre comercio	media	2	alta	3
Inestabilidad del sector	media	2	media	2
Incentivos gubernamentales	alta	3	baja	1
Competencia global desigual	media	2	alta	3
Dependencias del costo del petróleo	baja	1	alta	3
SUMA		10		12
PROMEDIO		2		2,4

²⁹ Agricultura, valor agregado (% del PIB) [En línea]. Estados Unidos: El Banco Mundial, 2016. [Consultado 02 de febrero de 2016]. Disponible en Internet: <http://datos.bancomundial.org/indicador/NV.AGR.TOTL.ZS>

4.5.2 Factores políticos. A principios de los años 90, se inició el desarrollo de una nueva política económica en la cual se permitía una liberación en las importaciones entre otros factores, lo que ha ocasionado al país, la llegada de productos agrícolas a un menor precio.

Existen factores que perturban el desarrollo agrícola, entre los cuales se encuentra el desplazamiento forzado de la población campesina como consecuencia del conflicto armado interno. Esto afecta negativamente los ingresos porque, en un gran porcentaje, las personas desplazadas vivían del sector agrícola. Se debilitó así el crecimiento de los diferentes sectores de la agroindustria.

Asimismo la agricultura ha sufrido las consecuencias de políticas no adecuadas y a su vez debe enfrentar desafíos importantes en los próximos años. Es un reto el alcance de estabilidad política en el post-conflicto. La agricultura se presenta como una oportunidad para desarrollar políticas de beneficio económico para Colombia.

Tabla 14. Perfil de oportunidades y amenazas políticas

Factores políticos	Oportunidad		Amenaza	
	Nivel	Puntos	Nivel	Puntos
Clima político del país	alta	3	media	2
Política en el post conflicto	alta	3	baja	1
Igualdad ciudadana	media	2	media	2
Coordinación entre lo económico y lo social	media	2	media	1
Política de estímulos económicos	alta	3	baja	1
SUMA		13		7
PROMEDIO		2,6		1,4

4.5.3 Factores ambientales. Éstos se encuentran vinculados con la sociedad teniendo en cuenta la relación recíproca entre ambas.

Las acciones del hombre afectan a la naturaleza y en consecuencia se generan grandes cambios ambientales que a su vez afectan el ámbito social.

Desde la perspectiva de la naturaleza, este proyecto contribuye a la eliminación de un contaminante que actualmente se vierte en las fuentes hídricas del municipio.

Ayudaría a mejorar la relación entre la naturaleza y el ser humano, y permitiría a la empresa cumplir con los requerimientos ambientales para vertimientos industriales.

Finalmente, desarrollar un fertilizante que contribuya al enriquecimiento del suelo, permitirá un desarrollo adecuado de la naturaleza, con nuevos y adecuados nutrientes.

Tabla 15. Perfil de oportunidades y amenazas ambientales

Factores ambientales	Oportunidad		Amenaza	
	Nivel	Puntos	Nivel	Puntos
Mejoramiento del medio ambiente	Alta	3	Baja	1
Cumplimiento de normatividad	Alta	3	Media	2
Condiciones ambientales	Alta	3	Baja	1
SUMA		9		4
PROMEDIO		3		1,33

Para la determinación de los costos involucrados en la producción de Sulfato de Amonio, se consideraron la materia prima necesaria para el proceso y la estimación de consumo de energía.

Además de los equipos necesarios para el proceso de obtención de Sulfato de Amonio, los cuales son:

- Dos tanques de recepción de materias primas
- Reactor-cristalizador
- Filtro
- Secador

4.6 MERCADO POTENCIAL

La producción y venta de fertilizantes ayudan, de manera sustancial, al desarrollo de la agricultura y la calidad del producto obtenido, aunque la producción de fertilizantes ha variado con el tiempo, teniendo en cuenta que en los años 70 se utilizaban una gran variedad de insumos que aumentaban la producción y el costo.

Con la necesidad de disminuir costos y mantener la productividad, inició la utilización de residuos orgánicos y las mezclas físicas de nitrógeno, potasio, fósforo y azufre, con lo que se obtenían beneficios similares a un menor costo.

En Colombia, el Instituto Colombiano Agropecuario ICA lleva los cálculos de producción, venta e importación de fertilizantes que se consideran en la presente investigación.

Es así como la producción de fertilizantes en el año 2013 fue de mil 429 millones 851 mil 104 kilogramos, y en el año inmediatamente anterior fue de mil 365 millones 776 mil 815 kilogramos y en el año 2011 fue de mil 648 millones 300 mil 226 kilogramos, con lo cual se observa una variación en producción de este tipo de productos³⁰.

Tabla 16. Producción de fertilizantes en Colombia.

Año	Producción de fertilizantes
2011	\$ 1.648.300.226
2012	\$ 1.365.776.815
2013	\$ 1.429.851.104

³⁰ Fertilizantes y bioinsumos agrícolas [en línea]. Colombia: Instituto Colombiano Agropecuario ICA, 2016. [Consultado 02 de febrero de 2016]. Disponible en Internet: <http://www.ica.gov.co/getdoc/a5c149c5-8ec8-4fed-9c22-62f31a68ae49/Fertilizantes-y-Bio-insumos-Agricolas.aspx>

Gráfico 5. Producción de fertilizantes en Colombia



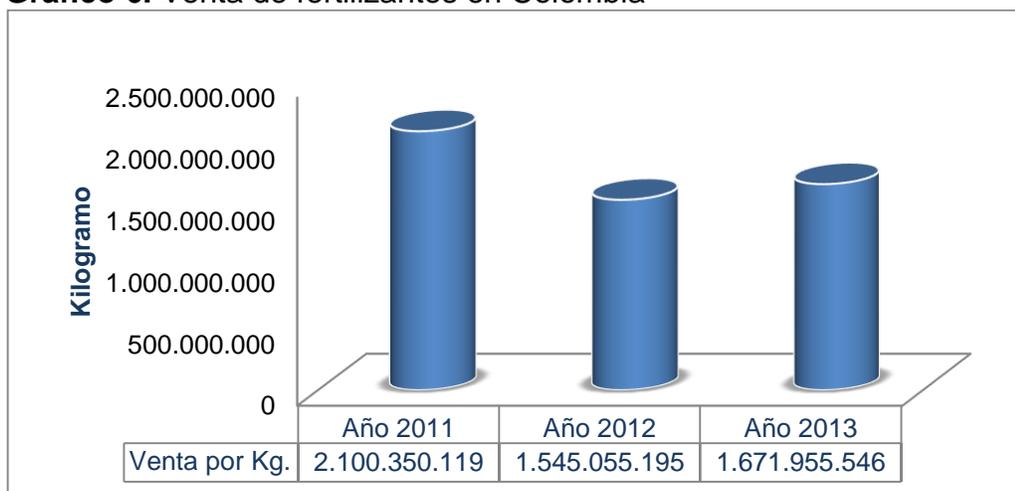
La venta de fertilizantes en el año 2013 fue de mil 671 millones 955 mil 546 kg, en el año inmediatamente anterior fue de mil 545 millones 55 mil 195 kg y en el año 2011 fue 2 mil 100 millones 350 mil 119 kg, con lo cual se observa una variación en la venta de estos productos³¹.

Tabla 17. Venta de fertilizantes en Colombia.

Año	Venta de fertilizantes
2011	\$ 2.100.350.119
2012	\$ 1.545.055.195
2013	\$ 1.671.955.546

³¹ Ibíd.

Gráfico 6. Venta de fertilizantes en Colombia



Las importaciones anuales por su parte, también son variables. En el año 2013 fue de mil 139 millones 254 mil 838 kg, en el año 2012 fue de mil 164 millones 424 mil 628 kg y en el año 2011 fue de mil 107 millones 172 mil 82 kg³².

Tabla 18. Importaciones de fertilizantes a Colombia.

Año	Importaciones de fertilizantes
2011	1.107.172.082
2012	1.164.424.628
2013	1.139.254.838

³² *Ibíd.*

Gráfico 7. Importaciones de fertilizantes a Colombia



Los mayores productores de fertilizantes en Colombia durante ese período de tiempo fueron Monómeros Colombovenezolanos S.A., Precisaagro y Yara Colombia Ltda.

Teniendo en cuenta lo anterior, una gran parte del consumo anual de fertilizantes en Colombia se realiza en importados aunque existen empresas dedicadas a la importación y transformación, para su posterior venta.

Fertilizantes Colombianos tiene 50 años de trayectoria en el sector petroquímico, en especial de los fertilizantes. Esto le permite posicionarse en el mercado con un producto nuevo

4.7 SUPUESTOS GENERALES

Para la realización del análisis financiero se proponen unos valores, los cuales son el porcentaje de inflación e índices de precios al productor, estos valores se hallan mediante un promedio de los últimos años con respecto a cada uno de ellos, por ende en las siguientes tablas se observa a fondo dichos valores:

Tabla 19. Porcentaje de inflación.

Porcentaje de inflación	Año 1	3,43%
	Año 2	3,63%
	Año 3	3,48%
	Año 4	3,33%
	Año 5	3,19%

Tabla 20. Índice de precios al consumidor.

Índice de Precios al Consumidor	Año 1	2,71%
	Año 2	3,51%
	Año 3	3,72%
	Año 4	3,80%
	Año 5	3,50%

4.8 COSTOS DE MATERIA PRIMA

Los cálculos de los consumos de materias primas se realizan de acuerdo a los resultados obtenidos en el dimensionamiento de equipos. Pero teniendo en cuenta que el hidróxido de amonio y el ácido sulfúrico son sub-producto de otros procesos, los cuales en la actualidad no son utilizados y por el contrario son considerados desechos, no poseen un valor comercial para la empresa.

Tabla 21. Costo anual materia prima

Materia prima	Cantidad (Kilogramo/año)	Costo unitario (Pesos/kilogramos)	Costo total (Pesos)
Ácido sulfúrico	\$947.100	\$0	\$0
Hidróxido de amonio	\$854.700	\$0	\$0
Total año		\$0	\$0

Nota: No poseen un costo para la empresa porque son desechados actualmente.

4.9 COSTO DE EQUIPOS

Se observa el costo de los equipos que se necesitan para el proceso. En este caso son los tanques de almacenamiento y el reactor-cristalizador. Los costos de estos equipos se hicieron mediante una cotización solicitada a la empresa Proyectos Construcciones y Suministros (Ver Anexo H).

Tabla 22. Costo de equipos

Equipos	Características	Precio (Pesos)
Tanque de almacenamiento 1	Cobre	\$32.853.204
Tanque de almacenamiento 2	Acero inoxidable 316	\$19'524.730
Reactor – Cristalizador	Acero inoxidable 316	\$94'320.123
Transporte e instalación de equipos		\$32'273.573
Total costo de equipos		\$178.971.630

4.10 COSTOS DE OPERACIÓN

Corresponden al costo de mano de obra directa y costos energéticos del proceso. El proceso está en operación 18 horas al día, en las cuales operarán dos turnos diurnos. Habrá un operador y un ayudante de operador por cada turno.

4.10.1 Mano de obra directa. A continuación se presenta el total del salario mínimo, desglosado bajo las diferentes obligaciones que se asumen al contratar a un empleado.

Tabla 23. Valores por concepto de salario mínimo en Colombia

Concepto	Valor (Pesos)
Salario	\$689.455
Auxilio de Transporte	\$77.700
Salud	\$58.500
Pensión	\$82.600
Riesgos profesionales	\$3.600
Parafiscales	\$62.000
Prima	\$63.930
Cesantías	\$63.930
Intereses	\$7.670
Vacaciones	\$28.727
Total	\$1'138.112

El costo de la mano de obra se calcula según la Ecuación 16, asumiendo dos turnos de producción con dos operarios cada uno.

Ecuación 15. Costo Total anual.

$$\text{Costo mano de obra anual} = \text{salario} \times \text{operarios} \times \text{número de turnos} \times 12$$

Costo mano de obra anual=\$ 54'629.376

El costo de mano de obra sufrió una variación del 5% teniendo en cuenta el aumento del salario mínimo en los últimos años.

4.10.2 Costos indirectos. Estos gastos se basan en las necesidades que tiene la empresa para la producción de sulfato de amonio, en la siguiente tabla se indican dichos gastos.

Tabla 24. Costos Indirectos.

Costos Indirectos	
Materiales indirectos	\$ 4.320.000,00
Servicio de energía	\$ 106.895.575,00
Servicio de telefonía	\$ 1.440.000,00
Seguros	\$ 3.334.902,00
Papelería	\$ 1.000.000,00
Cafetería	\$ 1.000.000,00
Impuestos	\$ 4.400.941,00
Capacitación de empleados	\$ 9.000.000,00
Servicio de alcantarillado	\$ 1.700.000,00
TOTAL	\$ 133.091.418,00

Los costos energéticos se expresan a continuación más a fondo.

4.10.3 Costos energéticos. Se determinaron los costos energéticos asociados a cada proceso en la producción de Sulfato de Amonio. Teniendo en cuenta que los costos energéticos se mantienen porque Fertilizantes Colombianos S.A. dispone del suministro de gas cuyo costo se mantiene en períodos de 10 años. Asimismo se tomó este periodo de tiempo para realizar la evaluación financiera.

4.10.4 Reactor-cristalizador. A continuación se presenta la cantidad de energía necesaria y el costo para adelantar las operaciones del equipo.

4.10.4.1 Agitador. La potencia necesaria para agitar la solución se determinó mediante el programa CheCalc, el cual hace parte del Departamento de

Ingeniería Química de la Universidad de California en Estados Unidos.³³ Fue necesario tener presente la viscosidad y densidad de la mezcla reactante. La viscosidad fue proporcionada por el Departamento de Ingeniería de Fertilizantes Colombianos S.A. y se encontró en 1.03 cP. La densidad fue determinada en el laboratorio y arrojó un valor de 990 kg/m³.

Además de esto se debe establecer el grado de la agitación el cual será intermedio (5), debido a que no hay una relación entre agitación y eficiencia en el proceso y lo único que se quiere es mantener una mezcla homogénea.

Los requerimientos del agitador seleccionado son de una potencia aproximada de 2,61 KW el cual opera durante 4 horas, teniendo en cuenta que en el año se pueden hacer 462 baches y fertilizantes produce la energía eléctrica a un costo de 172,5 pesos por kWh. A partir de esto se establecieron los costos anuales por año, producidos por el equipo. El resultado fue de \$832.016 pesos.

Ecuación 16. Costo anual de agitación

$$\text{Costo agitación} = \text{Potencia} \times \text{tiempo anual} \times \text{precio energía}$$

$$\text{Costo agitación} = \$832.016$$

4.10.4.2 Enfriamiento. El agua necesaria para el enfriamiento proveniente de las torres ubicadas en los lote 8 y 4 de las instalaciones de Fertilizantes Colombianos S.A., que recirculan el agua del proceso y la enfrían para llevarla de nuevo a los diferentes procesos lo necesitan. Por esta razón, no se tiene un costo estimado de este servicio.

4.10.4.3 Calentamiento. Fertilizantes Colombianos S.A. posee un servicio industrial de calentamiento usando el vapor de agua que se genera de forma residual, y aprovechando el calor resultante de sus procesos. Este servicio es uno de los medios más económicos de calentamiento, de gran estabilidad y control en el tiempo³⁴.

El servicio industrial más utilizada a la hora de calentar reactores por lotes es el vapor de agua a baja presión, que en condiciones estándares de operación alcanza temperaturas de hasta 130°C.

³³CheCalc: aplicación libre para cálculos [en línea]. California: Universidad de California, 2015. [Consultado 02 de febrero de 2016]. Disponible en Internet: <http://checalc.com/agitation.html>

³⁴BIEGLER, L.T; GROSSMANN, I. E; WESTERBERG, A. W. Systematic methods of chemical process design. Prentice Hall. 1997. 808 p.

La tonelada de vapor de baja presión teniendo en cuenta que es residual tiene un costo estimado de 98.750 en los cuales se incluye el tratamiento del agua antes de convertirse en vapor.

Teniendo en cuenta el Anexo F que muestra el requerimiento energético necesario para producir 60.04 g entonces la cantidad de energía necesaria para producir 1500 Toneladas de sulfato de Amonio al año es 4.364.065.622 W, donde 1 kW = 1.596 kg de vapor obteniendo un costo anual de \$68'777.482.

4.10.5 Filtro. El costo energético de este proceso se debe a la bomba, que permite el paso de la sustancia a las diferentes capas del filtro. La energía necesaria para la normal operación es de 27 kW y se estima que el proceso demora una hora. Así, el costo anual de este será de:

Ecuación 17. Costo anual de la bomba

$$\text{Costo anual} = \text{potencia} \times \text{tiempo} \times \text{costo unitario}$$

$$\text{Costo anual} = \$2'151.765$$

Revisar cálculos en el Anexo F.

4.10.6 Secado. Para obtener sobresaturación se basa en cambios de solubilidad de la sustancia a cristalizar, teniendo en cuenta que la solubilidad varía en función de la temperatura, se le aumentara la temperatura a la solución mediante vapor baja presión el cual tiene un costo de 98.750 tonelada.

Teniendo en cuenta los requerimientos a nivel laboratorio obtenidos en el anexo F se obtiene un requerimiento energético anual de secado de 222.926.382.14 Watts lo que ocasiona un costo anual de \$35'134.312.

4.11 GASTOS PREOPERATIVOS.

Estos gastos son los iniciales antes de poner en marcha el proyecto, en este caso aquí podemos observar los gastos de adecuación del terreno, asesorías legales, etc.

Tabla 25. Gastos Preoperativos.

Gastos Preoperativos	
Obras civiles	\$ 32.273.573,00
Papelería inicial	\$ 1.000.000,00
Asesorías legales y tributaria	\$ 5.000.000,00

4.12 ACTIVOS FIJOS.

Los activos fijos con los que va a contar la empresa para la producción de sulfato de amonio van a ser los siguientes, los cuales van a estar desglosado en la siguiente tabla.

Tabla 26. Activos Fijos.

Activos Fijos	
Computador de escritorio	\$ 1.500.000,00
Teléfono fijo	\$ 80.000,00
Impresora	\$ 600.000,00
Lote	\$ 240.000.000,00
Tanque de almacenamiento 1	\$ 32.853.204,00
Tanque de almacenamiento 2	\$ 19.524.730,00
Reactor-cristalizador	\$ 94.320.123,00
Puesto de trabajo	\$ 500.000,00
TOTAL	\$ 389.378.057,00

4.13 VENTAS

Los ingresos anuales por venta de Sulfato de Amonio, proyectados en un período de 5 años desde el año 2017 hasta el año 2022, considerando una proyección inicial de ventas anuales de 108 toneladas, y un aumento del 3% anual y el precio de venta a \$886.240 con IVA incluido y un aumento del 8% anual en el precio de venta. El precio de venta del Sulfato de Amonio a considerar en el estudio se referenció mediante cotización en el Anexo C.

El Instituto Colombiano Agropecuario ICA entrega importantes cifras de venta de Sulfato de Amonio en el país, que son tenidos en cuenta en el presente estudio.

Es así como se consideran ingresos por venta de Sulfato de Amonio proyectados en un período de 5 años desde el año 2017 hasta el año 2022. La proyección inicial de ventas anuales es de 108 toneladas con un aumento del 3% cada año, y con un precio de venta de \$886.240por tonelada métrica, cuyo precio de venta aumentaría 8% anual³⁵.

³⁵Fertilizantes y bioinsumos agrícolas [en línea]. Op. cit.

Tabla 27. Precio potencial de venta.

Precio Potencial de Venta	Año 1	\$ 886.240,00
	Año 2	\$ 913.358,00
	Año 3	\$ 942.038,00
	Año 4	\$ 971.241,00
	Año 5	\$ 1.000.961,00

4.14 FLUJO DE CAJA

El flujo de caja se realizó para un periodo de 5 años teniendo en cuenta la recuperación del dinero invertido, además las facilidades energéticas con las que cuenta Fertilizantes de Colombia S.A. que no generan un costo adicional al flujo de caja durante el período de tiempo tomado.

Se cotizó con una empresa que comercializa el Sulfato de Amonio para tener un comparativo de precios de mercado (ver Anexo H). El valor de cada tonelada métrica era de \$784.000 pesos colombianos.

La empresa realizará un préstamo de 150 millones de pesos para la adquisición de equipos, con un interés del 7% anual, a continuación se presenta el flujo de caja y la tabla de amortización del préstamo.

Tabla 28. Flujo de caja del proyecto de viabilidad técnica y financiera de Sulfato de Amonio, dado en pesos colombianos corrientes

DESCRIPCIÓN	AÑO1	AÑO2	AÑO3	AÑO4	AÑOS
INGRESOS					
SALDO INICIAL	63.268.370,00	67.120.633,14	208.153.178,86	381.051.556,69	589.728.575,59
VENTAS	294.674.800,00	315.839.522,84	351.817.434,56	398.996.152,53	460.550.086,98
REC. CARTERA DEL MES ANT.	-	15.509.200,00	16.623.132,78	18.516.707,08	20.999.797,50
	-	-	-	-	-
TOTAL INGRESOS	357.943.170,00	398.469.355,98	576.593.746,20	798.564.416,31	1.071.278.460,07
EGRESOS					
COMPRA DE MATERIAS PRIMAS	-	-	-	-	-
MANO DE OBRA DIRECTA	16.295.659,20	16.731.021,80	17.163.544,82	17.591.827,63	18.015.766,78
Materiales indirectos	4.320.000,00	4.320.000,00	4.320.000,00	4.320.000,00	4.320.000,00
Servicio de Energia	71.761.263,00	71.761.263,00	71.761.263,00	71.761.263,00	71.761.263,00
Servicio de Telefonía Fija	1.440.000,00	1.440.000,00	1.440.000,00	1.440.000,00	1.440.000,00
Seguros	3.334.902,00	3.334.902,00	3.334.902,00	3.334.902,00	3.334.902,00
Papelería	1.000.000,00	1.000.000,00	1.000.000,00	1.000.000,00	1.000.000,00
Cafetería	1.000.000,00	1.000.000,00	1.000.000,00	1.000.000,00	1.000.000,00
Impuestos	4.400.941,00	4.400.941,00	4.400.941,00	4.400.941,00	4.400.941,00
vendedoras	18.000.000,00	18.653.400,00	19.302.538,32	19.945.312,85	20.581.568,33
PUBLICIDAD	3.000.000,00	3.108.900,00	3.221.753,07	3.338.702,71	3.459.897,61
Otros	-	-	-	-	-
IMPUESTOS	-	53.865.749,32	57.897.247,30	70.002.891,54	86.241.579,88
AMORTIZACIÓN PRESTAMO	155.569.771,66	-	-	-	-
PAGO MAT. PRIM. MES ANT.	-	-	-	-	-
TOTAL EGRESOS	290.822.536,86	190.316.177,11	195.542.189,51	208.835.840,72	226.255.918,60
SALDO FLUJO DE EFECTIVO	67.120.633,14	208.153.178,86	381.051.556,69	589.728.575,59	845.022.541,47

DATOS PARA EL CÁLCULO DE LA TIR Y EL VNA					
(\$ 500.000.000,00)	\$ 67.120.633,14	\$ 208.153.178,86	\$ 381.051.556,69	\$ 589.728.575,59	\$ 845.022.541,47

Tabla 29. Amortización préstamo

TABLA DE AMORTIZACIÓN DEL PRÉSTAMO				
CONDICIONES FINANCIERAS				
MONTO:	\$ 150.000.000			
PLAZO:	12	MESES		
INTERES:	0,07	NOMINAL		
		ANUAL		
AMORTIZACION CUOTAS		MENSUAL		
	CAPITAL	INTERESES	AMORTIZACION	SALDO
0				\$ 155.569.772
1	\$ 12.500.000	\$ 464.148	\$ 12.964.148	\$ 142.605.624
2	\$ 12.500.000	\$ 464.148	\$ 12.964.148	\$ 129.641.476
3	\$ 12.500.000	\$ 464.148	\$ 12.964.148	\$ 116.677.329
4	\$ 12.500.000	\$ 464.148	\$ 12.964.148	\$ 103.713.181
5	\$ 12.500.000	\$ 464.148	\$ 12.964.148	\$ 90.749.033
6	\$ 12.500.000	\$ 464.148	\$ 12.964.148	\$ 77.784.886
7	\$ 12.500.000	\$ 464.148	\$ 12.964.148	\$ 64.820.738
8	\$ 12.500.000	\$ 464.148	\$ 12.964.148	\$ 51.856.591
9	\$ 12.500.000	\$ 464.148	\$ 12.964.148	\$ 38.892.443
10	\$ 12.500.000	\$ 464.148	\$ 12.964.148	\$ 25.928.295
11	\$ 12.500.000	\$ 464.148	\$ 12.964.148	\$ 12.964.148
12	\$ 12.500.000	\$ 464.148	\$ 12.964.148	\$ -

Con los datos obtenidos en el flujo de caja y en la tabla de amortización se pueden obtener unos indicadores económicos, los cuales nos muestran si este proyecto es viable para la empresa, a continuación se muestra el resultado obtenido de dichos indicadores.

Tabla 30. Indicadores.

Capital neto de trabajo	\$ 31.113.545
Sistema Dupont	22,34%
TIR	47,99%
VPN	\$ 829.336.474
WACC	0,0949

El capital neto de trabajo es un indicador importante debido a que es el valor que se necesita tener a manera de un colchón financiero hasta que se llegue al punto de equilibrio, lo cual nos va a servir para los gastos de la empresa por este periodo, el indicador sistema Dupont nos indica el rendimiento de la inversión el

cual en este caso nos da un porcentaje positivo, el cual nos indica que con la inversión realizada se va a generar una ganancia, otro de los indicadores en el cual se baso fue en la tasa interna de retorno en este caso es positivo el cual nos indica que va a haber una rentabilidad para la empresa con respecto a la inversión realizada, entre más alto sea la TIR mas alto será el rendimiento, el valor presente neto nos indica el valor final de los 5 años en la actualidad y comparándola con la inversión de 500 millones de pesos es muy buena ganancia para la empresa en el periodo de 5 años, y finalmente el WAAC nos indica que la relación entre el capital propio y el capital ajeno, por ende este nos indica que el capital propio es mucho mayor.

Finalmente la conclusión que podemos tener con estos indicadores es que la rentabilidad generadas por las operación es igual a la remuneración a pagar a terceros entonces el excedente de liquidez generado es nulo y se generara valor para la empresa.

Gráfico 6. Punto de equilibrio.

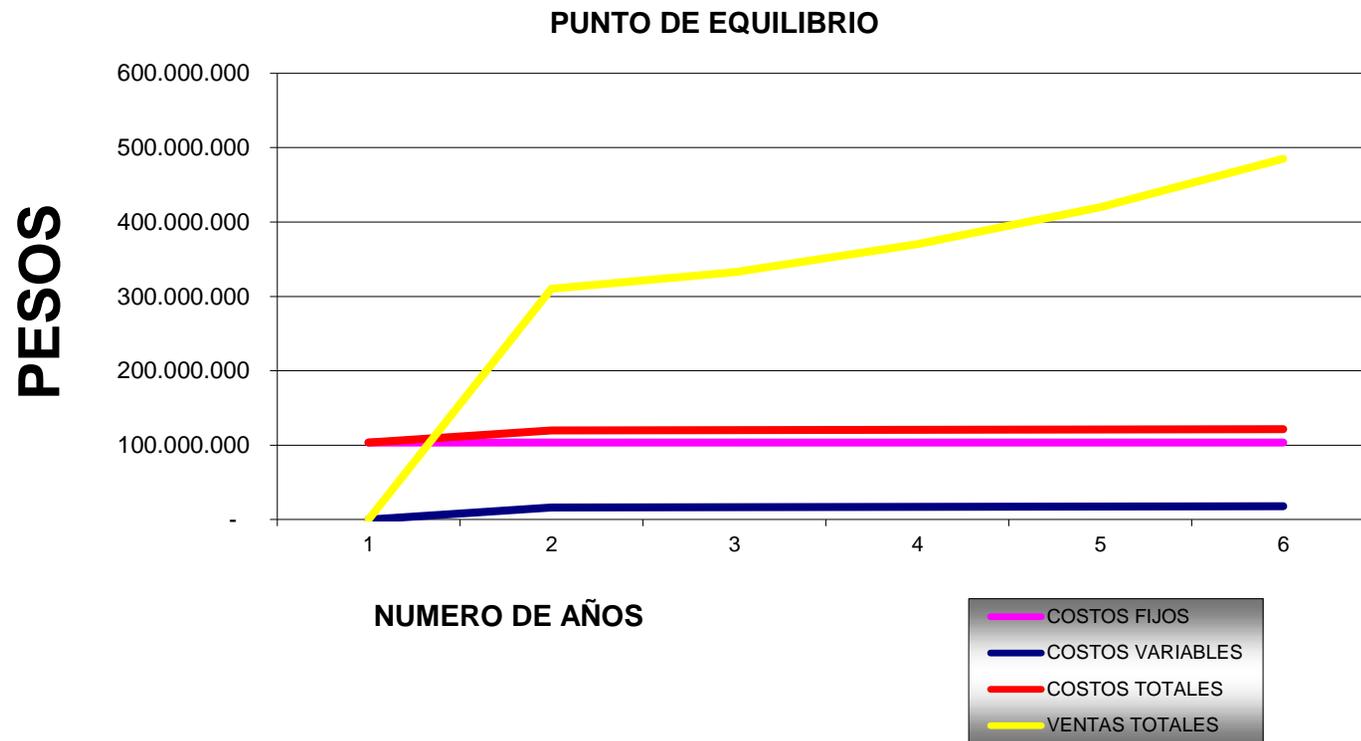
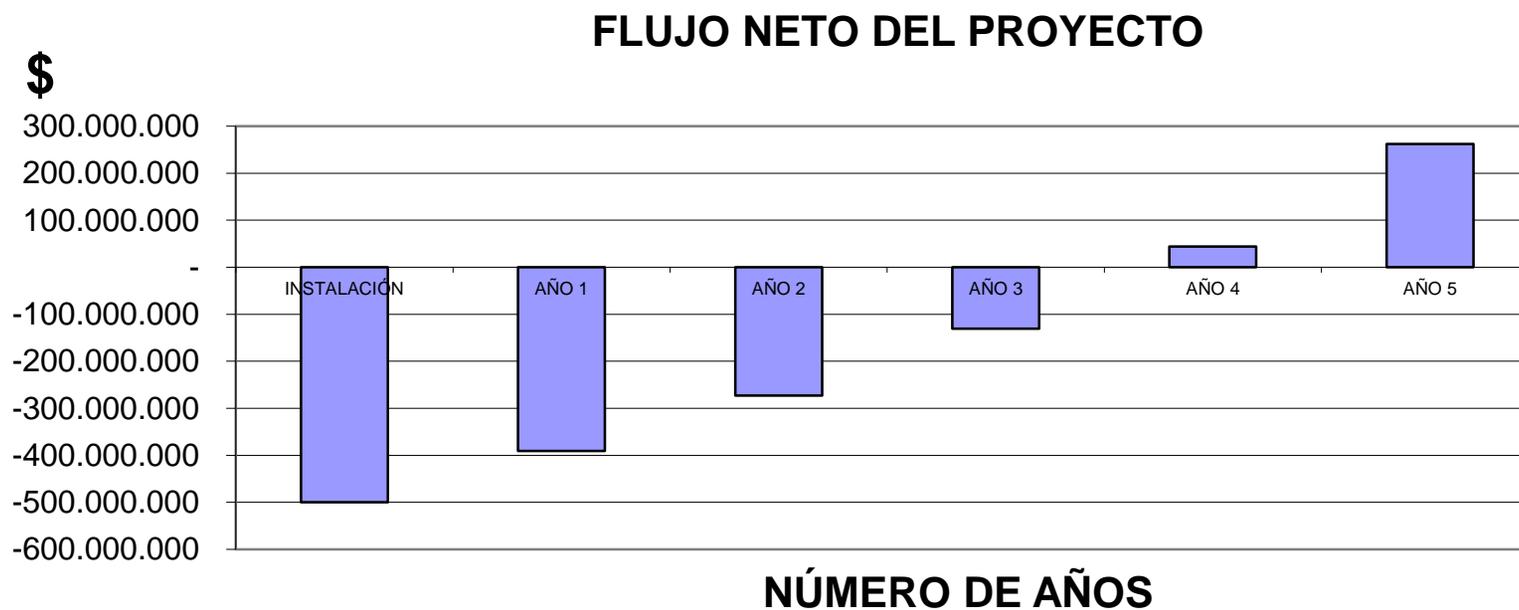


Gráfico 7. Flujo neto del proyecto.



Y para finalizar el capítulo financiero se puede observar en las últimas 2 gráficas el punto de equilibrio y flujo neto del proyecto, el primero se saca matemáticamente mediante la relación del margen de contribución de unidades y el margen de contribución en pesos, esto nos indica que en aproximadamente un año y medio se recupera la inversión y gastos realizados, esto si en condiciones ideales, por ende se pasa a observar el flujo de neto del proyecto, este nos dice más exactamente en cuanto tiempo la empresa empieza a ver las ganancias el cual es entre el año 3 y 4 que se recupera la total de la inversión, generando el retorno de la inversión desde el punto de vista financiero.

5. CONCLUSIONES

- Se seleccionó el método directo, el cual consiste en un reactor-cristalizador, en el cual ocurre la reacción. Luego se pasa a un filtro que retira la mayor cantidad de agua, después pasa por un secador para dejar el producto final terminado. Este proceso tiene ventajas para la empresa por el aprovechamiento y valoración de un producto que se desecha. Asimismo las operaciones unitarias del proceso se ajustan a las condiciones de la empresa en los aspectos técnico y financiero.
- El desarrollo experimental del proceso seleccionado, teniendo en cuenta los referentes teóricos, ayudó a la obtención de Sulfato de Amonio y brindó la información necesaria para adelantar el proceso a nivel industrial y conocer los requerimientos del mismo. Además se identificaron las necesidades puntuales de materia prima para la producción. Así, al utilizar 467 gramos de ácido sulfúrico y 522 gramos de hidróxido de amonio, se obtienen 60 gramos de ácido sulfúrico, con una eficiencia de reacción del 90%.
- Se realizó la caracterización de productos teniendo en cuenta las combinaciones con los requisitos de humedad, nitrógeno amoniacal y acidez. Esto permitió identificar el proceso adecuado que permitiera obtener un producto apto para ser considerado un fertilizante, y a su vez se aprovecharan de mejor manera los recursos disponibles.
- Se identificaron los equipos necesarios para adelantar el proceso escogido. Fue así como se diseñó un reactor-cristalizador que aprovecha la disponibilidad energética que a nivel industrial ya posee la empresa, obtenidas de otros procesos.
- Los flujos máxicos de las materias primas limitan la producción de Sulfato de Amonio por la cantidad generada. Es así como se determinó que, usando toda la materia prima generada, para producir un lote de Sulfato de Amonio de 234 Kg se necesitan 2,05 ton de ácido sulfúrico y 1,85 ton de hidróxido de amonio.
- El proceso es factible desde el punto de vista financiero y genera ganancias para la empresa después del cuarto año de producción, cuando ya se haya recuperado la inversión inicial. Esto se identificó a partir del análisis realizado en la factibilidad del proceso, la tasa interna de oportunidad del 7%, los gastos de compra de equipos, materia prima, operarios y préstamo, durante el período de 5 años a observar. La ganancia a obtener sería de \$136'588.760.

6. RECOMENDACIONES

- Es necesario realizar primero el escalado del proceso a nivel de planta piloto, para de esta manera conocer el comportamiento del proceso y estimar mejor su pertinencia y caracterización.
- Se recomienda igualmente estudiar la cinética de la reacción a mayor concentración con el fin de medir la posibilidad de usar la misma planta con una mayor concentración de materias primas.
- Fertilizantes Colombianos S.A. debe considerar la posibilidad de comercializar el Sulfato de Amonio líquido. Aunque en el mercado tiene un costo inferior, también puede ser una alternativa de comercialización.
- Por último, se propone el estudio de nuevas mezclas haciendo uso del Sulfato de Amonio y otros productos de la empresa. Estos nuevos productos diversifican la producción de la empresa y ofrece diferentes alternativas al mercado.

BIBLIOGRAFÍA

ALCALDÍA MUNICIPAL DE BARRANCABERMEJA. Información institucional acerca del municipio [en línea]. Barrancabermeja [consultado el 29 de enero de 2016]. Disponible en

Internet: <https://www.barrancabermeja.gov.co/institucional/Paginas/infomaciondelmunicipio.aspx>

BANCO MUNIDAL. Agricultura, valor agregado (% del PIB) [En línea]. Estados Unidos: El Banco Mundial, 2016. [Consultado 02 de febrero de 2016]. Disponible en Internet: <http://datos.bancomundial.org/indicador/NV.AGR.TOTL.ZS>

BIEGLER, L.T; GROSSMANN, I. E; WESTERBERG, A. W. Systematic methods of chemical process design. Prentice Hall. 1997. 808 p.

BIOTERRA. Sulfato de amonio [Consultado el 13 de febrero del 2016] disponible en <http://www.bioterra.mx/productos/ns.html>

BUITRAGO MELÉNDEZ, Claudia Irina; CABRERA CASTILLO, Cristina María. Producción de fertilizantes CMP. Trabajo de grado Ingeniería Química. Bogotá D.C. Fundación Universidad de América. 1996.

CHAMBA HERRERA, Leonardo. Glosario de términos útiles en nutrición y fertilización. [consultado 04 de febrero de 2016]. Disponible en Internet: http://servicios.educarm.es/templates/portal/ficheros/websDinamicas/20/glosario_fertilizantes.pdf

CHECALC: Universidad de California, 2015 aplicación libre para cálculos [en línea]. [Consultado 02 de febrero de 2016]. Disponible en Internet: <http://checalc.com/agitation.html>

CHEREMISINOFF, Nicholas. Handbook of chemical processing equipment. Boston. Butterworth Heinemann. 2000. 558 p.

COUPER, J.R; PENNEY, W.R; FAIR, J.R. Chemical process equipment: selection and design. 3a edición. Ámsterdam. Butterworth-Heinemann. 2012. 864 p.

DE LEÓN VAZQUEZ, Emperatriz; MENDOZA DE LA FUENTE, Daniela Alejandra. La producción de fertilizante a partir de gas natural. Trabajo de grado Ingeniería Química e Industrial. México D.F.: Instituto Politécnico Nacional. 2009.

Department of Health hojas informativas sobre sustancias peligrosas. Estados Unidos: New [Consultado el 13 de febrero del 2016]. Disponible en <http://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/0103sp.pdf>

Departamento Nacional de Estadística DANE Importancia de los fertilizantes nitrogenados. Boletín mensual Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria.. Septiembre, 2012, Número 3. [Consultado 04 de marzo de 2015]. Disponible en Internet: http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos_factores_de_produccion_septiembre_2012.pdf

GRUPO FOSFATOS AGROMINERALES Fertilizantes en el mundo [en línea].Argentina:, 2016, [Consultado 02 de febrero de 2016]. Disponible en Internet: <http://fosfatos.gi.fcen.uba.ar/index.php/fertilizantes/consumo-y-reservas/>

QUIMINET. El funcionamiento del filtro de prensa. ¿Qué son los filtros de prensa? En: Quiminet.com, información y negocios segundo a segundo. [En línea]. (30, enero, 2008). Disponible en: <http://www.quiminet.com/articulos/el-funcionamiento-del-filtro-prensa-23843.htm>

FOGLER, H Scott..Elements of chemical reaction engineering.4a edición.México. Pearson Education. 2008. 1112 p.

GOOGLE MAPS [en línea]. Estados Unidos. [Consultado el 14 de febrero de 2016]. Disponible en Internet: <https://www.google.it/maps/@7.0749487,-73.8323721,19z>

HELMBOLDT, Otto. Aluminium compounds inorganic.Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry.Séptima edición. Volume 1. Wiley-VCH. 2011.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA – IDEAM. Guía 4 Ácido Sulfúrico: Colombia: [consultado el 13 de febrero del 2016]. Disponible en <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018903/Links/Guia4.pdf>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. ICONTEC. NTC 1486. Documentación, presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Bogotá, Colombia. 2008.

_____ NTC 5613. Referencias bibliográficas, contenido, forma y estructura. Bogotá, Colombia. 2008. 2008.

_____ NTC 4490. Referencias bibliográficas, contenido, forma y estructura. Bogotá, Colombia. 2008. 2008.

_____ NTC 211 Abonos o Fertilizantes. Método cuantitativo para determinación de nitrógeno amoniacal por destilación. Bogotá D.C. 1997.

_____ NTC 35. Abonos o Fertilizantes. Determinación de la humedad, del agua libre y total. Bogotá D.C. 1998.

_____ NTC 39. Abonos o Fertilizantes. Determinación de la acidez libre. Bogotá D.C. 1974.

_____ NTC 4150. Abonos o Fertilizantes. Método cuantitativo para la determinación del nitrógeno amoniacal por titulación previo tratamiento con formaldehído. Bogotá D.C. 1997.

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO ICA. Fertilizantes y bioinsumos agrícolas [en línea]. Colombia. [Consultado 02 de febrero de 2016]. Disponible en Internet: <http://www.ica.gov.co/getdoc/a5c149c5-8ec8-4fed-9c22-62f31a68ae49/Fertilizantes-y-Bio-insumos-Agricolas.aspx>

MANFLEX. Tabla de resistencia química para las mangueras Trellebog. Estados Unidos. [Consultado el 14 de febrero de 2016]. Disponible en: <http://www.manflex.es/sites/manflex.es/files/Tabla%20Resist%C3%A9ncia%20Qu%C3%ADmica%20MANFLEX.pdf>

MCCABE, W; SMITH, J; HARRIOT, P. Unit operations of chemical engineering. Séptima edición. Mcgraw-Hill. 2004.

MINAYO ALDAZ, Diana Belén. Diseño del proceso de obtención de sulfato de amonio (fertilizante) a partir de hidróxido de amonio y ácido sulfúrico existentes en las bodegas del Consejo Nacional de Control de Sustancias Estupefacientes y Psicotrópicas (CONSEP). Trabajo de grado Ingeniera Química y Agroindustrial. Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2014. 217 p.

PERRY, R. Perry's chemical engineers handbook. Octava edición. Mcgraw-Hill Professional. 2007.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA. Ficha de datos de seguridad: sulfato de amonio. Bogotá. [Consultado en febrero 13 del 2016]. Disponible en Internet: [http://portales.puj.edu.co/doc-quimica/fds-labqca-dianahermith/\(NH4\)2SO4.pdf](http://portales.puj.edu.co/doc-quimica/fds-labqca-dianahermith/(NH4)2SO4.pdf)

RAMÍREZ TRIANA, Luz Aida. Producción de sulfato de amonio. Trabajo de grado Ingeniería Química. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América, Facultad de Ingeniería Química, 1996. 229 p.

SAUCHELLI, Vincent. Chemistry and technology of fertilizers. Primera edición. Londres. Reinhold. 1960.

WALAS, Stanley M. Chemical process equipment: selection and design. Boston. Butterworths. 1988. 774 p.

ANEXOS

ANEXO A.
CARACTERIZACIÓN DEL SULFATO DE AMONIO

	FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD	Página 1 de 6
SULFATO DE AMONIO (NH₄)₂SO₄		

1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O PREPARADO Y DE LA EMPRESA

Nombre Comercial	: Sulfato de Amonio
Sinónimos	: Sulfato de amonio (2:1) , sulfato diamónico , sal diamónico
Formula Química	: (NH ₄) ₂ SO ₄
Peso Molecular	: 132,14 g/mol
Uso	: Fertilizante
Identificación de la Empresa	: Pontificia Universidad Javeriana www.javerianacali.edu.co
Número Telefónico	: PBX. (572) 321 8200 – 711: Emergencias Médicas 555: Servicios Generales

2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

Identificación de Riesgos	SOLUCIÓN INCOLORA DE SULFATO DE AMONIO EN AGUA. Cuando se disuelve en el agua, genera una reacción ácida y es fuertemente corrosivo. Reacciona con bases fuertes con emisión de vapores de amoníaco. Ataca muchos metales. La sustancia ingresa al organismo por la vía inhalatoria e ingestiva. La sustancia irrita la piel y el tracto respiratorio
Síntomas relacionados con la exposición	
- Inhalación	: Ardor de garganta, tos, deficiencia respiratoria. Causa irritación en las vías respiratorias
- Contacto con los ojos	: Causa Inflamación, irritación, enrojecimiento y dolor.
- Contacto con la piel	: Causa Irritación, Inflamación, picazón, enrojecimiento y dolor.
- Ingestión	: Ardor de garganta, dolor estomacal nausea. Causa irritación en las vías gastrointestinales, Causa vómito y diarrea.

3. COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

Nombre del Componente	Porcentaje p/p	C.A.S
Sulfato de Amonio	99% mín.	7783-20-2

ANEXO A (CONTINUACIÓN).
CARACTERIZACIÓN DEL SULFATO DE AMONIO

	FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD	Página 2 de 6
SULFATO DE AMONIO (NH₄)₂SO₄		

4. PRIMEROS AUXILIOS

Primeros Auxilios	
- Inhalación	: Remover al aire fresco. Si no respira dar respiración artificial. Si respirar se le dificulta, dar oxígeno. Conseguir atención médica inmediatamente.
- Contacto con los ojos	: Inmediatamente lavar ojos con abundante agua por lo menos 15 minutos. Abrir y cerrar los párpados ocasionalmente. Conseguir atención médica inmediatamente..
- Contacto con la piel	: Lavar piel con abundante agua y jabón mientras se remueve la ropa contaminada. Conseguir atención médica. Lavar ropa antes de volver a usar. Lavar zapatos antes de volver a usar.
- Ingestión	: Inducir al vómito inmediatamente dirigido por personal médico. No dar cosas en la boca a una persona inconsciente. Conseguir atención médica.

5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

Tipo de inflamabilidad	: No inflamable
Productos peligrosos de la combustión	:
Prevención	: Puede explotar si se mezclan con oxidantes, como el nitrato potásico, nitrito de potasio y clorato de potasio.
Medios de extinción de incendios	: Use cualquier medio apropiado para extinguir el fuego. Rocíar agua para mantener fríos los contenedores expuestos al fuego.
Protección en caso de incendio	: Protección de la piel observando una distancia de seguridad
Riesgos específicos	: No Combustible

6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

Precauciones generales y Limpieza	: Ventilar el área de la fuga o derrame. Mantenga a las personas innecesarias y sin protección fuera de la zona del derrame. Use el equipo apropiado de protección personal. Recoger y organizar el material derramado para reclamación o disposición.
Precauciones para el medio ambiente	

ANEXO A (CONTINUACIÓN).
CARACTERIZACIÓN DEL SULFATO DE AMONIO

	FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD	Página 3 de 6
	SULFATO DE AMONIO (NH₄)₂SO₄	

7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

General	
Medidas de protección técnicas	
Almacenamiento	: Mantener en contenedores altamente sellados. Almacenar en un área fresca, seca y ventilada. Proteger contra daño físico. Despejar de sustancias incompatibles. Contenedores vacíos de este material puede ser peligroso, puesto que retienen residuos de productos (polvos, sólidos); observar toda precaución y advertencia listada para este producto.
Manipulación	: No coma, no beba, no fume mientras manipule este producto.

8. CONTROLES DE LA EXPOSICIÓN / PROTECCIÓN PERSONAL

Protección personal	
- Protección de las vías respiratorias	: Ventilación y/o protección respiratoria.
- Protección de las manos y cuerpo	: Guantes de látex desechables, bata de laboratorio
- Protección para la piel	: Utilizar ropa de trabajo adecuada que evite el contacto del producto
- Protección para los ojos	: Gafas químicas o gafas de seguridad. Mantener una ducha de emergencia visible y de fácil acceso al área de trabajo.
- Ingestión	: No comer, no beber y no fumar durante el trabajo.
- Medidas de higiene particulares	: sustituir la ropa contaminada y sumergir en agua. Lavar las manos al término del trabajo
- Control de exposición	:
- Parámetros de Exposición	
- TLV-TWA (ppm) (mgr/m ³):	: N.D
- TLV-STEL (ppm) (mgr/m ³):	: N.D.
- TLV-C (ppm):	: N.D.

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Estado físico a 20°C	: Sólido
Color	: Gránulos finos, blancos o cristales.
Olor	: Ligero olor a amoníaco.
Punto de fusión [°C]	: 235-280 ° C

ANEXO A (CONTINUACIÓN).
CARACTERIZACIÓN DEL SULFATO DE AMONIO

	FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD	Página 4 de 6
SULFATO DE AMONIO (NH₄)₂SO₄		

Punto de ebullición [°C]	: N.A.
pH	: 5,5 (0,1 M de solución acuosa)
Densidad	: 1,769 g / cm ³ (20 °C)
Solubilidad en agua	: 70,6 g/100 mL (0 °C) 70,6 g/100 ml (0 °C) 74,4 g/100 mL (20 °C) 74,4 g/100 ml (20 °C) 103,8 g/100 mL (100 °C) ^[1] 103,8 g/100 ml (100 °C)
Limites de explosión - Inferior [%]	: N.A.
Limites de explosión - Superior [%]	: N.A.
Peso Molecular	: 132,14 g/mol

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad y reactividad	: Estable e condiciones normales de manipulación y almacenamiento. Mantener a temperaturas inferiores a 513°C.
Productos de descomposición	: Puede emitir amoníaco, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y óxidos de carbono.
Incompatibilidades :	: Hipoclorito de sodio, potasio + nitrato de amonio, clorato de potasio, polvo de sodio-potasio + nitrato de amonio y otros oxidantes fuertes.
Condiciones a evitar	: El Calor y el contacto con materiales incompatibles.

11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Toxicidad	Oral LD50 rata: 2840 mg / kg El producto en sí mismo y sus productos de degradación no son tóxicos bajo condiciones normales de uso. Liberará iones de amonio. El amoníaco es un riesgo tóxico para los peces. Puede ser dañino para el ganado y la fauna si es ingerido. Limpiar todo el material derramado, especialmente donde se produce la carga de fertilizantes
Sensibilidad al producto	

12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Información sobre efectos ecológicos	Toxicidad Ambiental No persistente. No acumulativo cuando se utilizan prácticas normales de agricultura para su aplicación. El producto por sí mismo y los productos de su descomposición no son perjudiciales bajo condiciones normales de cuidado y uso responsable.
---	--

ANEXO A (CONTINUACIÓN).
CARACTERIZACIÓN DEL SULFATO DE AMONIO

	FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD	Página 5 de 6
SULFATO DE AMONIO (NH₄)₂SO₄		

	<p>Toxicidad acuática/marina: Se dispersará con la corriente. La descarga hacia cursos de agua pueden ocasionar efectos aguas abajo del punto de descarga. Se liberarán iones de amonio. El amoníaco representa un riesgo tóxico para los peces. Evitar derrames o descargas hacia cursos de agua. Este material no está listado como un contaminante marino.</p>
--	---

13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN

<p>General</p>	<p>No puede ser almacenado para recuperarlo o reciclarlo, debe ser manejado en un sitio apropiado y aprobado por las autoridades ambientales. Procesamiento, uso o contaminación de este producto puede cambiar las opciones de manejo de desperdicio. Disponer de contenedores y contenidos no usados de acuerdo con los requerimientos locales.</p>
-----------------------	---

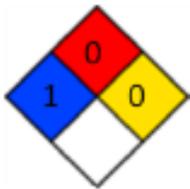
14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

<p>Transporte terrestre (ADR/TPC - RID/TPF)</p>	<p>No está clasificado como mercancía peligrosa</p>
- Denominación para el transporte	SULFATO DE AMONIO
- N° ONU	
- N° Riesgo	
- ADR - Clase	
- Etiquetado según ADR	
- ADR - División	
- ADR - Grupo	
- Cantidad limitada ADR	
Transporte marítimo (IMDG)	
- Denominación para el transporte	
- N° ONU	
- IMO-IMDG - Clase	
- IMO-IMDG - Etiqueta	
- IMO-IMDG - Grupo	
- EmS N°	

**ANEXO A (CONTINUACIÓN).
CARACTERIZACIÓN DEL SULFATO DE AMONIO**

	FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD	Página 6 de 6
SULFATO DE AMONIO (NH₄)₂SO₄		

15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

-Símbolos -Clasificación según la norma NFPA 704	 CORROSIVO	
---	---	---

16. OTRA INFORMACIÓN

Información adicional	: Ninguno/a.
------------------------------	--------------

Fin del Documento

ANEXO B. CARACTERIZACIÓN DEL HIDRÓXIDO DE AMONIO



Derecho a Saber

Hoja Informativa sobre Sustancias Peligrosas

Nombre común: **HIDRÓXIDO DE AMONIO**

(AMMONIUM HYDROXIDE)

Sinónimos: Agua amoniacal; aqua amoniacal

Número CAS: 1336-21-6

Nombre químico: Hidróxido de amonio

Número Derecho a Saber: 0103

Fecha: julio de 2011 Traducción: marzo de 2012

Número DOT: UN 2672

Descripción y uso

El hidróxido de amonio es una solución incolora de amoniaco en agua con un olor acre. Por lo general se encuentra en concentraciones hasta el 30% y se utiliza en productos de limpieza doméstica, fotografía, fertilizantes, textiles, caucho y farmacos. También se utiliza como refrigerante.

- ▶ **UMBRAL DE OLOR = 50 ppm**
- ▶ El valor del umbral de olor puede variar mucho. No depende en el olor solamente para determinar una exposición potencialmente peligrosa.

Fuentes que lo citan

- ▶ El hidróxido de amonio figura en la *Right to Know Hazardous Substance List (Lista de sustancias peligrosas del Derecho a Saber)* ya que ha sido citado por los siguientes organismos: DOT y EPA.
- ▶ Esta sustancia química figura en la *Special Health Hazard Substance List (Lista de sustancias extremadamente peligrosas para la salud)*.

VER EL GLOSARIO EN PÁGINA 4.

PRIMEROS AUXILIOS

- Contacto con los ojos**
- ▶ Enjuague los ojos inmediatamente con abundante agua por al menos 30 minutos, levantando los párpados superiores e inferiores. Retire las lentes de contacto al enjuagar, si las usa. Busque atención médica.
- Contacto con la piel**
- ▶ Quite rápidamente la ropa contaminada. Lave inmediatamente la piel contaminada con abundante agua y jabón. Busque atención médica.
- Inhalación**
- ▶ Retire a la víctima del lugar de exposición.
 - ▶ Inicie la respiración de rescate (utilizando precauciones universales) si se ha detenido la respiración e inicie la reanimación cardiopulmonar si se ha detenido la acción cardíaca.
 - ▶ Traslade sin demora a la víctima a un centro de atención médica.
 - ▶ Debido al riesgo de edema pulmonar tardío, se recomienda observación médica por 24 a 48 horas después de la exposición excesiva.

TELÉFONOS DE EMERGENCIAS

Control de Intoxicaciones: 1-800-222-1222
 CHEMTREC: 1-800-424-9300
 Línea directa del NJ DEP: 1-877-927-6337
 Centro Nacional de Respuestas: 1-800-424-8802

PERSONAL DE EMERGENCIAS >>>> VER PÁGINA 6

Resumen de riesgos

Evaluación	Departamento	NFPA
SALUD	3	-
INFLAMABILIDAD	0	-
REACTIVIDAD	0	-
CORROSIVO AL INCENDIARSE, SE PRODUCEN GASES TÓXICOS		

Claves para la evaluación de riesgos: 0=mínimo; 1=poco; 2=moderado; 3=grave; 4=extremo

- ▶ El hidróxido de amonio puede afectar por inhalación.
- ▶ El hidróxido de amonio es una SUSTANCIA QUÍMICA CORROSIVA que al contacto puede producir graves irritaciones y quemaduras en la piel y los ojos, que llevan a daño ocular.
- ▶ La exposición puede irritar los ojos, la nariz y la garganta.
- ▶ La inhalación de hidróxido de amonio puede irritar el pulmón. La exposición mas alta podría causar una emergencia médica caracterizada por la acumulación de líquido en el pulmón (edema pulmonar).
- ▶ El contacto repetido con la piel puede causar sequedad, picazón y enrojecimiento (dermatitis).
- ▶ El hidróxido de amonio no es combustible. Sin embargo, durante un incendio se forman vapores de amoniaco que pueden encenderse y causar una explosión.

Límites de exposición laboral

Los siguientes son los límites de exposición al amoniaco:

- OSHA: El PEL es de **50 ppm** como promedio durante un turno laboral de 8 horas.
- NIOSH: El REL es de **25 ppm** como promedio durante un turno laboral de 10 horas y de **35 ppm**, que nunca debe excederse durante ningún periodo laboral de 15 minutos.
- ACGIH: El TLV es de **25 ppm** como promedio durante un turno laboral de 8 horas y de **35 ppm** como STEL.

ANEXO B (CONTINUACIÓN). CARACTERIZACIÓN DEL HIDRÓXIDO DE AMONIO

HIDRÓXIDO DE AMONIO

página 2 de 6

Determinar su exposición

- ▶ Lea la etiqueta del producto químico así como la Hoja de Datos de Seguridad del Material publicada por el fabricante del producto para aprender cuáles son los componentes de la mezcla y para adquirir información importante acerca de la seguridad y la salud.
- ▶ Lea sobre cada sustancia única en la Hoja Informativa sobre Sustancias Peligrosas del New Jersey Department of Health (Departamento de Salud de Nueva Jersey, en adelante, el Departamento) en el sitio web www.nj.gov/health/eoh/rtkweb o en el lugar de trabajo, en un archivo central que corresponda a la ley del Derecho a Saber o a la norma de comunicación de riesgos.
- ▶ Usted tiene el derecho a tener esta información según las siguientes leyes (ver el glosario): WCRTK, PEOSHA (si trabaja en el sector público en Nueva Jersey) y OSHA (si trabaja en el sector privado).
- ▶ Según la ley estatal WCRTK, la mayoría de los empleadores deben rotular los recipientes de las sustancias químicas en el lugar de trabajo, y los empleadores públicos deben proporcionar a los empleados información acerca de los peligros de las sustancias químicas y las medidas de control. Las normas de comunicación de riesgos de la OSHA (29 CFR sección 1910 norma 1200) y del PEOSH (NJAC título 12 capítulo 100 subcapítulo 7) exigen a los empleadores que proporcionen a los empleados capacitación e información similares.

La presente Hoja Informativa es un resumen de la información disponible sobre los riesgos para la salud que puedan resultar de la exposición. La duración de la exposición, concentración de sustancia y otros factores pueden afectar su sensibilidad a los posibles efectos descritos a continuación.

Riesgos para la salud

Efectos agudos sobre la salud

Los siguientes efectos agudos (a corto plazo) sobre la salud pueden ocurrir inmediatamente o poco después de la exposición al hidróxido de amonio:

- ▶ El contacto puede producir graves irritaciones y quemaduras en la piel y los ojos, que llevan a daño ocular.
- ▶ La exposición puede irritar los ojos, la nariz y la garganta.
- ▶ La inhalación de hidróxido de amonio puede irritar el pulmón, causando tos o falta de aire. La exposición más alta podría causar una emergencia médica caracterizada por la acumulación de líquido en el pulmón e intensa falta de aire (edema pulmonar).

Efectos crónicos sobre la salud

Los siguientes efectos crónicos (a largo plazo) sobre la salud pueden ocurrir algún tiempo después de la exposición al hidróxido de amonio y pueden perdurar durante meses o años:

Riesgo de cáncer

- ▶ Según la información actualmente disponible al Departamento, faltan estudios para determinar la capacidad carcinogénica del hidróxido de amonio en animales.

Riesgos para la salud reproductiva

- ▶ Según la información actualmente disponible al Departamento, faltan estudios para determinar la capacidad del hidróxido de amonio para afectar a la reproducción.

Otros efectos

- ▶ El hidróxido de amonio puede irritar el pulmón. La exposición repetida podría causar bronquitis con tos, fiebre o falta de aire.
- ▶ El contacto repetido con la piel puede causar sequedad, picazón y enrojecimiento (dermatitis).

Recomendaciones médicas

Exámenes médicos

En caso de síntomas o posible exposición excesiva, se recomienda lo siguiente:

- ▶ Pruebas de función pulmonar

En caso de síntomas o posible exposición excesiva, se recomienda lo siguiente:

- ▶ Considere tomar una radiografía de tórax después de la exposición aguda y excesiva

Todas las evaluaciones deben incluir una historia detallada de los síntomas anteriores y actuales, así como un reconocimiento médico. Los exámenes médicos que buscan daños ya causados no sirven como sustituto del control de la exposición.

Usted debe pedir fotocopias de los exámenes médicos. Según la norma de la OSHA de acceso a los registros de exposición y al expediente médico del empleado (29 CFR sección 1910 norma 1020), usted tiene el derecho a tener esta información.

Fuentes de exposición múltiple

- ▶ El fumar puede causar enfermedades cardíacas, cáncer de pulmón, enfisema y otros problemas respiratorios al igual que agravar las afecciones respiratorias causadas por la exposición química. Aun si usted lleva mucho tiempo fumando, si deja de fumar hoy mismo, se reducirá el riesgo de problemas de salud.

Controles y prácticas laborales

Las sustancias muy tóxicas, perjudiciales para la salud reproductiva o sensibilizantes deben sustituirse por sustancias menos tóxicas. Si no pueden sustituirse, es necesario obtener la evaluación de expertos en materia de medidas de control. Las medidas de control incluyen: (1) aislamiento de sustancias extremadamente irritantes o corrosivas en los procesos químicos, (2) ventilación localizada si una sola exposición puede ser perjudicial y (3) ventilación general para controlar la exposición a sustancias irritantes para la piel y los ojos. Para obtener más información sobre controles laborales, consulte el documento del NIOSH sobre las bandas de control en www.cdc.gov/niosh/topics/ctribanding/.

ANEXO B (CONTINUACIÓN). CARACTERIZACIÓN DEL HIDRÓXIDO DE AMONIO

HIDRÓXIDO DE AMONIO

página 3 de 6

Además, se recomiendan las siguientes prácticas laborales:

- ▶ Rotule los recipientes de proceso.
- ▶ Proporcione a los empleados información y capacitación sobre los riesgos.
- ▶ Controle las concentraciones en el aire de las sustancias químicas.
- ▶ Utilice controles de Ingeniería si las concentraciones exceden los niveles de exposición recomendados.
- ▶ Proporcione lavabos y duchas de emergencia.
- ▶ Lávese o dúchese si la piel entra en contacto con un material peligroso.
- ▶ Siempre lávese al final del turno laboral.
- ▶ Si se contamina la ropa, quítela y lávese o pongase ropa limpia.
- ▶ No lleve a casa la ropa contaminada.
- ▶ Reciba capacitación especial para lavar la ropa contaminada.
- ▶ No coma, fume ni beba en lugares donde se manipulen, procesen o almacenen las sustancias químicas.
- ▶ Lávese las manos con cuidado antes de comer, fumar, beber, maquillarse o usar el baño.

Además, lo siguiente puede ser útil o necesario:

- ▶ Siempre que sea posible, transfiera el **hidróxido de amonio** desde los tambores u otros recipientes a recipientes de proceso en un sistema cerrado.

Equipo de protección individual

La norma de la OSHA de equipo de protección individual (29 CFR sección 1910 norma 132) exige a los empleadores que determinen el equipo de protección individual adecuado para cada situación riesgosa y que capaciten a los empleados sobre cómo y cuándo utilizarlo.

Las siguientes recomendaciones sirven solo de guía y quizás no se apliquen a todas las situaciones.

Guantes y ropa

- ▶ Evite el contacto de la piel con **hidróxido de amonio**. Utilice equipos de protección individual de materiales que no puedan ser permeados ni degradados por esta sustancia. Los proveedores o fabricantes de equipos de seguridad pueden ofrecer recomendaciones acerca del material para guantes o ropa que provea la mayor protección para su función laboral.
- ▶ Los fabricantes de equipos de seguridad recomiendan guantes de butilo, nitrilo, neopreno y Viton, y ropa de protección de Tychem® SL, F, Responder® y TK o de un material equivalente. Todas las recomendaciones anteriores son para soluciones de menos del 30% de **hidróxido de amonio**.
- ▶ Toda la ropa de protección (trajes, guantes, calzado, protección para la cabeza) debe estar limpia, disponible todos los días y debe ponerse antes de trabajar.

Protección ocular

- ▶ Al trabajar con líquidos, use gafas de protección antimpacto y antisalpicadura con ventilación indirecta.

- ▶ Al trabajar con sustancias corrosivas, extremadamente irritantes o tóxicas, use una pantalla facial junto con gafas de protección.

Protección respiratoria

El uso incorrecto de los equipos de respiración es peligroso. Los equipos de respiración solo deben utilizarse si el empleador ha implementado un programa por escrito que tome en cuenta las condiciones laborales, los requisitos de capacitación de los trabajadores, las pruebas de ajuste de los equipos de respiración, y los exámenes médicos, según se describen en la norma de la OSHA de protección respiratoria (29 CFR sección 1910 norma 134).

- ▶ Si existe la posibilidad de exposición superior a **25 ppm** (como **amoníaco**) utilice un equipo de respiración de máscara completa, aprobado por el NIOSH, con un cartucho para gases ácidos aprobado específicamente para uso con **hidróxido de amonio**. Un equipo de respiración purificador de aire forzado con máscara completa ofrece mayor protección.
- ▶ Abandone el área de inmediato si usted (1) puede oler el **hidróxido de amonio**, percibir el sabor o detectarlo de otra manera al utilizar un equipo de respiración de filtro o cartucho, (2) siente una resistencia respiratoria anormal al utilizar filtros de partículas o (3) siente irritación ocular al utilizar un equipo de respiración de máscara completa. Compruebe la hermeticidad del sellado de la máscara a la cara. Si se conserva intacta, cambie el filtro o cartucho. En caso de falta de hermeticidad, puede que usted necesite otro equipo de respiración.
- ▶ Tenga en cuenta todas las posibles fuentes de exposición en el lugar de trabajo. Puede ser necesario utilizar una combinación de filtros, prefiltros o cartuchos para protegerse de las sustancias químicas en diversas formas (tales como vapores o neblinas) o contra una mezcla de sustancias químicas.
- ▶ Si existe la posibilidad de alta exposición, utilice un equipo de respiración con suministro de aire y máscara completa, aprobado por el NIOSH, en modo de presión a demanda u otro modo de presión positiva. Para aumentar la protección, utilícelo en combinación con un equipo de respiración autónomo o cilindro de aire para escape de emergencia.

Riesgo de incendio

Si los empleados tienen la responsabilidad de extinguir los incendios, deben estar capacitados y equipados según establece la norma de la OSHA de cuerpos de bomberos (29 CFR sección 1910 norma 156).

- ▶ El **hidróxido de amonio** no es combustible. Sin embargo, durante un incendio se forman vapores de **amoníaco** que pueden encenderse y causar una explosión.
- ▶ Utilice polvo químico seco, dióxido de carbono, agua rociada o espuma como agente extintor.
- ▶ **AL INCENDIARSE, SE PRODUCEN GASES TÓXICOS**, entre otros **amoníaco** y **díóxido de nitrógeno**.
- ▶ Utilice agua rociada para mantener fríos los recipientes expuestos al incendio. NO permita que el agua entre en los recipientes.

ANEXO B (CONTINUACIÓN). CARACTERIZACIÓN DEL HIDRÓXIDO DE AMONIO

HIDROXIDO DE AMONIO

página 4 de 6

Derrames y emergencias

Si los empleados tienen la responsabilidad de limpiar los derrames, deben estar debidamente capacitados y equipados. Puede aplicarse la norma de la OSHA de manejo de desechos peligrosos y respuestas de emergencias (29 CFR sección 1910 norma 120).

En caso de fuga o derrame de **hidróxido de amonio**, tome las siguientes medidas:

- ▶ Evacue al personal. Controle e impida el acceso a la zona.
- ▶ Elimine todas las fuentes de ignición.
- ▶ Absorba los líquidos en arena seca, tierra o material similar y deposítelos en recipientes herméticos para su eliminación.
- ▶ Ventile la zona de derrame o fuga.
- ▶ Neutralice con un ácido débil tal como el vinagre (ácido acético).
- ▶ NO elimine al alcantarillado los derrames por lavado.
- ▶ Puede ser necesario contener y eliminar el **hidróxido de amonio** como DESECHO PELIGROSO. Para obtener recomendaciones específicas, comuníquese con el DEP del estado o la oficina regional de la EPA de los Estados Unidos.

Manipulación y almacenamiento

Antes de trabajar con el **hidróxido de amonio** usted debe estar capacitado en las técnicas apropiadas de manipulación y almacenamiento.

- ▶ El **hidróxido de amonio** reacciona con muchos METALES PESADOS (tales como PLATA, COBRE, PLOMO y CIÑO) y sus SALES para formar compuestos explosivos e hidrógeno gaseoso inflamable y explosivo.
- ▶ El **hidróxido de amonio** puede reaccionar de forma violenta con ÁCIDOS FUERTES (tales como el CLORHÍDRICO, SULFÚRICO y NÍTRICO); SULFATO DE DIMETILO; y HALÓGENOS.
- ▶ El **hidróxido de amonio** reacciona con BASES FUERTES (tales como HIDRÓXIDO DE SODIO e HIDRÓXIDO DE POTASIO) para producir *amoníaco* gaseoso.
- ▶ Almacene en un área fresca y bien ventilada en recipientes bien cerrados y alejados de la LUZ SOLAR.
- ▶ NO utilice COBRE, ALUMINIO ni METALES GALVANIZADOS cuando se manipule el **hidróxido de amonio**.

Recursos de salud laboral

El Departamento ofrece múltiples servicios que incluyen recursos de información, materiales educativos, presentaciones públicas, e investigaciones y evaluaciones de salud e higiene industrial.

Para más información, comuníquese con:

New Jersey Department of Health
Right to Know
PO Box 368
Trenton, NJ 08625-0368
Teléfono: 609-984-2202
Fax: 609-984-7407
Correo electrónico: rtk@doh.state.nj.us
Dirección web: <http://www.nj.gov/health/eoh/rtkweb>

Las Hojas Informativas sobre Sustancias Peligrosas no deben ser reproducidas ni vendidas con propósitos comerciales.

GLOSARIO

La ACGIH, American Conference of Governmental Industrial Hygienists (Conferencia Estadounidense de Higienistas Industriales Gubernamentales), publica recomendaciones sobre los límites de exposición laboral a las sustancias químicas (valores límites umbral; ver TLV).

Los AEGH, acute exposure guideline levels (niveles de referencia en caso de exposición aguda), que son establecidos por la EPA, describen los efectos sobre la salud de los humanos de la exposición poca frecuente a sustancias químicas en el aire.

La AIHA es la American Industrial Hygiene Association (Asociación Estadounidense de Higiene Industrial).

Un **carcinógeno** es una sustancia que causa cáncer.

El CAS es el Chemical Abstracts Service (Servicio de Resúmenes Químicos).

El CFR es el Code of Federal Regulations (Código de Regulaciones Federales).

El CHEMTREC es el Chemical Transportation Emergency Center (Centro para Emergencias en el Transporte de Sustancias Químicas).

Una sustancia **combustible** es un sólido, líquido o gas que puede arder.

Una sustancia **corrosiva** es un sólido, líquido o gas que puede destruir la piel humana o causar una corrosión importante en los recipientes.

La **densidad de vapor** es la relación entre el peso del volumen de dos gases (normalmente uno de ellos es el aire), en las mismas condiciones de temperatura y presión.

El **Departamento** es el New Jersey Department of Health (Departamento de Salud de Nueva Jersey).

El DEP es el Department of Environmental Protection (Departamento de Protección del Medio Ambiente).

El DOT, Department of Transportation (Departamento de Transporte), es la agencia federal que regula el transporte de sustancias químicas.

La EPA, Environmental Protection Agency (Agencia de Protección del Medio Ambiente), es la agencia federal responsable de regular los riesgos medioambientales.

Los ERPG, emergency response planning guidelines (guías para la preparación de respuestas a emergencias), son estimaciones de rangos de concentraciones entre los cuales uno puede anticipar razonablemente la observación de efectos adversos sobre la salud.

ANEXO B (CONTINUACIÓN). CARACTERIZACIÓN DEL HIDRÓXIDO DE AMONIO

HIDRÓXIDO DE AMONIO

página 5 de 6

Un **feto** es un ser humano o animal no nacido.

La **Gula**, *Emergency Response Guidebook* (Guía de respuesta en caso de emergencia), que se dirige al personal de emergencias, es para uso en accidentes de transporte de sustancias peligrosas.

La **IARC** es el *International Agency for Research on Cancer* (Agencia Internacional para Investigaciones sobre el Cáncer).

La concentración **IDLH**, *Immediately dangerous to life or health*, constituye un peligro inmediato para la vida o la salud.

Una sustancia **Inflamable** es un sólido, líquido, vapor o gas que se enciende con facilidad y se quema con rapidez.

El **IRIS**, *Integrated Risk Information System* (Sistema Integrado de Información sobre Riesgos), es una base de datos de la EPA con información sobre los posibles efectos sobre la salud humana de la exposición ambiental a las sustancias químicas.

El **LIE**, límite inferior de explosividad, es la mínima concentración de sustancia combustible (gases o vapores) en el aire capaz de continuar una explosión.

El **LSE**, límite superior de explosividad, es la máxima concentración de sustancia combustible (gases o vapores) en el aire capaz de iniciar una reacción o explosión.

mg/m³ significa miligramos de sustancia química por metro cúbico de aire. Es una medida de concentración (peso/volumen).

Un **mutágeno** es una sustancia que causa mutaciones. Una **mutación** es un cambio en el material genético de la célula del organismo. Las mutaciones pueden llevar a malformaciones en recién nacidos, abortos espontáneos o cánceres.

La **NFPA**, *National Fire Protection Association* (Asociación Nacional para la Protección contra Incendios), clasifica las sustancias según el riesgo de incendio y explosión.

El **NIOSH**, *National Institute for Occupational Safety and Health* (Instituto Nacional para la Salud y Seguridad en el Trabajo), es un organismo que realiza evaluaciones de equipos de respiración y la certificación de los mismos, estudios de peligros laborales, ensayos de equipos laborales y también propone normas a la OSHA.

El **N.J.A.C.** es el *New Jersey Administrative Code* (Código Administrativo de Nueva Jersey).

El **NJ DEP** es el *New Jersey Department of Environmental Protection* (Departamento de Protección del Medio Ambiente de Nueva Jersey).

La **NRC** es la *Nuclear Regulatory Commission* (Comisión de Regulación Nuclear).

El **NTP**, *National Toxicology Program* (Programa Nacional de Toxicología), estudia las sustancias químicas para determinar el potencial carcinogénico.

La **OSHA**, *Occupational Safety and Health Administration* (Administración de Salud y Seguridad en el Trabajo), es la agencia federal responsable de la adopción de normas de salud y seguridad y el cumplimiento de las mismas. Las siglas también se refieren a la *Occupational Safety and Health Act* (Ley de Salud y Seguridad en el Trabajo).

Los **PAC**, *protective action criteria* (criterios de acciones protectoras), son valores establecidos por el Department of Energy (Departamento de Energía) que se basan en los AEGL y los ERPG. Se utilizan en caso de accidentes con emisión de sustancias químicas.

El **PEL**, *permissible exposure limit* (límite de exposición permisible), es un límite en el aire que está determinado por la OSHA y es legalmente exigible.

El **PEOSH** es el *Public Employees Occupational Safety and Health Program* (Programa de Salud y Seguridad en los Trabajos del Sector Público).

La **PEOSHA** es la *New Jersey Public Employees' Occupational Safety and Health Act* (Ley de Salud y Vigilancia en los Trabajos del Sector Público de Nueva Jersey).

Pernado(a) se refiere al movimiento de sustancias químicas a través de los materiales de protección.

El **potencial de ionización** es la cantidad de energía necesaria para extraer un electrón de un átomo o una molécula. Se mide en electron-voltios.

ppm significa partes de sustancia por millón de partes de aire. Es una medida de concentración por volumen en el aire.

La **presión de vapor** es una fuerza ejercida por el vapor en equilibrio con la fase sólida o líquida de la misma sustancia. La presión de vapor aumenta a medida que aumenta la concentración de sustancia en el aire.

El **punto de ebullición** es la temperatura a la cual una sustancia puede cambiar de estado físico, pasando de líquido a gas.

El **punto de inflamación** es la temperatura a la cual un líquido o sólido emiten vapores que pueden formar una mezcla inflamable con el aire.

Una sustancia **reactiva** es un sólido, líquido o gas que emite energía en determinadas condiciones.

El **REL**, *recommended exposure limit* (límite de exposición recomendado), es establecido por el NIOSH para los niveles de sustancia en el aire. Puede ser un promedio ponderado en el tiempo, límite de exposición a corto plazo o límite máximo.

El **STEL**, *short-term exposure limit* (límite de exposición a corto plazo), es un nivel de exposición máximo en un período de tiempo (casi siempre de 15 minutos), que nunca debe excederse durante el día laboral.

Un **teratógeno** es una sustancia que causa daño al feto y malformaciones en recién nacidos.

El **TLV**, *threshold limit value* (valor límite umbral), es el límite de exposición laboral recomendado por la ACGIH.

El **TWA** es el *time-weighted average* (promedio ponderado en el tiempo).

La **WCRTK**, *Worker and Community Right to Know Act* (Ley del Derecho a Saber para la Comunidad y el Trabajador) es una ley de Nueva Jersey.

El **WEEL** es el *Workplace Environmental Exposure Level* (nivel de exposición ambiental en el lugar de trabajo), que es determinado por la AIHA.

ANEXO B (CONTINUACIÓN). CARACTERIZACIÓN DEL HIDRÓXIDO DE AMONIO



Hoja Informativa sobre Sustancias Peligrosas Derecho a Saber

Personal de Emergencias
Referencia rápida

Nombre común: **HIDRÓXIDO DE AMONIO**

Sinónimos: Agua amoniaca; agua amoniaca

Núm. CAS: 1336-21-8

Fórmula molecular: NH_4OH

Núm. Derecho a Saber: 0103

Descripción: Solución incolora de amoniaco en agua con un olor acre

DATOS SOBRE LOS RIESGOS																													
Evaluación 3 - Salud 0 - Incendio 0 - Reactividad Núm. DOT: UN 2672 Núm. de Gula: 154 Categoría de riesgo: 8 (corrosivo)	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 50%; text-align: center;">Lucha contra incendios</th> <th style="width: 50%; text-align: center;">Reactividad</th> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;"> El hidróxido de amonio no es combustible. Sin embargo, durante un incendio se forman vapores de amoniaco que pueden encenderse y causar una explosión. Utilice polvo químico seco, dióxido de carbono, agua rociada o espuma como agente extintor. AL INCENDIARSE, SE PRODUCEN GASES TÓXICOS, entre otros amoniaco y óxidos de nitrógeno. Utilice agua rociada para mantener fríos los recipientes expuestos al incendio. NO permita que el agua entre en los recipientes. </td> <td style="vertical-align: top;"> El hidróxido de amonio reacciona con muchos METALES PESADOS (tales como PLATA, COBRE, PLOMO y CINC) y sus SALES para formar compuestos explosivos e hidrógeno gaseoso inflamable y explosivo. El hidróxido de amonio puede reaccionar de forma violenta con ÁCIDOS FUERTES (tales como el CLORHÍDRICO, SULFÚRICO y NÍTRICO); SULFATO DE DIMETILO y HALÓGENOS. El hidróxido de amonio reacciona con BASES FUERTES (tales como HIDRÓXIDO DE SODIO e HIDRÓXIDO DE POTASIO) para producir amoniaco gaseoso. </td> </tr> </table>	Lucha contra incendios	Reactividad	El hidróxido de amonio no es combustible. Sin embargo, durante un incendio se forman vapores de amoniaco que pueden encenderse y causar una explosión. Utilice polvo químico seco, dióxido de carbono, agua rociada o espuma como agente extintor. AL INCENDIARSE, SE PRODUCEN GASES TÓXICOS, entre otros amoniaco y óxidos de nitrógeno. Utilice agua rociada para mantener fríos los recipientes expuestos al incendio. NO permita que el agua entre en los recipientes.	El hidróxido de amonio reacciona con muchos METALES PESADOS (tales como PLATA, COBRE, PLOMO y CINC) y sus SALES para formar compuestos explosivos e hidrógeno gaseoso inflamable y explosivo. El hidróxido de amonio puede reaccionar de forma violenta con ÁCIDOS FUERTES (tales como el CLORHÍDRICO, SULFÚRICO y NÍTRICO); SULFATO DE DIMETILO y HALÓGENOS. El hidróxido de amonio reacciona con BASES FUERTES (tales como HIDRÓXIDO DE SODIO e HIDRÓXIDO DE POTASIO) para producir amoniaco gaseoso.																								
Lucha contra incendios	Reactividad																												
El hidróxido de amonio no es combustible. Sin embargo, durante un incendio se forman vapores de amoniaco que pueden encenderse y causar una explosión. Utilice polvo químico seco, dióxido de carbono, agua rociada o espuma como agente extintor. AL INCENDIARSE, SE PRODUCEN GASES TÓXICOS, entre otros amoniaco y óxidos de nitrógeno. Utilice agua rociada para mantener fríos los recipientes expuestos al incendio. NO permita que el agua entre en los recipientes.	El hidróxido de amonio reacciona con muchos METALES PESADOS (tales como PLATA, COBRE, PLOMO y CINC) y sus SALES para formar compuestos explosivos e hidrógeno gaseoso inflamable y explosivo. El hidróxido de amonio puede reaccionar de forma violenta con ÁCIDOS FUERTES (tales como el CLORHÍDRICO, SULFÚRICO y NÍTRICO); SULFATO DE DIMETILO y HALÓGENOS. El hidróxido de amonio reacciona con BASES FUERTES (tales como HIDRÓXIDO DE SODIO e HIDRÓXIDO DE POTASIO) para producir amoniaco gaseoso.																												
FUGAS Y DERRAMES	PROPIEDADES FÍSICAS																												
Distancias de aislamiento: Derrame: 50 metros (150 pies) Incendio: 800 metros (0.5 millas) Absorba los líquidos en arena seca, tierra o material similar y deposítelos en recipientes herméticos para su eliminación. NO utilice COBRE, ALUMINIO ni METALES GALVANIZADOS cuando se manipule el hidróxido de amonio. Neutralice con un ácido débil tal como el vinagre (ácido acético). NO elimine al alcantarillado los derrames por lavado. En concentraciones muy bajas el hidróxido de amonio es perjudicial para la vida acuática.	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Umbral de olor:</td> <td style="width: 50%;">50 ppm</td> </tr> <tr> <td>Punto de inflamación:</td> <td>No combustible</td> </tr> <tr> <td>LIE:</td> <td>16%</td> </tr> <tr> <td>LSE:</td> <td>27%</td> </tr> <tr> <td>Temperatura de autotignición:</td> <td>1202 °F (650 °C) (solución al 25%)</td> </tr> <tr> <td>Densidad de vapor:</td> <td>0.6 a 1.2 (aire = 1)</td> </tr> <tr> <td>Presión de vapor:</td> <td>360 mm Hg a 68 °F (20 °C) (solución al 25%)</td> </tr> <tr> <td>Densidad relativa:</td> <td>0.9 (agua = 1)</td> </tr> <tr> <td>Solubilidad en agua:</td> <td>Miscible</td> </tr> <tr> <td>Punto de ebullición:</td> <td>100.4 °F (38 °C) (solución al 25%)</td> </tr> <tr> <td>Punto de congelación:</td> <td>-72.4 °F (-58 °C) (solución al 25%)</td> </tr> <tr> <td>Potencial de ionización:</td> <td>10.18 eV (como amoniaco)</td> </tr> <tr> <td>Peso molecular:</td> <td>35.06</td> </tr> <tr> <td>pH:</td> <td>13.6</td> </tr> </table>	Umbral de olor:	50 ppm	Punto de inflamación:	No combustible	LIE:	16%	LSE:	27%	Temperatura de autotignición:	1202 °F (650 °C) (solución al 25%)	Densidad de vapor:	0.6 a 1.2 (aire = 1)	Presión de vapor:	360 mm Hg a 68 °F (20 °C) (solución al 25%)	Densidad relativa:	0.9 (agua = 1)	Solubilidad en agua:	Miscible	Punto de ebullición:	100.4 °F (38 °C) (solución al 25%)	Punto de congelación:	-72.4 °F (-58 °C) (solución al 25%)	Potencial de ionización:	10.18 eV (como amoniaco)	Peso molecular:	35.06	pH:	13.6
Umbral de olor:	50 ppm																												
Punto de inflamación:	No combustible																												
LIE:	16%																												
LSE:	27%																												
Temperatura de autotignición:	1202 °F (650 °C) (solución al 25%)																												
Densidad de vapor:	0.6 a 1.2 (aire = 1)																												
Presión de vapor:	360 mm Hg a 68 °F (20 °C) (solución al 25%)																												
Densidad relativa:	0.9 (agua = 1)																												
Solubilidad en agua:	Miscible																												
Punto de ebullición:	100.4 °F (38 °C) (solución al 25%)																												
Punto de congelación:	-72.4 °F (-58 °C) (solución al 25%)																												
Potencial de ionización:	10.18 eV (como amoniaco)																												
Peso molecular:	35.06																												
pH:	13.6																												
LÍMITES DE EXPOSICIÓN	EQUIPO DE PROTECCIÓN																												
OSHA: 50 ppm, TWA 8 h NIOSH: 25 ppm, TWA 10 h; 35 ppm, STEL ACGIH: 25 ppm, TWA 8 h; 35 ppm, STEL IDLH: 300 ppm (Todo lo anterior es para el amoniaco) Los valores PAC son: PAC-1 = 6 ppm PAC-2 = 40 ppm PAC-3 = 100 ppm	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">Guantes:</td> <td>Butilo, nitrilo, neopreno y Viton (penetración >8 h para soluciones de menos del 30% de hidróxido de amonio)</td> </tr> <tr> <td>Overol (mono):</td> <td>Tychem® SL, F, Responder® y TK (penetración >8 h para soluciones de menos del 30% de hidróxido de amonio)</td> </tr> <tr> <td>Respiratoria:</td> <td>>25 ppm - purificador de aire de máscara completa con cartuchos específicos para amoniaco >100 ppm - autónomo</td> </tr> </table>	Guantes:	Butilo, nitrilo, neopreno y Viton (penetración >8 h para soluciones de menos del 30% de hidróxido de amonio)	Overol (mono):	Tychem® SL, F, Responder® y TK (penetración >8 h para soluciones de menos del 30% de hidróxido de amonio)	Respiratoria:	>25 ppm - purificador de aire de máscara completa con cartuchos específicos para amoniaco >100 ppm - autónomo																						
Guantes:	Butilo, nitrilo, neopreno y Viton (penetración >8 h para soluciones de menos del 30% de hidróxido de amonio)																												
Overol (mono):	Tychem® SL, F, Responder® y TK (penetración >8 h para soluciones de menos del 30% de hidróxido de amonio)																												
Respiratoria:	>25 ppm - purificador de aire de máscara completa con cartuchos específicos para amoniaco >100 ppm - autónomo																												
EFECTOS SOBRE LA SALUD	PRIMEROS AUXILIOS Y DESCONTAMINACIÓN																												
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Ojos:</td> <td>Iritación, quemaduras y la posibilidad de daño ocular</td> </tr> <tr> <td>Piel:</td> <td>Iritación y quemaduras</td> </tr> <tr> <td>Inhalación:</td> <td>Iritación de la nariz, la garganta y el pulmón, con tos e intensa falta de aire (edema pulmonar)</td> </tr> </table>	Ojos:	Iritación, quemaduras y la posibilidad de daño ocular	Piel:	Iritación y quemaduras	Inhalación:	Iritación de la nariz, la garganta y el pulmón, con tos e intensa falta de aire (edema pulmonar)	<p>Retire a la víctima del lugar de exposición.</p> <p>Enjuague los ojos con abundante agua por al menos 30 minutos. Retire las lentes de contacto, si las usa. Busque atención médica.</p> <p>Quite rápidamente la ropa contaminada y lave la piel contaminada con abundante agua y jabón. Busque atención médica.</p> <p>Inicie la respiración artificial si se ha detenido respiración y, en caso necesario, la reanimación cardiopulmonar.</p> <p>Traslade sin demora a la víctima a un centro de atención médica.</p> <p>Se recomienda observación médica, ya que los síntomas pueden tardar en aparecer.</p>																						
Ojos:	Iritación, quemaduras y la posibilidad de daño ocular																												
Piel:	Iritación y quemaduras																												
Inhalación:	Iritación de la nariz, la garganta y el pulmón, con tos e intensa falta de aire (edema pulmonar)																												

ANEXO C. COTIZACIÓN SULFATO DE AMONIO CON EMPRESA CIAMSA S.A.

The screenshot shows an Outlook web interface. The browser address bar displays a URL from blul177.mail.live.com. The Outlook header includes navigation options like 'Nuevo', 'Responder', 'Eliminar', 'Archivar', 'Correo no deseado', 'Limpiar', 'Mover a', and 'Categorías'. The left sidebar shows folders such as 'Bandeja de entrada', 'Correo no deseado', 'Borradores', 'Enviados', 'Eliminados', and 'Nueva carpeta'. The main content area shows an email from 'CIAMSA' with the sender 'Maria Fernanda Holguin Loaiza (mariafh@ciamsa.com)'. The email body contains a quote in Spanish: 'Buenas tardes, con gusto, el precio de SAM en saco de 1000 Kg. puesto en CIAMSA Buga, \$784.000 x Tm. Atte.' Below the quote is contact information for Maria Fernanda Holguin L., including her title 'Representante de Ventas Zona Sur Occidente', company 'C.I. DE AZUCARES Y MIELES S.A.', address 'Avenida 3a. A Norte No. 56N-32 Cali, Colombia.', phone numbers '(57-2) 66479 11 Ext. 2167' and '(57) 315 4152877', and email 'mariafh@ciamsa.com'. At the bottom of the email is a logo for 'Cumplimiento: Nuestro dulce compromiso.' with the CIAMSA logo.

Fuente: Ciamsa S.A.

ANEXO D.
PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

1. REACCIÓN

Diagrama 9 Proceso de reacción



Corriente 1 = Corriente 2
Corriente 1 = Materias primas
Corriente 2 = Mezcla reactante

Partiendo de la estequiometría y los resultados obtenidos a nivel experimental:

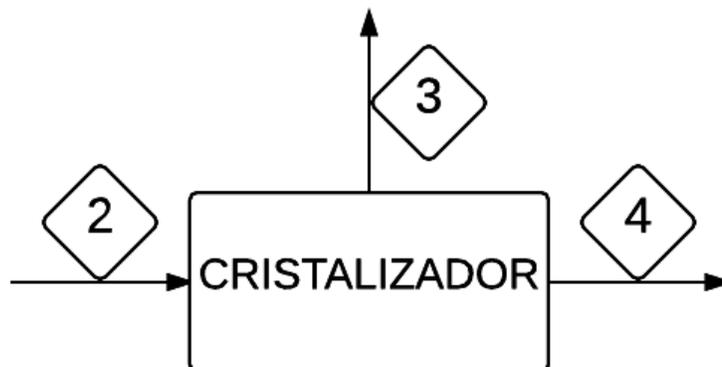
Tabla 31. Resultados de corriente en reactor por estequiometría

Muestra	Corriente 1	Corriente 2
1	988,32	987,92
2	989,39	988,19
3	993,83	991,73
4	996,88	996,58
5	985,02	984,62
6	982,99	981,89
7	987,56	986,58
8	985,99	985,65
9	988,95	988,56
10	988,36	987,57
11	999,82	999,61
12	999,33	999,17

La variación del peso de las corrientes es poco significativa pero se debe a que hay un aumento en la temperatura durante la reacción, que no es suficiente para saturar la mezcla.

2. CRISTALIZACIÓN

Diagrama 10. Proceso de cristalización



$$\text{Corriente 2} = \text{Corriente 3} + \text{Corriente 4}$$

$$\text{Corriente 2} = \text{Mezclareactante}$$

$$\text{Corriente 3} = \text{Agua}$$

$$\text{Corriente 4} = \text{LicorMadre (sulfatodeamoniosobresaturado)}$$

Tabla 32. Resultados de corriente en cristalizador por estequiometría

Muestra	Corriente 2	Corriente 3	Corriente 4
1	987,92	882,89	105,03
2	988,19	880,07	108,12
3	991,73	866,17	125,56
4	996,58	868,27	128,31
5	984,62	851,17	133,45
6	981,89	846,06	135,83
7	986,58	870,37	116,21
8	985,65	869,21	116,45
9	988,56	836,84	151,72
10	987,57	833,5	154,07
11	999,61	817,25	182,35
12	999,17	814,63	184,54

Este proceso es de gran importancia teniendo en cuenta que la solución reactante sigue su proceso de reacción y además se obtienen los cristales de Sulfato de Amonio, producto de la sobresaturación de la mezcla reactante.

3. FILTRADO

Diagrama 11. Proceso de filtración



$$\begin{aligned} \text{Corriente 4} &= \text{Corriente 5} + \text{Corriente 6} \\ \text{Corriente 4} &= \text{LicorMadre (sulfatodeamoniosobresaturado)} \\ \text{Corriente 5} &= \text{LicorMadre} \\ \text{Corriente 6} &= \text{SulfatodeAmonioHúmedo (cristal)} \end{aligned}$$

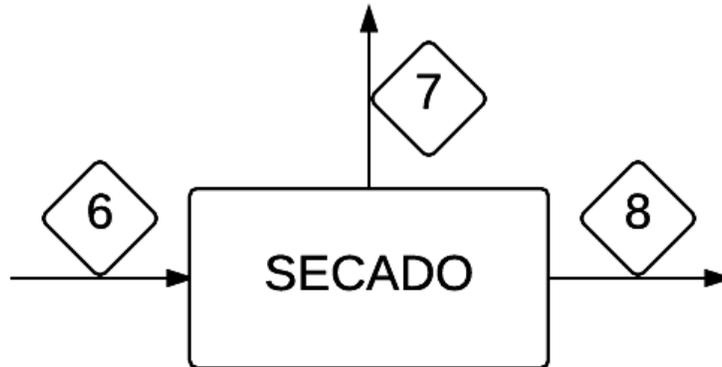
Los resultados que se obtienen por la experimentación de la filtración se muestran a continuación. Éstos son necesarios para la elaboración del dimensionamiento de los equipos.

Tabla 33. Resultados de corriente en filtración por estequiometría

Muestra	Corriente 4	Corriente 5	Corriente 6
1	105,03	28,76	76,27
2	108,12	33,05	75,07
3	125,56	32,46	93,1
4	128,31	37,51	90,8
5	133,45	34,23	99,22
6	135,83	36,43	99,4
7	116,21	22,76	93,45
8	116,44	23,46	92,98
9	151,72	30,91	120,81
10	154,07	32,66	121,45
11	182,36	36,72	145,64
12	184,54	38,23	146,31

4. SECADOR

Diagrama 12. Proceso de secado



$$\begin{aligned} \text{Corriente 6} &= \text{Corriente 7} + \text{Corriente 8} \\ \text{Corriente 6} &= \text{SulfatodeAmonioHúmedo (cristal)} \\ \text{Corriente 7} &= \text{Agua} \\ \text{Corriente 8} &= \text{Sulfatodeamonioseco} \end{aligned}$$

A continuación se muestra los resultados del secado los cuales se dieron como consecuencia de la experimentación y sirven de referencia para el posterior dimensionamiento del proceso.

Tabla 34. Resultados de secado en proceso experimental

Muestra	Corriente 6	Corriente 7	Corriente 8
1	76,27	14,67	61,61
2	75,07	15,03	60,04
3	93,10	19,98	73,13
4	90,80	18,82	71,98
5	99,22	19,74	79,49
6	99,40	20,48	78,92
7	93,45	18,12	75,33
8	92,98	19,29	73,69
9	120,81	24,64	96,17
10	121,45	25,96	95,49
11	145,64	30,35	115,29
12	146,31	30,49	115,82

Una vez filtrados los cristales de Sulfato de Amonio, fue necesario eliminar la mayor parte de la fase líquida para cumplir con los requerimientos mínimos. Además el tiempo de secado para cada muestra será determinado mediante las curvas de secado.

5. EFICIENCIA

A continuación se determina la eficiencia, teniendo en cuenta la estequiometría de la reacción, que permite determinar la cantidad de Sulfato de Amonio máxima que se puede producir en la reacción. Es decir, se omite el contenido de agua que está en las disoluciones.

Tabla 35. Resultados de eficiencia por estequiometría de reacción

Muestra	Corriente 8	Valor teórico	Eficiencia
1	61,61	66,07	93,25
2	60,04	66,07	90,87
3	73,13	79,28	92,24
4	71,98	79,28	90,79
5	79,49	88,09	90,23
6	78,92	88,09	89,59
7	75,33	88,09	85,51
8	73,69	88,09	83,65
9	96,17	113,64	84,63
10	95,49	113,64	84,03
11	115,29	132,14	87,25
12	115,82	132,14	87,65

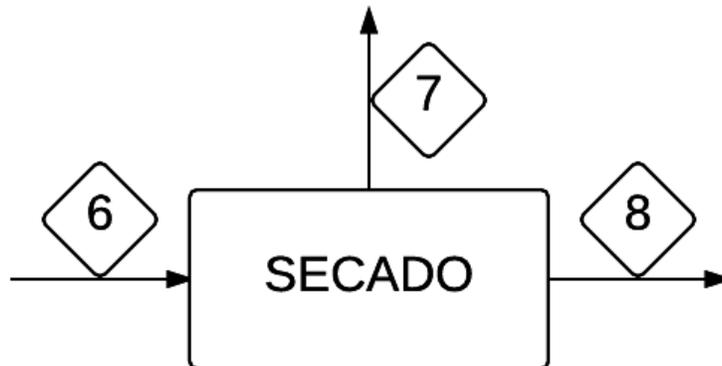
La eficiencia tomada para la resolución del proyecto fue de 93%, porque las muestras que se tomaron fueron las 1 y 2. Se consideró la eficiencia más alta que se encontró en la parte experimental.

ANEXO E.
BALANCE DE MASA A NIVEL INDUSTRIAL

Este se hace partiendo del procedimiento experimental y suponiendo que las pérdidas de materia a nivel industrial son despreciables.

1. SECADO

Diagrama 13. Proceso de secado



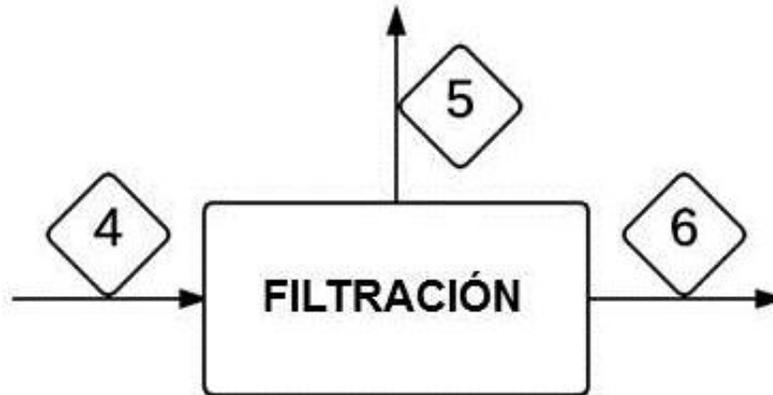
$$\begin{aligned} \text{Corriente 6} &= \text{Corriente 7} + \text{Corriente 8} \\ \text{Corriente 6} &= \text{SulfatodeAmonioHúmedo (cristal)} \\ \text{Corriente 7} &= \text{Agua} \\ \text{Corriente 8} &= \text{Sulfatodeamonioseco} \end{aligned}$$

Teniendo como objetivo la obtención de 0.234 ton/lote y partiendo del procedimiento experimental, en el cual durante el secado hay una eliminación aproximada del 20.46 % de la corriente de entrada, entonces:

$$\begin{aligned} \text{Corriente 6} &= \text{Corriente 7} + \text{Corriente 8} \\ \text{Corriente 6} &= \left(\frac{0.243 * 20.46 \%}{79.54 \%} \right) \text{ton} + 0.243 \text{ ton} \\ \text{Corriente 6} &= 0.30 \text{ ton} \end{aligned}$$

2. FILTRADO

Diagrama 14. Proceso de filtración



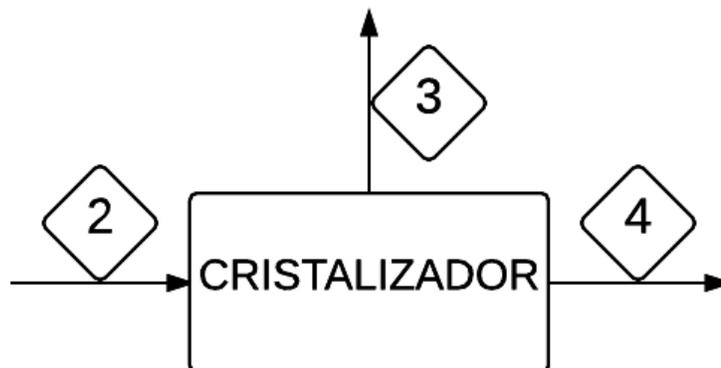
$$\begin{aligned} \text{Corriente 4} &= \text{Corriente 5} + \text{Corriente 6} \\ \text{Corriente 4} &= \text{LicorMadre (sulfatodeamoniosobresaturado)} \\ \text{Corriente 5} &= \text{LicorMadre} \\ \text{Corriente 6} &= \text{SulfatodeAmonioHúmedo (cristal)} \end{aligned}$$

Teniendo en cuenta que la corriente 6 es en promedio el 72% de la entrada al proceso de filtración entonces:

$$\begin{aligned} \text{Corriente 4} &= \left(\frac{0.3 * 28 \%}{72 \%} \right) \text{ton} + 0.3 \text{ Ton} \\ \text{Corriente 4} &= 0.12 \text{ ton} + 0.3 \text{ ton} \\ \text{Corriente 4} &= 0.42 \text{ ton} \end{aligned}$$

3. CRISTALIZACIÓN

Diagrama 15. Proceso de filtración



$$\begin{aligned} \text{Corriente 2} &= \text{Corriente 3} + \text{Corriente 4} \\ \text{Corriente 2} &= \text{Mezclareactante} \end{aligned}$$

Corriente 3 = Agua

Corriente 4 = LicorMadre (sulfatodeamoniosobresaturado)

Teniendo en cuenta que la corriente 4 es en promedio el 10.8% de la entrada al proceso de cristalización entonces:

$$\text{Corriente 2} = \left(\frac{0.42 * 89.2 \%}{10.8 \%} \right) + 0.42 \text{ ton}$$

$$\text{Corriente 2} = 3.9 \text{ ton}$$

4. REACCIÓN

Diagrama 16. Proceso de reacción



Corriente 1 = Corriente 2

Corriente 1 = Materiasprimas

Corriente 2 = Mezclareactante

Corriente 1 = 3.9 ton

ANEXO F. CÁLCULOS GENERALES

1. CALOR DE REACCIÓN

$$\begin{aligned}\Delta H_R &= \Delta H_{f\text{productos}} - \Delta H_{f\text{reactivos}} \\ \Delta H_R &= (\Delta H_{f(NH_4)_2SO_4} + \Delta H_{fH_2O}) - (\Delta H_{fH_2SO_4} + \Delta H_{fNH_4OH}) \\ \Delta H_R &= ((\Delta H_{f(NH_4)_2SO_4} * m_{(NH_4)_2SO_4}) + (\Delta H_{fH_2O} * m_{H_2O})) - (\Delta H_{fH_2SO_4} * m_{H_2SO_4} \\ &\quad + \Delta H_{fNH_4OH} * m_{NH_4OH}) \\ \Delta H_R &= ((-1173.10 * 66.07 \text{ g}) + (-285.84 * 18.015)) - (-811.32 * 49.0395) \\ &\quad + (-366.50 * 35.04 \text{ g}) \\ \Delta H_R &= (-77506.717 + -5149.407) - (-39486.72 + -12842.16) \\ \Delta H_R &= (-82.656.124) - (-52328.88) \\ \Delta H_R &= -30327.244 \text{ Kj} \\ \Delta H_R &= -7248.38 \text{ kcal}\end{aligned}$$

2. CAMBIO DE ENTALPÍA DE LOS REACTIVOS A LA SALIDA

$$\Delta H_1 = m_i \int C_p * dT$$

2.1 ÁCIDO SULFÚRICO

$$\begin{aligned}\Delta H_2 &= m_i \int_{T_c}^{T_r} C_{pi} * dT \\ \Delta H_{2 \text{ ácidosulfúrico}} &= 49.0395 \text{ g} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} * \int_{293}^{328.15} (139.1 + 15.59 * 10^{-2}T) dT \\ \Delta H_{2 \text{ ácidosulfúrico}} &= 49.0395 \text{ g} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} * 6317.52 \\ \Delta H_{2 \text{ ácidosulfúrico}} &= 309.80 \text{ Kcal}\end{aligned}$$

2.2 SULFATO DE AMONIO

$$\begin{aligned}\Delta H_{2 \text{ sulfatodeamonio}} &= 66.07 \text{ g} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} * \int_{293}^{328.15} (51.60) dT \\ \Delta H_{2 \text{ sulfatodeamonio}} &= 66.07 \text{ g} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} * 1865.34 \\ \Delta H_{2 \text{ sulfatodeamonio}} &= 123.24 \text{ kcal}\end{aligned}$$

2.3 AGUA

$$\Delta H_{2 \text{ Agua}} = 18.015g * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} * \int_{293}^{328.15} (18.02)dT$$

$$\Delta H_{2 \text{ Agua}} = 18.015g * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} * 651.423$$

$$\Delta H_{2 \text{ Agua}} = 11.758 \text{ kcal}$$

2.4 HIDRÓXIDO DE AMONIO

Donde el Cp del hidróxido de amonio es igual a 35.5 Kcal / Kg*C

$$\Delta H_{2 \text{ Hidróxidodeamonio}} = 35.04 \text{ g} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} * \int_{293}^{328.15} (35.5)dT$$

$$\Delta H_{2 \text{ Hidróxidodeamonio}} = 35.04 \text{ g} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} * 1283.33$$

$$\Delta H_{2 \text{ Hidróxidodeamonio}} = 44.96 \text{ kcal}$$

2.5 TOTAL

$$\Delta H_{2 \text{ total}} = \Delta H_{2 \text{ Hidróxidodeamonio}} + \Delta H_{2 \text{ Agua}} + \Delta H_{2 \text{ sulfatodeamonio}} + \Delta H_{2 \text{ ácidosulfúrico}}$$

$$\Delta H_{2 \text{ total}} = 44.96 \text{ kcal} + 11.758 \text{ kcal} + 123.24 \text{ kcal} + 309.80 \text{ Kcal}$$

$$\Delta H_{2 \text{ total}} = 44.96 \text{ kcal} + 11.758 \text{ kcal} + 123.24 \text{ kcal} + 309.80 \text{ Kcal}$$

$$\Delta H_{2 \text{ total}} = 489.758 \text{ kcal}$$

3. CALOR

$$Q_R = \Delta H_2 - \Delta H_1 + \Delta H_R$$

$$Q_R = 489.758 \text{ kcal} - 0 + - 7248.38 \text{ kcal}$$

$$Q_R = -6758.622 \text{ kcal}$$

$$- Q_R = Q_{\text{agua}}$$

$$Q_{\text{agua}} = 6758.22 \text{ kcal}$$

4. MASA AGUA

$$6758.22 \text{ kcal} = m_{\text{agua}} * C_{p_{\text{agua}}} * (T_f - T_i)$$

$$6758.22 \text{ kcal} = m_{\text{agua}} * 1.001 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} * \text{K}} * (70 - 27) \text{K}$$

$$\frac{6758.22 \text{ kcal}}{1.001 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} * \text{K}} * (70 - 27) \text{K}} = m_{\text{agua}}$$

$$m_{\text{agua}} = 157.0108 \text{ m}^3$$

5. REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA CRISTALIZADOR

$$Q = m_{\text{agua}} * C_{p_{\text{agua}}} * (T_f - T_i) + (m_{\text{agua}} * \lambda_{\text{agua}})$$

$$Q = \frac{882.89 \text{ g}}{10704 \text{ s}} * 4.18 \frac{\text{j}}{\text{g} * \text{C}} * (95 - 45) \text{C} + (9.729 \frac{\text{cal}}{\text{mol}} * \frac{1 \text{ mol}}{18 \text{ g}} * \frac{882.89 \text{ g}}{10704 \text{ s}} * 4.18 \frac{\text{J}}{\text{cal}})$$

$$Q = 17.2387 \frac{\text{j}}{\text{s}} + 0.1836 \frac{\text{j}}{\text{s}}$$

$$Q = 17.4673 \text{ W}$$

6. REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA EN EL SECADO

$$Q = m_{\text{cristales}} * C_{p_{\text{cristales}}} * (T_f - T_i) + (m_{\text{agua}} * \lambda_{\text{agua}})$$

$$Q = \frac{76.27 \text{ g}}{14400 \text{ s}} * 51.6 \frac{\text{cal}}{\text{mol} * \text{C}} * 4.18 \frac{\text{j}}{\text{cal}} * \frac{1 \text{ mol}}{132 \text{ g}} (130 - 27) + (\frac{14.67 \text{ g}}{14400 \text{ s}} * 9.729 \frac{\text{cal}}{\text{mol}} * \frac{1 \text{ mol}}{18 \text{ g}} * \frac{4.18 \text{ j}}{\text{cal}})$$

$$Q = 0.89 \frac{\text{j}}{\text{s}} + 0.0023 \frac{\text{j}}{\text{s}}$$

$$Q = 0.8923 \text{ w}$$

7. REACTOR-CRISTALIZADOR

t=tiempo de reacción + tiempo cristalización + tiempo de limpieza
 t=1 hora+3 horas+2 horas=6 horas

$$\text{cantidad lotes por año} \left(\frac{\text{lotes}}{\text{año}} \right) = \frac{\text{disponibilidad horaria operativa del equipo} \left(\frac{\text{Horas}}{\text{año}} \right)}{\text{Tiempo total por lote} \left(\frac{\text{Horas}}{\text{Lote}} \right)}$$

$$\text{cantidad lotes por año} \left(\frac{\text{lotes}}{\text{año}} \right) = \frac{4160 \left(\frac{\text{Horas}}{\text{año}} \right)}{9 \left(\frac{\text{Horas}}{\text{Lote}} \right)} = 462 \frac{\text{lotes}}{\text{año}}$$

$$\text{Capacidad por lote} = \frac{\text{Capacidad de producción requerida anual} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{Año}} \right) * 1.2}{\text{cantidad lotes-año} \left(\frac{\text{lotes}}{\text{año}} \right)}$$

$$\text{Capacidad por lote} = \frac{1500 \left(\frac{\text{Ton}}{\text{Año}} \right) * 1.2}{462 \left(\frac{\text{lotes}}{\text{año}} \right)} = 3,9 \frac{\text{ton}}{\text{lote}}$$

$$\text{Volumen de reacción} = \frac{\text{capacidad por lote (ton)}}{\text{densidad global}}$$

$$\text{volumen de reacción (m}^3\text{)} = \frac{4300 \text{ Kg}}{990 \text{ Kg/m}^3} = 4,34 \text{m}^3$$

$$\text{volumen seguro del reactor (m}^3\text{)} = \text{volumen de reacción (m}^3\text{)} * 1.3$$

$$\text{volumen seguro del reactor (m}^3\text{)} = 5,65 \text{ m}^3$$

8. EVALUACIÓN FINANCIERA

8.1 COSTO MANO DE OBRA

Costo mano de obra anual = salario x operarios x número de turnos x 12

$$\text{Costo mano de obra anual} = \$1'138.112 \times 2 \times 2 \times 12$$

$$\text{Costo mano de obra anual} = \$ 54'629.376$$

8.2 COSTO AGITADOR

Costo agitación = Potencia x tiempo anual x precio energía

$$\text{Costo agitación} = 2,61 \text{ kW} \left(\frac{4 \text{ horas}}{\text{lote}} \right) \left(\frac{462 \text{ lotes}}{\text{año}} \right) \left(\frac{\$172,5}{\text{kW}} \right)$$

$$\text{Costo agitación} = \$832.016$$

8.3 COSTO FILTRO

Costo anual = potencia x tiempo x costo unitario

$$\text{Costo anual} = 27 \text{ kW} \left(\frac{1 \text{ h}}{1 \text{ lote}} \right) \left(\frac{462 \text{ lotes}}{1 \text{ año}} \right) \left(\frac{\$172,5}{1 \text{ kWh}} \right)$$

$$\text{Costo anual} = \$2'151.765$$

8.4 VALOR PRESENTE NETO

$$\text{VPN} = \text{Inversión} + \frac{\text{ingreso 1}}{(1+i)^{\text{año}}} + \frac{\text{ingreso 2}}{(1+i)^{\text{año}}} + \dots + \frac{\text{ingreso n}}{(1+i)^{\text{año n}}}$$

$$\begin{aligned} \text{VPN} &= -\$178'971.630 + \\ & \frac{\$58'145.849}{(1+7\%)^1} + \frac{\$67'124.882}{(1+7\%)^2} + \frac{\$77'191.821}{(1+7\%)^3} + \frac{\$88'470.996}{(1+7\%)^4} + \frac{\$101'100.675}{(1+7\%)^5} \\ \text{VPN} &= \$136'588.760 \end{aligned}$$

ANEXO H.
COTIZACIÓN DE EQUIPOS CON PROYECTOS, CONSTRUCCIONES Y
SUMINISTROS CAM – PAL

PROYECTOS CONSTRUCCIONES Y SUMINISTROS
CAM – PAL
NIT 37936334-7

Barrancabermeja, abril 22 de 2016

Señores:
Xavier Antonio Palacio Vides
Email antoniojosepalacio@hotmail.com
Cel: 3102463988

Ref. Tanques de almacenamiento y reactor vasija con chaqueta de enfriamiento

Apreciados Señores:
Adjunto a la presente encontrará nuestra oferta solicitada porustedes.

1. ENTENDIMIENTO DE SU NECESIDAD:

Se requieren dos tanques de almacenamiento de 10 m³ cada material específico que permita un buen funcionamiento, además un vasija con agitación y chaqueta de enfriamiento.

2. PROPUESTA TÉCNICA

Tanque de almacenamiento. El material de los tanques es bronce y acero inoxidable 316. La vasija es de acero inoxidable 316 con lo cual se logrará un buen funcionamiento de los equipos.

El volumen y características de los mismos se basó en los requerimientos suministrados.

3. TRABAJO A REALIZAR:

Se realizará la instalación de los tanques y el reactor siguiendo para ello los procedimientos estandarizados de instalación para este tipo de equipos.

Nunca se utilizarán materiales no resistentes como elemento de unión entre tuberías y equipos.

4. OFERTA COMERCIAL

A continuación enunciaremos qué incluye y qué no incluye los valores de las diferentes alternativas propuestas:

a. El PRECIO RELACIONADO **INCLUYE**:

- Suministro y colocación de los equipos.
- Suministro y colocación de los accesorios en los equipos para medir temperatura y presión.
- Suministro de tubería para la instalación de los equipos.
- Permanencia total de un técnico con ayudante con experiencia en instalación.
- Fletes de materiales, personal y equipos hasta el sitio de trabajo.
- Garantía de 5 años para los equipos dados por el proveedor y de un año para las tuberías, acoples y accesorios.
- Adecuación de la superficie a instalar.

b. El precio de instalación **NO INCLUYE**:

- Suministro de energía en el sitio del proyecto.
- Sitio seguro para almacenamiento de los equipos en la obra.
- Acoples a tuberías no especificadas.

4. OFERTA ECONOMICA



PRODUCTO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL
Tanque cobre	1	\$ 32.853.204	\$ 32.853.204,00
Tanque acero 316	1	\$ 19.524.730	\$ 19.524.730,00
Reactor	1	\$ 94.320.123	\$ 94.320.123,00
Subtotal			\$ 146.698.057,00
A		14%	\$ 20.537.727,98
I		3%	\$ 4.400.941,71
U		5%	\$ 7.334.902,85
total			\$ 178.971.629,54

Los presupuestos aquí planteados para esta oferta están basados en las siguientes premisas:

- El valor de la instalación es un estimado el cual se ajustará en el momento de realizar la revisión en sitio.
- La adjudicación e instalación se realizará en una sola etapa.
- La presente oferta se ajusta a la información entregada por el contratante, obras adicionales que requieran ser ejecutadas correrán por cuenta de éste únicamente.
- El día de Stand By por retrasos en la obra generados por el cliente tendrán un costo adicional de \$450.000 pesos.

5. CONDICIONES ECONOMICAS

FORMA DE PAGO Contado anticipado

SITIO DE ENTREGA Lugar de la obra

VALIDEZ DE LA OFERTA 15 días

TIEMPO DE ENTREGA 50 a 60 días a partir de orden de compra

TIEMPO DE EJECUCION 10 días hábiles

DESCUENTO Ya aplicado en la propuesta

Sin otro particular:


MARY CAMACHO GONZÁLES
GERENTE

BARRANCABERMEJA CALLE 48 N° 17-32 CELULAR 3175022900

ABREVIATURAS

km²: Kilómetros cuadrados

°C: Celsius

M: Molar

g: Gramos

ml: Mililitros

NTC: Norma Técnica Colombiana

Min: Minutos

Q: Calor requerido en el proceso

M_{agua}: Masa de agua e evaporar

C_P agua: Poder calorífico del agua

T_f: Temperatura final

T_i: Temperatura inicial

m_{agua}= masa de agua retirada

λ_{vapor}= calor latente de vaporización

VPN: Valor Presente Neto

kg/m³ densidad: Kilogramo por metro cúbico

Kg: Kilogramos

cP: Centipoise

kWh: Kilo vatio hora