

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL



TESIS

**“ESTUDIO CINÉTICO DE REACCIÓN RESPECTO A LA GRANULOMETRÍA Y
LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE NITRATO DE CALCIO”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO

ELABORADO POR

JIMMY BRYAN FIGUEROA FLORES

 [0009-0001-0611-301](https://orcid.org/0009-0001-0611-301)

ASESOR

MSC. WARREN REÁTEGUI ROMERO

 [0000-0002-2388-0210](https://orcid.org/0000-0002-2388-0210)

TOMO I DE I

LIMA – PERÚ

2024

Citar/How to cite	(Apellido, 2022)
Referencia/Reference	Apellido, N. (2022). <i>Guía para la presentación de trabajos formales conducentes a la obtención de grados o títulos</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Resumen

En el presente estudio se investigación la cinética de reacción del nitrato de calcio, utilizando carbonato de calcio y ácido nítrico. Empleando diferentes tamaños de grano del carbonato de calcio se obtiene el orden de reacción y se examina como el tamaño de grano afecta la velocidad de generación del nitrato de calcio. Por lo tanto, una vez que se obtenga el carbonato de calcio óptimo en el estudio cinético de la reacción, se implementará una línea de producción de nitrato de calcio líquido y se dará posibles soluciones para la captación del gas de efecto invernadero (dióxido de carbono), generado como subproducto de la reacción a investigar.

Abstract

The present study investigates the kinetics of the reaction of calcium nitrate, using calcium carbonate and nitric acid. Using different calcium carbonate grain sizes is obtained the order of reaction and examined how grain size affects the calcium nitrate generation rate. Therefore, once the optimal calcium carbonate is obtained in the kinetic study of the reaction, a liquid calcium nitrate production line will be implemented and possible solutions will be given for the capture of the carbon dioxide gas, generated as a by-product of the investigated reaction.

Introducción

El nitrato de calcio es un compuesto químico inorgánico utilizado en una variedad de industrias, pero su uso más común es en la industria agrícola como fertilizante, ya que brinda nutrientes tales como el calcio y nitrógeno a las plantas, lo que favorece su crecimiento.

Aunque tiene propiedades higroscópicas, el nitrato de calcio generalmente se vende en forma sólida. La producción de nitrato de calcio puede ocurrir a través de una variedad de reacciones y procesos, para ello se emplea carbonato de calcio o hidróxido de calcio, siendo el hidróxido de calcio la más utilizada aun cuando este puede costar aún más que el carbonato de calcio, debido a que su reacción es exotérmica y no presenta dióxido de carbono como subproducto.

Por otro lado, la agricultura es una de las principales industrias de Perú y, aunque necesita el nitrato de calcio como compuesto químico, no lo produce internamente, por lo que suelen importar todo el nitrato de calcio que necesitan. Este hecho se vio más notable durante la pandemia, donde la producción global disminuyó, lo que provocó una disminución en las importaciones de nitrato de calcio y otros fertilizantes, lo que resultó en una escasez de estos productos y un aumento en su precio. Esto demuestra aún más la falta de desarrollo de la industria química en el Perú y cómo puede ser un escudo para la economía del país, por lo cual se plantea el hecho de ¿Es factible implementar una línea de producción de nitrato de calcio que sea competitiva en términos de precios de mercado?, que conllevaría emplear carbonato de calcio en la producción de nitrato de calcio, que alternativas hay para poder aprovechar el dióxido de carbono generado como subproducto.

Para esto se llevará a cabo un estudio cinético con varios tipos de carbonato de calcio de igual pureza, pero de diferentes tamaños de grano para seleccionar el mejor carbonato para lograr el objetivo de establecer una línea de producción de nitrato de calcio. Una vez que se haya elegido el carbonato adecuado, se iniciará con las pruebas piloto para posteriormente estandarizar el proceso.

Además, se realizará un análisis económico de la cadena de producción de nitrato de calcio. Así mismo, se presentarán opciones viables para utilizar el dióxido de carbono producido.

Índice

Resumen.....	i
Abstract.....	ii
Introducción.....	iii
Capítulo 1. Antecedentes referenciales.....	9
1.1 Gases de efecto invernadero.....	11
1.2 Absorción de gases.....	12
1.3 Planteamiento de la realidad problemática.....	13
1.4 Objetivos.....	14
1.4.1 Objetivos generales	14
1.4.2 Objetivos específicos.....	14
1.5 Hipótesis.....	15
1.5.1 Hipótesis general.....	15
1.5.2 Hipótesis específica.....	15
Capítulo 2. Marco Teórico	16
2.1 Definición y abreviaciones de términos.....	16
2.2 Realidad agroquímica en el Perú	17
2.3 Fertilizantes nitrogenados	19
2.4 Definición química de nitrato de calcio	20
2.4.1 Formas de obtención del nitrato de calcio.....	21
2.5 Aplicaciones técnicas del nitrato de calcio.....	21
2.6 Fertilizante nitrato de calcio	24

2.7	Definición química del carbonato de calcio	25
2.8	Definición química del ácido nítrico	25
2.9	Maneras de capturar dióxido de carbono	25
2.10	Definición química de otros reactivos químicos.....	27
2.11	Cinética Química.....	30
2.12	Filtración.....	35
2.13	Fugacidad.....	36
2.14	Valor actual neto (VAN).....	37
2.15	Tasa interna de retomo (TIR).....	37
Capítulo 3.	Desarrollo del trabajo	39
3.1	Parte experimental.....	40
3.1.1	Equipos y materias primas:	41
3.2	Desarrollo experimental.....	42
3.2.1	Pruebas con el carbonato de calcio FM-1000.....	42
3.2.2	Pruebas con el carbonato de calcio PON	44
3.2.3	Pruebas con el carbonato de calcio 81.....	46
3.3	Cálculos y resultados.....	48
3.3.1	Cálculos para n=1.....	49
3.3.2	Cálculos para n=2.....	53
3.3.3	Prueba con Carbonato de calcio Fn-1000	57
3.3.4	Observaciones de las pruebas:.....	58
3.4	Implementación de una línea de producción de nitrato de calcio	59

3.4.1	Descripción de la línea de producción.....	59
Capítulo 4.	Análisis y discusión de la línea de producción de CaCO_3	61
4.1.1	Descripción del proceso de la línea de producción de nitrato de calcio	61
4.1.2	Prueba piloto para la producción de nitrato de calcio.....	61
4.1.3	Observaciones y mejoras de las pruebas piloto:	64
4.1.4	Producción en la línea de Nitrato de Calcio	65
4.1.5	Producción estándar de la línea de nitrato de calcio.....	68
4.1.6	Alternativas para la captación de CO_2	70
4.1.7	Análisis económico	72
4.1.8	Cálculo del VAN y TIR:.....	73
	Conclusiones.....	74
	Recomendaciones.....	75
	Bibliografía.....	76

Índice de tablas

Tabla 1 Importaciones de principales Fertilizantes en Tn.....	18
Tabla 2 Importaciones de principales Fertilizantes (Miles de US\$).....	18
Tabla 3 Abonos nitrogenados importantes	19
Tabla 4 Propiedades fisicoquímicas del nitrato de calcio	20
Tabla 5. Tabla de datos de la reacción del CaCO_3 FM-1000 (ASTM No 400) con HNO_3 68% (1)	42
Tabla 6. Tabla de datos de la reacción del CaCO_3 FM-1000 (ASTM No 400) con HNO_3 68% (2)	43
Tabla 7. Tabla de datos de la reacción del CaCO_3 FM-1000 (ASTM No 400) con HNO_3 68% (3)	44
Tabla 8. Tabla de datos de la reacción del CaCO_3 PON (ASTM No 1/16) con HNO_3 68% (1)....	44
Tabla 9. Tabla de datos de la reacción del CaCO_3 PON (ASTM No 1/16) con HNO_3 68% (2)....	45
Tabla 10. Tabla de datos de la reacción del CaCO_3 PON (ASTM No 1/16) con HNO_3 68% (3)..	46
Tabla 11. Tabla de datos de la reacción del CaCO_3 81 (ASTM No 18) con HNO_3 68% (1).....	46
Tabla 12. Tabla de datos de la reacción del CaCO_3 81 (ASTM No 18) con HNO_3 68% (2).....	47
Tabla 13. Tabla de datos de la reacción del CaCO_3 81 (ASTM No 18) con HNO_3 68% (3).....	48
Tabla 14 $\text{Ln}[\text{HNO}_3]$ del carbonato Fn-1000 (ASTM No 400).....	50
Tabla 15 $\text{Ln}[\text{HNO}_3]$ del Carbonato PON (ASTM No 1/16).....	51
Tabla 16 $\text{Ln}[\text{HNO}_3]$ del Carbonato 81 (ASTM No 18).....	52
Tabla 17 $1/[\text{HNO}_3]$ del Carbonato Fn-1000 (ASTM No 400).....	53
Tabla 18 $1/[\text{HNO}_3]$ del Carbonato PON (ASTM No 1/16)	54

Tabla 19 1/[HNO ₃] del Carbonato 81 (ASTM No 18).....	55
Tabla 20 Resultados de las pruebas realizadas	57
Tabla 21 Prueba con FN-1000 (ASTM No 400) para lograr los estándares de venta	57
Tabla 22 Eficiencia de la prueba con FN-1000 (ASTM No 400).....	58
Tabla 23 Captación de CO ₂ y gases nitrosos a partir de una solución saturada de NaOH.....	71
Tabla 24 Captación de CO ₂ y gases nitrosos a partir de una solución saturada de NaOH.....	72
Tabla 25 Flujo de caja del nitrato de calcio.....	73
Tabla 26 Costos de equipo e instalación para la línea de nitrato de calcio	89
Tabla 27 Costo de materias primas y mano de obra para la producción de nitrato de calcio.....	90
Tabla 28 Ingreso por la venta del nitrato de calcio.....	90

Índice de figuras

Figura 1 Estructura química de Nitrato de Calcio.....	20
Figura 2 Modelo para reacción no catalíticas gas-solido no poroso.....	33
Figura 3 Modelo para reacción no catalíticas gas-solido altamente poroso.....	33
Figura 4 Modelo para reacción no catalíticas gas-solido medianamente poroso.....	33
Figura 5 Plano de la empresa.....	60
Figura 6 Diagrama de bloques de la línea de producción de nitrato de calcio. Adaptado a la empresa.....	61
Figura 7 Análisis del tamaño de partícula del CaCO_3 Fn-1000.....	92
Figura 8 Análisis del tamaño de partícula del CaCO_3 PON.....	93
Figura 9 Análisis del tamaño de partícula del CaCO_3 81.....	94
Figura 10 Análisis de laboratorio de Calcio presente en el CaCO_3 Fn-1000	95
Figura 11 Almacenamiento de agua y Ácido sulfúrico 98%.....	96
Figura 12 Tanques reactores para la línea de Sulfato de Zinc	96
Figura 13 Tanque reactor línea nitrato de Zinc y cristalizadores del sulfato de Zinc.....	97
Figura 14 Tanque de polietileno línea de nitrato de calcio	97
Figura 15 Amazón de acero inoxidable para el tanque de polietileno.....	98
Figura 16 Filtro Prensa.....	98
Figura 17 Tanque Reactor R-1.....	99
Figura 18 Alimentador de CaCO_3 para la línea de Nitrato de Calcio.....	99
Figura 19 Reacción de CaCO_3 con el HNO_3	100
Figura 20 Proceso de filtración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	100

Figura 21	Medición de pH y densidad del Nitrato de Calcio	101
Figura 22	Lodo residual del CaCO_3 Fn-1000	101
Figura 23	Lodo Residual del CaCO_3 PON.....	102
Figura 24	Lodo residual del CaCO_3 81.....	102
Figura 25	Captación de CO_2 y gases nitrosos.....	103
Figura 26	Análisis de Ca en la prueba de laboratorio.....	103
Figura 27	Análisis de Ca en un producto con nitrato de calcio	104
Figura 28	Análisis de Ca en la prueba piloto N°1.....	104
Figura 29	Análisis de Ca en la prueba piloto N°2.....	105
Figura 30	Análisis de Ca en la línea de producción con el tanque reactor [R-1].....	105
Figura 31	Análisis de Ca para la línea de producción de nitrato de calcio mes de enero.	106
Figura 32	Análisis de Ca para la línea de producción de nitrato de calcio mes de febrero.....	106
Figura 33	Análisis de Ca en la línea de producción con el tanque de polietileno.....	107
Figura 34	Análisis de Ca para la venta de nitrato de calcio.	107
Figura 35	Factura de la venta de nitrato de calcio líquido	108
Figura 36	Factura de la compra de Ácido Nítrico.....	108
Figura 37	Factura de la compra de carbonato de calcio.....	109

Índice de gráficos

Gráfico 1	Linealización del Carbonato FN-1000, $\ln[\text{HNO}_3]$ vs t con orden de reacción = 1.....	50
Gráfico 2	Linealización del Carbonato PON, $\ln[\text{HNO}_3]$ vs t con orden de reacción = 1	51
Gráfico 3	Linealización del Carbonato 81, $\ln[\text{HNO}_3]$ vs t con orden de reacción = 1	52
Gráfico 4	Linealización del Carbonato Fn-1000, $1/[\text{HNO}_3]$ vs t con orden de reacción = 2	54
Gráfico 5	Linealización del Carbonato PON, $1/[\text{HNO}_3]$ vs t con orden de reacción = 2.....	55
Gráfico 6	Linealización del Carbonato 81, $1/[\text{HNO}_3]$ vs t con orden de reacción = 2	56

Capítulo 1. Antecedentes referenciales

La producción en escala de nitrato de calcio se ha estado desarrollando hace mucho tiempo debido a los diversos usos de este compuesto en los distintos campos industriales, la principal de la cual es la agricultura, donde se emplea como fertilizante; puede ser utilizado en las plantas en su forma líquida o sólida, pero es comúnmente comercializado en su estado sólido, como un cristal.

El procedimiento para producción de nitrato de calcio a gran escala que nos brinda la patente española número 2655097 se divide en dos partes: la reacción se lleva a cabo en columnas de flujo continuo, donde se emplea piedra caliza como relleno, y la cristalización de cinta continua del producto final. Según la ecuación (Ec.1), en las columnas se lleva a cabo una reacción exotérmica:



Donde:

CaCO_3 : Carbonato de calcio

HNO_3 : Acido nítrico

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$: Nitrato de Calcio

CO_2 : Dióxido de carbono

El documento GB 500830, que describe un método para producir simultáneamente $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y CO_2 , es mencionado en esta patente. El proceso es puesto en marcha en un tanque cerrado a presión, en el cual se va alimentando con piedra caliza, luego el HNO_3 se introduce mediante una bomba y se pulveriza sobre la piedra caliza. La cámara colectora recibe el nitrato de calcio resultante, esto provoca que el HNO_3 de hecho se lava por gravedad después de lograr contactar con la piedra caliza, evidentemente pueden producirse zonas muertas que el HNO_3 no alcanza. La presión en el sistema se da debido a la reacción, por lo tanto, la presión lo genera el dióxido de carbono. El CO_2 debe ser expulsado periódicamente a través una escotilla o ducto de gases del tanque. (España Patente nº ES2655097T3, 2005).

La patente estadounidense número 4569677 proporciona un proceso que consiste en agregar semillas cristalinas a una solución concentrada de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, que luego se enfría a temperaturas por debajo de la temperatura de cristalización, lo que lleva a la producción de cristales de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, que luego se separan de la solución madre mediante procedimientos de separación (Estados Unidos Patente n° US 4569677 A, 1986).

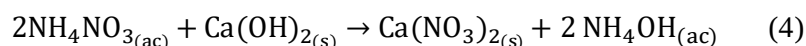
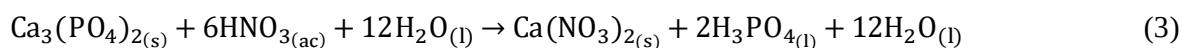
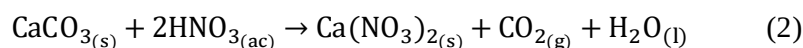
Sin embargo, se llevaron a cabo investigaciones a nivel laboratorio para producir cristales de nitrato de calcio utilizando el método de cristalización por fusión, que utiliza cal y HNO_3 como reactivos para la reacción. Para obtener la solución de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ se utilizó un reactor con chaqueta de enfriamiento debido a que la reacción es una reacción de neutralización (ácido con una base) entre la cal y el HNO_3 . El producto de reacción se enfrió antes de pasar por un proceso de filtración al vacío para desechar todas las impurezas. La torta se desechó después de evaporar la solución sobrante para producir cristales de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. La concentración de HNO_3 y la temperatura de cristalización fueron las variables tomadas en cuenta durante la reacción, utilizando como base de cálculo la obtención de un kilogramo de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ cristalizado. Finalmente, se llevó a cabo un análisis de calidad para asegurarse de que los cristales cumplieran con las especificaciones técnicas correspondientes (Cazares, 2012).

La mejora de los procesos para aumentar la eficiencia de la producción se ha llevado a cabo durante muchos años. No se pretende discutir el origen de esta práctica, pero es importante considerar los proyectos realizados para mejorar las líneas de producción de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ en forma de cristal o líquido.

En el proyecto se pretende desarrollar una línea de producción de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, mediante el análisis del estudio cinético de la reacción entre el CaCO_3 y HNO_3 , además de observar las fallencias de nuestro proceso y dar solución a ellos en aspectos técnicos. El avance del proyecto se apoyará de las diferentes inspecciones en la planta, revisión de documentos e información relacionada con el proceso de producción, así como entrevistas a los colaboradores encargados de la operación de la planta.

El diagnóstico del proceso de producción, la evaluación de la capacidad de producción de la planta, la implementación de mejoras en el proceso de producción, el establecimiento e implementación de un sistema de indicadores de gestión para el control de las mejoras implementadas y el análisis costo-beneficio de la implementación de las mejoras (Jiménez & Ropero, 2017).

Si bien el nitrato de calcio se puede obtener de diferentes reactivos los productos obtenidos al final de la reacción son diferentes, un ejemplo son las siguientes ecuaciones químicas (Ec. 2, 3 y 4):



Es por ello por lo que se debe de abordar como minimizar o qué hacer con estos subproductos. En este proyecto se pretende trabajar con el carbonato de calcio, más adelante se darán los motivos por el cual se escogió este reactivo, además este reactivo se tendrá de subproducto el dióxido de Carbono (CO_2) y agua, con el agua no hay problema, sin embargo, con el CO_2 existen regulación para el control de emisiones de este gas por el estado peruano, ya que este gas es un gas de efecto invernadero.

1.1 Gases de efecto invernadero

Los gases de efecto invernadero (GEI) son componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y emiten radiación en longitudes de onda infrarrojas emitidas por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes (Benavides & León, 2007). En la atmósfera del planeta, los principales GEI son el vapor de agua (H_2O), el dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso (N_2O), el metano (CH_4) y el ozono (O_3). Además, existen varios GEI producidos por humanos en la atmósfera, como los halocarbonos y otras sustancias con contenido

de cloro y bromo, que están regulados por el Protocolo de Montreal. Estos incluyen hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆). Se clasifican como GEI directos e indirectos (Benavides & León, 2007).

- GEI Directos: Son gases que, al ser liberados a la atmósfera, contribuyen al efecto invernadero. Este grupo incluye compuestos halogenados, dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O).
- GEI Indirectos: Además de ser contaminantes ambientales locales, son precursores del ozono troposférico y se transforman en gases de efecto invernadero directo en la atmósfera. Este grupo incluye óxidos de nitrógeno, diferentes compuestos orgánicos volátiles del metano y el monóxido de carbono.

1.2 Absorción de gases

La absorción de gases es un proceso unitario en la que una mezcla gaseosa entra en contacto con un líquido para disolver seleccionando uno o más componentes del gas y obtener una solución de los compuestos en el líquido. La masa de una sustancia debe transferirse de la corriente gaseosa al líquido durante esta operación. La desorción es la transferencia de masa del líquido al gas. Los principios de absorción y desorción son fundamentalmente idénticos. Estas operaciones normalmente solo se desarrollan para la recuperación o eliminación del soluto. La destilación fraccionada es necesaria para que los solutos se separen bien entre sí (Treybal, 2000).

1.3 Planteamiento de la realidad problemática

Las empresas peruanas importan varios tipos de fertilizantes como el nitrato de calcio, entre otros insumos, debido al aumento de la agroindustria en el país y la falta de una industria química desarrollada en el país, da como resultado que el mercado de fertilizantes sea vulnerable a los cambios en el mercado global que tienen un impacto en esta industria.

La implementación de una planta para producir nitrato de calcio podría ser una solución a esta preocupación, que a largo plazo podría tener diversos efectos en el progreso químico y agroindustrial en el Perú. Una fábrica de producción de nitrato de calcio debe estar sujeta a metodologías de gestión y estandarización de procesos para obtener un producto estándar de alta calidad en el mercado, reduciendo costos y tiempos de proceso, brindando a la empresa beneficios económicos y una mejor competitividad en el mercado de manera sostenible.

El presente proyecto tiene los siguientes alcances y justificaciones:

El objetivo del proyecto es estudiar las situaciones que ocurrieron en la empresa durante el proyecto de establecimiento de una línea de nitrato de calcio líquido. Se realizó pruebas de laboratorio para examinar la velocidad de reacción del $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ a partir del CaCO_3 y el HNO_3 , lo que mejoró la comprensión de la reacción.

1. Establecer los parámetros del producto de acuerdo con lo requerido en el mercado peruano. Por lo tanto, al establecer la línea de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ en la planta, se hará un estudio cinético de la reacción para un entendimiento, además de identificar las deficiencias del proceso y las oportunidades de mejora para cada etapa, lo que aumentará la productividad de las secciones involucradas. Así mismo realizar un estudio económico de la línea de producción del nitrato de calcio.
2. Así mismo en el presente proyecto se planteará diferentes estrategias de captación de Dióxido de Carbono gas liberado durante la reacción en la obtención de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, pruebas de laboratorio y oportunidades para un aprovechar mejor los recursos de la empresa y una menor contaminación al medio ambiente.

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivos generales*

Establecer una línea de producción de nitrato de calcio líquido en una empresa, utilizando como reactantes el CaCO_3 y el HNO_3 .

1.4.2 *Objetivos específicos*

- Estudiar el efecto de la granulometría del CaCO_3 en la reacción del carbonato de calcio y el ácido nítrico, basado en la cinética de reacción.
- Establecer una línea de nitrato de calcio en la empresa, basándose en el estudio cinemático, empleando el mejor resultado obtenido del efecto granulométrico del CaCO_3 .
- Proponer opciones de captación de gases para captar el dióxido de carbono y los gases nitrosos, con la finalidad de poder aminorar la emisión de GEI.
- Efectuar una evaluación económica al proyecto para determinar si este es viable o no, apoyándose en los indicadores financieros de factibilidad TIR y VAN.

1.5 Hipótesis

1.5.1 *Hipótesis general*

La empresa se podrá establecer una línea de producción de nitrato de calcio sostenible económicamente, que pueda competir con los productos homólogos importados en el mercado peruano.

1.5.2 *Hipótesis específica*

- La granulometría de los carbonatos de calcio empleados en la investigación influye en la velocidad de reacción para obtener nitrato de calcio.
- Sera posible establecer una línea de nitrato de calcio líquido, empleando el CaCO_3 que mejor nos dio en el estudio cinético.
- Se podrá capturar el CO_2 de la reacción estudiada, y del producto obtenido de la captación se podrá tener algún beneficio económico.
- Empleando las herramientas TIR y VAN, la línea de producción que se desea implementar cumplirá la tasa de descuento del 15% establecido por la empresa.

Capítulo 2. Marco Teórico

2.1 Definición y abreviaciones de términos

CaCO_3 : Carbonato de Calcio.

HNO_3 : Ácido Nítrico.

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$: Nitrato de Calcio.

H_2O : Agua.

CO_2 : Dióxido de Carbono.

GEI: Gases de efecto invernadero.

N_2O : Óxido Nitroso.

CH_4 : Metano.

O_3 : Ozono.

SF_6 : Hexafluoruro de Azufre.

HFC: Hidrofluorocarbonos.

PFC: perfluorocarbonos.

KOH: Hidróxido de Potasio.

$\text{Ca}(\text{OH})_2$: Di hidróxido de Calcio.

$\text{Na}(\text{OH})$: Hidróxido de Sodio.

K_2CO_2 : Carbonato de Potasio.

Na_2CO_2 : Carbonato de Sodio.

$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$: Sulfato de Manganeso monohidratado.

$\text{Mn}(\text{NO}_3)$: Nitrato de Manganeso.

$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$: Ácido Cítrico.

$C_6H_5K_3O_7$: Citrato de Potasio.

KNO_3 : Nitrato de Potasio.

$NaNO_3$: Nitrato de Sodio.

A continuación, se proporciona un breve resumen del contexto actual de la industria agroquímica en el Perú, así como las teorías que sustentan el proyecto, incluyendo sus referencias científicas, historia y los temas relevantes para el desarrollo del proyecto y mejora del proceso de obtención del $Ca(NO_3)_2$ en la empresa.

2.2 Realidad agroquímica en el Perú

En los últimos tiempos, la población global ha experimentado una tendencia a aumentar constantemente. Según un análisis, este crecimiento seguirá siendo estable hasta el año 2100, cuando África y China tendrán la mayor concentración de población (FAO, 2016), debido a esto, la demanda de diversos insumos también tendría que aumentar. Los alimentos en general son los insumos más demandados, ya que deben aumentar con el aumento de la población en una región específica. Por lo tanto, los países tienen pleno conocimiento de la importancia del desarrollo de las diversas industrias relacionadas con los alimentos debido a sus actividades interrelacionadas.

Uno de estos Sectores de Alimentos es la Industria Agrícola, donde el Perú ocupa el cuarto lugar de países exportadores de productos agrícolas en Sudamérica (Food And Agriculture Organization, 2020), así mismo el Perú ha tenido un crecimiento de la industria agrícola de 3.3% anual en la última década, aunque el principal crecimiento se dio en la región Costa con un 7.2%, seguido de la región Sierra con un 0.2% por último, en la región Selva se vio un retroceso de 0.2% (Banco Mundial, 2018), sin embargo, los fertilizantes que usa el Perú en su mayoría son importados, razón por la cual muchos de los productores se ven afectados a las variaciones de los precios a nivel internacional.

Entre los principales fertilizantes importados están los fertilizantes Fosfatados, Potásicos y Nitrogenados (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2022) a continuación, se da un detalle más preciso de ello:

Tabla 1

Importaciones de principales Fertilizantes en Tn.

Año	NITROGENADOS			FOSFATOS		POTASICOS		
	Urea	Sulfato de Amonio	Nitrato de Amonio	Fosfato di amónico	Super fosfatos	Cloruro de Potasio	Sulfato de Potasio	Sulfato de Magnesio
2019	412 384	264 264	169 337	189 727	3 124	85 340	76 163	15 305
2020	373 791	238 202	145 224	248 382	8 026	129 816	85 325	29 230
2021	325 988	256 161	330 571	127 121	0	85 436	77 228	22 251

Fuente: Sunat Elaborado: MIDAGRI-DGPA-DEE

Tabla 2

Importaciones de principales Fertilizantes (Miles de US\$)

Año	NITROGENADOS			FOSFATOS		POTASICOS		
	Urea	Sulfato de Amonio	Nitrato de Amonio	Fosfato di amónico	Super fosfatos	Cloruro de Potasio	Sulfato de Potasio	Sulfato de Magnesio
2019	121 577	37 442	56 882	73 300	1 091	27 714	40 759	4 156
2020	99 578	32 844	42 249	84 280	2 496	36 891	38 525	8 001
2021	150 678	55 807	127 634	85 769	0	28 075	43 370	6 670

Fuente: Sunat

Elaborado: MIDAGRI-DGPA-DEE

Las importaciones que realiza el Perú anualmente hacen referencia a un déficit en satisfacer su demanda de fertilizantes, y por consecuencia esto afecta a la industria Agrícola Nacional y las industrias relacionadas.

2.3 Fertilizantes nitrogenados

Los fertilizantes nitrogenados son compuestos químicos que contienen nitrógeno en una forma asimilable por las plantas. Cuando se utilizan en el suelo o directamente en las hojas de la planta, los diversos órganos de la planta pueden absorber estos compuestos, lo que facilita su desarrollo (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2012).

Los fertilizantes nitrogenados son compuestos químicos como el nitrato de amonio, el nitrato de calcio, el nitrato de magnesio, el nitrato de manganeso y otros que contienen nitrógeno. La mayoría de los fertilizantes inorgánicos se pueden aplicar directamente al suelo y las plantas sin necesidad de mezclarlos; sin embargo, dependiendo del porcentaje de nutrientes necesarios en la tierra, generalmente se mezclan entre los compuestos. Este es un ejemplo de una mezcla de urea y nitrato de amonio, entre otras sustancias. A continuación, se presentará un cuadro de tipos de abonos nitrogenados empleados en la agricultura y el porcentaje de Nitrógeno de cada compuesto:

Tabla 3

Abonos nitrogenados importantes

Abonos	Nombre	Formula Química	Contenido de N (%)
Amoniacales	a) Gas amónico	NH_3	82%
	b) Agua amoniacal	$\text{NH}_3, \text{NH}_4\text{OH}$	--
	c) Sulfato amónico	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	21
Nítricos	a) Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ etc.	16
	b) Nitrato sódico	NaNO_3	16
Amonico-Nitricos	a) Nitrato amónico	NH_4NO_3	35
	b) Nitrato amónico-cálcico	$\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CaCO}_3$	26
	c) Nitrosulfato amónico	$\text{NH}_4\text{NO}_3(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	26
Amidas	a) Urea	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	46
	b) Cianamida cálcica	CaCN_2	22
Amonitratos y amidas	Solución de nitrato amónico y urea	$\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CO}(\text{NH}_2)_2$	28

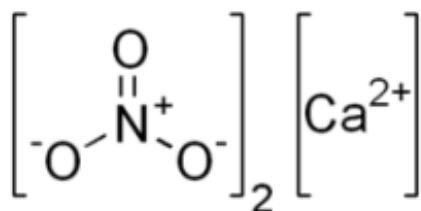
Fuente: Finck Arnold, Fertilizantes y Fertilización, Editorial Reverté, p.37

2.4 Definición química de nitrato de calcio

El nitrato de calcio es un compuesto químico inorgánico formado por nitrógeno, oxígeno y calcio, que se pueden hallar con frecuencia en el suelo y en las aguas naturales, algunas veces en las eflorescencias cristalinas que se forman en algunas paredes y grutas. Esta sal, conocida como tetrahidrato, absorbe la humedad del aire. “El tetrahidrato, monoclínico, densidad de 1.82 cristaliza de sus soluciones a temperaturas no superiores a 42.7 °C. Se conoce otra forma de tetrahidrato, que se funde a 39.6 °C” (Kirk, 1998). A continuación, se presentará algunas propiedades fisicoquímicas del Nitrato de Calcio, así como también su estructura química:

Figura 1

Estructura química de Nitrato de Calcio



Fuente: (Cazares Carrion, 2012)

Tabla 4

Propiedades fisicoquímicas del nitrato de calcio

Propiedades	Valor
Formula Química	Ca(NO ₃) ₂
Color	Ámbar
Inflamabilidad	No Inflamabilidad
Punto de fusión	561°C
Punto de Ebullición a 760 mmHg	132 °C
Peso Molecular	164.10 gr/mol
Solubilidad en agua (20°C)	1212g/L

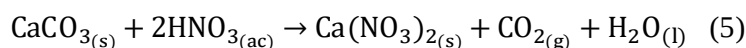
Densidad	2.504 g/cm ³
Estructura Cristalina	Cúbico

Fuente: Variadas (Anatolievievich, 2015), (Greene & Pohanish, 2005), (Perry, 1984)

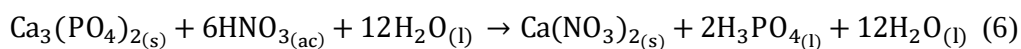
2.4.1 Formas de obtención del nitrato de calcio

Esta sustancia se puede obtener de diversas reacciones químicas, tales como:

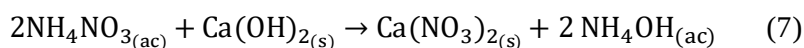
- Por reacción entre carbonato de calcio con ácido nítrico, en la cual se libera dióxido de carbono en forma de gas como parte de la reacción (Ec. 5).



- También como un subproducto del proceso de Odda, el cual consiste en la extracción del Ca del mineral de apatita (mineral de fosfato), para la extracción se usa ácido nítrico generando el nitrato de calcio según la ecuación (Ec. 6):



- También puede ser preparado a partir de una solución acuosa de nitrato de amonio e hidróxido de calcio (Ec. 7):



2.5 Aplicaciones técnicas del nitrato de calcio

- Aplicación como materia prima en la fabricación de nitratos

Al tener el anión (NO_3) en su estructura, el nitrato de calcio sirve como base para la fabricación de otros nitratos. El intercambio de aniones lleva a la síntesis de este. Este proceso generalmente utiliza la solubilidad del sulfato en un metal y $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. Después de la evaporación o filtración del líquido, se precipita el sulfato de calcio y se obtiene el nitrato deseado (Becerra & Celeron, 2017).

- Aplicación en la producción de cátodos de revestimiento

El revestimiento puede usarse para evitar la corrosión de los metales, pero también se puede usar para endurecer las superficies, rectificar o recubrir las dimensiones de las piezas metálicas seleccionadas para ayudar a resistir la abrasión y tener una mejor lubricación. Las sales, como el nitrato de calcio, se dejan en la superficie del metal que se recubre, lo que provoca una serie de fallas. Las sales tienen una naturaleza higroscópica, lo que significa que capturan el agua del entorno que las rodea, lo que les permite alcanzar una mayor estabilidad química, y el nitrato de calcio logra adaptarse a esta condición.

- Aplicación como fertilizante

A pesar de ser un material inorgánico, el $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ tiene nutrientes que las plantas pueden absorber fácilmente, por ello, se emplea como un fertilizante. El nitrógeno que contiene es esencial para el crecimiento de las plantas que lo utilizan. El calcio que posee se usa para prevenir y controlar los estados carenciales causados por deficiencias y desequilibrios en la asimilación del calcio, como el acorchado de la manzana, la bifurcación de la raíz de la remolacha, etc. Estos cultivos se hallan en suelos ácidos o básicos, donde es difícil absorber el calcio.

- Aplicación como reactivo analítico

Al purificarse, el nitrato de calcio puede llegar a tener una concentración de pureza del 90 al 95 por ciento, lo que es muy útil en los ensayos de laboratorio. El proceso de purificación de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ se puede lograr a través de dos métodos de evaporación y seis reacciones químicas. Sin embargo, si se logra cristalizar, el nitrato de calcio obtenido de esta forma ya se libera de cualquier tipo de impureza, y cualquiera de los métodos expuestos se puede utilizar para alcanzar este grado analítico.

- Aplicación en aguas residuales

El nitrato de calcio se usa para tratar las aguas residuales debido a su anión NO_3^- , que permite un acondicionamiento previo para evitar los olores de emisiones. Al contener esta sal, el

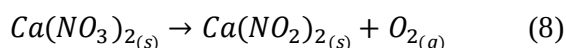
agua detiene el metabolismo de los sulfatos presentes, evitando la formación de sulfuro de hidrogeno.

En la purificación del agua como floculante, donde la floculación es un proceso químico que utiliza compuestos llamados floculantes para aglutinar los sólidos en suspensión, permitiendo que los sólidos puedan decantar. Luego, el agua y los desechos sólidos se filtran, lo que mejora la filtración. El nitrato de calcio es empleado para tratar aguas residuales tales como las servidas domésticas, minería y de las industriales.

- Aplicación en productos explosivos

El uso del nitrato de calcio como explosivo se debe a su naturaleza explosiva la cual lo ubica como un explosivo deflagrante. “Los explosivos deflagrantes son conocidos como propulsores debido a su baja potencia, estos tipos de explosivos al contener oxígeno logran su propia combustión y se puede hacer explotar bajo condiciones de confinamiento” (Suárez, 2014). La velocidad de estos no supera la velocidad del sonido, empleando se en la pirotecnia y algunas aplicaciones donde se requiere baja energía.

Se sabe que fuegos artificiales usan una variedad de metales que, al quemarse, generan chispas de una variedad de colores. Los óxidos de metal y las sales se utilizan en los fuegos artificiales para producir colores muy brillantes. En la pirotecnia, la combustión de materiales no explosivos puede provocar llamas, chipas y humos. Por tener el anión NO_3^- , el $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ se emplea como sustancia oxidante. Estos tienen la labor de dar el oxígeno a la reacción de combustión, descomponiéndose de la siguiente manera:



Cediendo el anión NO_3^- un tercio de su oxígeno que posee es que se logra la combustión. El color que desprende el nitrato de calcio es un color naranja a altas temperaturas.

2.6 Fertilizante nitrato de calcio

El compuesto químico en estado sólido es una sal granulada blanca con alta solubilidad en el agua, altamente higroscópica (puede absorber la humedad del ambiente) y, tiene un efecto alcalinizante. El nitrato es fácilmente aprovechado por las plantas, sin necesidad de una descomposición química previa, fluye con el flujo del agua en las cercanías de las raíces, hasta lograr subir a la superficie externa de estas. Este movimiento se denomina flujo de masa (movimiento en el flujo de agua) (Finck, 1988).

El calcio es un macronutriente importante para las plantas porque es abundante en el suelo y generalmente basta para satisfacer las necesidades de las plantas. Sin embargo, conservar las cantidades de calcio óptimos en el suelo es crucial porque es un componente estructural de la pared celular y es esencial para la información que se almacena en las nuevas células. Una buena provisión garantiza una buena estructura de la planta y el fruto, lo que aumenta la conservación y la dureza de tubérculos, frutos y bulbos y reduce la pérdida posterior a la cosecha (Finck, 1988).

Por otra parte, el calcio se encuentra de tal manera integrada en la pared celular que no es posible utilizar el que poseen las células viejas para construir las nuevas (Finck, 1988).

Las plantas con un déficit de calcio son delgadas en comparación con otras porque producen menor cantidad de células; sus tallos son frágiles porque sus paredes celulares son más pequeñas de lo normal. La insuficiencia de calcio limita el desarrollo de los tallos, las hojas y otros elementos. Las raíces deficientes de calcio impiden el crecimiento rápido de la planta (Criollo, 2011).

En general calcio formar parte en las hojas de las diferentes plantas, la escasez de este elemento frena el desarrollo y despliegue de hojas nuevas. También impide el crecimiento marginal de las hojas existentes, las cuales adquieren una forma rizada (Thompson & Troeh, 1982).

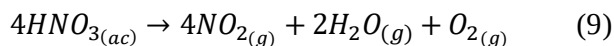
2.7 Definición química del carbonato de calcio

El carbonato de calcio es una sal cuya formula química es CaCO_3 . Se encuentra principalmente en minerales, rocas y algunos esqueletos invertebrados como moluscos o corales, y representa cerca del 4% de la corteza terrestre (Guevara & Castro, 2018).

El CaCO_3 es un mineral cuya reacción se caracteriza por su efervescencia (libera gas) cuando entra en contacto con ácidos diluidos debido a que genera CO_2 , su peso molecular es 100.086 g/mol, al calentarse a una temperatura entre 825°C y 1339 °C se descompone formando CaO o cal viva. El carbonato de calcio es un polvo blanco o cristales incoloros, inodoros e insípidos, insolubles en alcohol y poco soluble en agua (1-2 mg/100ml); altamente soluble en ácidos diluidos y cloruro de amonio, Tiene una densidad entre 2,6 y 2,95 g/cm³, una dureza de 3 a 4 en la escala Mohs, una humedad máxima de 0.09% (Wolfgang, 2001).

2.8 Definición química del ácido nítrico

El ácido nítrico (HNO_3) es un líquido incoloro con un peso mol. 63.016 g/mol cuyo punto de ebullición es 83 °C y el punto de fusión de 41.59 °C. El HNO_3 pura tiene una alta presión de vapor, se mezcla con agua en todas las proporciones y se descompone lentamente al dejarse al aire libre, según la siguiente ecuación causada por la luz hace que el ácido concentrado se vuelva amarillento. (Cazares, 2012):



El ácido nítrico se emplea para producir nitratos inorgánicos y orgánicos, explosivos, fertilizantes, intermedios colorantes y productos orgánicos sintéticos.

2.9 Maneras de capturar dióxido de carbono

El dióxido de carbono (CO_2) también se conoce como gas carbónico o anhídrido carbónico. Es un gas suavemente ácido, inodoro e incoloro, ligeramente tóxico en condiciones ambientales. El

principal gas que contribuye al calentamiento global es el dióxido de carbono, que representa aproximadamente el 72% de los gases de efecto invernadero producidos, mucho más que el metano y el óxido nitroso (Soto Inocente, 2018). Las emisiones de CO₂ en el Perú están reguladas por el MINAM (Ministerio del Ambiente) junto con la OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental).

Existen varias formas técnicas empleadas para la captación y separación del CO₂ gaseoso, aunque existe métodos más costosos debido a la tecnología involucrada en ello. Algunos métodos pueden ser:

- Absorción química de CO₂ en líquidos

La absorción de gases requiere que los gases se mezclen con un líquido en el cual se va a disolver (retener el gas) en el cual se transfiere cierta cantidad uno o más componentes del gas y para dar como resultado una solución en el líquido. Esta operación depende de la transferencia de masa del gas al líquido. En los procesos industriales, la absorción se acompaña de una reacción química, que generalmente ocurre en la fase líquida, rara vez en la fase gaseosa o ambas.

Para estos procesos industriales, se utilizan columnas de absorción con un lecho de relleno fijo o torres empaquetadas. Los fluidos están en contacto continuo durante su trayectoria a través de las torres empacadas y de aspersión a contracorriente (España Patente nº ES 2003265, 1987).

- Métodos Criogénicos

A bajas temperaturas y altas presiones, el CO₂ puede condensarse para luego separarse de otros gases que no se condensan con facilidad. La condensación y destilación criogénica (CDC) son los componentes principales del proceso. A la entrada, se elimina la humedad de los gases de combustión posteriormente comprimidos, el gas seco es acondicionado en una columna de condensación para recuperar el CO₂ condensado. Este método elimina el CO₂ de mezclas de CH₄/CO₂ y otros gases que se utilizan en la recuperación de hidrocarburos de fuentes naturales (Núñez, Gonzales, & Saura, 2015).

- Adsorción física en sólidos

Debido al contacto con la superficie y la porosidad de las partículas, el CO₂ se retiene en el sólido durante la adsorción. Este método utiliza condiciones casi isotérmicas y funciona en dos etapas: adsorción, que requiere una presión elevada para capturar el CO₂; y recuperación, que requiere una presión menos elevada para liberar y recuperar el CO₂ capturado (Núñez, Gonzales, & Saura, 2015).

- Separación selectiva por membranas

La difusión de gases de diferentes tamaños moleculares ocurre mediante el arreglo de membranas. Este método evita los cambios de fase porque las membranas de adsorción de gases están conectadas a una membrana semipermeable con un líquido de absorción para proporcionar un área de contacto y evitar que el gas se mezcle con el líquido. La separación depende de la velocidad de difusión de cada gas (Hao, Hsin, & Chorng, 2003).

2.10 Definición química de otros reactivos químicos

- Hidróxido de Sodio

La soda caustica, también conocida como NaOH, es un sólido blanco cristalino, inoloro que absorbe con facilidad el CO₂ y la humedad del aire a temperatura ambiente. Compuesto químico muy corrosivo que libera calor al disolverse en agua o neutralizarse. Su peso molecular es de 40 gramos por mol y su solubilidad en agua es de 1,11 gramos por mililitro (IDEM).

- Hidróxido de Potasio

El KOH, una base fuerte como el NaOH, es un compuesto inorgánico cuya fórmula es KOH. Es un sólido en forma de gránulos blanco-amarillo claro delicuescente e inodoro. Es una sustancia corrosiva que libera calor al entrar en contacto con el agua o en una reacción para neutralizarse con un ácido. Su peso molecular es de 56,11 g/mol y su solubilidad en agua es de 1,21 gramos por mililitro a 25 °C (Enríquez, 2013).

- Carbonato de Sodio

La sal neutra del Ácido carbónico es el carbonato de sodio (Na_2CO_3). Se puede hallar de manera natural formando anhídros o hidratados, siendo un polvo cristalino, blanco e higroscópico. Esta sal se disuelve lentamente, y a medida que esta solución se evapora lentamente, se puede obtener "Sosa cristal", cuya fórmula es $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. El carbonato de sodio anhidro tiene un peso molecular de 106 gramos por mol y su solubilidad en agua es de 0,34 gramos por mililitro a 27 °C.

En la textilería se utiliza como acondicionador y fijador de color, para la fabricación de detergente, en la industria del vidrio para mejorar la manipulación del vidrio, también se logra emplear en el tratamiento de aguas y en el laboratorio para la titulación de algunas sustancias, lo que lo convierte en un producto controlado en el Perú.

- Carbonato de Potasio

“El carbonato de Potasio (K_2CO_3) como sal anhidra tiene una apariencia en polvo o como gránulo de color blanco, inodoro, delicuescente e insoluble en alcohol. Forma varios hidratos, pertenece a la familia de sales inorgánicas alcalinas” (Bravo, 2013).

“El carbonato de potasio anhidro tiene un peso molecular es de 138.2 g/mol, su punto de fusión es 891°C, su solubilidad del K_2CO_3 en 100 ml de agua a 0°C es de 105.5 gr y a 100°C es de 156 g/mol” (Perry, 2001).

Las aplicaciones del carbonato de potasio son las siguientes:

- Como artículos de limpieza siendo un compuesto álcali en el tratamiento de calderas, jabones líquidos y detergentes.
- Como purificador de gases Purificación del H_2S y CO_2 por la absorción en una solución del carbonato de potasio.
- Proceso de elaboración de cristales por ejemplo tubos de televisión, ampollitas, tubos fluorescentes, etc.
- Entre otros usos está la fabricación de fertilizantes especializados, lo que lo convierte en una solución alcalina. Su costo es alto y se utiliza principalmente para crear fertilizantes

foliares de alta concentración de potasio y fertilizantes líquidos para plantas de invernadero y hortalizas (INTAGRI, 2020).

- Nitrato de Potasio

El KNO_3 es un polvo blanco cristalino e incoloro que ligeramente se disuelve en agua, con una solubilidad de 31,6 gramos de KNO_3 en 100 mililitros de H_2O a una temperatura de 20 °C. Aunque no es muy higroscópico, es un compuesto oxidante y no es soluble en alcohol. Puede usarse en una variedad de campos, como la producción de explosivos, cerillas, fertilizantes, pirotecnia, vidrio, ácido nítrico y combustible para cohetes.

- Nitrato de Sodio

El nitrato de sodio (NaNO_3) es una sustancia incolora, ligeramente hidroscofia y altamente oxidante, muy soluble en agua siendo esta de 91 gr de NaNO_3 /100 ml de H_2O a 25°C, mezclado con sustancias orgánicas puede provocar explosiones. Entre sus aplicaciones está el uso en la agricultura como un fertilizante ya que contiene nitrógeno, fundido con carbonato sódico para la obtención de cromo, como conservante, preparación de pólvora negra y purificación de oro, un aditivo para el cemento y anteriormente se empleaba para obtener ácido nítrico.

- Sulfato de Manganeso

El sulfato de manganeso (MnSO_4) se puede encontrar en dos estados: monohidratado o tetrahidratado. El estado monohidratado tiene una apariencia de polvo rosa, mientras que el estado tetrahidratado forma cristales rosados. Tiene un peso molecular de 169,02 gramos por mol y su solubilidad es de 52 gramos a 5 °C y 70 gramos a 70 °C. Aunque perjudica a la vida acuática, no es inflamable. El sulfato de manganeso se usa principalmente como fertilizante (Pubchem, 2023).

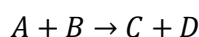
- Nitrato de Manganeso

Compuesto inorgánico que es una sal cuya formula es $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$. Generalmente se encuentra enlazado con cuatro moléculas de agua para formar nitrato de manganeso tetrahidratado,

pero también se puede encontrar con seis moléculas de agua produciendo hexahidratado o solo una molécula de agua para formar monohidratado. En general, tiene un tono rosa pálido y se puede disolver en agua y alcohol fácilmente. Se puede usar como fertilizante o colorante.

2.11 Cinética Química

La cinética química se define como el estudio teórico práctico de la rapidez con la que se lleva a cabo una determinada reacción química y los diversos factores pueden afectarla, la rapidez se debe tomar en cuenta como la masa que se forma de un producto o el consumo de un reactante en un determinado tiempo, dando así una ecuación de velocidad (Smith, 1991). Para la siguiente ecuación dada:



La velocidad de reacción para A y B sería, $r_A = -\frac{d[A]}{dt}$ y $r_B = -\frac{d[B]}{dt}$ respectivamente, se emplea el signo menos debido a que ambos se estarán consumiendo al ser reactantes de la misma forma se expresaría la velocidad para C y D, $r_C = \frac{d[C]}{dt}$ y $r_D = \frac{d[D]}{dt}$ se debe señalar que estas son las velocidades de reacción para cada una de las sustancias (Fogler, 2008). Sin embargo, (Smith, 1991) la ley de velocidad de reacción relaciona las concentraciones de los reactivos incluyendo la constante de velocidad específica de la reacción k , la cual depende de la temperatura y se describirá con la ecuación de Arrhenius.

La expresión matemática de la ley de velocidad de reacción a la cual se rige la ecuación química empleada de ejemplo será:

$$r = kA^\alpha B^\beta$$

Donde:

k : constante de velocidad cinética.

$[A]$, $[B]$: concentración de los reactantes.

β, α : orden parcial de reacción

Ahora β, α que son las ordenes parciales de reacción, lo cual quiere expresar que la reacción es de orden α con respecto al reactivo A y de orden β respecto al reactivo B, y que la suma de ambos dará el orden global de la reacción n (Fogler, 2008).

$$n = \beta + \alpha$$

La ecuación de la ley de velocidad de reacción empleada puede variar dependiendo de la reacción, por ejemplos si hay más reactivos, condiciones de la reacción, etc. Por lo que hablaremos sobre las reacciones y como se pueden clasificar de diferentes maneras:

- Por el número de fases

Por ello (Serratos, Segura, etc, 2022) plantea una clasificación donde “las reacciones pueden ser homogéneas, es decir, todas las sustancias estarán en una sola fase y las reacciones heterogéneas en la cual las sustancias se encuentran de diferentes fases”.

- Tipo de reacción

Pueden ser sencillas consisten en único proceso químico o complejas donde la reacción se da en dos o más etapas, además estos pueden ser irreversibles la reacción se da en una sola dirección y reversibles donde la reacción establecerá un equilibrio químico (Serratos, Segura, etc, 2022).

En un estudio cinético de reacción se debe tener en cuenta las condiciones a las cuales se desarrollará la reacción, con estas condiciones específicas de la reacción a investigar se podrá profundizar más a detalle y justificar el porqué de la ecuación de la ley de velocidad, algunas de estas condiciones son:

- Concentración en exceso

(Fogler, 2008) nos dice que “si un reactante está presente en una concentración mucho mayor que los demás reactantes, se puede inferir que su concentración no sufre un cambio significativo durante la reacción”.

- Orden de reacción cero

Según (Fogler, 2008) plantea “si la reacción es de orden cero respecto a un reactante, significa que la velocidad de la reacción es independiente de la concentración de ese reactante, por lo tanto, este reactante se podrá omitir”.

- Reacciones en serie

Si en una de las etapas de la reacción es mucho más lento que los otros, la velocidad de la reacción global estará controlada por este paso y la concentración de los reactantes del paso rápido puede ser considerada constante (Smith, 1991).

- Condición de Saturación

Planteado por (Smith, 1991) “se da en sistemas catalíticos cuando un reactante está en una concentración elevada de tal manera que satura al catalizador empleado en la reacción, por lo tanto, la velocidad de reacción se vuelve independiente de la concentración del reactante”.

- Cinética controlada por la fase gaseosa o líquida

Si la reacción está controlada por la fase gaseosa o líquida en lugar de la fase sólida, la concentración del reactante sólido puede no ser un factor limitante. Por lo tanto, la cinética de reacción puede depender principalmente de las concentraciones de los reactantes en la fase fluida, por lo que se podrá omitir el reactante sólido de la ecuación cinética (Smith, 1991).

- Características de una partícula sólida

Para reacciones heterogéneas irreversibles, se deberá tener ciertos puntos en la cinética de reacción como la transferencia de masa del fluido a la superficie externa del sólido difusión externa, la difusión intergranular en la partícula y la reacción intrínseca en el centro activo (Smith, 1991).

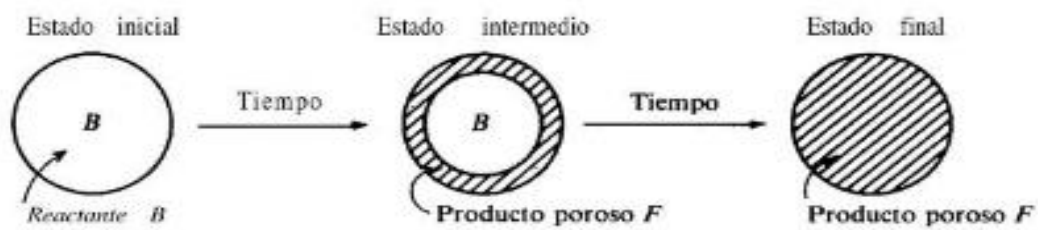
Para reactivo sólido no porosos la difusión intergranular estaría dada conforme se desarrolle la reacción y se genere un producto sólido poroso según la fig. 2, sin embargo, para un producto líquido la difusión intergranular se reduciría significativamente ya que la región de

difusión intergranular sería menor, no obstante, si el reactivo sólido es fino se tendrá mayor área de contacto en comparación del volumen de la partícula en estado sólido (Fogler, 2008).

Para reactivos sólidos alta y medianamente porosos ver fig. 3 y fig. 4, estable que no hay resistencia a la difusión en los poros en las partículas altamente porosas mientras que para los medianamente porosos si se considera la difusión en los poros conforme avance la reacción, debido a que la reacción va formando un producto sólido pero esta difusión intergranular se ve reducida cuando el producto formado es un líquido (Smith, 1991).

Figura 2

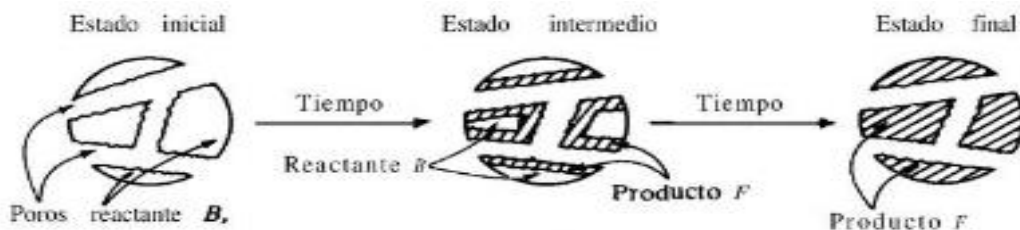
Modelo para reacción no catalíticas gas-sólido no poroso.



Fuente: (Smith, 1991)

Figura 3

Modelo para reacción no catalíticas gas-sólido altamente poroso



Fuente: (Smith, 1991)

Figura 4

Modelo para reacción no catalíticas gas-sólido medianamente poroso.



- Temperatura

$$K = Ae^{(-\frac{E_a}{RT})} \quad (10)$$

Donde:

K es la constante de rapidéz.

A es el factor de frecuencia o número de colisiones

E_a es la energía de activación (J/mol)

R es constante de los gases (J/mol K)

T es la Temperatura (K)

34

- Estado físico de los reactivos

Dada la reacción, cuando los reactivos interactúan en diferentes fases, la velocidad de reacción disminuirá si su área de contacto es menor, por lo tanto, si su área de contacto aumenta, la velocidad de reacción aumentará.

Al hallar los reactivos en diferentes fases, surgen nuevos factores cinéticos a investigar. En el aspecto de la reacción química, es necesario analizar la velocidad de transporte, ya que generalmente es significativamente más lenta que la velocidad intrínseca de la reacción. Además, las etapas de transporte determinan la cinética del proceso. La resistencia al transporte se reduce con una mayor área de contacto. Sin embargo, la difusividad del reactivo en el medio y su solubilidad, que son el límite de la concentración del reactivo y se determinan por el equilibrio entre las fases, también son cruciales (Cazares, 2012).

- Concentración de reactivos

Cuanto mayor sea la concentración de los reactivos en un recipiente, ya sea que estén en disolución o son gases encerrados, más rápida será la velocidad de la reacción en la que participan. Esto se debe a que, al haber la gran cantidad de moléculas en un mismo espacio, aumentará el número de choques entre sí. Hay situaciones en las que la rapidez de la reacción no depende de la concentración, y la cinética de la reacción depende de otros factores del sistema, como la radiación solar o la superficie específica disponible en una reacción gas-sólido catalítica en la que todos los centros activos del catalizador siempre están ocupados por el exceso de reactivo gas (Cazares, 2012).

2.12 Filtración

“La filtración es la separación de partículas sólidas a partir de un fluido mediante el paso del fluido a través de un medio filtrante o pared separadora sobre el cual se depositan sólidos” (McCabe, Smith, & Harriott, 2007). Debido a la variedad de materiales a filtrar y diferentes condiciones que estas conllevan se han desarrollado diferentes tipos de filtración.

- Filtro prensa

Este tipo de filtración es de filtración discontinua porque utiliza una gran diferencia de presión a través del medio filtrante con el fin de facilitar una filtración rápida y económica. Está compuesto por una serie de placas que producen una continuidad de cámaras o compartimentos en los cuales se depositan los sólidos. Por lo tanto, se coloca una lona encima de las placas, lo que ayuda a la retención de sólidos. Las placas pueden ser cuadriculares o circulares y pueden estar dispuestas de forma vertical o horizontal. Según el tipo de cámara, las placas generalmente están hechas de polipropileno moldeado (McCabe, Smith, & Harriott, 2007).

- Filtro a vacío

La filtración continua de vacío es un tipo de filtración en la que se retiene el sólido dejando pasar el líquido a través de un proceso de succión del aire a través de un medio filtrante que puede estar en movimiento o inmóvil, sobre el cual se depositan los sólidos formando una torta. Un filtro de vacío continuo no tiene una gran diferencia de presión entre las capas del medio filtrante. Esto se debe a que los diferentes diseños de filtros se diferencian en la forma para realizar la suspensión, la forma de la superficie que actúa como filtro y el proceso en que se descargan las partículas sólidas. Sin embargo, la mayor parte de ellos aplican vacío desde una fuente estacionaria para accionar las partes de la unidad del medio de una válvula rotatoria (McCabe, Smith, & Harriott, 2007).

2.13 Fugacidad

Lewis inventó el término "fugacidad" para representar las ecuaciones de gases ideales de la misma manera que las ecuaciones de gases reales. Sin embargo, Hildebrand sostiene que la fugacidad calcula la facilidad de una sustancia a escapar del medio en el que se haya atrapado. Si se tiene que el medio sea una mezcla, la fugacidad mide la facilidad de una sustancia a escapar de la mezcla. La fugacidad y la miscibilidad están estrechamente relacionadas (D., 2014).

2.14 Valor actual neto (VAN)

Permite saber si el proyecto el cual se desea implementar es beneficioso o no, el procedimiento consiste en un diferencial dado por el valor presente de los flujos futuros del proyecto en este caso planta y la inversión necesaria que permite efectuar el proyecto. Dependiendo del valor de VAN se tiene los siguientes criterios:

- Si VAN es mayor que cero ($VAN > 0$), entonces el planteamiento del proyecto es factible.
- Si VAN es igual a cero ($VAN = 0$), se dice que estamos en un punto mínimo aceptable, y se deberá tener otros criterios para la inversión.
- Si VAN es menor a cero ($VAN < 0$), entonces el planteamiento del proyecto no es factible.

La fórmula que permite hallar el VAN de cualquier proyecto es:

$$VAN = C_0 + \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (11)$$

Fuente: (Virreira, 2020)

Donde:

C_0 : Flujo de Caja en el tiempo cero (inicial). Por lo general es negativo debido a que es igual a la inversión que se realiza.

C_t : Flujo de caja a partir del año 1 al año T.

r = tasa de descuento.

2.15 Tasa interna de retorno (TIR)

Nos ayuda a medir la rentabilidad que el proyecto generaría a los inversionistas, este se obtiene haciendo que el VAN sea igual a cero y el TIR representaría la tasa de descuento. Si se emplea el TIR como una pauta para la decisión sobre un proyecto, esta pausa nos da a entender que:

- Si TIR tiene un valor mayor que la tasa de descuento ($TIR > r$), entonces el planteamiento es factible.
- Si TIR es igual a la tasa de descuento ($TIR = r$), se dice que nos encontramos en un punto mínimo aceptable, ya que la rentabilidad producida será igual a la que se necesita.
- Si TIR no logra alcanzar a la tasa de descuento ($TIR < 0$), entonces el planteamiento no es factible.

La ecuación para hallar el valor de TIR será cuando el VAN sea igual a cero entonces tenemos:

$$VAN = 0 = C_0 + \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+TIR)^t} \quad (12)$$

Fuente: (Pacheco, 2020)

Donde:

C_0 : Flujo de Caja en el tiempo cero (inicial). Por lo general es negativo debido a que es la inversión que se necesita.

C_t : Flujo de caja a partir del año 1 al año T.

El criterio del VAN y TIR es una manera de establecer la rentabilidad de una inversión; no obstante, se recomienda que su utilización se tenga en cuenta de cómo un complemento ya que miden aspectos diferentes de la rentabilidad. El VAN muestra un valor absoluto y la TIR la rentabilidad porcentual (Pacheco, 2020).

Capítulo 3. Desarrollo del trabajo

En este apartado se realizaron pruebas con varios carbonatos con diferentes tamaños de partícula y se tomaron en cuenta sus concentraciones el cual es del 96% cuyo nombre comercial de los reactivos es carbonato FM-1000, carbonato PON y carbonato 81. Para el planteamiento del desarrollo experimental se tuvo en cuenta ciertas condiciones propias del sólido CaCO_3 y del alcance del planteamiento de la reacción.

Para el carbonato empleado al ser el tamaño de las partículas sólidas muy finas para el carbonato FM-1000 y para carbonato PON y 81 cuyas partículas en su mayoría rondan los 1mm y 1.59 para mayor detalle ver los anexos, su porosidad es baja o muy baja ya que estos carbonatos son obtenidos a través de molienda y no por precipitación según (Wang, y otros, 2016). Para fines prácticos del estudio cinético de reacción para la obtención de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ el estudio se centra en la obtención del nitrato en estado líquido y no sólido, además de ello se dispondrá en las pruebas realizadas ácido nítrico en exceso al cual se le ira dosificando el carbonato de calcio para simplificar la ecuación de la ley de velocidad.

Según Smith la ecuación general para reacciones heterogéneas está limitada por la difusión externa, interna y la reacción en la superficie del sólido, incorporando estos efectos la ecuación que platea es:

$$\frac{1}{\frac{1}{K_e}} = \frac{1}{\frac{1}{K_r} + \frac{1}{K_s a} + \frac{1}{K_d}}$$

Donde:

K_e es la constante de velocidad específica de reacción para la ley de reacción.

K_s es el coeficiente de transferencia de masa externa.

K_d es el coeficiente de masa interna (para sólidos porosos).

K_r es la constante de velocidad de reacción en la superficie.

a área externa por unidad de masa del sólido.

Puesto que los términos empleados están en el denominador, se habla de una resistencia de velocidad, entonces se tendrá lo siguiente $1/K_r$ será la resistencia de reacción y $1/K_d$, $1/K_s$ se expresa como la resistencia de transferencia de masa.

Según lo expuesto sobre los $\text{Ca}(\text{CO}_3)$ empleados, el sólido al ser de baja porosidad por el tamaño de las partículas se toma como no poroso y como se va a generar nitrato de calcio líquido $1/K_d$ no se tomaría en cuenta, ahora al tratarse de una reacción irreversible donde la resistencia de la reacción es muy baja debido a que es una reacción de neutralización entre un ácido fuerte y una base débil, se podrá decir que $1/K_r \ll 1/K_s$, ya que al no haber un sólido formándose alrededor de la partícula sólida, se tendrá una capa fina y no supondría una resistencia elevada a la transferencia de masa. De lo planteado en la ecuación planteada por Smith solo dependerá de la constante de velocidad de reacción k para el caso a estudiar.

$$K_e = K_r$$

Por lo expuesto la reacción heterogénea del nitrato de calcio, se convertiría en una reacción homogénea donde dependerá de la concentración del ácido nítrico.

3.1 Parte experimental

- Preparación del experimento

Se pesará 351.2 gramos del carbonato a emplear para la prueba desarrollada, se medirá 454 ml de HNO_3 del 68% y 120 ml de agua en una probeta de 100 ml o 250 ml.

- Proceso para obtención del nitrato de calcio líquido

En un vaso de precipitado de vidrio de 2000 ml se vertiera el agua y HNO_3 medido, se prende el agitador el cual permanecerá constante durante toda la prueba cuyos rpm es alrededor de 500 y se mide la temperatura, la cual debe ser 25°C .

Se agrega el CaCO_3 hasta alcanzar un volumen de 2000 ml con la espuma generada, se va dosificando el CaCO_3 de tal manera que el volumen permanece contante y se va midiendo la temperatura cada 3-5 min.

Para ver el avance de la reacción se tomó un tiempo total de 50 min el cual será dividida en 10 partes, haciendo un análisis del consumo del carbonato cada 5 min de empezada la reacción.

Acabada la prueba cada 5 min se detiene el agitador y hará una doble filtración primero se filtra al vacío la solución obtenida a través tela de filtro la cual detiene las partículas más grandes, luego se filtra con un papel filtro obteniendo la solución de nitrato de calcio ácido debido al ácido nítrico en exceso.

Terminada la prueba se pesa el carbonato de calcio no consumido, se mide el volumen del líquido obtenido utilizando una probeta y se mide su densidad empleando densímetros, además, se pesa los sólidos obtenidos en la etapa de filtración la cual se deja secar por 48 horas.

Se registra cada uno de los datos obtenidos.

3.1.1 Equipos y materias primas:

Equipos empleados:

- Agitador de paleta de 800 RPM.
- Paleta metálica de dos aletas rectangulares.
- Vaso de precipitación de 2000 mL.
- Vaso de precipitación de 800 mL.
- Vaso de precipitación de 500 mL.
- Probeta de plástico de 100 mL.
- Probeta de plástico de 250 mL.
- Balanza analítica de 200 g Ap: ± 0.001 g
- Tela de filtro.
- Papel filtro.
- Erlenmeyer de 2000 mL.
- Filtro Buchner.
- Mangueras Buchner.

- Bomba de Vacío.
- Tapón de seguridad.
- Bureta
- Termómetro de mercurio -10°C a 100°C.
- Cronometro.
- Piseta.

Materia prima empleada (aparte del agua):

- Carbonato de Calcio FM-1000 (ASTM No 400). (Anexo 1)
- Carbonato de Calcio 81 (ASTM No 1/16). (Anexo 2)
- Carbonato de Calcio Pon (ASTM No 18). (Anexo 3)
- Ácido Nítrico al 68%.

3.2 Desarrollo experimental

3.2.1 Pruebas con el carbonato de calcio FM-1000

Tabla 5.

Tabla de datos de la reacción del CaCO_3 FM-1000 (ASTM No 400) con HNO_3 68% (1)

Reacción del CaCO_3 y HNO_3 (68%) – Replica 1					
Tiempo (min)	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$ (gr)	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$ consumido (gr)	HNO_3 68% no consumido (gr)	Vol. (L)	$\text{C}(\text{HNO}_3)$ (mol/L)
0	351.2	0	432.2	0.574	11.95
5	203.5	147.7	246.1	0.572	6.83
10	162.4	188.8	194.3	0.57	5.41
15	132.8	218.4	157.0	0.568	4.39
20	117.4	233.8	137.6	0.568	3.85
25	100.8	250.4	116.7	0.565	3.28
30	88.8	262.4	101.6	0.563	2.86
35	78.4	272.8	88.5	0.562	2.50

Continuación de la Tabla 5

40	68.8	282.4	76.4	0.56	2.16
45	62.5	288.7	68.4	0.56	1.94
50	56.6	294.6	61.0	0.558	1.74

Tabla 6.

Tabla de datos de la reacción del CaCO_3 FM-1000 (ASTM No 400) con HNO_3 68% (2)

Reacción del CaCO_3 y HNO_3 (68%) – Replica 2					
Tiempo (min)	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$ (gr)	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$ consumido (gr)	HNO_3 68% no consumido (gr)	Vol. (L)	$\text{C}(\text{HNO}_3)$ (mol/L)
0	351.2	0	432.2	0.574	11.95
5	205.2	146	248.2	0.573	6.88
10	164.2	187	196.6	0.572	5.46
15	138.6	212.6	164.3	0.57	4.58
20	120.6	230.6	141.6	0.568	3.96
25	105.1	246.1	122.1	0.566	3.42
30	94.5	256.7	108.8	0.565	3.06
35	83.7	267.5	95.2	0.564	2.68
40	75.3	275.9	84.6	0.564	2.38
45	68.5	282.7	76.0	0.562	2.15
50	61.3	289.9	66.9	0.562	1.89

Tabla 7.

Tabla de datos de la reacción del CaCO_3 FM-1000 (ASTM No 400) con HNO_3 68% (3)

Reacción del CaCO_3 y HNO_3 (68%) – Replica 3					
Tiempo (min)	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$ (gr)	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$ consumido (gr)	HNO_3 68% no consumido (gr)	Vol. (L)	$\text{C}(\text{HNO}_3)$ (mol/L)
0	351.2	0	432.2	0.574	11.95
5	200.5	150.7	242.3	0.571	6.74
10	159.3	191.9	190.4	0.569	5.31
15	130.4	220.7	154.0	0.566	4.32
20	114.5	236.7	134.0	0.565	3.76
25	96.2	255.0	110.9	0.564	3.12
30	87.1	264.1	99.4	0.561	2.81
35	77.1	274.1	86.8	0.561	2.46
40	69.7	281.5	77.5	0.559	2.2
45	63.3	287.9	69.4	0.556	1.98
50	57.4	293.8	62.0	0.556	1.77

3.2.2 Pruebas con el carbonato de calcio PON

Tabla 8.

Tabla de datos de la reacción del CaCO_3 PON (ASTM No 1/16) con HNO_3 68% (1)

Reacción del CaCO_3 y HNO_3 (68%) – Replica 1					
Tiempo (min)	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$ (gr)	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$ consumido (gr)	HNO_3 68% no consumido (gr)	Vol. (L)	$\text{C}(\text{HNO}_3)$ (mol/L)
0	351.2	0	432.2	0.574	11.95
5	216.0	135.2	261.8	0.548	7.58
10	187.5	163.7	225.9	0.546	6.57
15	161.4	189.8	193.1	0.546	5.61

Continuación de la Tabla 8

20	142.5	208.7	170.4	0.544	4.97
25	132.5	218.7	156.7	0.542	4.59
30	120.2	231.0	143.8	0.541	4.22
35	113.5	237.7	132.5	0.54	3.89
40	107.5	243.7	124.2	0.54	3.65
45	102.3	248.9	116.4	0.537	3.44
50	97.3	253.9	109.5	0.535	3.25

Tabla 9.

Tabla de datos de la reacción del CaCO_3 PON (ASTM No 1/16) con HNO_3 68% (2)

Reacción del CaCO_3 y HNO_3 (68%) – Replica 2					
Tiempo (min)	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$ (gr)	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$ consumido (gr)	HNO_3 68% no consumido (gr)	Vol. (L)	$\text{C}(\text{HNO}_3)$ (mol/L)
0	351.2	0	432.2	0.574	11.95
5	215.2	136	260.8	0.547	7.57
10	185.5	165.7	223.4	0.548	6.47
15	161.3	189.9	192.9	0.548	5.59
20	142.7	208.5	169.5	0.546	4.93
25	133.5	217.7	157.9	0.544	4.61
30	121.3	229.9	142.5	0.541	4.18
35	114.7	237	133.6	0.54	3.93
40	108.1	244.6	124.0	0.538	3.66
45	101.6	250.6	116.4	0.535	3.45
50	96.5	254.7	111.3	0.532	3.31

Tabla 10.

Tabla de datos de la reacción del CaCO_3 PON (ASTM No 1/16) con HNO_3 68% (3)

Reacción del CaCO_3 y HNO_3 (68%) – Replica 3					
Tiempo (min)	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$ (gr)	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$ consumido (gr)	HNO_3 68% no consumido (gr)	Vol. (L)	$\text{C}(\text{HNO}_3)$ (mol/L)
0	351.2	0	432.2	0.574	11.95
5	214.2	137.0	259.6	0.546	7.55
10	183.4	167.8	220.8	0.547	6.41
15	159.7	191.5	190.9	0.546	5.55
20	143.1	208.1	170.0	0.543	4.97
25	132.3	218.9	156.4	0.542	4.58
30	121.5	229.7	142.8	0.541	4.19
35	114.7	236.5	134.2	0.539	3.95
40	108.1	243.1	125.9	0.538	3.71
45	101.6	249.6	117.7	0.535	3.49
50	96.6	254.6	111.4	0.535	3.31

3.2.3 Pruebas con el carbonato de calcio 81

Tabla 11.

Tabla de datos de la reacción del CaCO_3 81 (ASTM No 18) con HNO_3 68% (1)

Reacción del CaCO_3 y HNO_3 (68%) – Replica 1					
Tiempo (min)	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$ (gr)	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$ consumido (gr)	HNO_3 68% no consumido (gr)	Vol. (L)	$\text{C}(\text{HNO}_3)$ (mol/L)
0	351.2	0	432.2	0.574	11.95
5	222.0	129.2	269.4	0.566	7.56
10	187.9	163.3	226.4	0.563	6.38
15	166.5	184.7	199.5	0.561	5.64

Continuación de la Tabla 11

20	148.8	202.4	177.2	0.562	5.00
25	134.5	216.7	159.2	0.56	4.51
30	120.2	230.3	142.0	0.558	4.04
35	111.5	239.7	130.2	0.555	3.72
40	103.2	248.0	119.7	0.553	3.44
45	96.6	254.6	111.4	0.552	3.20
50	90.7	260.5	104.0	0.55	3.00

Tabla 12.

Tabla de datos de la reacción del CaCO_3 81(ASTM No 18) con HNO_3 68% (2)

Reacción del CaCO_3 y HNO_3 (68%) – Replica 2					
Tiempo (min)	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$ (gr)	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$ consumido (gr)	HNO_3 68% no consumido (gr)	Vol. (L)	$\text{C}(\text{HNO}_3)$ (mol/L)
0	351.2	0	432.2	0.574	11.95
5	223.7	127.5	271.6	0.564	7.64
10	192.1	159.1	231.7	0.563	6.53
15	167.1	184.1	200.2	0.56	5.68
20	149.1	202.1	177.6	0.558	5.05
25	135.3	215.9	160.2	0.556	4.57
30	121.3	229.9	142.5	0.557	4.06
35	112.7	239.0	131.1	0.55	3.78
40	103.7	247.5	120.4	0.552	3.46
45	96.8	254.4	111.7	0.552	3.21
50	91.5	259.7	105.0	0.551	3.02

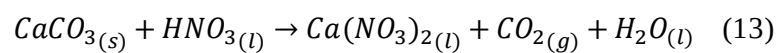
Tabla 13.

Tabla de datos de la reacción del CaCO_3 81 (ASTM No 18) con HNO_3 68% (3)

Reacción del CaCO_3 y HNO_3 (68%) – Replica 3					
Tiempo (min)	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$ (gr)	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$ consumido (gr)	HNO_3 68% no consumido (gr)	Vol. (L)	$\text{C}(\text{HNO}_3)$ (mol/L)
0	351.2	0	432.2	0.574	11.95
5	223.8	127.4	271.7	0.564	7.65
10	186.5	164.7	224.7	0.562	6.35
15	167.0	184.2	200.1	0.56	5.67
20	147.8	203.4	175.9	0.56	4.99
25	134.5	216.7	159.2	0.558	4.53
30	122.5	228.7	144.0	0.554	4.13
35	112.7	238.5	131.7	0.554	3.77
40	104.1	247.1	120.9	0.552	3.48
45	97.4	253.8	112.4	0.55	3.24
50	92.1	259.1	105.7	0.549	3.06

3.3 Cálculos y resultados

Ecuación de velocidad de reacción cinética según la reacción química:



$$v = k [\text{CaCO}_3]^m [\text{HNO}_3]^n \quad (14)$$

Donde:

V: Velocidad de reacción ($\text{mol.L}^{-1}.\text{s}^{-1}$)

K: constante de la velocidad de reacción (depende del orden de la reacción).

m, n: orden de reacción

habiendo ajustado los parámetros de la reacción para la ecuación de velocidad, debido a las sustentaciones ya explicadas al inicio del experimento, no se tomará en cuenta que la concentración de carbonato de calcio. De esta manera, la ecuación de velocidad (Ec.15) sería la siguiente:

$$v = k [HNO_3]^n \dots (15)$$

Teniendo en cuenta que la velocidad de reacción es la variación de la concentración en el tiempo, este quedaría expresado (Ec.16) de acuerdo con la siguiente:

$$-\frac{\partial[HNO_3]}{\partial t} = k[HNO_3]^n \dots (16)$$

Teniendo esta ecuación (Ec.16) se tomará diferentes ordenes de reacción y ver con cual se ajusta mejor los datos obtenidos.

3.3.1 Cálculos para $n=1$

Si el orden de reacción es 1 para la ecuación de velocidad (16), se tendrá lo siguiente:

$$-\frac{\partial[HNO_3]}{\partial t} = k[HNO_3]^1$$

$$-\frac{\partial[HNO_3]}{[HNO_3]} = k \partial t$$

$$-\int \frac{1}{[HNO_3]} \partial[HNO_3] = k \int \partial t$$

$$\ln[HNO_3]_i^f = -kt_i^f$$

$$\ln[HNO_3]_f - \ln[HNO_3]_i = -k(t_f - t_i)$$

Se sabe que el t_i = tiempo inicial, es igual a 0, la ecuación quedaría:

$$\ln[HNO_3]_f = -kt_f + \ln[HNO_3]_i \dots (17)$$

El próximo paso será ajustar los datos de cada carbonato a la ecuación (Ec.17) y se hará una gráfica con su regresión.

Tabla 14*Ln[HNO₃] del carbonato Fn-1000 (ASTM No 400)*

Tiempo (min)	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
0	2.48	2.48	2.48	2.48
5	1.92	1.93	1.91	1.92
10	1.69	1.70	1.67	1.69
15	1.48	1.52	1.46	1.49
20	1.35	1.38	1.33	1.35
25	1.19	1.23	1.14	1.19
30	1.05	1.12	1.03	1.07
35	0.92	0.99	0.90	0.93
40	0.77	0.87	0.79	0.81
45	0.66	0.76	0.68	0.70
50	0.55	0.64	0.57	0.59

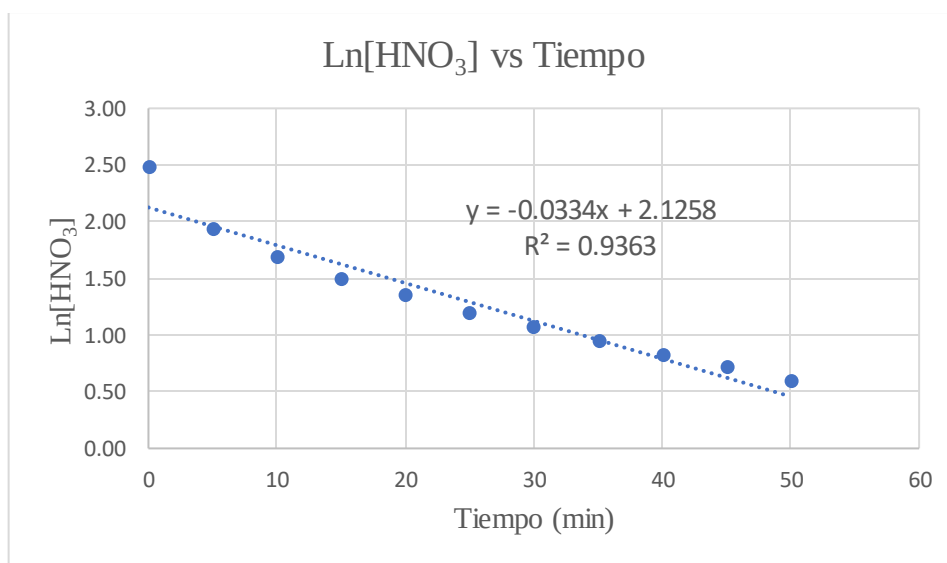
Gráfico 1*Linealización del Carbonato FN-1000, Ln[HNO₃] vs t con orden de reacción = 1*

Tabla 15*Ln[HNO₃] del Carbonato PON (ASTM No 1/16)*

Tiempo (min)	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
0	2.48	2.48	2.48	2.48
5	2.026	2.024	2.021	2.024
10	1.882	1.867	1.857	1.869
15	1.725	1.721	1.714	1.720
20	1.597	1.595	1.603	1.598
25	1.523	1.528	1.522	1.524
30	1.421	1.431	1.433	1.428
35	1.361	1.368	1.374	1.368
40	1.303	1.297	1.312	1.304
45	1.254	1.240	1.251	1.248
50	1.203	1.200	1.196	1.20

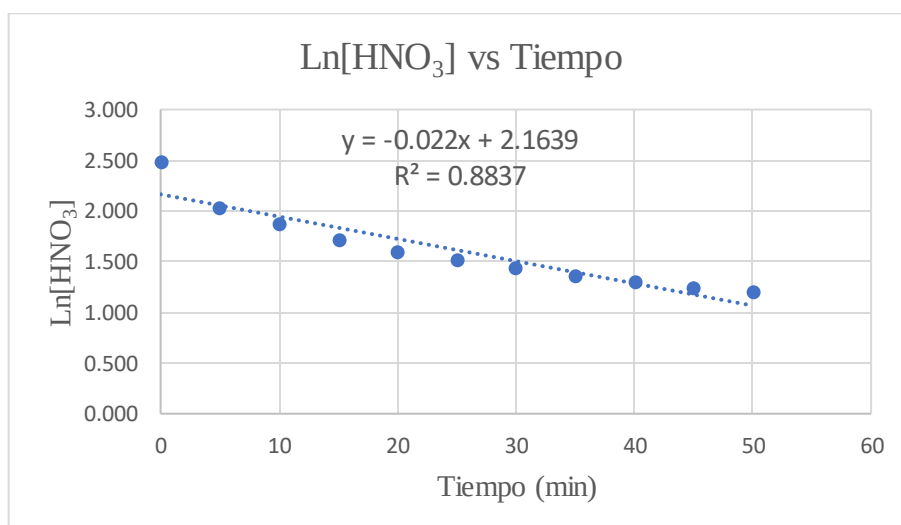
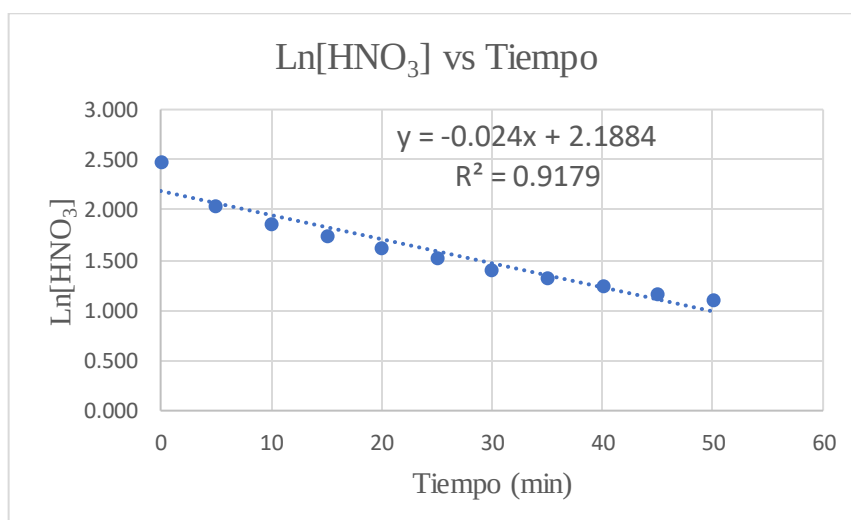
Gráfico 2*Linealización del Carbonato PON, Ln[HNO₃] vs t con orden de reacción = 1*

Tabla 16*Ln[HNO₃] del Carbonato 81 (ASTM No 18)*

Tiempo (min)	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
0	2.48	2.48	2.48	2.48
5	2.022	2.034	2.034	2.030
10	1.854	1.877	1.848	1.86
15	1.731	1.736	1.736	1.734
20	1.610	1.620	1.607	1.612
25	1.507	1.520	1.510	1.512
30	1.396	1.402	1.418	1.405
35	1.315	1.330	1.328	1.324
40	1.234	1.241	1.246	1.241
45	1.164	1.166	1.177	1.169
50	1.099	1.107	1.117	1.108

Gráfico 3*Linealización del Carbonato 81, Ln[HNO₃] vs t con orden de reacción = 1*

3.3.2 Cálculos para $n=2$

Si el orden de reacción es 2 para la ecuación de velocidad (16), se tendrá lo siguiente:

$$-\frac{\partial[HNO_3]}{\partial t} = k[HNO_3]^2$$

$$-\frac{\partial[HNO_3]}{[HNO_3]^2} = k \partial t$$

$$-\int \frac{1}{[HNO_3]^2} \partial[HNO_3] = k \int \partial t$$

$$-\frac{1}{[HNO_3]_i^f} = kt_i^f$$

$$\frac{1}{[HNO_3]_i} - \frac{1}{[HNO_3]_f} = k(t_f - t_i)$$

Se sabe que el t_i = tiempo inicial, es igual a 0, la ecuación quedaría:

$$\frac{1}{[HNO_3]_i} + kt_f = \frac{1}{[HNO_3]_f} \dots (18)$$

Ajustando los datos de cada carbonato a la ecuación (18) con su respectiva grafica se tendrá lo siguiente:

Tabla 17

1/[HNO₃] del Carbonato Fn-1000 (ASTM No 400)

Tiempo (min)	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
0	0.084	0.084	0.084	0.084
5	0.146	0.145	0.148	0.147
10	0.185	0.183	0.188	0.185
15	0.228	0.219	0.231	0.226
20	0.260	0.253	0.266	0.259
25	0.305	0.292	0.320	0.306

Continuación de la Tabla 17

30	0.349	0.327	0.355	0.344
35	0.400	0.373	0.407	0.394
40	0.462	0.420	0.454	0.445
45	0.515	0.466	0.504	0.495
50	0.576	0.529	0.565	0.557

Gráfico 4

Linealización del Carbonato Fn-1000, $1/[HNO_3]$ vs t con orden de reacción = 2

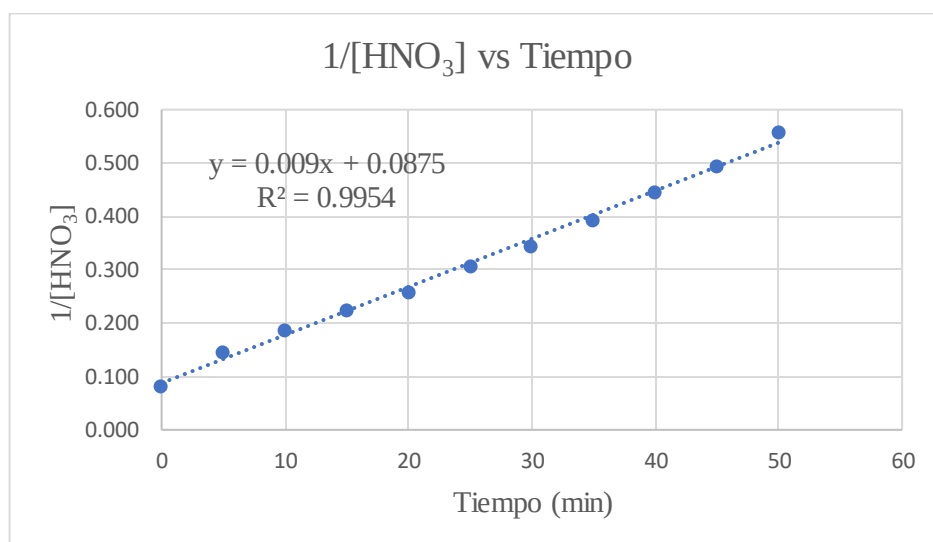


Tabla 18

$1/[HNO_3]$ del Carbonato PON (ASTM No 1/16)

Tiempo (min)	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
0	0.084	0.084	0.084	0.084
5	0.132	0.132	0.133	0.132
10	0.152	0.155	0.156	0.154
15	0.178	0.179	0.180	0.179
20	0.202	0.203	0.201	0.202

Continuación de la Tabla 18

25	0.218	0.217	0.218	0.218
30	0.241	0.239	0.239	0.240
35	0.256	0.255	0.253	0.255
40	0.272	0.273	0.269	0.271
45	0.285	0.289	0.286	0.287
50	0.300	0.301	0.303	0.301

Gráfico 5

Linealización del Carbonato PON, $1/[HNO_3]$ vs t con orden de reacción = 2

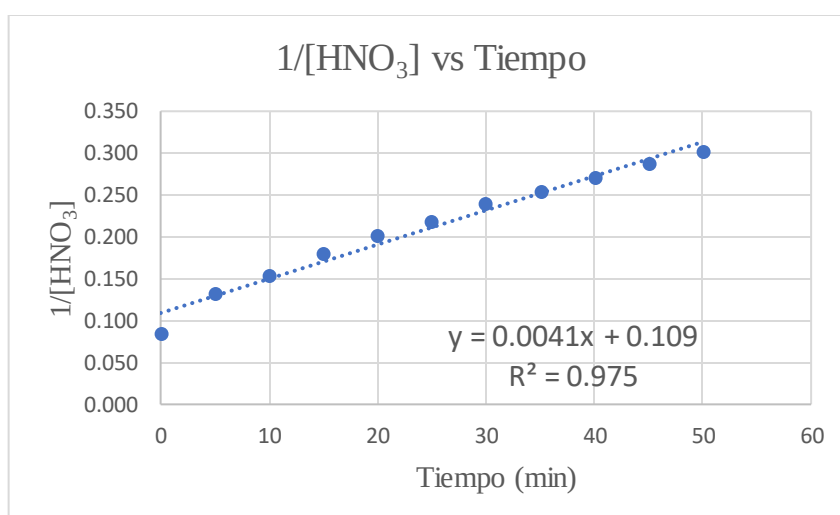


Tabla 19

$1/[HNO_3]$ del Carbonato 81 (ASTM No 18)

Tiempo (min)	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
0	0.084	0.084	0.084	0.084
5	0.132	0.131	0.131	0.131
10	0.157	0.153	0.158	0.156
15	0.177	0.176	0.176	0.177

Continuación de la Tabla 19

20	0.200	0.198	0.201	0.199
25	0.222	0.219	0.221	0.220
30	0.248	0.246	0.242	0.245
35	0.269	0.264	0.265	0.266
40	0.291	0.289	0.288	0.289
45	0.312	0.311	0.308	0.311
50	0.333	0.331	0.327	0.330

Gráfico 6

Linealización del Carbonato 81, $1/[HNO_3]$ vs t con orden de reacción = 2

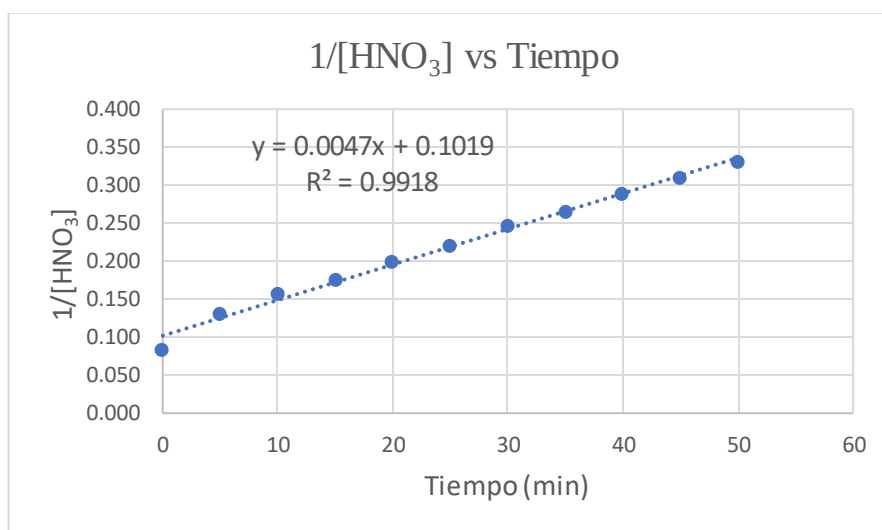


Tabla 20*Resultados de las pruebas realizadas*

Tipo de carbonato de calcio	Orden de reacción	
	n=1	n=2
Carbonato PON (ASTM No 1/16)	$y = -0.022x + 2.1639$ $R^2 = 0.8837$	$y = 0.0041x + 0.109$ $R^2 = 0.975$
Carbonato 81 (ASTM No 18)	$y = -0.024x + 2.1884$ $R^2 = 0.9179$	$y = 0.0047x + 0.1019$ $R^2 = 0.9918$
Carbonato Fn-1000 (ASTM No 400)	$y = -0.0334x + 2.1258$ $R^2 = 0.936$	$y = 0.009x + 0.0875$ $R^2 = 0.9954$

De los resultados observamos que el orden de reacción es n=2 y que la mejor constante de velocidad de reacción se obtiene del carbonato Fn-1000 (ASTM No 400).

3.3.3 Prueba con Carbonato de calcio Fn-1000

Se seleccionó el carbonato de calcio FN-1000 después de terminar la serie de pruebas para determinar el que mejor se ajustaría al objetivo trazado. El objetivo de este apartado es cumplir con las condiciones establecidas por el comprador.

Tabla 21*Prueba con FN-1000 (ASTM No 400) para lograr los estándares de venta*

Reactivos y Producto	Volumen (ml)	Densidad (gr/ml)	Masa (gr)
Agua	50	1	50
Carbonato de Calcio	-	-	365
Ácido Nítrico (53%)	650	1.32	858
Nitrato de Calcio	640	1.52	972.8

*Nota: la diferencia de masa se debe a la emisión de CO₂, gases nitrosos y evaporación del agua.

Tabla 22*Eficiencia de la prueba con FN-1000 (ASTM No 400)*

Compuesto	Cantidad	Análisis de laboratorio	Cantidad
CaCO ₃	365 gr	$0.3867 \frac{\text{Gr de Ca}}{\text{Gr de CaCO}_3}$	141.14 gr de Ca
HNO ₃	858 gr	$0.53 \frac{\text{Gr de HNO}_3}{\text{Gr de Solución}}$	454.74 gr de HNO ₃
Ca(NO ₃)	0.64 L	$213.553 \frac{\text{Gr de Ca}}{\text{L de Ca(NO}_3\text{)}}$	136.67 gr de Ca

*Nota: Ver en anexo para ver los análisis de laboratorio.

Para la eficiencia de la reacción se tomó en cuenta el análisis de calcio (Fig. 23) y ácido nítrico entrante junto con la cantidad de calcio y nitrato a la salida.

- Eficiencia del Carbonato de Calcio

$$\text{Eficiencia} = \frac{136.67 \text{ gr de Ca}}{141.14 \text{ gr de Ca}} \times 100\% = 96.83\%$$

- Eficiencia del Ácido Nítrico

$$\text{Eficiencia} = \frac{136.67 \text{ gr de Ca} * 126 \text{ gr de HNO}_3}{40 \text{ gr de Ca} * 454.74 \text{ gr de HNO}_3} \times 100\% = 94.67\%$$

3.3.4 Observaciones de las pruebas:

De las pruebas realizadas con los diferentes tamaños de grano de carbonato de calcio disponibles, se observaron los siguientes patrones:

- De acuerdo con los datos recopilados, la reacción del CaCO₃ con el HNO₃ se ajusta a una reacción de segundo orden, y la velocidad de reacción se hace menor a medida que el tamaño del grano va en aumento.
- La reacción comienza rápidamente liberando vapores ácidos y de CO₂ al entorno, pero a medida que avanza, se forman burbujas en la superficie y los vapores disminuyen.

- Cuando se encuentra ácido nítrico en el vaso de precipitado con agitación y luego se agrega carbonato de calcio, la reacción es tan brusca que es mejor comenzar agregando carbonato de calcio sin agitar el vaso.

3.4 Implementación de una línea de producción de nitrato de calcio

3.4.1 Descripción de la línea de producción

En este apartado se explicarán las diversas áreas de la empresa y los equipos disponibles para la línea de producción de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. Para dar un mejor contexto de la infraestructura de la empresa y como esta se divide en tres niveles diferentes:

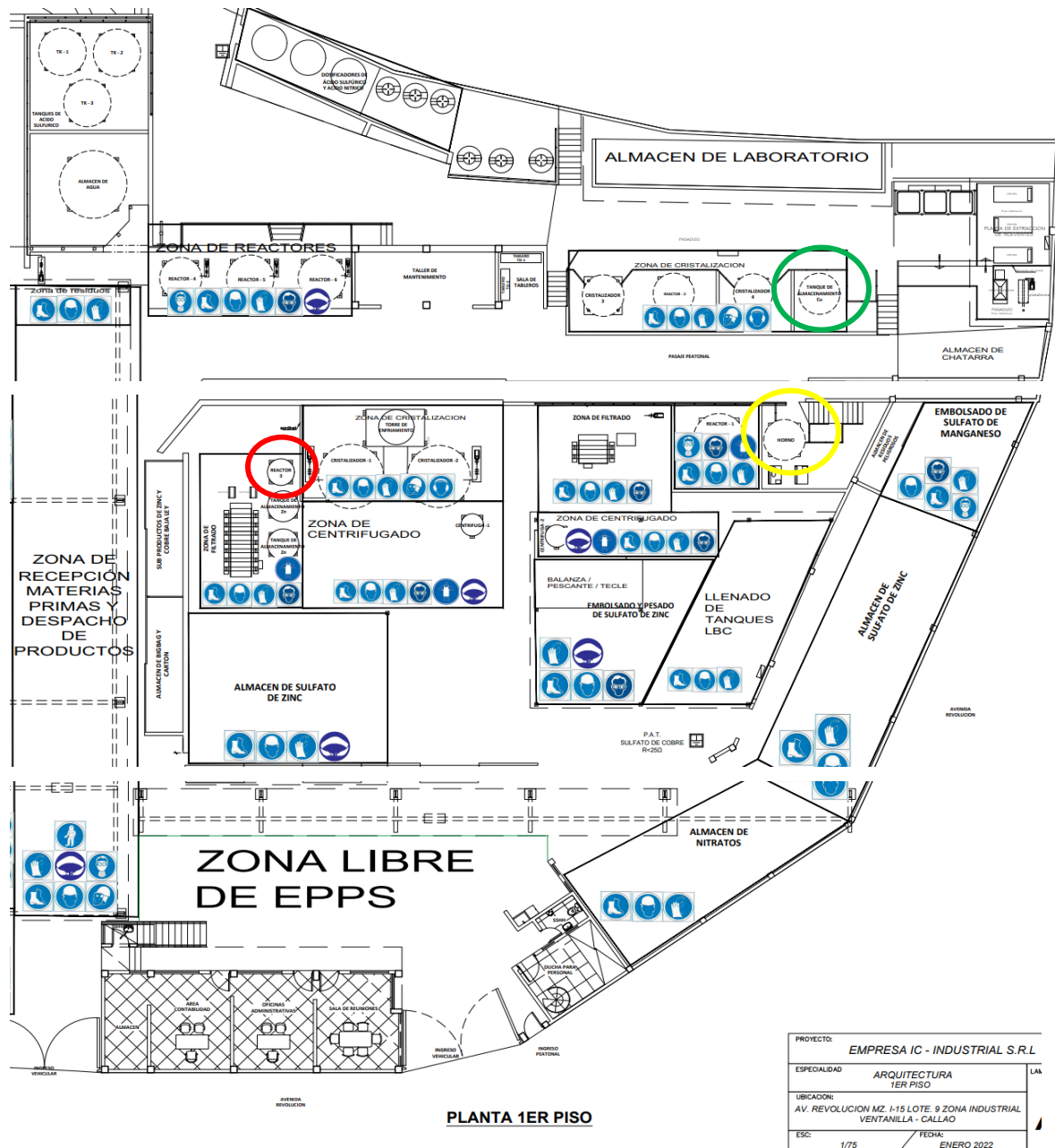
- En el primer nivel se encuentran varios equipos, incluidos los filtros de prensa, los tanques de reactor, el almacenamiento de líquidos concentrados provenientes de otras líneas de producción, la zona de depósito o almacenamiento de materias primas y productos listos para el despacho, la zona de despacho y la zona de desechos peligrosos.

- En el segundo nivel se encuentran los cristalizadores utilizados para producir sulfato de zinc y varios tanques reactores, uno de los cuales se utilizará para construir la línea de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. Este nivel alberga el laboratorio.

- En el tercer nivel se encuentran los dosificadores de ácido sulfúrico y nítrico que alimentan a los tanques reactores. Esto se hace aprovechando la diferencia de altura entre los dosificadores y los tanques reactores, lo que significa que no hay un flujo constante de ácido a los reactores.

Figura 5

Plano de la empresa



Fuente: Empresa IC-Industrial S.R.L.

Se dispondrá en el anexo imágenes para un mejor entendimiento de la planta.

En la zona roja señalada se realizó la prueba piloto del nitrato de calcio, en la zona amarilla señalada se hicieron los primeros lotes de nitrato de calcio y la zona verde se acondiciono para poder establecer la línea de nitrato de calcio líquido.

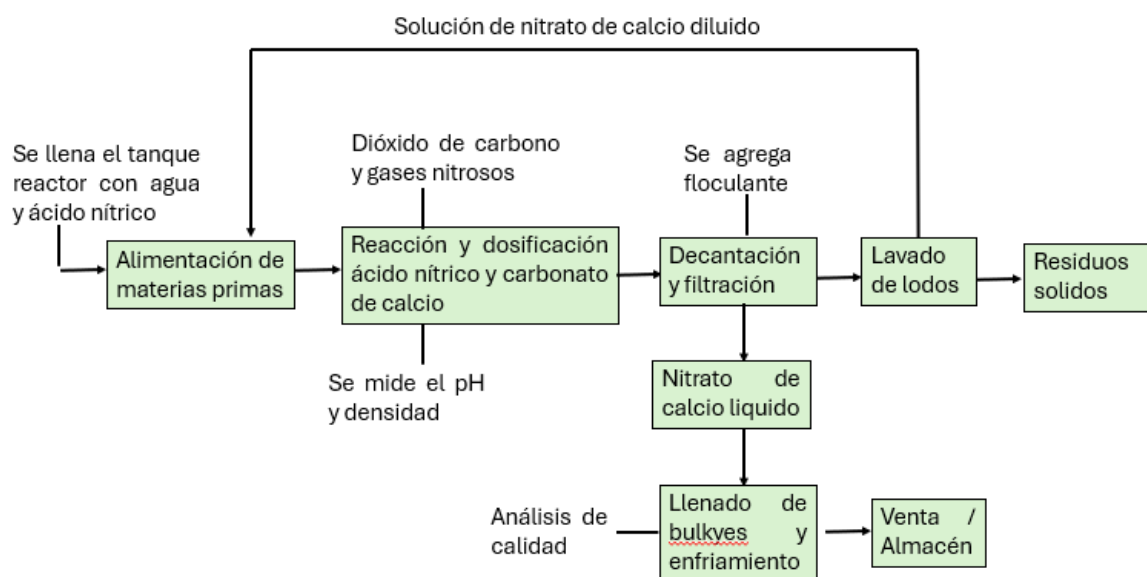
Capítulo 4. Análisis y discusión de la línea de producción de CaCO_3

4.1.1 Descripción del proceso de la línea de producción de nitrato de calcio

En este apartado se mostrará cada una de las actividades a desarrollar en la línea de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ líquido, explicando de cada una de estas mediante el grafico siguiente:

Figura 6

Diagrama de bloques de la línea de producción de nitrato de calcio. Adaptado a la empresa



*Nota: (elaboración propia)

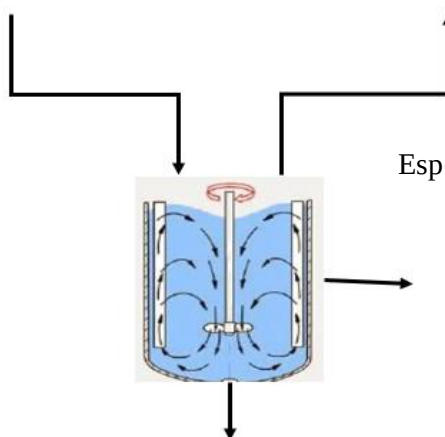
4.1.2 Prueba piloto para la producción de nitrato de calcio

La prueba piloto utilizó ácido nítrico comercial al 60%. La prueba se llevó a cabo en un tanque reactor de 2,75 m³ de acero inoxidable (H=1.87m; Diámetro=1.37m), con 3 deflectores de 8cm de ancho y 67 cm de largo, con un motor de Hp=7 y una paleta de acero inoxidable de tres aletas rectangulares de 15 cm x 7 cm. La cantidad de nitrato de calcio requerida para producir era de dos metros cúbicos, al lodo resultante de la operación se le hará un lavado de ácido nítrico para recuperar el calcio que pueda estar en el lodo. La solución debe terminar con un pH de alrededor

de 2-4 y una densidad según lo solicitado por el comprador. Después de esto, las cantidades utilizadas en la prueba piloto fueron:

- Prueba piloto N°1:

Materia Prima	Cantidad en Kg	Producto	Nitrato de Calcio
Agua	347	Volumen (m ³)	2.02
Ácido Nítrico (60%)	1440	Densidad (kg/m ³)	1514
Ácido Nítrico (53%)	1050	Peso (kg)	3058.28
Carbonato de Calcio	1140	pH	2



Especificaciones del reactor:

- H: 1.87m y Diámetro: 1.37m.
- 3 deflectores de acero Inoxidable.
- 1 paleta con 3 aletas.
- Motor de 7 Hp.

Lodo, Gases y vapores (kg)	
Agua	245.09
N ₂ O	83.4
Lodo	123.34
CO ₂	466.92

*Nota: los cálculos se encuentran en el anexo

Según el análisis de laboratorio (Fig. 25) se tendrá la eficiencia de la prueba piloto N°1:

- Eficiencia del carbonato de calcio:

$$CaCO_3 = \frac{2020 \text{ L de sol.} * 0.210135 \frac{\text{kg de Ca}}{\text{L de sol.}}}{1140 \text{ kg de } CaCO_3 * 0.3867 \frac{\text{kg de Ca}}{\text{kg de } CaCO_3}} * 100\%$$

$$= \frac{424.47 \text{ kg de Ca}}{440.84 \text{ kg de Ca}} * 100\% = 96.29\%$$

- Eficiencia del ácido nítrico:

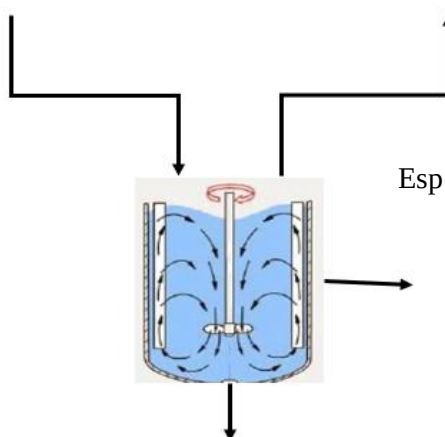
$$HNO_3 = \frac{424.47 \text{ kg de Ca} * 126 \text{ kg de } HNO_3}{40 \text{ kg de Ca} * 1420 \text{ kg de } HNO_3} = \frac{1337.1 \text{ kg de } HNO_3}{1420 \text{ kg de } HNO_3} * 100\%$$

$$HNO_3 = 94.16\%$$

- Prueba piloto N°2:

Para la prueba N°2 se producirá 1500L de ácido nítrico, en esta prueba realizó un lavado ácido al lodo de la prueba N°1, considerando que con la recuperación se alcance a reaccionar 98.5% del calcio entrante en la prueba N°1:

Materia Prima	Cantidad en Kg	Producto	Nitrato de Calcio
Agua	330	Volumen (m ³)	1.500
Ácido Nítrico (60%)	1870	Densidad (kg/m ³)	1526
Ca en el lodo	16.36	Peso (kg)	2289
Carbonato de Calcio	860	pH	2



Especificaciones del reactor:

- H: 1.87m y Diámetro: 1.37m.
- 3 deflectores de acero Inoxidable.
- 1 paleta con 3 aletas.
- Motor de 7 Hp.

Gases y vapores (kg)	
Agua	289.96

N ₂ O	43.18
Lodo	184.47
CO ₂	376.73

*Nota: los cálculos se encuentran en el anexo

Según el análisis de laboratorio (Fig. 26) se tendrá la eficiencia de la prueba piloto N°2:

- Eficiencia del carbonato de calcio:

$$CaCO_3 = \frac{1500 \text{ L de sol.} * 0.228321 \frac{\text{kg de Ca}}{\text{L de sol.}}}{860 \text{ kg de } CaCO_3 * 0.3867 \frac{\text{kg de Ca}}{\text{kg de } CaCO_3} + 16.36 \text{ kg de Ca}} * 100\%$$

$$= \frac{342.48 \text{ kg de Ca}}{348.92 \text{ kg de Ca}} * 100\% = 98.15\%$$

- Eficiencia del ácido nítrico:

$$HNO_3 = \frac{342.48 \text{ kg de Ca} * 126 \text{ kg de } HNO_3}{40 \text{ kg de Ca} * 1122 \text{ kg de } HNO_3} = \frac{1078.82 \text{ kg de } HNO_3}{1122 \text{ kg de } HNO_3} * 100\%$$

$$HNO_3 = 96.15\%$$

4.1.3 Observaciones y mejoras de las pruebas piloto:

Observaciones:

- La eficiencia del calcio en las dos pruebas piloto realizadas está por encima del 95% lo que indica su buen aprovechamiento, sin embargo, el ácido nítrico en la prueba N°1 no alcanzo el 95% debido a que se prolongó demasiado el proceso, permitiendo la fuga del ácido nítrico al medio ambiente.
- La cantidad de espuma producida por la reacción impidió agregar CaCO₃ durante el proceso, y una agitación inadecuada prolongó el proceso más de lo debido. La primera prueba duró 18 horas y la segunda prueba 12 horas, sin tener en cuenta los demás pasos del proceso.

- El lodo resultante al final de las dos pruebas resultó ser poco, para la prueba N°2 se usó el lodo de la prueba N°1, y la eficiencia no se vio afectada. Por lo que se planteó realizar varios batch en la línea de producción antes de realizar una limpieza al reactor.

Mejoras:

- Cambiar el motor o determinar la capacidad (volumen) a la que puede trabajar el motor sin prolongar demasiado la reacción, como se observó al reducir el volumen la diferencia de tiempos entre ambas pruebas. Al principio de la reacción, un motor de mayor potencia no es tan necesario, por lo que, si se decide cambiar el motor, sería apropiado instalar un motorreductor.

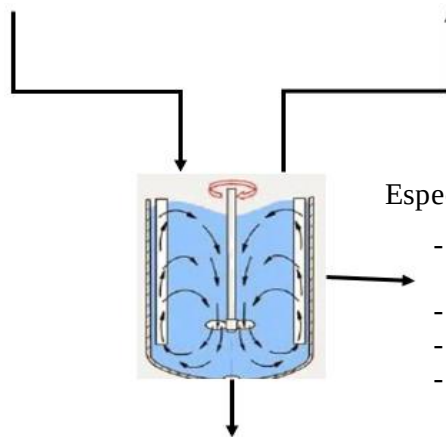
4.1.4 Producción en la línea de Nitrato de Calcio

Luego de las pruebas piloto, se estableció que la producción pase a un tanque reactor de acero inoxidable de 10 m³ (Altura: 3.12 m; Diámetro: 2.13 m), con 4 deflectores de 14 cm de ancho y 97 cm de largo, contando con un motor de Hp= 10, una paleta inoxidable con 3 aletas de 22 cm x 12 cm y un eje hueco de acero inoxidable que está a unos 37 cm separado del fondo del reactor. La cantidad por producir se ira modificando para alcanzar la mejor producción contando con los equipos instalados, por lo que se decidió aumentar la densidad de producción siendo este mayor a 1530 kg/m³, aun cuando la densidad de venta requerida sea de 1510 Kg/m³ y un pH=2-4.

- Primer lote de Nitrato de Calcio:

Materia Prima	Cantidad en Kg
Agua	900
Ácido Nítrico (60%)	7060
Carbonato de Calcio	3400

Producto	Nitrato de Calcio
Volumen (m ³)	5.50
Densidad (kg/m ³)	1546
Peso (kg)	8470
pH	2-3



Especificaciones del reactor:

- H: 3.1m y Diámetro: 2.2m.
- 1 paleta con 3 aletas.
- Motor de 10 Hp.
- 4 deflectores de acero inoxidable.

Gases y vapores (kg)	
Vapor de agua	911.29
N ₂ O	196.53
Lodo	338.56
CO ₂	1410.6

*Nota: los cálculos se encuentran en el anexo

Para la eficiencia de la reacción se tomó en cuenta el calcio entrante y la salida según el análisis de calcio realizado (Fig. 27). El lodo del batch no se pesó, debido a los resultados de las pruebas piloto, simplemente se volvió a iniciar otro batch sin limpiar el reactor conteniendo así el lodo del batch anterior.

- Eficiencia del Carbonato de Calcio

$$CaCO_3 = \frac{5500 \text{ L de sol.} * 0.233158 \frac{\text{kg de Ca}}{\text{L de sol.}}}{3400 \text{ kg de } CaCO_3 * 0.3867 \frac{\text{kg de Ca}}{\text{kg de } CaCO_3}} * 100\%$$

$$Eficiencia = \left(\frac{1282.37}{1314.78} \right) * 100\% = 97.53\%$$

- Eficiencia del Ácido Nítrico

$$HNO_3 = \frac{1282.37 \text{ kg de Ca} * 126 \text{ kg de } HNO_3}{40 \text{ kg de Ca} * 4236 \text{ kg de } HNO_3} = \frac{4039.46 \text{ kg de } HNO_3}{4236 \text{ kg de } HNO_3} * 100\%$$

$$Eficiencia = \left(\frac{4039.46}{4236} \right) * 100\% = 95.36\%$$

Observaciones:

- La reacción para obtener nitrato de calcio duró alrededor de once horas y el proceso de filtración medido fue de 2 horas, el lodo que se observó fue el esperado al final de la reacción y la recuperación de calcio fue superior al 95 %. Teniendo en cuenta la capacidad del reactor, se debe investigar cómo producir más nitrato de calcio.

- Debido al bajo nivel de agua empleado en la reacción, se utilizó ácido nítrico hasta un nivel que permitió la agitación como resultado, el tanque del reactor está expuesto a picaduras porque el ácido nítrico ataca al acero inoxidable. Por otro lado, la cantidad de CO₂ producido durante la reacción es bastante por lo que requerirá un captador de gases.

Mejoras:

- Para aumentar la producción de nitrato de calcio sin cambiar el equipo, una opción es aumentar el volumen de producción por batch sin afectar la eficiencia. Una alternativa es aumentar la densidad del nitrato de calcio para luego llegar a la densidad deseada.

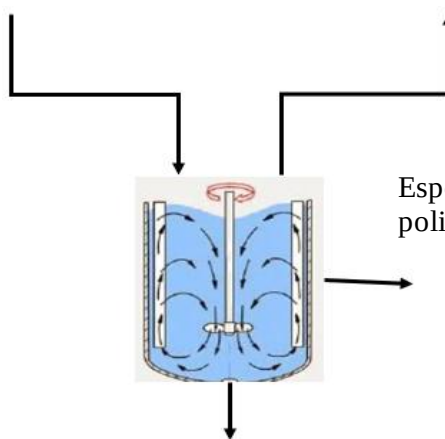
- Como la temperatura de la reacción no supera los 60°C se podrá emplear un tanque de polietileno como reactor, ya que este material no se ve afectado por el ácido nítrico evitando así la picadura por el ácido.

4.1.5 *Producción estándar de la línea de nitrato de calcio*

De las observaciones y mejoras planteadas se optó por subir la densidad del batch de nitrato de calcio producido, a fin de apuntar en un futuro producir cristales de nitrato de calcio. Para ello se realizó diversas pruebas en la línea de producción quedando como producción estándar un nitrato de calcio cuya densidad es mayor a 1570 kg/m^3 con un $\text{pH}=2\text{-}3$, para luego este ser llevado a los parámetros de venta (densidad= 1510 kg/m^3 y $\text{pH}=3\text{-}4$).

Además de ello este último batch expuesto fue llevado a cabo en el tanque reactor de polietileno (Altura: 3.1 m, Diámetro: 2.2 m), al cual se le instalo un motor de 10 Hp, la aleta, el eje instalado fue igual al tanque reactor de acero inoxidable estando a unos 37 cm del fondo del reactor, la línea de descarga está situada unos 3 cm aproximadamente del fondo del reactor, debido a ello el residuo que queda en el reactor es menor en consideración del tanque reactor de acero inoxidable.

Materia Prima	Cantidad en Kg	Producto	Nitrato de Calcio
Agua	900	Volumen (m ³)	5.10
Ácido Nítrico (68%)	6050	Densidad (kg/m ³)	1560
Carbonato de Calcio	3300	Peso (kg)	7956
		pH	2-3



Especificaciones del reactor de polietileno:

- H: 3.1m y Diámetro: 2.2m.
- 1 paleta con 3 aletas.
- Motor de 10 Hp.

Gases y vapores (kg)	
Vapor de agua	420.83
Lodo	304.87
N ₂ O	202.32
CO ₂	1365.98

Para la eficiencia de la reacción se tomó en cuenta el calcio entrante y la salida según el análisis de calcio realizado (Fig. 30).

- Eficiencia del Carbonato de Calcio

$$CaCO_3 = \frac{5100 \text{ L de sol.} * 0.243491 \frac{\text{kg de Ca}}{\text{L de sol.}}}{3300 \text{ kg de } CaCO_3 * 0.3867 \frac{\text{kg de Ca}}{\text{kg de } CaCO_3}} * 100\%$$

$$Eficiencia = \left(\frac{1241.80}{1276.11} \right) * 100\% = 97.31\%$$

- Eficiencia del Ácido Nítrico

$$HNO_3 = \frac{1241.8 \text{ kg de Ca} * 126 \text{ kg de HNO}_3}{40 \text{ kg de Ca} * 4114 \text{ kg de HNO}_3} = \frac{3911.68 \text{ kg de HNO}_3}{4114 \text{ kg de HNO}_3} * 100\%$$

$$Eficiencia = \left(\frac{3911.68}{4112.64} \right) * 100\% = 95.08\%$$

La duración del batch era alrededor de 10 horas y el tiempo de filtración era de 3 horas, a la solución obtenida se le diluía hasta cierta densidad (Fig. 31) para su posterior venta, pero esta dilución se realizaba durante el tiempo de filtración por lo que no agregaba mayor tiempo al proceso.

4.1.6 Alternativas para la captación de CO₂

Se puede utilizar un captador de gases que cumpla con los principios de absorción de gases para captar el CO₂ liberado por la reacción de CaCO₃ y HNO₃. Lo que se investigó en la presente tesis son las soluciones potenciales para retener el CO₂ y aprovecharlo.

Se llevará a cabo una prueba para detectar la captación de gases de CO₂ y nitroso, utilizando un equipo básico compuesto por un Erlenmeyer, un tapón y una manguera, una probeta y plástico de PVC o polipropileno como relleno. Es importante destacar que no se buscó información precisa sobre la cantidad de CO₂ que se podría capturar, ni se intentó diseñar un sistema de captación de gases ni determinar la cantidad de solución requerida, sino que se centró en si es factible capturar el CO₂ y, si es posible, cómo se puede utilizar la solución que se obtiene al capturarlo.

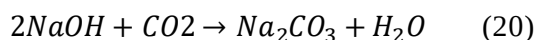
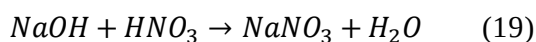
- Captación de CO₂ a partir de una solución NaOH

En esta prueba se utilizó una solución saturada de NaOH industrial, el cual será el líquido captador de CO₂ y gases nitrosos, esta solución se dispondrá en la probeta de 250 mL, a temperatura ambiente, las cantidades empleadas para la prueba fueron:

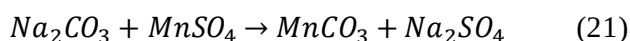
Tabla 23*Captación de CO₂ y gases nitrosos a partir de una solución saturada de NaOH*

Material	Cantidad (gr)
HNO ₃	700
CaCO ₃	200
NaOH	111
Agua	100

Las reacciones que se dan en el equipo de captación de gases son las siguientes:



Debido a la solubilidad de los compuestos generados, el Na₂CO₃ será el compuesto a precipitar, que se separará mediante un proceso de filtración de NaNO₃ y Na₂CO₃. También se puede realizar la siguiente reacción: el Na₂CO₃ generado de la ecuación II se puede reaccionar con MnSO₄, la reacción dada será:



Aunque ambos compuestos formados en la reacción III tienen baja solubilidad y se mezclan en un solo lodo, este lodo se puede separar al ser atacado por un ácido que no reemplace el SO₄²⁻ del sodio, dando como resultado diferentes compuestos de Mn en solución que pueden utilizarse en la agricultura. En comparación con el Na₂SO₄, este lodo se emplea en otra línea de producción de la empresa o se puede vender.

Se tomo como alternativa la reacción III ya que en el Perú las minas de oro generan MnSO₄ a gran cantidad haciendo que su precio este barato, entre las principales esta la planta industrial Rio Seco.

- Captación de CO₂ a partir de una solución KOH

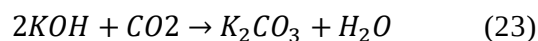
La prueba se llevó a cabo de igual forma que el NaOH solo que acá se empleara el KOH industrial, se contara con una solución saturada de KOH las cantidades empleadas serán:

Tabla 24

Captación de CO₂ y gases nitrosos a partir de una solución saturada de NaOH

Material	Cantidad (gr)
HNO ₃	700
CaCO ₃	200
KOH	135
Agua	100

Las reacciones que se dan en el equipo de captación de gases son las siguientes:



El K₂CO₃ es un compuesto necesario y costoso en la industria agrícola, pero puede estar en un pH alto porque se inició con una solución saturada de KOH el KNO₃ será el producto por precipitar debido a la solubilidad de los compuestos generados, y se separará mediante un proceso de filtración. Debido a su solubilidad en el agua y se logra emplear en la industria agrícola, el ácido cítrico es un compuesto que podría usarse para mejorar el pH, pero se necesitará investigar más sobre ello.

4.1.7 Análisis económico

- Primeramente, se verán los gastos al realizar la prueba de Ca(NO₃)₂, así como también el precio de venta del producto obtenido. Así como también la inversión para nuevos equipos para su la línea de producción.

- Teniendo en cuenta las recomendaciones establecidas durante la prueba piloto y la inversión que se tendrá que realizar se verá si el proyecto es viable o no, para ello usaremos en VAN o el TIR.

4.1.8 Cálculo del VAN y TIR:

Para el cálculo del VAN y TIR se empleó las Ec. 11 y Ec. 12 respectivamente, la estimación de inversión se debe ver en anexos (Tabla. 23), así mismo se debe saber que las ventas del nitrato de calcio no fueron constantes durante el periodo de noviembre a marzo, por lo que se estimó una venta de 25 Tn durante un periodo de 4 meses, para fines de cálculo.

Tabla 25

Flujo de caja del nitrato de calcio

Mes	Agosto en S/.	Noviembre en S/.	Diciembre en S/.	Enero en S/.	Marzo en S/.
Inversión	126407.96				
Flujo de Caja		60864.96	60864.96	60864.96	60864.96

- Cálculo del VAN:

$$VAN = -126407.96 + \sum_{i=1}^4 \frac{4 * 60864.96}{(1 + 15\%)^i}$$

$$VAN = 47360.17 \text{ soles}$$

- Cálculo del TIR:

$$0 = -126407.96 + \sum_{i=1}^4 \frac{4 * 60864.96}{(1 + TIR)^i}$$

$$TIR = 33\%$$

Dato:

Tasa de descuento: 15%

Periodo: 1 año

Conclusiones

En base a las diferentes pruebas realizadas en la presente tesis se lograron obtener los resultados mostrados estableciendo las siguientes conclusiones:

- El tamaño de grano del CaCO_3 influye en la velocidad de reacción del $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, para un análisis de reacción para la obtención de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ líquido.
- Se pudo establecer una línea de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ apoyándose en el estudio cinético de la reacción y se explicó dos posibles opciones de captación de los gases emitidos durante la reacción.
- Por el nivel de temperatura de la reacción química (menor a 60°C), el proceso es posible de realizarlo en un tanque de polietileno, evitando la corrosión del tanque de acero.
- El estudio económico proporcionado nos permite saber que la implementación de la línea de nitrato de calcio es factible y que la densidad de nitrato de calcio alcanzada en la línea es relativamente alta, adelante la obtención de cristales de nitrato de calcio.

Recomendaciones

La investigación desarrollada abarca solo la generación de nitrato de calcio líquido, por lo que esto dará como consecuencia a futuras investigaciones y mejoramiento en los procesos de este campo:

- Proponer nuevas investigaciones sobre el tema, como la formación de cristales de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ a partir del carbonato de calcio sin evaporar la solución, o la creación de una combinación de carbonato y cal que junto con el ácido nítrico genere nitrato de calcio.
- El efecto de la velocidad de agitación en un análisis de velocidad de reacción para la obtención del nitrato, para ello se puede emplear un tacómetro.
- Seguir con la investigación de captación de gases de CO_2 y gases nitrosos, debido a que los carbonatos y nitratos tienen diferentes aplicaciones, al tener diferentes alternativas de productos al realizar un estudio económico, este será conveniente de realizar.
- Para la línea empleada se puede ir mejorando aplicando las 5S en la línea de producción de nitrato de calcio para mejorar su eficiencia.

Bibliografía

- Anatolievievich, K. R. (09 de 09 de 2015). <http://chemister.ru>. Obtenido de Properties of substances: Calcium nitrate: <https://chemister.ru/Databases/Chemdatabase/properties-en.php?dbid=1&id=545>
- Baca, G. (2002). *Evaluacion de Proyectos* (4ta Edicion ed.). Mexico: McGraw-Hill. Obtenido de <https://econforesyproyec.files.wordpress.com/2014/11/evaluacion-de-proyectos-gabriel-baca-urbina-corregido.pdf>
- Banco Mundial, B. (01 de Marzo de 2018). <https://www.bancomundial.org>. Obtenido de <https://www.bancomundial.org>: <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/03/01/banco-mundial-presenta-estudio-sobre-agricultura-en-el-peru>
- Benavides Ballesteros, H. O., & León Aristizabal, G. E. (2007). *Información tecnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climatico*. Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf>
- Bravo Sánchez, A. A. (2013). *Comportamiento del carbonato de sodio y carbonato de potasio a diferentes humedades y temperaturas ambientales* [Tesis de titulación, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio institucional, Quito. Obtenido de <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/62399382-61d4-4d14-a452-6aec47282187/full>
- Brealey, R. A., Myers, S. C., & Allen, F. (1993). *Fundamentos de Financiacion Empresarial* (4º edición ed.). (M. Graw-Hill, Ed.) Madrid, España: Mc Graw-Hill. Obtenido de <https://bib.ubp.edu.ar/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=17121>
- Cazares Carrion, K. Y. (2012). *Proceso para la obtencion de nitrato de calcio cristalizado* [Tesis de titulación, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio institucional, Quito.

Recuperado el 11 de 2023, de <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/ef3da4ff-75c1-46d5-8b5a-27f9ba335a9c>

Chang, R., & College, W. (2002). QUIMICA Séptima edición. En R. Chang, & W. College, *Constante de Velocidad y su dependencia de la energia de activación y de la temperatura* (Séptima edición ed., págs. pp.529 - 535). Mc GRAW-HILL.

Criollo Aguilar, M. C. (2011). *Evaluación de la eficacia de tres fuentes de calcio con tres dosis de apliación para prevenir el rompimiento de nudos y caliz partido en la produccion de clavel de corte bajo invernadero* [Tesis de titulación]. Esculea superior politécnica de chimborazo, Ecuador. Recuperado el 04 de 2024, de <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/1361/1/13T0722%20.pdf>

D., I. (2014). *Estudio experimental y teórico de mezclas binarias de aminas y cetonas* [Tesis de doctorado, Universiad de Valladolid]. Repositodio documental, Valladolid. Obtenido de <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/7929>

Enríquez Pozo, F. M. (2013). *Comportamiento del hidróxido de sodio y potasio en función de la humedad y temperatur ambiental* [Tesis de titulación, Universidad Central de Ecuador]. Repositorio institucional, Quito, Ecuador. Obtenido de <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/080f0de0-08c5-4dd4-9713-11bf1a46fb26>

FAO, F. a. (1 de Diciembre de 2016). *El futuro de la alimentacion y agricultura. Tendencias y Desafios*. Obtenido de <https://www.fao.org/>: <https://www.fao.org/>

Finck, A. (1988). Fertilizantes y Fertilizacion. En A. Finck, *Abonos nitricos* (pág. 41). Barcelona: REVERTÉ.

Finck, A. (1988). Fertilizantes y Fertilización. En F. Arnold, *Funfamentos y métodos para la fertilización de los cultivos* (pág. 37). Reverté. Obtenido de

https://books.google.com.pe/books?id=llL8KcUQAQ0C&pg=PR3&hl=es&source=ghs_selected_pages&cad=1#v=onepage&q&f=false

Fogler, S. H. (2008). *Elementos de ingeniería de las reacciones químicas*. Michigan: PEARSON EDUCACIÓN. Recuperado el 2024, de <https://pdfcoffee.com/elementos-de-ingenieria-de-las-reacciones-quimicas-s-fogler-4ta-edicion-4-pdf-free.html>

Food And Agriculture Organization, F. (2020). El comercio agrícola en la región de América Latina y el Caribe.: *CONFERENCIA REGIONAL DE LA FAO PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE*, (pág. 20). Managua Nicaragua.

Greene, S. A., & Pohanish, R. P. (2005). *Sitting's Handbook of Pesticides and Agricultural Chemicals*. En S. A. Greene, & R. P. Pohanish, *Sitting's Handbook of pesticides and Agricultural Chemicals* (pág. 151). William Andrew Publishing.

Guevara Alburqueque, L. G., & Castro Olaya, G. E. (2018). *Diseño de planta para la produccion de carbonato de calcio a partir de la concha de abanico [Tesis de titulación]*. Repositorio institucional, Piura, Perú. Obtenido de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UDEP_f8bc7eb9ccc81c5371eb20420d62fc04/Details

H. Perry, R. (2001). *"Manual del Ingeniero Quimico" Tomo II (Vol. Vol. II)*. Mc Graw Hill. Obtenido de https://www.ingebook.com/ib/NPcd/IB_BooksVis?cod_primaria=1000187&codigo_libro=6581

Hao Hsu, C., Hsin, C., & Chorng, M. (2003). Absorption and reaction kinetics of amines and ammonia solutions with carbon. En C. Hao Hsu, C. Hsin, & M. Chorng, *Absorption and reaction kinetics of amines and ammonia solutions with carbon*. (págs. 246-252). J Air Waste Management Assoc. doi: 10.1080/10473289.2003.10466139

Hulsberg Calis, G. H., & Born Jennekens, M. H. (1986). *Estados unidos Patente n° US 4569677 A*.
Obtenido de <https://patents.google.com/patent/US4569677A/en>

IDEM, I. y. (s.f.). <http://documentacion.ideam.gov.co>. Obtenido de
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018903/Links/Guia17.pdf>:
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018903/Links/Guia17.pdf>

INTAGRI, E. E. (Septiembre de 2020). *Guia de fertilizantes Potasicos para cultivos. Serie Nutricion Vegetal Núm. 142*. (INTAGRI, Ed.) Obtenido de
<https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/guia-de-fertilizantes-potasicos-para-cultivos?p=registro>

Jiménez Becerra, E. L., & Ropero Celeron, J. L. (2017). *Mejoramiento del proceso de produccion de nitrato de calcio de la empresa Fertilizantes Colombias S.A. [Tesis de titulación, Universidad Nacional de Santander]*. Repositorio institucional, Bucaramanga.

Kirk, R. (1998). Enciclopedia de Tecnologia quimica. En k. R., *Enciclopedia de Tecnologia quimica* (pág. 488). Hispanoamericana. Obtenido de
<https://www.iberlibro.com/9789681855765/Enciclopedia-tecnologia-quimica-Encyclopedia-Chemical-9681855760/plp>

Levenspiel, O. (1987). *Ingenieria de las reacciones quimicas*. Estado de Oregon, Oregón, Estados Unidos: REPLA S.A. Obtenido de
<https://reaccionesunefm.files.wordpress.com/2009/02/levenspiel-o-parte-i.pdf>

McCabe, W., Smith, J., & Harriott, P. (2007). *Operaciones unitarias en ingeniería química* (Séptima edición ed.). California: Mc Graw Hill. Obtenido de
<http://librodigital.sangregorio.edu.ec/librosusgp/14698.pdf>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, C. (12 de septiembre de 2012). Insumos y Factores Asociados a la Produccion Agropecuaria. DANE. Obtenido de

https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuaria/sipsa/insumos_factores_julio14_2012.pdf

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, P. (2022). *Panorama nacional e internacional del mercado de fertilizantes inorgánicos*. Lima: Gobierno del Perú.

Nawrocki, A., & Olszewski, R. (2005). *España Patente nº ES2655097T3*. Obtenido de <https://patents.google.com/patent/ES2655097T3/es>

Núñez Caraballo, A., Gonzales martínez, M., & Saura Laria, G. (2015). *Procesos de Recuperación de CO₂ Generalidades*. La Habana: Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. .

Pacheco Egas, F. A. (2020). *Análisis de la valoración de proyectos a través del método de opciones reales: Aplicación a un proyecto del sector minero metalúrgico en el Perú* [Tesis de titulación, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional, Lima, Perú. Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/19158>

Pascual Mercader, J., & Rivera Vilamañan, P. (21 de 04 de 1987). *España Patente nº ES 2003265*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223143421004.pdf>

Perry, R. (1984). Manual del Ingeniero Químico, Quinta Edición. En R. Perry, *Tomo I* (págs. 3-1). Mc Graw Hill.

Pubchem. (08 de 05 de 2023). <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>. Obtenido de <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/177577#section=Melting-Point>

Serratos Álvarez, I., Segura Bailón, B., & Franco Pérez, L. (2022). *Introducción a la cinética química y catálisis* (Vol. 1º edición). Iztapalapa: Universidad Autónoma Metropolitana. Obtenido de <https://libroscbi.izt.uam.mx/index.php/lcbi/catalog/view/33/81/518>

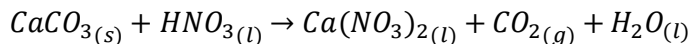
- Smith, J. M. (1991). *Ingeniería de la cinética química* (Vol. 6ª Edición). McGRAW-HILL. Recuperado el Febrero de 2024, de <https://ia601504.us.archive.org/8/items/ingenieria-de-la-cinetica-quimica/Ingenieria%20de%20la%20cinetica%20quimica.pdf>
- Soto Inocente, C. (2018). *Evaluación de la generación de CO₂ en la carretera central producto a la actividad de transporte que contribuye al calentamiento global del planeta en las regiones de Pasco y Junín* [Tesis de titulación, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio institucional, Pasco. Obtenido de <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/342>
- Suárez Ramírez, B. (2014). *Guía de análisis forense post-explosión para explosivos de baja potencia*. Repositorio institucional, México D.F. Obtenido de <https://ru.dgb.unam.mx/handle/20.500.14330/TES01000707886>
- Thompson, L., & Troeh, F. (1982). *Los suelos y su fertilidad (cuarta Edición)*. (M. G. Hill, Ed.) Reverté. Obtenido de <https://books.google.co.ve/books?id=AegjDhEIVAQC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Treybal, R. E. (2000). Operaciones de transferencia de masa. En R. E. TREYBA, *Absorción de gases* (pág. 865). McGRAW-HILL. Obtenido de <https://fenomenosdetransporte.files.wordpress.com/2008/05/operaciones-de-transferencia-de-masa-robert-e-treybal.pdf>
- Virreira Ávila, M. M. (2020). *Evaluación Financiera de proyectos de inversión: Métodos y aplicaciones*. Santa Cruz-Bolivia, Santa Cruz, Bolivia: UPSA. Obtenido de https://www.upsa.edu.bo/images/libro_evaluacion-financiera-de-proyectos-de-inversion.pdf
- Wang, X.-Z., Wang, X., Jin, Z.-C., Meng, Q.-S., Zhu, C.-Q., & Wang, R. (30 de Noviembre de 2016). Bulletin of Engineering Geology and the Environment. *The official journal of the IAEG*, 561-573. doi:<https://doi.org/10.1007/s10064-016-0978-z>

Wolfgang Tegethoff, F. (2001). Calcium Carbonate: From the Cretaceous Period into the 21st Century. En F. Wolfgang Tegethoff, *Calcium Carbonate: From the Cretaceous Period into the 21st Century* (págs. 8-35). Springer International Publishing AG. Obtenido de https://www.google.com.pe/books/edition/Calcium_Carbonate/pbkKGa19k5QC?hl=en&gbpv=1&dq=Calcium+Carbonate:+From+the+Cretaceous+Period+into+the+21st+Century+pdf+descargar&printsec=frontcover

ANEXO

Balance de masa para las pruebas piloto N°1 y N°2:

Según la ecuación (Ec. 13) se hará el balance de masa para la prueba piloto N°1 y N°2:



100gr 126gr 164gr 44gr 18gr

Ca: 40gr

Cálculo de la cantidad de material para la prueba N°1 de en el cual se produce 2000L de $Ca(NO_3)_2$ partiendo de las cantidades de laboratorio:

- Cálculo de $CaCO_3$:

$$CaCO_3 = \frac{365 \text{ kg de } CaCO_3 * 2000 \text{ L de sol. } Ca(NO_3)_2}{640 \text{ L de sol. } Ca(NO_3)_2} = 1140.625 \text{ kg de } CaCO_3$$

Se agrego 1140 kg de $CaCO_3$.

- Cálculo de ácido nítrico:

$$HNO_3(Total) = \frac{454.74 \text{ kg de } HNO_3 * 2000 \text{ L de sol. } Ca(NO_3)_2}{640 \text{ L de sol. } Ca(NO_3)_2} = 1421.062 \text{ kg de } HNO_3$$

Se empleo ácido nítrico al 60% y 53% para la prueba piloto:

$$HNO_3(60\%) = 1440 \text{ kg de } HNO_3 * 0.6 = 864 \text{ kg de } HNO_3$$

$$HNO_3(53\%) = 1050 \text{ kg de } HNO_3 * 0.53 = 556.5 \text{ kg de } HNO_3$$

$$HNO_3(53\%) + HNO_3(60\%) = 864 \text{ kg de } HNO_3 + 556.5 \text{ kg de } HNO_3 = 1420.5 \text{ kg de } HNO_3$$

- Agua:

$$H_2O(Total) = \frac{453.26 \text{ kg de agua} * 2000 \text{ L de sol. } Ca(NO_3)_2}{640 \text{ L de sol. } Ca(NO_3)_2} = 1416.44 \text{ kg de agua}$$

El ácido nítrico comercial contiene agua por lo que calcula cuanto de agua entrara junto al ácido:

$$H_2O \text{ en } HNO_3(60\%) = 1440 * 0.4 = 576 \text{ kg de agua}$$

$$H_2O \text{ en } HNO_3(53\%) = 1050 * 0.47 = 493.5 \text{ kg de agua}$$

Cantidad de agua que se necesita agregar:

$$H_2O(Total) - H_2O \text{ en } HNO_3(60\%) - H_2O \text{ en } HNO_3(53\%)$$

$$1416.44 - 576 - 493.5 = 346.94 \text{ kg de agua}$$

Se empleo 347 kg de agua.

- Dióxido de carbono producido en la prueba N°1:

$$CO_2 = \frac{2020 \text{ L sol. de } Ca(NO_3)_2 * 0.210135 \frac{\text{kg de Ca}}{\text{L sol. de } Ca(NO_3)_2} * 44 \text{ kg de } CO_2}{40 \text{ kg de Ca}} = 466.92 \text{ kg de } CO_2$$

- Calcio sin reaccionar:

$$Ca \text{ en lodo} = 1140 \text{ kg de } CaCO_3 * 0.3867 \frac{\text{kg de Ca}}{\text{kg de } CaCO_3} - 424.472020 \text{ L sol. de } Ca(NO_3)_2 * 0.210135 \frac{\text{kg de Ca}}{\text{L sol. de } Ca(NO_3)_2} = 16.36 \text{ kg de Ca}$$

- Gases nitrosos producido en la prueba N°1:

$$N_2O = 1420.5 \text{ kg de } HNO_3 - \frac{424.47 \text{ kg de Ca} * 126 \text{ kg de } HNO_3}{40 \text{ kg de Ca} * 1420 \text{ kg de } HNO_3} = 83.4 \text{ kg de } N_2O$$

- Balance de masa de la prueba N°1:

$$Masa \text{ entrante} = Masa \text{ de salida} + lodo + Gases \text{ y vapores}$$

$$(347 + 1440 + 1050 + 1140) \text{ kg} = (3058.28 + 83.4 + 466.92 + 123.34) \text{ kg} + Vapor \text{ de agua}$$

$$3977 = 3731.91 + Vapor \text{ de agua}$$

$$vapor \text{ de agua} = 245.09 \text{ kg de agua}$$

- Si 98.5% de calcio reacciona:

$$Calcio = 1140 * 0.3867 * .985 - 424.47 = 9.75 \text{ kg}$$

Cálculo de la cantidad de material para la prueba N°2 de en el cual se produce 1500L de $Ca(NO_3)_2$ partiendo de las cantidades de laboratorio:

- Cálculo de $CaCO_3$:

$$CaCO_3 = \frac{365 \text{ kg de } CaCO_3 * 1500 \text{ L de sol. } Ca(NO_3)_2}{640 \text{ L de sol. } Ca(NO_3)_2} = 855.5 \text{ kg de } CaCO_3$$

Se redondeo a 860 kg de $CaCO_3$.

- Cálculo de ácido nítrico:

$$HNO_3(60\%) = \frac{454.74 \text{ kg de } HNO_3 * 1500 \text{ L de sol. } Ca(NO_3)_2}{640 \text{ L de sol. } Ca(NO_3)_2} = 1065.8 \text{ kg de } HNO_3$$

$$HNO_3(60\%) \text{ para recuperación} = \frac{9.75 * 454.74}{141.14} = 52.71 \text{ kg}$$

$$HNO_3(Total) = 1065.8 \text{ kg de } HNO_3 + 52.71 \text{ kg de } HNO_3 = 1118.51 \text{ kg de } HNO_3$$

Se empleo ácido nítrico al 60% para la prueba piloto N°2:

$$HNO_3(60\%) = \frac{1118.51 \text{ kg de } HNO_3}{0.6} = 1864.18 \text{ kg de } HNO_3 \text{ al } 60\%$$

Se redondeo a 1870 kg de ácido nítrico al 60%.

- Agua:

$$H_2O(Total) = \frac{453.26 \text{ kg de agua} * 1500 \text{ L de sol. } Ca(NO_3)_2}{640 \text{ L de sol. } Ca(NO_3)_2} = 1062.33 \text{ kg de agua}$$

El ácido nítrico comercial contiene agua por lo que calcula cuanto de agua entrara junto al acido:

$$H_2O \text{ en } HNO_3(60\%) = 1870 * 0.4 = 748 \text{ kg de agua}$$

Cantidad de agua que se necesita agregar:

$$H_2O(Total) - H_2O \text{ en } HNO_3(60\%)$$

$$1062.33 - 748 = 314.33 \text{ kg de agua}$$

Se empleo 330 kg de agua.

- Dióxido de carbono producido en la prueba N°2:

$$CO_2 = \frac{1500 \text{ L sol. de } Ca(NO_3)_2 * 0.228321 \frac{\text{kg de Ca}}{\text{L sol. de } Ca(NO_3)_2} * 44 \text{ kg de } CO_2}{40 \text{ kg de Ca}}$$

$$= 376.73 \text{ kg de } CO_2$$

- Gases nitrosos producido en la prueba N°2:

$$N_2O = 1122 \text{ kg de } HNO_3 - \frac{1500 \text{ L sol. de } Ca(NO_3)_2 * 0.228321 \frac{\text{kg de Ca}}{\text{L sol. de } Ca(NO_3)_2} * 126 \text{ kg de } HNO_3}{40 \text{ kg de Ca}}$$

$$= 43.18 \text{ } N_2O$$

- Balance de masa de la prueba N°2:

$$Masa \text{ entrante} = Masa \text{ de salida} + Gases \text{ y vapores}$$

$$(330 + 1870 + 860 + 123.34)kg = (2289 + 43.18 + 376.73 + 184.47)kg + Vapor\ de\ agua$$

$$3183.34\ kg = 2893.38\ kg + Vapor\ de\ agua$$

$$vapor\ de\ agua = 289.95\ kg\ de\ agua$$

Cálculo de la cantidad de material para el batch N°1 de la línea de producción en el cual se produce 5500L de $Ca(NO_3)_2$, partiendo de las cantidades de laboratorio se hizo los cálculos para producir 6000L pero se redujo la cantidad de agua:

- Cálculo de $CaCO_3$:

$$CaCO_3 = \frac{365\ kg\ de\ CaCO_3 * 6000\ L\ de\ sol.\ Ca(NO_3)_2}{640\ L\ de\ sol.\ Ca(NO_3)_2} = 3421.88\ kg\ de\ CaCO_3$$

Se redondeo a 3400 kg de $CaCO_3$.

- Cálculo de ácido nítrico:

$$HNO_3(60\%) = \frac{454.74\ kg\ de\ HNO_3 * 6000\ L\ de\ sol.\ Ca(NO_3)_2}{640\ L\ de\ sol.\ Ca(NO_3)_2} = 4263.19\ kg$$

Se empleo ácido nítrico al 60% para el batch N°1:

$$HNO_3(60\%) = \frac{4263.19\ kg\ de\ HNO_3}{0.6} = 7105.31\ kg\ de\ HNO_3\ al\ 60\%$$

Se redondeo a 7060 kg de ácido nítrico.

- Agua:

$$H_2O(Total) = \frac{453.26\ kg\ de\ agua * 6000\ L\ de\ sol.\ Ca(NO_3)_2}{640\ L\ de\ sol.\ Ca(NO_3)_2} = 4249.31\ kg\ de\ agua$$

El ácido nítrico comercial contiene agua por lo que calcula cuanto de agua entrara junto al acido:

$$H_2O\ en\ HNO_3(60\%) = 7060 * 0.4 = 2824\ kg\ de\ agua$$

Cantidad de agua que se necesita agregar:

$$H_2O(Total) - H_2O\ en\ HNO_3(60\%)$$

$$4249.31 - 2824 = 1425.31\ kg\ de\ agua$$

Solo se agregó 900 kg de agua.

- Dióxido de carbono producido:

$$CO_2 = \frac{5500 \text{ L sol. de } Ca(NO_3)_2 * 0.233158 \frac{kg \text{ de } Ca}{L \text{ sol. de } Ca(NO_3)_2} * 44 \text{ kg de } CO_2}{40 \text{ kg de } Ca}$$

$$= 1410.6 \text{ kg de } CO_2$$

- Gases nitrosos producido:

$$N_2O = 4236 \text{ kg de } HNO_3 - 4039.46 \text{ kg de } HNO_3 = 196.53 \text{ kg de } N_2O$$

- Balance de masa:

$$Masa \text{ entrante} = Masa \text{ de salida} + lodo + Vapor \text{ de agua}$$

$$(7060 + 3400 + 900)kg = 8503 \text{ kg} + 196.53 + 1410.6 + 338.56 + Vapor \text{ de agua}$$

$$11360 \text{ kg} = 10448.7 \text{ kg} + Vapor \text{ de agua}$$

$$Vapor \text{ de agua} = 911.29 \text{ kg}$$

Cálculo de la cantidad de material en el proceso estándar de la línea de producción en el cual se produce 5100L de $Ca(NO_3)_2$ partiendo de las cantidades de laboratorio se hizo los cálculos para producir 5800L pero se redujo la cantidad de agua:

- Cálculo de $CaCO_3$:

$$CaCO_3 = \frac{365 \text{ kg de } CaCO_3 * 5800 \text{ L de sol. } Ca(NO_3)_2}{640 \text{ L de sol. } Ca(NO_3)_2} = 3307.81 \text{ kg de } CaCO_3$$

Se redondeo a 3300 kg de $CaCO_3$.

- Cálculo de ácido nítrico:

$$HNO_3(68\%) = \frac{454.74 \text{ kg de } HNO_3 * 5800 \text{ L de sol. } Ca(NO_3)_2}{640 \text{ L de sol. } Ca(NO_3)_2} = 4121.08 \text{ kg } HNO_3$$

Se empleo ácido nítrico al 68% para el batch N°1:

$$HNO_3(60\%) = \frac{4121.08 \text{ kg de } HNO_3}{0.68} = 6060.41 \text{ kg de } HNO_3 \text{ al } 60\%$$

Se redondeo a 6050 kg de ácido nítrico.

- Agua:

$$H_2O \text{ (Total)} = \frac{453.26 \text{ kg de agua} * 5800 \text{ L de sol. } Ca(NO_3)_2}{640 \text{ L de sol. } Ca(NO_3)_2} = 4107.67 \text{ kg de agua}$$

El ácido nítrico comercial contiene agua por lo que calcula cuanto de agua entrara junto al acido:

$$H_2O \text{ en } HNO_3(68\%) = 6048 * 0.32 = 1935.36 \text{ kg de agua}$$

Cantidad de agua que se necesita agregar:

$$H_2O \text{ (Total)} - H_2O \text{ en } HNO_3(68\%)$$

$$4107.67 - 1935.36 = 2172.31 \text{ kg de agua}$$

Solo se agregó 900 kg de agua.

- Dióxido de carbono producido:

$$CO_2 = \frac{5100 \text{ L sol. de } Ca(NO_3)_2 * 0.243491 \frac{\text{kg de Ca}}{\text{L sol. de } Ca(NO_3)_2} * 44 \text{ kg de } CO_2}{40 \text{ kg de Ca}}$$

$$= 1365.98 \text{ kg de } CO_2$$

- Gases nitrosos producido:

$$N_2O = 3930 \text{ kg de } HNO_3 - 3701.61 \text{ kg de } HNO_3 = 202.32 \text{ kg de } N_2O$$

- Balance de masa:

$$\text{Masa entrante} = \text{Masa de salida} + \text{residuo}$$

$$(6050 + 3300 + 900) \text{ kg} = 7956 \text{ kg} + 202.32 + 1365.98 + 304.87 + V. \text{ agua}$$

$$10250 \text{ kg} = 9829.17 \text{ kg} + V. \text{ agua}$$

$$V. \text{ agua} = 420.83 \text{ kg}$$

- Estimación de la inversión para la línea de producción del nitrato de calcio

Tabla 26

Costos de equipo e instalación para la línea de nitrato de calcio

Equipo e Instalación	Inversión (S/.)
Tanque de polietileno	13257.26
Accesorios e instalación del tanque de e polietileno	850.5
Armazón de acero inoxidable	23500
Eje de Acero inoxidable	2500
Paletas	1500
Plataforma	6500
Tuberías y accesorios	450
Motor de 10 Hp	3492.8

Alimentador	7000
Motor de 3 Hp	1451.4
Filtro Prensa	66906
Total	126407.96

Tabla 27

Costo de materias primas y mano de obra para la producción de nitrato de calcio

Materia Prima	Precio por kg	Peso (kg)	Gasto + igv (S/.)
Ácido nítrico	\$ 1.16	17451.52	90295.3
Carbonato de calcio	S/. 0.75	9522.16	8427.11
Agua	S/. 0.00521	4616.81	24.05
Energía	-	-	1500
Colaboradores	-	-	9000
Costos totales			109151.86

Tabla 28

Ingreso por la venta del nitrato de calcio

Producto	Producción (kg)	Precio por kg (\$)	Tipo de Cambio (S/.)	Ingresos (S/.)
Nitrato de Calcio	25000	1.6	3.78	151200
Ingresos + igv (18%)				178416

- Cálculo del flujo de caja:

$$\text{Flujo de caja} = \text{Ingresos} - \text{costos} - \text{impuestos de igv}$$

$$\text{Flujo de caja} = 178416 - 109151.86 - 33596.75/4$$

$$\text{Flujo de caja} = 60864.96 \text{ soles}$$

- Impuesto de IGV:

$$\text{Impuestos de igv (anual)} = 178416 * 0.18 - 0.18(109151.86 + 126407.96)$$

$$\text{Impuestos de igv (anual)} = 33596.75 \text{ soles}$$

$$\text{Impuestos de igv (mensual)} = \frac{33596.75}{4} = 8399.19 \text{ soles}$$

Figura 7

Análisis del tamaño de partícula del CaCO_3 Fn-1000



COMACSA
Cia Minera
AGREGADOS CALCÁREOS S.A.

Certificado de análisis

Número de certificado: 198393
Producto: Carbonato FM-1000 (25 kg)
Cliente: IC INDUSTRIAL SRLTDA
Lote: 2301
Guía: 011-0294996
Fecha de emisión: 11/02/2023

Parámetro	Especificación	Valor	Método
Partículas > 38 µm (residuo tamiz ASTM No. 400)	máx. 0.02 %	0.0006 %	LAB-PR-018
Fineza Hegman	5 % – 6 % NS	6 NS	LAB-PR-010
Blancura (filtro verde)	92.7 – 95.0 %	93.0 %	LAB-PR-019

COMPAÑÍA MINERA AGREGADOS CALCÁREOS S.A.

YSABEL BURNEO MIRANDA
Jefe de Laboratorio y Calidad

Laboratorio - COMACSA

Figura 8

Análisis del tamaño de partícula del CaCO_3 PON



COMACSA
Cia Minera
AGREGADOS CALCÁREOS S.A.

HOJA TÉCNICA

Código : VNT-HT-113
Versión : 07
Vigencia : 17-04-2023
Página : 1 de 1

Carbonato PON

Carbonato de calcio granulado con alta ley para la elaboración de piensos.

Especificaciones de Producto

Parámetro	Especificación	Método
Partículas > 4.76 mm (residuo tamiz ASTM 3/16)	0.0 – 3.0 %	LAB-PR-008
Partículas > 1.0 mm (residuo tamiz ASTM No. 18)	8.0 – 85.0 %	LAB-PR-008
Partículas < 106 μm (pasante tamiz ASTM No. 140)	0.0 – 6.0 %	LAB-PR-018
Ley de carbonatos, CaCO_3	> 96.0 %	LAB-PR-025

Características Generales del Producto

Parámetro	Especificación	Método
Contenido de SiO_2	< 1.0 %	LAB-PR-007
Contenido de Fe_2O_3	más. 1.0 %	LAB-PR-007
Contenido de CaO	min 54 %	LAB-PR-007
Contenido de MgO	más. 0.9 %	LAB-PR-007
Contenido de SO_3	más. 1 %	LAB-PR-007
Pérdida por calcinación	42.8 – 43.7 %	LAB-PR-007
Partículas > 3.18 mm (residuo tamiz ASTM 1/8)	18.0 – 90.0 %	LAB-PR-008
Humedad	más. 1.5 %	LAB-PR-023
Densidad aparente	1210 – 1250 g/L	LAB-PR-011
Gravedad específica	2.67 – 2.70	LAB-PR-009
pH (suspensión acuosa al 10 %)	8.00 – 8.90	LAB-PR-012

Figura 9

Análisis del tamaño de partícula del CaCO_3 81



COMACSA
Cia Minera
AGREGADOS CALCÁREOS S.A.

HOJA TÉCNICA

Código : VNT-HT-022
Versión : 09
Vigencia : 21-09-2018
Página : 1 de 1

Carbonato 81

Es un mineral natural de forma granulada con un alto contenido de carbonato de calcio. Es utilizado principalmente en la formulación de piensos para gallinas ponedoras.

Especificaciones

Parámetro	Especificación	Método
Partículas > 3.18mm (residuo tamiz ASTM No. 1/8)	máx. 1.0 %	LAB-PR-008
Partículas < 1.59 mm (pasante tamiz ASTM No. 1/16)	9.0 – 53.0 %	LAB-PR-008
Humedad	máx. 1.5 %	LAB-PR-023
Ley de carbonatos	> 97.0 %	LAB-PR-025
Densidad aparente	1.28 – 1.32 Kg/L	LAB-PR-011
pH (suspensión al 10%)	9.0 – 10.0	LAB-PR-012

Figura 10

Análisis de laboratorio de Calcio presente en el CaCO_3 Fn-1000



**LABORATORIO
PLENGE**

REPORTE DE LABORATORIO N° **L000019838**

Pág. **1**

Cliente: I.C INDUSTRIAL S.R.L. Dirección: RUC / DNI / Otros: 20303495984 Atención: Referencias: Mostrador	Orden de Trabajo: Fecha de Ingreso: 01/08/2022 Fecha de Resultados: 04/09/2022 Cantidad de Muestras: 1
---	--

Código CHIP	Descripción de la Muestra	Tipo de Ensayo	Elemento	Resultado	Unidad	Rango de Tolerancia
118455	CARBONATO DE CALCIO FN-1000 COMACSA	Ca-VC Fm-Lit	Ca	58.87	%	58.1 a 59.9

Notes:



Los remanentes de las muestras se guardarán por un periodo de 3 meses, vencido el plazo se procederá al desecho de las mismas.

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de C.H. PLENGE & CIA. S.A.

Figura 11

Almacenamiento de agua y Ácido sulfúrico 98%



Figura 12

Tanques reactores para la línea de Sulfato de Zinc



Figura 13

Tanque reactor línea nitrato de Zinc y cristalizadores del sulfato de Zinc



Figura 14

Tanque de polietileno línea de nitrato de calcio



Figura 15

Armazón de acero inoxidable para el tanque de polietileno



Figura 16

Filtro Prensa



Figura 17

Tanque Reactor R-1



Figura 18

Alimentador de CaCO_3 para la línea de Nitrato de Calcio



Figura 19

Reacción de CaCO_3 con el HNO_3



Figura 20

Proceso de filtración de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$



Figura 21

Medición de pH y densidad del Nitrato de Calcio



Figura 22

Lodo residual del CaCO_3 Fn-1000



Figura 23

Lodo Residual del CaCO_3 PON

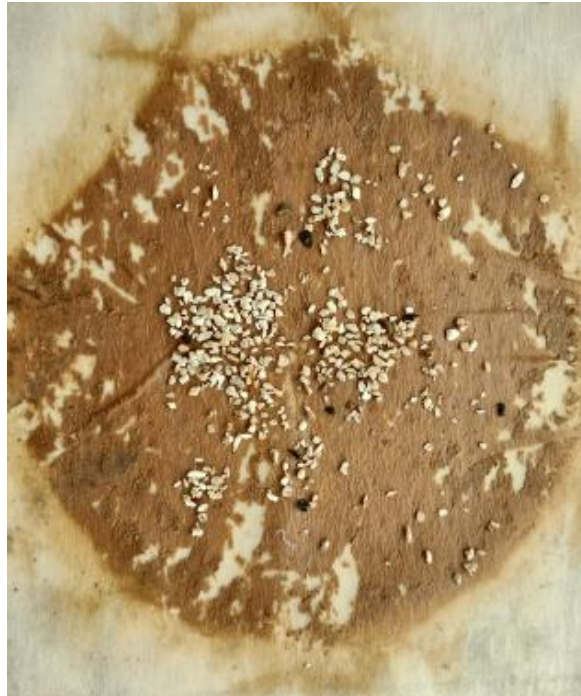


Figura 24

Lodo residual del CaCO_3 81



Figura 25

Captación de CO₂ y gases nitrosos



Figura 26

Análisis de Ca en la prueba de laboratorio



**LABORATORIO
PLENCE**

REPORTE DE LABORATORIO N° L000019840

Pág. 1

Cliente: I.C INDUSTRIAL S.R.L Dirección: RUC / DNI /Otros: 20303495984 Atención: Referencias: Mostrador	Orden de Trabajo: Fecha de Ingreso: 01/06/2022 Fecha de Resultados: 04/06/2022 Cantidad de Muestras: 1
--	--

Código CHP	Descripción de la Muestra	Tipo de Ensayo	Elemento	Resultado	Unidad	Rango de Trabajo
118460	NITRATO DE Ca PL-FM1000 MAYO 22	Ca ICP en Soluciones	Ca	213553	mg/L	2 a 250000

Figura 27

Análisis de Ca en un producto con nitrato de calcio



REPORTE DE LABORATORIO N° L000020135

Pág. 1

Cliente: I.C INDUSTRIAL S.R.L. Dirección: RUC / DNI /Otros: 20303495984 Atención: Referencias: Mostrador	Orden de Trabajo: Fecha de Ingreso: 22/07/2022 Fecha de Resultados: 25/07/2022 Cantidad de Muestras: 1
---	---

Código CHP	Descripción de la Muestra	Tipo de Ensayo	Elemento	Resultado	Unidad	Rango de Trabajo
119553	NITRATO DE CALCIO IC-LOTE:7A JULIO 22	Ca ICP en Soluciones	Ca	202282	mg/L	2 a 300000

Figura 28

Análisis de Ca en la prueba piloto N°1



REPORTE DE LABORATORIO N° L000020842-AMP-I-1

Pág. 1

Cliente: I.C INDUSTRIAL S.R.L. Dirección: AV. REVOLUCION MZA. I-15 LOTE. 9 URB. ZONA INDUSTRIAL - VENTANILLA RUC / DNI /Otros: 20303495984 Atención: Referencias: Mostrador	Orden de Trabajo: Fecha de Ingreso: 15/11/2022 Fecha de Resultados: 17/11/2022 Cantidad de Muestras: 1
--	---

Código CHP	Descripción de la Muestra	Tipo de Ensayo	Elemento	Resultado	Unidad	Rango de Trabajo
121741	SOLUCION DE Ca 20% P/P IC-LOTE 10 (OCT 22)	Ca ICP en Soluciones	Ca	210135	mg/L	2 a 500000

Figura 29

Análisis de Ca en la prueba piloto N°2



REPORTE DE LABORATORIO N° 000020841-AMP-I-1
 Pág. 1

Cliente: I.C INDUSTRIAL S.R.L Dirección: AV. REVOLUCION MZA. I-15 LOTE. 9 URB. ZONA INDUSTRIAL - VENTANILLA RUC / DNI /Otros: 20303495984 Atención: Referencias: Mostrador	Orden de Trabajo: Fecha de Ingreso: 15/11/2022 Fecha de Resultados: 17/11/2022 Cantidad de Muestras: 1
---	---

Código CHP	Descripción de la Muestra	Tipo de Ensayo	Elemento	Resultado	Unidad	Rango de Trabajo
121740	NITRATO DE Ca NCa-11A-22-1.57 (NOV 22)	Ca ICP en Soluciones	Ca	228321	mg/L	2 a 500000

Figura 30

Análisis de Ca en la línea de producción con el tanque reactor [R-1]



REPORTE DE LABORATORIO N° 000020840-AMP-I-1
 Pág. 1

Cliente: I.C INDUSTRIAL S.R.L Dirección: AV. REVOLUCION MZA. I-15 LOTE. 9 URB. ZONA INDUSTRIAL - VENTANILLA RUC / DNI /Otros: 20303495984 Atención: Referencias: Mostrador	Orden de Trabajo: Fecha de Ingreso: 16/11/2022 Fecha de Resultados: 21/11/2022 Cantidad de Muestras: 1
---	---

Código CHP	Descripción de la Muestra	Tipo de Ensayo	Elemento	Resultado	Unidad	Rango de Trabajo
121739	NITRATO DE Ca NCa-11A-22-1.56 (NOV 22)	Ca ICP en Soluciones	Ca	233158	mg/L	2 a 500000

Figura 31

Análisis de Ca para la línea de producción de nitrato de calcio mes de enero.

 **LABORATORIO PLENCE**

REPORTE DE LABORATORIO N°000021129 Pág. 1

Cliente: I.C INDUSTRIAL S.R.L	Orden de Trabajo:
Dirección: AV. REVOLUCION MZA. I-15 LOTE. 9 URB. ZONA INDUSTRIAL - VENTANILLA	Fecha de Ingreso: 11/01/2023
RUC / DNI /Otros: 20303495984	Fecha de Resultados: 14/01/2023
Atención:	Cantidad de Muestras: 1
Referencias: Mostrador	

Código CHP	Descripción de la Muestra	Tipo de Ensayo	Elemento	Resultado	Unidad	Rango de Trabajo
122963	NITRATO DE CALCIO NCa-11A-22	Ca ICP en Soluciones	Ca	224257	mg/L	2 a 500000

Figura 32

Análisis de Ca para la línea de producción de nitrato de calcio mes de febrero.

 **LABORATORIO PLENCE**

REPORTE DE LABORATORIO N°L000021300 Pág. 1

Cliente: I.C INDUSTRIAL S.R.L	Orden de Trabajo:
Dirección: AV. REVOLUCION MZA. I-15 LOTE. 9 URB. ZONA INDUSTRIAL - VENTANILLA	Fecha de Ingreso: 06/02/2023
RUC / DNI /Otros: 20303495984	Fecha de Resultados: 09/02/2023
Atención:	Cantidad de Muestras: 1
Referencias: Mostrador	

Código CHP	Descripción de la Muestra	Tipo de Ensayo	Elemento	Resultado	Unidad	Rango de Trabajo
123773	NITRATO DE CALCIO NCa IA-23	Ca ICP en Soluciones	Ca	235714	mg/L	2 a 500000

Figura 33

Análisis de Ca en la línea de producción con el tanque de polietileno.



REPORTE DE LABORATORIO N° L000021576

Pág. 1

Cliente: I.C INDUSTRIAL S.R.L. Dirección: AV. REVOLUCION MZA. I-15 LOTE. 9 URB. ZONA INDUSTRIAL - VENTANILLA RUC / DNI /Otros: 20303495984 Atención: Referencias: Mostrador	Orden de Trabajo: Fecha de Ingreso: 21/03/2023 Fecha de Resultados: 24/03/2023 Cantidad de Muestras: 1
--	---

Código CHP	Descripción de la Muestra	Tipo de Ensayo	Elemento	Resultado	Unidad	Rango de Trabajo
125250	NITRATO DE Ca IC NCa-0323	Ca ICP en Soluciones	Ca	243491	mg/L	2 a 500000

Figura 34

Análisis de Ca para la venta de nitrato de calcio.



REPORTE DE LABORATORIO N° L000021574

Pág. 1

Cliente: I.C INDUSTRIAL S.R.L. Dirección: AV. REVOLUCION MZA. I-15 LOTE. 9 URB. ZONA INDUSTRIAL - VENTANILLA RUC / DNI /Otros: 20303495984 Atención: Referencias: Mostrador	Orden de Trabajo: Fecha de Ingreso: 21/03/2023 Fecha de Resultados: 24/03/2023 Cantidad de Muestras: 1
--	---

Código CHP	Descripción de la Muestra	Tipo de Ensayo	Elemento	Resultado	Unidad	Rango de Trabajo
125248	SOLUNIT DE Ca SCa A-0323	Ca ICP en Soluciones	Ca	217895	mg/L	2 a 500000

Figura 35

Factura de la venta de nitrato de calcio líquido

IC INDUSTRIAL SRLTDA AV. REVOLUCION URB. ZONA INDUSTRIAL MZA. I 15 LOTE. 9 DETRAS DEL CENTRO COMERCIAL PLAZA VEA VENTANILLA - PROV. CONST. DEL CALLAO - PROV. CONST. DEL CALLAO		FACTURA ELECTRONICA RUC: 20303495984 E001-529	
Fecha de Emisión	: 20/03/2023	Forma de pago: Crédito	
Señor(es)	: QUIAGRAL S.A.C.	GUÍA DE REMISION REMITENTE	: 0001 - 5610
RUC	: 20459277332		
Dirección del Receptor de la factura	P.J. COMBATE DE ABTAO 140 URB. PARQUE ALTO LIMA LIMA SANTIAGO DE SURCO P.J. COMBATE DE ABTAO 140 URB. PARQUE ALTO LIMA-LIMA- SANTIAGO DE SURCO		
Dirección del Cliente	P.J. COMBATE DE ABTAO 140 URB. PARQUE ALTO LIMA-LIMA- SANTIAGO DE SURCO		
Tipo de Moneda	: DOLAR AMERICANO		
Observación	: PRODUCTO ENTREGADO EN LOCAL DEL VENDEDOR		

Cantidad	Unidad Medida	Código	Descripción	Valor Unitario
9432.00	KILOGRAMO	17	SOLUCION DE CALCIO - NITRATO CALCIO	1.60

Valor de Venta de Operaciones Gratuitas : \$0.00

Sub Total Ventas :	\$ 15,091.20
Anticipos :	\$ 0.00
Descuentos :	\$ 0.00
Valor Venta :	\$ 15,091.20
ISC :	\$ 0.00
IGV :	\$ 2,716.42
Otros Cargos :	\$ 0.00
Otros Tributos :	\$ 0.00
Monto de redondeo :	\$ 0.00
Importe Total :	\$ 17,807.62

SON: DIECISIETE MIL OCHOCIENTOS SIETE Y 62/100 DOLAR AMERICANO
 Orden de Compra : 3534

Figura 36

Factura de la compra de Ácido Nítrico



Quimex
Experiencia en buena química

QUIMEX S.A.

GRUPO EMPRESARIAL QUIMEX S.A.

Teléfonos : 632-5160 – 534-2868 – 534-2869

RPC: 983743980 – 983743160

ENTEL: 998315004

E-mail : ventas@quimexsa.com

Web: www.quimexsa.com

FACTURA ELECTRÓNICA
Nro. F001-00136659

Cliente :	IC INDUSTRIAL SRLTDA		
Dirección :	AV.REVOLUCION MZA.I 15 LOTE 9 URB. ZONA INDUSTRIAL(ALT.DEL BCO DE CREDITO DE VENTANILLA) - VENTANILLA - PROV.CONST.DEL CALLAO - CALLAO		
R.U.C. :	20303495984	Teléfonos :	
Condición de Pago :	FACTURA 30 DIAS	Moneda :	DOLARES AMERICANOS
Fecha de Emisión :	20/12/2022	Fecha de Vencimiento :	20/01/2023
R.BBss. Fiscal :	3111190002162	Orden de Compra :	20-12A-22
Guía de Remisión :	G010-00010383	Orden de Pedido :	143519

Item	Cantidad	Unidad	Descripción	V. Unitario	Importe
QFMEAN001	5,800.00	KG	ACIDO NITRICO 68-69(290)	1.160000	6,728.00

Comentarios:



SUBTOTAL	USD 6,728.00
DESCUENTO	USD 0.00
ANTICIPO	USD 0.00
IGV 18%	USD 1,211.04
IMPORTE TOTAL	USD 7,939.04

FORMA DE PAGO	NRO CUOTA	FECHA VENCIMIENTO	MONTO
Credito	001	20/01/2023	7,939.04

Representación Impresa de la Factura Electrónica
 Autorizado mediante la Resolución de Intendencia N° 0180050002804/SUNAT

Figura 37

Factura de la compra de carbonato de calcio

Cuenta de Cargo

0011-0136-0100044323

I C INDUSTRIAL S R L

SOLES

Cuenta de Abono

0011-0686-0100006678

COMPA#IA MINERA
AGREGADOS CALCAREOS SA

SOLES

Detalle de la operación

Importe Abonado

13,125.97 SOLES

Fecha / Hora

23/09/2022 09:40

Referencia

COMPRA 15 TM CARBONAT
CALCIO-FM1000

Número de Operación

5,170-0

Detalle de Comisiones

Comisión por Otra Plaza

0.00 SOLES

Datos Adicionales