



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO DE UN PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE
CARBONATO DE CALCIO PRECIPITADO A PARTIR DE LA CAL
HIDRATADA EN LA EMPRESA INCOREG CIA. LTDA.**

Trabajo de titulación

TIPO: PROYECTO TECNICO

Presentado para optar por el grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: SAMANIEGO CHÁVEZ JORGE SANTIAGO

TUTOR: ING. MARIO GUSTAVO VILLACRÉS ÁLVAREZ

Riobamba-Ecuador

2018

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El tribunal de Trabajo de titulación certifica que: El trabajo de investigación: Tipo técnico: “**Diseño de un proceso para la obtención de carbonato de calcio precipitado a partir de la cal hidratada en la Empresa INCOREG CIA. LTDA**” de responsabilidad del señor Jorge Santiago Samaniego Chávez, ha sido revisado por los miembros del tribunal del Trabajo de titulación, quedando autorizado así su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Mario Gustavo Villacrés Álvarez

DIRECTOR DEL

.....

.....

TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing. Segundo Hugo Calderón

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....

.....

Yo, Jorge Santiago Samaniego Chávez, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Jorge Santiago Samaniego Chávez

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por guiar mi camino durante esta etapa estudiantil, a mis Abuelitos (Maternos) Jorgito y Angelita, a mi Madre Olindita, mi ñañita Marcelita ellos que siempre estuvieron conmigo en las buenas y en las malas que me apoyaron para así culminar mi carrera.

A los docentes de Ingeniería Química de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Facultad de Ciencias por haber compartido sus conocimientos conmigo a lo largo de la formación de mi profesión,

En especial a mi Director de tesis Ing. Mario Villacrés y Colaborador Ing. Hugo Calderón quienes guiaron con su paciencia y rectitud como docentes, al Ing. David Guevara gerente general de la Empresa INCOREG CIA. LTDA por abrirme las puertas de la empresa y confiar en mí para así desarrollar mi tema de titulación.

Por último, a mis compañeros quienes fueron como hermanos y me acogieron en las buenas y en las malas durante mi periodo como Representante Estudiantil de mi carrera de Ingeniería Química.

Jorge Santiago Samaniego Chávez

DEDICATORIA

Con amor dedico mi tesis a las personas que amo tanto en esta vida a mis Abuelitos Angelita (jilala) Jorgito (gugaa) a mi madre Olindita Georgina Chávez Chuiza a mi ñañita Marcelita a mis sobrinitos y en especial a quien me dio muchas fuerzas para salir adelante mi hijo JOAQUIN quien es el motor de mi vida, esto es para ustedes los AMO.

Jorge Santiago Samaniego Chávez

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPITULO I	
1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1. Identificación del problema.....	1
1.2. Justificación del Proyecto:.....	1
1.3. Línea base del proyecto	2
1.3.1 Reconocimiento del lugar de investigación	2
1.3.2. Tipo de estudio.....	4
1.3.3. Métodos.....	4
1.4. Beneficiarios directos e indirectos	5
CAPITULO II	
2.OBJETIVOS DEL PROYECTO	6
2.1. Objetivo General	6
2.2. Objetivos Específicos	6
CAPÍTULO III	
3. ESTUDIO TÉCNICO PRELIMINAR	7
3.1. Localización del Proyecto.....	7
3.2 Ingeniería del Proyecto.	8
3.2.1. <i>Materia Prima</i>	8
3.2.2. <i>Clasificación</i>	15
3.3. La cal y sus derivados.....	16
3.3.1 <i>Cal</i>	16
3.3.2. <i>Características físico - químicas de la cal</i>	17
3.3.3. <i>Aplicaciones de cal</i>	19
3.4. Cal hidratada	20
3.4.1. <i>Hidratación de la cal viva</i>	20
3.4.2. <i>Principales características</i>	21
3.5. <i>Origen Hídrico</i>	21

3.5.1. Origen biológico.....	21
3.6. Carbonato de calcio precipitado	21
3.7. Características del calcio precipitado	22
3.8. Ensayos de laboratorio.....	24
3.8.1. Estudios de calcinación	24
3.8.2. Estudios de hidratación	28
3.8.3. Estudios de purificación	29
3.8.4. Estudios de carbonatación.....	30
3.8.5. Estudios de eliminación de hierro	30
3.9. Resultados.....	31
3.9.1. Proceso de fabricación	33
3.9.2. Carbonatación	35
3.9.3. Purificación del producto	36
3.10. Proceso productivo a emplearse	37
3.10.1. Transporte y alimentación de materia prima	37
3.10.2. Disgregación.....	38
3.10.3. Sedimentación.....	38
3.10.4. Tamizado.....	38
3.10.5. Carbonatación	39
3.11. Maquinaria.....	60
3.11.1. Tanque reactor.....	60
3.11.2. Agitador para disgregar	65
3.11.3. Banda transportadora.....	67
3.11.4. Tanque lavador	70
3.11.5. Tolvas dosificadoras	71
3.12. Discusión de resultados	73
3.13. Requerimiento de maquinaria para la producción	75
3.13.1. Equipos de ensayo y laboratorio	75
3.14. Requerimientos y materiales para el proceso industrial	76
3.14.1. Análisis y costo del beneficio del proyecto.....	76
3.14.2. Estructura financiera.....	77
3.14.3. Presupuesto del capital de trabajo	77
3.14.4. Costos administrativos.....	77

<i>3.14.5. Ingresos</i>	77
<i>3.14.6. Estado de resultados</i>	81
CONCLUSIONES	85
RECOMENDACIONES	86
BIBLIOGRAFIA	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-3: Localización del proyecto	7
Tabla 2-3: Tipos de caliza.....	10
Tabla 3-3: Características de la piedra caliza	13
Tabla 4-3: Elementos establecidos en la separación de la piedra caliza.....	15
Tabla 5-3: Valores de equilibrio para la presión del dióxido de carbono a diversas	17
Tabla 6-3: Características físico químicos de los distintos tipos de cal.....	18
Tabla 7-3: Características de la cal viva	21
Tabla 8-3: Características del calcio precipitado	22
Tabla 9-3: Obtención del carbonato de calcio precipitado	23
Tabla 10-3: Ensayo de calcinación sobre el efecto de la temperatura por el tamaño de partícula	25
Tabla 11-3: Ensayo de calcinación sobre el efecto del tiempo y temperatura de calcinación	25
Tabla 12-3: Ensayo mediante el tiempo de calcinación y el tamaño de partícula	25
Tabla 13-3: Ensayo de calcinación para determinar la temperatura y tiempo de calentamiento variable	26
Tabla 14-3: Ensayo de calcinación con tamaño de partículas constantes.....	26
Tabla 15-3: Efecto del tamaño de partículas	27
Tabla 16-3: Caracterización mineral de carbonato de calcio.....	31
Tabla 17-3: Ensayo de calcinación	32
Tabla 18-3: Porcentaje de peso	35
Tabla 19-3: Parámetros de diseño de la banda transportadora	69
Tabla 20-3: Maquinaria y equipo.....	76
Tabla 21-3: Inversión.....	77
Tabla 22-3: Presupuesto de costos y gasto	79
Tabla 23-3: Estado de resultados	81
Tabla 24-3: Valor actual neto (VAN)	82
Tabla 25-3: Tasa Interna de Retorno (TIR)	83
Tabla 26-3: Tasa de descuento.....	83
Tabla 27-3: Relación costo beneficio	84
Tabla 28-3: Periodo de recuperación del capital	84

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1-1: Tipos de cal viva	3
Figura 2-1: Cal hidratada	3
Figura 3-1: Carbonato de calcio.....	4
<i>Figura 1-3: Clasificación de la piedra caliza.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 2-3: Principales derivados de la caliza.....</i>	<i>10</i>
Figura 3-3: Clases de poros	12
Figura 4-3: Carbonato de calcio precipitado.....	22
Figura 5-3: Ensayo de calcinación para óptima.....	24
Figura 6-3: Estudio de hidratación.....	28
Figura 7-3: Resultados de estudio.....	29
Figura 8-3: Estudio de eliminación de hierro	31
Figura 9-3: Tanque reactor	61
Figura 10-3: Agitador para disgregar.....	65
Figura 11-3: Banda transportada.....	68
Figura 12-3: Tanque de lavado	71
Figura 13-3: Tolvas dosificadoras	72
Figura 14-3: Proceso de producción	74

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Materiales para la realización del ensayo	89
Anexo B: Diseño de la planta.....	91

RESUMEN

El objetivo fue diseñar un proceso para la obtención de carbonato de calcio precipitado a partir de la producción de cal hidratada en la empresa INCOREG CIA. LTDA, la piedra caliza se encuentra en gran cantidad en la zona de almacenamiento, dicho material no es utilizado en su totalidad para la elaboración de productos. El estudio consistió en diseñar el proceso adecuado para la obtención del carbonato de calcio precipitado; para lo cual se realizaron estudios de calcinación, hidratación, purificación, carbonatación y lixiviación productiva con muestras representativas de cal. Los ensayos de hidratación demostraron que para convertir el CaO en Ca (OH)₂ es necesario un tiempo de hidratación mayor a 5 minutos, porcentaje de sólidos del 20% y velocidad de agitación igual o mayor a 1084 revoluciones por minuto. La etapa de purificación en hidrociclones en tres etapas reveló que solo es posible eliminar un 50% del hierro y sílice con los valores optimizados de las variables analizadas. Los resultados de los estudios de carbonatación demuestran que posible producir demuestran que es posible producir carbonato de calcio precipitado con pureza >98%, tamaño de partícula d₅₀, del orden 3,4 micrones y tamaño de partícula d₉₀ de 9,1. Para incrementar el índice de blancura fue necesario eliminar todo el hierro debido a que su presencia Mediante un estudio de factibilidad se evidencia que dicho diseño es viable tanto económica como financieramente. De acuerdo al estudio se recomienda tomar en cuenta los pasos especificados para el diseño del proceso de la obtención de carbonato de calcio precipitado mediante la cal hidratada con la finalidad de que el producto cumpla con las características determinadas.

Palabras claves: <INGENIERIA Y TEGNOLOGIA QUIMICA, TECNOLOGIA DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES, CARBONATO DE CALCIO PRECIPITADO>, <CAL HIDRATADA>, <PIEDRA CALIZA>, <HIDRATACIÓN>, <PURIFICACIÓN>.

ABSTRACT

The aim was to design a process in order to obtain precipitated calcium carbonate from the production of hydrated lime in the company INCOREG CIA. LTDA. Limestone is found in large quantity in the storage area, such material is not used for product processing. The study consisted of designing the appropriate process to obtain precipitated calcium carbonate, for this, studies of calcination, hydration, purification, carbonation and productive leaching samples showed that to convert the CaO into Ca(OH)₂, a hydration time greater than 5 minutes is needed a percentage of 20% solids and agitation speed equal to or greater than 1064 revolutions per minute. The stage of purification in Three – stage Hydrocyclones revealed that it is only possible to eliminate 50% of iron and silica with the optimized values from the analyzed Variables. The results of carbonation studies demonstrate that it is possible to produce precipitated calcium carbonate with purity > 98% particle size d₅₀, 3.4 microns and particle size D90 9.1. To increase the index of whiteness was necessary to eliminate all iron through a feasibility study, in addition it shows that this design is feasible both economically and financially. According to the study it is recommended to take into account the steps specified for the design of the process to obtain calcium carbonate precipitated by the hydrated lime with the purpose that the product meets the specific characteristics.

Key Words: CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY, INDUSTRIAL PROCESS TECHNOLOGY, PRECIPITATED CALCIUM, CARBONATE, HYDRATED LIME, LIMESTONE, HYDRATION PURIFICATION.

CAPITULO I

1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

La empresa INCOREG CIA. LTDA, se dedica a la producción de hidróxido de calcio y óxido de calcio a partir de piedra caliza, que es utilizada como materia prima para la obtención de dichos productos.

La piedra caliza se encuentra en gran cantidad en la zona de almacenamiento, dicho material no es utilizado en su totalidad para la elaboración de productos. La empresa requiere obtener carbonato de calcio precipitado, utilizando hidróxido de calcio como materia prima principal para otro fin como es la obtención de carbonato de calcio precipitado, el mismo que posee diferentes usos industriales como materia prima para la elaboración de pinturas, papel, etc.

Un proyecto acerca de la obtención de carbonato de calcio precipitado a partir del hidróxido de calcio (cal hidratada) es requerido de manera prioritaria por la empresa, puesto que la misma requiere de procesos que estén destinados a la utilización de su materia prima en su totalidad, la misma que genere ingresos económicos y extensión en el mercado industrial.

1.2. Justificación del Proyecto:

Con el presente proyecto la empresa INCOREG CIA. LTDA podrá aumentar sus ingresos y a la vez ser una compañía que se expanda en el campo industrial, no solo por la producción de óxido de calcio e hidróxido de calcio, ahora también con la producción de carbonato de calcio precipitado.

El trabajo se realizará mediante ensayos experimentales, porque se pretende examinar los métodos para obtener carbonato de calcio precipitado a partir del hidróxido de calcio (cal hidratada), identificando el más apropiado y eficiente para aplicarlo, y así poder cumplir cada uno de los objetivos planteados.

El trabajo se fundamentó en ensayos experimentales que permitan elegir el proceso químico adecuado, mismo que sustente el diseño apropiado, cumpliendo los objetivos planteados.

1.3.Línea base del proyecto

1.3.1 Reconocimiento del lugar de investigación

Para el desarrollo de la presente investigación se acudió a la empresa INCOREG CIA. LTDA, la misma que está ubicada en el cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo específicamente en el parque industrial, en la cual se realizó una evaluación de los aspectos que son necesarios para poner en marcha el proyecto entre los que se encuentran factores demográficos, económicos y ambientales.

1.3.1.1 Aspectos ambientales

INCOREG CIA. LTDA, lleva varios años en el mercado Riobambeño, mediante el fundador y representante legal se pudo conocer las principales actividades hacia las cuales se dirige la empresa entre ellas está la producción y distribución de productos derivados de carbonato ofreciendo dentro de su línea de productos cal viva e hidratada de alta calidad los mismos que han establecido un buen prestigio para la empresa y posesionarse en mercados nacionales.

Las instalaciones con la que cuenta la empresa están determinadas ante una extensión de 8000 m², actualmente la empresa cuenta con 1 báscula para tráiler, 9 hornos, 3 tamizadoras, 4 molinos de bodas, 1 laboratorio de control y 3 pulverizadores cada uno de los materiales son utilizados para la producción y la distribución de los productos.

1.3.1.2. Productos que ofrece

Los productos elaborados por la empresa, son distribuidos en el mercado local y nacional entre los productos se encuentran la cal viva e hidratada.

1.3.1.2.1 Oxido de Calcio (Cal Viva)

El óxido de calcio también llamada cal viva, es el resultado de la calcinación de una roca caliza, es conocida como una cal altamente reactiva, posee una alta concentración de calcio

(CAO). La cal viva es generada por diferentes tipos como son cal viva fina. Gruesa y en polvo.

FINA	GRUESA	POLVO
		

Figura 1-1: Tipos de cal viva

Fuente: INCOREG

1.3.1.2.2 Hidróxido de calcio (Cal Hidratada)

Es un polvo seco y fino caracterizado por un color blanquecino, muy liviano está compuesto por un alto contenido de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, es también conocida como cal apagada, su uso es destinado para la elaboración de yesos y cementos.



Figura 2-1: Cal hidratada

Fuente: INCOREG

1.3.1.2.3 Carbonato de Calcio Micronizado (molido)

El carbonato de calcio también conocido como carbonato cálcico es un producto que se obtiene mediante la utilización de moliendas finas o pequeñas finuras de calizas 100% puras. Al carbonato de calcio se lo puede encontrar en la naturaleza a través de pequeñas rocas, en

todas las partes del mundo, el carbonato es uno de los principales componentes de varios armazones de organismos y de las conchas.



Figura 3-1: Carbonato de calcio
Fuente: INCOREG

1.3.1.3. Aspectos económicos

La empresa INCOREG CIA. LTDA se encuentra dentro de un estándar económico alto lo que permite llevar a cabo la realización del proyecto, para la adquisición de materia prima se lo realizará mediante toneladas de caliza desde la Provincia de Zamora localidad Zumba el cual tienen un costo de 13 dólares.

1.3.2. Tipo de estudio

La presente investigación se basa en un estudio analítico- descriptivo, debido a que se requiere realizar del análisis mediante ensayos en laboratorios con el fin de recolectar datos y analizar y procesar los resultados dados, con el fin de que se pueda enfocar el control de las variables ante el estudio experimental.

1.3.3. Métodos

1.3.3.1. Método Inductivo

Ante la investigación lo que se pretende es dar cumplimiento con el objetivo a través de la obtención de datos específicos. Lo que contribuirá a establecer las variables de operación, para determinar el proceso de obtención de calcio precipitado a partir de la cal hidratada.

1.3.3.2. Método Deductivo

Se establecerá fundamentos de estudios como Transferencia de Calor, Control de calidad y Operaciones Unitarias, cuya aplicación permitirá resolver los problemas más frecuentes durante el transcurso del presente estudio; lo cual facilitará un mejor dimensionamiento del equipo.

1.3.3.2. Método experimental

El método experimental ayudará al control de manera específica de las variables para conocer las relaciones entre las mismas. Mediante el método experimental se recopilará los datos necesarios para realizar una comparación entre los datos de diseño de los procesos.

1.4. Beneficiarios directos e indirectos

Beneficiario directo: El beneficiario directo será la empresa INCOREG CIA. LTDA ha manifestado disponer de recursos y tener la decisión para realización del proyecto.

Beneficiarios indirectos: Los beneficiarios indirectos serán los trabajadores de la empresa, ya que con la realización de dicho proyecto se incrementará la rentabilidad mediante la venta del nuevo producto.

CAPITULO II:

2.OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1.Objetivo General

Diseñar un proceso para la obtención de carbonato de calcio precipitado a partir de la producción de cal hidratada en la empresa INCOREG CIA. LTDA.

2.2.Objetivos Específicos

- Realizar una caracterización físico-química de la materia prima (cal hidratada), desarrollar a escala de laboratorio la producción de carbonato de calcio precipitado para identificar las variables del proceso.
- Realizar pruebas de tratabilidad mediante ensayos experimentales a partir del hidróxido de calcio.
- Definir el proceso adecuado para la transformación de hidróxido de calcio en carbonato de calcio precipitado para su implementación en la empresa INCOREG CIA. LTDA.
- Determinar la factibilidad técnica y económica del proyecto mediante un informe de rentabilidad.

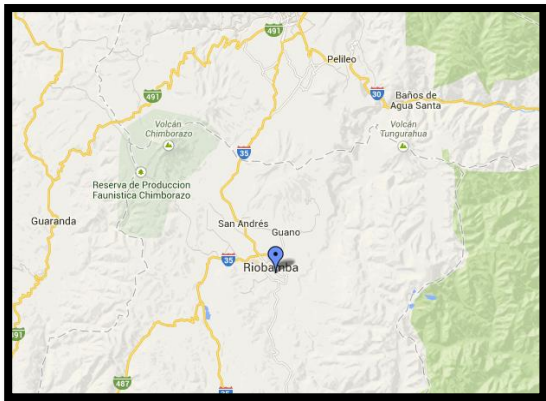

CAPÍTULO III

3. ESTUDIO TÉCNICO PRELIMINAR

3.1. Localización del Proyecto

La empresa INCOREG CIA. LTDA, se encuentra ubicada en la ciudad la Provincia de Chimborazo, específicamente en la ciudad de Riobamba en la Av. Celso Rodríguez y Bolívar Bonilla, establecida en la parroquia Velasco.

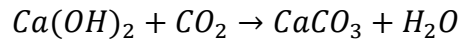
Tabla 1-3: Localización del proyecto

Macro localización	Micro localización
	
CONTINENTE	América
PAIS	Ecuador
PROVINCIA	Chimborazo
CANTON	Riobamba
PARROQUIA	Velasco

Elaborado por: Samaniego Santiago, 2018

3.2 Ingeniería del Proyecto.

El trabajo técnico estará dividido de varias etapas que se seguirán paso a paso para la obtención de carbonato de calcio precipitado.



3.2.1. Materia Prima

3.2.1.1. Caliza

Es un componente muy utilizado como enmienda para neutralizar la calidez del suelo y suministrar el calcio de gran ayuda para nutrición de las plantas (González, 2012).

La caliza, se la encuentra formada en pequeñas rocas las mismas contienen 50% de minerales denominado calcita estructurado por la siguiente fórmula ($CaCO_3$) compuesta también por dolomita, ($Ca,Mg(CO_3)$), prevaleciendo la calcita (Solano, 2011).

Al prevalecer la dolomita es decir ($Ca,Mg(CO_3)$), se la establece como dolomía. A la caliza se caracteriza por ser fundible, escorificante y neutralizante. La caliza se encuentra formada por una roca sedimentaria, su forma es de tipo porosa está compuesta por carbonatos, entre los más principales carbonato de calcio, así como también de magnesio y potasio. Cuando existe una alta proporción de magnesio se la denomina dolomita, la piedra caliza es caracterizada por ser una roca permeable ya que la misma permite el paso de agua. Al realizarse el proceso de ingreso de agua a la roca existe la disolución del carbonato de calcio.

Estos fijan el calcio disueltos en el agua y lo utilizan para construir sus esqueletos en forma de calcita o aragonito, cuando estos mueren, sus esqueletos darán unas calizas formadas por calcita, siempre el aragonito es inestable y se transforma en calcita, también se depositan calizas en los fondos marinos como consecuencia indirecta del metabolismo de los seres vivos.

Los principales usos de la caliza están basados en:

- La construcción
- Fundición
- Productos químicos

- Agroquímicos
- Vidrio

3.2.1.2. Composición química de la piedra caliza

La composición química, de la piedra caliza se encuentra dada a través de diversos minerales diferentes. Cada una de las piedras calizas, están compuestas por el carbonato de calcio el mismo que es conocido por ser uno de los más abundantes en el planeta. El carbonato de calcio se encuentra compuesto por al menos un cincuenta por ciento de las piedras calizas en forma de calcita. La mayor parte de calizas son llamadas calcitas casi puras, su contenido se encuentra basado a través de arena y sustancias como minerales de arcillas, pirita cuarzo entre otros. La piedra caliza es conocida como el peso de sustancias de diferentes minerales de arcilla (Bravo, 2015).

- **Impurezas**

La piedra caliza posee impurezas las cuales se clasifican como homogéneas y heterogéneas.

- **Sílice y arcilla**

Impurezas homogéneas: entre las principales se encuentran el barro, la arena, el lodo y otras formas de sílice, se distribuyen de manera deliberada mediante el tiempo de formación.

Impurezas heterogéneas: son fragmentos que aparecen a través de la arena, entre ellos se encuentran el sílex corneo, lo mismos se forman de manera incoherente en la caliza.

Según el contenido de la arcilla la piedra caliza se clasifica en:

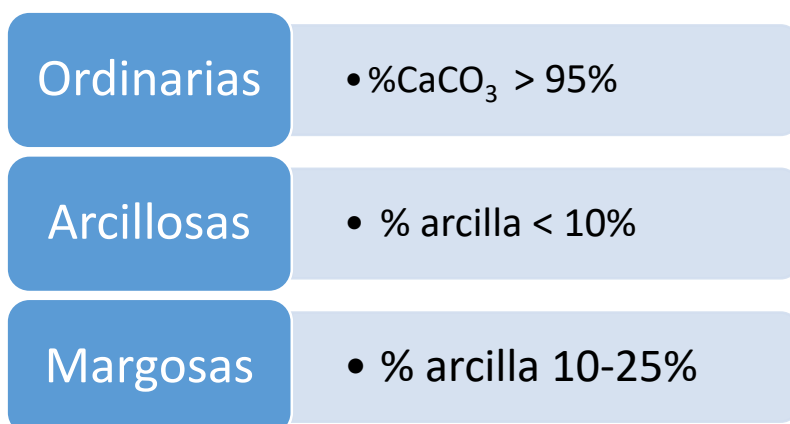


Figura 1-4: Clasificación de la piedra caliza

Elaborado por: Samaniego Santiago, 2018

3.2.1.3. Principales derivados de la caliza

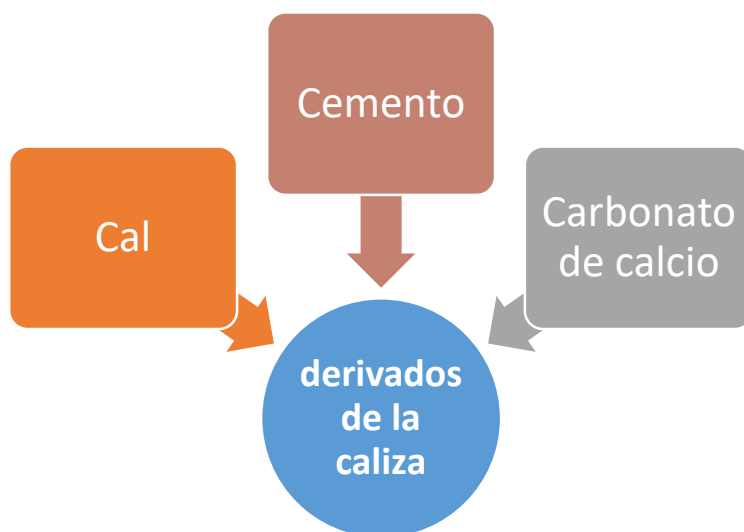


Figura 2-5: Principales derivados de la caliza

Fuente: Coordinación General de Minería (2016)

Tabla 2-3: Tipos de caliza

Tipos	Características
Fosilíferas	Calizas compuestas por un elevado porcentaje de restos carbonatados de seres vivos (fósiles), cementados por carbonato cálcico
Bioclásticas	Son calizas formadas mayoritariamente por fragmentos carbonatados de fósiles. Realmente son calizas fosilíferas cuyos fósiles están muy fragmentados.
Nodulosas rojas	Rocas carbonatadas de color rojizo con estructura nodular originada por un intenso proceso de bioturbación sobre fangos micríticos calcáreos. Se formaron en altos fondos marinos alejados del continente emergido durante el Jurásico (umbrales).
Oolíticas	Calizas compuestas fundamentalmente por oolitos que son granos esféricos de carbonato cálcico de

	origen inorgánico con estructura concéntrica. Se formaron en medios marinos cálidos y poco profundos (plataformas carbonatadas).
Lacustres	Calizas formadas por la precipitación de carbonato cálcico en medios lacustres. Suelen tener coloraciones claras con tonos grisáceos, pardos o rosados. Se caracterizan por presentar numerosas oquedades originadas por el escape de gases, pero a su vez son muy resistentes.

Fuente: (Guerreo, 2015)

Elaborado por: Samaniego Santiago, 2018

3.2.1.4. Principales características de la piedra caliza

Color: La piedra caliza es caracterizada por poseer un color blanco, sin embargo, no siempre lo representa este color por lo que puede cambiar a un color gris, marrón o amarillo. Con relación a las rayas grises que se presentan en el material en muchas de las veces son causadas por la materia orgánica. Con respecto a los fragmentos amarillos y marrones presentados en la piedra caliza en la mayor parte de los casos son causados por impurezas de óxido de hierro presentadas en la roca (Herrera, 2012).

Textura: La piedra caliza presenta una textura a través de un material grueso, hasta partículas muy finas, están compuestas mediante un material fósil de pequeños fragmentos ya sea de conchas viejas como de otros materiales antiguos, en la mayor parte este último puede ser visualizado a simple vista, en otras de las veces se presenta un material fino y cristalizado en donde los restos fósiles no pueden ser vistos de manera fácil (Sinualiza, 2013).

Blandura: Otra de las características principales de la piedra caliza es la blandura, ya que la misma se raya con facilidad. En la parte superficial es decir en el exterior, los factores como la lluvia, el sol, el viento y los derivados de los contaminantes atmosféricos son combinados para desgastar la piedra, provocando que con el tiempo se genere una disolución a través de largos periodos de tiempo (Herrera, 2012).

La piedra reanuda fácilmente a los ácidos más comunes entre los que se encuentran el ácido y el vinagre. Una vez aplicado el ácido en la piedra caliza se establece una acelerada efervescencia. Los ácidos atravesados en el medio ambiente, atraviesan la piedra caliza y se forma las capas ácidas.

Porosidad: La porosidad se encuentra basada a través de unas partículas de caliza, las cual varía considerablemente y depende en gran parte del grado de captación, como de la estructura. La porosidad es definida como una relación existente entre los volúmenes de los poros, cada uno de los volúmenes de los poros incluyen poros accesibles y no accesibles.

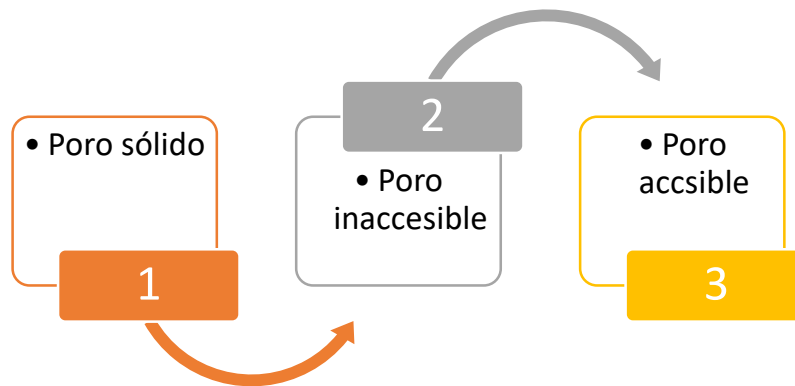


Figura 3-6: Clases de poros

Fuente: (González & Ticona , 2016)

Densidad: La densidad depende en gran parte de la altura y de la cantidad de restos fósiles existentes en la superficie, los silicatos que contienen este por lo general son ligeros. La piedra caliza es rica en calcio debido a los derivados que de ella se presentan ante la densidad.

Usos: Ante la textura y la suavidad que presenta como la erosión n un largo tiempo, la piedra caliza es usada se la utiliza como una base de componentes estructurales, la misma que es utilizada para la producción de trabajos ornamentales. Entre los principales usos que se le da a la piedra caliza se encuentran los siguientes:

1. Componentes de concreto, para la construcción de carreteras.
2. Es utilizada en la industria del cemento junto con la arcilla.
3. Es utilizada para la obtención de acetileno.
4. Obtención de bicarbonato sódico.
5. Se utiliza en la industria de vidrio
6. Es utilizado para cubrir la acidez del suelo

Tabla 3-3: Características de la piedra caliza

Nombre Mineralógico	Fórmula Química	Peso molecular (g/mol)	Peso Específico (g/cc)	Dureza (escala de Mohs)	Forma de cristales
Dolomita	CaCO ₃ .MgCO ₃	184.4	2.84	3.2 – 4.0	Romboédrica
Aragonita	CaCO ₃	100.1	2.94	3.5-4.0	Ortorrómbica
Aragonita	CaCO ₃	100.1	2.72	3.0	Romboédrica
Magnesita	MgCO ₃	84.3	3.00	3.5-4.5	Romboédrica

Fuente: (Guerreo, 2015)

Elaborado por: Samaniego Santiago, 2018

3.2.1.5. Carbonato de calcio

El carbonato de calcio es un componente de piedra caliza, es utilizado a lo largo de varios años y se encuentra ampliamente distribuida en depósitos geológicos. La fórmula determinada para el carbonato de calcio está dada por CaCO₃ (Hernández & Blanco, 2014).

El carbonato de calcio es una sustancia que se encuentra en la naturaleza, formando rocas como uno de los componentes principales en todas las partes del mundo y es uno de los principales componentes de conchas y esqueletos de muchos organismos. El principal componente del carbonato de calcio es la piedra caliza es un componente muy utilizado como enmienda para neutralizar la acidez del suelo y suministrar el calcio de gran ayuda para nutrición de las plantas (González, 2012).

De todas las sales que se encuentran compuestas por el calcio el carbonato es uno de los que más abunda en la naturaleza, es uno de los compuestos más extensos debido que con las arcillas y el cuarzo forman los minerales predominantes.

Los minerales que contienen carbonato de calcio son:

- **Aragonita:** Forma cristalina de carbonato de calcio.
- **Mármol:** Roca caliza altamente cristalizada por las condiciones de presión y temperatura.
- **Piedra caliza:** Roca sedimentaria con mayor proporción de carbonato de calcio

- **Creta:** Roca sedimentaria de origen marino de grano muy fino.

3.2.1.5. *Procesos de Obtención de carbonato de calcio*

El carbonato en las calizas aparece en rocas sedimentarias en forma de calcita, magnesita o dolomita mineral, desde donde se produce por distintos tipos de procesos.

Almendariz, 2015, en su estudio de investigación establece los siguientes procesos:

Procesos químicos: En este proceso, el carbonato se obtiene por precipitación de una solución bajo condiciones adecuadas de concentración, presión y temperatura.

Procesos biológicos: Se obtiene a través de organismos vegetales o animales que contienen algunas células que son capaces de absorber carbonato de una solución, y posteriormente depositarlo en forma de esqueleto o concha. Esto normalmente es carbonato de calcio.

Procesos clásicos: Este proceso de obtención, es por destrucción física de sedimentos calizos formados mediante procesos químicos o biológicos y que fueron redepositados en algún lugar, ya sea por congelamiento, deshielo, erosión u otro. Una vez producidos o depositados por los procesos indicados, han estado sujetos a cambios: primero se acomodaron, luego se comprimieron y compactaron bajo presión y que al ser expuestos a altas temperaturas produjo cambios en la estructura de los depósitos, ocurrió recristalización y resultó una gama de depósitos calizos (Almendariz, 2015).

La producción de la cal se encuentra dada por la segregación de caliza con un alto contenido de calcio y la obtención de caliza dolomítica.

Para la obtención de cal se cree necesario que la caliza se encuentra bajo un proceso termoquímico, el cual consta de incineración a través de la transferencia de masa mediante el calor, así como la transformación química de la materia prima.

En las siguientes tablas se determina las reacciones químicas dadas ante la producción de la cal con respecto al material utilizado en este caso la piedra caliza.

Primera reacción:

Obtención de la cal con un alto contenido de calcio

Reacción producida a 900° C aproximadamente, dependiendo del tipo de piedra caliza.

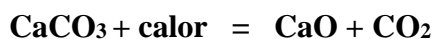


Tabla 4-3: Elementos establecidos en la separación de la piedra caliza

Elementos presentes en la reacción	
CaCO₃	Carbonato de calcio
CaO	Cal viva
CO₂	Dióxido de carbono

Fuente: (Almendariz, 2015)

3.2.2. Clasificación

Gálvez (2014), de acuerdo al compuesto mineralógico, utilizado para la fabricación del óxido metálico (cal viva), esta adquiere su denominación, pudiendo ser:

- **Dolomita**

Es el carbonato doble de calcio-magnesio, el que al calcinarlo se descompone en óxido de calcio-magnesio (CaO•MgO), de acuerdo a la siguiente reacción química:

Dolomita	Cal viva dolomítica
CaCO ₃ •MgCO ₃ (s) + calor	CaO•MgO (g) + 2CO ₂ (g)

- **Magnesita**

Es el carbonato de magnesio, que al ser sometido a calcinación se disocia en óxido de magnesio, de acuerdo a lo siguiente:

Magnesita	Cal viva magnesita
MgCO ₃ (s) + Calor	MgO (s) + CO ₂ (g)

- **Calcita**

Es el carbonato de calcio, que al calcinarlo se descompone en óxido de calcio (CaO) y anhídrido carbónico, de acuerdo a la siguiente reacción química:

Calcita	Cal viva calcita
CaCO ₃ (sólido) + Calor	CaO (sólido) + CO ₂ (gas)

El contenido de MgO fluctúa entre 0,5% a 2,5%. Si éste carbonato contiene cantidades sustanciales de sílice, alúmina, hierro, se obtiene la cal viva hidráulica. De acuerdo al grado de calcinación y a los fundentes que contenga la materia prima, se obtiene la cal viva calcítica de alta, mediana o baja reactividad, siendo esta reactividad la medida del tiempo de residencia que necesita la cal en el proceso de hidratación (Rendon & Ravello , 2013).

3.3. La cal y sus derivados

La cal viva es caliza calcinada, formada principalmente por óxido de calcio u óxido de calcio enlazado con óxido de magnesio y que es capaz de hidratarse con agua y formar productos derivados.

3.3.1 Cal

Se forma óxido de calcio cuando el carbonato de calcio se quema en el aire. En gran escala se produce calentando caliza en grandes hornos de cal llamados también caleras: CaCO₃ CaO + CO₂ La reacción es reversible, como indica la ecuación anterior. Se alcanza el equilibrio cuando en contacto con la caliza y la cal existe una determinada concentración o presión parcial de CO₂ (Guerreo, 2015).

La presión de equilibrio se llama presión de descomposición del carbonato de calcio. Si a cualquier temperatura la presión parcial del CO₂ es inferior a la del equilibrio, se descompondrá la caliza para incrementar dicha presión al valor de equilibrio.

En cambio, si la presión parcial es superior a la del equilibrio, la cal se combinará con el dióxido de carbono para formar el carbonato, y la presión descenderá al valor del equilibrio.

Tabla 5-3: Valores de equilibrio para la presión del dióxido de carbono a diversas temperaturas

Temperatura en °C.	500	600	700	800	900	1000
Presión (mm. de Hg).	0,11	2,35	25,3	168	773	2710

En la fabricación de la cal, la presión parcial del dióxido de carbono se mantiene inferior a la del equilibrio insuflando a través del horno una corriente de aire que arrastra el CO₂ y mantiene una atmósfera pobre en este gas.

3.3.1.1. Tipos de cal

Cal viva: la cal viva es un material que se obtiene de la calcinación de la piedra caliza, en donde desprende una serie de sustancias como anhídrido carbónico, a 1000°C, el mismo que se transforma en óxido de calcio. La cal viva tiene la capacidad de combinarse con el agua, con el fin de transformarse de óxido a dióxido.

Cal hidratada: está compuesto por un nombre comercial el cual se basa en una especie química, la cual se encuentra compuesta por un metal de calcio unido a dos grupos hidróxido.

Cal hidráulica: este tipo de cal está compuesta principalmente por un hidróxido de calcio de los factores como sílica (SiO₂) y alúmina (Al₂O₃), y mezclas sintéticas de composiciones similares, las cuales tienen propiedades como el endurecimiento debajo del agua.

3.3.2. Características físico - químicas de la cal

Los antecedentes físico-químicos que se presentan en las tablas siguientes, corresponden a datos teóricos de los distintos tipos de cal que existen.

Tabla 6-3: Características físico químicas de los distintos tipos de cal

Tipos de cal	Unidad	Calcítica	Dolomítica	Magnesia
Nombre Químico		Óxid de Ca	Óxido doble de Ca – Mg	Óxido de Mg
Fórmula Química		CaO	CaO•MgO	MgO
Peso Molecular	g/mol	56,08	96,40	40,32
Punto de Fusión	°C	2,57		2,80
Índice de refracción		1,838		1,736
Calor de solución	Kcal	+18,33		Cúbica
Formación cristalina				0,0068
Solubilidad a 0°C	g/L			0,0030
Solubilidad a 100°C	g/L			3,65
Peso específico				
Densidad en granza	g/L			

Fuente: (Ortero, 2014)

Elaborado por: Samaniego Santiago, 2018

3.3.3. Aplicaciones de cal

Urday (2013), en su investigación determina que la cal tiene un amplio campo de utilización, entre las más comunes se encuentran las siguientes:

Sector de la construcción: la cal es utilizada en el sector de la construcción para la elaboración de cemento como una de las principales materias primas para la elaboración de edificaciones.

Sector químico: En el sector químico la cal es utilizada como materia prima para el desarrollo de insecticidas, y fungicidas. Otra de la manera de utilizar la cal en el sector químico es para la absorción de blanqueadores secos. Sirve como base para la elaboración y producción de la mayor parte de sales inorgánicas. Se lo utiliza también para la elaboración de etileno, para la refinería del petróleo como factor para neutralizar todas las impurezas. Es utilizado en la madera para la obtención de la fibra de papel (Urday, 2013).

Sector alimenticio: en cuanto al sector alimenticio la cal es utilizada para el proceso de la elaboración de azúcar proveniente de la caña o la remolacha. Se la utiliza para la reducción de acidez en el proceso de elaboración de la mantequilla, se lo utiliza para la elaboración de polvo de hornear, la cal en el sector alimenticio también sirve para neutralizar los ácidos cítricos que se obtiene de la pulpa de fruta en las industrias.

Sector del medio ambiente: En lo que respecta a la utilización de la cal en el sector del medio ambiente, es uno de los principales materiales para los tratamientos de agua, permite la eliminación de la dureza. se lo utiliza también como una gente neutralizadora de ácido, en la gran industria es utilizado para el tratamiento de desperdicios que genera el sector mecánico. Sirve para evitar la putrefacción de los desechos eliminados por heces fecales, fosas sépticas y animales en descomposición (Urday, 2013).

Además, sirve para la purificación del aire, ya que es utilizada para la centralización de los gases que emanan las plantas industriales de carbón, como de aquellas plantas en las cuales se realiza la producción de aceite sulfúrico.

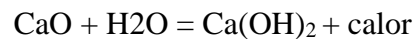
3.4. Cal hidratada

La cal hidratada es un polvo seco, cristalino e incoloro se encuentra fabricado mediante el tratamiento de óxido de calcio conocida como una cal viva, con agua mediante un proceso denominado apagado (Camacho, 2013).

Es también conocida como cal apagada o denominada cal muerta, la cal hidratada es usada mediante la utilización de morteros, yesos, cementos, pinturas y productos que se denomina como caucho duro, es utilizado también en los denominados petroquímicos.

3.4.1. Hidratación de la cal viva

Ya obtenida la cal viva se establece a un tratamiento con agua al mismo que se lo denomina cal apagada, cal hidratada, o hidróxido de calcio la misma que representa una reacción exotérmica expuesta mediante la siguiente formula:



Cuando la cal viva es pura existe una reacción eficiente ya que se desprende del calor, mientras que cuando la cal es impura existe una reacción diferente son hidratadas lentamente o una vez que los terrones son triturados.

Por lo general existe tres formas de cal hidratada:

Hidrato seco: es conocido como un polvo de finas partículas, se lo forma a través de la incorporación de agua con el fin de apagar la cal, la misma que es formada por una suspensión lechosa.

Lechada de cal: es realizada mediante de la cal viva apagada, mediante la incorporación de agua en grandes cantidades, la misma que da la forma de una suspensión lechosa.

Pasta de cal: es conocida como una masa viscosa que se forma mediante el asentamiento de los sólidos de la lechada de cal.

Una de las formas comunes de la cal es el hidrato seco, ya que es más fácil de almacenar y transportar. Con respecto a la pasta de cal es conocido como un material excelente para ser guardada mediante condiciones húmedas.

3.4.2. Principales características

Tabla 7-3: Características de la cal viva

Apariencia	Polvo
Color	Gris – Blanco
S.G	2.2.
Solubilidad	Ligeramente soluble en agua

Fuente: (Camacho, 2013)

3.5.2. Origen Hídrico

El denominado carbonato de calcio por su fórmula (CaCO_3), es disuelto de una manera muy fácil en un recipiente con agua que contiene dióxido de carbono (CO_2) gaseoso disuelto, ya que reacciona a mismo dando como resultado la formación de bicarbonato de calcio, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)$ un compuesto intermedio de alta solubilidad. En muchos de los casos al ser liberado en el entorno el CO_2 se contamina deliberadamente en la atmosfera.

3.5.3. Origen biológico

Variedad de organismos utilizan el carbonato de calcio para la construcción de esqueletos minerales ya que se trata de un compuesto cuantioso, y en la mayor parte casi a saturación en las aguas superficiales de los océanos y lagos, generando de esta manera la facilidad de inducir su precipitación.

Mediante la muerte de los organismos existentes en los lagos, se produce en la mayor parte de los casos acumulación de restos minerales, en donde la mayor parte de los casos llegan a formar parte de los sedimentos los cuales originan la mayoría de las piedras calizas.

3.6. Carbonato de calcio precipitado

El carbonato de calcio precipitado es un producto muy complejo de producir, el mismo es obtenido a través del calcio en forma de carbonato, es caracterizado por tener menos impurezas y mayor brillo.

Al ser comparado el carbonato de calcio precipitado con los carbonatos de calcio naturales, se genera las siguientes diferencias.

- Partículas de menor tamaño y más uniformes.
- La granulométricas son más estrechas y estables.
- Genera purezas químicas má elevadas.

Una de las grandes ventajas del carbonato de calcio precipitado es que se caracteriza por estar compuesta de formas cristalinas las mismas resultan por ser propiedades físicas ante la aplicación concreta.

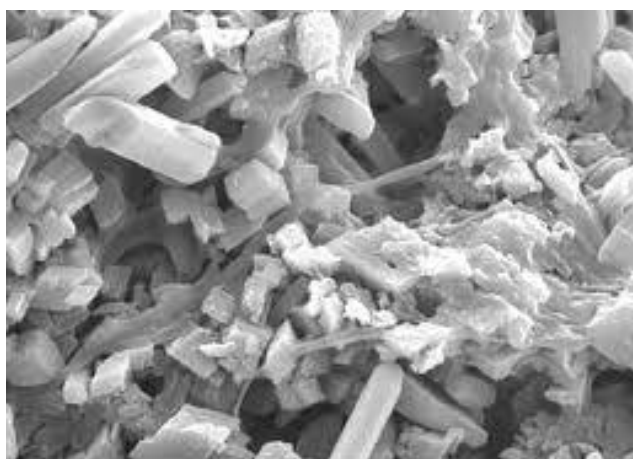


Figura 4-7: Carbonato de calcio precipitado

Fuente: Llierca, 2018

3.7. Características del calcio precipitado

A continuación, se especifica las características típicas del calcio precipitado el mismo que se logra gracias un sistema de producción en donde se obtiene especial cuidado.

Tabla 8-3: Características del calcio precipitado

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	VALORES
Apariencia	-	Polvo
Color	-	Blanco
Pureza	%	98.5 mín

Metales pesados	ppm	Menor a 20
Insolubles en HCl	%	0.2 max
Humedad	%	0.5 máx
pH	-	8.8 – 9.8
Blancura	%	98 mín
Densidad compactada	gr/cm ³	0.600 – 0.755

Fuente: (Ortero, 2014)

Elaborado por: Samaniego Santiago, 2018

Al combinar el calcio precipitado con el calcio natural se encuentran diferencias entre ellas está:

- La disposición de partículas de menor tamaño y más uniformes
- Ejerce menor abrasión
- Se obtienen superficies específicas superiores en el precipitado
- Se asegura purzas químicas más elevadas

La gran ventaja del carbonato de calcio precipitado se determina bajo la posibilidad de disponer de formas cristalinas que dan como resultado propiedades físicas adaptadas a la aplicación concreta.

El carbonato de calcio precipitado se lo obtiene mediante un proceso físico químico denominado carbonatación, existe una forma muy común que consiste en pasar en forma de gas a una solución de cal, a través de las siguientes reacciones.

Tabla 9-3: Obtención del carbonato de calcio precipitado

Calcinación	$\text{CaCO}_3 + \text{CALOR} = \text{CaO} + \text{CO}_2$
Que se libera	CaO: Óxido de calcio (cal viva)

Hidratación o apagamiento	$\text{CaO} + (\text{OH})^2$
Carbonatación	$\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O};$ CaCO_3 Carbonato de calcio precipitado

Fuente: (Ortero, 2014)

Elaborado por: Samaniego Santiago, 2018

3.8. Ensayos de laboratorio

3.8.1. Estudios de calcinación

El estudio de calcinación se realizó a través de un horno eléctrico, mediante el mismo se determinó el tiempo, la temperatura y el tamaño de las partículas para la calcinación.

Se establecieron dos etapas la primera se encuentra basada mediante un ensayo del cual se mantuvo la muestra a través de una etapa de calentamiento y calcinación. Posterior a ello se mantuvo la muestra al interior del horno solo mediante la etapa de calcinación.



Figura 5-8: Ensayo de calcinación para óptima

Tabla 10-3: Ensayo de calcinación sobre el efecto de la temperatura por el tamaño de partícula

Temperatura (°C)	Tamaño de partículas	Tiempo calentamiento (minutos)	Tiempo calcinación (minutos)
850	-6,35mm/+4,76mm	240	60
900			
950			
1150			

Elaborado por: Samaniego Santiago, 2018

Tabla 11-3: Ensayo de calcinación sobre el efecto del tiempo y temperatura de calcinación

Temperatura (°C)	Tamaño de partículas	Tiempo calentamiento (minutos)	Tiempo calcinación (minutos)
950	-6,35mm/+4,76mm	240	60
1150	-6,35mm/+4,76mm	240	60
			180

Elaborado por: Samaniego Santiago, 2018

Tabla 12-3: Ensayo mediante el tiempo de calcinación y el tamaño de partícula

Temperatura (°C)	Tamaño de partículas	Tiempo calentamiento (minutos)	Tiempo calcinación (minutos)
		0	60
			60

950	-6,35mm/+4,76mm	180	90
			120
			150

Elaborado por: Samaniego Santiago, 2018

Tabla 13-3: Ensayo de calcinación para determinar la temperatura y tiempo de calentamiento variable

Temperatura (°C)	Tamaño de partículas	Tiempo calentamiento (minutos)	Tiempo calcinación (minutos)
900	-6,35mm/+4,76mm	0	10
			15
			20
			25
		180	0
			10
			20
			30
950	-6,35mm/+4,76mm	0	60
			90
		180	60
			90
			120

Elaborado por: Samaniego Santiago, 2018

Tabla 14-3: Ensayo de calcinación con tamaño de partículas constantes

Temperatura (°C)	Tamaño de partículas	Tiempo calentamiento (minutos)	Tiempo calcinación (minutos)
900	-6,35mm/+4,76mm	0	10
			15
			20
			30
		180	0
			10
			20
			30

Elaborado por: Samaniego Santiago, 2018

Tabla 15-3: Efecto del tamaño de partículas

Temperatura	Tamaño de partículas	Tiempo calentamiento (minutos)	Tiempo calcinación (minutos)
900	-6,35mm/+4,76mm	0	60
			90
		180	60
			90
			120
			150

950	-3,65	0	60
			90
		180	60
			90
			120

Elaborado por: Samaniego Santiago, 2018

3.8.2. Estudios de hidratación

La transformación de la cal (Ca) a Cal hidratada $\text{Ca}(\text{OH})_2$, depende de la temperatura a la cual se la exponga, como de la hidratación, la velocidad de agitación el tiempo y el porcentaje de sólidos en masa. A través del estudio se analizó el efecto ante los porcentajes sólidos y la velocidad de agitación; donde se determinó que la temperatura de hidratación se mantuvo en el tiempo de hidratación hasta alcanzar la temperatura.

Para realizar las pruebas de hidratación se utilizó un reactor con una capacidad de 5 l, como se puede observar en la siguiente gráfica:



Figura 6-9: Estudio de hidratación

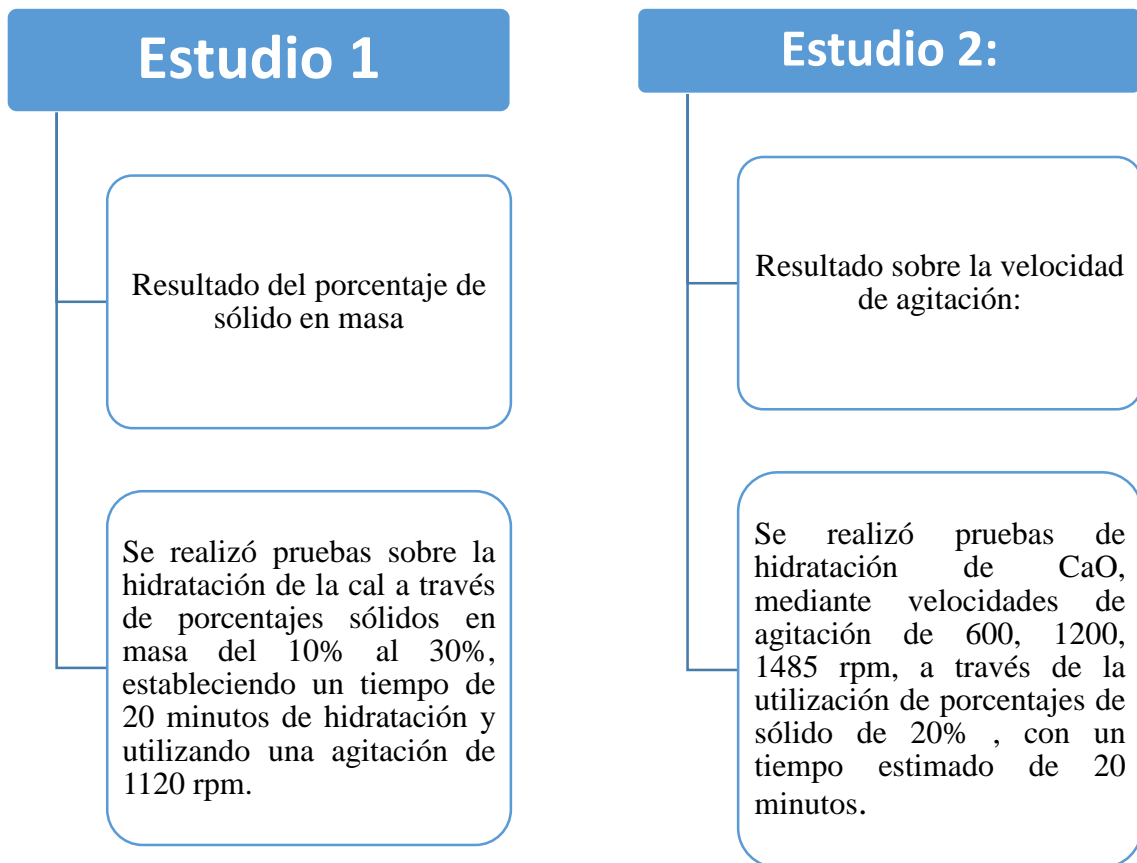


Figura 7-10: Resultados de estudio

Elaborado por: Samaniego Santiago, 2018

3.8.3. Estudios de purificación

Para continuar con el proceso es necesario que las muestras de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ se encuentren fuera de impurezas, o partículas de CaCO_3 , las cuales son parcialmente calcinadas, o a su vez se encuentre con materiales insolubles.

Para el retiro de las impurezas se procedió a la realización de un movimiento de minerales mediante el proceso de harneado. La eficiencia de la hidratación fue realizada mediante el análisis del nivel de impurezas.

Efecto de la presión de alimentación: Se realizó un ensayo variando la presión de alimentación.

Efecto de porcentajes sólidos: Se realizaron ensayos de variación el porcentaje de sólidos en 10, 15 y 25%, manteniendo constante.

Efecto de diámetros del ápex: Se realizaron ensayos variando el diámetro del ápex en 7 y 12 mm, manteniendo constante a la presión de alimentación en 9 psi y el porcentaje de sólidos en el 10%.

3.8.4. Estudios de carbonatación

Las pruebas se realizaron mediante un reactor de acero PVC, con un máximo de presión nominal de trabajo de 15 bar.

Estudio de efecto de la presión: Se realizaron pruebas de carbonatación con tiempo de 120 minutos, utilizando presiones de 3,5,7 y 9 bar absolutos de CO₂, a temperatura ambiente y porcentaje de sólidos de la suspensión 2% de Ca (OH)₂.

Estudio del efecto de tiempo: Se realizaron pruebas de carbonatación con tiempo 120, 240, 360, y 480 minutos utilizando 3 bar de presión de CO₂ y porcentaje de sólidos de 2% de Ca (OH)₂

Estudio del efecto del porcentaje de solido: Se realizaron pruebas de carbonatación con porcentaje de solidos de 2, 5 y 7 % 9 bar de presión de CO₂ y tiempo de carbonatación de minutos.

3.8.5. Estudios de eliminación de hierro

Par el estudio de eliminación de hierro se realizó un estudio en un reactor de vidrio con agitación magnética, para la eliminación de hierro mediante lixiviación. Para ello se realizaron dos tipos de ensayos, ensayos de lixiviación con ácido cítrico (C₆H₈O₇O) y ensayos de lixiviación con ácido cítrico y tiosulfato de sodio (Na₂S₂O₃-5H₂O), Se realizaron ensayos adicionando concentraciones variables de ácido cítrico y tiosulfato a la pulpa que contiene los precipitados de CaCO₃ contaminando con hierro.

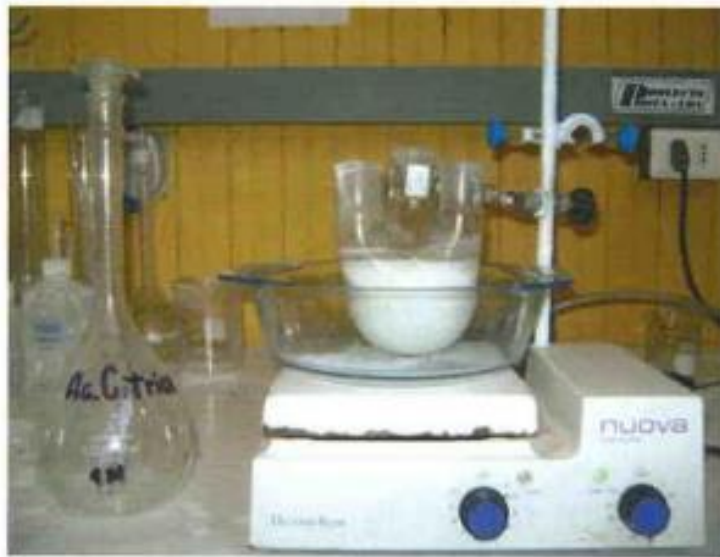


Figura 8-11: Estudio de eliminación de hierro

3.9. Resultados

- **Caracterización mineral de carbonato de calcio**

La siguiente tabla muestra los resultados de la caracterización química mediante fluorescencia de rayos X realizadas a las muestras, en donde se muestra los principales elementos que contaminan las muestras que son sílice, hierro, magnesio, aluminio y azufre.

Tabla 16-3: Caracterización mineral de carbonato de calcio

Elementos	Composición Química (%)
O	46,88
Ca	39,77
Si	0,52
Fe	0,31
S	0,20
Al	0,18

Na	0,05
Mg	0,81
Cl	0,02
Mn	0,08
K	0,03
Ti	0,01
P	0,02

Elaborado por: Samaniego Santiago, 2018

- Estudios de calcinación

En la siguiente figura se presentan los resultados de los ensayos de calcinación, con el fin de determinar el efecto de la temperatura sobre el grado de conversión, CaCO_3 en CaO , el color y el grado de calcina producida. Los ensayos se realizaron según el tiempo de calentamiento del horno de 240 minutos, tiempo de calcinación 60 minutos, y tamaño de las partículas calcinadas de -6,35 mm/ + 4,76 mm.

Tabla 17-3: Ensayo de calcinación

Temperatura ("C)	Tamaño de partículas (mm)	Tiempo de calentamiento (minutos)	Tiempo de calcinación (minutos)	Factor de conversión (CaCO_3/CaO)
950	-6,35/+4,76	240	60	1,47
1200	-6,35/+4,76	240	180	1,73

Elaborado por: Santiago Samaniego

En la tabla se observa que un incremento en la temperatura de la calcinación de 950 °C a 1200 °C, y un incremento en el tiempo de calcinación de 60 minutos a 360 minutos, acrecienta el grado de conversión CaCO_3/CaO .

Los ensayos se realizaron con un tiempo de calentamiento del horno de 180 minutos, y temperatura de calcinación 950°C y tamaño de partículas calcinadas – 6,35 mm/ + 4,76 mm. Se determinó un incremento en el tiempo de calcinación de grado de conservación de CaCO_3 en CaO , esto probablemente se da a un incremento en partículas calcinadas.

- **Resultados del estudio de hidratación**

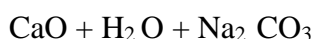
Mediante los resultados de los ensayos se determinó el efecto del porcentaje de sólidos y tiempo de hidratación sobre la temperatura de hidratación, pH y tamaño de los precipitados producidos; los ensayos se realizaron a una velocidad de agitación de 1084 rpm, y con muestras de CaO (Cal viva), a partir del mineral de CaCO_3 . Se observó de un incremento en el porcentaje de sólidos y el tiempo de hidratación aumenta la temperatura de hidratación.

Para los diferentes porcentajes de sólidos ensayados la temperatura alcanza un valor máximo a los 5 minutos de hidratación, tiempo a partir del cual permanece constante; la máxima temperatura de hidratación aproximadamente es de 90°C, se alcanzó con porcentajes sólidos de 30% sin embargo con este valor de porcentaje de sólidos la pulpa de cal hidratada se torna viscosa y el pH, no se mantiene constante, decrece cuando se incrementa el tiempo de hidratación; este efecto observó con porcentajes de sólidos de 10%, 15% y 20%.

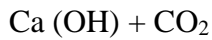
3.9.1. Proceso de fabricación

Para la fabricación del calcio precipitado se tomará tres referencias de las cuales se ha considerado las siguientes:

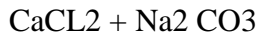
- 1) Cal y carbonato de calcio



- 2) Hidróxido de calcio y Dióxido de carbono



3) Cloruro de calcio y carbonato de sodio



De las tres alternativas se tomará para el proceso de la obtención de calcio precipitado la tercera, la materia prima hidróxido de calcio debe ser purificada para eliminar la sílice u otras partículas pesadas, la purificación se realiza primero por sedimentación, por gravedad sin usar defloculante y segundo por tamizado de húmedo, estas dos purificaciones conducen a separar la sílice que es la impureza que afecta la utilización del CCP en sus diferentes usos. Luego que la cal apagada ha sido purificada es sometida a carbonatación en el reactor, al cual también se le añade el gas carbónico. Realizada la carbonatación el producto CCP, es lavado con el fin de eliminar Mg (OH)_2 , (no reaccionado).

La siguiente etapa consiste en concentrar el CCP con el fin de secarlo posteriormente. La primera concentración se realiza por decantación, del cual se elimina un % de humedad, luego en un filtro para posteriormente ser secada en secadores tipos de spray- dryer, flash-dryer, que sirven para secar sólidos en superficie.

A continuación, se muestra el análisis de las alternativas estudiadas, el mismo que consiste en comparar las ventajas y desventajas de cada fase del proceso productivo.

- **Purificación de la materia prima**

La cal apagada proveniente de los centros mineros donde la obtienen a partir de la calcinación del carbonato de calcio natural y posterior hidratación contienen impurezas como sílice, hidróxido de magnesio, óxido de hierro y u otras impurezas de la cal que deben ser eliminadas, hasta un cierto punto para que el producto cumpla con las especificaciones requeridas de uso.

La cal apagada expedita a carbonatación debe tener las siguientes características de composición por porcentaje de peso.

Tabla 18-3: Porcentaje de peso

Ca (OH) ₂	90-92
CaCO ₃	5-7
SiO ₂	0,02
Fe ₂ O ₃	0,08

Elaborado por: Santiago Samaniego

Para llegar a esta composición se realiza purificaciones por las operaciones de sedimentación y tamizado húmedo. La eficiencia en el proceso de la tecnología involucra tener ciertas consideraciones de la cal apagada, esta fase proveniente de los centros la expendien debe tener un 93% o más de hidróxido de calcio y además pasar la malla de 90 micrones, en su estado de polvo seco no más de 0,5% de humedad.

La otra materia prima que hace referencia al gas carbónico tiene un alto porcentaje de pureza (98%) por lo cual no es necesario su purificación.

En otros casos de utilizar el gas carbónico proveniente de la combustión de un derivado de petróleo involucra su tratamiento por los procesos ya conocidos como tratamiento con la MEA (monoetano) o la DEA (dietanolamina). Dicho proceso es materia de otros estudios involucran nuevas inversiones para la investigación.

3.9.2. Carbonatación

Para el proceso de carbonatación se realizó una reacción del hidróxido de calcio con el gas carbónico en un medio acuoso. Previamente se comprueba las especificaciones de la materia prima, para el proceso de reacción se lleva a cabo la utilización de un reactor semibatch de tanque agitado.

La reacción que se obtiene es exotérmica de acuerdo a la cinética se identifica que la velocidad de la misma favorece a la temperatura baja, por lo que se procedió a la utilización de un reactor para el proceso de enfriamiento para lo cual es utilizado agua de refrigeración.

El gas es inyectado al reactor a través de un anillo circular con agujeros de distribución. La alcalinidad a una determinada concentración es añadida al reactor.

La reacción procede hasta la completa carbonatación de la cal apagada el cual se determina por el PH de la reacción o el indicador de fenoltaleína que a la presencia de hidróxido de calcio se torna rojo y a la presencia del carbonato de calcio se torna incoloro.

Con respecto al tiempo de reacción es dependiente de las condiciones de operación y diseño del reactor, con respecto a la temperatura de reacción ésta se mantiene en un rango dependiente del balance de energía calorífica para el diseño de la chaqueta de enfriamiento, la presión del sistema es al medio ambiente, es decir, el reactor es abierto a la atmósfera por lo cual se prevé que existe un gran porcentaje de gas carbónico de pérdida.

Peso	
Ca (OH) ₂	Trazas
CaCO ₃	99.35
Si O ₂	0.02 MgCO ₃
Fe ₂ O ₃	0.04 H ₂ O(105°C) 0.50

3.9.3. Purificación del producto

El carbonato de calcio precipitado contiene CO(OH)₂ y Mg₃, partículas gruesas, por lo cual es necesario llevarlo a un tratamiento es el lavado para remover el Ca (OH)₂, Co₃Mg que por la solubilidad en el agua se desprende de la suspensión de CaCO₃. Este lavado se realiza con agua blanda por 2 o 3 veces contando el agua residual.

Un segundo tratamiento de purificación es el sedimentado por gravedad esta operación se ve facilitada en comparación del sedimentado del Ca (OH)₂ porque el Carbonato de Calcio precipitado tiene partículas de orden del micrón y por diferencia de densidades, u otras partículas gruesas todavía presentes pueden eliminarse.

5.9.3.1. Concentración del producto

El carbonato de calcio precipitado purificado es llevado a una concentración adecuada acorde con el posterior secado esta concentración se lleva a cabo por la operación de sedimentación por gravedad decantando el agua a la concentración que se quiera tener, la decantación del agua se realiza por las salidas laterales del tanque purificado por sifón.

- **Filtración del producto**

Esta operación de concentrar más el carbonato de calcio precipitado solamente se lleva a cabo si el producto va a ser secado en un horno rotatorio en un flash dryer que requiere una concentración de carbonato más alta que la obtenida por simple decantación.

La filtración se realiza en un filtro prensa de placas y marcos, la presión requerida da por el sistema lo da una bomba centrífuga tipo turbina con álabes en forma de cuchara especial para bombear suspensiones sólidas.

3.10. Proceso productivo a emplearse

Al seleccionar la alternativa N° 1 para el proceso productivo debido al ofrecer mayores expectativas se generará la descripción del proceso representado por los siguientes pasos a seguir.

3.10.1. Transporte y alimentación de materia prima

La cal apagada se transporta al tanque mezclador mediante una faja transportador, a cuál previamente depositará la cal apagada, en una tolva que está provista en la base de un sinfín que distribuirá uniformemente la alimentación al tanque.

El material debe ser pesado mediante una balanza integrada continua, que se sitúa entre la faja transportadora y la tolva. El funcionamiento de la balanza será automático, determinándose la alimentación cuando se alcance la cantidad requerida de material.

El agua se alimenta desde tanques de agua mediante sus respectivas bombas.

3.10.2. Disgregación

La cal apagada, que se alimenta al tanque de disgregación tiene una relación de 80 gr/ 1t de suspensión.

Ya en el tanque, los materiales, mediante un agitación continua y vigorosa formarán un lodo uniforme.

3.10.3. Sedimentación

En esta operación se comienza a purificar la cal apagada, la purificación se lleva a cabo en un tanque cilíndrico con base cónica.

La operación consiste en realizar la operación de sedimentación por gravedad sin utilizar defloculante o floculante para separar la sílice o partículas gruesas.

La operación según tecnología del proyecto consiste en repetir la prueba dos o tres veces dejando sedimentar sólo los residuos y no toda la suspensión, esta innovación permite la sedimentación libre y por consiguiente obtener la separación de impurezas a diferencia de la sedimentación impedida, esta se ve dificultada porque la cal apagada tiene partículas finas y obstruye la sedimentación total.

El tiempo de operación dura según el tamaño del equipo y también de la pureza de la materia prima.

3.10.4. Tamizado

Esta operación es opcional pero necesaria si la purificación de las impurezas en la fase de sedimentación no ha llegado a las especificaciones deseadas antes de la carbonatación, la operación se realiza en un tanque concéntrico donde el tubo se lo cubierte de una malla fina de acero inoxidable, el fluido bombeado y a presión entra al tamizador pasando la malla solo el producto tamizado.

Las impurezas se van purgando cada cierto tiempo según la capacidad del tanque y el mismo debe ser muy grande ya que se requiere de un cambio de sección apreciable al diámetro de la tubería.

3.10.5. Carbonatación

Antes de la realización de la carbonatación, la lechera de cal purificada es llevada a una concentración de 120 gr/1t. El gas carbónico es representado por una pureza del 98%, de acuerdo a las propiedades físicas y termodinámicas posteriormente fue llevado a un reactor de estado gaseoso.

Las condiciones que se tomaron para esta fase son:

1. La presión del reactor fue de una atmosfera absoluta.
2. La temperatura dentro del reactor fue mantenida dentro del rango de 35 a 40° C.
3. El tiempo de reacción establecido no fue mayor a 50 minutos.
4. La razón de flujo de CO₂ versus el volumen de reacción fue comprendido dentro del rango 1.5 – 1.7.
5. El grado de agitación es vigoroso
6. Las paletas del agitador utilizados son del tipo turbina en número de 6 y con 4 deflectores colocados en la periferia del reactor, las especificaciones de las dimensiones y colocación del agitador se lo realizo de acuerdo a las normas de la técnica de agitación.
7. La temperatura inicial de agua de enfriamiento no es mayor a 25°C.
8. El flujo del agua de enfriamiento es aquel que mantiene la temperatura en el reactor 35-40°C.
9. El reactor es de acero inoxidable para la mejor transferencia de calor con el agua de enfriamiento.

Clasificación

En esta operación se eliminaron las partículas gruesas de carbonato de calcio de acuerdo a las especificaciones de uso, la operación fue llevada mediante un tamizador en húmedo el mismo que forma parte de un tubo concéntrico en el cual se colocó la malla más fina, con el fin de obtener una selección de partículas adecuadas.

El siguiente proceso se lo realizó mediante la clasificación de un equipo llamado hidrociclón el mismo que es un tanque cónico que permite la separación de partículas de acuerdo al tamaño, por esparcimiento al ser centrifugado y la suspensión del producto, el tamizado y la

centrifugación es realizado mediante presión para lo cual se dispone de una bomba según el diseño y la transferencia del movimiento.

Lavado

El lavado se lo realiza con la finalidad de eliminar $MgCO_3$. Esta operación es realizada mediante la diferencia de los solubles que existe entre el $MgCO_3$, $Ca(OH)_2$ y el $CaCO_3$.

El lavado al cual se lo debe realizar se encuentra especificado mediante los siguientes cuatro pasos.

1. Adicción del material el agua de lavado al tanque.
2. Agitación vigorosa de la mezcla.
3. Sedimentación del carbonato de calcio
4. Purga del clarificado

Para eliminar la velocidad de sedimentación y de hecho disminuir el tiempo de operación, se añade en cada lavado pequeñas cantidades de floculantes el cual aglutina las partículas en suspensión de carbonato haciéndose más pesadas aumentando por lo tanto la rapidez de cada de éstas.

En esta fase debe tenerse en cuenta que:

1. La presión y las temperaturas de trabajo serán las del ambiente.
2. El agua de lavado será construida en plancha de fierro recubierto en resina poliéster protegida con fibra de vidrio.
3. La tuberías y accesorios de descarga y carga se recomiendan que sean PVC y no de fierro, por el hecho que esta última con el tiempo se corroe contaminando el fierro el carbonato dándole un color amarillo.

Espesamiento

El producto carbonato de calcio precipitado luego de la carbonatación y lavado se encuentra en suspensión en el agua por lo cual debe ser concentrada para su posterior secado.

La primera concentración se lleva a cabo en un tanque cilíndrico y cónico en su base inferior.

El porcentaje de humedad que sale de la carbonatación es del 86% al ser lavado este porcentaje es relativo de acuerdo a la purga de clarificado, pero sedimentándolo totalmente por gravedad con floculante este porcentaje es del 65% que es el porcentaje con el que entra a la fase de secado.

- **Secado por Spray o Flash**

Del espesador disgregador se alimenta el lodo a un secador del tipo spray- dryer o el tipo flash dryer en el cual se transforma la mezcla líquida de un producto sólido en forma de polvo fino de diámetro de partícula definido.

De acuerdo a las características de los dos tipos de secadores se establece que el del tipo spray dryer se adecúa más que el lash-dryer para secar sólidos en suspensión (generalmente por la alta densidad del producto seco carbonato de calcio, pero el spray-dryer da un producto de mayor fineza.

Para el secado debe tenerse en consideración las siguientes pautas:

1. La alimentación debe tener un 60% de humedad aproximadamente.
2. El producto final debe tener menos del 0.5% de humedad.
3. La temperatura del aire de entrada debe ser de 400° aproximadamente.
4. La temperatura del aire de salida debe ser de 200°F aproximadamente.
5. El secado debe ser continuo.
6. Como el elemento atomizador se usará un disco rotatorio de ventanas rectangulares (atomización centrífuga) (Guerreo, 2015).

Envasado y almacenaje

La descarga del secador, es el producto final listo para comercializar. Este producto es transportado desde el secador mediante un sin fin, a una embolsadora semi automática.

Aquí se llenará en bolsas de 30 kg, las cuales posteriormente serán selladas y puestas en las

transportadoras que las llevarán o bien al almacén o a las unidades repartidoras.

- **Balance de materia y energía**

Balance de materia

Nomenclatura:

CA: cal apagada(ton/día)

LCP: lechada de cal purificada

AGE: agua blanda de entrada al tanque de purificación

AGS: agua blanda de salida del tanque de purificación

IMP: Impureza de la primera purificación

IMP-1: Impureza sólida en el IMP

ICP-2: Impureza líquida en el LCP

ICP: Parte líquida en el LPC

VRI: Volumen real del tanque de purificación

VNI: Volumen neto del tanque de purificación

VLC: Volumen de lechada de cal al iniciarse la sedimentación

Base: Requerimiento para mercado andino:

Ecuación general:

ENTRADA – SALIDA + GENERACIÓN = ACUMULACIÓN

Del balance Global: CA + AGE – IMP- AGS = LCP

De la cal apagada: Ca-IMPI= LCP1

Donde: LCO= LCP1 + LCP2

$$IMP = IMP1 + IMP2$$

De los resultados de planta piloto:

$$\frac{AGE}{CA} = 12.0$$

$$IMPI = 0.10 CA$$

$$\frac{IMP1}{IMP2} = 0.20 \quad \frac{\text{concentración } 0.182 \text{ gr de sólido}}{1 \text{ t. de sedimento}}$$

AGS= 0.38GE (Para asegurar una concentración de 120gr/1t en la carbonatación)

Del requerimiento de material:

$$CA = \frac{13.000}{(8.000)(1.103)} \times 24 = 35.36 \frac{TN}{Día}$$

De las ecuaciones resulta:

$$AGE = 424.32 \text{ TN / día}$$

$$IMP1 = 3.53 \text{ TN/ día}$$

$$IMP2 = 17.55 \text{ TN/ día}$$

$$IMP = 21.07 \text{ TN/ día}$$

$$AGS = 161.56 \text{ TN/ día}$$

$$LCP1 = 31.83 \text{ TN / día}$$

$$LCP2 = 245.20 \text{ TN / día}$$

$$LCP = 277.03 \text{ TN / día}$$

Determinación del número de unidades de purificación y concentración considerando las bases del cálculo

$$VR1 = \frac{\pi D^3}{24} + \frac{\pi D^3}{4} (1.50) = 0.4167 \pi D^3$$

$$D_{10} = 1.969m$$

$$D_{15} = 2.255m$$

$$D_{20} = 2.481m$$

$$D_{25} = 2.673m$$

$$D_{30} = 2.840m$$

$$D_{35} = 2.990m$$

Y los volúmenes netos de cada unidad de purificación y concentración se lo encontró de acuerdo a:

$$VN1 = \frac{\pi D^3}{24} + \frac{\pi D^3}{4}$$

$$VN1_{10} = 8.194m^3$$

$$VN1_{15} = 12.308m^3$$

$$VN1_{20} = 16.392m^3$$

$$VN1_{25} = 20.500m^3$$

$$VN1_{30} = 34.587m^3$$

$$VN1_{35} = 28.693m^3$$

Con la unidad de la lechada de la cal a la concentración de 80 gr/ 1t es 1.044 gr/cm³

$$VLC = \frac{35.36+424,32}{1.044 \frac{Ton}{m^3}} TN/día = 440 m^3$$

Los flujos de entrada al reactor de carbonatación son:

El flujo de lechada de cal purificada:

LCT: 265.51 Tn/día

Siendo su contenido de solidos:

LCT1 = 29.91 Tn/día, que comprende a las siguientes sustancias:

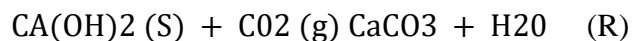
Ca (OH)₂= 27.22 TN/día

CaCO₃ 2.51TN/día

Y su contenido de líquido (agua):

LCTT2 = 235.6 TN / día

La ecuación de la reacción de carbonatación de la cal apagada es:

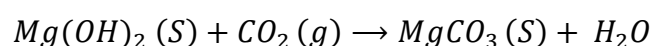


Reacción que, llegada al equilibrio termodinámico, equilibrio en el cual, la reacción se encuentra totalmente desplazada hacia la derecha, por lo que la reacción es completa.

Por tanto, al final de la reacción el carbonato de calcio que existía al inicio más el formado como producto de la reacción se determina:

$$CC = 2.51 + 27.22 \times \frac{100}{74} = 2.51 + 36.78 = 39.29 Tn/día$$

De igual forma se realiza la siguiente reacción:



Siendo el total del carbonato de Magnesio de:

$$CM = 0.18 X \frac{84.32}{68.32} - 0.22 \text{ Tn/día}$$

Finalmente, el agua presente en la suspensión al final de la reacción será igual a la que existía inicialmente, más la que forma como producto de la reacción.

$$\begin{aligned} W &= 235.6 + (27.22)X \frac{18}{74} \\ &= 235.6 + 6.62 \\ &= 242.22 \text{ Tn/ día} \end{aligned}$$

Por tanto, la lechada de carbonato de calcio al final de la reacción será:

$$LCC: CC + CM+W = 39.29 + 0.22 + 242.22$$

$$LCC = 281.73 \text{ Tn/ día}$$

Y la cantidad total de CO₂ consumida:

$$27.22 \times \frac{44}{74} = 16.22 \text{ Tn/ día}$$

Como la densidad de la lechada de carbonato de calcio en la concentración de 154/1t es 1.097 gr / cm³.

$$VLCC = \frac{281.73 \text{ Tn / día}}{1.097 \text{ Tn/ día}} = 256.82 \text{ m}^3$$

- **Balance de energía**

Planteamiento del problema de las ecuaciones:

El balance de energía global esta dado:

Energía de la corriente de entrada

Energía en la corriente de salida:

Energía de los alrededores = Energía acumulada en el reactor

Para el caso específico en donde no existe un producto de salida, un reactante está presente en el reactor y la temperatura es controlada por la corriente de alimentación (CO₂), en el balance de energía global se reduce:

$$GoC_p(t_o - T I) + UA_h(LMTD) = \frac{\Delta H}{M} rV + M_t C_v \frac{dT}{dt} \quad (\text{B.E. 1.1.})$$

Donde:

T: Temperatura en la reacción (°K)

Go: Flujo de CO₂ en kg/h

C_p: Calor específico del CO₂ en Kcal / Kg°C

ΔM: Calor de reacción estándar en Kcal / Kg de CO₂

r: velocidad de reacción con kg/hxm³

v: volumen de la mezcla de reacción

M_t: Masa total del reactor

C_v: Calor específico de la mezcla de reacción

U: Coeficiente global de transferencia de calor

A_h: Área de transferencia de calor m²

LMTD: Media logarítmica de la diferencia de la temperatura

De acuerdo a las corridas en planta Piloto, el control de temperatura es crítico ya que la velocidad de reacción es bastante rápida con respecto a la velocidad de la transferencia de calor. Por lo tanto, el factor que determinará el diseño es la velocidad de intercambio de calor

con los alrededores (chaqueta de enfriamiento), la velocidad de alimentación del gas dióxido de carbono y en menor grado de temperatura de alimentación de gas.

De los resultados de la planta piloto:

Para una concentración de lechada de cal de 120gr/1t, una relación de flujo de CO₂/ volumen de reacción menor de $\frac{1.7 \text{ gr}}{\frac{\text{min}}{1\text{t}}}$ y un grado de agitación de $\frac{2083}{(\text{volumen de la reacción})^{1/4}}$, donde el grado de agitación está en rpm y el volumen de la reacción en litros, se cumple que:

1. La velocidad de reacción con respecto a la concentración de la cal apagada es de orden cero.
2. La constante de la velocidad de reacción (K) depende principalmente del flujo de alimentación del dióxido de carbono, así como de la temperatura de reacción (K disminuye con el aumento de temperatura).

$$3. \quad r = K = \frac{Go}{\text{Volumen de reactor}} \quad (\text{B.E. 1.2})$$

4. Las pérdidas de dióxido de carbono son despreciables.

Por lo tanto, podemos reemplazar la expresión:

(B.E. 1.1) en (B.E. 1.2), donde:

$$M_t = Cu \frac{dT}{dt} = GoCp(T_o - T_i) + UA h(LMTD) - \frac{\Delta H}{M} Go \quad (\text{B.E. 1.3})$$

La velocidad de la transferencia de calor debe ser suficiente para prevenir que la temperatura exceda los 35°C. Por tanto, en 35°C, dT/dt en la ecuación (B.E. 1.4) será cero. El agua de enfriamiento que circula a través de la chaqueta que rodea al reactor mantendrá la temperatura constante.

Además, en el inicio de la adicción de CO₂, el último término en la Ecuación (B.E. 1.4), el cual es positivo para una reacción exotérmica, será mayor que la suma del primer y segundo término, y la temperatura de la suspensión se incrementará. Desde un punto de vista práctico este período de calentamiento se reducirá a un mínimo por cerrado del flujo de agua de enfriamiento hasta que la temperatura alcance los 35°C.

De lo explicado para determinar el área de transferencia de calor requerida la Ecuación (B.E. 1.4) puede ser usada cuando la temperatura es 35°C y $Dt/dt = 0$. Así:

$$UA_h(LMTD) = \frac{-\Delta H_{35^\circ C}}{M} G_o + G_o C_p(T_o - T_i)$$

Donde:

$$\Delta H_{35^\circ C} = -27.021 \frac{kcal}{kmol Ca(OH)_2} = -27.021 \frac{Kcal}{Kmol CO(OH)_2}$$

$$C_p(T_o - T_i) = -133.8 \frac{kcal}{Kmol Ca(OH)_2} = -133.8 \frac{kcal}{Kmol CO_2}$$

$$C_p(T_o - T_i) = -3.04 \frac{Kcal}{Kg CO_2}$$

$$U \Delta H (LMTD) = \frac{27.021}{44} G_o - 3.04 G_o \quad G_o \text{ Kg/h}$$

$$U \Delta h (LMTD) = 611 G_o \quad Kcal/h$$

Obteniendo los siguientes valores:

$$U = 300 \frac{Kcal}{hm^2 \cdot ^\circ C} \quad (LMTD) = 8.41^\circ C$$

Por tanto, reemplazando estos valores en la ecuación anterior, se obtiene el área requerida para transferencia de valor:

$$\Delta h = \frac{611 G_o}{U(LMTD)} = \frac{611 G_o}{300 \times 8.41} = 0.242 G_o$$

El mismo viene a representar el flujo máximo, al cual el CO₂ puede fluir para mantener una tempera de 35° C en el reactor teniendo un área de transferencia de calor de Ahm².

Determinación del número de Batch por turno y del número de unidades de carbonatación

Se realizó varios tanteos con diferentes juegos de número de batch por turno y número de unidades de carbonatación, para luego examinar la mejor de las posibilidades.

Ejemplo de cálculo:

Se fija:

Número de batch por turno

Número de unidades de carbonatación: 3

Tiempo disponible para un proceso de carbonatación total: 2 horas

Calculamos:

- Volumen de cada unidad de carbonatación

$$\frac{\text{Volumen total de reacción}}{N_{\text{turmo}} N_{\text{batch}} N_{\text{unidades}}}$$
$$= \frac{VLCC}{3 \times 4 \times 3} \frac{256.82 \text{ m}^3}{36} = 7.13 \text{ m}^3$$

- Diámetro de la unidad de carbonatación:

Como: $H = 2D$

$$\text{Entonces: } V = \frac{\pi D^3}{12} + \frac{\pi D^3}{4} \quad (2D)$$

$$\text{y } D = 0.8172 V^{1/3} = 0.8172(7.13)^{1/3} = 1.57 \text{ m}$$

Área de la unidad de carbonatación (Ah)

Como:

$$H = 2D$$

$$AH = \frac{\pi D^2}{2} + \pi D(2D)$$

$$Ah = 7.854D^2 = 7.854(1.57)^2 = 19.44 \text{ m}^2$$

Flujo de CO₂ requerido:

$$Go = 4.13 Ah = 4.13 \times 19.44 = 80.30 \text{ Kg / h}$$

Tiempo necesario para carbonatación (t)

$$T = \frac{\frac{44}{74} X \frac{27.22}{36}}{80.30} = 5.60 \text{ horas}$$

De igual forma se procede con un nuevo juego de valores para el número de batch por turno y número de variedades de carbonatación.

Por lo expresado, seleccionamos para el proceso de carbonatación:

Número de batch por turno: 1

Número de unidades de carbonación: 6

Además:

Diámetro interno: 1.98m

Volumen neto: 14.27 m³

Volumen real por reactor

H= 2.20

V= 1.99D³ = 1.99(1.98)³ = 15.45m³

Tiempo de reacción: 7.06 horas

Flujo de CO₂ : 127.43 kg/h

Flujo de agua de enfriamiento (W) =

Flujo de calor liberado
CAT

$$W = \frac{611Go}{CpAt} = \frac{611 \times 127.43}{(1)(28 - 25)}$$

W = 25.953 kg/h (114 gpm)

Cálculo del tiempo necesario para elevar la temperatura de reacción desde su valor inicial de 25°C a 35° C

Puede ser obtenido por integración de la ecuación con el flujo de agua de enfriamiento cerrado, el término $UAh(T-T_s)$ es depreciable y la expresión se transforma en:

$$\int_{20}^{35} \frac{-\Delta H}{M} Go + \frac{dT}{GoCp(T_o - T_i)} = \int_0^t \frac{dt}{(M_o + Go)Cv}$$

Donde: M_t ha sido remplazado por $M_o + Go$

M_o : Masa total inicial = 147.50Kg

Cv : Calor específico de la mezcla de reacción = 0.9041 Kcal

- ΔH : Calor de reacción promedio

$$= 26.916 + 27.021$$

$$= 26.968 \text{ Kcal/ Kmo } 1^\circ\text{C}$$

Cp : Caor específico promedio de CO_2 : 0.2027 Kcal

Integrado la expresión anterior:

$$-\frac{1}{GoCp} = \frac{127.43 \times \frac{26,960}{44} - 127.43 \times 0.2027 (10)}{127.43 \times \frac{26,96}{44} + 127.43 \times 0.2027 (5)}$$

$$= 127.43 \times 0.9041 \text{ en } \frac{147.50 + 127.40 t}{14750}$$

$$t = 2.59 \text{ h} = 155 \text{ minutos}$$

Determinación de las cantidades de entrada tanque lavador

Las cantidades de entrada al tanque lavador por día de operación son:

El flujo de lechada de carbonato de calcio precipitado: $LCC = 281.71 \text{ Ton}$ y su flujo volumétrico: $VLCC = 256.82 \text{ m}^3$

Siendo su contenido de sólidos: 39.51 Ton, que comprende a las siguientes sustancias:

CaCO₃ 39.29 Ton

MgCO₃ 0.22 Ton

Y su contenido de líquido (agua) = 242.22 Ton

Para llevar esta suspensión a una concentración de 100 gr/ 1t (0.1 Ton/m³) se le debe agregar agua:

Obtenido con esto un volumen de la suspensión a 100 gr/1t de: 256.82 + 136.08 = 329.9m³ suspensión que luego de sedimentar totalmente, y retirar el agua queda a una concentración de 449 gr/ 1t (0.449 Ton/m³).

En el segundo lavado, la cantidad de agua que se le debe añadir es de:

$$\frac{39.29 \text{ Ton}}{\frac{0.1 \text{ Ton}}{m^3}}$$

$$\frac{39.29 \text{ Ton}}{\frac{0.449 \text{ Ton}}{m^3}} = 392.9 - 87.5 = 305.4 m^3$$

Que será la misma cantidad para el tercer y cuarto lavado.

Entonces la cantidad total de agua de lavado empleada por día de operación será:

$$136.08 + 3(305.4) = 1,052.3 m^3$$

Y el flujo de salida será:

Sólidos (CaCO₃): 39.08 Ton/día

Agua: 87.04 Ton/ día

Suspensión: 126.12 Ton/día

Determinación del número de tanques lavadores:

$$\text{Volumen real del tanque} = \frac{1}{3} \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) (0.6D) = 0.5472D^3$$

Luego como el volumen real puede ser 10, 15 20,25 o 35m³

$D_{10} = 2.630$	$H_{10} = 1.580$
$D_{15} = 3.015$	$H_{15} = 1.809$
$D_{20} = 3.319$	$H_{20} = 1.991$
$D_{25} = 3.575$	$H_{25} = 2.145$
$D_{30} = 3.799$	$H_{25} = 2.279$
$D_{35} = 4.000$	$H_{35} = 2.400$

Y los volúmenes netos correspondientes son:

$$VN = \frac{1}{3} \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) (0.29D)(0.50)$$

$$VN_{10} = 8.525 \text{ m}^3$$

$$VN_{15} = 12.844 \text{ m}^3$$

$$VN_{20} = 17.133 \text{ m}^3$$

$$VN_{25} = 21.412 \text{ m}^3$$

$$VN_{30} = 25.694 \text{ m}^3$$

$$VN_{35} = 29.992 \text{ m}^3$$

Luego se calculó el número de unidades necesarias para cada capacidad de tanque, de acuerdo a:

$$N = \frac{\text{Volúmen total}}{N \text{ turnos} \times \frac{N_{\text{batch}}}{\text{turnox}} \times \text{volumen neto del tanque}}$$

$$N = \frac{392.9 \text{ m}^3}{3 \times N \text{ batch} \times VN_{\text{neto}}}$$

Y de igual forma que el acápite se calcula los costos tomando como referencia el costo de un tanque de volumen de 10 m³ Además, se determina el tiempo que demora los lavados, por comparación de las varias alternativas y tomando en cuenta el tiempo que demora la operación así como el costo de las unidades se selecciona la alternativa.

Por lo tanto:

Número de batch por turno: 2

Número de unidades de lavado: 3

Tiempo que demora la operación de lavado: 2hr 40 minutos.

Unidad de lavado

Capacidad real 25m³

Capacidad neta 21.4m³

Diámetro 3,57m

Altura (h) 2.145m

Alimentación para una Unidad e lavado

Lechada de carbonato de calcio 15.652 Ton

Sólidos en la lechada 2.195 Ton

Agua blanda total de lavado 58.46 Ton

Secado

Una vez lavado el carbonato de calcio precipitado, la siguiente fase consiste en el secado de ésta. El proceso incluye un secado por atomización que será continuo. Al igual que en los pasos anteriores, todos los cálculos que se realizan, tendrán como base los resultados determinados a nivel de laboratorio y planta piloto.

Así mismo, el secado se realiza de tal manera que el porcentaje de humedad y el tamaño de la partícula del carbonato de calcio precipitado estén acordes con la especificación deseada.

Se tiene en la alimentación:

Porcentaje de sólidos: 31%

Temperatura = 20°C

Flujo = $t_w = 126.12 \text{ Tn} / \text{día}$

Producto:

Porcentaje de humedad = 0.6 %

Flujo = 39.23 Tn / día

Y se tiene las siguientes relaciones:

$$BN = SD + HW \quad (1.2.1)$$

$$0.31 LW = SD + PF \quad (1.2.2)$$

$$AS = PF + AD + HW \quad (1.2.3)$$

$$PF = 0.002 (0.31 LW) \quad (1.2.4)$$

Para una humedad del 0.6% del producto final:

$$\frac{HW}{SD + HW} = 0.006$$

Del balance para el agua:

$$0.69 LN = NH + HW$$

Donde.

LW: Flujo de alimentación con 35% de sólidos, tn/ día.

SD: Carbonato de calcio seco con 0% de humedad

HW: Humedad en el carbonato de calcio precipitado. Luego del secado, ton/día

BW: Carbonato de calcio precipitado con 0,6 % de humedad en ton/ día.

AS: Aire de secado a la salida del secador, tcn/día $\left(\frac{m^3}{día}\right)$

PD: Polvos finos de perdida

NH: Agua evaporada en el secado, Ton/ día

AD: Aire que ingresa al secado, Ton/día $\left(\frac{m^3}{día}\right)$

Resolviendo:

De 1.2.4	DF = 0.08 Ton / día
De 1.2.2	SD= 39.00 Ton / día
De 1.2.5.	HW = 0.235 Ton/ día
De 1.2.1.	BW: 39.235 Ton / día
De 1.2.6.	WH = 86.8 Ton/ día

Blance de energía y requerimientos

Las especificaciones del aire que entra al secado deben ser las siguientes:

Húmedad relativa: Hr: 60%

Temperatura de entrada:

TSE: 205° C (400° F)

Temperatura de salida:

TSS: 93° C (200°F)

Por otro lado, se dispone de aire ambiental con temperatura de 20° C y humedad relativa 80%, para el cual de la carta psicométrica se obtiene los siguientes datos.

$$\text{Humedad del aire } 20^{\circ} \text{ C} = H_a = \frac{0.009 \text{ ton agua}}{\text{ton aire seco}}$$

$$\text{Entalpía del aire a } 20^{\circ} \text{ C} = \Delta H (20^{\circ} \text{C, aire seco})$$

$$= \frac{14,444 \text{ kcal}}{\text{Ton aire}}$$

Cuando se calienta este aire hasta 205° C, la humedad permanece constante, mientras que existe un incremento en la entalpía.

De la carta psicométrica, la energía del aire a 205°

$$= \Delta H(205^{\circ} \text{C, aire seco}) = 59,44 \frac{\text{Kcal}}{\text{Ton aire seco}}$$

En todo secado no existe perdidas de calor, pero con el secado por atomización existe pérdidas calóricas que se encuentran en el rango de al 10%. Se ha considerado para el

proceso una pérdida del 5%. De tal manera que después del secado al aire de salida el siguiente valor:

$$\begin{aligned} \Delta H (93^\circ C, \text{aire seco}) &= 59,440 - 59,440 (0.05) \\ &= \frac{56,468 \text{ k cal}}{\text{ton aire seco}} \end{aligned}$$

Como la temperatura de salida del aire de secado es 93° C y su entalpía es de 56,468 Kcal / Tn aire seco, de la carta psicométrica se halla la humedad del aire:

Humedad del aire de salida

$$HB = \frac{0.0495 \text{ Tn agua}}{\text{Tn aire seco}}$$

De los resultados anteriores se calcula lo siguiente:

La cantidad de calor que absorbe el aire:

$$\begin{aligned} \Delta H(205^\circ C, \text{aire seco}) - \Delta H (20^\circ C, \text{aire seco}) \\ = (59,440 - 14.44) = \frac{44.996 \text{ Kcal}}{\text{ton aire seco}} \end{aligned}$$

Y la cantidad de agua que absorbe el aire:

$$Hb - H_2 = 0.0495 - 0.009 = \frac{0.0405 \text{ Ton de agua}}{\text{Ton aire seco}}$$

Y la relación:

$$\begin{aligned} \frac{Hb - H_a}{\Delta H (205^\circ C, \text{aire seco}) - \Delta H (20^\circ C, \text{aire seco})} \\ \frac{0.0405}{44,996} = 9 \times 10^{-7} \text{ ton agua evaporada / kcal} \\ Q = 1.11 \times 10^6 = \frac{\text{Kcal}}{\text{Ton}} \text{ de agua evaporada} \end{aligned}$$

Para los requerimientos de aire y energía se tiene lo siguiente:

Para el aire que ingresa con 60% humedad relativa:

$$AD: \left(\frac{W}{Hb - Ha} \right) + Ha \left(\frac{WH}{Hb - Ha} \right)$$

Y la cantidad de energía requerida para el secado:

$$Q_{req} = Q(WH)$$

Reemplazando valores:

$$AD = \frac{86.8}{0.0408} + (0.009) \left(\frac{86.8}{0.0405} \right)$$

$$AD = \frac{2162.4 \text{ Ton}}{\frac{\text{aire}}{\text{día}}}$$

Dado que el volumen específico de este aire a 20° C es igual a 1.11 m³ / Kg.

$$AD = 2162.4 \times 1.110 = 2.4 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{día}$$

$$\text{y } Q_{req} = 1.11 \times 10^6 \times 86.8 = 96.348 \times 10^6 \text{ Kcal} / \text{día}$$

Por lo tanto, para la fase de secado:

Suspensión alimentada: 126.12 Ton / día (98.3 m³)

Carbonato de calcio precipitado seco (0,6% humedad): 39.235 Ton / día

Aire necesario para el secado (60% Hr) = 2167.4 Ton- aire / día, o 2.4 x 10⁶ Kcal / día.

Resultados

En resumen, los resultados para los requerimientos están dados de la siguiente manera:

Características de un reactor:

Volumen real: 15.45 m³

Volumen neto: 14.27 m³

Diámetro Interno: 1.98m

Altura Total: $0.99 + 2,2(1,98) = 5.35\text{m}$

Flujo de agua de enfriamiento por batch = 25.953kg/h

Tiempo total de la reacción de un batch = 7.06 horas

Para las demás dimensiones, se le debe afectar a las dimensiones del reactor de Planta Piloto por la razón, de semejanza: $R = (1.98 / 0.62) = 3.2$.

Así, el diámetro del rodete: $0.20 \times 3.2 = 0.64 \text{ m}$

OPERACIÓN DE LAVADO

- Se trabajará 3 turnos al día
- Cada unidad de lavado, será un tanque cilíndrico con base cónica, teniendo el cono una generatriz con un ángulo de inclinación de 25° con la horizontal.
- El volumen neto de cada unidad se hallará con $H = 0.50$
- El volumen real de cada unidad se hallará con $H = 0.6 D$
- El volumen de cada unidad sólo podrá ser cualquiera de los volúmenes: 10, 15, 20, 30 o 35 m^3
- Para determinar el número de unidades, se tendrá en cuenta el volumen neto de cada unidad.
- Presión de operación, atmosférica
- Temperatura de operación
- Temperatura ambiente

3.11. Maquinaria

En el campo industrial se utilizan diferentes tipos de máquinas de trituración y suelen clasificarse de acuerdo a la etapa a en que se utilizan y el tamaño de material tratado.

3.11.1. Tanque reactor

El reactor Batch es una máquina donde no existe flujo de entrada ni de salida, es simplemente

un reactor con un agitador que homogeneiza la mezcla. Es esencialmente un tanque en el que se ha permitido que ocurra una reacción.

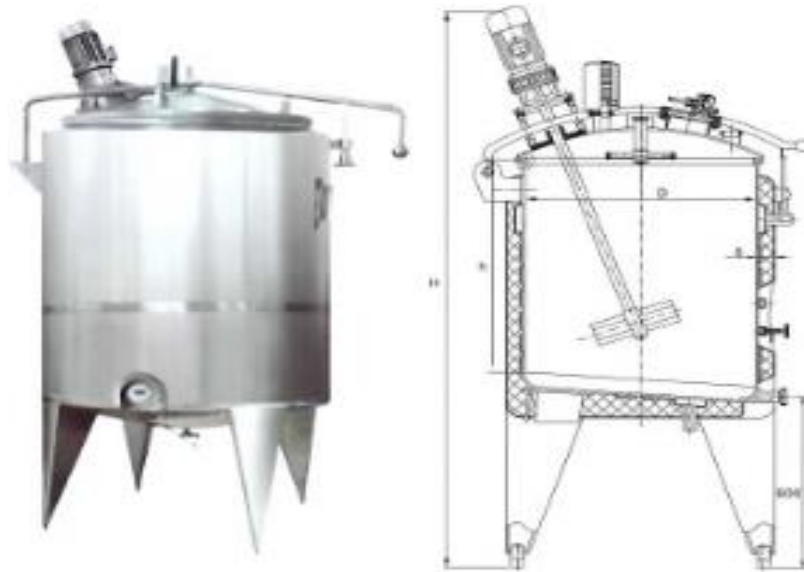


Figura 9-12: Tanque reactor

Fuente: <https://www.google.com.ec/search?>

Características

Peña (2013), en su investigación sobre los modelos de reactor químico establece que las características de un tanque cilíndrico con base semiesférica enchaquetado son las siguientes:

Diámetro: 0.62m

Altura (H): 1.24 m

Fierro negro: 1/ 4 plg

Velocidad: 400 rpm

Potencia de motor: 1.5

Ventajas

- Flexible: El mismo reactor puede ser utilizado para producir diferentes productos
- Alta conversión por unidad de volumen

- El tanque es fácilmente calentado o enfriado por una camisa
- Buen control de la temperatura
- Fácil de adaptar a dos fases
- Utilizados cuando se requiere agitación (Peña, 2013)

Desventajas

- Altos costos de operación
- La calidad del producto es más variable que con los reactores de operación continua
- Principalmente usados en fase líquida
- Baja conversión por unidad de volumen
- No recomendado para altas presiones (Peña, 2013)

Ciclo de operación

Durante el manejo de este tipo de reactor se realizan las siguientes operaciones: • Se agrega una carga de reactivos.

- Se lleva el reactor a condiciones de operación
- Se mantiene a estas condiciones por un lapso de tiempo determinado, durante los cuales se realiza la reacción
- Se lleva al reactor a las condiciones necesarias para descargar el producto
- Se lava el reactor

Ecuaciones de diseño de reactor

Considerando el material que estará hecho el reactor, acero inoxidable AISI 304 por su alta resistencia a la corrosión se tomaron en cuenta las siguientes ecuaciones:

Volumen cilíndrico reactor

Se realizó cálculos para el volumen de cilindro del reactor tomando en cuenta 500 gal.

$$V = \pi r^2 x h$$

Dónde:

V = Volumen cilindro (gal)

dt = Radio del cilindro (cm)

h = Altura del cilindro (cm)

Teniendo

$$\frac{V = \pi x dt^2 x h}{4}$$

Fuente: (Sinualiza, 2013)

Teniendo lo siguiente:

$$\frac{V = \pi x dt^2 x h}{4}$$

$$500gal x \frac{3,78L}{1 gal} x \frac{1m^3}{1000L}$$

Fuente: (Sinualiza, 2013)

$$V = 1,89 m^3$$

$$4(1,89m^3) = 3,76dt$$

$$h = 159 \text{ cm} = 160 \text{ cm}$$

$$V = 2124,7L = 467,52 \text{ gl}$$

$$467,52 - 400\text{gl} = 67,52\text{gal}$$

Se establece un excedente de acuerdo a los resultados de 67,52 gal ya que existe una interferencia por la existencia de paletas.

- **Cálculo sistema de agitación**

Altura Agitador

La altura del agitador es cerca de 1,2 del diámetro del cilindro, por lo tanto, se debe utilizar la siguiente formula:

$$L = 1,2 \text{ dt}$$

Peña (2013), establece el siguiente cálculo:

Dónde:

L = Altura del tanque agitador (cm)

dt = Diámetro del cilindro (cm)

Teniéndose:

$$L = 1,2(130)$$

$$L = 156 \text{ cm}$$

Por condiciones de sobre el diseño del tanque se prevé una altura de 156 cm

3.11.2. Agitador para disgregar

Un agitador es un instrumento, usado en los laboratorios de química, consiste en una varilla regularmente de vidrio que sirve para mezclar o revolver por medio de la agitación de algunas sustancias. También sirve para introducir sustancias líquidas de alta reacción por medio de escurrimiento y evitar accidentes.

También sirve para introducir sustancias líquidas de alta reacción por medio de escurrimiento y evitar accidentes. Existen diferentes tipos de agitadores dependiendo de la aplicación pueden ser con parrilla o simples, y de diferentes velocidades. Se usan para los líquidos de baja densidad y sólidos de baja densidad.



Figura 10-13: Agitador para disgregar

Fuente: <https://www.google.com.ec/search?q=CARACTERÍSTICAS+DE+UN+Agitador>

- **Características**
- Funcionamiento en continuo sin desgaste, silencioso.
- Regulación electrónica de velocidad.
- Temperatura ambiente permisible: 0-50 °C, 80% humedad relativa (el modelo Polimax 1040 es compatible con el Incubador 1000).
- Con adaptadores intercambiables tipo fijación universal y erlenmeyers.

- **Ciclo de operación**

La necesidad es lograr una agitación rápida y una mezcla homogénea de agua y soda caustica. El objetivo es mantener estable el PH de los lodos en el proceso de tratamiento de residuos industriales líquidos.

Datos de cálculo del agitador para disgregar

Para le cálculo del agitador se ha tomado como referencia los siguientes datos establecido por (Guerreo, 2015).

Para el estanque

H: 1000 mm

Dt: 1006 mm

Distancia a fondo a base de impulsor:

$E / Dt = 0.33$

$E = 0.33 \times 1006 = 331.98 \approx 335 \text{ mm}$

Diámetro impulsor:

$Da / Dt = 0.33$

$Da = 0.33 \times 1006 = 331.98 \approx 335 \text{ mm}$

Largo de paleta:

$g / Da = 0.25$

$g = 0.25 \times 335 = 83.75 \approx 85 \text{ mm}$

Ancho de paleta (w)

$W / Da = 0.2$

$W = 0.2 \times 335 = 67 \approx 70 \text{ mm}$

Dimensiones placas deflectoras (4 c/u @ 45°)

Ancho placa (J) J /

$Dt = 0.1 J = 0.1 \times 1006 = 100.6 \approx 100 \text{ mm}$

Espacio entre placa y estanque (f)

$$f / Dt = 0.02$$

$$f = 0.02 \times 1006 = 20.12 \approx 20 \text{ mm.}$$

7.2.4. Cálculo de potencia del agitador

$$Re = \frac{nd^2\rho}{u}$$

Dónde

N= Velocidad de rotación

d = diámetro del agitador [m]

ρ = densidad del fluido [kg/m³]

μ = viscosidad [Pa·s]

El valor del número de Reynolds define si el carácter del fluido es turbulento o laminar.

Además, se considera que el paso entre el régimen laminar y el turbulento no es inmediato, pasando por una zona de transición.

Se define de la siguiente manera:

Régimen laminar: $Re < 10$

Régimen transitorio: $300 < Re < 10000$

Régimen turbulento: $Re > 10000$

3.11.3. Banda transportadora

Es uno de los sistemas de transporte continuo más utilizados en la industria, tanto para el transporte de cargas aisladas o bultos, como para materiales a granel. El procedimiento consiste en una cinta sin fin más o menos flexible, accionada por un motor, sobre la que se transportan las cargas tanto horizontalmente como con cierta inclinación.

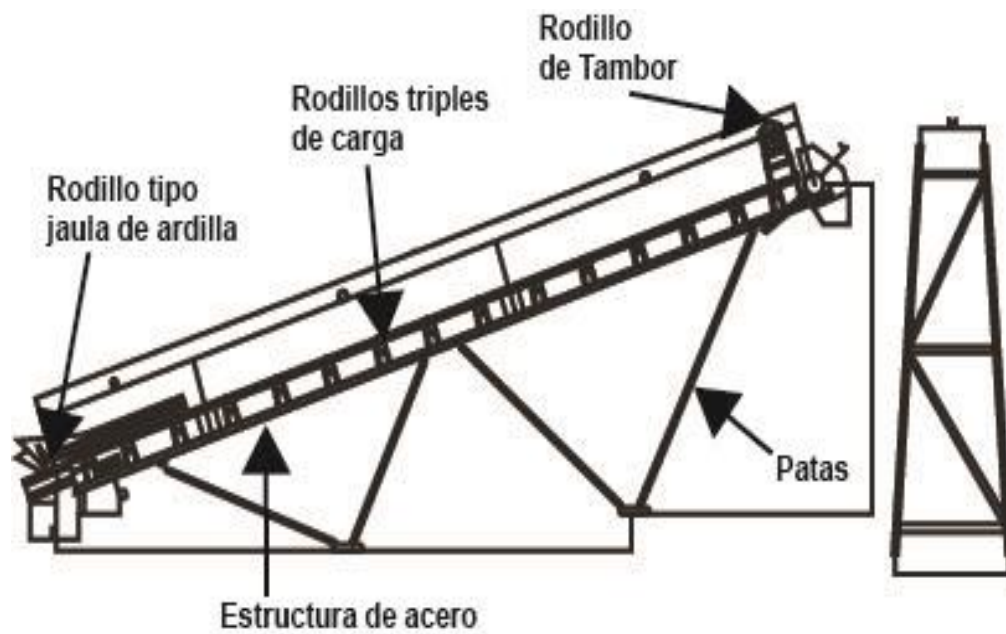


Figura 11-14: Banda transportada

Estructura

- Bastidor metálico construido normalmente en acero, que constituye el soporte principal de los elementos del transportador
- Un sistema de tracción o cinta transportadora, en forma de banda sin fin que a su vez es el elemento portador del transportador
- De la estación accionadora que pone en movimiento el tambor impulsor
- De la estación tensora compuesto por el tambor tensor y el dispositivo tensor
- De los rodillos de apoyo en el ramal de trabajo o ramal superior
- De los rodillos de apoyo en el ramal inferior o ramal libre
- Del dispositivo de carga, el cual normalmente es una canal o tolva de carga
- Del dispositivo de descarga, el cual normalmente es una Shutt o tolva de descarga
- Del Tambor desviador
- Del dispositivo limpiador de banda

Características

- Peso específico a granel
- Fluidéz
- Cohesión

Ventajas

- Permiten el transporte de materiales a gran distancia
- Se adaptan al terreno
- Tienen una gran capacidad de transporte
- Permiten transportar una gran variedad de materiales
- Es posible la carga y la descarga en cualquier punto del trazado
- Se puede desplazar
- No altera el producto transportado
- Aumenta la cantidad de producción
- **Ausencia de articulaciones de rápido desgaste**
- **Parámetros de diseño de la banda transportadora**

Los parámetros que debe contener la banda transportadora se encuentran efectuada por los siguiente.

Tabla 19-3: Parámetros de diseño de la banda trasportadora

Variable	Símbolo	Valor	Unidad
Capacidad de transporte	Q	0,73	Tn/h
Velocidad de la banda	V	3.5	m/s
Longitud de banda	l	4.5	m
Ancho de banda	A	0.78	m

Fuente: (Guerreo, 2015)

Peso del producto transportado

Es el peso al cual la banda está adaptada en base a la velocidad y alimentación del

producto.

$$w_m = \frac{43.3Q}{V}$$

Donde

W_m = Peso del producto transportado(lb/pie)

Q = Alimentación (Tn/h)

V = Velocidad de la banda (pie/min) Entonces

$$w_m = \frac{43.3(0,73)}{900 \text{ pie mm}}$$

$$W_m = 3169,30 \text{ lb pie}$$

3.11.4. Tanque lavador

Se denomina tanque lavador debido a que se usa para ayudar a separar el agua de algún otro producto que sea necesario en la mezcla de lavado en este caso la cal, los cuales son sometidos a tratamiento térmico químico para conseguir la separación.



Figura 12-15: Tanque de lavado

- **Determinación de lavado**

Sólidos en la lechada de cal: 42.3 kg/ lote

Porcentaje de pureza $\text{Ca}(\text{HO})_2$ en sólido 91%

Volúmen neto de la mezcla de reacción 350 lt

3.11.5. Tolvas dosificadoras

Se denomina tolva dosificadora a un dispositivo similar a un embudo de gran tamaño, destinado al depósito y canalización de materiales granulares o pulverizados, entre otros. Generalmente es de forma cónica y siempre es de paredes inclinadas como las de un gran cono, de tal forma que la carga se efectúa por la parte superior y la descarga se realiza por una compuerta inferior.

Las tolvas dosificadoras son aplicadas cuando se quiere garantizar una alimentación continua y controlada del producto almacenado.



Figura 13-16: Tolvas dosificadoras

El caudal de alimentación puede ser regulable mediante tajaderas. Además, el transportador de banda, puede incorporar variador electrónico de frecuencia para controlar la velocidad de la banda.

Las tolvas vibrantes para la dosificación de los materiales reciclados son la mejor solución para garantizar una alimentación continua y estable de los materiales a la línea de proceso. La alimentación del material es totalmente regulable electrónicamente, consiguiendo un comportamiento sin trabas ni enganches de prácticamente todos los materiales.

Determinación del diseño de la tolva

Volumen de la tolva

Se utiliza un paralelepípedo triangular como diseño para calcular su volumen, en el cual se toma en cuenta las medidas de la parte superior e inferior de la figura de un a pirámide.

$$V_{tolva} = V_{\text{paralelepipedo}} + \text{paralelepipedo } 2$$

Donde:

V tolva = Volumen de la tolva (m³)

V paralelepípedo sup = Volumen del paralelepípedo superior (m³)

V paralelepípedo inf = Volumen del paralelepípedo inferior (m³)

Teniendo:

$$V \text{ tolva} = (4 \times 6 \times 1.5) m^3 + \frac{1}{2} (4 \times 6 \times 3.5) m^3$$

Fuente: (Guerreo, 2015)

$$V \text{ tolva}: 78 \text{ m}^3$$

3.12. Discusión de resultados

Para la obtención del calcio precipitado fue necesario purificar y eliminar partículas pesadas, y separar la sílice que se la conoce como una impureza que afecta la utilización del carbonato de calcio precipitado. Las condiciones determinadas se las enfocó a una temperatura de reacción de 300- 450° F hasta 600° F como máximo. Con un tiempo de reacción de 3 a 7 minutos.

Una presión del sistema cercano a la atmósfera

Las partículas obtenidas son de alta fineza alrededor de 1 micrón.

Con respecto a los equipos utilizados, se caracterizan por ser de acero inoxidable resistentes a la corrosión principalmente cuando se manipula la lechada de cal que es corrosiva por tener un ph de 14.

Con respecto al secado la mayor parte de las tecnologías utilizadas se generó mediante un proceso convencional, es decir el secado se lo realizó en un horno rotatorio previo al filtrado, troceado.

Proceso de producción

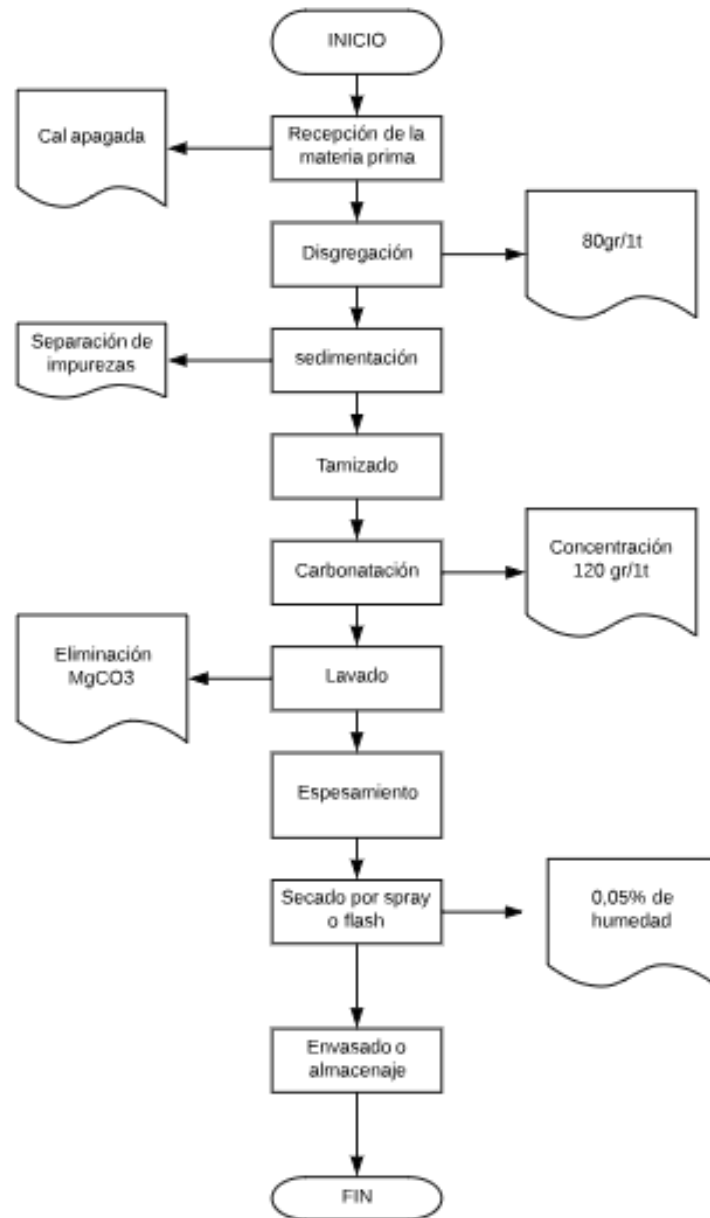


Figura 14-17: Proceso de producción

Elaborado por: Samaniego Santiago, 2018

3.13. Requerimiento de maquinaria para la producción

3.13.1. Equipos de ensayo y laboratorio

3.13.1.1. Simulación de equipos de producción

- Soporte universal
- Pinzas para soporte
- Columna cromatografía
- Bureta de 100 m L
- Vaso de precipitación

3.13.1.2. Dosificación de ácido clorhídrico

- Sorbona
- Vaso de precipitación

Determinación de densidad

- Balanza Analítica
- Picnómetro 10 mL

Determinación de pH

- pH-metro
- Vaso de precipitación

Determinación de viscosidad

- Viscosímetro digital
- Termómetro
- Vaso de precipitación

3.14.Requerimientos y materiales para el proceso industrial

Tabla 20-3: Maquinaria y equipo

Maquinaria y equipo			
Concepto	Cantidad	Costo Unitario USD	Costo Total USD
Banda transportadora	1	18762	18.762,00
Tanque reactor Batch	1	13000	13.000,00
Agitador	1	1000	1.000,00
Horno	1	13420	13.420,00
Tanque lavador	1	12000	12.000,00
Bomba de suspension	1	8650	8.650,00
Tolva	1	80000	80.000,00
Total			146.832,00

Fuente: (Guerreo, 2015)

Elaborado por: Samaniego Santiago, 2018

3.14.1. Análisis y costo del beneficio del proyecto

El análisis del proyecto corresponde a la sustentabilidad financiera. Como sustentabilidad debe entenderse la capacidad que tiene el proyecto de generar liquidez y retorno bajo un nivel de riesgo aceptable. De igual manera liquidez se ha de entender como la disponibilidad de efectivo para cubrir los egresos operacionales y no operacionales

En base a la propuesta analizada mediante la investigación de acuerdo a los procesos de calcio precipitado se ha considerad el siguiente financiamiento:

Inversión en activo fijo

Gastos pre- operativos

Capital de trabajo

3.14.2. Estructura financiera

La inversión establecida para la aplicación del proyecto provendrá de la empresa con un total de 122.280,30 correspondiente al 75% de capital propio y resto con un financiamiento de 40.760,10 correspondiente a un porcentaje del 25%.

Tabla 21-3: Inversión

% INVERSIÓN		
Descripción	Valor	Porcentaje
Recursos propios (Socios)	122.280,30	75%
Financiamiento (CFN)	40.760,10	25%
Total	163.040,40	100%

Fuente: Fausto Guevara gerente general de la empresa INCOREG

Elaborado por: Samaniego Santiago, 2018

3.14.3. Presupuesto del capital de trabajo

Se refiere a la cantidad de dinero requerida para la adquisición de materia prima durante cada período. El total a requerir es de 15533,40 USD.

3.14.4. Costos administrativos

Se refiere a la cantidad de dineros que el proyecto requiere para el pago de sueldos y salarios para el personal administrativo. Para el proyecto en mención se requiere 4.380,62 USD.

3.14.5. Ingresos

Se refiere a los ingresos por concepto de la venta del producto, en cada período de vida útil que tiene el proyecto. En el primer año de operación habrá un ingreso por concepto de la venta de 67500,00 dólares, el cual se obtuvo del estado de resultados tabla # 20.

Tabla 22-3: Presupuesto de costos y gasto

<i>PRESUPUESTO DE COSTOS Y GASTOS</i>					
Concepto	Año				
	1	2	3	4	5
Descripción					
Gasto de Ventas	14.898,80	15.869,35	16.061,36	16.255,71	16.452,40
Sueldo vendedor	9.048,80	9.948,56	10.068,94	10.190,77	10.314,08
Plan de Marketing	5.850,00	5.920,79	5.992,43	6.064,93	6.138,32
Servicios básicos	1.320,00	1.335,97	1.352,14	1.368,50	1.385,06
Costo de producción	22.440,00	22.711,52	22.986,33	23.264,47	23.545,97
Suministros de limpieza	99,55	100,75	101,97	103,21	104,46
Suministros de oficina	325,08	329,01	332,99	337,02	341,10
Depreciaciones	13.275,63	13.275,63	13.275,63	13.275,63	13.275,63
Gastos puesta en marcha	175,00				
Patente Municipal	120,00				
Permiso de Funcionamiento	55,00				

Gastos Financieros	4.146,66	3.233,63	2.320,61	1.407,58	494,56
Intereses Financiamiento	4.146,66	3.233,63	2.320,61	1.407,58	494,56
Total Egresos	19.220,46	19.102,98	18.381,97	17.663,29	16.946,96

Fuente: Fausto Guevara gerente general de la empresa INCOREG

Elaborado por: Samaniego Santiago, 2018

3.14.6. Estado de resultados

Demuestra la utilidad neta en cada uno de los períodos, en todos los años de vida útil habrá utilidad creciente; se inicia en el año 1 con 30.127,82 USD, y para el año 5 la utilidad será de 41003,06 USD.

Tabla 23-3: Estado de resultados

ESTADO DE RESULTADOS					
Cuenta	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
(+) Ingreso por ventas	67.500,00	70.875,00	74.418,75	78.139,69	82.046,67
(-) Gastos de ventas	14.898,80	15.869,35	16.061,36	16.255,71	16.452,40
Utilidad bruta en ventas	52.601,20	55.005,66	58.357,39	61.883,98	65.594,27
(-) Gastos administrativos y operativos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(=) Utilidad operacional	52.601,20	55.005,66	58.357,39	61.883,98	65.594,27
(-) Gasto interés	4.146,66	3.233,63	2.320,61	1.407,58	494,56
(=) Utilidad antes de impuestos y participación	48.454,54	51.772,02	56.036,78	60.476,40	65.099,72
(-)15% reparto utilidad trab.	7.268,18	7.765,80	8.405,52	9.071,46	9.764,96
(=) Utilidad antes de impuestos	41.186,36	44.006,22	47.631,26	51.404,94	55.334,76
(-)23% Impuesto a la Renta	9.472,86	9.681,37	10.478,88	11.309,09	12.173,65
(=) Utilidad antes de reservas	31.713,50	34.324,85	37.152,38	40.095,85	43.161,11
(-)5% Reserva de Capital	1.585,67	1.716,24	1.857,62	2.004,79	2.158,06
(=) Utilidad Neta	30.127,82	32.608,61	35.294,76	38.091,06	41.003,06

Elaborado por: Samaniego Santiago, 2018

- **Flujo de caja proyectado**

A través del análisis se obtiene un flujo de caja proyectado en el primer año de 38222,92, y en el quinto año el estado final de caja será 59.506,68.

- **Evaluación económica**

- **Valor actual neto (VAN)**

Conocido también como VAN mide la rentabilidad del proyecto en valores monetarios y, es lo que excede a la rentabilidad deseada, después de recuperar la inversión, es decir es la diferencia de todos sus ingresos menos los egresos expresados en moneda actual.

Tabla 24-3: Valor actual neto (VAN)

Tasa descuento	10,74%
Años	Flujos
Inversión	163.040,40
Año 1	38.225,92
Año 2	50.744,99
Año 3	53.552,09
Año 4	56.470,80
Año 5	59.506,68
VAN	317.584,92

Elaborado por: Santiago Samaniego

- **Tasa interna de retorno**

Conocida como TIR, es la tasa de descuento en la que el VAN es igual a cero; refleja el retorno que tiene el inversionista en términos porcentuales durante la vigencia operacional del proyecto. Tanto el VAN como el TIR son los indicadores financieros más importantes del proyecto, la evaluación de una institución de crédito sustenta su análisis en el valor en que éstos asuman.

Tabla 25-3: Tasa Interna de Retorno (TIR)

Años	Flujos
Inversión	-163.040,40
Año 1	38.225,92
Año 2	50.744,99
Año 3	53.552,09
Año 4	56.470,80
Año 5	59.506,68
TIR	16,36%

Elaborado por: Samaniego Santiago, 2018

- **Tasa de descuento del proyecto**

La tasa de descuento es el coste de capital que se aplica para determinar el valor actual de un pago futuro. La tasa de descuento determinada es de 10,58%.

Tabla 26-3: Tasa de descuento

Indicadores	%
Tasa Pasiva*	4,13%
Tasa de inflación global de la economía*	1,21%
Riesgo del proyecto (mediano) *	5,24%
TMAR:	10,58%

Elaborado por: Samaniego Santiago, 2018

- **Relación costo beneficio**

Es la relación en términos de valor actual de los ingresos operacionales y egresos operacionales; permite determinar la generación de excedentes fruto de la actividad principal del proyecto. En el presente trabajo la relación beneficio/costo es de 1 dólar y 59 centavos.

Tabla 27-3: Relación costo beneficio

Años	Flujos
Año 1	38.225,92
Año 2	50.744,99
Año 3	53.552,09
Año 4	56.470,80
Año 5	59.506,68
Total	258.500,48
Inversión	163.040,40
Beneficio/Costo	1,59

Elaborado por: Samaniego Santiago, 2018

- Periodo de recuperación del capital

Es el tiempo en que se recupera toda la inversión. Para el presente caso, el período de recuperación es de 3 años, 7 meses 10 días, significa que en ese tiempo el gestor de este proyecto de la maquinaria adquirida y no obtendrá ninguna deuda.

Tabla 28-3: Periodo de recuperación del capital

Inversión USD		163.040,40	
Tiempo	Flujo de Fondos	Valor USD	Acumulación de Flujos
Año 1	Flujo de Fondos 1	38.225,92	38.225,92
Año 2	Flujo de Fondos 2	50.744,99	88.970,91
Año 3	Flujo de Fondos 3	53.552,09	142.523,01
Año 4	Flujo de Fondos 4	56.470,80	198.993,80
Año 5	Flujo de Fondos 5	59.506,68	258.500,48
PRC 3 AÑOS, 7 MESES Y 10 DÍAS			

Elaborado por: Samaniego Santiago, 2018

De acuerdo a los análisis realizados sobre la propuesta planteada sobre la producción de calcio precipitado se según los datos obtenidos es viable.

CONCLUSIONES

- De acuerdo a los procesos realizados según la caracterización físico química en la escala de laboratorio se ha obtenido lo siguiente, los estudios de calcinación realizados en base a un horno eléctrico demostraron que la temperatura y tiempo óptimo de calcinación que permite obtener una calcina apta para producir pulpa hidratada es de 900° C, y 30 minutos respectivamente.
- Los estudios realizados de carbonatación demostraron que es posible producir CCP con pureza > 98%, tamaño de partícula d_{50} , del orden de 3,4 micrómetros y tamaño de partícula de d_{90} de 9,1 micrómetros e índice de blancura igual a 20.
- Se determinó el proceso para la transformación de hidróxido de calcio en carbonato de calcio precipitado el cual se encuentra especificado bajo diez pasos que son la obtención de materia prima, disgregación, sedimentación, tamizado, carbonatación, lavado, espesamiento, secado por spray, envasado o almacenaje.
- A través del proceso financiero se ha establecido las variables de factibilidad específicas al diseño de producción las cuales son beneficio costo de 1,59, TIR 16,36% periodo de recuperación de 3 años 7 meses, evidenciando que el proyecto es viable.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda tomar en cuenta la propuesta a través de los ensayos realizados con el fin de conocer el tiempo estimado en el cual se obtiene el producto como los pasos a seguir para la obtención de calcio precipitado mediante la cal hidratada.
- Se recomienda considerar el tamaño de las partículas como la pureza y el índice de blancura que debe ser característico del producto final.
- Es necesario tomar en cuenta los pasos especificados para el diseño del proceso de la obtención de carbonato de calcio precipitado mediante la cal hidratada con la finalidad de que el producto cumpla con las características determinadas.
- Se recomienda considerar el proceso financiero realizado para que la empresa pueda producir un nuevo producto que se encuentre dentro de las especificaciones de la demanda.

BIBLIOGRAFIA

- Almendariz, S.** (2015). *Estudio de la precipitación de carbonato de calcio* . Consultado el 12 de Marzo del 2018. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/370/37021101.pdf>
- Bravo, A.** (2015). *Análisis de la factibilidad para la implementación de una línea de producción de carbontao de calcio para la empresa MINMETECECUADOR* . Consultado el 15 de Mayo del 2018. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8797/1/UPS-CT005010.pdf>
- Camacho, E. M.** (2013). *Ingenería Química* . Madrid : ISBN.
- Gálvez, A.** (2014). *Evaluación del comportamiento de la piedra caliza con diferente contenido de carbonato de calcio* . Consultado el 17 de Marzo del 2018. Disponible en: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/3992/1/Hugo%20Alejandro%20G%C3%A1lvez%20Barrera.pdf>
- Gonzáles, L. I.** (2012). *Optimización del proceso de combustión para el tratamiento de la caliza en la obtencion de cal*. Consultado el 17 de Marzo del 2018. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2028/1/96T00170.pdf>
- Gonzáles, S., & Ticona , C.** (2016). *Evaluación de la piedra caliza, concentracion de carbontao de calcio* . Lima.
- Guerreo, C.** (2015). *Rocas calizas*. Consultado el 28 de Marzo del 2018. Disponible en: <http://www.utm.mx/temas/temas-docs/ensayo1t14R.pdf>
- Hernández , J., & Blanco, A.** (2014). *Carbonato de calcio en México* . México .
- Herrera, D.** (12 de Junio de 2012). *Diseño del proceso de elaboración de un producto para acabado de paredes, a partir del hidróxido de calcio resultante de la combustuón de la piedra* . Consultado el 15 de Enero del 2018. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2030/1/96T00172.pdf>

- Ortero, A. V.** (2014). *Tipos de cal* . Consultado el 15 de Junio del 2018. Disponible en:
<http://ocw.usal.es/enseñanzas-tecnicas/ciencia-y-tecnologia-de-los-materiales/contenido/TEMA%202-%20LA%20CAL.pdf>
- Peña, E.** (2013). Moldeado de un reactor químico tipo CSTR y evaluación del control predictivo. *Scielo* , 123-145.
- Rendon , J., & Ravello , J.** (2013). *Estudio de factibilidad para la construcción de una planta de hidróxido de calcio* . Consultado el 12 de Julio del 2018. Disponible en:
<http://repositorio.uees.edu.ec/bitstream/123456789/168/1/Tesis%20Hidroxido%20de%20Calcio%20-%20FINAL.pdf>
- Sinualiza, M.** (2013). *Estudio de factibilidad para la creación de una planta de producción de cal viva e hidratada en la parroquia San Juan* . Consultado el 22 de Junio del 2018. Disponible en:
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2456/1/85T00238.pdf>
- Solano, R.** (2011). *Factibilidad para la creación de una empresa dedicada a la explotación de piedra caliza* . Consultado el 09 de Mayo del 2018. Disponible en:
<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2011/137834.pdf>
- Urday, D.** (2013). *Diseño de una planta móvil de trituración de caliza para una capacidad de 50 TN/H*. Consultado el 22 de Mayo del 2018. Disponible en:
http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/5334/URDAY_DIEGO_DISE%C3%91O_PLANTA_MOVIL_TRITURACION_CALIZA_CAPACIDAD_50TN_H.pdf?sequence=1

ANEXOS

Anexo A: Materiales para la realización del ensayo



Fuente: Elaboración propia



Anexo B: Diseño de la planta

