

T/660.2/R74d

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUIMICA



**“DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN DE
CITRATOS DE CALCIO Y MAGNESIO A PARTIR DE LA
AULACOMYA ATER (CHORO)”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTADO POR:

RODRIGUEZ HUAMANI NOEMI

CASTRO CASTILLO MERY ANN LIDIA

CALLAO – PERÚ

2015

DEDICATORIA

Dedicamos esta tesis a Dios porque ha estado con nosotros en cada paso que damos, cuidándonos y dándonos fortaleza para continuar, a nuestros padres, quienes a lo largo de nuestra vida han velado por nuestro bienestar y educación siendo nuestro apoyo en todo momento. A nuestros maestros y amigos que sin su ayuda no se podría haber realizado esta tesis. Gracias a todos ellos por su apoyo, para todos ustedes hacemos esta
dedicatoria

INDICE

	Pag.
RESUMEN	5
I. INTRODUCCIÓN	6
1.1. Descripción general del tema.	6
1.2. Marco situacional.	8
1.3. Fundamentación del problema.	9
1.4 Hipótesis principal y específico.	9
1.5. Objetivos. Objetivo general y Objetivo específico.	10
1.6. Antecedentes, Importancia, Justificación, alcances y metas.	11
II. CREACIÓN, ORGANIZACIÓN, PLANIFICACIÓN, PROGRAMACIÓN Y EVALUACIÓN DEL PROYECTO DE INSTALACIÓN DE LA PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN DE CITRATOS DE CALCIO Y MAGNESIO A PARTIR DE LA AULACOMYA ATER (CHORO).	14
2.1. Creación del proyecto de instalación de una planta para la producción de citratos de calcio y magnesio a partir de la aulacomya ater (choro).	14
2.2. Organización del proyecto de instalación de una planta para la producción de citratos de calcio y magnesio a partir de la aulacomya ater (choro).	17
2.3. Planificación del proyecto de instalación de una planta para la producción de citratos de calcio y magnesio a partir de la aulacomya ater (choro).	18
2.4. Programación del proyecto de instalación de una planta para la producción de citratos de calcio y magnesio a partir de la aulacomya ater (choro).	21
2.5. Evaluación y control del proyecto de instalación de una planta para la producción de citratos de calcio y magnesio a partir de la aulacomya ater (choro).	22

III. INGENIERÍA DE PROCESO.	23
3.1. Desarrollo del Proceso.	23
3.1.1. Diseño del producto.	23
3.1.2. Análisis de la materia prima.	29
3.2. Análisis y descripción de tecnologías.	36
3.3. Selección de tecnologías.	42
3.4. Diseño del proceso de la tecnología seleccionada.	44
3.4.1. Procedimiento de diseño del proceso industrial.	44
3.4.2. Balance de materia y energía.	54
3.4.3. Diseño del diagrama de proceso: Diagrama de bloques, Diagrama de flujo codificado.	59
3.5. Plan maestro.	61
IV. LOCALIZACIÓN Y TAMAÑO DE PLANTA.	62
4.1. Localización de Planta.	62
4.1.1. Análisis de los factores locacionales.	63
4.1.2. Evaluación y Selección de Localización de Planta.	70
4.2. Tamaño de Planta.	73
4.2.1. Tamaño de Planta máximo.	73
4.2.2. Tamaño de Planta mínimo.	81
4.2.3. Tamaño de Planta intermedio.	84
4.2.4. Selección del Tamaño de Planta.	85
V. INGENIERÍA DE DISEÑO DE DETALLES.	92
5.1. Diseño de equipos principales.	92
5.1.1. Diseño del Reactor de Precipitación. Procedimiento de diseño.	92
5.1.2. Diseño del Reactor de Digestión. Procedimiento de diseño.	106

5.1.3. Diseño del Tanque Lavador–Sedimentador de la solución de Citrato de Calcio y Magnesio. Procedimiento.	120
5.1.4. Diseño del Secador por Atomización.	130
5.1.5. Diseño del Secador para la Concha de Choro. Procedimiento de Diseño.	143
5.2. Diseño de Uso Genérico.	155
5.2.1. Diseño de la Bomba para la solución de Cloruro de Calcio y Potasio. Procedimiento de Diseño.	155
5.2.2. Diseño de la Faja Transportadora al Secador. Procedimiento de Diseño.	159
5.2.3. Diseño de la faja Transportadora al Reactor-Digestor. Procedimiento de Diseño.	161
5.2.4. Diseño de Molino de Martillo. Procedimiento de Diseño.	163
5.2.5. Diseño del Tamiz. Procedimiento de Diseño.	163
5.3. Listado de los equipos y maquinarias de la Planta Industrial.	165
5.4. Disposición de Planta.	165
VI. EVALUACIÓN ECONÓMICA.	169
6.1. Estimación del costo total de producción.	169
6.2. Estimación de inversión total.	172
6.2.1. Inversión de capital fijo.	173
6.2.2. Capital de trabajo.	173
6.3. Estado de pérdida y ganancia.	174
6.4. Financiamiento.	177
6.4.1. Estructura de financiamiento.	178
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	179

7.1. Conclusiones.	179
7.2. Recomendaciones.	180
VIII. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA.	182

RESUMEN.-

Se ha diseñado la planta industrial para la producción de citrato de calcio y magnesio a partir de la *Aulacomya ater* (choro) con una capacidad de 202 TM/año, con un factor operacional de 92%, el cual se instalara en la localidad de Ventanilla. El producto es obtenido en dos etapas: 1° mediante el proceso de digestión de las conchas de choro de malla 40 con ácido clorhídrico al 7%, a la temperatura de 110 °C, obteniéndose el cloruro de calcio y magnesio, y 2° mediante el proceso de reacción y precipitación con ácido cítrico al 60% y hidróxido de sodio al 60% p/v respectivamente a 80°C, aprovechando una materia prima abundante en la región que tiene un bajo costo.

Los productos tiene un costo de manufactura promedio de US\$ 18,35/Kg, en comparación con los precios de venta que oscilan alrededor de US\$ 27,83/Kg (Fuente: Chemical Marketing Report).

Las características técnicas y las ventajas económicas convierten a este proceso en una excelente alternativa para ser implementado en la región y para seguir siendo estudiado.

La inversión total es de \$ 516365, cuyo capital de trabajo de \$103 273 con una rentabilidad muy alta cuya VAN es de 72 967 924.

Finalmente su estructura de financiamiento indica que \$ 361 455,0 debe ser financiado por el banco de crédito (70% de la inversión total) y los \$ 154 909,5 son las aportaciones del propietario y accionistas.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción general del tema.-

El cuerpo almacena más del 99 por ciento del calcio en los huesos y los dientes para ayudarlos a ser fuertes y resistentes. Es necesario para la contracción muscular, la secreción de hormonas y enzimas, y el envío de mensajes a través del sistema nervioso. Un nivel constante de calcio se mantiene en fluidos corporales y tejidos a fin de que estos procesos vitales del cuerpo funcionen de manera eficiente. Un estudio señala que la administración de suplementos de citrato de calcio, evitó la pérdida de hueso y se estabilizó la densidad ósea en la columna vertebral, cuello femoral y del eje radial en mujeres posmenopáusicas.

La vitamina D3 es esencial para promover la absorción de calcio en el intestino y el mantenimiento adecuado de calcio en suero y las concentraciones de fosfato para permitir la mineralización normal del hueso. También es necesario para el crecimiento óseo y la remodelación ósea por los osteoblastos y osteoclastos.

Junto con el calcio, la vitamina D también ayuda a proteger a los adultos de la osteoporosis.

El Citrato de calcio con vitamina D proporciona calcio de óptima absorción y utilización para la salud ósea. Esta forma de calcio no requiere esta producción de ácido gástrico para su absorción, así que puede ser consumido en cualquier momento del día con el estómago vacío.

El calcio interviene en el proceso de coagulación sanguínea y en el control del paso de fluidos a través de las células. También está ligado al

correcto funcionamiento del corazón y sistema neuromuscular. La vitamina D es un importante factor en la absorción del calcio.

Los estudios clínicos demuestran que las mujeres post menopáusicas que tomaron citrato de calcio durante 2 años tenían una reducción del 44% en pérdida del hueso.

El citrato de calcio es la sal del ácido cítrico e hidróxido de calcio. Es una de las formas más comunes de suplementos del calcio. Las ventajas del citrato del calcio fácilmente le hacen un suplemento esencial para que usted agregue a su propio repertorio de la vitamina. Ha habido un número de estudios conducidos en las ventajas del citrato del calcio. Es utilizado para la preservación y condimentación de alimentos, como néctares, jugos, etc.; en medicina se usa como complemento nutricional unido a la lisina.

El citrato de magnesio es un agente químico usado en el campo medicinal como salino laxante ya para vaciar el intestino antes de una cirugía o colonoscopia. Está disponible como marca genérica de citroma, también se utiliza como suplemento del magnesio en píldoras. El contenido del citrato de magnesio es de 11% en peso.

La dosis diaria de citrato de calcio y magnesio definido es de 0.5gr siendo su administración por vial oral.

Producción.-

La tendencia a usar el citrato de calcio en relación al crecimiento poblacional de nuestro país y con la finalidad de disminuir la contaminación por las conchas de los moluscos comestibles usados que van a los botaderos o los que se encuentran en la playa de la costa peruana y darle el uso viable de esta materia prima para la producción de citrato de calcio y magnesio como

suplemento de calcio, como suplemento nutricional, como preservantes y condimentos de alimentos como néctares y jugos, es materia de investigación de la presente tesis.

1.2. Marco situacional.-

1.2.1. Enunciado del problema. Problema general.

El diseño de una planta para la producción de citratos de calcio y magnesio a partir de la *Aulacomya ater* (choro) abarca varios aspectos, entre los cuales los más relevantes y teniendo en cuenta a la descripción inicial del objeto de investigación y las distintas situaciones planteadas en el análisis de la problemática, se podrá plantear la siguiente pregunta:

¿Será factible el diseño de una planta para la producción de citratos de calcio y magnesio a partir de la *Aulacomya ater* (choro)?

Sub-problemas.

¿Cuáles son las informaciones o fuentes disponibles que se analizará para el diseño de una planta para la producción de citratos de calcio y magnesio a partir de la *Aulacomya ater* (choro)?

¿Dónde se localizará la planta para la producción de citratos de calcio y magnesio a partir de la *Aulacomya ater* (choro)?

¿Cuál será el tamaño de planta adecuado para la producción de citratos de calcio y magnesio a partir de la *Aulacomya ater* (choro)?

¿Cuál será el procedimiento y las variables de diseño que se evaluarán en el diseño de una planta para la producción de citratos de calcio y magnesio a partir de la *Aulacomya ater* (choro)?

¿Cuál será la tecnología adecuada para el proceso de producción de citratos de calcio y magnesio a partir de la *Aulacomya ater* (choro)?

1.3. Fundamentación del Problema.-

Los principios y teorías científicas que fundamentan a la tesis, son:

1. Creación, organización, planificación, programación y evaluación del proyecto de instalación del diseño de una planta para la producción de calcio y magnesio a partir de la aulacomya ater (choro).
2. Ingeniería de proceso.
3. Localización y tamaño de planta.
4. Ingeniería de diseño de detalles.
5. Disposición de Planta.
6. Evaluación económica.
7. Financiamiento.

1.4. Hipótesis Principal y Específico.-

1.4.1. Hipótesis Principal.

El diseño de una planta para la producción del citrato de calcio y magnesio a partir de aulacomya ater (choro) consideran variables de diseño importantes para determinar las dimensiones o capacidades óptimas de producción, si estas variables están bien sustentadas por los fundamentos de la ingeniería de diseño, entonces se podrá diseñar la planta para la producción del citrato de calcio y magnesio a partir de la aulacomya ater (choro) en condiciones óptimas técnicas, económicas, y generaran información de utilidad.

1.4.2. Hipótesis Específico.

- a) Si los fundamentos del estudio de mercado (marketing) se plantean adecuadamente para el proceso de producción del citrato de calcio y magnesio, los resultados nos indicaran la factibilidad o no factibilidad del proyecto de

instalación de la planta para la producción del citrato de calcio y magnesio a partir de la *Aulacomya ater* (choro).

b) Los fundamentos de diseño de la ingeniería del proceso bien analizada y planteada nos permitirá evaluar y determinar las condiciones de operación de la tecnología seleccionada.

c) Los fundamentos, parámetros y criterios de diseño bien formuladas nos permitirá evaluar las variables, el modelo, y el procedimiento de diseño de la planta para la producción del citrato de calcio y magnesio a partir de la *Aulacomya ater* (choro).

d) Los factores locacionales bien analizadas nos permitirá determinar la localización óptima de la Planta.

e) Los fundamentos y criterios de evaluación del tamaño de planta bien analizada nos permitirá determinar el tamaño de planta óptimo.

1.5. Objetivos. Objetivo general y Objetivo específico.-

1.5.1. Objetivo General

Diseñar una planta para la producción de citratos de calcio y magnesio a partir de la *Aulacomya ater* (choro).

1.5.2. Objetivos Específicos

1. Analizar y estudiar la demanda de citratos de calcio y magnesio a partir de la *Aulacomya ater* (choro).

2. Desarrollar el estudio de Ingeniería de proceso para determinar los parámetros de procesos para la producción de citratos de calcio y magnesio a partir de la *Aulacomya ater* (choro).

3. Estudiar las tecnologías existentes y seleccionar la tecnología apropiada para la producción de citratos de calcio y magnesio a partir de la *aulacomya ater* (choro).

4. Analizar y estudiar la localización y tamaño de planta.

5. Desarrollar el estudio de Ingeniería de diseño de detalles para elaborar la disposición o distribución de planta.

6. Analizar y estudiar la evaluación económica para determinar su rentabilidad y financiamiento.

1.6. Antecedentes, Importancia, Justificación, alcances y metas.-

1.6.1. Antecedentes.

Los antecedentes que se han encontrado en materia de investigación son los siguientes:

En la literatura existente (artículos publicados), no se conocen estudios sobre el diseño de una planta para la producción del citrato de calcio y magnesio a partir de la *aulacomya ater* (choro), mediante la comprensión de los fundamentos y procedimientos de diseño en forma controlada, siendo éstos lo que diferencian de los otros trabajos ya existentes.

Hay estudios de diseño de planta industrial en forma general pero no hay estudios específicos sobre el diseño de una planta para la producción del citrato de calcio usando como materia prima al *aulacomya ater* (choro).

Fragen, 1958, estudia la selección de tratamiento y del tamaño de una planta industrial. Lowenstein, 1985, publica un artículo sobre la fundamentación de diseño la plantas pilotos en general.

Rodríguez et. al. 2009 (Habana, Cuba), estudiaron el secado del citrato de calcio y magnesio.

Johanna, 2005 (España), obtuvo el citrato de calcio por la reacción del ácido cítrico con la lechada de cal.

Barber, et. al., 2011, obtuvo el citrato de calcio por la reacción de carbonato de calcio con el ácido cítrico.

1.6.2. Importancia.

La importancia del trabajo de investigación radica en los siguientes aspectos:

1. Diseñar una planta para la producción de citratos de calcio y magnesio a partir de la *Aulacomys ater* (choro), con la finalidad de proporcionar una información tanto técnica y como económica para el diseño e instalación de plantas industriales para la producción de citrato de calcio y magnesio.
2. Obtener el citrato de calcio y magnesio a nivel industrial como suplemento nutricional.
3. Analizar la viabilidad del proyecto de instalación de una planta para la producción del citrato de calcio y magnesio, proponiendo principalmente en el desarrollo de la agroindustria.

1.6.3. Justificación

La presente tesis se justifica por lo siguiente:

1. Reducir los residuos sólidos de la concha de los moluscos comestibles usados que van a los botaderos o los que se encuentran en la playa de la costa peruana haciendo viable el uso de esta materia prima para la producción de citrato de calcio y magnesio como suplemento de calcio, como suplemento nutricional y como preservantes, y condimentos de alimentos como néctares y jugos.
2. Permite determinar las variables de diseño de una planta industrial a las condiciones de operación técnica y económica viables para producción del

citrato de calcio y magnesio con un alto valor económico en el mercado nacional e internacional.

3. Al investigar en las literaturas existentes (artículos publicados) no se conocen hasta la actualidad los estudios sobre el diseño de una planta industrial para la producción del citrato de calcio y magnesio a partir de *Aulacomya ater* (choro) mediante la fundamentación y el procedimiento adecuado para el diseño de una planta industrial.

1.6.4.- Alcances y metas

La tesis desarrollada alcanza a una investigación tecnológica sustantiva y operativa, porque propone alternativas de solución, lleva al estudio y diseño una planta para la producción de citratos de calcio y magnesio a partir de la *Aulacomya ater* (choro), logrando el diseño de una planta industrial.

II. CREACIÓN, ORGANIZACIÓN, PLANIFICACIÓN, PROGRAMACIÓN, EVALUACIÓN Y CONTROL DEL PROYECTO DE INSTALACIÓN DE LA PLANTA INDUSTRIAL PARA LA PRODUCCIÓN DE CITRATOS DE CALCIO Y MAGNESIO A PARTIR DE LA AULACOMYA ATER (CHORO)

El método usado para seleccionar donde debe localizar el proyecto será por el método Semi-Cuantitativo, en el consiste calificar con una

2.1. Creación del proyecto de instalación de una planta industrial.-

La idea principal del proyecto es la instalación de una planta para la obtención de citratos de calcio y magnesio a partir de la Aulacomya Ater (Choro) para llegar a un segmento de mercado que demande el consumo de completos alimenticios.

2.1.1 Diseño del producto

El citrato de calcio es la sal del ácido cítrico e cloruro de calcio. Es utilizada para la preservación y condimentación de alimentos. En Medicina se utiliza como complemento nutricional unido a la lisina.

Su fórmula : $\text{Ca}_3 (\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)_2$.

Densidad : 1,63 g/cm³

Masa molar : 498,46 g/mol

Punto de fusión: 120 °C

Denominación de la IUPAC: 2-hydroxy-1,2,3-propane- tricarboxylic acid calcium salt (2:3)

Soluble en: Agua

Clasificación: Citrato

El calcio es uno de los minerales más importantes para el cuerpo humano. Ayuda a formar y mantener dientes y huesos sanos. Los niveles apropiados de calcio durante toda una vida pueden ayudar a prevenir la

osteoporosis, ayuda en la coagulación de la sangre, en la salud dental, ayuda a disminuir la tensión arterial y el colesterol previniendo las enfermedades cardiovasculares, ayuda al sistema neuromuscular y mejora la permeabilidad de las membranas celulares.

Características químicas

Como el ácido cítrico, el citrato del calcio tiene a amargo gusto. Como otras sales, sin embargo, también tiene un gusto salado. Por esta razón, los citratos tales como citrato del sodio y del calcio se conocen comúnmente como *sal amarga*.

El citrato del calcio es un intermedio en el aislamiento del ácido cítrico del proceso de fermentación por el cual el ácido cítrico es producido industrialmente. El ácido cítrico en la solución del caldo se neutraliza cerca hidróxido de calcio, precipitando el citrato insoluble del calcio. Esto entonces se filtra apagado del resto del caldo y lavado dé el citrato limpio del calcio.

El citrato del calcio producido así puede ser como está vendido, o puede ser convertido al ácido cítrico usando el ácido sulfúrico diluido.

Papel biológico

Suplementos de calcio, como citrato del calcio, puede aumentar toxicidad de aluminio. Los pacientes con enfermedad renal están en un riesgo creciente de la toxicidad.

Composición: La composición de los minerales en los choros y moluscos se muestran en la tabla N°1.

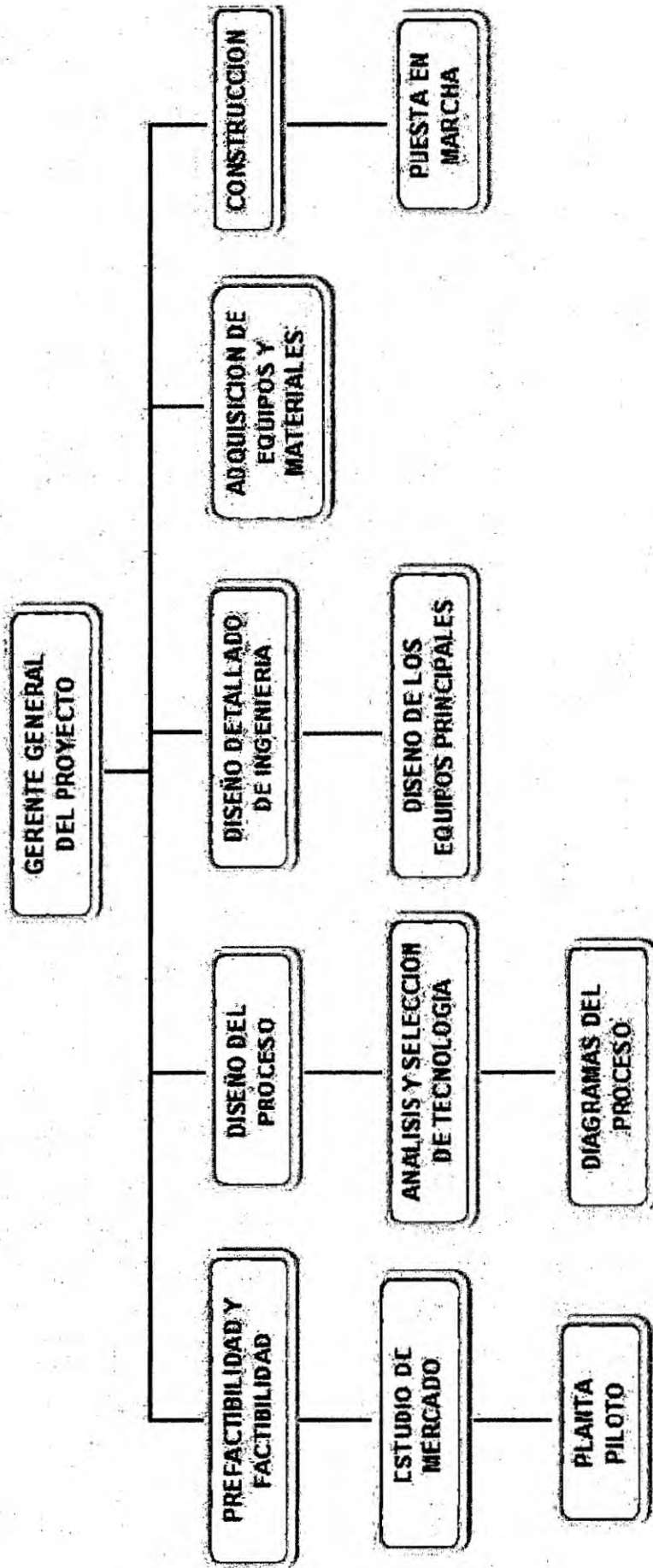
Tabla N° 1. Composición de minerales (Los valores entre paréntesis indican la desviación estándar de tres repeticiones)

Minerales	Concha de choros	Conchas de moluscos	Fracción precipitada	Fracción disuelta	Precipitado de sal de citrato
Ca	33,32%(0,1)	38%	0,69%(0,008)	34,70 % (1,53)	20,5% (0,36)
Mg	975ppm(4,55)	3000 ppm	170 ppm (3,56)	1009 ppm (6,38)	927ppm(2,62)
Na	5475 ppm	2000 ppm	760 ppm	5674 ppm	810pm
K	1320 ppm	1000 ppm	171 ppm	1369 ppm	2,17%
Cu	228,5 ppm	*	1753 ppm	164 ppm	2ppm
Zn	77,25 ppm	*	520 ppm	58,5ppm	20ppm
Mn	13,5 ppm	*	21,5 ppm	13,24 ppm	10,5ppm
Fe	511 ppm	*	7350 ppm	574ppm	190,5ppm
Cd	5,5ppm (0,16)	*	5,5 ppm (0,57)	5,5,ppm (0,78)	0,1ppm(0,0047)
Cr	--	*	--	--	--
Pb	19ppm(0,36)	*	41,5 ppm (3,24)	18ppm(1,96)	0,19ppm(0,0047)
Al	74 ppm	*	592 ppm	52ppm	3ppm
As	5,1 ppm	*	100 ppm	1 ppm	0,1 ppm
P	125 ppm	1000 ppm	*	*	*
Hg	*	*	*	*	--

Fuente: Laboratorios de Suelos de la UNALM, INASSA, y La Molina calidad total

2.2. Organización del proyecto de instalación de una planta industrial.-

Cuadro N° 1. Organigrama de la Ingeniería del Proceso



Fuente: Elaboración propia

2.3 Planificación del proyecto de instalación de una planta industrial.-

Vamos a desarrollar las siguientes actividades para la elaboración del proyecto de nuestra planta industrial.

Cuadro N° 2. Actividades del proyecto de instalación

Actividad	
A	Idea del proyecto
B	Plan de negocio
C	Cuantificación de los beneficios y costos
D	Evaluación de la rentabilidad
E	Estudio de mercado
F	Plan de marketing
G	Organización y recursos humanos
H	Aspecto formal y estructura legal
I	Estudio impacto ambiental
J	Estudio económico y financiero

Fuente: Elaboración propia

Idea del proyecto:

Es lo primero que se ha tomado en cuenta para el éxito de la planta industrial para la producción del citrato de calcio y magnesio por lo que, incluso un negocio o una industria más sencillo en apariencia puede terminar antes de empezar por no tener una idea bien definida o poco desarrollada. La idea debe ser realista y poder presentarse como viable. No se trata de encontrar un negocio que revolucione el mercado, sino de detectar un hueco, una oportunidad que nadie haya aprovechado.

Plan de negocio:

Consiste en plasmar la idea en papel de una forma sintetizada, pero sin dejar cabos sueltos, dejando claros que objetivos quiere alcanzar la industria y cómo piensa lograrlo, es decir, la estrategia que se utiliza para estudiar y planificar la viabilidad técnica, económica y financiera del proyecto, que debe ser ante todo realista y tener en cuenta el entorno económico y el mercado en el que se va a competir nuestro producto.

Estudio de mercado:

Demostrar que existe una oportunidad de negocio. Servirá como base para diseñar las estrategias. Es una labor de investigación a partir de datos externos, teniendo en cuenta con claridad a que mercado se dirige la empresa y quiénes serán los clientes potenciales. Identificar los datos principales del mercado, sus previsiones de crecimiento, competencia, estructura, segmentación. Prever las barreras de entrada, competidores. Debe contemplar toda la normativa legal aplicable a la actividad que va a desarrollar la empresa y los permisos y autorizaciones que deberá tramitar.

Plan de marketing:

Dejaremos más o menos claro cómo vamos a vender el producto. Políticas, estrategias para darlo a conocer al mercado y como motivar al potencial cliente para que acuda a nuestra empresa. Definir la cobertura del mercado que se va a realizar. Analizar la necesidad de distribuidores o intermediarios. Elaborar un listado de posibles clientes. Describir las técnicas de venta, políticas de descuento y formas de cobro. Establecer las líneas de

publicidad y relaciones públicas. Diseñar las campañas de marketing con sus objetivos.

Organización y recursos humanos:

Servirá para definir el organigrama y distribuir las tareas, los puestos de trabajo y las correspondientes funciones y sus responsables. No hay que olvidar que el principal activo de una empresa es su capital humano.

Aspectos formales y estructura legal:

Trámites administrativos y legales necesarios que hay que complementar para poder constituir la empresa y el régimen fiscal al que deberá someterse. La persona física: ejerce en nombre propio su actividad empresarial. Es el propietario Único de la empresa, que dirige y gestiona y percibe todos sus beneficios. La persona jurídica: Organización de un grupo de personas que desarrollan las funciones propias de la actividad empresarial.

Estudio ambiental:

Ver que tanto va a contaminar la planta y que soluciones podemos darle a este problema.

Estudio económico financiero:

Es necesario determinar cuáles serán los fondos necesarios para poner en marcha la empresa y como se va a obtener el capital. Habrá que definir la estructura financiera de la empresa y hacer previsión de su rentabilidad, al menos, a medio plazo.

2.4 Programación del proyecto de instalación de una planta industrial.-

La programación se ha realizado en meses de las actividades planificadas utilizando la siguiente ecuación:

$$t_e = \frac{t_o + 4t_m + t_p}{6}$$

Donde:

te: tiempo esperado

tm: tiempo más probable

to: tiempo más optimista

tp: tiempo pesimista

2415

El tiempo total estimado para la ejecución del proyecto es de 30 meses y medio.

Cuadro N° 3. Programación de las actividades del proyecto

Actividad	T. Optimista	T. Probable	T. Pesimista	T. Esperado
A	1	1,5	2	1,5
B	2	3	3	3
C	4	5	6	5
D	3	3	4	3,5
E	2	3	3	3
F	1	2	3	2
G	2	2	3	2,5
H	1	1,5	2	1,5
I	4	6	7	6
J	2	3	4	3
				31

Fuente: Elaboración propia

Concluimos que el proyecto de instalación de la planta para la producción de citrato de calcio y magnesio tardara un promedio de 2 años y 7 meses, pero podemos realizar simultáneamente y disminuir el tiempo, las actividades según nuestra tablas las actividades B,C,D se pueden realizar simultáneamente esto reducirá el tiempo a 2 años.

2.5 Evaluación y Control del proyecto de instalación de una planta industrial.-

En donde se verá el cumplimiento de las acciones programadas en función al tiempo para la instalación de la planta industrial.

III. INGENIERÍA DEL PROCESO

3.1. Desarrollo del proceso.-

3.1.1. Diseño del Producto

El citrato cálcico o sal amarga, es la sal del ácido cítrico e hidróxido de calcio. Es el calcio de mejor absorción y biodisponibilidad que existe.

Dentro de la clasificación ATC se incluye en el grupo A12, en concreto con el código A12AA09. La dosis diaria definida es de 0,5 gr, siendo su administración por vía oral.

Citrato de calcio, también se le conoce como la sal cálcica del ácido 2-hidroxi-1, 2,3 propanotricarboxílico, tetrahidratada.

Ventajas:

- a) Mejor absorción y biodisponibilidad, con lo que se consigue un mejor efecto antirresortivo, lo que no ocurre con otras sales.
- b) Puede administrarse con o sin alimentos sin que se afecte su absorción, lo que resulta en una enorme ventaja al poder utilizarlo en cualquier momento del día.
- c) Puede utilizarse en presencia de litiasis renal.

Usos

La mayor parte de los compuestos administrados por vía oral, como fuente de calcio, son solubles en el ácido gástrico, pero se convierten en insolubles en el duodeno, de manera que solo una fracción de calcio está disponible para su absorción. El carbonato de calcio, especialmente, es dependiente del ácido gástrico para convertir algo de calcio en biodisponible. Las personas con

aclorhidria, piloroplastia u otras situaciones en la que el compuesto de calcio no está en un medio ácido el tiempo suficiente para liberar o mantener mucho calcio soluble, en general no absorbe adecuadamente el calcio a partir del carbonato y de algunos otros compuestos.

Cuadro N° 4. Ficha técnica

CITRATO DE CALCIO	
1.- IDENTIFICACION	
Nombre Común (usado en etiqueta)	CITRATO DE CALCIO
Código del Producto	CC 3
Nombre Químico	CITRATO TRICALCICO
Familia Química	Sal Orgánica
Fórmula Química	$Ca_3(C_6H_5O_7)_2 \cdot 4H_2O$
Apariencia	Polvo blanco inodoro, muy poco soluble en agua e insoluble en alcohol.
Usos	Como fuente y complemento de calcio, como mejorador de propiedades de horneado de las harinas.
2.- PROPIEDADES FISICAS	
Peso Molecular	570.50
Densidad Aparente	0.7 gr / ml
Punto de Fusión	Indeterminado
Solubilidad a 25°C en agua	Soluble 1 : 1050
Solubilidad en Ácido	Completamente en ácidos minerales diluidos
3.- REACTIVIDAD	
Inestabilidad	Buena estabilidad al aire a temperatura ambiente.
Incompatibilidad	Ninguna conocida
Reacciones Peligrosas	Ninguna conocida

Flamabilidad	Ninguna
4.- ALMACENAJE	
General	Protéjalo de la Humedad, Luz y Calor
Almacenaje	En contenedores bien cerrados
Procesamiento	Evite formación de polvo. Considere posible carga electrostática. Aterrice equipo en contacto con producto seco fluyendo libremente
Materiales para el equipo	Acero Inoxidable y Vidrio
5.- RIESGOS DE MANEJO	
Prolongada Exposición	Puede producir irritación en piel y ojos
Inhalación accidental	Irritación Nasal
Ingestión Accidental	Irritación en Membranas Mucosas
6.- PRIMEROS AUXILIOS	
Prolongada Exposición	Lavar la zona de contacto perfectamente con bastante agua
Contacto con Ojos	Lavar ojos con agua durante 15 min.
Inhalación Accidental	Lavar fosas nasales con agua
Ingestión Accidental	Dar de beber bastante agua e inducir al vómito, consultar al médico.
7. MEDIDAS DE PROTECCION	
Protección Respiratoria	Máscara contra polvos
Ventilación	Buena ventilación local
Prácticas de trabajo	BPM Normales
Guantes de protección	Hule / Vinilo si se tiene un contacto prolongado
8.- MEDIDAS ANTIFUEGO	
Medios de Extinción	Agua, Espuma, Polvo, Dióxido de Carbono
9.- TOXICIDAD	
General	Generalmente reconocido como seguro para consumo humano
10.- PROTECCION AL AMBIENTE	
Precauciones que deben	Buenas prácticas de manufactura normales de

tomarse	manejo y almacenaje. Guardar en recipientes sellados para prevenir polvos
Derrames	Limpie con vacío o barra con escoba y deposite en un recipiente para desechos

Fuente: Acreidcombi Sachet FT10 art.3, setiembre 11, 2011

Citrato de Magnesio

Es un agente químico usado medicinal como salino laxante y para vaciar el intestino antes de una cirugía o colonoscopia. También se utiliza como suplemento del magnesio en píldoras. El contenido del magnesio del citrato del magnesio corresponde al cerca de 11%.

Características:

Formula: $C_6H_6O_7Mg$

Masa molecular: 214.41 g/mol

Ventajas:

- a) Juega un papel clave en la activación de los aminoácidos.
- b) Se ha comprobado que la ingestión de este complemento te ayudará a evitar o mejorar la osteoporosis, dado que ayuda a estabilizar el calcio.
- c) Controla ciertas enfermedades circulatorias (hipertensión, trombos, ataques cardíacos).
- d) Ayuda a mejorar a las personas con diabetes del tipo 2 ya que estabiliza más adecuadamente los niveles de azúcar en sangre, igualmente es necesario para prevenir la enfermedad.

e) Junto con el calcio intervienen en la producción de neurotransmisores lo cual los convierten en unos efectivos sedantes naturales del sistema nervioso, resultando efectivo como relajante.

El citrato del magnesio trabaja atrayendo el agua a través de los tejidos finos por un proceso conocido como ósmosis. Una vez en el intestino, puede atraer bastante agua en el intestino para inducir la defecación. El agua adicional también ayuda a crear más heces, que estimula naturalmente motility del intestino. Esto significa que puede también ser utilizada para tratar problemas rectales. El citrato de magnesio funciona mejor en un estómago vacío y se debe seguir siempre con un cristal lleno (de ocho onzas) de agua o de jugo para ayudar a absorber correctamente y para ayudar a prevenir cualquier complicación. El citrato del magnesio no es generalmente una sustancia dañosa, pero se debe tomar en cuenta el consultar con un profesional de la salud si se sospechan algunos problemas de salud adversos.

Se ha considerado para el análisis de la demanda insatisfecha los datos históricos de los últimos 10 años desde el 2004 al 2013 por ser datos disponibles más recientes proporcionados por SUNAT: ADUANAS.

La demanda de este producto se expresa en toneladas métricas, porque según el comercio internacional dichos productos se comercializa en estas unidades.

Tabla N° 2. Demanda histórica de los últimos 10 años

Año	Importación(Kg)	Exportación(Kg)
2004	6 752,650	0,000
2005	13 822,040	0,000

2006	11 564,760	243,824
2007	16 335,670	225.000
2008	23 829,870	0,000
2009	54 968,870	0,000
2010	35 737,840	0,000
2011	113 178,680	52,700
2012	172 309,430	2 400,000
2013	216 138,410	861,658

Fuente: SUNAT

La demanda insatisfecha de los últimos 10 años se ha calculado considerando la importación y la exportación con la siguiente ecuación:

$$\text{Demanda insatisfecha} = \text{Importación} + \text{Producción} - \text{Exportación}$$

Tabla N° 3. Demanda Aparente

Año	Importación(Kg)	Exportación(Kg)	D. Aparente(kg)
2004	6752,650	0	6 752,650
2005	13 822,040	0	13 822,040
2006	11 564,760	243,824	11 320,936
2007	16 335,670	225,000	16 110,670
2008	23 829,870	0	23 829,870
2009	54 968,870	0	54 968,870
2010	35 737,840	0	35 737,840
2011	113 178,680	52,700	113 125,980
2012	172 309,430	2400,000	169 909,430
2013	216 138,410	861,658	215 276,752

Fuente: SUNAT

3.1.2. Análisis de la Materia Prima

a) CHORO (*Aulacomya ater*):

Dentro de los moluscos bivalvos que se extraen a lo largo de todo nuestro litoral, el choro es el que alcanza los mayores volúmenes de extracción y es el que mayor aceptación tiene entre las personas de bajos recursos económicos en el país, compitiendo ventajosamente con otras carnes de origen marino, debido a su contenido proteico, bajo costo y buen sabor. La extracción del choro es una actividad característica de los pescadores marisqueros que faenan en el litoral de Ica, y el aporte de sus faenas al mercado nacional es significativo. El choro (*Aulacomya ater*), es una especie que pertenece a una familia que tiene amplia distribución en todo el mundo; es por ello que, otros países desde hace ya mucho tiempo, con o sin tradición acuícola, han desarrollado técnicas de cultivo para mariscos que responden satisfactoriamente a las exigencias de su geografía y a las características propias de la especie que tienen en su medio.

Datos Biológicos:

El choro (*Aulacomya ater*) es un bivalvo de concha mitiliforme de color negro brillante o negro violáceo o azulado, con su borde dorsal redondeado y su parte más alta hacia la mitad de la valva; el borde ventral es generalmente recto, a veces cóncavo. Presenta estrías radiales bien marcadas, en ocasiones cruzadas por finas estrías transversales, independientes de las líneas de crecimiento. Es de sexos separados y vive adherido a sustratos duros de fuerte pendiente con buena renovación de agua, alimentándose principalmente de fitoplancton y detritus orgánico a través de la filtración, y pueden alcanzar la talla de 8 cm en 16 meses.

Composición:**Cuadro N° 5. Composición de la concha del Choro**

Mineral	Ppm
Ca	33.32% (0.11)
Mg	975 (4.55)
Na	5475
K	1320
Cu	228.5
Zn	77.25
Mn	13.5
Fe	511
Cd	5.5 (0.16)
Cr	-
Pb	19 (0.36)
Al	74
As	5.1
P	125
Hg	-

Cuadro N°6. Datos históricos de la captura o extracción del choro, TM/año

AÑO	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
CHORO	5251	8766	8894	11071	9022	9162	6741	6822

Fuente: Ministerio de la producción, Dirección general de políticas y desarrollo Pesquero. Anuario estadístico

b) Ácido clorhídrico (HCl):

Este compuesto se puede encontrar como gas licuado, donde se conoce como Cloruro de Hidrógeno o como soluciones acuosas de diferentes concentraciones, que corresponden al ácido propiamente dicho. A temperatura ambiente, el Cloruro de Hidrógeno es un gas incoloro o ligeramente amarillo con olor fuerte. En contacto con el aire, el gas forma vapores densos de color blanco debido a la condensación con la humedad atmosférica. El vapor es corrosivo y a concentraciones superiores a 5 ppm, puede causar irritación. La forma acuosa, comúnmente conocida como ácido muriático o clorhídrico es un líquido sin olor a bajas concentraciones y humeante y de olor fuerte para concentraciones altas.

Está disponible comercialmente como un gas Anhidro o en forma de soluciones acuosas (ácido Clorhídrico). El ácido clorhídrico comercial contiene entre 33% y 37% de cloruro de hidrógeno en agua. Las soluciones acuosas son generalmente incoloras pero pueden generar ligero color azul o amarillo a causa de trazas de Hierro, Cloro e impurezas orgánicas. Esta no es una sustancia combustible.

Incompatibilidades

El contacto del el ácido clorhídrico con metales que se encuentran arriba de la posición del Hidrógeno en la serie electromotriz, como el zinc, genera liberación de Hidrógeno gaseoso. Reacciona con aminas y álcalis. Estas reacciones pueden generar suficiente calor para causar fuego en materiales

combustibles adyacentes. Ataca también algunos tipos de plásticos, caucho y recubrimientos.

En general esta sustancia es incompatible con: Acetatos, anhídrido acético, alcoholes más cianuro de hidrógeno, 2- amino etanol, hidróxido de amonio, carburo de calcio, carburo de cesio acetileno, ácido cloro Sulfónico, 1,1-difluoroetileno, Etilen Diamina, etilenamina, flúor, sulfato mercuríco, óleum, ácido perclórico, permanganato de potasio, óxido de propileno, carburo de rubidio acetileno, perclorato de plata + tetracloruro de carbono, sodio, hidróxido de sodio, ácido sulfúrico y acetato de vinilo.

Aplicaciones y usos

La mayoría del cloruro de hidrógeno producido se consume en la industria química pero tiene aplicaciones difundidas en limpieza, desinfección y tratamiento de aguas.

La producción de cloruro de vinilo y otros hidrocarburos clorados consume grandes cantidades de cloruro de hidrógeno anhidro. También se consume para la producción de cauchos y polímeros clorados.

En la extracción de petróleo, en forma acuosa, se usa para acidificar los pozos petroleros con el fin de aumentar el flujo del crudo a través de estructuras de roca calcárea.

Se encuentra como aditivo o componente principal de muchos productos de limpieza, desinfección y para evitar la formación de depósitos carbonatados en baños y piscinas.

En la industria de los metales se usa en la refinación de minerales metálicos, en limpieza, desincrustación ácida y en electroplateado. Se usa en la refinación de grasas, jabones y aceites comestibles, en la curtición del cuero,

producción de fertilizantes, colorantes, pigmentos y en el ajuste del pH del agua.

c) Ácido Cítrico:

El ácido cítrico es un ácido orgánico tricarboxílico que está presente en la mayoría de las frutas, sobre todo en cítricos como el limón y la naranja. Su fórmula química es $C_6H_8O_7$. El nombre IUPAC del ácido cítrico es ácido 2-hidroxí-1, 2,3-propanotricarboxílico.

Es un buen conservante y antioxidante natural que se añade industrialmente como aditivo en el envasado de muchos alimentos como las conservas de vegetales enlatadas.

En bioquímica aparece como un metabolito intermediario en el ciclo de los ácidos tricarboxílicos, proceso realizado por la mayoría de los seres vivos.

Propiedades físico-químicas

Estado físico: Sólido cristalino en polvo **Color:** Blanco.

Densidad aparente: 850 – 950 kg/m^3

Punto de destello: 345°C.

Densidad relativa: 1,67 g/cm^3

Propiedades comburentes: Combustible.

PH: 1,8 (sol. 5%)

Punto Fusión: 153°C

Solubilidad: 56,7 g/100 ml agua; 38,3 g/100 ml etanol; 1,1 g/100 ml éter.

Estabilidad y reactividad

Estabilidad: Estable durante varios años en condiciones de almacenamiento adecuadas.

Materias a evitar:

El ácido cítrico reacciona con sustancias básicas, generándose calor. Las soluciones acuosas del producto tienen efecto corrosivo sobre metales, incluyendo acero inoxidable 304, zinc, cobre, aluminio y níquel. Esta reacción podría desprender hidrógeno, el cual puede originar mezclas explosivas. Estas soluciones también descomponen productos basados en cemento y atacan algunos plásticos como nylon, policarbonatos, poliamidas, poliamidas o acrílicos.

Manipulación y almacenamiento.-

Manipulación: Evitar la formación de polvo. No fumar, comer o beber durante su manipulación. Procurar higiene personal adecuada después de su manipulación. Las disoluciones son ácidas por lo que se deben respetar las medidas de protección.

Almacenamiento: Guardar el producto en envases herméticamente cerrados. Almacenar en lugar fresco y seco (máximo 30°C y 70% de humedad relativa), alejado de materias oxidantes, álcalis y superficies metálicas.

a) NaOH:

A temperatura ambiente el Hidróxido de Sodio es un sólido cristalino, blanco, sin olor y que absorbe rápidamente Dióxido de carbono y humedad del aire (delicuescente). Es una sustancia muy corrosiva. Cuando se disuelve en agua o cuando se neutraliza con algún ácido libera gran cantidad de calor, el cual

puede ser suficiente para hacer que material combustible en contacto con el hidróxido haga ignición. Se usa generalmente como solución del 50% en peso o como sólido que se comercializa como pellets, hojuelas, barras y tortas. Es una sustancia exclusivamente producida por el hombre y por tal razón no se encuentra en la naturaleza en su estado normal.

Propiedades químicas

El Hidróxido de Sodio es una base fuerte, se disuelve con facilidad en agua generando gran cantidad de calor y disociándose por completo en sus iones, es también muy soluble en etanol y metanol. Reacciona con ácidos (también generando calor), compuestos orgánicos halogenados y con metales como el aluminio, estaño y zinc generando hidrógeno que es un gas combustible altamente explosivo.

El Hidróxido de Sodio es corrosivo para muchos metales. Reacciona con sales de amonio generando peligro de producción de fuego, ataca algunas formas de plástico, caucho y recubrimientos.

El hidróxido de sodio anhidro reacciona lentamente con muchas sustancias, sin embargo la velocidad de reacción aumenta en gran medida con incrementos de temperatura. Los metales más nobles como el níquel, hidróxido de sodio plata y oro son atacados solo a altas temperaturas y en atmósferas oxidantes.

En presencia de la humedad del ambiente, el hidróxido de sodio reacciona con el dióxido de carbono para generar carbonato de sodio.

Reacciona con el monóxido de carbono bajo presión para dar formato de sodio, también en presencia de humedad.

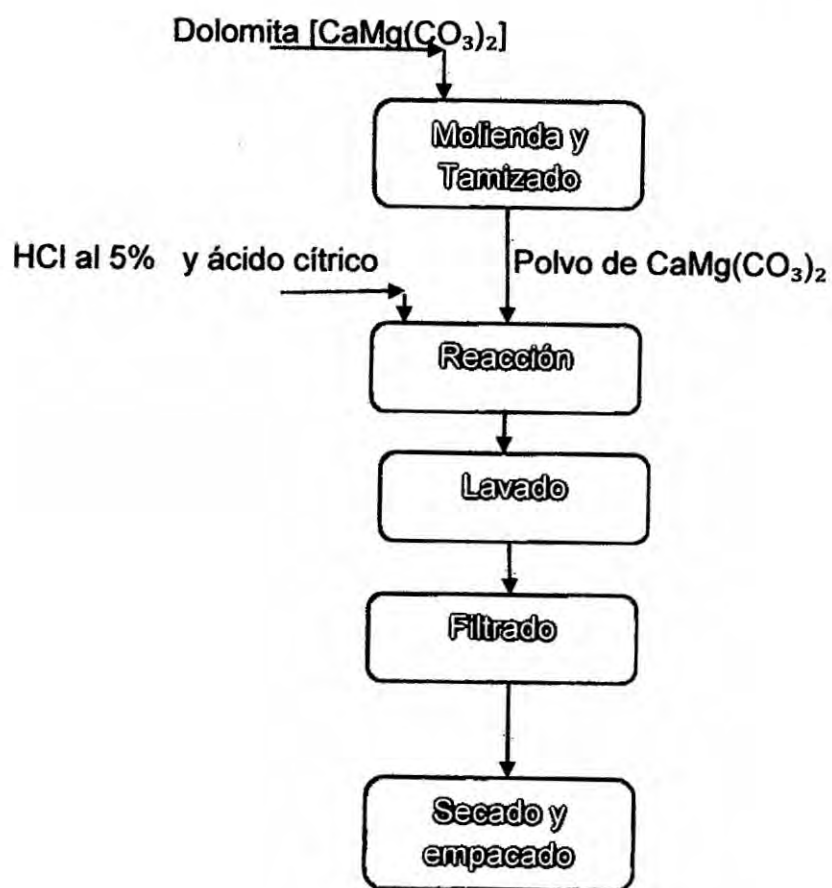
3.2. Análisis y descripción de las tecnologías.-

Al analizar las tecnologías para la producción de citrato de calcio y magnesio se han encontrado dos tecnologías las cuales dan un buen rendimiento para su elaboración por consiguiente se van describir para su posterior análisis y selección

Tecnología 1. Proceso de obtención de citrato de calcio y magnesio a partir de dolomita.- Este proceso consta de 3 etapas fundamentales: reacción, filtración y secado. El cual consiste en hacer reaccionar en condiciones previamente establecidas la dolomita con ácido cítrico.

La dolomita, o caliza de magnesio, es un bicarbonato de calcio y magnesio, o carbonato doble de calcio y magnesio cuya fórmula química es $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, contiene 21,73% de Ca, 13,18% de magnesio, 13,03% de carbono y 52,06% de oxígeno, es previamente preparada para hacer reaccionar lentamente con ácido clorhídrico diluido al 5% en frío. Al cual obtenido se adiciona el ácido cítrico obteniéndose el citrato de calcio y magnesio con un rendimiento del 93,94%, enseguida se hace el lavado, filtrado y secado respectivamente.

Diagrama N°1. Diagrama de proceso de la tecnología N°1



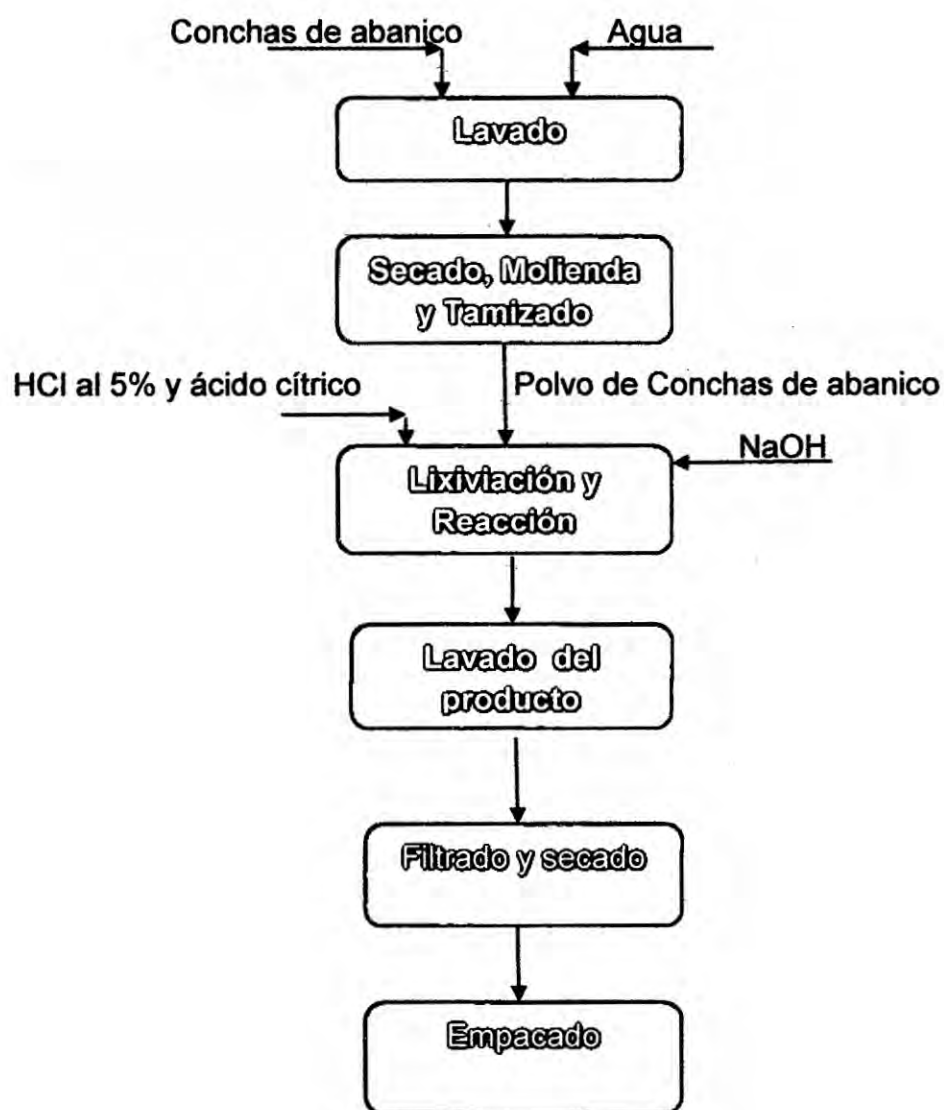
Fuente: Elaboración propia

Tecnología 2. Proceso de obtención de citrato de calcio y magnesio a partir de conchita de abanico.- El proceso consiste primeramente en lixiviar las conchitas de abanico molido con la adición lenta de ácido clorhídrico obteniéndose los cloruros de calcio y magnesio, a esta mezcla se le agrega solución de ácido cítrico, en un medio en el cual se pueda controlar el pH, añadiendo NaOH, obteniéndose el citrato de calcio con un rendimiento del 92,5%.

El ácido cítrico se mezcla con agua con agitación continua, y el compuesto de calcio y magnesio para producir una mezcla densa hidratada. Esta mezcla densa hidratada puede ser caracterizada como un espeso "lodo" que comprende iones de calcio, iones de magnesio, los iones de potasio e iones de citrato. Durante la adición de los compuestos de cloruros, la temperatura de la mezcla deseable es controlada por debajo de 100° C mediante el control de la velocidad de adición. La temperatura de la mezcla de reacción se le permite elevarse por encima de aproximadamente 120°C, la degradación del producto se puede producir. Una temperatura preferida para la mezcla de reacción durante y después de la adición de los compuestos de cloruros es de aproximadamente 80° C. La mezcla hidratada preferentemente tiene un contenido de agua entre un 10 por ciento en peso y aproximadamente el 20 por ciento en peso. Si el contenido de agua cae por debajo de 10 por ciento en peso, es probable que la reacción sea incompleta. Por encima de 20 por ciento en peso, la mezcla mantiene una consistencia pastosa por un período de tiempo más largo, que es económicamente desventajosa. La masa se muele y se seca para producir una composición de citrato de calcio que tiene un tamaño máximo de partícula de aproximadamente 1 / 8 de pulgada

(0,3 cm) de diámetro y un contenido de humedad que oscila entre 0 por ciento en peso y cerca de 7 por ciento en peso. La composición de citrato de calcio así producido tiene una densidad aparente (peso por volumen bruto), preferiblemente desde alrededor de 1,0 g / cc a alrededor de 1,3 g / cc, y preferiblemente, superior a 1,1 g / cc.

Diagrama N° 2. Diagrama de proceso de la tecnología N°2



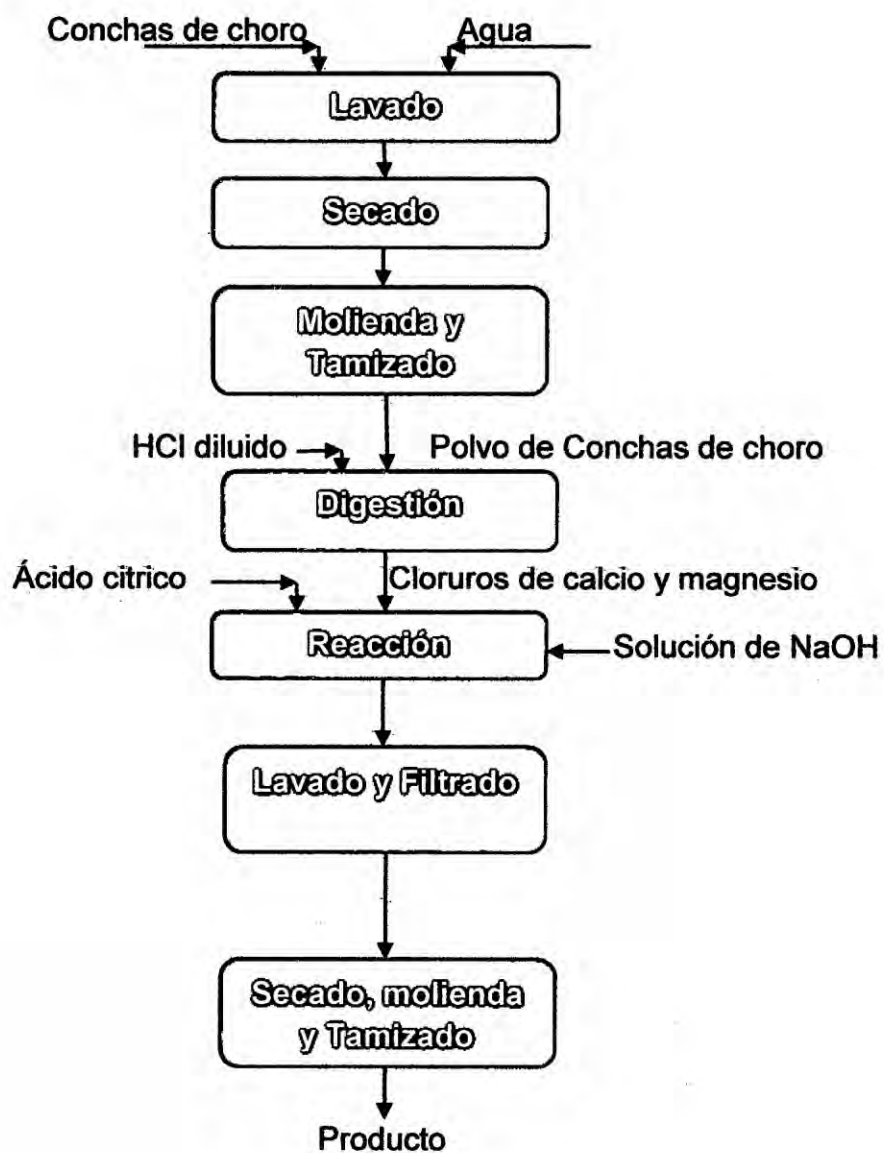
Fuente: Elaboración propia

Tecnología 3. Proceso de obtención de citrato de calcio y magnesio a partir de las conchas de choro.-

Las conchas de choro son lavadas con agua potable. Estas conchas de choro son llevadas a un secador de tambor. Enseguida que realiza la molienda para la reducción de tamaño hasta obtener una tamaño de partícula de malla 40, para obtener una mejor superficie de contacto. Estas partículas de malla 40 ingresan al digestor que contiene ácido clorhídrico diluido, de las cuales se obtendrán en forma de cloruros de calcio y magnesio. Los cloruros obtenidos ingresan al reactor de precipitación, y estos reaccionan con ácido cítrico al 60% e hidróxido de sodio al 60%, obteniéndose los citratos de calcio y magnesio con un rendimiento del 95,94%.

El producto obtenido o formado es lavado, filtrado, secado y molido. Esta secuencia del proceso se muestra el siguiente diagrama de proceso.

Diagrama N° 3. Diagrama de proceso de la tecnología N°3



Fuente: Elaboración propia

3.3. Selección de las Tecnologías.-

Para la selección de las tecnologías para el proceso industrial, se evalúa dos aspectos: el aspecto económico y el aspecto técnico (Diseño de Plantas Químicas (Volumen I) 2013 Ing° L.Machaca).

3.3.1 Aspecto económico

Para el aspecto económico se evalúa el costo de la tecnología considerando los siguientes costos:

COSTO DE TECNOLOGIA = COSTO DE FABRICACION

COSTO DE FABRICACION = Costos Directos de Producción

Cuadro N°7. Costos directos de producción:

	Costos directos de producción
Materia prima	Por el balance
Mano de obra	0,15*CTP
Supervisión de operación	0,15*0,15*CTP
Servicios auxiliare	0,15*CTP
Mantenimiento y reparación	0,10*ICF
Suministro de operación	0,01*ICF
Costos de laboratorio	0,15*0.15*CTP
Regalías y patentes	0,04*CTP
Costo del equipo	0,30ICF

Fuente: Diseño de Plantas Químicas (Volumen I) 2013 Ing° L.Machaca

3.3.2 Aspecto Técnico

Para la evaluación del aspecto técnico se utilizan los métodos cualitativos y semicuantitativos, así tenemos el método de calificación de los factores que participan en el proceso: materia prima, insumos y servicios auxiliares insumos (energía, vapor, agua etc.). [Diseño de Plantas Químicas (Volumen I) 2013 Ing° L.Machaca].

Cuadro N°8. Calificación y puntajes

Calificación	Puntaje	Ponderación
Excelente	9-10	90-100
Muy bueno	7-8	70-80
Bueno	5-6	50-60
Regular	3-4	30-40
Insuficiente	0-2	00-20

Con estos datos se hace el siguiente cuadro:

Cuadro N° 9. Calificación de las tecnologías

Materia Prima, insumos	Tecnología 1	Tecnología 2	Tecnología 3
Concha de choro	--	--	90
Concha de abanico	--	70	
Dolomita	60		
Ácido cítrico	70	70	70
Ácido clorhídrico	80	80	80
Hidróxido de sodio	80	80	80
Energía eléctrica	80	80	80
Agua	80	80	80
Total	450	460	480

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto creamos nuestro nuevo cuadro.

Cuadro N°10. Evolución del aspecto técnico y económico de las tecnologías

	Tecnología 1	Tecnología 2	Tecnología 3
Aspecto económico	5,19 \$/Kg	4,903 \$/Kg	4,027 \$/Kg
Aspecto técnico	450	460	480
Equipos	Simple	Simple	Simple
Rendimiento	93,4%	92,5%	95,94 %

Fuente: Elaboración propia

El cuadro N°10 nos indica que la tecnología para este proyecto es la tecnología N°3. Proceso de obtención de citrato de calcio y magnesio a partir de las conchas de choro.

3.4. Diseño del proceso de la tecnología seleccionada.-

3.4.1. Procedimiento de diseño del proceso industrial.

3.4.1.1. Desarrollo de la tecnología seleccionada a escala de laboratorio.

Para la realización del desarrollo experimental de la tecnología seleccionada, hemos elaborado un lote a escala de laboratorio de 2 litros de capacidad (2 L); realizándose el balance de materia para la secuencia del proceso en base a esta capacidad, y hemos desarrollado efectuando de la siguiente manera:

1. Preparación y Lavado de las conchas de choro.-

770 g de conchas de choro exento de la parte comestible fue lavado con abundante agua y escurrido.

2. Secado de las conchas de choro.-

Las conchas de choros escurridos han sido secadas en la mufla a una temperatura de 90 °C durante 30 minutos.

3. Molienda y tamizado de las conchas de choro.-

En el molino de bolas, estas conchas de choros secadas fueron introducidas para la molienda y el tamizado respectivo hasta obtener un tamaño de partícula malla 40, obteniéndose 684 g de conchas de choro molido.

4. Digestión ácida y reacción.-

La digestión ácida y la reacción se ha realizado en un recipiente de vidrio pírrex por una hora a ebullición en campana extractora, añadiendo primero las conchas de choro molido malla 40 y agua destilada en una cantidad aproximada de 400 ml, lo suficiente para cubrir con agua las conchas de choro molido, en esta parte de la operación agregamos 394 ml de HCl concentrado lentamente por medio de un tubo dosificador con agitación continua sobre la base de un volumen final de 1,8 litros, luego se adicionó agua destilada hasta completar 1,8 litros; formándose los cloruros de calcio y magnesio correspondiente desprendiéndose el anhídrido carbónico. Al término de esta operación se dejó enfriar, para asegurar la precipitación de compuestos y elementos indeseables tales como Na, K, Fe. El precipitado se eliminó por medio de una filtración; este precipitado fue analizado para determinar la cantidad de metales pesados eliminados, así como la cantidad de Ca que permaneció sin disolverse. Se quedó con el filtrado para la siguiente operación.

5. Reacción de precipitación de sales de calcio y magnesio.-

La solución filtrada de la operación anterior se vertió a un recipiente de vidrio pírrex, al cual se le adicionó 1050 ml de la solución de ácido cítrico 60% (p/v) en proporción 1,3:1 (ácido cítrico: concha de choro molido), inmediatamente seguido 757 ml de la solución de NaOH al 60% (p/v) en proporción 1,5:1 (hidróxido de sodio: concha de choro molido). Luego se llevó a ebullición por 20 min a 80°C en el rango de PH de 4 a 7. En el proceso de

ebullición se formó continuamente un precipitado blanco, en su mayor parte constituido de sales de citrato de Ca y citrato de Mg. Este precipitado fue separado del sobrenadante por filtración.

6. Lavado y filtración del precipitado de sales de calcio y magnesio.-

Se ha realizado la filtración en caliente efectuándose el proceso de lavado por dilución, añadiendo el volumen de líquido a emplear en el embudo de filtración, eliminándose posteriormente por succión al vacío.

Uno de los aspectos a controlar en el proceso desarrollado para obtener citrato de calcio y magnesio en estudio, fue el contenido de ácido cítrico libre que como parte del proceso tecnológico que queda ocluido en el producto después de filtrado. Este aspecto revertía mayor interés el uso de este producto que presenta una alta concentración del principio activo pues son empleadas como suplementos nutricionales y a la vez serían ingeridas en tratamientos prolongados, lo que podría a la larga provocar irritación gástrica en las personas que ingirieran estas, y que se garantice que el contenido de ácido cítrico libre este por debajo del 3 % y que no provoque la irritabilidad gástrica.

Se ha lavado este precipitado permitiéndose la disminución del contenido de ácido cítrico libre en el material, sin afectar las concentraciones de calcio y magnesio presentes en este para la obtención de citrato de calcio y magnesio.

Se empleó un embudo de porcelana, el cual presentaba un área de filtración de $1,06 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ y como medio filtrante se utilizó lona. La presión constante ($9,99 \times 10^4 \text{ kg/m.s}^2$) se garantizó con una bomba de vacío, acoplada

a un regulador de vacío. Se calculó el volumen de líquido de lavado necesario a emplear para garantizar una eficiencia del lavado del 90 % y una disminución del ácido cítrico libre no mayor al 3% en la torta de un 50 %, lo que permitiría que los valores estuviesen por debajo del 3 %.

Después de efectuado el proceso de filtración, se lavó con 0,400 L de una mezcla de etanol-agua (1:1), se filtró y se volvió a lavar con agua y se procedió al secado y molido del producto final. Luego se determinó el contenido de calcio, magnesio y ácido cítrico libre en el producto obtenido; se empleó para ello el método análisis correspondiente, el cual consiste en el caso del calcio y magnesio en una valoración con EDTA y negro de eriocromo T como indicador y para el caso del ácido cítrico libre en una valoración ácido-base con hidróxido de sodio y fenolftaleína como indicador.

En la tabla N° 4 se muestran los resultados de la determinación de la acidez total para cada uno de los tratamientos estudiados, observándose que existen diferencias significativas entre el grupo tratado con la muestra sin lavar y los grupos tratados con las muestras lavadas por las diferentes variantes empleadas no provocaron la disminución significativa de estos, lo que garantiza que no existan pérdidas de dichos cationes durante el proceso establecido.

Tabla N°4. Resultados del análisis de acidez total

Muestra	Acidez total mEq./100 g
Sin lavar	0,11
Después del lavado	0,04

Fuente: Elaboracion propia.

7. Secado de las sales de citrato de calcio y magnesio.-

El Secado del citrato de calcio y magnesio es otro de los aspectos a controlar en este proceso su contenido de humedad relativa de este producto, la cual para su uso según las normas internacionales exigen que no sea menor que 5 %. Por lo que, se procedió a la optimización del proceso de secado, se estudió a escala de laboratorio la etapa de secado.

Una vez concluido el proceso de lavado del material, se trasvasó hacia una bandeja la cual previamente fue tarada. Se determinó el peso húmedo y el contenido de humedad (H). Se colocó en un horno de secado con recirculación de aire a 80 °C. Se realizaron determinaciones del contenido de humedad a las 2, 4, 6 y 8 h de comenzada la experiencia y el peso seco del producto al finalizar el estudio (8 h).

En la tabla 5 se muestran los resultados del peso húmedo y peso seco del producto (8 h) obtenido.

Tabla N°5 Resultado del análisis del sólido obtenido.

Peso húmedo (g)	234
Peso seco (g)	152
Humedad (%)	54,03

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N° 6 se muestra la predicción del tiempo de secado donde se observa que a partir de las 7:22 horas de secado la muestra alcanza un contenido de humedad por debajo del 5 %.

Tabla N° 6. Evaluación y predicción del tiempo de secado

Humedad residual (%)	Tiempo (horas)
5	7,22
3	7,40
1	7,56
0,5	8,01

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N° 7, se muestra los resultados de la cantidad de agua evaporada en el tiempo, obsérvese que a las 6 horas el proceso alcanza su valor máximo de evaporación, con una posterior disminución.

Tabla N°7 Cantidad de agua evaporada en función al tiempo.

Masa de agua evaporada (Kg)	Intervalo del Tiempo de evaporación , en horas
0,143	0 a 2
0,286	2 a 4
0,315	4 a 6
0,053	6 a 8
0,814	0 a 8

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N° 7, se observa que en las primeras 6 horas la cantidad de agua evaporada va en aumento, se pierde más del 85 % de esta, lo que induce a pensar que en este intervalo de tiempo, en las condiciones de trabajo establecidas en este estudio, se alcanza un equilibrio entre la cantidad de agua que se evapora en la superficie y la cantidad de agua que migra del interior del

sólido hacia la superficie, de manera que se alcanza un máximo de velocidad en el proceso de secado. A partir de las 6 horas, comienza a observarse un descenso en la cantidad de agua que se evapora.

Finalmente, la temperatura y el tiempo de secado del citrato de calcio y magnesio fueron de 80 °C, y 6 horas respectivamente.

8. Molienda y tamizado de sales de citrato de calcio y magnesio.-

El producto obtenido del secador fue introducido al molino de bolas para la molienda respectiva hasta alcanzar partícula fina < 75 µm, y en seguida se ha Realizado el tamizado con un tamizador Ro-Tap. Finalmente estas fueron envasadas en frascos de vidrio.

Cuadro N°11. Rendimiento de la Parte Experimental:

	Entrada (gr)	Salida (gr)	Rendimiento %
Lavado	700	777	
Secado	777	770	
Molienda	770	684	
Reactor Digestor	684	237.5	34.7
Reactor Precipitador	237.5	234.2	64.17
Lavado	234.2	234	
Secado	234	152	

Fuente: Elaboración propia

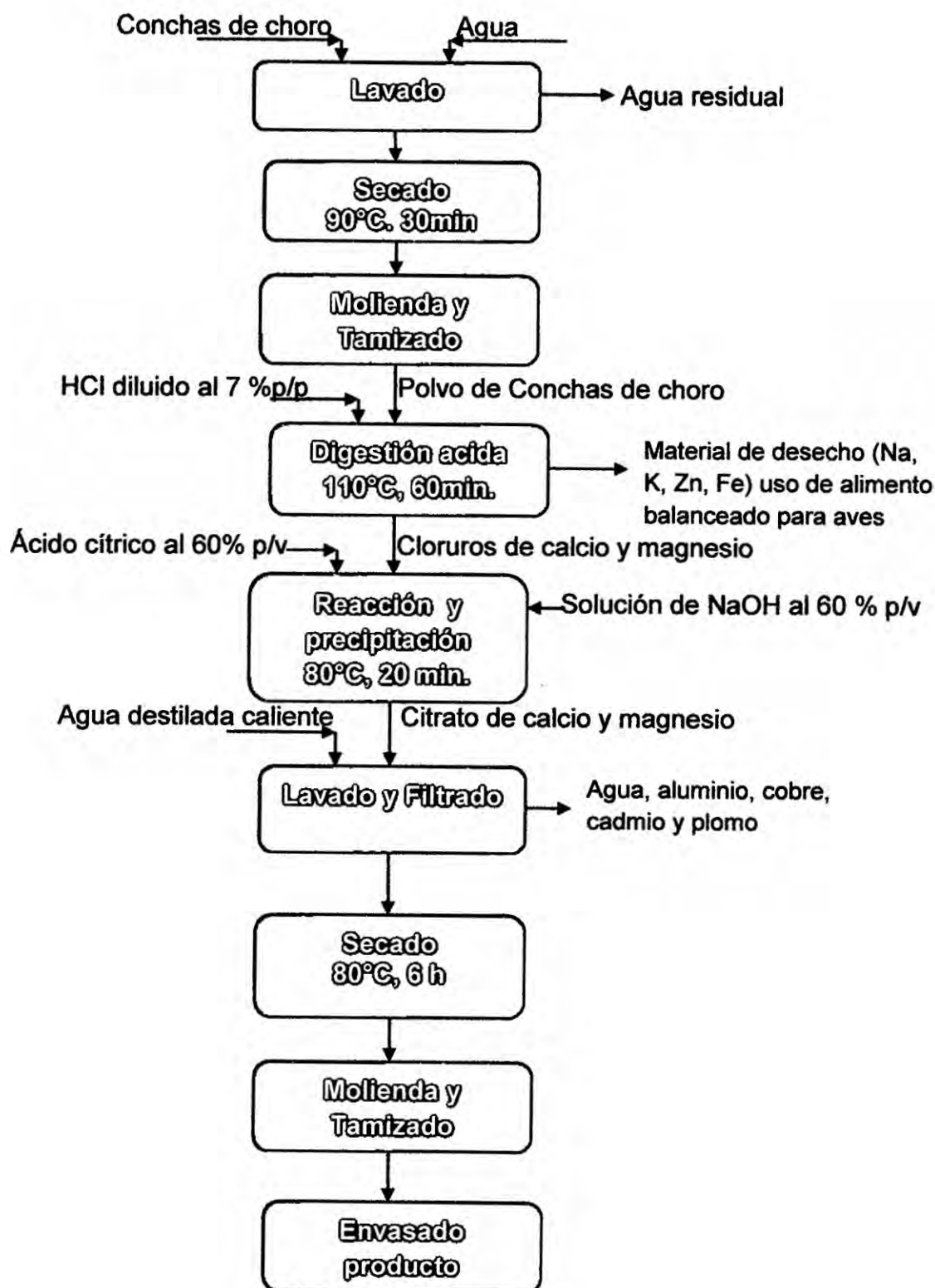
Por Cada 770 gr de Concha de Choro obtenemos 152 gr de Citrato (19.78%), utilizando 394 ml de HCL concentrado (7%), 757 ml de NaOH y 1052 ml de Citrato ambos al 60% (p/v).

3.4.1.2. Elaboración del diagrama del proceso industrial.

Con los resultados obtenidos del desarrollo de la tecnología seleccionada a nivel de laboratorio, procedemos a diseñar el diagrama de proceso, en el cual describimos la secuencia del proceso a escala industrial, como se observa el diagrama N°4, siendo esta la base para la elaboración del diagrama de bloques, que de acuerdo a su definición incluye la secuencia del proceso con el balance de materia y energía del proceso industrial de acuerdo al tamaño de planta óptimo.

Por consiguiente, este diagrama nos ha permitido elaborar el diagrama de flujo codificado, en el cual presentamos la secuencia del proceso industrial con sus respectivos equipos que componen la unidad de producción, en base a ello hemos diseñado los equipos y con ello elaboramos el plan maestro (Plot plan) y el plano de disposición de planta (plan layout).

Diagrama N°4. Diagrama de proceso industrial diseñado

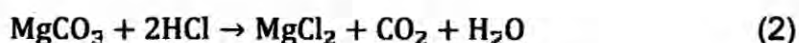
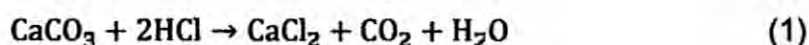


Fuente: Elaboración propia

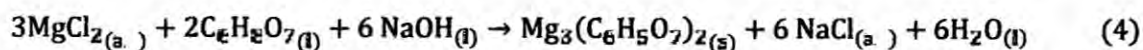
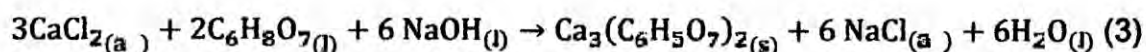
3.4.1.3. Descripción del proceso industrial.

Las conchas de choro son limpiadas mecánicamente o manualmente, sacando el molusco y las impurezas adheridas, luego son lavadas las conchas con agua potable. Estas conchas de choro son llevadas a un secador de tambor durante 30min a 90°C. Estas conchas de choro secas son enviadas a través de una faja transportadora al molino de martillo para la reducción de tamaño hasta obtener partículas de malla 40, y obtener una mejor superficie de contacto facilitando la reacción de digestión. Estas partículas de malla 40 son enviadas a través de una faja transportadora al reactor-digestor, adicionándose lentamente el ácido clorhídrico al 7 %, mediante un dosificador, el cual fue bombeado del tanque de dilución.

El proceso de digestión se lleva a cabo dentro del reactor, según la siguiente reacción:



En este reactor se obtienen cloruros de calcio y magnesio. Los cloruros obtenidos ingresan al reactor de precipitación, y estos reaccionan con ácido cítrico al 60% e hidróxido de sodio al 60%, obteniéndose los citratos de calcio y magnesio según la siguiente reacción:



El producto obtenido o formado es lavado para eliminar los restos de ácido y base del precipitado, se realizaron tres ciclos de lavado con agua destilada y filtrado en caliente. Aquí se elimina gran parte de Al, Cu, Cd y Cr.

Luego de bien lavado se disuelve el precipitado con agua fría se bombea al filtrador al vacío en caliente puesto que el citrato de calcio es insoluble.

La pasta o torta obtenida se envía mediante una faja transportadora al secador de túnel a 80°C por un tiempo de 6 horas, o también se puede enviar esta pasta a un secador por atomización (Spray drying).

El producto secado, se reduce de tamaño en un molino de bolas el cual es empleado en la industria alimentaria, para obtener productos granulados. Posteriormente se realiza el tamizado en un tamizador vibratorio, con el fin de obtener partículas menores a 75 μm , las que son más solubles o se disuelven con mayor facilidad. Finalmente, se envasan en botellas de plásticos sintéticos de polipropileno debido a su bajo costo y permite preservar el producto libre de humedad. Esta secuencia del proceso se muestra en el diagrama de proceso N°4.

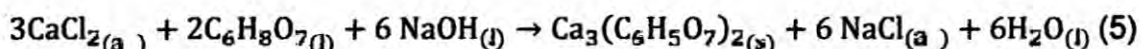
3.4.2. Balance de materia y energía.

Balance de materia en el reactor precipitador.-

Es un reactor no catalítico para un sistema líquido – líquido, con agitación mecánica donde se produce el producto principal que es un precipitado blanquecino llevando la mezcla a una temperatura de ebullición en un tiempo de 20 minutos, el rendimiento de la reacción es de 19.78 %, además el contenido de citrato de calcio en el producto final es de 95%; para una

producción óptima de 202 TM/año, considerando el tiempo de operación de 280 días al año tenemos:

Reacción:



Siendo:

$$\text{Ca}_3(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)_2 = 202 \frac{\text{TM}}{\text{año}} \times \frac{1000\text{Kg}}{\text{TM}} \times \frac{\text{año}}{280 \text{ días}} \times \frac{\text{día}}{24\text{hr}} \times 0,95 = 28,6 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

$$\text{Mg}_3(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)_2 = 1,5 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

A partir del rendimiento obtenemos la cantidad de CaCl_2 requerido:

$$\%Re = \frac{\text{Producto deseado}}{\text{Reactante}} \times 100$$

$$\text{CaCl}_{2(r)} = \frac{28,6\text{Kg/hr}}{20,5} \times 100 = 139,5 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

$$\text{MgCl}_{2(r)} = \frac{1,5\text{Kg/hr}}{20,5} \times 100 = 7,3 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

A partir de los datos de laboratorio se ha determinado que por cada Kg de concha de choro molido se ha utilizado 1,3 Kg $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ al 60 % p/v y 1,5 kg de NaOH al 60 % p/v, siendo la cantidad necesaria de ambos para 1206,81Kg/hr la siguiente:

$$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 = 1206,81 \frac{\text{KgChoro molido}}{\text{hr}} \times \frac{1,3 \text{ Kg Citrato}}{\text{Kg choro molido}} = 1566,25 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

$$\text{NaOH} = 1206,81 \frac{\text{KgChoro molido}}{\text{hr}} \times \frac{1,5\text{Kg NaOH}}{\text{Kg choro molido}} = 1807,21 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

Las densidades del $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ y NaOH respectivamente son: 1,525 g/ml y 0,950 g/ml; siendo el volumen requerido de ambos:

$$V_{C_6H_8O_7} (m_3/hr) = \frac{1566,25Kg/hr}{950Kg/m^3} = 1,65 \frac{m^3}{hr}$$

$$V_N (m_3/hr) = \frac{1807,21Kg/hr}{1525Kg/m^3} = 1,19 \frac{m^3}{hr}$$

De laboratorio se sabe que solo el 34,7% es solución acuosa:

$$V_a = 0,347 \times 5.071 = 1,76m^3/hr$$

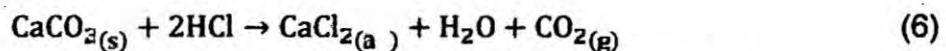
El volumen total de la mezcla en el reactor será:

Compuesto	V(m ³ /h)
Solución acuosa	1,76
NaOH	1,19
Ácido cítrico	1,65
Volumen total	4,59

Balance de materia en el reactor de digestión acida-

Es un reactor no catalítico para un sistema solido – líquido, con agitación mecánica; donde se da la formación de CaCl₂ en la fase líquida y un precipitado de componentes no deseados; la mezcla se llevó a temperatura de ebullición a 110°C; en un tiempo de 60 min y con un rendimiento de 34.7%.

Reacción:



Siendo:

$$\%Re = \frac{\text{Producto deseado}}{\text{Reactante}} \times 100$$

$$Ca(r) = \frac{139,5Kh/hr}{34,7} \times 100 = 402,02 \frac{Kg}{hr}$$

Sabemos que el % p/p de calcio (Ca) en la concha del choro según el estudio realizado en laboratorio es de 33,32%, entonces la cantidad de choro molido es:

$$\text{Concha de Choro}_{(m)} = \frac{402,02 \text{ Kg/hr}}{33,32} \times 100 = 1206,54 \cong 1207 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

Calculo por estequiometria de la cantidad requerida de HCl (7%):

$$\begin{aligned} \text{CaCO}_3_{(r)} &= 402,02 \frac{\text{Kg Ca}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ mol de CaCO}_3}{1 \text{ atomo de Ca}} \times \frac{1 \text{ atomo Ca}}{40 \text{ Kg}} \times \frac{100 \text{ Kg}}{1 \text{ mol CaCO}_3} \\ &= 1005,05 \text{ Kg/h CaCO}_3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{HCl}_{(r)} &= 1005,05 \frac{\text{Kg CaCO}_3}{\text{h}} \times \frac{2 \text{ Kmol HCL}}{1 \text{ Kmol CaCO}_3} \times \frac{\text{Kmol CaCO}_3}{100 \text{ Kg}} \times \frac{36,5 \text{ Kg}}{\text{Kmol HCl}} \\ &= 733,7 \text{ Kg/h} \end{aligned}$$

El volumen de agua suministrada al reactor se obtiene de la condición que se determinó en laboratorio; por cada kg de choro molido se emplea 3L de agua.

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O}_{\left(\frac{\text{L}}{\text{hr}}\right)} &= 1206,54 \frac{\text{Kg Choro}}{\text{hr}} \times \frac{3 \text{ Kg agua}}{\text{Kg Choro}} \times \frac{\text{L agua}}{\text{Kg agua}} = 3619,6 \text{ L agua} \\ &= 3,62 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \end{aligned}$$

El volumen de la mezcla reaccionante en el reactor es:

Compuesto	Kg/hr	%peso	$\rho(\text{m}^3/\text{Kg})$
H ₂ O	3619,6	0,651	651,03
HCl	733,7	0,132	131,96
Choro	1206,54	0,217	217,01
M(mezcla)	5559,83		
$\rho(\text{mezcla})$	1097		

$$V_m = \frac{5559,83 \text{ Kg/hr}}{1097 \text{ Kg/m}^3} = 5,07 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$V_n = 1,2 \times 5,07 = 6,1 \text{ m}^3$$

Balance de materia en el tamiz.

Asumiendo un rendimiento de 80% en el tamiz para una malla 40 obteniéndose partículas de 420 mm, la cantidad de concha de choro molido que ingreso al tamiz fue:

$$\%Re = \frac{\text{Producto deseado}}{\text{alimentacion}} \times 100$$

$$\text{Choro molido} = \frac{1207 \text{ Kg/h}}{80} \times 100 = 1508.75 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

Balance de materia en el molino de martillo.-

Asumiendo un rendimiento del 95,2% en el molino, la cantidad de concha de choro que se alimento fue de:

$$\%Re = \frac{\text{Producto deseado}}{\text{alimentacion}} \times 100$$

$$\text{Concha de Choro} = \frac{1508.75 \text{ Kg/hr}}{95,2} \times 100 = 1584.82 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}} \cong 1585 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

Balance de materia en el secador de rotatorio.-

El secado se realiza a una temperatura constante de 90°C (194°F) en un tiempo de 30min, hasta alcanzar una HR = 10%

De cartas psicométricas se tiene a estas condiciones:

Se tiene:

$$Y_e = 0,02 \frac{\text{lb agua}}{\text{lb aire seco}}$$

$$Y_s = 0,027 \frac{\text{lb de agua}}{\text{lb aire seco}}$$

Asumiendo que el ventilador suministra 400 lb de aire seco, la cantidad de agua evaporada es:

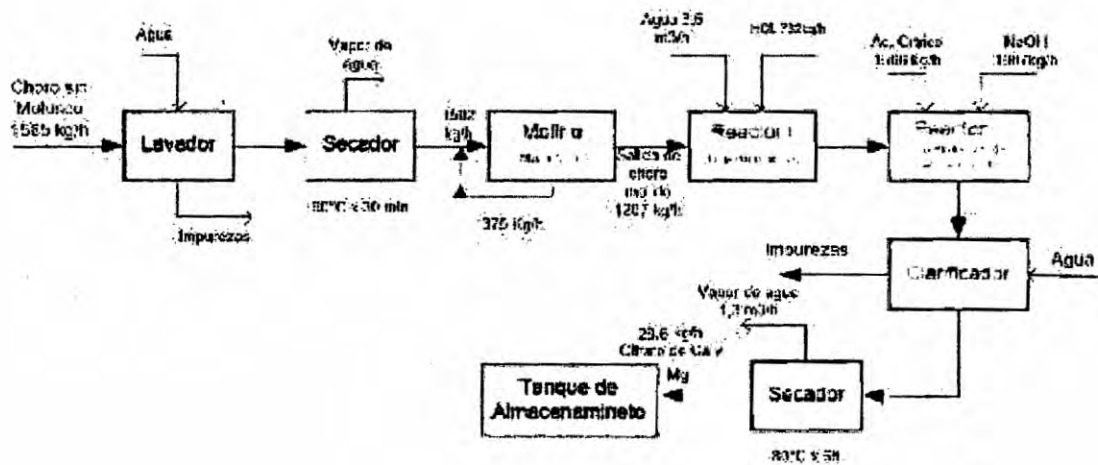
$$m(a \text{ e }) = 400 \text{ lb aire seco} \times (0,027 - 0,02) \frac{\text{lb agua}}{\text{lb aire seco}} = 2,8 \text{ lb agua}$$

$$\text{masa}(a \text{ e }) = 1270 \text{ gr agua} = 1,3 \text{ m}^3 \text{ agua}$$

3.4.3. Diseño del diagrama de Bloques, diagrama de flujo codificado.

3.4.3.1. Diseño del diagrama de Bloques para el proceso industrial de producción de citrato de calcio y magnesio.

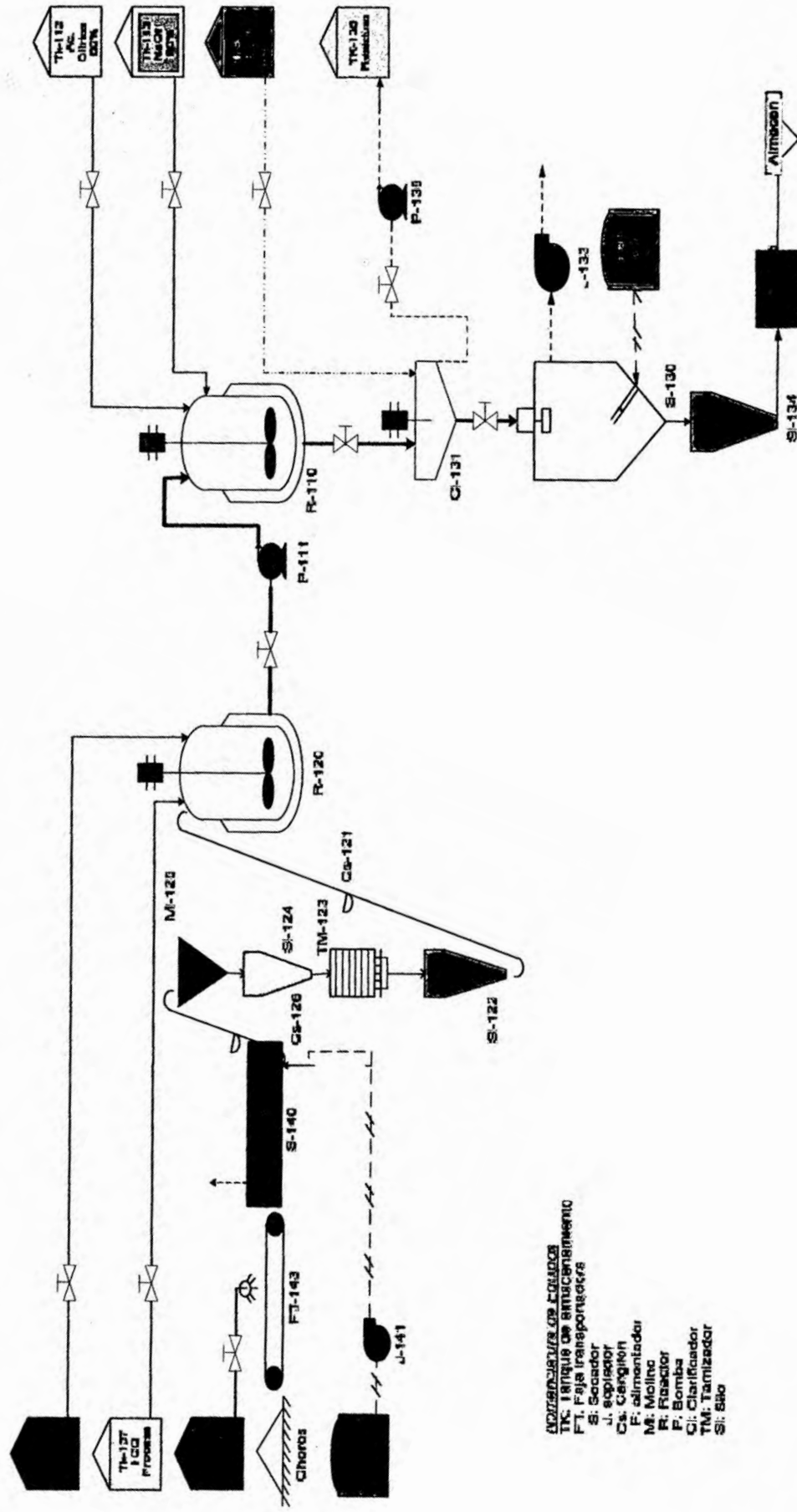
Diagrama N°5 Diagrama de bloques para la producción industrial de De citrato de calcio y magnesio.



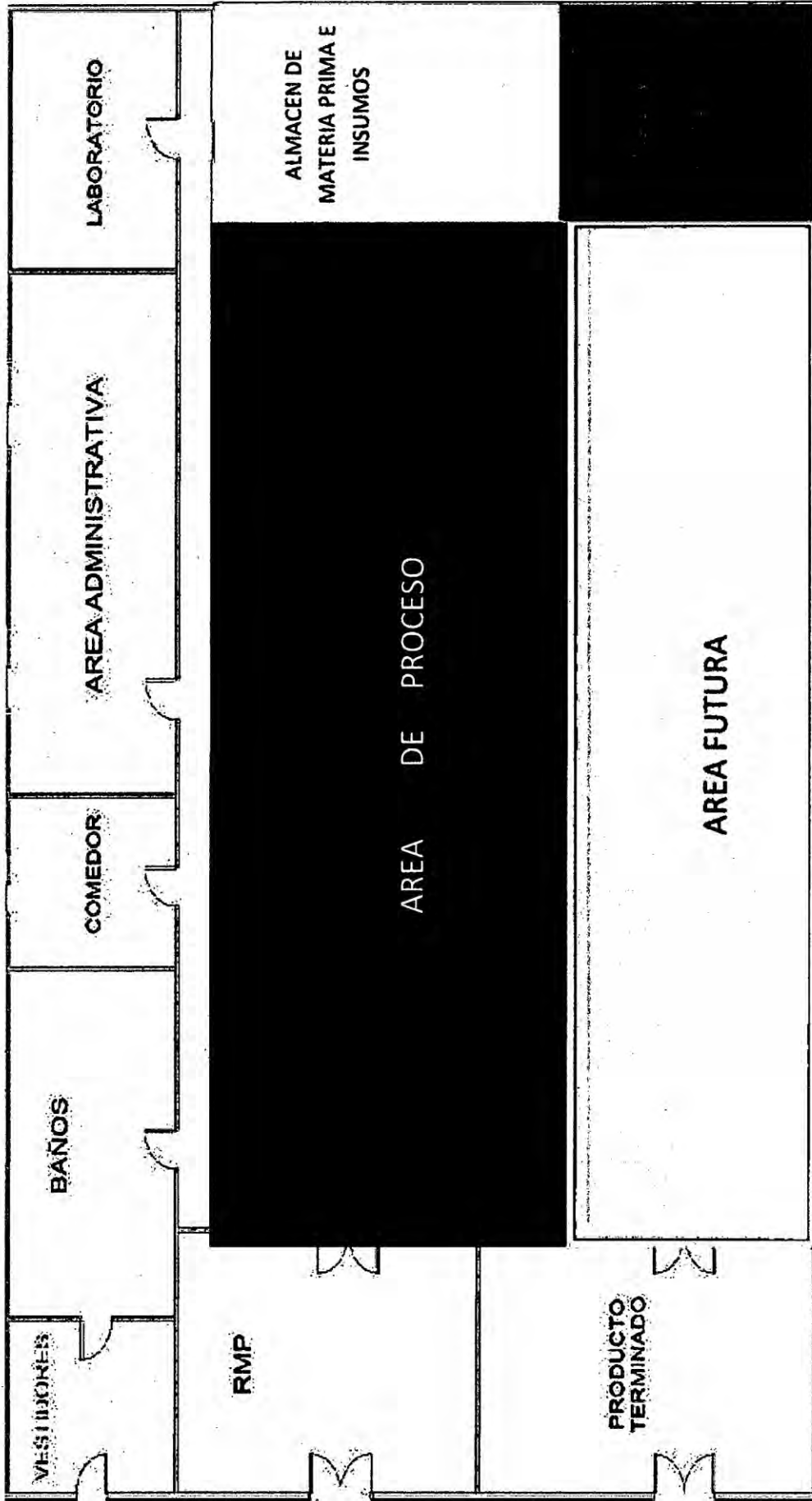
Fuente: Elaboración propia

3.4.3.2. Diseño del diagrama de flujo codificado para el proceso industrial de producción de citrato de calcio y magnesio.

Diagrama N°6. Diagrama de Flujo codificado.



3.5. Plan Maestro.-



Fuente: Elaboración propia

IV. LOCALIZACION Y TAMAÑO DE PLANTA

4.1. Localización de la planta.-

Para determinar las posibles ubicaciones de la planta de producción de citratos de calcio y magnesio a partir de la concha de choro hemos considerado los siguientes aspectos [11]:

- Cercanía a la materia prima
- Disponibilidad de mano de obra
- Disponibilidad de energía eléctrica
- Disponibilidad de agua potable
- Facilidad de transporte
- Características del terreno

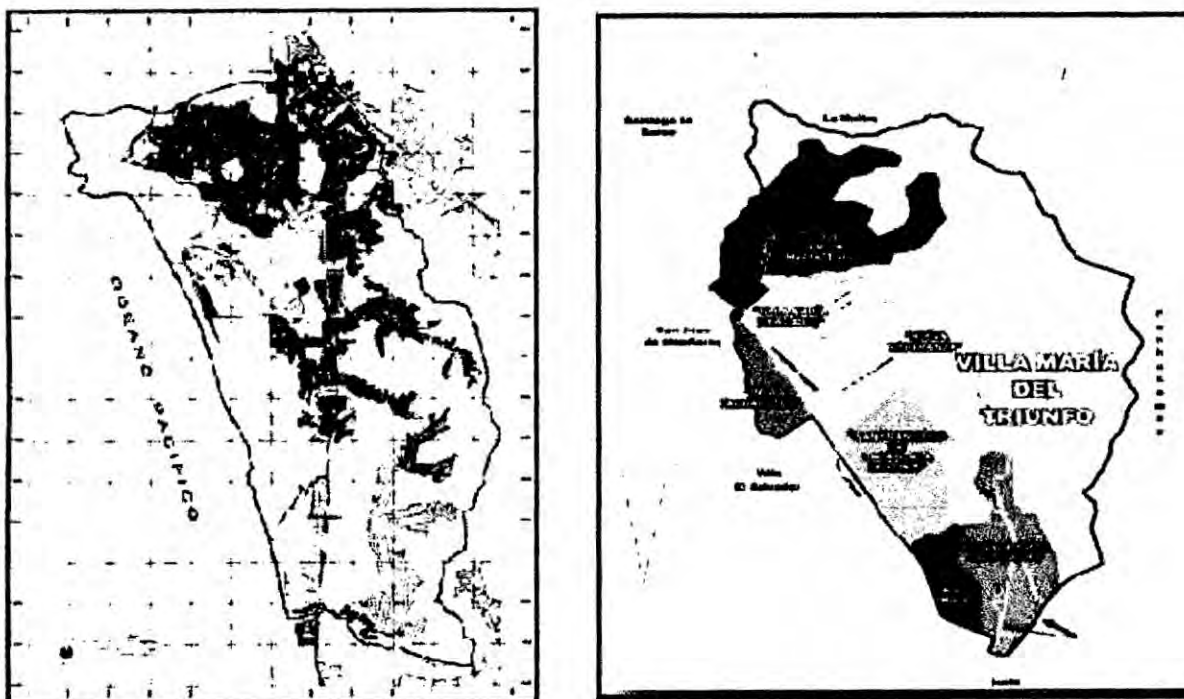
Según estos factores locacionales hemos considerado dos posibles lugares de ubicación de la planta industrial para producir citrato de calcio y magnesio a partir de *Aulacomya ater* (concha de choros), el cual mostramos en el cuadro N°12.

Cuadro N°12. Lugares de ubicación de la planta de industrial.

LOCALIZACION 1		LOCALIZACION 2	
REGION	Callao	REGION	Lima
LOCALIDAD	Ventanilla	LOCALIDAD	Lima
SITIO	Ventanilla Zona Industrial	SITIO	Villa María del Triunfo

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°13. Mapas geográficas de las localidades (distritos) de Ventanilla y Villa María del Triunfo



Fuente: INEI.

4.1.1. Análisis de los factores locacionales.-

a) Cercanía a la materia prima

La cercanía a la principal materia prima es un factor muy importante para la localización de la planta industrial de nuestro proyecto, pues el transporte implica un costo que se podría reducir cuanto más cerca se encuentre los lugares de producción de la materia prima.

Dentro de los moluscos bivalvos que se extraen a lo largo de todo nuestro litoral, el choro es el que alcanza los mayores volúmenes de extracción y es el que mayor aceptación tiene entre las personas de bajos recursos económicos en el país, compitiendo ventajosamente con otras carnes de origen marino, debido a su contenido proteico, bajo costo y buen sabor.

La extracción del choro es una actividad característica de los pescadores marisqueros que faenan en el litoral de Ica, y el aporte de sus faenas al mercado nacional es significativo. Sin embargo, dejando de lado el traje de buceo, no ha habido grandes cambios en la forma de extracción de este recurso, prácticamente desde el inicio de estas actividades extractivas en la zona; por otro lado, el número de buzos y embarcaciones de choros se ha ido incrementando en el transcurso del tiempo, viéndose desfavorecido los bancos naturales por el incremento de la presión extractiva sobre ellos.

Los principales comerciantes mayoristas (incluido de pescados) tienen puestos de venta en los terminales pequeros que ofrece este recurso hidrobiológico tanto en Ventanilla como Villa María del Triunfo.



Según el compendio estadístico Perú 2013-2014 del Ministerio de la Producción de la Dirección General de Políticas de Desarrollo Pesquero indican, que los volúmenes de ingreso de choros al terminal pesquero de Ventanilla (Callao) en año 2013 fue de 591 TM/año y al terminal pesquero de

Villa María del Triunfo (Lima) en el mismo año fue de 2083 TM/año. Estos datos estadísticos mostramos en el cuadro N° 14.

Cuadro N°14. Ingreso de Choros (producto hidrobiológico) al terminal Pesquero, 2013-2014, TM/año.

Terminal Pesquero	2013	2014 (Enero-Mayo)
Ventanilla	591	185
Villa María del Triunfo	2083	693
Total	2674	878

Fuente: Ministerio de la Producción, Dirección General de Políticas y Desarrollo Pequero

b) Disponibilidad de mano de obra.-

De acuerdo a las estadísticas realizadas por el INEI se realiza un estudio de la población económicamente activa (PEA) en los sectores analizados, mostramos en el cuadro N°15.

Cuadro N° 15. Población económicamente activa.

	LOCALIZACIÓN 1		LOCALIZACIÓN 2	
	REGION	LOCALIDAD	REGION	LOCALIDAD
	Callao	Ventanilla Zona Industrial	Lima	Villa María del Triunfo
POBLACION	876 877	277 895	8 482 619	378 470
PEA	655 190	193 109	6 140 934	167 754
%	66,65	54,24	72,40	44,32

Fuente: INEI. Censos Nacionales de Población y viviendas- 2007

c) Disponibilidad de energía eléctrica.-

En la Región Callao se sitúa la planta de la Empresa Termoeléctrica de Ventanilla S.A.-ETEVENSA, que abastece el Sistema Eléctrico Interconectado

Nacional-SEIN, y además existen veintisiete empresas (27) generadoras de energía eléctrica para uso propio con autorizaciones vigentes. La Planta de Ventanilla tiene 2 Centrales Térmicas: Turbo Gas Natural Ventanilla 3 (GNCS) de 159,20 MW y Turbo Gas Natural Ventanilla 4 (GNCS) y 156,10 MW propiedad de Empresa de Generación Eléctrica de Lima-EDEGEL (empresa privada dedicada a la generación de energía eléctrica) la cual en Junio de 2006 se fusionó y absorbió a la empresa ETEVENSA. La empresa EDEGEL alcanzó, durante los últimos años, una participación de 28.8% en el mercado eléctrico peruano y se convierte en el principal generador privado de energía eléctrica del país.

La producción de energía eléctrica, en el quinto mes del 2013, se expandió en 8,7% respecto al volumen reportado en mayo 2012, debido a la mayor generación de energía hidráulica y térmica. Las tarifas actuales que brindan al servicio de energía eléctrica tienen mucha diferencia en las distintas localidades que estamos analizando.

En Lima Metropolitana y Callao, el sistema eléctrico está conformado por dos sistemas interconectados: CentroNorte (SICN) y Sur (SISUR), los cuales están distribuidos de la siguiente manera: Ventanilla es abastecido por SICN y Villa María del Triunfo es abastecido por SISUR.

Cuadro N°16. Abastecimiento de energía eléctrica.

CIUDAD	Empresa que abastece	Producción
Ventanilla	EDELNOR	421 342 GWh
Villa María del Triunfo	LUZ DEL SUR	291 121 GWh

Fuente: INEI

d) Disponibilidad de agua.-

El abastecimiento de agua en la región callao y Lima metropolitana es regularmente constante por la empresa SEDAPAL, estos datos son mostrados en el cuadro N°16.

Cuadro N°17. Abastecimiento de Agua Potable.

LOCALIDAD	Empresa que abastece	Producción
Ventanilla (Callao)	SEDAPAL	302 000 m³/mes
Villa María del Triunfo (Lima Metropolitana)	SEDAPAL	653 000 m³/mes

Fuente: SEDAPAL

e) Facilidad de transporte.-

El entorno ambiental del Distrito de Ventanilla corresponde al macro -escenario metropolitano formado por el extremo norte de la Provincia Constitucional del Callao y el Cono Norte de la Gran Ciudad de Lima Metropolitana, articulado con las Regiones Norteñas del territorio nacional por la Carretera Panamericana Norte y la Autopista Néstor Gambeta – Ventanilla.

Las carreteras se encuentran asfaltadas en su gran mayoría del distrito de Ventanilla con su terminal pesquero y de la misma forma el distrito de Villa María del Triunfo con su terminal pesquero respectivo, para el traslado de la materia prima, e insumos; así como para la comercialización del producto final. Los camiones que llevan los productos al puerto y aeropuerto tienen las pistas en buen estado.

Las vías de comunicación en la zona del estudio para la localización de la planta industrial, tiene 3 vías de conexión entre Lima Metropolitana y el Callao con el interior del país, desde donde provienen los productos que se comercializan a través del puerto y aeropuerto, así como en los mercados

internos de la ciudad para su consumo final. Estas 3 vías de conexión son la Carretera Panamericana Norte, Carretera Panamericana Sur y Carretera Central.

Cuadro N°18. Transporte desde Lima:

Localidad	Distancia al puerto	Distancia al aeropuerto	Costo de transporte S/. (S/. 2,39 / km)	Tiempo de viaje
Ventanilla (Callao)	7 km	6 km	16,80	8 min.
Villa María del Triunfo (Lima Metropolitana)	25 km	28 km	66,92	45 min

Fuente: Ministerio de Transporte, comunicaciones y telecomunicaciones

f) Características del terreno.-

Para la evaluación del terreno requerimos del costo de terreno en cada una de las localidades analizadas por metro cuadrado.

El Callao consiste de rellenos superficiales que cubren una capa de materiales finos, tales como arenas, limos, arcillas y algunas veces turba. Por debajo del material fino se encuentra el conglomerado de Lima a profundidades variables.

Cuadro N° 19. Precio en dólares por metro cuadrado en Lima Metropolitana y Callao

Precio en dólares por metro cuadrado en Lima Metropolitana y Callao		
Mercado de edificaciones Urbanas		
Distritos	Región	Precio \$/ m ²
Ventanilla Zona Industrial	Callao	723
Villa María del Triunfo	Lima Metropolitana	986

Fuente: Región Callao y INEI

g) Clima.-

La temperatura promedio anual en el Callao presenta valores comprendidos entre 18,75°C y 19,75°C. Los valores mínimos están cercanos al litoral y cubre parte de los distritos de La Punta, La Perla, Bellavista y Callao zona Sur (antes del río Rímac) y van en aumento a medida que nos acercamos a la zona Este en Carmen de la Legua – Reynoso, finalmente en la zona Norte del Callao en Ventanilla hasta cubrir el máximo. Dentro de la escala de clasificación climática desarrollada por el método de Thornthwaite (SENAMHI, 1988), esta zona costera es catalogada como una ciudad árida con deficiencia de lluvias en todas las estaciones, clima semicálido y condiciones moderadas de humedad.

La distribución normal de las temperaturas máxima y mínima del aire (febrero) presenta un comportamiento espacial, donde alcanza un promedio máximo de verano de desde 25°C hasta 29°C, es decir los valores mínimos de este promedio están en los distritos de La Punta, La Perla, Bellavista y Callao Sur y los demás distritos cubren la otra zona con una variación de 1°C adicional, es decir Callao Norte y Ventanilla. Asimismo los distritos de La Punta y parte del Callao Norte llegan en este periodo hasta con una Temperatura máxima promedio (°C) en invierno (julio, agosto) con 19.5°C; los distritos de Ventanilla, La Perla, Bellavista, Carmen de la Legua - Reynoso, y parte del Callao Sur llegan a una temperatura de 18°C estos son meses representativos de la estación de invierno.

El clima del distrito de Villa María del Triunfo es variado, templado con alta humedad atmosférica y constante nubosidad durante el invierno. Tiene además la particularidad de tener lluvias escasas a lo largo del año. La garúa o

llovizna, lluvia con gotas muy pequeñas, cae en el invierno. Durante el verano llueve con cierta intensidad pero en periodos cortos, los cuales se prolongan en la época del fenómeno del "El Niño". El clima del área de estudio se caracteriza por ser del tipo Desértico árido Subtropical de acuerdo a las zonas de vida Holdridge, (Fuente: Estudio Nacional de la Diversidad Biológica - DGANPE, INRENA, 2007), cuya característica fundamental es la escasez de lluvia en verano pero por la presencia de la corriente de Humboldt llueve muy tenuemente en los meses de invierno con humedad relativa elevada es así que puede llegar hasta el 90%, en el verano el sol es intenso entre enero y marzo. La Temperatura promedio anual se ubica en 18,6 °C.

Cuadro N°20. Clima, temperatura, y humedad relativa

Localidad	Temperatura (°C)		Humedad relativa %
	Máxima	Mínima	
Ventanilla (Zona Industrial)	29	19,5	78
Villa María del Triunfo (Lima Metropolitana)	25,1	12,2	90

Fuente: SENAMHI

4.1.2. Evaluación y selección de la localización de planta.-

La selección de la ubicación de planta industrial para las alternativas propuestas, hemos usado el método semicuantitativo [10], el cual consiste calificar con una escala de 0-100, teniendo en cuenta los factores locacionales analizados, los cuales mostramos en los cuadros N°21 y 22 .

Cuadro N°21. Calificación y Ponderación

Puntaje	Peso relativo	calificación
9-10	90-100	Excelente
7-8	70-80	Muy buena
5-6	50-60	Buena
3-4	30-40	Regular
1-2	10-20	inadecuada

Fuente: Diseño de Plantas Químicas (Volumen I) [11].

Cuadro N°22. Evaluación y Calificación de los factores locacionales

FACTORES DE LOCALIZACION	Selección de la Región	Selección del sitio	Localización 1		Localización 2	
			Región	Sitio	Región	Sitio
			Callao	Ventanilla	Lima	Villa María
Cercanía al Mercado	X		90		80	
Cercanía a la materia prima	X	O	80	80	80	80
Mano de obra	X	O	80	80	80	70
Factibilidad de transporte de materia prima	X	O	70	90	70	70
Abastecimiento de Agua	X	O	80	70	70	60
Disponibilidad de energía Eléctrica	X	O	90	80	80	70
Clima	X	O		90		70
Existencia de abastecimiento de desagüe		O		70		70
Valor del Terreno		O		80		70
Características del terreno		O		80		70
Vías de acceso		O		70		70
Total			490	790	460	700

Fuente: Evaluación propia

Finalmente tenemos la Evaluación de Factores

Cuadro N°23. Resumen de la evaluación de la localización

	Localización 1		Localización 2	
	Región	Sitio	Región	Sitio
	Callao	Ventanilla	Lima	Villa María
Evaluación de los factores	490	790	460	700

Fuente: Evaluación propia

De los resultados mostrados en el cuadro N°23 concluimos que la localización adecuada para el proyecto de instalación de la planta industrial de producción de citrato de calcio y magnesio es la localidad de Ventanilla en la Zona Industrial (Región Callao).

4.2. Tamaño de planta.-

4.2.1. Tamaño de planta máximo.

Tamaño de planta – Mercado

Para el estudio y análisis de la Demanda aparente, hemos tomado de la SUNAT los datos de la demanda histórica de los últimos 10 años: el cual mostramos en el siguiente cuadro:

Cuadro N°24. Históricos del consumo de citrato de calcio y magnesio

Año	Importación(Kg)	Exportación(Kg)
2004	6 752,650	0,000
2005	13 822,040	0,000
2006	11 564,760	243,824
2007	16 335,670	225,000
2008	23 829,870	0,000
2009	54 968,870	0,000
2010	35 737,840	0,000
2011	113 178,680	52,700
2012	172 309,430	2400,000
2013	216 138,410	861,658

Fuente: SUNAT

Con los datos mostrados en el cuadro anterior, calculamos la demanda aparente utilizando la siguiente ecuación [10]:

$$\text{Demanda Aparente} = \text{Importación} + \text{Producción} - \text{Exportación}$$

Los datos obtenidos se muestran en el cuadro N°25.

Cuadro N°25. Demanda aparente del consumo de citrato de calcio y magnesio

Año	Importación(Kg)	Exportación(Kg)	D. Aparente(kg)
2004	6 752,65	0	6 752,65
2005	13 822,04	0	13 822,04
2006	11 564,76	243,824	11 320,936
2007	16 335,67	225,00	16 110,67
2008	23 829,87	0	23 829,87
2009	54 968,87	0	54 968,87
2010	35 737,84	0	35 737,84
2011	113 178,68	52,700	11 3125,98
2012	172 309,43	2 400,00	16 9909,43
2013	216 138,41	861,658	21 5276,752

Fuente: Elaboración propia

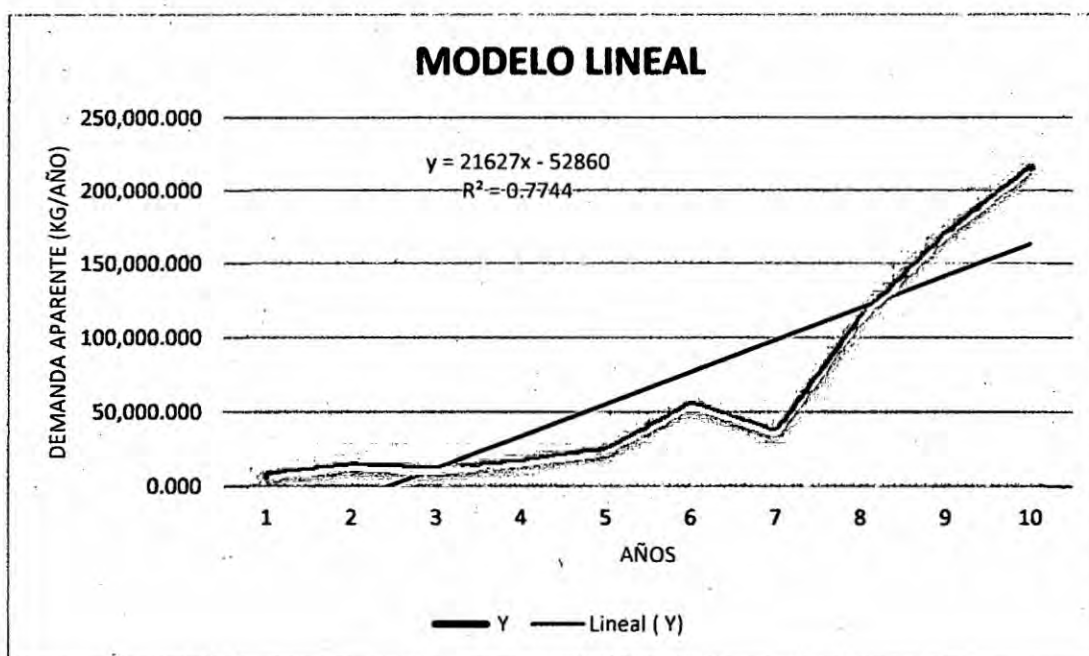
Para el cálculo de la demanda aparente proyectada, con estos datos determinados y seleccionamos el modelo econométrico según el índice de correlación [11], los cuales mostramos en el cuadro N°26 y las figuras N°s 1, 2, 3, y 4.

Cuadro N°26. Cálculo de las variables para la evaluación del modelo econométrico

X	Y	ln(X)	ln(Y)	1/Y	X ²
1	6752,65	0,000000	8,817690	0,000148090	1
2	13822,04	0,693147	9,534020	0,000072348	4
3	11320,936	1,098612	9,334409	0,000088332	9
4	16110,670	1,386294	9,687237	0,000062071	16
5	23829,87	1,609438	10,078695	0,000041964	25
6	54968,87	1,791759	10,914522	0,000018192	36
7	35737,84	1,945910	10,483965	0,000027982	49
8	113125,98	2,079442	11,636257	0,000008840	64
9	169909,43	2,197225	12,043021	0,000005885	81
10	215276,752	2,302585	12,279680	0,000004645	100

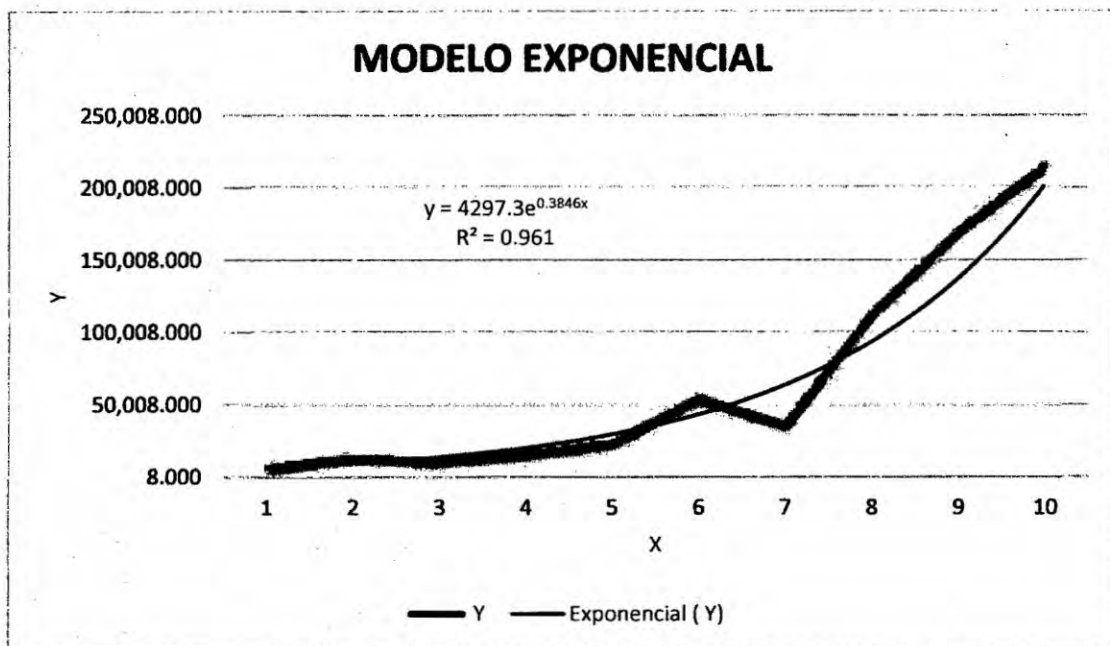
Fuente: Elaboración propia

Fig. N°1. Modelo econométrico lineal.



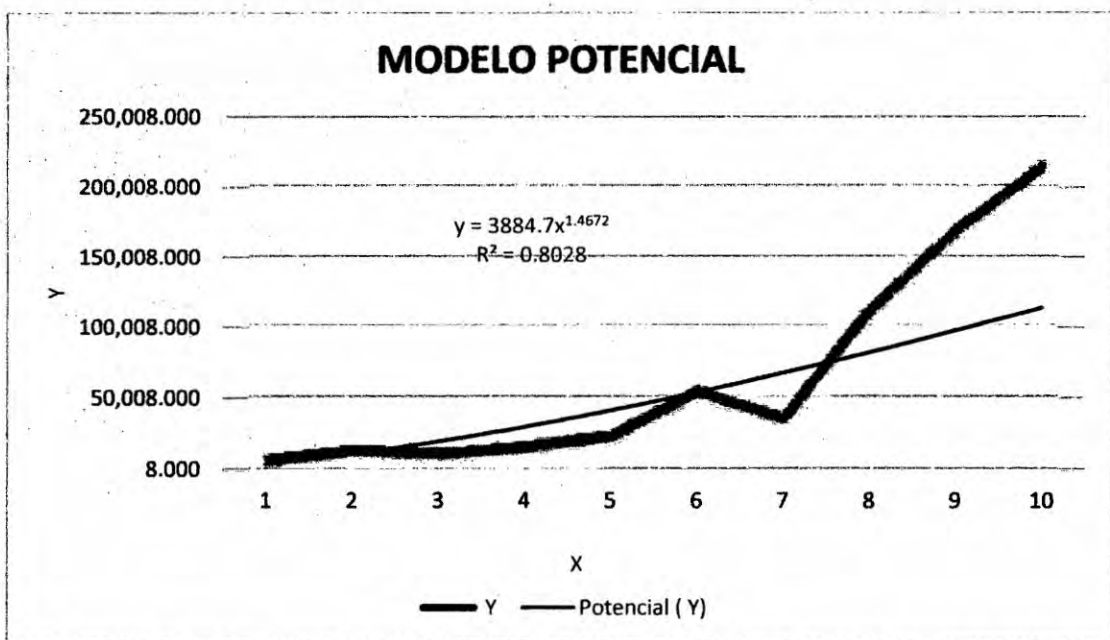
Fuente: Elaboración propia

Fig. N° 2. Modelo econométrico exponencial.



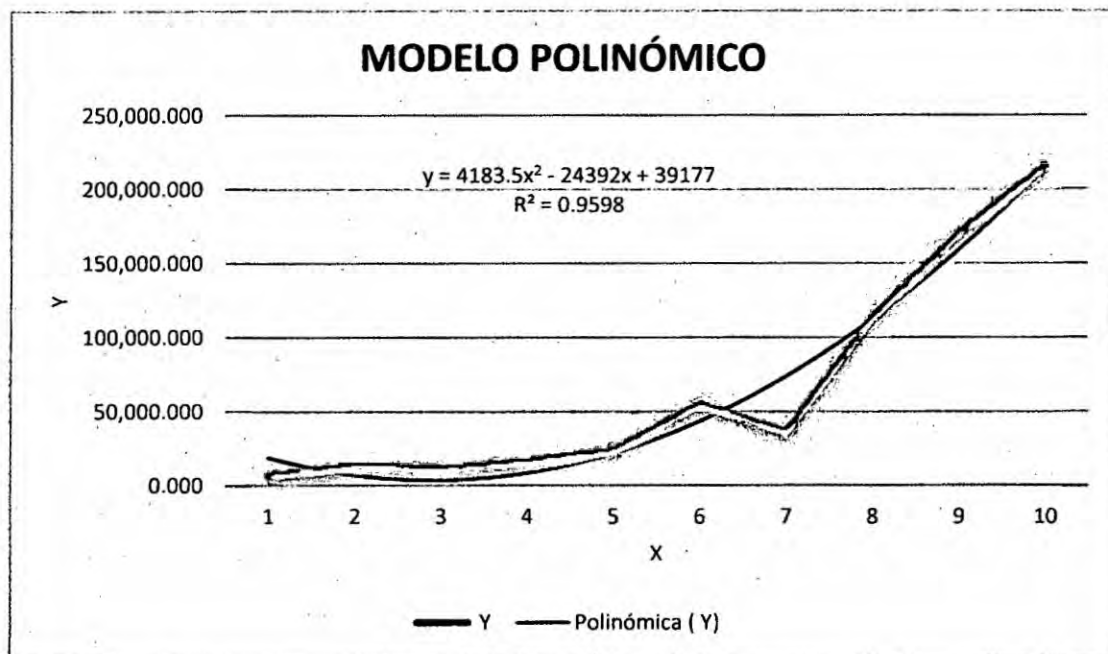
Fuente: Elaboración propia

Fig. N° 3. Modelo econométrico potencial.



Fuente: Elaboración propia

Fig. N°4. Modelo econométrico polinómica.



Fuente: Elaboración propia

Del análisis de los cuadros y figuras obtenemos los siguientes:

Cuadro N°27. Índices de correlación de los diferentes modelos.

Modelo Econométrico	Ecuación	Ecuación Linealizada	R ²
Lineal	$Y = A + BX$		0,7744
Exponencial	$Y = A \cdot B^X$	$\ln(Y) = \ln A + X \cdot \ln B$	0,961
Potencial	$Y = A \cdot X^B$	$\ln Y = \ln A + B \cdot \ln X$	0,8028
logarítmico	$Y = A + \ln X$		0,5284
Hiperbólico	$Y = 1/(A + BX)$	$1/Y = A + BX$	0,8101
Polinómica	$Y = A + BX + CX^2$		0,9598

Fuente: Elaboración propia

Siendo el **Modelo Exponencial** el seleccionado, por presentar mayor índice de correlación y que tiende a la unidad.

La ecuación del Modelo Exponencial es:

$$Y = 4297.31 * e^{0.3846X} \quad (7)$$

Con este modelo econométrico proyectamos la demanda aparente para los próximos 10 años, el cual mostramos en el cuadro N°28.

Cuadro N° 28. Demanda aparente proyectada del consumo de citrato de Calcio y magnesio.

Año	DDP(Kg/año)	DDP(TM/año)
2015	433 973,19	433,97
2016	637 507,20	637,51
2017	936 498,95	936,50
2018	1 375 718,23	1 375,72
2019	2 020 931,95	2 020,93
2020	2 968 751,78	2 968,75
2021	4 361 100,41	4 361,10
2022	6 406 462,44	6 406,46
2023	9 411 102,05	9 411,10
2024	13 824 921,73	13 824,92

Fuente: Elaboración propia

Para este estudio consideramos un 5% de la demanda proyectada, con ello calculamos el tamaño de planta máximo.

Cuadro N°29. Demanda aparente proyectada del consumo de citrato de Calcio y magnesio.

Año	DDP(TM/año)
2015	21,70
2016	31,88
2017	46,82
2018	68,79
2019	101,05
2020	148,44
2021	218,06
2022	320,32
2023	470,56
2024	691,25

Fuente: Elaboración propia

A partir de la demanda proyectada calculamos la tasa de crecimiento (r), para determinar el tamaño de planta máximo [10].

$$r_i = \frac{D_{i+1} - D_i}{D_i} * 100 \quad (8)$$

La tasa de crecimiento promedio será:

$$\bar{r} = \frac{\sum_i^n r}{n} = 0,4690 \quad (9)$$

Luego tenemos que:

$$R = \bar{r} + 1 = 1,469$$

Hallando η_0 por prueba y error [10]:

Donde:

$$\frac{1}{R^{\eta_0}} = \frac{1 - 2 * (1 - \alpha) * (R - 1) * (N - \eta_0)}{\alpha * (R + 1)} \quad (10)$$

$\alpha = 0.8$, (industria alimentaria)

$N = 10$

$R = 1,469$

Cuadro N° 30. Resultado de la tasa de crecimiento

Año	DDP(TM/año)	r (%)
2015	21,70	
2016	31,88	46,912
2017	46,82	46,863
2018	68,79	46,924
2019	101,05	46,901
2020	148,44	46,899
2021	218,06	46,901
2022	320,32	46,895
2023	470,56	46,903
2024	691,25	46,899

Fuente: Elaboración propia

Por prueba y error el valor de η_0 es:

$$\frac{1}{1,469^{\eta_0}} = \frac{1 - 2 * (1 - 0,8) * (1,469 - 1) * (10 - \eta_0)}{0,8 * (1,469 + 1)}$$

$$\eta_0 = 5,800702$$

Entonces tenemos que el Tamaño de Planta Máximo es:

$$T_0 = D_1 * R^{\eta_0} \quad (11)$$

$$T_0 = 21,7 * (1,469)^{5,80}$$

$$T_0 = 202 \text{ TM/Año}$$

4.2.2. Tamaño de planta mínimo.

Tamaño de planta – punto de equilibrio.-

Para la determinación del tamaño de planta- punto de equilibrio gráficamente hemos calculado con el ingreso por ventas, costo total del producto, y el costo fijo con respecto a los datos de la demanda proyectada, el cual mostramos en los cálculos en el cuadro N° 32 y la gráfica en la figura N°5, para ello hemos considerado los siguientes datos en el cuadro N° 31:

Cuadro N° 31. Costos de materia prima

Materia Prima	Costo
Choro	0,1899 \$/Kg
HCl	0,30 \$/L
Ac.Citrico	0,80 \$/Kg
NaOH	0,54 \$/Kg
H2O	1,2 \$/m ³

Fuente: Elaboración propia

De la gráfica obtenemos que el tamaño de planta mínimo es de:

Tamaño de planta mínimo = 92 TM/Año

Cuadro N°32. Cálculo de los costos totales para la determinación del Tamaño de Planta – Punto Equilibrio.

Año	DPP (TM/año)	concha de choro (TM/año)	Precio Choro (\$)	HCl (m3/año)	HCl (\$)	Ac.citríco (TM/año)	Ac.Citríco (\$)	NaOH (TM/año)	NaOH (\$)	H2O (m3/año)	H2O (\$)	C.MP (\$)	CTP (\$)	CF (\$)
2015	21,7	869,7	165179,9	512,9	15388,4	16,7	1338,5	1304,5	7044,5	2609,1	3130,9	12805,5	329276,1	104087,5
2016	31,9	1277,6	242649,6	753,5	22605,6	24,6	1966,3	1916,4	10348,5	3832,8	4599,3	18811,3	346193,8	104087,5
2017	46,8	2174,2	412949,9	1106,9	33207,7	36,1	2888,5	3261,4	17611,4	6522,7	7827,3	31632,3	382309,4	104087,5
2018	68,8	2757,0	523629,3	1626,1	48782,2	53,0	4243,2	4135,5	22331,6	8271,0	9925,2	40594,1	407553,8	104087,5
2019	101,0	2610,1	495738,1	2388,7	71661,1	77,9	6233,2	3915,2	21142,1	7830,4	9396,5	40278,1	406663,6	104087,5
2020	148,4	3834,3	728240,0	3509,0	105270,2	114,5	9156,6	5751,4	31057,8	11502,9	13803,5	59168,5	459876,2	104087,5
2021	218,1	6525,3	1239345,3	5154,7	154642,1	168,1	13451,1	9788,0	52855,3	19576,0	23491,2	98919,0	571849,3	104087,5
2022	320,3	8274,3	1571516,4	7572,3	227169,4	247,0	19759,7	12411,4	67021,6	24822,8	29787,4	127683,6	652876,5	104087,5
2023	470,6	7833,5	1487809,5	11123,7	333712,1	362,8	29027,0	11750,3	63451,7	23500,6	28200,8	129480,1	657936,9	104087,5
2024	691,2	11507,5	2185594,1	16340,8	490223,6	533,0	42640,7	17261,2	93210,6	34522,5	41426,9	190206,4	828996,9	104087,5

Fuente: Elaboración propia

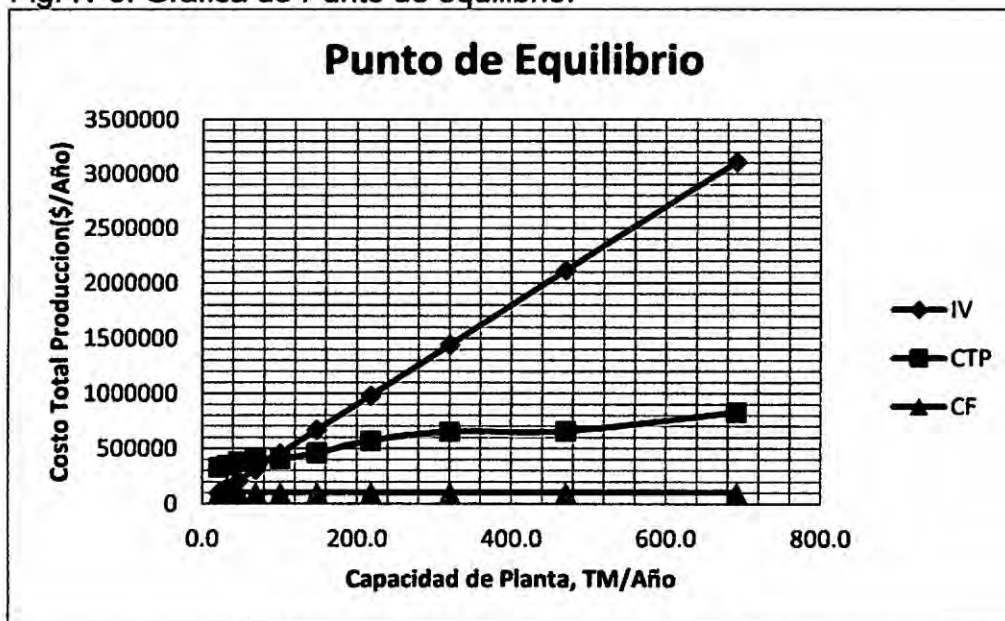
El resumen del cuadro anterior mostramos en el cuadro N°33 y la gráfica en la Fig. N°5.

Cuadro N° 33. Resumen del ingreso por ventas y los costos totales

Año	Iv(\$/Año)	CTP(\$/Año)	CF
2015	97 644	329 276	104 088
2016	143 439	346 194	104 088
2017	210 712	382 309	104 088
2018	309 537	407 554	104 088
2019	454 710	406 664	104 088
2020	667 969	459 876	104 088
2021	981 248	571 849	104 088
2022	1441 454	652 876	104 088
2023	2117 498	657 937	104 088
2024	3110 607	828 997	104 088

Fuente: Elaboración propia

Fig. N°5. Gráfica de Punto de equilibrio.



Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Tamaño de planta intermedio.-

Tamaño de planta – Materia Prima

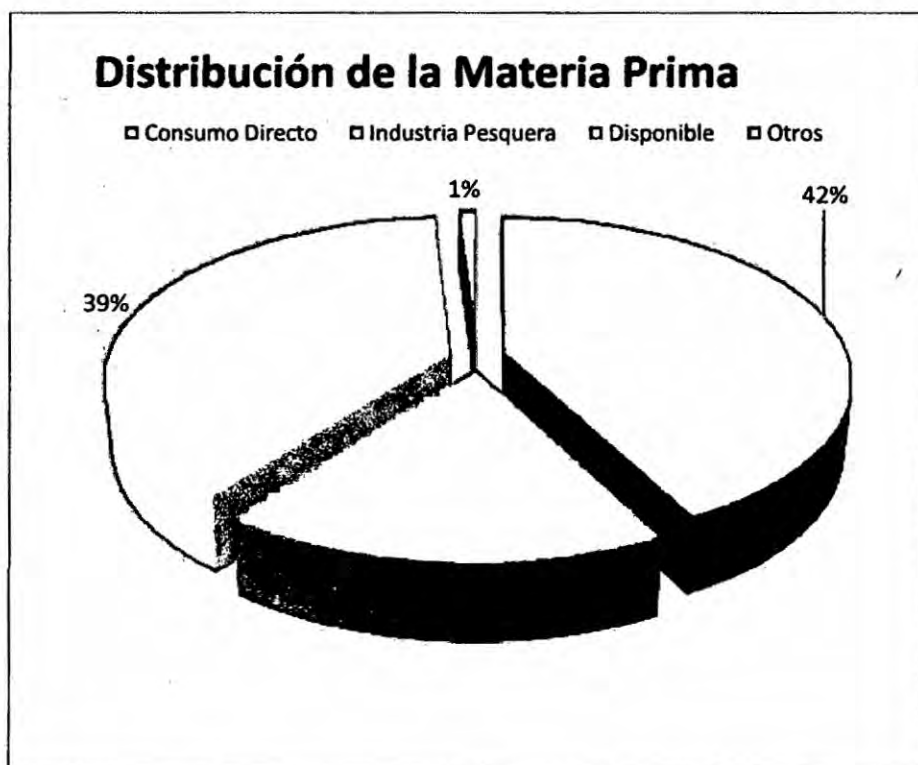
La extracción anual de choros según estudios hechos por Mincetur (**Sector Pesca y Acuicultura**) es de 20950 toneladas métricas, el cual mostramos en el cuadro N°34 y Figura N°6 la distribución de su uso.

Cuadro N°34. Distribución de consumo de choros

Distribución	%
Consumo directo	42,36
Industria Pesquera	18,00
Disponible	38,64
Otros	1,00

Fuente: Código Ref. Mincetur POG 3.3.2.2 Sector Pesca y Acuicultura

Fig. N°6. Distribución porcentual del consumo de choros



Fuente: Código Ref. Mincetur POG 3.3.2.2 Sector Pesca y Acuicultura

La disponibilidad de materia para realizar nuestro proyecto hemos considerado el 22,5% del 38,64% de la extracción anual de choros disponible, lo que representa 1821.4 toneladas métricas disponibles.

Estudio realizado a nivel laboratorio en la Universidad Nacional Agraria (Rev. Soc. Quím Perú. 2007, 73, N° 4 (235-248)), mencionan que para producir 1 tonelada de sal de citrato se requiere 6,2 toneladas de conchas de choro y asimismo que la concha de choro representa 60% en peso del choro.

El Tamaño de Planta Intermedio sera [11]:

$$\text{Tamaño Planta} = 1821.4 \text{ TM Choro} * 0,6 * \frac{1 \text{ TM Citrato de Ca y Mg}}{6,2 \text{ TM Choro}}$$

$$\text{Tamaño Planta - materia prima} = 176 \frac{\text{TM Citrato de Ca y Mg}}{\text{año}}$$

4.2.4. Selección del Tamaño de Planta.-

Luego de determinar los tamaños de planta máximo, intermedio y mínimo, enseguida procedemos a determinar el tamaño de planta óptimo, para ello hemos calculado la rentabilidad traducida en utilidades con cada una de estas relaciones de tamaño de plantas utilizando el método de estado de pérdidas y ganancias, con las siguientes ecuaciones [11]:

$$\bar{U} = Q_{\text{opt}} (p-v) - C_F \quad (12)$$

$$U_T = I_{\text{INV}} + \sum_{i=1}^n \bar{U} \quad (13)$$

El nivel de inversión total para cada uno de los tamaños de plantas hemos calculado con el modelo de escalamiento, para el cual utilizamos como referencia una planta de producción de carbonatos de calcio y magnesio con una capacidad 175 TM/AÑO y con una

inversión de \$320 000, a partir de moluscos (Fuente: Referencias mundiales costo Plantas de Proceso (Setiembre 2008)- Revista CE).

I₁ (\$)	320 000
T₁ (TM)	175

Con la ecuación del modelo de escalamiento siguiente calculamos [11]:

$$I_2 = I_1 \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^\alpha \quad (14)$$

Donde:

I₁ = Inversión total de la capacidad de planta similar o referencial, \$/año

I₂ = Inversión total de la capacidad de planta nueva o proyectada, \$/año

T₁ = Tamaño o capacidad instalada de planta similar o referencial, TM/año

T₂ = Tamaño o capacidad instalada de planta nueva o proyectada, TM/año

α = Factor de volumen o escalamiento

α = 0,6 para Industria Química ;

α = 0,8 para Industria Alimentaria

α = 0,85 para Industria Metalúrgica

α = 0,95 para Industria Textil

Entonces con la ecuación (14) calculamos que: $I_2 = 320000 \left(\frac{2}{1} \right)^{0,8}$

I₂ = 358 923 \$/año,

El resto de los cálculos se muestran en el cuadro N° 35.

Cuadro N°35. Inversiones y tamaños de plantas

	Inversión	Tamaño de planta
	\$/año	TM/año
Tamaño de planta Máximo	358 923	202
Tamaño de planta Intermedio	321 462	176
Tamaño de planta Mínimo	191 315	92

Fuente: Elaboración propia

La evaluación económica para el tamaño de planta – máximo, intermedio y mínimo hemos calculado teniendo en cuenta los siguientes datos obtenidos anteriormente, los cuales son mostrados en los cuadros N°33, 34, 35.

Precio (\$/kg)	27,83
CVU (\$/Kg)	15,596

Cuadro N°36. Estado de pérdidas y ganancias de tamaño de planta máximo

Tamaño de planta máximo: 202 TM/año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
AÑO	0									
Inversión (\$)	-358922,5									
Demanda Proy. (TM/año)	21,7	31,9	46,8	68,8	101,0	148,4	218,1	320,3	470,6	691,2
Capac. de Planta (TM/año)	161,6	171,7	181,8	191,9	202,0	202,0	202,0	202,0	202,0	202,0
Ing. Por Ventas (\$/año)	770024,0	818150,5	866277,0	914403,5	962530,0	962530,0	962530,0	962530,0	962530,0	962530,0
Costo Fijo (\$/año)	104087,5	104087,5	104087,5	104087,5	104087,5	104087,5	104087,5	104087,5	104087,5	104087,5
Flujo Neto Efectivo	423875,6	456873,3	489871,0	522868,7	555866,4	555866,4	555866,4	555866,4	555866,4	555866,4
Utilidad Total (\$/año)	64953,2	97950,8	130948,5	163946,2	196943,9	196943,9	196943,9	196943,9	196943,9	196943,9
Utilidad Total (\$)	1639462									

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°37. Estado de pérdidas y ganancias de tamaño de planta intermedio

Tamaño de planta intermedio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
175 TM/año										
AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Inversión (\$)	-320000,0									
Demanda Proy. (TM/año)	21,7	31,9	46,8	68,8	101,0	148,4	218,1	320,3	470,6	691,2
Capac. de Planta (TM/año)	140,0	148,8	157,5	166,3	175,0	175,0	175,0	175,0	175,0	175,0
Ing. Por Ventas (\$/año)	667100,0	708793,8	750487,5	792181,3	833875,0	833875,0	833875,0	833875,0	833875,0	833875,0
Costo Fijo (\$/año)	104087,5	104087,5	104087,5	104087,5	104087,5	104087,5	104087,5	104087,5	104087,5	104087,5
Flujo Neto Efectivo	353306,3	381893,4	410480,5	439067,6	467654,7	467654,7	467654,7	467654,7	467654,7	467654,7
Utilidad Total (\$/año)	33306,3	61893,4	90480,5	119067,6	147654,7	147654,7	147654,7	147654,7	147654,7	147654,7
Utilidad Total (\$)	1190676,2									

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°38. Estado de pérdidas y ganancias de tamaño de planta mínimo.

Tamaño de planta mínimo 92 TM/año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
AÑO	0									
Inversión (\$)	-191 315,3									
Demanda Proy. (TM/año)	21,7	31,9	46,8	68,8	101,0	148,4	218,1	320,3	470,6	691,2
Capac. de Planta (TM/año)	73,6	78,2	82,8	87,4	92,0	92,0	92,0	92,0	92,0	92,0
Ing. Por Ventas (\$/año)	350704,0	372623,0	394542,0	416461,0	438380,0	438380,0	438380,0	438380,0	438380,0	438380,0
Costo Fijo (\$/año)	104087,5	104087,5	104087,5	104087,5	104087,5	104087,5	104087,5	104087,5	104087,5	104087,5
Flujo Neto Efectivo	136370,9	151399,6	166428,2	181456,9	196485,6	196485,6	196485,6	196485,6	196485,6	196485,6
Utilidad Total (\$/año)	-44895,9	-29867,2	-14838,6	190,1	15218,7	15218,7	15218,7	15218,7	15218,7	15218,7
Utilidad Total (\$)	1900,9									

Fuente: Elaboración propia

De los cuadros N°s 36,37 y 38 concluimos que el tamaño de planta óptimo es de una capacidad de 202 TM/año de citrato de calcio y magnesio, debido a que presenta una mayor utilidad y además porque en el primer año comienza a recuperar la inversión.

V. INGENIERIA DE DISEÑO DE DETALLES

5.1. Diseño de equipos principales.-

5.1.1. Diseño del reactor de precipitación. Procedimiento de diseño.

a) Bases de diseño:

- Tipo de proceso: Precipitación
- Tipo de reactor: Tanque agitado de mezclado perfecto
- Capacidad de producción: 28,6 Kg/h de citrato de calcio y 1,5 Kg/h de Citrato de magnesio (202 TM/año) con un factor operacional del 76,72%.
- Conversión del proceso de precipitación: 64,13 %
- Tiempo de operación, y de calentamiento: 20 minutos
- Que debe ser sometido a la correspondiente mezcla a la temperatura de 80 °C y a la presión atmosférica.

• Propiedades del fluido [10,12,14]:

Densidad de NaOH al 60 %p/v a 80 °C = 1583 Kg/m³

Densidad de ácido cítrico al 60 % p/v a 20 °C = 1240 Kg/m³

Viscosidad de NaOH al 60% a 80 °C = 8 cp.

Viscosidad de ácido cítrico al 60 % p/v a 20 °C = 8,5 cp.

Capacidad calorífica de NaOH al 60 %p/v a 80 °C = 0,75 cal/g °C

Calor de dilución del ácido cítrico al 60 % p/v = 6,4 cal/mol

Calor específico del ácido cítrico al 60 % p/v = 0,45 kcal/ Kg °C

Calor latente de vaporización del agua: $\lambda_v = 545 \text{ Kcal/Kg a } 121,3^\circ\text{C}$

Cuadro N°39. Entalpias, calores específicos, calores de dilución.

Compuesto	ΔH_f^0 Kcal/mol a 25 °C	Calor dilución Kcal/mol	Capacidad calorífica cal /mol	Calor específico, Kcal/Kg °C	ΔH_f^0 Kcal/mol a 80 °C
$\text{CaCl}_{2(aq)}$	- 209,15		1377	0,625	- 210,53
$\text{NaOH}_{(l)}$	-112,236		7,5	0,75	-112,24
$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 (l)$	-474.5	-5,4			
$\text{Ca}_3(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)_2(s)$	-558.0				-558.0
$\text{NaCl}_{(aq)}$	-97,302		15,9	0,82	-97,32
$\text{H}_2\text{O} (l)$	-68,24		18,07	0,45	-68,26

Fuente: tablas [12,14]

- Escala de agitación para sistema liquido-liquido:

Diferencia de gravedades específicas $0,343 < 1,0$

Velocidad de volumen: 0,30 m/s

Escala III, para reactores que requieren alta agitación

- Cantidad de solución para el calentamiento: 3520,3 Kg/h

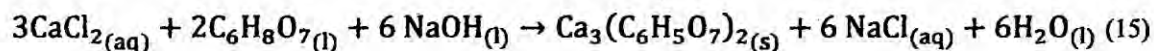
Condiciones de calentamiento:

Temperatura inicial: 20 °C

Temperatura final: 80 °C

- Cinética de la reacciones químicas:

Reacción Química:



b) Cálculo de la capacidad:

Del balance de materia tenemos:

Compuesto	V(m ³ /h)
Solución acuosa	1,76
NaOH	1,19
Ácido Cítrico	1,65
Caudal Total	4,59

Datos de laboratorio:

Tiempo de reacción: 20 minutos

Caudal volumétrico de la mezcla reaccionante: 4,59 m³/ h.

Velocidad de rotación del impulsor: 280 RPM (dato de laboratorio)

Ecuación de diseño para reactor tanque agitado de mezcla perfecta para la reacción precipitación [11]:

$$V_{\text{mezcla reaccionante}} = t \times Q_T \quad (16)$$

$$V_{\text{mezcla reaccionante}} = 20 \text{ min} \times \frac{4,59 \text{ m}^3}{\text{hr}} \times \frac{\text{hr}}{60 \text{ min}} = 1,53 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{reactor}} = 1,2 \times 1,53 = 1,836 = 1,84 \text{ m}^3$$

c) Dimensionamiento o diseño de detalles:

• **Cálculo de la altura y el diámetro del Reactor:**

- ✓ Con el volumen del reactor calculado, y usando la relación [11] altura diámetro:

$$\frac{H_a}{D} = 1,1 \text{ y } \frac{h_2}{D} = 0,26 \text{ (0,17 a 0,34)}$$

- ✓ se tiene que el diámetro es:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4V_R}{1,1 \times \pi}} = \sqrt[3]{\frac{4 \times 1,836}{1,1 \times \pi}} = 1,286 \text{ m} = 50,63 \text{ pulg}$$

- ✓ Altura del fondo, con el diámetro calculado usando tablas para fondo cóncavo estándar[10] encontramos que: $h_f = 6,82$ pulg (17,32 cm) y $V_f = 31,4$ galones (0,12 m³)

- ✓ Calculo del volumen de la parte cilíndrica:

$$V_{\text{cilindro}} = V_{\text{reactor}} - 2 \times V_{\text{fondo}} \quad (17)$$

$$V_{\text{cilindro}} = 1,84 - 2 \times 0,12 = 1,60 \text{ m}^3 = 422,7 \text{ gal.}$$

- ✓ Calculo de la altura de la parte cilíndrica:

$$H_{\text{cilin}} = \frac{4 \times V_{\text{cilin}}}{\pi \times D^2} = \frac{4 \times 1,60 \text{ m}^3}{\pi \times (1,286 \text{ m})^2} = 1,232 \text{ m}$$

- ✓ Calculo de la altura real del reactor:

$$H_{\text{Real}} = H_{\text{cilindro}} + 2 \times h_{\text{fondo}} \quad (18)$$

$$H_{\text{Real}} = 1,232 + 2 \times 0,1732 = 1,578 \text{ m} \approx 1,58 \text{ m}$$

- ✓ Calculo de la altura de la mezcla en el reactor:

$$Z_{\text{liquido}} = \frac{4 \times V_{\text{mezcla}}}{\pi \times D^2} = \frac{4 \times 1,53 \text{ m}^3}{\pi \times (1,286 \text{ m})^2} = 1,18 \text{ m}$$

- ✓ Calculo del volumen de la mezcla en el cilindro:

$$V_{\text{mezcla en cilindro}} = V_{\text{mezcla}} - V_{\text{fondo}} \quad (19)$$

$$V_{\text{mezcla en cilindro}} = 1,53 - 0,12 = 1,41 \text{ m}^3$$

- ✓ Calculo de la altura de la mezcla en el cilindro:

$$Z_{\text{mezcla en cilindro}} = \frac{4 \times V_{\text{mezcla cilindro}}}{\pi \times D^2} = \frac{4 \times 1,41 \text{ m}^3}{\pi \times (1,286 \text{ m})^2} = 1,086 \text{ m} \cong 1,1 \text{ m}$$

- ✓ Calculo del número de impulsores de la siguiente relación:

$$\frac{Z_{\text{liq,cil}}}{D} = \frac{1,086}{1,286} = 0,84 < 1,4$$

Por lo que solo se utiliza un impulsor de turbina de palas planas:

• **Diseño del impulsor [10,11].-**

- ✓ **Calculo de la longitud del eje del impulsor:**

$$L_{eje} = (H_R - h_2) \times 1,2 \quad (20)$$

$$L_{eje} = (1,58 - 0,334) \times 1,2 = 1,5 \text{ m}$$

- ✓ **Calculo del diámetro del impulsor:**

$$\frac{d_{ag}}{D} = 0,33$$

$$d_{ag} = 0,33 \times 1,286 = 0,424 \text{ m}$$

- ✓ **Calculo de la capacidad de bombeo(Q):**

$$Q = V_V \times A_{ST} \quad (21)$$

Para una escala de agitación III, se tiene que la velocidad de volumen es 0,3m/s, entonces y $NQ = 0,6$

$$Q = 0,3 \times \frac{\pi}{4} (1,286)^2 = 0,39 \text{ m}^3/\text{s}$$

Velocidad de rotación(N) = 280 RPM (dato de laboratorio)

Calculo del N_{RE} :

$$N_{RE} = \frac{(0,424 \text{ m})^2 \times 4,67 \text{ rps} \times 1190 \text{ Kg/m}^3}{1,4 \text{ cp} \times 0,001 \text{ Kg/m s}} = 7,14 \times 10^5$$

- ✓ **Calculo de la potencia de funcionamiento:**

$$P_f = N_p \times \rho_f \times N^3 \times d_{ag}^5 \quad (22)$$

$$P_f = 1,4 \times 1190 \times 4,67^3 \times 0,424^5 = 2325,2 \text{ W} = 3,12 \text{ hp}$$

- ✓ **Potencia de instalación:**

$$P_a = 2 \times P_f = \frac{2,00}{0,93} \times 2325,2 \text{ W} = 5000,43 \text{ W} = 6,7 \text{ hp} = 7 \text{ hp}$$

✓ Momento de torsión:

$$T = \frac{9545 W}{N} = \frac{9545 \times 5,00}{280} = 170,5$$

✓ El diámetro del eje del impulsor es:

$$d_{\text{eje}} = 8.36 \times \left(\frac{TL}{G\alpha} \right)^{1/3} \quad (23)$$

$$d_{\text{eje}} = 8,36 \times \left(\frac{170,5 * 50}{(9 \times 10^{10}) \times 1} \right)^{1/3} = 0,0381\text{m} = 2''$$

• Diseño del recipiente del reactor.-

✓ **Calculo de las dimensiones de los deflectores:**

Con $B_1/D = 0,1$ tenemos: $B_1 = 0,1 * 1,286 \text{ m} = 0,1286 \text{ m} \approx 5''$

$L_{\text{baffle}} = 1,24 \text{ m}$

El espacio entre el deflector y el recipiente

Con $B_1/D = 0,02$ tenemos: $B_1 = 0,02 * 1,28\text{m} = 0,0256\text{m} \approx 1''$, se usan

4 deflectores instalados a 90°

✓ **Calculo del espesor del recipiente:**

Para calcular el espesor del recipiente de la parte cilíndrica y del fondo abocinado usamos las siguientes condiciones de diseño:

La temperatura de diseño para un proceso isotérmico (80°C) es:

$$T_D = \text{Operación} + 10^\circ\text{C} \quad (24)$$

$$T_D = 80^\circ\text{C} + 10^\circ\text{C} = 90^\circ\text{C} = 194^\circ\text{F}$$

La presión de diseño es calculado de la siguiente manera:

Cuando la presión de operación es menor a 250 psi, se usa la siguiente ecuación:

$$P_D = P_{\text{op.}} + 15\text{psi} \quad (25)$$

$$P_{\text{operacion.}} = P_{\text{Atmosferica.}} + P_{\text{hidraulica.}} \quad (26)$$

$$P_{\text{hidraulica.}} = \gamma_{\text{liq}} * H_{\text{liq}} \quad (27)$$

Peso específico del fluido $\gamma_{\text{liq}} = 1,4 = 1400 \text{ Kg/m}^3$

$$P_{\text{hidraulica.}} = 1400 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 1,1 \text{ m} = 1540 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} = 0,1540 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} * 14,22 = 2,2 \text{ lbf/pulg}^2$$

$$P_{\text{operacion.}} = 14,696 \text{ psi} + 2,2 \text{ psi} = 16,896 \frac{\text{lbf}}{\text{pulg}^2} < 250 \text{ psi}$$

$$P_D = 31,896 \text{ lbf/pulg}^2$$

De la parte cilíndrica para recipientes de paredes delgadas:

$$t = \frac{P \times R}{S \times E - 0,6 \times P} + C \quad (28)$$

P = Presión de diseño interna o externa, $\text{lb/pulg}^2 = 31,896 \text{ lbf/pulg}^2$

E = Eficiencia de la junta, $E = 0,6$

R = Radio interior del recipiente = 25,32 pulgadas

S = Esfuerzo admisible del material, libras/pulgadas^2

Para acero quirúrgico a las condiciones de diseño es 18750 lbf/pulg^2

C = Tolerancia a la corrosión = 0,0625 pulg.

t = Espesor de la lámina de fondo, pulgadas

$$t = \frac{P \times R}{S \times E - 0,6 \times P} = \frac{31,896 \frac{\text{lbf}}{\text{pulg}^2} \times 25,32 \text{ pulg}}{\frac{18750 \text{ lbf}}{\text{pulg}^2} \times 0,6 - 0,6 \times 31,896 \text{ lbf/pulg}^2} + 0,0625 = 0,1344 \text{ pulg} \cong \frac{3}{16} \text{ pulg}$$

$t = 3/16 \text{ pulg.}$

Para recipientes cilíndricos de paredes delgadas con fondo elíptico tipo plato, la presión en el fondo del recipiente, calculamos sumando la presión del líquido, presión atmosférica y la reserva se tiene = 31,496 lbf/in², de tablas, K = 1,83[11,12]. Con estos datos calculamos el espesor del fondo con espesor abocinado:

$$t = \frac{P \times D_T \times K}{2 S E - 0,2 P} + c \quad (29)$$

$$t = \frac{\frac{32,203 \text{ lbf}}{\text{pulg}^2} \times 50,63 \text{ pulg} \times 1,83}{2 \times \frac{18750 \text{ lbf}}{\text{pulg}^2} \times 0,65 - 0,2 \times \frac{32,203 \text{ lbf}}{\text{pulg}^2}} + 0,0625 = 0,1849 \text{ pul} \cong \frac{3}{16} \text{ ''}$$

• **Diseño del serpentín de calentamiento del reactor.-**

Calculamos la carga térmica (Q_T): que viene del balance de energía [10] con:

$$Q_T = Q_c + Q_r \quad (30)$$

Donde:

Q_r = Cantidad de calor debido a la reacción química

Q_c = Cantidad de calor para el calentamiento de la mezcla reaccionante.

Entonces:

$$Q_r = (-\Delta H_r)(-r_A) V_{\text{mezcla reaccionante}} \quad (31)$$

Con los datos del cuadro N° 39, efectuamos el balance de energía

$$\Delta H_r = \Sigma(\Delta H_{r \text{ productos}}) - \Sigma(\Delta H_{r \text{ reactivos}}) \quad (32)$$

$$\Delta H_r = -558 + 6(-97,32) + 6(68,26) - [3(-209,15) + 2(-474,5) + 6(-112,263)]$$

$$\Delta H_r = 698,386 \text{ Kcal/mol.}$$

Sabemos: $(-r_A) V_{\text{mezcla reaccionante}} = F_{\text{CaCl}_2} X_A = 408 \text{ mol/h} \quad (33)$

Por lo que, usando la ecuación (31) tenemos:

$$Q_r = 284\,941,488 \text{ Kcal/h}$$

Ahora, calculamos la cantidad de calor para el calentamiento de la mezcla

reaccionante, con la ecuación: $Q_c = \dot{m} \bar{C}_e \Delta T$ (34)

Con $\bar{C}_e = 0,621 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$

$$Q_c = 3520,3 \text{ Kg/h} \times 0,621 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C} \times (80 - 20) ^\circ\text{C},$$

El calor de calentamiento es:

$$Q_c = 131166,378 \text{ Kcal/h}$$

$Q_T = 284\,941,488 \text{ Kcal/h} + 131166,378 \text{ Kcal/h}$, siendo la carga térmica total:

$$Q_T = 416\,107,866 \text{ Kcal/h}$$

Sabemos que, el área de intercambio de calor está definido por:

$$A_h = \frac{Q_T}{U \Delta T} \quad (35)$$

El coeficiente global de transferencia de calor para el serpentín de calentamiento del reactor, se puede calcular con:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + ff_i + \left(\frac{X}{K}\right) \left(\frac{d_{Co}}{d_{cm}}\right) + \left(\frac{1}{h_{ci}}\right) \left(\frac{d_{Co}}{d_{ci}}\right) + ff_{ci}, \text{ y} \quad (36)$$

$$Nu = \frac{h_i D}{K} \quad (37)$$

$$Nu = 0.17 \left(\frac{dag^2 N \rho}{\mu}\right)^{0.67} \left(\frac{C_p \mu}{K}\right)^{0.37} \left(\frac{dag}{D}\right)^{0.1} \left(\frac{d}{D}\right)^{0.5} \left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)^m \quad (38)$$

Dónde:

U = coeficiente global de transferencia de calor para el serpentín,

$\text{Kcal /h m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$

h_i = Coeficiente de transferencia de calor sobre el área lateral del serpentín

y el fluido del proceso, $\text{cal/s. cm}^2 \text{ }^\circ\text{C}$

h_{ci} = Coeficiente de transferencia de calor dentro del serpentín, $\text{cal/s.cm}^2 \text{ }^\circ\text{C}$

ff_i = Factor de ensuciamiento en el diámetro externa del serpentín.

ff_{ci} = Factor de ensuciamiento en el diámetro interno del serpentín.

d_{co} = diámetro externo del serpentín, cm

d_{cm} = diámetro medio del serpentín, cm

d_{ci} = diámetro interno del serpentín, cm

X = espesor de la pared del serpentín, cm

K = Conductividad térmica del material, $\text{cal/s m }^\circ\text{C}$

En la bibliografía existen valores del coeficiente global de transferencia de calor típico en recipientes con serpentín, el cual mostramos en el cuadro N° 40.

Cuadro N° 40. Coeficiente global de transferencia de calor típicos de Recipientes con serpentín

Sustancia dentro del serpentín	Sustancia al exterior del serpentín	Coeficiente global de transferencia de calor, U Kcal/h m ² °C
Vapor de agua	Solución acuosa	1520

Fuente: [11]

Usando el valor del cuadro N° 40 y la ecuación (35) tenemos:

$$A_h = \frac{416107,866 \text{ Kcal/h}}{1520 \text{ Kcal/h m}^2 \text{ °C} \times 60 \text{ °C}} = 4,56 \text{ m}^2$$

Sabemos que el área de transferencia de calor externo está definido como:

$$A_{\text{hext}} = \pi D_{\text{serp}} L_{\text{serp}} \quad (39)$$

Pero, diámetro del serpentín en el recipiente es:

$$D_{\text{serp}} = D_i - 2 (B_1 + B_2) = 1,024 \text{ m},$$

Calculamos la longitud del serpentín con:

$$L_{\text{serpentin}} = \frac{A_h}{\pi d_{\text{co}}} \quad (40)$$

Para calcular el diámetro del tubo del serpentín, usamos la tabla que proporciona en función de la cantidad de vapor a usar y la presión del vapor que ingresa al serpentín, entonces:

$$\overset{o}{m}_{\text{vapor}} = \overset{o}{m}_{\text{condensado}} * f \quad (41)$$

$$\overset{o}{m}_{\text{condensado}} = \frac{Q_T}{\lambda_{\text{vapor}}} \quad (42)$$

Para este caso, la bibliografía recomienda usar vapor saturado a una presión de 30 psia (2,11 Kgf/cm²), cuya temperatura del vapor es de

121,3°C, con esta temperatura calculamos el calor latente del vapor de agua, del grafico [11], $\lambda_{\text{vapor}} = 545 \text{ Kcal/Kg}$:

Reemplazando los valores en la ecuación (42), tenemos:

$$m_{\text{condensado}}^{\circ} = 763,50 \text{ Kg/h}$$

Con la ecuación (41) usando factor 2 tenemos:

$$m_{\text{vapor}}^{\circ} = 1527,00 \text{ Kg/h}$$

De tablas [11] obtenemos que para 1527 Kg de vapor/h se debe usar una cañería de 2½ pulgadas (0,0635m), y en la ecuación (40), tenemos:

$$L_{\text{serpentin}} = \frac{4,56 \text{ m}^2}{\pi (0,0635\text{m})} = 22,9 \text{ m}$$

Ahora:

$$L_c = \pi D_{\text{serp}} = \pi \times 1,024 \text{ m} = 3,22 \text{ m}$$

Calculamos el número de vueltas del serpentín en el reactor tanque:

$$\text{Numero de vueltas} = \frac{L_{\text{tubo}}}{L_c \text{ de una vuelta}} = \frac{22,9}{3,22} = 7 \text{ vueltas}$$

La distancia entre vueltas:

$$d_{\text{Vueltas}} = \frac{Z_L}{\text{numero de vuelta}} = \frac{1,18}{7} = 0,168\text{m}$$

d) Datos de construcción.-

Volumen del reactor: 1,84 m³

Diámetro : 1,286 m.

Altura de reactor : 1,58 m.

Altura del liquido : 1,18 m.

Deflectores : 4

Ancho del deflector : 1"

Longitud del deflector : 1,24 m

Fondo principal tipo plato:

Altura del fondo : 17,32 cm (fondo abocinado)

Espesor de la chapa de construcción parte cilíndrica: 3/16"

Espesor de la chapa de construcción del fondo: 3/16"

Diámetro Nipple de carga (2): 3"

Diámetro Nipple de descarga: 2"

Impulsor de agitación: Turbina con 4 palas planas

Diámetro del impulsor : 0,424 m.

Longitud del eje del impulsor : 1,5 m.

Diámetro del eje del impulsor : 2"

Potencia del motor del impulsor : 7 hp

Serpentín de calentamiento con vapor de agua

Área de transferencia de calor : 4,56 m².

Longitud del serpentín : 22,9 m.

Diámetro del caño para el serpentín: 2 ½"

Diámetro del serpentín en el reactor: 1,024 m

e) Especificaciones.-

Datos operativos:

- Debe tener un recipiente de acero quirúrgico, según normas americanas resistentes a la acción de compuestos orgánicos.
- Fondo tipo plato.
- Debe tener termocuplas para el control de temperatura de reacción con un conmutador, ajustado en un tablero de control.
- El acero inoxidable A.S.T.M serie 300, es el material más recomendable para este tipo de equipos por su alta resistencia a la corrosión en especial el 314, el cual es recomendado incluso para fines médicos, este material tiene una resistencia a la rotura de 220 Mpa lo cual muestra que es adecuado para soportar este peso, estos aceros tienen en general propiedades mecánicas bajas y en consecuencia requieren espesores fuertes, además su resistencia a la abrasión es baja. Por lo tanto el espesor con el cual se construirá el tanque es de 3/16 pulgadas.
- El impulsor, deflectores y el serpentín debe de ser también del mismo material del recipiente.
- El impulsor debe llevar un motor de 7 hp.

5.1.2. Diseño del reactor de digestión. Procedimiento de diseño.-

a) Bases de diseño:

- Tipo de proceso: Digestión y conversión
- Tipo de reactor: Tanque agitado de mezclado perfecto
- Alimentación: 1207 Kg/h de concha de choros molido con tamaño de partícula de malla 40.
- Rendimiento del proceso de digestión: 34,7 %
- Tiempo de reacción, y de calentamiento: 60 minutos
- Que debe ser sometido a la correspondiente reacción de digestión a la temperatura de 110 °C y a la presión atmosférica.
- Propiedades del fluido [11,12,14]:

Densidad de H₂O a 110 °C = 1583 Kg/m³

Densidad de ácido clorhídrico al 7 % p/v a 20 °C = 1030 Kg/m³

Densidad de carbonato de calcio = 2711 Kg/m³

Viscosidad del H₂O a 110 °C = 8 cp.

Calor latente de vaporización del agua: λ_v = 545 Kcal/Kg a 121,3°C

Cuadro N°41. Entalpías, calores específicos, calores de dilución.

Compuesto	ΔH _f ⁰ Kcal/mol a 25 °C	Capacidad calorífica cal /mol °C	Calor especifico, Kcal/Kg °C	ΔH _f ⁰ Kcal/mol a 110 °C
CaCl _{2(aq)}	-209,15	18,38	0,625	-210,53
H ₂ O (l)	-68,24	18,07	0,45	-68,26
CO ₂ (g)	-94,052			-94,052
CaCO _{3(aq)}	-279,81	15,74	0,157	-280,683
HCl (l)	-39,85		0,598	-46,87

Fuente: tablas [11,12]

- Escala de agitación para sistema solido-liquido: 9
- Gravedades específicas para sistema de agitación solido-liquido:

Cuadro N°42. Gravedades específicos.

% sólido	22
(Sg)_{SL}	1,13
(Sg)_s	2,71
(Sg)_L	1,03
Tamaño de partículas	Malla 40
Fw	1,14

Fuente: Elaboración propia

- Cantidad de solución para el calentamiento: 5552 Kg/h

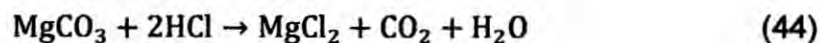
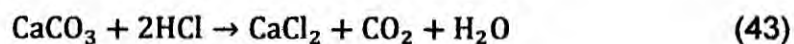
- Condiciones de calentamiento:

Temperatura inicial: 20 °C

Temperatura final: 110 °C

- Cinética de la reacciones químicas:

Reacción Química:



b) Calculo de la capacidad:

Del balance de materia tenemos:

Caudal volumétrico de la mezcla reaccionante: 5,07 m³/ h.

Velocidad de rotación del impulsor: 155 RPM (dato de laboratorio)

Ecuación de diseño para reactor tanque agitado de mezcla perfecta para la reacción de precipitación [10]:

$$V_{\text{mezcla reaccionante}} = t \times Q_T \quad (45)$$

$$V_{\text{mezcla}} = 60 \text{ min} \times \frac{5,07 \text{ m}^3}{\text{hr}} \times \frac{\text{hr}}{60 \text{ min}} = 5,07 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{reactor}} = 1,2 \times 5,07 = 6,1 \text{ m}^3$$

c) Dimensionamiento o diseño de detalles:

• Calculo de la altura y el diámetro del Reactor:

- ✓ Del balance de materia se tiene que la mezcla en el reactor es $5,07 \text{ m}^3 = 1339,34 \text{ gal}$; y el volumen del reactor es $6,1 \text{ m}^3 = 1611,4 \text{ gal}$; para calcular el diámetro del reactor intermitente usamos la relación [10] altura diámetro:

$$\frac{H_a}{D} = 1,25 \quad \text{y} \quad \frac{h_2}{D} = 0,26 \quad (0,17 \text{ a } 0,34)$$

- ✓ se tiene que el diámetro es:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4V_R}{1,25 \times \pi}} = \sqrt[3]{\frac{4 \times 6,1}{1,25 \times \pi}} = 1,84 \text{ m}$$

- ✓ Altura del fondo, de tabla[11]:

$$h_f = 12 \text{ pulg}$$

Para una altura de fondo de 12 pulg (0.3048 m) el volumen del fondo es 135 galones (0.511 m^3), se obtuvo de la gráfica que relaciona el diámetro con el fondo del reactor, con una altura de instalación del impulsor desde el fondo, tenemos:

$$h_2 = 0,26 \times 1,84 = 0.4784 \text{ m} \approx 19 \text{ pulg}$$

- ✓ Calculo del volumen de la parte cilíndrica:

$$V_{\text{cilindro}} = V_{\text{reactor}} - 2 \times V_{\text{fondo}}$$

$$V_{\text{cilindro}} = 1611,4 - 2 \times 135 = 1341,4 \text{ gal} = 5,08 \text{ m}^3$$

- ✓ Cálculo de la altura de la parte cilíndrica:

$$H_{\text{cilin}} = \frac{4 \times V_{\text{cilin}}}{\pi \times D^2} = \frac{4 \times 5,07}{\pi \times (1,84\text{m})^2} = 1,91 \text{ m}$$

- ✓ Cálculo de la altura real del reactor:

$$H_{\text{Real}} = H_{\text{cilindro}} + 2 \times h_{\text{fondo}}$$

$$H_{\text{Real}} = 1,91 + 2 \times 0,304 = 2,52 \text{ m}$$

- ✓ Cálculo de la altura de la mezcla en el reactor:

$$Z_{\text{liquido}} = \frac{4 \times V_{\text{mezcla}}}{\pi \times D^2} + H_f = \frac{4 \times 5,08\text{m}^3}{\pi \times (1,84 \text{ m})^2} = 1,90 \text{ m}$$

- ✓ Cálculo del volumen de la mezcla reaccionante en parte cilíndrica:

$$V_{\text{mezcla en cilindro}} = V_{\text{mezcla total}} - V_{\text{fondo}}$$

$$V_{\text{mezcla en cilindro}} = 5,07\text{m} - 0,511 = 4,56\text{m}$$

- ✓ Cálculo de la altura de la mezcla reaccionante en la parte del cilindro:

$$Z_{\text{mezcla en cilindro}} = \frac{4 \times V_{\text{mezcla cilindro}}}{\pi \times D^2} = \frac{4 \times 4,56 \text{ m}^3}{\pi \times (1,84\text{m})^2} = 1,72 \text{ m}$$

- ✓ Cálculo del número de impulsores de la siguiente relación [11]:

$$\frac{H_L}{D} = \frac{1,72}{1,84} = 0,94 < 1,4$$

Por lo que solo se utiliza un impulsor de turbina palas planas de flujo radial.

• Diseño del impulsor [10,11].-

- Cálculo del volumen equivalente:

$$V_{\text{equivalente}} = (Sg)_{sl} \times V_{\text{mezcla}} \quad (46)$$

$$V_{\text{equivalente}} = 1,13 \times 5,07 = 5,73\text{m}^3 = 1513,7 \text{ galones}$$

➤ Cálculo de la velocidad final:

De la gráfica N° 2 de Chemical Engineering (Selección de sistemas de agitación para suspender sólidos en líquidos 1976), se tiene:

$$[(Sg)_s - (Sg)_l] = 2,71 - 1,03 = 1,68$$

Para una partícula de malla N° 40, la velocidad terminal (V_t) = 10,1 pie/min

➤ Cálculo de la velocidad de diseño (V_d):

$$V_d = V_t \times f_w \quad (47)$$

$$V_d = 10,1 \times 1,14 = 11,51 \text{ pie/seg}$$

De la tabla III de la misma revista para una $V_d = 10,0$ pies/seg, con un $V_{\text{equi}} = 1514$ galones y con una escala de agitación N° 9, se tiene la siguiente relación: 7,5Hp/155 RPM

✓ Cálculo del diámetro del impulsor:

$$d_{\text{ag}} = 394 \times \left[\frac{\text{Hp}}{n \times N^3 \times (Sg)_{sl}} \right]^{0.2} \quad (48)$$

$$d_{\text{ag}} = 394 \times \left[\frac{7,5}{1 \times 155^3 \times 1,13} \right]^{0.2} = 28 \text{ pulg} = 0,7088 \text{ m}$$

✓ Cálculo de la longitud del eje del impulsor:

$$L_{\text{eje}} = (H_R - h_2) \times 1,2 \quad (49)$$

$$L_{\text{eje}} = (2,52 - 0,4784) \times 1,2 = 2,45 \text{ m}$$

✓ Momento de torsión:

$$T = \frac{9545 \text{ W}}{N} = \frac{9545 \times 5,593}{155} = 344,42$$

✓ El diámetro del eje del impulsor es:

$$d_{eje} = 8.36 \times \left(\frac{TL}{G\alpha} \right)^{1/3} \quad (50)$$

$$d_{eje} = 8,36 \times \left(\frac{344,42 * 50}{(9 \times 10^{10}) \times 1} \right)^{1/3} = 0,0481\text{m} = 2 \text{ pulgadas}$$

• Diseño del recipiente del reactor.-

✓ **Calculo de las dimensiones de los deflectores:**

Con $B_1/D = 0,1$ tenemos: $B_1 = 0,1 * 1,84 \text{ m} = 0,184 \text{ m} \approx 7 \text{ pulgadas}$

$L_{baffle} = 1,93 \text{ m}$

El espacio entre el deflector y el recipiente

Con $B_1/D = 0,02$ tenemos: $B_1 = 0,02 * 1,84\text{m} = 0,0368\text{m} \approx 1 \text{ pulgada}$,

se usan 4 deflectores instalados a 90°

✓ **Calculo del espesor del recipiente:**

Para calcular el espesor del recipiente de la parte cilíndrica y del fondo abocinado usamos las siguientes condiciones de diseño:

La temperatura de diseño para un proceso isotérmico (110°C) es:

$$T_D = T_{operación} + 10^\circ\text{C} \quad (51)$$

$$T_D = 110^\circ\text{C} + 10^\circ\text{C} = 120^\circ\text{C} = 248^\circ\text{F}$$

La presión de diseño es calculado de la siguiente manera:

Cuando la presión de operación es menor a 250 psi, se usa la siguiente ecuación:

$$P_D = P_{op.} + 15\text{psi} \quad (52)$$

$$P_{operacion.} = P_{Atmosferica.} + P_{hidraulica.} \quad (53)$$

$$P_{hidraulica.} = \gamma_{liq} * H_{liq} \quad (54)$$

Peso específico del fluido $\gamma_{liq} = 1,14 = 1140 \text{ Kg/m}^3$

$$P_{hidraulica.} = 1140 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 1,714 \text{ m} = 1953.96 = 0,195396 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} * 14,22 \\ = 2,778 \text{ lbf/pulg}^2$$

$$P_{operacion.} = 14,696 \text{ psi} + 2,778 \text{ psi} = 17,474 \frac{\text{lbf}}{\text{pulg}^2} < 250 \text{ psi}$$

$$P_D = 32,474 \text{ lbf/pulg}^2$$

De la parte Cilíndrica para recipiente de pared delgada:

$$t = \frac{P \times R}{S \times E - 0,6 \times P} + c \quad (55)$$

P = Presión de diseño interna o externa, lb/pulg² = 32,474 lbf/pulg²

E = Eficiencia de la junta, E = 0,6

R = Radio interior del recipiente = 36,22 pulgadas

S = Esfuerzo admisible del material, libras/pulgadas²

Para acero quirúrgico a las condiciones de diseño es 18750 lbf/pulg²

C = Tolerancia a la corrosión = 0,0625 pulg.

t = Espesor de la lámina de fondo, pulgadas

$$t = \frac{P \times R}{S \times E - 0,6 \times P} = \frac{32,474 \frac{\text{lbf}}{\text{pulg}^2} \times 36,22 \text{ pulg}}{\frac{18750 \text{ lbf}}{\text{pulg}^2} \times 0,6 - 0,6 \times 32,474 \text{ lbf/pulg}^2} + 0,0625 \\ = 0,1672 \text{ pulg} \cong \frac{3}{16} \text{ pul}$$

Para fondo elíptico tipo plato, la presión en el fondo del recipiente, calculamos sumando la presión del líquido, presión atmosférica y la reserva se tiene = 32,474 lbf/ in², de tablas, K = 1,83[11,12]. Con estos datos calculamos el espesor del fondo en:

$$t = \frac{P \times D_T \times K}{2 SE - 0,2 P} + c \quad (56)$$

$$t = \frac{32,474 \times 72,44 \text{ pulg} \times 1,83}{2 \times \frac{18750 \text{ lbf}}{\text{pulg}^2} \times 0,6 - 0,2 \times \frac{32,474 \text{ lbf}}{\text{pulg}^2}} + 0,0625 = 0,2595 \text{ pulg} \cong \frac{1}{4} \text{ ''}$$

• **Diseño del serpentín de calentamiento del reactor.-**

Calculamos la carga térmica (Q_T): que viene del balance de energía [10] con:

$$Q_T = Q_c + Q_r \quad (57)$$

Q_r = Cantidad de calor debido a la reacción química

Q_c = Cantidad de calor para el calentamiento de la mezcla reaccionante.

Entonces:

$$Q_r = (-\Delta H_r)(-r_A) V_{\text{mezcla reaccionante}} \quad (58)$$

Con los datos del cuadro N° 41, efectuamos el balance de energía

$$\Delta H_r = \sum(\Delta H_{r \text{ productos}}) - \sum(\Delta H_{r \text{ reactantes}}) \quad (59)$$

$$\Delta H_r = (-210,53) + (-68,26) + (-94,052) - [(-279,81) + 2(-39,85)]$$

$$\Delta H_r = 13.332 \text{ Kcal/mol.}$$

$$\text{Sabemos: } (-r_A) V_{\text{mezcla reaccionante}} = F_{\text{CaCO}_3} X_A = 418,83 \text{ mol/h} \quad (60)$$

Por lo que, usando la ecuación (58) tenemos:

$$Q_r = 5583,84 \text{ Kcal/h}$$

Ahora, calculamos la cantidad de calor para el calentamiento de la mezcla

$$\text{reaccionante, con la ecuación: } Q_c = \dot{m} C_e \Delta T \quad (61)$$

$$\text{Con } \bar{C}_e = 0,508 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$

$$Q_c = 5552 \text{ Kg/h} \times 0,508 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C} \times (110 - 20) ^\circ\text{C},$$

El calor de calentamiento es:

$$Q_c = 253\,837,44 \text{ Kcal/h}$$

$Q_T = 5583,84 \text{ Kcal/h} + 253\,837,44 \text{ Kcal/h}$, siendo la carga térmica total:

$$Q_T = 259\,421,28 \text{ Kcal/h}$$

Sabemos que, el área de intercambio de calor está definido por:

$$A_h = \frac{Q_T}{U \Delta T} \quad (62)$$

El coeficiente global de transferencia de calor para el serpentín de calentamiento del reactor, se puede calcular con:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + ff_i + \left(\frac{X}{K}\right)\left(\frac{d_{Co}}{d_{cm}}\right) + \left(\frac{1}{h_{ci}}\right)\left(\frac{d_{Co}}{d_{ci}}\right) + ff_{ci}, y \quad (63)$$

$$Nu = \frac{h_i D}{K} \quad (64)$$

$$Nu = 0.17 \left(\frac{dag^2 N \rho}{\mu}\right)^{0.67} \left(\frac{C_p \mu}{K}\right)^{0.37} \left(\frac{dag}{D}\right)^{0.1} \left(\frac{d}{D}\right)^{0.5} \left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)^m \quad (65)$$

Dónde:

$U =$ coeficiente global de transferencia de calor para el serpentín,

$$\text{Kcal /h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$h_i =$ Coeficiente de transferencia de calor sobre el área lateral del serpentín

$$\text{y el fluido del proceso, cal/s. cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

h_{ci} = Coeficiente de transferencia de calor dentro del serpentín, $\text{cal/s.cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

f_{fi} = Factor de ensuciamiento en el diámetro externa del serpentín.

f_{ci} = Factor de ensuciamiento en el diámetro interno del serpentín.

d_{co} = diámetro externo del serpentín, cm

d_{cm} = diámetro medio del serpentín, cm

d_{ci} = diámetro interno del serpentín, cm

X = espesor de la pared del serpentín, cm

K = Conductividad térmica del material, $\text{cal/s m } ^\circ\text{C}$

En la bibliografía existen valores del coeficiente global de transferencia de calor típico en recipientes con serpentín, el cual mostramos en el cuadro N° 43.

Cuadro N° 43. Coeficiente global de transferencia de calor típicos de Recipientes con serpentín

Sustancia dentro del serpentín	Sustancia al exterior del serpentín	Coeficiente global de transferencia de calor, $U \text{ Kcal/h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$
Vapor de agua	Solución acuosa	480

Fuente: [11]

Usando el valor del cuadro N° 43 y la ecuación (63) tenemos:

$$A_h = \frac{259\,421,28 \text{ Kcal/h}}{480 \text{ Kcal/h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \times 90 \text{ } ^\circ\text{C}} = 6,00 \text{ m}^2$$

Sabemos que el área de transferencia de calor externo está definido como:

$$A_{\text{next}} = \pi D_{\text{serp}} L_{\text{serp}} \quad (66)$$

Pero, diámetro del serpentín en el recipiente es:

$$D_{\text{serp}} = D_i - 2 (B_1 + B_2) = 1,76\text{m},$$

Calculamos la longitud del serpentín con:

$$L_{\text{serpentin}} = \frac{A_h}{\pi d_{\text{co}}} \quad (67)$$

Para calcular el diámetro del tubo del serpentín, usamos la tabla que proporciona en función de la cantidad de vapor a usar y la presión del vapor que ingresa al serpentín, entonces:

$$m_{\text{vapor}} = m_{\text{condensado}} * f \quad (68)$$

$$m_{\text{condensado}} = \frac{Q_T}{\lambda_{\text{vapor}}} \quad (69)$$

Para este caso, la bibliografía recomienda usar vapor saturado a una presión de 30 psia (2,11 Kg/cm²), cuya temperatura del vapor es de 121,3 °C, con esta temperatura calculamos el calor latente del vapor de agua, del grafico [11], $\lambda_{\text{vapor}} = 545 \text{ Kcal/Kg}$:

Reemplazando los valores en la ecuación (69), tenemos:

$$m_{\text{condensado}} = 476 \text{ Kg/h}$$

Con la ecuación (69) usando factor 2 tenemos:

$$m_{\text{vapor}} = 952 \text{ Kg/h}$$

De tablas [11] obtenemos que para 952 Kg de vapor/h se debe usar una cañería de 3 pulgadas (0,0762 m), y en la ecuación (67), tenemos:

$$L_{\text{serpentin}} = \frac{6,00 \text{ m}^2}{\pi (0,0762 \text{ m})} = 25,1 \text{ m}$$

Ahora:

$$L_c = \pi D_{\text{serp}} = \pi \times 1,7568 \text{ m} = 5,52 \text{ m}$$

Calculamos el número de vueltas del serpentín en el reactor tanque:

$$\text{Numero de vueltas} = \frac{L_{\text{tubo}}}{L_c \text{ de una vuelta}} = \frac{25,1}{5,52} = 5 \text{ vueltas}$$

La distancia entre vueltas:

$$d_{\text{Vueltas}} = \frac{Z_L}{\text{numero de vuelta}} = \frac{1,90}{5} = 0,4 \text{ m}$$

d) Datos de construcción.-

Volumen del reactor : 6,1 m³

Diámetro : 1,84 m.

Altura de reactor : 2,52 m.

Altura del liquido : 1,90 m.

Deflectores : 4

Ancho del deflector : 1"

Longitud del deflector : 1,91 m

Fondo principal tipo plato:

Altura del fondo : 30,48 cm (fondo abocinado)

Espesor de la chapa de construcción parte cilíndrica: 3/16"

Espesor de la chapa de construcción del fondo: 1/4"

Diámetro Nipple de carga (2) : 3"

Diámetro Nipple de descarga: 2"

Impulsor de agitación: Turbina con 4 palas planas

Diámetro del impulsor : 0,7088 m.

Longitud del eje del impulsor : 2,45 m.

Diámetro del eje del impulsor : 2"

Potencia del motor del impulsor : 7,5 hp

Serpentín de calentamiento con vapor de agua

Área de transferencia de calor : 6,00 m².

Longitud del serpentín : 25,1 m.

Diámetro del caño para el serpentín: 3"

Diámetro del serpentín en el reactor: 1,76 m

e) Especificaciones.-

Datos operativos:

- Debe tener un recipiente de acero quirúrgico, según normas americanas resistentes a la acción de compuestos orgánicos.
- Fondo tipo plato.
- Debe tener termocuplas para el control de temperatura de reacción con un conmutador, ajustado en un tablero de control.
- El acero inoxidable A.S.T.M serie 300, es el material más recomendable para este tipo de equipos por su alta resistencia a la corrosión en especial el 314, el cual es recomendado incluso para fines médicos, este

material tiene una resistencia a la rotura de 220 Mpa lo cual muestra que es adecuado para soportar este peso, estos aceros tienen en general propiedades mecánicas bajas y en consecuencia requieren espesores fuertes, además su resistencia a la abrasión es baja. Por lo tanto el espesor con el cual se construirá el tanque es de 3/16 pulgadas, parte cilíndrica y el fondo de ¼ pulgadas.

- El impulsor, deflectores y el serpentín debe de ser también del mismo material del recipiente.
- El impulsor debe llevar un motor de 7,5 hp.

5.1.3. Diseño del tanque lavador-sedimentador de la solución del citrato de calcio y magnesio. Procedimiento de diseño.

a) Bases de diseño:

- Tipo de proceso: Lavado y sedimentación.

Alimentación: Caudal volumétrico de la mezcla de productos, reactantes e insumos: 4,59 m³/h (5 304 Kg/h), de solución de citrato de calcio y magnesio.

- Tiempo de operación: 24 horas
- La operación debe ser sometido al lavado del citrato de calcio y magnesio hasta la solución sobrenadante tenga una concentración 0,8 °Be (densidad= 1,00865), a la temperatura ambiente y al presión atmosférica.
- Escala de agitación para sistema solido-liquido: 2
- Gravedades específicas para sistema de agitación solido-liquido:

Cuadro N°44. Gravedades específicos de la suspensión.

% sólido	22
(Sg)_{sl}	1,13
(Sg)_s	2,71
(Sg)_L	1,03
Tamaño de partículas	106,5 micras
Fw	1,14

Fuente: Elaboración propia

b) Calculo de la capacidad:

La capacidad de clarificación está definida con la relación de las velocidades de sedimentación de las partículas diversas en función del área necesaria del sedimentador o espesador y se expresa mediante la siguiente ecuación,

[Jhon Perry 3° edición]:

$$A = \frac{0,0416 (F-D)}{R \times \rho} \quad (70)$$

Donde.

$A = \text{m}^2/\text{TM}$ de sólidos seco/24 hr

$R = \text{Velocidad de sedimentación} = 0,295 \text{ m/hr}$

$F = \text{Relación del peso del líquido a los sólidos para la velocidad } R.$

$\rho = \text{densidad de la solución clara} = 1,00865 \text{ TM/m}^3.$

$$F = \frac{5304 \text{ Kg}}{686,4 \text{ Kg}} = 7,73$$

$D = \text{Relación del peso del líquido a los sólidos en la descarga.}$

$$D = \frac{1140 \text{ Kg}}{686,4 \text{ Kg}} = 1,661$$

En la ecuación 70.

$$A = \frac{0,0416 (7,73 - 1,661)}{\frac{0,295 \text{ m}}{\text{hr}} \times 1,00865 \text{ TM/m}^3} = 0,8485$$

$A = 0,8485 \text{ m}^2/\text{TM}$ de sólidos seco /24 hr

Capacidad de espesamiento: En la zona de sedimentación el volumen que el tanque proporciona, depende directamente del periodo de detención necesario para que el limo o fango alcance la densidad deseada y se determina con:

$$V = \frac{0,0416 T(G-\rho)}{G(S-\rho)} \quad (71)$$

Donde:

$V = \text{m}^3$ necesario para el espesamiento por TM de sólidos seco/24 hr

$T = \text{Periodo de detención en hr} = 4 \text{ hr}$

$G = \text{Densidad de los sólidos en la pulpa} = 1,18 \text{ TM/m}^3.$

$S = \text{Densidad media de la pulpa espesada durante el periodo de compresión}$
 $= 1,09 \text{ TM/m}^3 .$

$\rho = \text{Densidad de la solución clara} = 1,00865 \text{ TM/m}^3.$

En la ecuación 71:

$$V = \frac{0,0416 \times 4 \text{ hr} (1,18 - 1,00865) \text{ TM/m}^3}{(1,18 \text{ TM/m}^3 (1,09 - 1,00865) \text{ TM/m}^3)} = 0,297$$

$V = 0,297 \text{ m}^3/\text{TM}$ de sólidos seco /24 hr

Volumen del espesamiento:

$$V = \frac{0,297 \text{ m}^3 \times 0,6864 \text{ TM de sólido seco}}{\text{TM de sólido} \frac{\text{seco}}{24\text{hr}} \times 8 \text{ hr}} = 0,6116 \text{ m}^3$$

$V = 0,6116 \text{ m}^3$ de citrato de calcio y magnesio espesado.

Volumen del tanque = Volumen espesado x F (relación del líquido/ sólidos)

$$V_T = 0,6116 \text{ m}^3 \times 7,73 = 4,73 \text{ m}^3$$

c) Dimensionamiento o diseño de detalles:

• Calculo de la altura y el diámetro del Recipiente:

✓ Del paso anterior tenemos:

$V_{\text{Treal}} = 4,73 \times 1,2 = 5,68 \text{ m}^3 = 1500,5 \text{ gal}$; para calcular el diámetro del recipiente usamos la relación [11] altura diámetro:

$$\frac{H_a}{D} = 1,1 \quad \text{y} \quad \frac{h_2}{D} = 0,26 \quad (0,17 \text{ a } 0,34)$$

✓ se tiene que el diámetro es:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4V_R}{1,1 \times \pi}} = \sqrt[3]{\frac{4 \times 5,68}{1,1 \times \pi}} = 1,87 \text{ m} = 73,75 \text{ Pulg}$$

✓ Altura del fondo cónico, [11]: $V_f = 145.208 \text{ galones}$

$$V_f = \frac{1}{3} * \frac{\pi}{4} * D^2 * h_f \quad (72)$$

$$0,5496 \text{ m}^3 = \frac{1}{3} * \frac{\pi}{4} * (1,87)^2 h_f$$

$$h_f = 0.6 \text{ m} = 23,6 \text{ pulg}$$

Con una altura de instalación del impulsor desde el fondo, tenemos:

$$h_2 = 0,26 \times 1,87 = 0,4862 = 19,14 \text{ pulg}$$

✓ Cálculo del volumen de la parte cilíndrica:

$$V_{\text{cilindro}} = V_{\text{sedimento}} - V_{\text{fondo}}$$

$$V_{\text{cilindro}} = 1500,5 - 154,2083 = 1355,2917 \text{ gal} = 5,13 \text{ m}^3$$

✓ Cálculo de la altura de la parte cilíndrica:

$$H_{\text{cilin}} = \frac{4 \times V_{\text{cilin}}}{\pi \times D^2} = \frac{4 \times 5,13 \text{ m}^3}{\pi \times (1,87 \text{ m})^2} = 1,86 \text{ m}$$

✓ Cálculo de la altura real del recipiente: (recipiente abierto)

$$H_{\text{Real}} = H_{\text{cilindro}} + h_{\text{fondo}}$$

$$H_{\text{Real}} = 1,86 + 0,6 = 2,46 \text{ m}$$

✓ Cálculo de la altura de la mezcla en el recipiente:

$$Z_{\text{liquido}} = \frac{4 \times V_{\text{mezcla}}}{\pi \times D^2} = \frac{4 \times 4,73 \text{ m}^3}{\pi \times (1,87 \text{ m})^2} = 1,722 \text{ m}$$

✓ Cálculo del volumen de la mezcla reaccionante en parte cilíndrica:

$$V_{\text{mezcla en cilindro}} = V_{\text{mezcla total}} - V_{\text{fondo}}$$

$$V_{\text{mezcla en cilindro}} = 4,73 \text{ m}^3 - 0,549 \text{ m}^3 = 4,1804 \text{ m}^3$$

✓ Cálculo de la altura de la solución de citrato de calcio y magnesio en la parte del cilindro:

$$Z_{\text{mezcla en cilindro}} = \frac{4 \times V_{\text{mezcla cilindro}}}{\pi \times D^2} = \frac{4 \times 4,1804}{\pi \times (1,87 \text{ m})^2} = 1,52 \text{ m}$$

✓ Cálculo del número de impulsores de la siguiente relación [11]:

$$\frac{H_L}{D} = \frac{1,52}{1,87} = 0,813 < 1,4$$

Por lo que solo se utiliza un impulsor de turbina palas planas de flujo radial.

• **Diseño del impulsor [10,11].-**

➤ **Calculo del volumen equivalente:**

$$V_{\text{equivalente}} = (Sg)_{sl} \times V_{\text{mezcla}} \quad (73)$$

$$V_{\text{equivalente}} = 1,13 \times 4,73 = 5,35\text{m}^3 = 1412\text{galones}$$

➤ **Calculo de la velocidad final:**

De la gráfica N° 2 de Chemical Engineering (Selección de sistemas de agitación para suspender sólidos en líquidos 1976), se tiene:

$$[(Sg)_s - (Sg)_l] = 2,71 - 1,03 = 1,68$$

Para una partícula de 106,5 micras, la velocidad terminal (V_t) = 5,3pie/seg

➤ **Calculo de la velocidad de diseño (V_d):**

$$V_d = V_t \times f_w \quad (74)$$

$$V_d = 5,3 \times 1,14 = 6,042 \text{ pie/seg}$$

De la tabla III de la misma revista para una $V_d = 10,0$ pies/min, con un $V_{\text{equi}} = 1412$ galones y con una escala de agitación N° 2, se tiene la siguiente relación: 1,5Hp/84 RPM

✓ **Calculo del diámetro del impulsor:**

$$d_{ag} = 394 \times \left[\frac{Hp}{n \times N^3 \times (Sg)_{sl}} \right]^{0.2} \quad (75)$$

$$d_{ag} = 394 \times \left[\frac{1,5}{1 \times 84^3 \times 1,13} \right]^{0.2} = 29,21 \text{ pulg} = 0,742 \text{ m}$$

- ✓ **Calculo de la longitud del eje del impulsor:**

$$L_{eje} = (H_R - h_2) \times 1,2 \quad (76)$$

$$L_{eje} = (2,46 - 0,6) \times 1,2 = 2,23 \text{ m}$$

- ✓ **Momento de torsión:**

$$T = \frac{9545 \text{ W}}{N} = \frac{9545 \times 1,12}{84} = 127,3$$

- ✓ **El diámetro del eje del impulsor es:**

$$d_{eje} = 8,36 \times \left(\frac{TL}{G\alpha} \right)^{1/3} \quad (77)$$

$$d_{eje} = 8,36 \times \left(\frac{127,3 * 50}{(9 \times 10^{10}) \times 1} \right)^{1/3} = 0,035 \text{ m} = 1 \frac{1}{2} \text{ ''}$$

• **Diseño del recipiente del tanque.-**

- ✓ **Calculo de las dimensiones de los deflectores:**

Con $B_1/D = 0,1$ tenemos: $B_1 = 0,1 * 1,87 \text{ m} = 0,187\text{m} \approx 7''$

$L_{deflector} = 1,883 \text{ m}$

El espacio entre el deflector y el recipiente

Con $B_1/D = 0,02$ tenemos: $B_1 = 0,02 * 1,87\text{m} = 0,0374\text{m} \approx 1''$, se usan

4 deflectores instalados a 90°

- ✓ **Calculo del espesor del recipiente:**

Para calcular el espesor del recipiente de la parte cilíndrica y del fondo abocinado usamos las siguientes condiciones de diseño:

La temperatura de diseño para un proceso isotérmico (60°C) es:

$$T_D = O_{operación} + 10^\circ\text{C} \quad (78)$$

$$T_D = 60^\circ\text{C} + 10^\circ\text{C} = 70^\circ\text{C} = 158^\circ\text{F}$$

La presión de diseño es calculado de la siguiente manera:

Cuando la presión de operación es menor a 250 psi, se usa la siguiente ecuación:

$$P_D = P_{op.} + 15\text{psi} \quad (79)$$

$$P_{operacion.} = P_{Atmosferica.} + P_{hidraulica.} \quad (80)$$

$$P_{hidraulica.} = \gamma_{liq} * H_{liq} \quad (81)$$

Peso específico del fluido $\gamma_{liq} = 1,14 = 1140 \text{ Kg/m}^3$

$$\begin{aligned} P_{hidraulica.} &= 1140 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 1,84 \text{ m} = 2097,6 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} = 0,20976 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} * 14,22 \\ &= 2,983 \text{ lbf/pulg}^2 \end{aligned}$$

$$P_{operacion.} = 14,696\text{psi} + 2,983 \text{ psi} = 17,68 \frac{\text{lbf}}{\text{pulg}^2} < 250 \text{ psi}$$

$$P_D = 32,68 \text{ lbf/pulg}^2$$

De la parte Cilíndrica para recipientes de paredes delgadas:

$$t = \frac{P \times R}{S \times E - 0,6 \times P} + c \quad (82)$$

P = Presión de diseño interna o externa, $\text{lb/pulg}^2 = 32,68 \text{ lbf/pulg}^2$

E = Eficiencia de la junta, $E = 0,6$

R = Radio interior del recipiente = 36,81 pulgadas

S = Esfuerzo admisible del material, libras/pulgadas²

Para acero quirúrgico a las condiciones de diseño es 18750 lbf/pulg^2

C = Tolerancia a la corrosión = 0,0625 pulg.

t = Espesor de la lámina de fondo, pulgadas

$$t = \frac{P \times R}{S \times E - 0,6 \times P} = \frac{32,68 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2} \times 36,81 \text{ pulg}}{\frac{18750 \text{ lb}}{\text{pulg}^2} \times 0,6 - 0,6 \times 32,68 \text{ lb}/\text{pulg}^2} + 0,0625$$

$$= 0,1696 \text{ pulg} \cong \frac{3}{16} \text{ pulg}$$

$$t = 3/16 \text{ pulg.}$$

Para fondo cónico, la presión en el fondo del recipiente, calculamos sumando la presión del líquido, presión atmosférica y la reserva se tiene = 32,68 lb/in². Con estos datos calculamos el espesor del fondo, en:

$$t = \frac{P \times D_T}{2 \text{ COS } \alpha (SE - 0,6 P)} + C \quad (83)$$

$$t = \frac{\frac{32,68 \text{ lb}}{\text{pulg}^2} \times 73,62 \text{ pulg}}{2 \text{Cos } 30 \times \left(\frac{18750 \text{ lb}}{\text{pulg}^2} \times 0,65 - 0,6 \times \frac{32,68 \text{ lb}}{\text{pulg}^2} \right)} + 0,0625 = 1,2 \text{ pulg} \cong 1''$$

d) Datos de construcción.-

Volumen del tanque : 5,68 m³

Diámetro : 1,87 m.

Altura de tanque : 2,46 m.

Altura del liquido : 1,72 m.

Deflectores : 4

Ancho del deflector : 1"

Longitud del deflector : 1,883 m

Fondo principal tipo cónica:

Altura del fondo : 60,0 cm (fondo cónico)

Espesor de la chapa de construcción parte cilíndrica: 3/16"

Espesor de la chapa de construcción del fondo: 1"

Diámetro Nipple de carga (2) : 3"

Diámetro Nipple de descarga: 2"

Impulsor de agitación: Turbina con 4 palas planas

Diámetro del impulsor : 0,742 m.

Longitud del eje del impulsor : 2,23 m.

Diámetro del eje del impulsor : 2"

Potencia del motor del impulsor : 1,5 hp

Diámetro del serpentín en el reactor: 1,756 m

e) Especificaciones.-

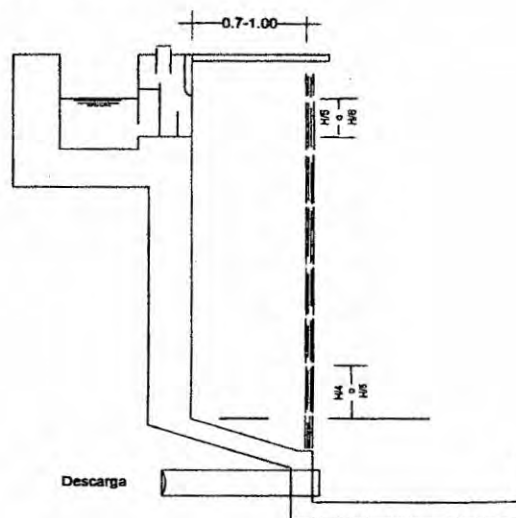
Datos operativos:

- Debe tener un recipiente de acero quirúrgico, según normas americanas resistentes a la acción de compuestos orgánicos.
- Fondo tipo plato.
- Debe tener termocuplas para el control de temperatura de reacción con un conmutador, ajustado en un tablero de control.

- Debe tener toma muestra y un aerómetro para marcar las concentraciones en Be.
- El acero inoxidable A.S.T.M serie 300, es el material más recomendable para este tipo de equipos por su alta resistencia a la corrosión en especial el 314, el cual es recomendado incluso para fines médicos, este material tiene una resistencia a la rotura de 220 Mpa lo cual muestra que es adecuado para soportar este peso, estos aceros tienen en general propiedades mecánicas bajas y en consecuencia requieren espesores fuertes, además su resistencia a la abrasión es baja. Por lo tanto el espesor con el cual se construirá el tanque es de 3/16 pulgadas, parte cilíndrica y el fondo de 1 pulgadas.
- El impulsor, deflectores de ser también del mismo material del recipiente.

El impulsor debe llevar un motor de 1,5 hp.

La ubicación de la pantalla difusora debe ser entre 0,7 a 1,00 m de distancia de la pared de entrada.



5.1.4. Diseño del secador por atomización (Spray Draying).

Procedimiento de diseño.-

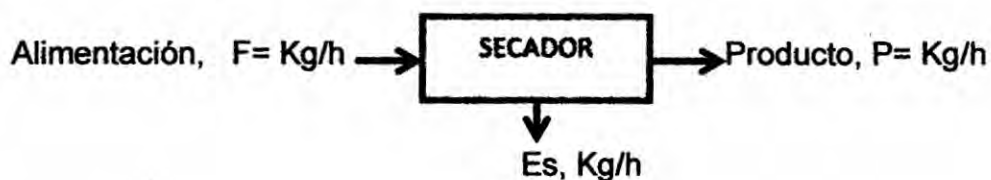
a) Bases de diseño:

- Tipo de proceso: Secado de citrato de calcio y magnesio (pasta)
- Tipo de secador: Atomización (Spray Drying)
- Flujo de producción: 28,6 kg/h
- Alimentación: 36,3 L/h de pasta de citrato de calcio y magnesio
- Temperatura de secado: 150°C – 80 °C (dato recomendado por fabricantes del equipo para nuestro producto).
- % de citrato de calcio y magnesio = 60%
- Densidad inicial de la pasta: 1,3 kg/L.
- Humedad en la producción final: 3 %
- Tiempo: 16 h.

b) Calculo de capacidad:

Balance de materia en la operación de secado por atomización.

Cálculo de la alimentación al secador



Donde:

F = Flujo de entrada del citrato de calcio y magnesio

P = Producto final kgrs/hr

Es = Cantidad de agua que debe evaporarse

X_f = Fracción molar del flujo de entrada: 60%

X_p = Fracción molar del producto (97% de sólidos totales en polvo)

Balance por componente:

$$F = P \quad (84)$$

$$X_F * F = X_P * P \quad (85)$$

De la ecuación (86) se tiene:

$$0,60 \times F = 0,97 \times 28,6 \text{ Kg/h}$$

$$F = 46,24 \text{ kg/h}$$

$$Q = 46,24 \text{ K/h} \times 1 \text{ L}/1,3 \text{ kg} = 35,6 \text{ L/h}$$

$$\text{Carga} = 35,6 \text{ L/h}$$

Alimentación de solución de entrada

$$F = 46,24 \text{ kg/hr} \text{ ó } 1,7 \text{ lb/min}$$

Balance Global en el secador:

$$F = E_s + P \quad (86)$$

$$E_s = F - P \quad (87)$$

$$E_s = (46,24 - 28,6) \text{ kg/h} = 17,64 \text{ kg de agua/h,} = 38,9 \text{ lb/h}$$

Cálculo de la cantidad de aire necesario:

La cantidad de aire necesario para extraer el agua a evaporarse en el secador calculamos de la siguiente manera:

Consideramos que las condiciones ambientales de ventanilla es (localización de planta):

- Temperatura promedio: 24°C
- Humedad relativa : (Hr) 78%
- Humedad absoluta (Ha), leída de la carta psicométrica es: 0,015 kg de agua/kg de aire seco.
- El aire debe ser limpio y excepto de CO₂, para lo cual se debe usar un filtro de aire.

Condiciones de ingreso del aire a la cámara de secado:

- Temperatura: 302°F = 150°C
- Ha₁ = 0,015 Kg de agua/kg de aire seco.
- En la carta psicométrica seguirá una línea de enfriamiento adiabático.
Asumimos, 6% de pérdida respecto a un secador adiabático del calor introducido:

Cálculo de la temperatura de saturación (Ts) [10,11]

$$0,06 = \frac{T_s - T_2}{T_1 - T_2} = \frac{(T_s - 80)^\circ\text{C}}{(150 - 80)^\circ\text{C}}$$

$$T_s = 84,2^\circ\text{C} = 184^\circ\text{F}$$

Con Ts = 84,2°C se obtiene de la carta psicométrica la:

Ha₂ = 0,044 Kg de agua/kg de aire seco.

La cantidad de agua extraída por el aire es:

$$(0,044 - 0,015) \frac{\text{Kg de agua}}{\text{Kg de aire seco}} = 0,029 \text{ Kg de agua/kg de aire seco}$$

Debemos de extraer 17,64 kg de agua/hora, luego la cantidad de aire necesario será:

$$17,64 \frac{\text{kgrs de agua}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ kgrs de aire seco}}{0,029 \text{ kgrs. de agua}}$$

608,3 kg de aire/h, o 1341,1 lb de aire/ h.

Cálculo de cantidad de calor necesario para el secado.

En el texto de Liddell aparecen datos de funcionamiento para secadores por atomización. El calor asumido en éste secador varían entre 2000 a 5000 BTU/lb de agua evaporada, asumiendo que el calor consumido sería de 3500 BTU/lb de agua evaporada para una temperatura de 302°F, luego:

$$17,64 \frac{\text{Kg de agua}}{\text{h}} \quad \text{ó} \quad 38,9 \frac{\text{lb de agua a evaporarse}}{\text{h}}$$

$$38,9 \frac{\text{lb. de agua evap.}}{\text{h}} \times 3,500 \frac{\text{BTU}}{\text{lb de agua evap.}}$$

Cantidad de calor necesario = 136 150 BTU/h ó 34 310 Kcal/hr

Este es un dato práctico donde se considera las pérdidas por radiación y conducción, etc.

Cálculo del tiempo de secado:

Cálculo del período de secado constante (constant rate), en términos de transferencia de calor la velocidad de evaporación está dado por:

$$\frac{dW}{dt} = \frac{2 \pi k_f D_p}{\lambda} (T_a - T_s) \quad (88)$$

Donde:

k_f = Conductividad térmica de la película, gota (como agua) a una temperatura de bulbo húmedo de 107°F = 0,38 BTU/ft h °F

D_p = Diámetro promedio de la gota

T_a = Temperatura del medio de secado = 302°F

T_s = Temperatura en la superficie de la partícula (calculado), 113 °F

λ = Calor latente de evaporación = 1022 BTU/Lb

Cálculo del tamaño de gota:

Según la ecuación de Marshall

$$\frac{X}{r} = 0,4 \left[\frac{\dot{m}}{\rho_1 N r^2} \right]^{-0,6} \left[\frac{u}{m} \right]^{0,2} \left[\frac{\sigma \rho_1 L_w}{m^2} \right]^{0,1} \quad (89)$$

Datos:

X = tamaño del gota, ft

r = Radio del atomizador: 0,25 ft

N = Velocidad del disco: 15,000 RPM

L_w = Longitud de a circunferencia mojada: $2\pi r = 1,571$ ft.

μ = Asumimos aproximadamente 1,6 cp = 0,067 lb 0,067 lb/ft-min.

σ = Asumimos la del agua a 70°F = 577 lbf/min².

ρ_1 = 1,3 gr/c.c. ó 81,08 lbf/ft³ (densidad del líquido acuoso al 60%)

\dot{m} = Carga

$\dot{m} = 1,7$ lbf/min

m = Velocidad de la masa por unidad de longitud de la circunferencia mojada.

$$m = \frac{\dot{m}}{L_w} = \frac{1,7 \text{ lbf/min}}{1,571 \text{ ft}} = 1,0821 \text{ lbf/min ft}$$

Reemplazando los valores en la ecuación se tiene:

$$X = 0,4 * 0,25 \text{ ft} \left[\frac{1,0821}{81,08 * 15\,000 * (0,25)^2} \right]^{0,6} \left[\frac{0,067}{1,0821} \right]^{0,2} \left[\frac{577 * 81,08 * 1,571}{(1,0821)^2} \right]^{0,1}$$

$$X = 2,14 \times 10^{-4} \times \frac{0,3048 \text{ m}}{1 \text{ ft}} \times \frac{1 \text{ micra}}{10^{-6} \text{ m}} = 65,19$$

$$= 65,19 \mu$$

Calculo del diámetro final de la partícula:

Según Marshall y Crosby (1958 chem.Eng.Prog. Junio)

$$\frac{Dp_2}{Dp_1} = \sqrt[3]{\frac{\rho_1 C_0}{\rho_2 C_f}} \quad (90)$$

Donde:

Dp_2 = Diámetro final de la partícula seca

Dp_1 = Diámetro de las gotas iniciales (65,19 μ)

ρ_1 = Densidad inicial de la suspensión (1,3 gr/c.c.)

ρ_2 = Densidad final del sólido seco, (0,5 gr/c.c.)

C_0 = Concentración inicial del sólido (60%)

$$Dp_2 = 65,19 \sqrt[3]{\frac{1,3 * 60\%}{0,5 * 97\%}} = 76,38 \mu$$

$$Dp_{\text{promedio}} = \frac{65,19 + 76,38}{2} = 70,79 \mu$$

Usando este diámetro promedio de la gota, la velocidad promedio de evaporación en el periodo de constant rate es:

$$\frac{dW}{dt} = \frac{2 \pi * 0,38 \text{ BTU/ft h}^{\circ}\text{F} * 70,79 \times 10^{-4} (302 - 113)^{\circ}\text{F}}{1022 \text{ BTU/lb}}$$

$$\frac{dW}{dt} = 1,669 \times 10^{-4} \text{ lb/h} = 0,0758 \text{ g/h}$$

La humedad inicial de la gota = $7,5 \times 10^{-8}$ g.

La humedad final de la gota = $2,7 \times 10^{-8}$ g.

La cantidad de humedad a ser extraída en el periodo de constant rate

$$(7,5 \times 10^{-8} - 2,7 \times 10^{-8}) \text{ g} = 4,8 \times 10^{-8} \text{ g}$$

$$\text{Por lo tanto el tiempo requerido} = \frac{4,8 \times 10^{-8} \text{ g}}{0,0758 \text{ g/h}} = 6,33 \times 10^{-7} \text{ h} \approx 0,0023 \text{ s}$$

En forma análoga, determinamos la velocidad promedio de evaporación en el periodo de falling rate y es:

$$\frac{dW}{dt} = \frac{12 k_f \Delta T}{\lambda (Dp_2)^2 \rho_s} \quad (91)$$

$$\frac{dW}{dt} = \frac{12 * 0,01754 \text{ BTU/ft h } ^\circ\text{F} * 94,5^\circ\text{F}}{1022 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} \left[\frac{70,79 \times 10^{-4}}{30,48} \right]^2 * 0,50 * 62,5}$$

$$\frac{dW}{dt} = 7,881 \times 10^3 \text{ lb humedad/lb solido seco h}$$

Luego tenemos:

$$7,881 \times 10^3 \text{ lb humedad/lb seco h} * 2,0475 \times 10^{-10} \text{ lb solido seco} = 1,613 \times 10^{-6} \text{ lb/h}$$
$$= 7,32 \times 10^{-4} \text{ g/h}$$

Cantidad de humedad al ser extraída en el periodo de falling rate:

Cálculo de la humedad final en el falling rate:

$$0,03 \times \frac{4\pi}{3} \left[\frac{70,79 \times 10^{-4} \text{ cm}}{2} \right]^3 \times 0,5 \text{ gr/c.c} = 2,765 \times 10^{-9} \text{ gr}$$

La humedad inicial es: $7,5 \times 10^{-8} \text{ g}$

$$\text{Luego: } (7,5 \times 10^{-8} - 2,765 \times 10^{-9}) \text{ g} = 7,2 \times 10^{-8} \text{ g}$$

Finalmente el tiempo requerido es:

$$t_f = \frac{7,2 \times 10^{-8} \text{ g}}{7,32 \times 10^{-4} \frac{\text{g}}{\text{h}}} = 9,836 \times 10^{-5} \text{ h} = 0,354 \text{ s}$$

$$t_f = 0,354 \text{ s}$$

El tiempo total del secado es:

$$t_T = t_c + t_f = 0,0023 + 0,354 = 0,3564 \text{ s}$$

$$t_T \approx 0,36 \text{ s}$$

c) Dimensionamiento.-

Diseño de la cámara:

Para el diseño de la cámara de secado hemos usado el dato práctico publicado en el texto de Liddell, que establece la capacidad de evaporación por ft^3 de cámara en un secador atomizador, siendo este factor:

Factor de capacidad es de 0,1 a 3,0 lb de agua evaporada
hr-ft³ de cámara

Otro factor es reportado por estudios de TSAO en una Universidad China (Ind. Eng. Chem. N° 43, pag. 145, 1951), es igual a 0,8 – 2,5 lb de agua evaporada
hr-ft³ de cámara

Usando un factor de acuerdo a la temperatura del aire de entrada será: 1,2 éste factor dependerá de la temperatura del aire de entrada, mientras más alto es la temperatura, más alto será la capacidad evaporativa.

Luego se tiene: 38,9 lb de agua a evaporarse
h

38,9 lb de agua evap/hr.
1,2 lb de agua evap./hr x ft^3 de cámara

32,42 ft^3 de cámara

Este dato será el volumen que debe tener la cámara.

En el manual del ingeniero químico (Jhon Perry 4^oEd), da las dimensiones esquemáticas de una cámara de Spray Draying, según el tipo cilíndrico.

$$V = 0,175\pi D^3$$

$$D/H = 0,7$$

$$32,42 \text{ ft}^3 = 0,175\pi D^3$$

$$D = 3,892 \text{ ft} = 1,19 \text{ m}$$

$$H = 5,56 \text{ ft} = 1,695 \text{ m} \approx 1,70 \text{ m}$$

Espesor de la cámara:

Asumiendo el 6% de pérdida respecto a un secador adiabático del calor introducido es: $Q = 8169 \text{ BTU/hr}$

Ecuación para hallar el espesor:

$$Q = \frac{k_f * A * \Delta T}{X(\text{espesor del recipiente})} \quad (92)$$

Donde:

K = conductividad térmica del acero quirúrgico = $0,4 \text{ BTU/hr -ft-}^\circ\text{F}$

A = Área lateral del cilindro (cámara)

ΔT = Caída de temperatura

X = Espesor de la cámara

Despejado la ecuación anterior:

$$X = \frac{k_f * 2\pi r h * \Delta T}{Q}, \text{ reemplazando datos se tiene:}$$

$$X = \frac{0,4 \text{ BTU/hr -ft - }^\circ\text{F} \times 2 \times 1,946 \text{ ft} \times 5,56 \text{ ft} \times 226,8^\circ\text{F}}{8169 \text{ BTU/hr}}$$

$$X = 0,240 \text{ ft} = 7,33 \text{ cm} \approx 3 \text{ pulgadas}$$

Potencia del Quemador:

La potencia del quemador para calentar aire se tiene que suministrar $136\ 150 \text{ BTU/hr}$, del dato se tiene como:

$$1 \text{ BHp} = 33\ 471 \text{ BTU/hr}$$

$$\text{Potencia} = \frac{136\ 150 \text{ BTU/hr}}{33\ 471} = 4,1 \text{ BHp} \approx 5 \text{ BHp}$$

$$\frac{33\,471 \text{ BTU/hr}}{1 \text{ BHp}}$$

Capacidad del Blower (Ventilador):

Como la cantidad a utilizarse es de 1341,1 lb de aire/hr y el volumen del aire a 302°F es de 19,29 ft³/lb, luego:

$$\frac{1341,1 \text{ lb de aire}}{60 \text{ min.}} \times 19,28 \frac{\text{ft}^3}{\text{Lb}} = 430,94 \text{ ft}^3 / \text{min.} = 12,20 \text{ m}^3 / \text{min.}$$

Presión del ventilador [10,12]:

$$h = m \cdot v^2 / 8 \text{ m.m.c.a.}$$

$$v = \text{velocidad del aire} = 19,5 \text{ m/s}$$

$$m = 0,66 \text{ (coeficiente de ventiladores del tipo II)}$$

$$h = 0,66 (19,5)^2 / 8 = 31,4 \text{ m.m.c.a.}$$

Potencia absorbida:

$$N = \frac{Q \times h}{e \cdot 75} \text{ Hp, donde:}$$

$$Q = \text{Caudal en metros cúbicos/s} = 0,203 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$h = \text{presión en m.m.c.a} = 31,4 \text{ m.m.c.a.}$$

$$e = \text{coeficiente de rendimiento} = 0,50$$

Reemplazando:

$$N = \frac{0,203 \text{ m}^3 / \text{s} \times 31,4 \text{ m.m.c.a.}}{0,50 \times 75} = 1/2 \text{ Hp}$$

Rotor:

$V = A/N$ r.p.m. con $Q = 12,20 \text{ m}^3 / \text{min.}$ Y la presión estática = 31,4 m.m.c.a. se obtiene de la gráfica de ventiladores centrífugos para instalaciones industriales.

$$A = 3200, \quad N = 3, \quad V = 3200/3 = 1067 \text{ r.p.m.}$$

Diseño del atomizador de rueda:

La fuerza requerida está dada por:

$$P_k = 3,325 \times 10^{-4} \cdot ML \cdot N^2 (D^2 - 1/2d^2),$$

Donde:

P_k = potencia

N = Velocidad de rotación r.p.m. (15,000)

ML = Proporción de carga operable en lb/min. = 1,7 lb./min.

d = diámetro de la gota en in. ($70,79 \times 10^{-4}$ cm = $2,8 \times 10^{-3}$ in)

D = diámetro del atomizador 6 pulgadas

Velocidad periférica = 400 ft/s

$$P_k = 3,325 \times 10^{-4} \times 1,7 \text{ lb/min} (15,000)^2 [36 - 1/2 (2,8 \times 10^{-3})^2]$$

$$P_k = \frac{0,499 \text{ kw} \times 1,379 \text{ hp}}{\text{Kw}} = 0,7 \text{ BHp}$$

Motor: $0,7/0,9 = 0,78$ hp.

De la tabla N° 2 de la revista Chemical Engineering progress N° 12, para un tipo de disco atomizador B-4 se tienen los siguientes datos:

Diámetro del disco : 6 in

Ancho de la paleta : 0,625 in

Longitud de la paleta : 1,0 in

Número de paletas ó abertura radial del atomizador: 18

Potencia Total del secador:

Una fórmula dada por el reporte sobre secado por atomizador aparecido en el Chemical Engineering (noviembre 1955) es como sigue:

$H_p \text{ total} = 0,018 \text{ Hp/libra de agua evaporada/hr}$, para éste caso la potencia será:

$$H_{p_{total}} = 0,018 \frac{\text{hp}}{\text{lb de agua evaporada /h}} \times 38,9 \text{ lb de agua evaporada/hr}$$

$$H_{p_{total}} = 1,0 \text{ hp}$$

d) Especificaciones.-

Datos operativos:

Debe de tener los siguientes:

- 1) Una cámara de secado de forma cilíndrica de ladrillo, con entradas tangenciales de aire frío, para mantener frías las paredes de la cámara de secado.
- 2) Un atomizador centrífugo de un velocidad de 15,000 RPM, hecho de acero especial. El atomizador es impulsado por una correa de transmisión en V, por un motor, todas las partes del atomizador expuestas al líquido y al polvo son de acero inoxidable, el atomizador debe llevar 18 paletas.
- 3) Dispensador de aire, especialmente diseñado para la distribución del aire dentro de la cámara de secado por las cuatro laterales y alrededor del disco giratorio.
- 4) Calentador de aire por medio de resistencia de un quemador de aire.
- 5) Un conductor para el aire de secado desde la entrada del aire hasta la cámara hecho de acero dúctil galvanizado.
- 6) Un conducto de salida de aire desde la cámara de secado hasta la tolva de filtro, hecho de lámina de acero galvanizado.
- 7) Un barredor de aire impulsado a motor de construcción especial para sacar el producto de la cámara de desecación.
- 8) Un ventilador para el transporte de aire a través del secador de rociado completo con correas de transmisión en V y motor.

- 9) Un filtro de aire para la limpieza del aire de secado que se colocará a la entrada del aire.
- 10) Sistemas para regular la alimentación del secador para conseguir una temperatura concreta de los gases de salida.
- 11) Un panel de instrumentos con amperímetro y termómetros automáticos para la temperatura de entrada y salida del aire de secado.
- 12) El atomizador será movable e independiente de la cámara para el desmontado y limpieza rápida y fácilmente.

e) Datos de construcción.-

1. Diámetro de la cámara: 1,19 m.
2. Altura de la cámara : 1,70 m.
3. Espesor: 7,33 cm= 3 pulgadas
4. Diámetro de los ductos: 10 cm
5. Horno: Cilíndrico concéntricos con quemador de potencia: 5 Hp.
6. Ventilador: Capacidad de 12,2 m³ /min
Velocidad: 1067 r.p.m.
Cabeza estática: 31,4 m.m.c.a.
Potencia de motor: 0,5 hp.
7. Atomizador: Capacidad: 0,0463 TM/h.

5.1.5. Diseño del secador para la concha de choro. Procedimiento de diseño.-

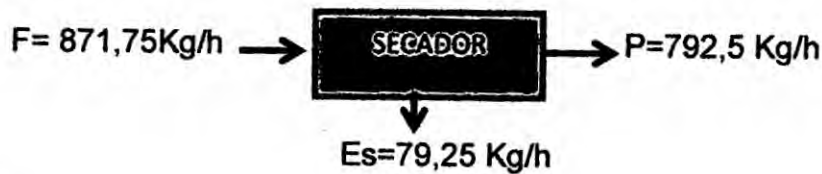
a) Bases de diseño:

- Tipo de proceso: Secador de conchas de choro (valvas ovoide cóncavo triangular)
- Tipo de secador: rotatorio directo
- Carga total: 1585 Kg/h de concha de choros
- Tiempo de secado: 30 minutos
- Condiciones de entrada del sólido:
 - 1) Alimentación: 792,5 Kg/h de concha de choros de tamaño, longitud 7,0 cm, ancho 4,0cm (Ls).
 - 2) Humedad de entrada : 10 %.
 - 3) Temperatura de ingreso : 24 °C.
 - 4) Temperatura de Salida : 38 °C.
 - 5) Capacidad calorífica : 0,85 Kcal/ Kg °C
- Condiciones de entrada y salida del aire caliente:
 - 1) Temperatura de ingreso del aire, (Ta) : 24 °C
 - 2) Humedad relativa de entrada : 78 %.
 - 3) Humedad leída de la carta a Ta: 24°C : $H_1 = 0,015 \frac{\text{kg de agua}}{\text{Kg aire seco}}$
 - 4) Temperatura de secado (T₂ aire caliente) : 90 °C. (194 °F)
 - 5) Temperatura de Salida aire (T₁ aire húmedo) : 40 °C.
 - 6) Humedad leída de la carta a Tw: 35,8°C : $H_W = 0,0395 \frac{\text{kg de agua}}{\text{Kg aire seco}}$
 - 7) Humedad de salida leída de la carta a Ts: 43°C : $H_2 = 0,0357 \frac{\text{kg de agua}}{\text{Kg aire seco}}$
 - 8) Capacidad calorífica(Cp) : 0,24 Kcal/ Kg °C

- 9) Intensidad de evaporación : 1,2 Kg agua/h m²
 10) Eficiencia Térmica total : 75,8 %
 11) Calor latente de vaporización del agua: $\lambda_v = 566,5$ Kcal/Kg a 43°C
 12) Velocidad másica de operación del aire: 2200 Kg/h m²

b) Calculo de capacidad:

Balance de materia en el secador rotatorio.



Donde:

F = Flujo de entrada de las conchas de choro lavado, 871,75Kg/h

P = Flujo de salida de conchas de choro seco, 792,5 Kg/h

Es = Cantidad de agua que debe evaporarse, 79,25 Kg/h

Xf = Fracción molar del flujo de entrada: 10%

Xp = Fracción molar del producto: 0,5%.

Cálculo de la cantidad de aire necesario:

La cantidad de aire necesario para extraer el agua a evaporarse en el secador determinamos considerando las condiciones ambientales de ventanilla, (localización de planta) y esto es:

- Temperatura promedio: 24°C
- Humedad relativa : (Hr) 78%

- Humedad absoluta (H_a), leída de la carta psicométrica es: 0,015 kg de agua/kg de aire seco.

Condiciones de ingreso del aire a la cámara de secado:

- Temperatura: $194^\circ\text{F} = 90^\circ\text{C}$
- $H_{a1} = 0,015$ Kg de agua/kg de aire seco.
- Se sabe que: $(H_s - H_a) = \frac{ht C_s}{hc \lambda} (T_a - T_s)$ (93)

Donde:

H_s = Humedad de saturación del aire a la temperatura de la superficie que se seca (T_s), Kg /Kg de aire seco.

H_a = Humedad del aire seco Kg /Kg de aire seco, (T_a).

H_w = Humedad saturada del aire a la temperatura T_w , Kg /Kg aire seco.

C_s = Calor específico del aire húmedo, Kcal/ Kg aire seco $^\circ\text{C}$

λ_s = Calor latente de vaporización, a T_s , Kcal/Kg.

- En la carta psicométrica seguirá una línea de enfriamiento adiabático.

Debido a la pérdida de calor en el ambiente que rodea al secador el funcionamiento es pocas veces adiabático y la temperatura final es algo inferior a T_1 (temperatura de salida del aire húmedo del secador). Consideramos 6% de pérdida de calor respecto a un secador adiabático del calor introducido:

Cálculo de la temperatura de saturación (T_s) [10,11]

$$0,06 = \frac{T_s - T_1}{T_2 - T_1} = \frac{(T_s - 40)^\circ\text{C}}{(90 - 40)^\circ\text{C}}$$

$$T_s = 43^\circ\text{C} = 109,4^\circ\text{F}$$

Con $T_s = 43^\circ\text{C}$ se obtiene de la carta psicométrica la:

$H_{a2} = 0,03571$ Kg de agua/kg de aire seco.

La cantidad de agua extraída por el aire es:

$$(0,03571 - 0,015) \frac{\text{Kg de agua}}{\text{Kg de aire seco}} = 0,0207 \text{ Kg de agua/kg de aire seco}$$

Debemos de extraer 79,25 kg de agua/hora, luego la cantidad de aire necesario será:

$$\frac{79,25 \text{ kgrs de agua}}{h} \times \frac{1 \text{ kgrs de aire seco}}{0,0207 \text{ kgrs. de agua}}$$

3828,5 kg de aire/h, o 8440,5 lb de aire/ h.

Cálculo de cantidad de las unidades de transferencia de calor

Análisis en el interior del secador, según Manual del Ingeniero Químico [11]:

$$T_c = T_2 - \frac{C_s G}{C_p L_s} (t_2 - T_w) \quad (94)$$

Donde: T_c = Temperatura crítica dentro del secador, °C, los otros términos son conocidos.

Para hallar T_w se asume que la Psicometría de la mezcla de gas propano – aire es la misma que la del aire, Según el manual del ingeniero químico.

$$T_G - T_w = \frac{\lambda_w (y'_w - Y_w)}{\frac{h_G}{k_y}} \quad (95)$$

$$y'_w = \frac{P_v}{P_T - P_v} \left(\frac{M_v}{M_a} \right) \quad (96)$$

Donde:

y'_w = Contenido de vapor, Kg/Kg aire seco

P_v = Presión parcial del vapor en el aire

M_v = Peso molecular del vapor

M_a = Peso molecular del aire

k_y = Coeficiente de transferencia de masa,

h_G = Coeficiente de transferencia de calor

Según, Manual del Ingeniero Químico de John Perry.

$$\frac{h_G}{k_y} = 0,294(Sc)^{0,56} \quad (97)$$

$Sc = 0,6$ a 3 , suponemos un valor intermedio, $Sc = 2$

$$\frac{h_G}{k_y} = 0,294(2)^{0,56} = 0,431 \text{ BTU/lb } ^\circ\text{F}$$

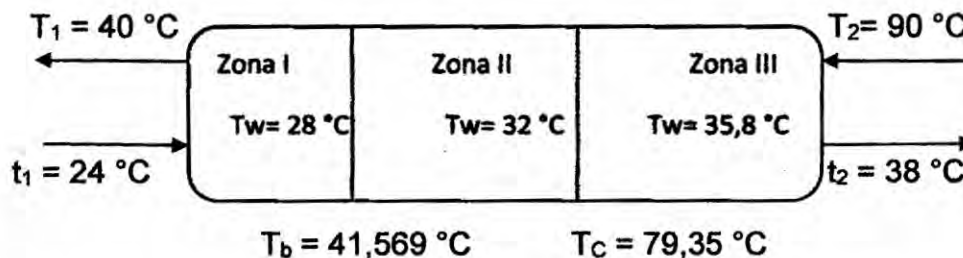
Con $T_G = 90$ °C en la ecuación 97y 96 calculamos C_s , H_2 , λ , T_c y T_w por prueba y error, Siendo $T_c = 79,35$ °C.

En forma similar calculamos T_b , con :

$$T_b = T_1 + \frac{L}{G} \left(\frac{C_p + X_1 C_w}{C_s} \right) (T_w - t_1) \quad (98)$$

Con $T_1 = 40$ °C en la ecuación 97y 100 calculamos C_s , H_2 , λ , T_c y T_w por prueba y error, Siendo $T_b = 41,57$ °C.

En contra corriente:



Calculamos el número de unidades de transferencia de calor, N_t .

Zona I:

$$N_{II} = \frac{T_b - T_1}{\frac{(T_b - T_w) - (T_1 - t_1)}{\ln \frac{(T_b - T_w)}{(T_1 - t_1)}}} \quad (99)$$

$$N_{II} = \frac{41,567 - 40}{\frac{(41,567 - 28) - (40 - 24)}{\ln \frac{(41,567 - 28)}{(40 - 24)}}} = 0,1062$$

Zona II.

$$N_{II} = \frac{T_c - T_b}{\frac{(T_c - T_w) - (T_b - T_w)}{\ln \frac{(T_c - T_w)}{(T_b - T_w)}}} \quad (100)$$

$$N_{II} = \frac{79,35 - 41,567}{\frac{(79,35 - 32) - (41,567 - 32)}{\ln \frac{(79,35 - 32)}{(41,567 - 32)}}} = 1,5992$$

Zona III

$$N_{III} = \frac{T_2 - T_c}{\frac{(T_2 - t_2) - (T_c - T_w)}{\ln \frac{(T_2 - t_2)}{(T_c - T_w)}}} \quad (101)$$

$$N_{III} = \frac{90 - 79,35}{\frac{(90 - 38) - (79,35 - 35,8)}{\ln \frac{(90 - 38)}{(79,35 - 35,8)}}} = 0,2237$$

$$N_t = 0,1062 + 1,5992 + 0,2237 = 1,93 \approx 2,0$$

El valor calculado está en rango recomendado (1,5 a 2,0)

Calculamos la longitud del secador, L.

$$L = L_t \times N_t \quad (102)$$

Donde: L_t = Longitud de la unidad de transferencia de calor

Para cálculo respectivo hemos usado la siguiente ecuación:

$$L_t = 0,026 C_p (G_s)^{0,84} D \quad (103)$$

Donde:

G_s = Velocidad másica de operación del aire, kg/h m²

C_p = Calor específico del aire para el calentamiento, Kcal/ kg °C

D = Diámetro del secador, m

Según Manual del Ingeniero Químico de John Perry 4° edición, la velocidad másica de operación del aire en secadores rotatorios oscilan entre 1000 a 50 000 kg/h m²,

Por lo que, asumimos que $G_s = 2200 \text{ kg/h m}^2$.

Sabemos que [10]:

$$A_{ST} = \frac{\dot{G}}{\dot{G}_s} \quad (104)$$

$$A_{ST} = \pi/4 D^2$$

Donde:

A_{ST} = área de sección transversal del secador, m²

G = Velocidad másica de aire necesario que ingresa al secador, Kg/h

$$D = \sqrt{\frac{4 \dot{G}}{\pi \dot{G}_s}} \quad (105)$$

Reemplazando los datos tenemos:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 3828,5 \text{ Kg/h}}{\pi \times 2200 \text{ kg/h m}^2}} = 1,49 \text{ m}$$

Calculamos la longitud de una unidad de transferencia de calor con la ecuación según ecuación 103.

$$L_t = 0,026 \text{ m}^2 \text{ °C/ Kcal} \times 0,24 \text{ Kcal/kg °C} (2200 \text{ Kg/h m}^2)^{0,84} (1,49) \text{ m}$$

$$L_t = 5,97 \text{ m}$$

La longitud necesaria del secador rotatorio es:

$$L = 5,97 \times 1,93 = 11,52 \text{ m}$$

Las dimensiones del secador determinados de esta forma debe de estar comprendido en: $4 < L/D < 10$, $11,52/1,49 = 7,73$ $4 < 7,73 < 10$

Por lo tanto este valor está en el rango del tamaño normalizado.

El volumen del secador es: $V_s = \pi/4 D^2 L = \pi/4(1,49)^2 \times 11,52 = 20,09 \text{ m}^3$

$$V_s = 20,09 \text{ m}^3$$

c) Dimensionamiento.-

Diseño de la cámara de secado:

$$D = 1,49 \text{ m y } L = 11,52 \text{ m} = 37.8 \text{ ft}$$

En el manual del ingeniero químico (Jhon Perry 4^oEd), da que los secadores rotatorios trabajan a una velocidad periférica de 9 a 46 m/ min., esto es: $ND = 7$ a 11 , donde:

- N = velocidad de rotación de la cámara de secado cilíndrico, RPM,

$$N = 9/ D = 9/1,49 = 6,04 \approx 6 \text{ RPM}$$

Asimismo, el número de aletas es: $6,5D$ a $11,5D$, asumiendo $10D$ tenemos:

- Número de aletas = $10 \times 1,49 = 14,9 \approx 15$ aletas
- Altura de la aleta = $D/8 = 1,49/8 = 0,2418 \approx 24 \text{ cm}$.
- La inclinación de la cámara de secado (cilíndrico) varía entre 0 y 0,08 m/m, se obtiene asumiendo que el secador trabajar con una retención del material de 7%.

Calculo de cantidad de calor total transmitido, Kcal/h.

$$\text{Usando la siguiente ecuación: } q_t = U_a V (\Delta t)_m \quad (106)$$

Donde:

q_t = Calor total transmitido Kcal/ h

U_a = Coeficiente volumétrico de transmisión de calor, Kcal/ h m^3

V = Volumen del secador, 20,09 m³

(Δt)_m = Diferencia media de temperatura total o real del aire caliente y el material.

$$(\Delta t)_m = 14,75 + 23,63 + 47,65 = 86,03$$

$$\text{Calculamos con: } U_a = 38 G_s^{0,16} / D \quad (107)$$

Reemplazando los valores en la ecuación, (109).

$$U_a = 38 (2200 \text{ Kg/h m}^2)^{0,16} / 1,49 \text{ m} = 87,38 \text{ Kcal/h m}^3$$

$$U_a = 87,38 \text{ Kcal/h m}^3$$

$$q_t = 87,38 \text{ Kcal/h m}^3 \times 20,09 \text{ m}^3 \times 86,03 = 151\,013 \text{ Kcal/h}$$

$$q_t = 151\,013 \text{ Kcal/h} = 599\,268,67 \text{ BTU/h}$$

Espesor de la cámara:

Asumiendo el 6% de pérdida respecto a un secador adiabático del calor introducido es: $Q = 19061,4 \text{ Kcal/h} = 35958 \text{ BTU/h}$

Ecuación para hallar el espesor:

$$Q = \frac{k_f * A * \Delta T}{X(\text{espesor del recipiente})} \quad (108)$$

Donde:

K = conductividad térmica del acero quirúrgico = 0,4 BTU/hr -ft-°F

A = Área lateral del cilindro (cámara)

ΔT = Caída de temperatura

X = Espesor de la cámara

Despejado la ecuación anterior:

$$X = \frac{k_f * 2\pi r h * \Delta T}{Q}, \text{ reemplazando datos se tiene:}$$

$$X = \frac{0,4 \text{ BTU/hr-ft} \cdot \text{°F} \times 2 \times \pi \times 2,444 \text{ ft} \times 37,8 \text{ ft} \times 90 \text{ °F}}{35958 \text{ BTU/h}}$$

$$X = 0,58 \text{ ft} = 17,71 \text{ cm} \approx 7 \text{ pulgadas}$$

Potencia del Quemador:

La potencia del quemador para calentar aire se tiene que suministrar 598 822,4 BTU/hr, del dato se tiene como:

$$1 \text{ BHp} = 33\,471 \text{ BTU/hr}$$

$$\text{Potencia} = \frac{599\,268,67 \text{ BTU/h}}{33\,471 \text{ BTU/h}} = 17,9 \text{ BHp} \approx 18 \text{ BHp}$$

Diseño del Ventilador:

Como la cantidad a utilizarse es de 3828,5 Kg de aire/h y el volumen del aire a 90°C es de 1,0277 m³/Kg, luego:

$$\frac{3828,5 \text{ Kg de aire}}{60 \text{ min.}} \times \frac{1,0277 \text{ m}^3}{\text{Kg aire}} = 65,6 \text{ m}^3 / \text{min}$$

Presión del ventilador [10,12]:

$$h = m \cdot v^2 / 8 \text{ m.m.c.a.}$$

$$v = \text{velocidad del aire} = 20 \text{ m/s}$$

$$m = 0,8 \text{ (coeficiente de ventiladores del tipo I)}$$

$$h = 0,8 (20)^2 / 8 = 40 \text{ m.m.c.a.}$$

Potencia absorbida, Pa:

$$P_a = \frac{Q \times h}{\text{Hp}}, \text{ donde:}$$

$$e.75$$

$Q = \text{Caudal en metros cúbicos/s} = 1,093 \text{ m}^3/\text{s}$

$h = \text{presión en m.m.c.a} = 40 \text{ m.m.c.a.}$

$e = \text{coeficiente de rendimiento} = 0,45$

Reemplazando:

$$P_a = \frac{1,093 \text{ m}^3/\text{s} \times 40 \text{ m.m.c.a.}}{0,45 \times 75} = 1,3 \text{ hp}$$

$$P_f = 1,3 \times 1,5 \text{ (coeficiente de seguridad)}$$

$$P_f = 1,94 \text{ hp} \approx 2 \text{ hp}$$

Rotor:

$\eta = A/N$ r.p.m. con $Q = 65,6 \text{ m}^3/\text{min.}$ y la presión estática = 40 m.m.c.a. se obtiene de la gráfica de ventiladores centrífugos para instalaciones industriales.

$$A = 3650, N = 2, \eta = 3650/2 = 1825 \text{ r.p.m.}, \Phi = 200\text{mm,}$$

$\Phi = \text{diámetro del rotor}$

Potencia Total del secador:

La potencia total necesaria, calculamos con $9D^2 = 9(1,49)^2 =$

$$19,981 \text{ CV} = 19,70 \text{ hp}$$

d) Especificaciones.-

El secador rotatorio debe de tener los siguientes:

- 1) Una cámara de secado de forma cilíndrica de acero, inclinada con un ángulo de 4° con una rotación de 6 RPM, transmitido por un motor.
- 2) En el interior del cilindro debe contener 15 aletas para la remoción de las conchas de choro.

- 3) Distribuidor del aire dentro de la cámara de secado.
- 4) Calentador de aire por medio de resistencia.
- 5) Un conducto de salida de aire desde la cámara de secado hacia la atmosfera.
- 6) Un ventilador para el transporte de aire a través del secador rotatorio.
- 7) Sistemas para regular la alimentación del secador para conseguir una temperatura concreta de los gases de salida.
- 8) Un panel de instrumentos con amperímetro y termómetros automáticos para la temperatura de entrada y salida del aire de secado.

e) Datos de construcción.-

1. Diámetro de la cámara : 1,49 m
2. Longitud de la cámara : 11,52 m.
3. Espesor del cilindro del secador: 17,71 cm= 7 pulgadas.
4. Horno: Cilíndrico concéntricos con quemador de potencia: 19,70 Hp.
5. 15 aletas dentro del cilindro.
6. Velocidad de rotación de la cámara de secado: 6RPM
7. Ventilador: Capacidad de 65,6 m³ /min

Velocidad: 1825 RPM

Velocidad de entrada del aire: 20 m/s

Cabeza estática: 40 m.m.c.a.

Potencia de motor: 2 hp.

5.2. Diseño de equipos de uso genérico.-

5.2.1. Diseño de la bomba para la solución de cloruro de calcio y potasio.

Procedimiento de diseño.-

a) Bases de diseño:

Característica de la solución

Flujo (Q) : 22,32. GPM

Gravedad específica (S) : 1,13

Densidad (ρ) : 71.64 lb/ft³

Viscosidad (μ) : 0,79 cp

Temperatura (T) : 40 °C

Tiempo de bombeo (t) : 20 min.

b) Calculo de la capacidad

$$NPSH = P_{atm} + L_H - (P_v + \Delta P_{fs}) \quad (109)$$

Calculamos el diámetro de la tubería (o línea) de succión:

Asumiendo que sea una línea de 2" = diámetro

Se hace el chequeo de la velocidad (v):

$$v = 0,408 \frac{Q}{d^2} \quad (110)$$

Donde :

d: diámetro de línea en pulg.

Q: caudal GPM

Para un diámetro nominal de 2 pulg. de diámetro el di = 1,74 in

$$v = 0,408 * \frac{22,32 \text{ GPM}}{1,74^2} = 3,008 \text{ ft/seg}$$

Rango de velocidad recomendado para la succión: [1-3 ft/seg]

$v = 3,008$ se asume dentro del rango

$d = 2''$

Calculo de la caída de presión por fricción en la succión (ΔP_{fs}):

$$\Delta P_{fs} = \Delta P_{100} * Le * S$$

ΔP_{100} = Caída de presión por cada 100 ft de línea

Le = Longitud equivalente, ft.

S = Gravedad especifica

Con $Q = 22,32 \text{ GPM}$ y $\mu/s = 0,79/1,13 = 0,7$

Se obtiene de la gráfica $\Delta P_{100}/s = 0,24$

Calculo de Le

Línea de 2" = 3,28 ft

Conexión = 0,08 ft

Válvula de compuerta = 6,5 ft **$Le = 13,36 \text{ ft}$**

Filtro = 0,5 ft

Reductor de 2" a 1" = 3 ft

$$\text{Reemplazando: } (\Delta P_{fs}) = 0,24 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} * \frac{13,36 \text{ ft}}{100 \text{ ft}} * 1,13 = 0,037 \frac{\text{lb-f}}{\text{in}^2}$$

Calculo de la presión de succión (ΔP_s):

Calculo de la presión hidrostática: (L_s)

$$P = \rho gh = 71,64 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} * 32,2 \frac{\text{ft}}{\text{s}^2} * 11,155 \text{ ft} = 25732,44 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2}$$

$$25732,44 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} * \frac{\text{lb-f} * \text{s}^2}{32,174 \text{ ft lb}} = 799,79 \frac{\text{lb-f}}{\text{ft}^2} \frac{\text{ft}^2}{(12 \text{ in})^2} = 5,6 \frac{\text{lb-f}}{\text{in}^2}$$

$$\Delta P_s = L_s - \Delta P_{fs} = (5,6 - 0,037) \text{ lb-f / in}^2 = 5,563 \text{ lb-f / in}^2$$

Calculo de la presión de vapor:

De tablas, para una solución ; $P_v = 0,58 \text{ lb-f / in}^2$

Calculo de NPSH para la solución:

$$\text{NPSH} = P_{atm} - P_v + \Delta P_s = 14,7 - 0,58 + 5,563 = 19,63 \text{ lb-f / in}^2$$

$$19,63 \frac{\text{lb-f}}{\text{in}^2} * 32,2 \frac{\text{lb-f}}{\text{lb-f} * \text{s}^2} \frac{144 \text{in}^2}{\text{ft}^2} \frac{\text{s}^2}{32,2 \text{ft}} * \frac{\text{ft}^3}{71,64 \text{lb}} = 39,5 \text{ft}$$

Presión de descarga (Pd):

$$\Delta P_D = C_{eD} - \Delta P_{fD}$$

Calculo del diámetro de la línea de descarga

Asumiendo un diámetro nominal de 1 pulg. ($d_i = 1,31$)

Chequeo de la velocidad

$$v = 0,408 * \frac{22,32}{1,31^2} = 5,30 \text{ ft/seg.}$$

Rango de velocidad de descarga [3 – 10] ft / seg. Está en del rango

Diámetro = 1"

Calculo de la caída de presión en la descarga, por fricción (ΔP_{fD})

$$\Delta P_{fD} = \Delta P_{100} * L_e * S$$

Con $Q = 22,32 \text{ GPM}$ y $\mu/S = 0,79/1,13 = 0,7$

De la gráfica para un diámetro de 1"

$$\frac{\Delta P_{100}}{S} = \frac{2,0 \text{lb/in}^2}{100 \text{ft}}$$

Calculo de la carga estática de descarga (Led)

$$L_{e_D} = \frac{14,764 \text{ft}}{2,31} * 1,13 = 7,37 \text{lb-f/in}^2$$

ΔP_d : Presión de descarga

$$\Delta P_d = (7,37 + 1,24) = 8,61 \text{lb-f/in}^2$$

Carga estática total

$$\Delta(P_d - P_s) = (8,61 - 5,563) = 3,05 \text{lb-f/in}^2$$

$$\Delta P = 7,1 \text{ft de agua.}$$

Calculo de la potencia hidráulica P(hp)

$$P(\text{Hp}) = \frac{\Delta P * Q}{1714 * \eta_B} \quad \eta_B : \text{Eficiencia de la bomba}$$

$$B(\text{hp}) = \frac{3,05 \text{lb-f/in}^2 * 22,32 * 7,1}{1714 * 0,6} = 0,45$$

$$\text{Motor} , \frac{BHp}{0,9} = \frac{0,45}{0,9} = 1/2 \text{hp}$$

5.2.2. Diseño de la faja transportadora al secador. Procedimiento de diseño.-

a) Bases de diseño:

Material a transportar : Concha de choros lavados

Capacidad requerida : 793 Kg/h

Granulometría del material : 4,41 cm

Gravedad específica (S) : 1,5 kg/h

Longitud horizontal de transporte: 4 m

Rodillos de soporte y ángulo de concavado: 35° grados de inclinación de rodillo

Angulo de inclinación de la cinta: 18° (tablas).

Coefficiente de corrección por inclinación de cinta 18° : 0,85

Velocidad de la cinta : 0,5 m/s

b) Calculo de la capacidad.-

Capacidad teórica = $\frac{\text{Capacidad real}}{\text{coeficiente de correccion de concavado y descarga x coef.inclinacion}}$

Capacidad teórica = $\frac{793 \text{ kg/h}}{1,303 \cdot 085} = 716 \text{ kg/h}$

Con esta capacidad teórica, para una velocidad 0,5 m/s le corresponde un ancho de la faja transportadora de 900 mm (tabla, industrias Pirelli)

Calculo de la potencia efectiva, P [Diseño de transportadores, según John Perry 4° edición]:

$$P = \frac{P_t}{\eta_1 \cdot \eta_2} \quad (111)$$

Donde:

P_t = Potencia teórica en hp

Q = peso de la carga en Kg/m = 881,1 Kg/m

η_1 = rendimiento de transporte de polea = 0,8

η_2 = rendimiento del reductor = 0,98

q_1 = peso de la parte móvil del tramo superior = 6,6 kg/m

q_2 = peso de la parte móvil del tramo inferior = 0,7 kg/m

f = coeficiente de fricción producida por Q = 0,33 Kg/m

f_1 = coeficiente de fricción producida por q_1 = 0,33 Kg/m

f_2 = coeficiente de fricción producida por q_2 = 0,05 Kg/m

F_t = Fuerza total de tracción, Kg.

L = longitud de transporte del material = 4 m

$$F_t = Q * f * L + L(q_1 f_1 + q_2 f_2) \quad (112)$$

$$F_t = 881,1 \text{ Kg/m} * 0,33 * 4\text{m} + 4\text{m}(6,6 * 0,33 + 0,7 * 0,05)\text{Kg/m}$$

$$F_t = 1171,9 \text{ kg}$$

Ahora.

$$P_t = \frac{F_t * v}{75} \quad (113)$$

$$P_t = \frac{1171,9 \text{ Kg} * 0,5 \text{ m/s}}{75}$$

$$P_t = 7,81 \text{ hp}$$

En la ecuación 113, tenemos:

$$P_t = \frac{7,81}{0,8 * 0,98}$$

$$P_t = 9,96 \text{ hp} \approx 10 \text{ hp}$$

5.2.3. Diseño de la faja transportadora al reactor-digestor. Procedimiento de diseño.-

a) Bases de diseño:

Material a transportar : Concha de choro molido

Capacidad requerida : 603,3 Kg/h

Granulometría del material : malla 40

Gravedad específica (S) : 1,5 kg/h

Longitud inclinada ascendente : 4,73 m

Altura a transportar : 2,52 m

Rodillos de soporte y ángulo de concavado: 35° grados de inclinación de rodillo

Angulo de inclinación de la cinta: 18° (tablas).

Coefficiente de corrección por inclinación de cinta 18° : 0,85

Velocidad de la cinta : 0,5 m/s

b) Calculo de la capacidad.-

Capacidad teórica = $\frac{\text{Capacidad real}}{\text{coeficiente de correccion de concavado y descarga x coef.inclinacion}}$

Capacidad teórica = $\frac{603,3 \text{ kg/h}}{1,303 \cdot 0,85} = 545 \text{ kg/h}$

Con esta capacidad teórica, para una velocidad 0,5 m/s le corresponde un ancho de la faja transportadora de 900 mm (tabla, industrias Pirelli)

Calculo de la potencia efectiva, P [Diseño de transportadores, según John Perry 4° edición]:

$$P = \frac{P_t}{\eta_1 \cdot \eta_2} \quad (114)$$

Donde:

P_t = Potencia teórica en hp

Q = Peso de la carga en Kg/m = 670 Kg/m

η_1 = Rendimiento de transporte de polea = 0,8

η_2 = Rendimiento del reductor = 0,98

q_1 = Peso de la parte móvil del tramo superior = 6,6 kg/m

q_2 = Peso de la parte móvil del tramo inferior = 0,7 kg/m

f = Coeficiente de fricción producida por Q = 0,33 Kg/m

f_1 = Coeficiente de fricción producida por q_1 = 0,33 Kg/m

f_2 = Coeficiente de fricción producida por q_2 = 0,05 Kg/m

F_t = Fuerza total de tracción, Kg.

L = Longitud de transporte del material = 4,0 m.

H = Altura a transportar el material sólido = 2,52 m.

$$F_t = Q * H + Q * f * L + q_1(Lf_1 + H) + q_2(Lf_2 + H) \quad (115)$$

$$F_t = 603,3 * 2,52 + 603,3 * 0,33 * 4 + 6,6(4 * 0,33 + 2,52) + \\ 0,7(4 * 0,05 + 2,52)$$

$$F_t = 2343,9 \text{ kg}$$

Ahora:

$$P_t = \frac{F_t * v}{75} \quad (116)$$

$$P_t = \frac{2343,9 \text{ Kg} * 0,5 \text{ m/s}}{75}$$

$$P_t = 15,6 \text{ hp}$$

En la ecuación 116, tenemos:

$$P_t = \frac{15,61}{0,8 \cdot 0,98}$$

$$P_t = 19,93 \text{ hp} \approx 20 \text{ hp}$$

5.2.4. Diseño del molino de martillo. Procedimiento de diseño.-

Potencia consumida por el molino Kw h/TM.

$$P = W_i \left(\frac{100}{\text{prod}} \right)^{1/2} * \left(\frac{\sqrt{r}-1}{\sqrt{r}} \right) \quad (117)$$

W_i = Índice de trabajo (Tabla de Perry) = 6

$$\sqrt{r} = \left(\frac{F}{P} \right)^{1/2} \quad (118)$$

F = Tamaño de partícula alimentada = 4,41 cm

P = Tamaño de partícula del producto que es a 40 malla = 420micrones

Reemplazando en la formula

$$\sqrt{r} = \left(\frac{44100}{420} \right)^{1/2} = 10,25$$

$$P = 6 * \left(\frac{100}{420} \right)^{1/2} * \left(\frac{10,25 - 1}{10,25} \right) = 2,64 \text{ Kw h/TM}$$

$$\frac{2,64 \text{ Kw h}}{\text{TM}} * \frac{1,34 \text{ hp h}}{\text{Kw h}} * \frac{0,793 \text{ TM}}{\text{h}} = 2,8 \text{ hp} \approx 3 \text{ hp}$$

5.2.5. Diseño del tamiz. Procedimiento de diseño.-

Según, Denver-Dillon (Vibrating screens)

$$\text{Área} = \frac{T - 0,5T}{A * B * C * D * E} \quad (119)$$

A, B, C, D Son datos del fabricante

$$A = 0,43$$

$$B = 0,5$$

$$C = D = E = 1$$

P = producto de salida = 1207 Kg/h

T = Carga total = P + R (rechazo)

P_T = Potencia total.

$$R = \frac{ef}{e^{\wedge} + V_r + 1} * P \quad (120)$$

$$V_r = 0,85$$

$$e^{\wedge} = \text{eficencia} = 0,98$$

ef = Porcentaje de tamaño de mayor altura de alimentacion = 0,878

$$R = \frac{0,878}{0,98 + 0,85 + 1} * 1,207 \text{ TM/h} = 375 \text{ Kg/h}$$

$$T = 1,207 + 375 = 1,582 \text{ TM/h}$$

$$\text{Área} = \frac{1,582 - 0,5 * 1,582}{0,43 * 0,5 * 1 * 1 * 1} = 3,7 \text{ ft}^2$$

Según el Denver:

$$P = 0,12 \text{ hp/ft}^2$$

$$P_1 = 0,12 * 3,7 / 0,6 = 0,74 \text{ hp} \approx 1 \text{ hp}$$

Dimensiones del tamiz

$$\text{Longitud} = 1,6a$$

$$\text{Ancho, } A = a$$

$$3,7 = 1,6 * a^2$$

$$A = 1,52 \text{ ft} = 0,463 \text{ m}$$

$$L = 2,43 \text{ ft} = 0,742 \text{ m}$$

5.3. Listado de los equipos y maquinarias de la planta industrial.-

Cuadro N°45. Lista de equipos y maquinarias

Especificaciones	Capacidad m ³	Unidad	Potencia hp
Reactor-digestor	6,1	1	
Reactor- precipitador	1,84	1	
Tanque lavador-sedimentador	5,68	1	
Secador rotatorio	20,09	1	19,7
Secador por atomización	1,88	1	1
Bombas		3	1/2
Molino de martillo		1	3
Tamizador		1	1
Ventilador		1	2

Fuente: Elaboración propia

5.4. Disposición de Planta (Plan Layout)

Para la distribución de la planta de obtención de citratos de calcio y magnesio a partir de la concha de choro se ha tomado las siguientes áreas:

SS (Superficie Estática)

SG (Superficie Gravitacional)

SE (Superficie Evolutiva)

Determinación de la Superficie Estática y gravitacional de los equipos:

Secador rotatorio:

$$SS = 1,49 * 11,52 = 17,2m^2$$

$$Sg = 1,44 * 4 = 68,7m^2$$

Molino:

$$SS = 0,6 * 1 = 0,6m^2$$

$$Sg = SS * 4 = 2,4m^2$$

Tamizador:

$$SS = 0,928 \times 0,58 = 0,538\text{m}^2$$

$$Sg = SS * 4 = 2,154\text{m}^2$$

Reactor-digestor:

$$SS = \pi \times \frac{1,84^2}{4} = 2,66 \text{ m}^2$$

$$Sg = 2 * SS = 5,43 \text{ m}^2$$

Reactor- precipitador:

$$SS = \pi \times \frac{1,29^2}{4} = 1,31\text{m}^2$$

$$Sg = 2 * SS = 2,61\text{m}^2$$

Lavador - sedimentador:

$$SS = \pi \times \frac{1,87^2}{4} = 2,75 \text{ m}^2$$

$$Sg = 2 * SS = 5,49\text{m}^2$$

Secador por atomización:

$$SS = \pi \times \frac{1,19^2}{4} = 1,12 \text{ m}^2$$

$$Sg = 2 * SS = 2,3 \text{ m}^2$$

Bombas:

$$SS = 0,6 \times 0,6 = 0,36 \text{ m}^2$$

$$Sg = 4 * SS = 1,44 \text{ m}^2$$

Tanque de agua: Estos tanques estarán ubicados por encima de los reactores, para disminuir el área de proceso y por ende los costos.

Para determinar la Superficie evolutiva se empleara la siguiente expresión:

$$SE = k * (SG + SS) \quad (121)$$

Donde: K= 0.6 (Para industrias químicas)

Con las ecuaciones mostradas anteriormente podemos resumir nuestros cálculos en el cuadro N°46.

El área total de la planta se ha evaluado teniendo en cuenta el área del proceso, área futura y el área administrativa.

Cuadro N°46. Área del proceso.

EQUIPO	Unidades	SS	SG	SE	Área total(m²)
Reactor-digestor	1	2,66	5,43	4,85	12,94
Reactor- precipitador	1	1,31	2,61	2,35	6,27
Tanque lavador-sedimentador	1	2,75	5,49	4,94	13,18
Secador rotatorio	1	17,2	68,7	51,54	137,44
Secador por atomización	1	1,12	2,3	2,05	5,47
Bombas	3	0,36	1,44	1,08	8,64
Molino de martillo	1	0,6	2,4	1,8	4,80
Tamizador	1	0,538	2,154	1,62	4,31
Ventilador	1	0,25	1,00	0,75	2,00
Sub TOTAL					195,05
Área futura					195,05

Fuente: Elaboración propia

Calculamos el área administrativa teniendo en cuenta las siguientes áreas:

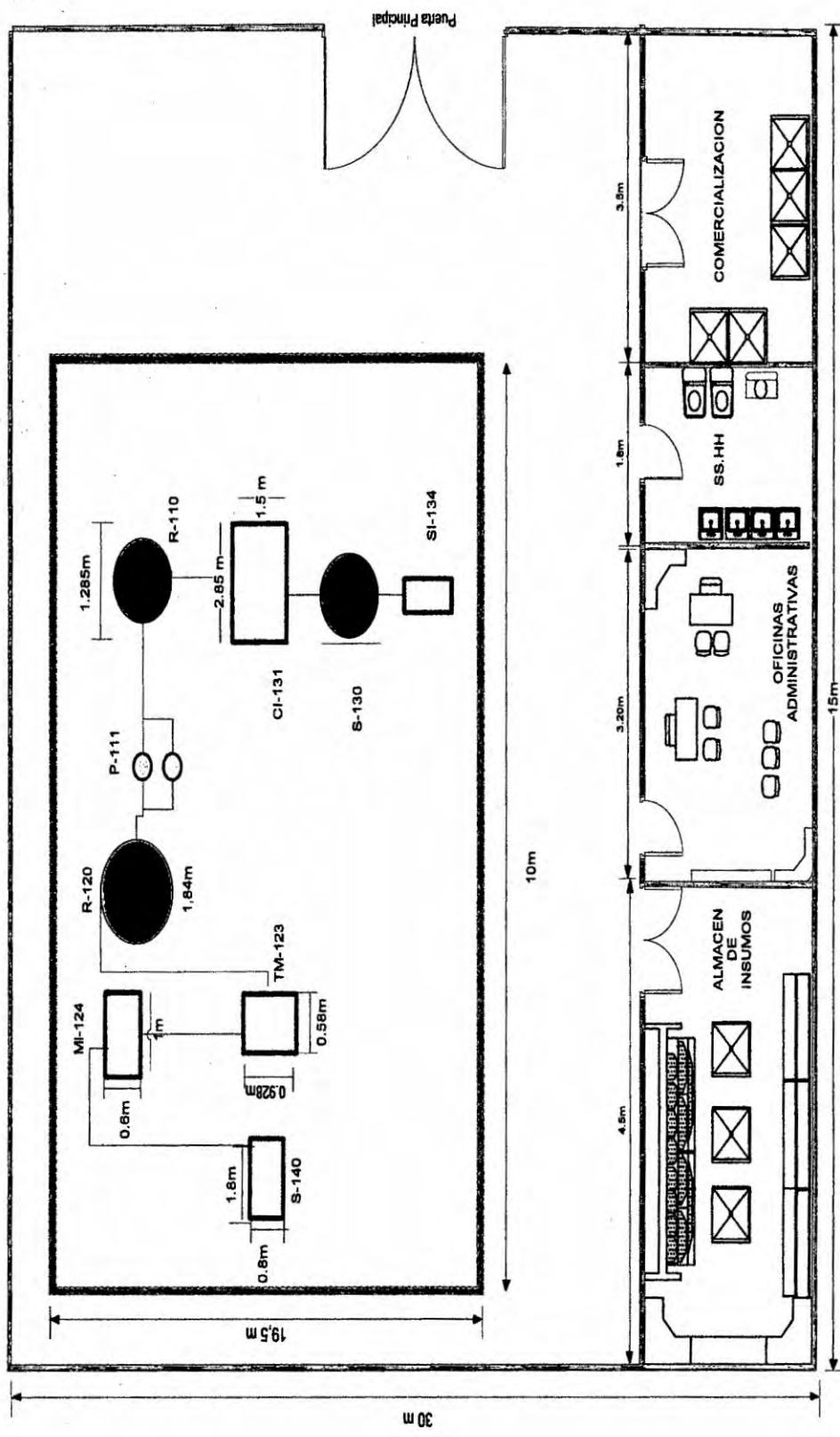
Cuadro N°47. Área administrativa [10].

AREAS	Dimensiones	Área Total (m²)
Área de administración: Oficina para dos escritorios	4,00 x 3,20	12,80
SS.HH. Consideramos 2 inodoros, 1 urinario y 4 lavamanos para 15 personas.	4,00 x 3,80	15,20
Comercialización: Tomando en cuenta el movimiento de la producción.	4,00 x 3,5	14,00
Almacén de insumos: Considerando el nivel de producción	4,00 x 4,50	18,00
Total		60,00

Fuente: Elaboración propia

Área total = 195,05 + 195,05 + 60 = 450 m².

PLAN LAYOUT



VI. EVALUACION ECONOMICA

6.1. Estimación del costo total de producción.-

Para realiza el aspecto económica se debe hacer el balance de materia y para ello debemos concordar como el tamaño de planta optima:

$$\text{CTP} = \text{COSTO DE FABRICACION} + \text{COSTO GENERALES}$$

$$\text{COSTO DE FABRICACION} = \text{Costos Directos de Producción} + \text{Costos Fijos} + \text{Costos Generales de Planta}$$

- Costos directos de producción: $0.385 \text{ CTP} + 0.11 \text{ ICF}$

	Costos directos de producción
Materia prima	Por el balance
Mano de obra	$0,15 * \text{CTP}$
Supervisión de operación	$0,15 * 0,15 * \text{CTP}$
Servicios auxiliare	$0,15 * \text{CTP}$
Mantenimiento y reparación	$0,10 * \text{ICF}$
Suministro de operación	$0,01 * \text{ICF}$
Costos de laboratorio	$0,15 * 0,15 * \text{CTP}$
Regalías y patentes	$0,04 * \text{CTP}$

- Costos Fijos: $= 0,18 * \text{ICF}$

	Costos fijo
Depreciación	$0,05 * \text{ICF}$
Impuestos Locales	$0,03 * \text{ICF}$
Seguros	$0,01 * \text{ICF}$
Alquileres	$0,09 * \text{ICF}$

- Costos generales de planta: $0,10 * \text{CTP}$

COSTOS GENERALES: Costos de Administración+ Costos de Distribución y Comercialización + Costos de Investigación y Desarrollo.

	Costo parcial
Costos de administración	0,03*CTP
Costo de distribución	0,10*CTP
Costo de investigación	0,05*CTP

Por lo tanto:

$$\text{CTP} = \text{COSTOS DE FABRICACION} + \text{COSTOS GENERALES}$$

- La variable a determinarse es la ICF:

$$\text{ICF} = \text{COSTOS DIRECTOS} + \text{COSTOS INDIRECTOS}$$

COSTOS DIRECTOS= costo de equipo + instrumentación + tuberías y cañerías instaladas + instalación eléctrica o equipo eléctrico + aislamiento+ pintura + obras civiles + instalación de servicios y mejoras del terreno + costo del terreno.

	Costo parcial
costo de equipo	0,30ICF
Instalación + aislamiento + pintura	0,40Costo total adquirido
Instrumentación	0,20Costo del equipo adquirido
Instalación o equipo elect.	0,15Costo del equipo adquirido
Obras civiles	0,5Costo del equipo adquirido
Instalación de servicios y mejora del terreno	0,07 Costo del equipo adquirido
Costo del terreno	0,015ICF

COSTOS INDIRECTOS = Costos de ingeniería + Costos de construcción y honorarios de contratistas y eventuales.

	Costo parcial
Costos de ingeniería	0,10CD
Costos de const. Y honorarios	0,15CD
Eventuales	0,10ICF

Determinamos el costo de materia prima:

- ◆ Conchas de choro = 1265 TM/año
 Precio de costo = 189,9 \$ / TM
- ◆ Ácido clorhídrico = 655 m³ / año
 Precio de costo = 300 \$ / TM
- ◆ Ácido cítrico = 976,9 TM / año
 Precio de costo = 800 \$ / TM
- ◆ Soda caustica = 1127,2 TM / año
 Precio de costo = 540 \$ / TM

Costo total de materia prima = 1 826 931,5 \$ / año

Costo de materia prima = 50% C.T.P (costo total de producción)

$$1\ 826\ 931,5\ \$ / \text{año} = 50\% \text{ C.T.P}$$

$$\text{C.T.P} = \$ 3\ 653\ 863/\text{año}$$

$$\overline{CTP} = \frac{36\ 8\ \$/\text{año}}{2\ T / \text{año}} = 18088,43\ \$/\text{TM}$$

$$\overline{C} = 1,0\ \frac{\$}{K}$$

Costo de fabricación:

Costos directos de producción (60% C.T.P) = \$ 2 192 317,8/ año

Costos fijos (15 % C.T.P) = \$ 548 079,95

Costo general de planta (10 % C.T.P) = \$ 365 386,3

Costos generales

Costos de administración (3 % C.T.P) = \$ 109 615,89

Costos de distribución y comercialización (12 % C.T.P) = \$ 438 463,56

6.2. Estimación de la inversión total.-

La Inversión total requerida para la instalación de la planta de producción del citrato de calcio y magnesio se ha tomado como punto de referencia el estudio de una planta de producción de carbonato de calcio.

Hallando el CFI:

Utilizamos el modelo de escalamiento:

$$\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^\alpha \quad (122)$$

$$I_2 = I_1 \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^\alpha \quad (123)$$

Para una capacidad de planta de $175 \frac{T}{año}$ con una inversión de $320000 \frac{\$}{año}$

Al año 2000 CEPCI = 395,6

Al año 2014 CEPCI=585,7

$$I_1 = 320000 \times \left(\frac{585.7}{395.6}\right) = 473772 \frac{\$}{año} \quad (\text{Inversión para } 175 \frac{T}{año} \text{ al 2014})$$

Relacionamos la una capacidad de planta de $202 \frac{T}{año}$ con de una capacidad de planta de $175 \frac{T}{año}$.

Para un Industria Alimentaria $\alpha = 0,8$

$$I_2 = 473772 \left(\frac{202}{175}\right)^{0,8} = 516\,365,2 \frac{\$}{\text{año}}$$

Para una capacidad de planta de 202 $\frac{TM}{\text{año}}$ la inversión total es de 516 365,2 \$/año

6.2.1. Inversión de capital fijo.- Además se sabe que ICF es el 80% de la inversión total.

CONCEPTO	%	MONTO US\$
INVERSION DE CAPITAL FIJO	CD+CI	413 092
Costos directos		
Costos de equipos adquiridos	40%	165 236
Costo de instalación, aislación y pinturas	33%	54 528
Costo de instrumentación y controles instalados	7%	11567
Costo de tuberías y cañerías instaladas	7%	11 567
Costo de instalaciones eléctricas	10%	16523,6
Costo del edificio y obras civiles para el proceso y equipos auxiliares.	10%	16523,6
Costo de instalaciones de servicio y mejoras de terreno	40%	66094,4
Costo del terreno	7%	11566,52
TOTAL COSTOS DIRECTOS		353 606,0

Costos Indirectos		
Costos de ingeniería y supervisión	5 %	17680,3
Costo de Construcción y honorarios de contrato	7%	24125,4
Costos eventuales	5%	17680,3
TOTAL COSTOS INDIRECTOS		59486,0

6.2.2. Capital de trabajo.-

El capital de trabajo para una planta industrial, viene a ser la cantidad de dinero necesario para hacerla funcionar la planta hasta que produzca y se auto

abastezca. Para tal caso hemos estimado el capital de trabajo tomando como base un trimestre, y esto es el 20% de la inversión total.

CONCEPTO	%	MONTO US\$
INVERSION DE CAPITAL DE TRABAJO		
PRIMER TRIMESTRE		
Materia prima	30%	30982,0
Costo de supervisión y mano de obra directa e indirecta	25%	25818,1
Costo de mantenimiento y cargas fijas	20%	20655,0
Imprevistos.	25%	25818,1
TOTAL INVERSION DE CAPITAL DE TRABAJO		103 273,2

Inversión total = \$ 413 092 + \$ 103 273,2 = \$ 516 365

Finalmente la inversión total para una producción de 202 TM/año del citrato de calcio y magnesio asciende a 516 365,2 \$/año

6.3. Estado de pérdidas y ganancias.-

Las ventas netas consideramos como las ventas de cada año que son cobrados en el mismo año, de esta manera tenemos los ingresos totales desde \$ 55 059 494 en el primer año hasta \$ 5 621 660 en el último año. El costo de producción y los otros factores económicos que mostramos en el cuadro N°48.

Criterio de Rentabilidad.

Empleamos el concepto del valor actual neto (VAN) y el TIR

Determinamos la TIR mínimo.

$$I = \frac{F1}{(1+i)^1} + \frac{F2}{(1+i)^2} + \frac{F3}{(1+i)^3} + \frac{F4}{(1+i)^4} + \frac{F5}{(1+i)^5} + \frac{F6}{(1+i)^6} \quad (124)$$

Reemplazando Datos obtenemos

$i = 10\%$ anual (TIR)

Nosotros emplearemos un 9% para nuestros cálculos del VAN:

$$\text{VAN} = -I + \frac{F1}{(1+i)^1} + \frac{F2}{(1+i)^2} + \frac{F3}{(1+i)^3} + \frac{F4}{(1+i)^4} + \frac{F5}{(1+i)^5} + \frac{F6}{(1+i)^6} \quad (125)$$

$$\text{VAN} = - 516 365 + 7 5451,559$$

$$\text{VAN} = \$ 72 967 924$$

VAN > 0 entonces Se acepta el Proyecto

Cabe mencionar que este proyecto es de carácter social principalmente, El beneficio directo más importante del proyecto es el uso de la conchas de choro no usados que contaminan el medio ambiente.

Cuadro N°48. Estado de pérdidas y ganancias

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INVERSION \$/AÑO	-516365.696										
DEMANDA APARENTE DEL PROYECTO TM		21.7	31.9	46.8	68.8	101	148.4	218.1	320.3	470.6	691.2
CAPACIDAD DE PLANTA Qp (TM)		181.8	191.9	202	202	202	202	202	202	202	202
INGRESO POR VENTAS \$/AÑO		55059494	5340577	5621660	5621660	5621660	5621660	5621660	5621660	5621660	5621660
COSTO FIJO \$/AÑO		555953	555953	555953	555953	555953	555953	555953	555953	555953	555953
UTILIDAD INDIVIDUAL \$		1713963,741	1791751,6	1915315	1915315	1915315	1915315	1915315	1915315	1915315	1915315
UTILIDAD TOTAL \$/AÑO	-516365.696	1197598,541	2989350,14	4604665,14	6519980	8435295	10350610	12265925	14181240	16096555	18011870
CVu (\$/TM)		15596									
Precio (\$/TM)		27830									
VAN	72967924										
TIR	1,39										

Fuente: Elaboración propia

6.4. Financiamiento.-

El Financiamiento del Proyecto para la instalación de la planta industrial para la producción del citrato de calcio y magnesio a partir de aulacomya ater (choro) requiere de una inversión de \$ 516 365 (dólares americanos) y cuyos desembolsos se efectuarán en partes iguales en los próximos dos años, a partir del 2016 hasta el 2017. El horizonte de planeamiento es de 1 año, a partir del segundo año (2017), el proyecto generará ingresos. Se estima que los ingresos anuales serán del orden de los \$ 5 621,660 dólares, que los costos fijos anuales es del orden de \$ 555,953, y el costo variable total del unitario de 155,967 \$/TM de los ingresos estimados.

La región Callao es un importante centro industrial del Perú, cuenta con 3 mil 660 empresas manufactureras registradas hasta el año 2007 [13], ubicadas principalmente en los distritos del Callao y Ventanilla. La más alta incidencia de la actividad manufacturera en la economía de la región Callao se sustenta fundamentalmente en la instalación de plantas industriales (grandes y medianas), de las cuales alrededor del 83,0% se concentran en la zona industrial del Callao y 12,0% en Ventanilla. Los demás distritos representan solamente el 5,0% del total. Las principales actividades manufactureras son la elaboración de harina de pescado, fabricación de llantas, calzado, fundiciones, fabricación de jabón, frigoríficos, aserraderos, la industria textil, fabricación de fideo, astilleros y la industria pesquera. La actividad predominante es la elaboración de alimentos y bebidas, cuya participación es del 21,0% en el total de la industria; le siguen además la fabricación de productos elaborados de metal (16,2%) y la fabricación de muebles e industrias manufactureras no

clasificadas previamente (14,6%). Según el registro de establecimientos y empresas manufactureras 2007, el 21,4% de empresas pertenecen al rubro de elaboración de productos alimenticios y bebidas, y el 15,9% de ellas se dedican a la fabricación de muebles

La actividad industrial referida a la transformación de insumos marítimos como el pescado y los mariscos, muestra que la harina de pescado es el producto de mayor participación en la región Callao. Le sigue en importancia la producción de aceite crudo de pescado y el congelado de pescados y mariscos. Así, en el año 2007 se produjo poco más de 93 mil toneladas de harina y más de 24 mil toneladas de aceite crudo, ambos hechos a base de pescado. Es importante mencionar el incremento de la producción de congelado de pescado y mariscos entre el 2003 y 2007, superando en más de 10 mil toneladas la producción de aceite crudo de pescado para el 2007.

6.4. 1. Estructura de Financiamiento.-

La estructura de financiamiento será de 70,0% deuda y 30% aporte de los promotores del proyecto. La bondad del proyecto les permite tener acceso a un financiamiento en un plazo de 2 años, a un costo de 13% por año. Durante la fase de construcción el préstamo capitalizará los intereses, posteriormente a partir del 2016 el préstamo acumulado se pagará en cuotas iguales en un plazo de 2 años.

El esquema de financiamiento para nuestro proyecto es:

Capital financiado por banco de crédito	= \$ 361 455,5
Capital propio y de accionistas	= <u>\$ 154 909,5</u>
Inversión total	= \$ 516 365

Los créditos necesarios para el financiamiento de la inversión será otorgada por el banco de crédito la cantidad de \$ 361455,5. La tasa de interés que le banco cobrara por el préstamo otorgado en dólares norteamericanos, a un interés de 13 % anual al rebatir por todo concepto, incluyendo comisiones, intermediario, etc.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

7.1. Conclusiones.-

- Cabe resaltar luego de haber enfocado las bondades del trabajo de tesis, es decir la rentabilidad, mencionamos que se ha considerado el costo de la materia prima (la concha de choro con toda la parte comestible, puesto que aquí recuperamos la concha sin la parte comestible que prácticamente es arrojado como residuo que contamina el ambiente, por lo que nosotros proponemos evitar la contaminación ambiental con el trabajo de tesis.
- Se logró el objetivo de la determinación de tamaño de planta óptimo para la elaboración de plano de disposición del planta del proyecto para producción industrial del citrato de calcio y magnesio a partir del *Aulacomya ater* (choro) mediante el análisis y el estudio del mercado.
- La ubicación de la planta se ha establecido en la región del Callao, en el distrito de Ventanilla en la zona Industrial, tomando como factor determinante que se encuentra cerca la materia prima y los beneficios de los otros factores locacionales evaluados, lográndose el objetivo trazado.
- Se ha desarrollado la tecnología seleccionada a escala laboratorio para el estudio de las variables de operación y del diseño del proceso industrial, asimismo las variables de diseño de los equipos principales y de uso genérico.
- Se ha realizado el diseño y selección de los equipos principales y de uso genérico que componen la unidad de producción industrial, mediante los fundamentos y procedimiento de diseño de equipos

- principales y de uso genérico, elaborándose el plano de disposición de planta con sus dimensiones respectivas.
- La propuesta de diseño mostrada en este trabajo es la mejor opción entre varias alternativas planteadas; durante su desarrollo se demuestra el uso de equipos sencillos industriales, los bajos consumos de energía y los cuidados que se deben tener durante el tratamiento. Los costos asociados a la instalación de la planta son bajos, y de igual manera los costos de manufactura, ya que se necesita una mínima cantidad de trabajadores, se utilizan materias primas económicas (en especial la concha de choro), la naturaleza de los residuos facilita¹⁷⁹ el tratamiento, entre otros. Un costo medio de US\$ 2,783/Kg indica que esta alternativa es muy adecuada para suplir la necesidad que el estudio de mercadeo determinó.
 - Se logró el objetivo de la evaluación económica y financiera con un VAN de \$ 72 967,924 y que los costos de producción demuestran que esta alternativa económica es rentable. Desde estos dos puntos de vista se puede afirmar que el proyecto es un proceso con una gran potencia, y es necesario ampliar su investigación.

7.2. Recomendaciones.-

- El margen de ganancia que se obtienen es alto, y por lo tanto se recomienda su aplicación e implementación de la planta industrial para la producción de citrato de calcio y magnesio a partir de aulacomya ater (choro).
- Debido a la poca información acerca de la producción de citrato de calcio y magnesio a partir de aulacomya ater (choro), se deberá de evaluar la proyección de instalación de una planta para el procesamiento de la parte comestible de la aulacomya ater (choros) en la localidad de Ventanilla, de esta manera aprovechar las conchas de choro como material residual de la industrialización de este recurso hidrobiológico no utilizado, asimismo el desecho de materiales después de la digestión

(Na, K, Fe) estos serán utilizados como materia prima para alimentos balanceado para aves.

- De acuerdo a los parámetros establecidos durante la fase de diseño, esta instalación garantiza su instalación para la producción industrial del citrato de calcio y magnesio en la localidad de Ventanilla (Zona Industrial).
- Un producto de calidad se obtiene de una buena materia prima, resulta necesario que el fomento de las buenas prácticas de captación de conchas de choro llegue a la totalidad de los terminales pesquero de esta materia prima compete al estado a través del MINAG.
- La tecnología que existe para mejorar cada etapa del proceso es diversa y queda a criterio de los productores industriales implementar sus unidades progresivamente con los equipos e instrumentos recomendado.
- Todos las industrias deben preocuparse por tener una em_p¹⁸⁰ formalizada y que el estado a través de los distintos organismos como el INDECOPI y PRODUCE deberán apoyarlos mediante campañas de capacitación continua.

VIII. REFERENCIA BIBLOGRAFICA.

- [1] CLARK, E. L.; "Pilot Plants in Process Technology", Chem. Eng. 65(8); 155; (1): 119,(15): 119(20): 125 (1958).
- [2] BRAVERMAN, J., "Introducción a la bioquímica de los alimentos", Editorial Omega, Barcelona España, 1967.
- [3] BARCELÓ, J., "Diccionario tecnológico de química". 2º Edición, 1982.
- [4] GUEVARA, O., Y CHING, R., "Química de las reacciones orgánicas" 3º edición, pag. 56, 57, 1987.
- [5] KIRK, J., "Diccionario Químico Industrial", 1 º Edición, pag. 154- 169, 1970.
- [6] THORPE, E., "Enciclopedia de química industrial" tomo II, 1º edición, pag. 304-309, 1905.
- [7] AUSTIN, G.T. Shreve's Chemical Process Industries, 5th international ed., McGraw-Hill, New York, Sydney, 597-598. 1983
- [8] CARVAJAL C., Fabricio; ROJAS D., Carlos. Diseño de un proceso del filtrado de Citrato Tricálcico. Tesis Ingeniero Químico. Facultad de Ingeniería. Universidad del Valle. Cali 1993
- [9] FONDO DE PROMOCION DE EXPORTACIONES. Catalogo del Potencial Exportable de la Industria Química en Colombia. Bogotá 147 – 148, 1979
- [10] GATES, L.E.; "Selecting agitator systems to suspend solids in liquids", Chem. Eng. 144(5), 1958.
- [11] MACHACA G. L. F., "Diseño de Plantas Químicas (Volumen I)", trabajo de investigación (informe final). Facultad de Ingeniería Química Universidad Nacional del Callao, Callao- Perú, 2013.

- [12] McKETTA, John J., DEKKER, Marcel. "Encyclopedia of Chemical Processing and Design". Tomo 8. New York and Bases. 324 – 333. 1979.
- [13] PAUCAR LL. P.G., "Comportamiento comercial del empresario y del consumidor del Callao", trabajo de investigación (informe final). Facultad de Ingeniería Industrial y sistemas. Universidad Nacional del Callao, Callao- Perú, 2011.
- [14] PERRY, John, H. "Chemical Engineers' Handbook". Tomo I, Third edition, McGraw Hill Book Company, Inc. USA, 198.1
- [15] STOHMANN, F., SCHROETER, G. "Gran Enciclopedia de Química Industrial". Tomo I.
- [16] ULLMANN, Fritz. Enciclopedia de Química Industrial. Tomo IV. Urban & Schwarzenberg. Barcelona 89 – 93, 1931.
- [17] ULLMANN, Fritz. Enciclopedia de Química Industrial. Tomo XIV. Urban & Schwarzenberg. Barcelona (1931). 10 – 19.
- [18] WITTCOFF, Harold A.; REUBEN, Bryan G. "Productos Químicos Orgánicos Industriales. Tecnología, Formulaciones y Usos" 2. Limusa. México (2000). 408-409,412.