

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
PRODUCCION DE ROTENONA A PARTIR
DE BARBASCO (LONCHOCARPUS)”**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUIMICO**

**HEIDY VANESSA ALVARADO HUAYLUPO
MERY ELIZABETH NÚÑEZ ZAMBRANO**

Callao - Noviembre - 2016

PERÚ

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres Mery Huaylupo y Julián Alvarado y a mi novio Celino Yahuana quienes siempre me brindaron su apoyo incondicional y que con su amor y comprensión me han ayudado a lograr mi sueño.

Heidy Huaylupo A.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos en primer lugar a Dios, por habernos dado salud y por sus bendiciones para lograr finalizar esta etapa tan importante.

Agradecemos a nuestros parientes más cercanos, padres, hermanos y sobrinos, gracias por el cariño y apoyo brindado de manera desinteresada. Gracias, por ser tan importantes en nuestras vidas y por ser parte de la alegría que significa haber concluido este proyecto.

Agradecemos a nuestro asesor el Ing. César Cuba, por su gran apoyo, paciencia y motivación. Gracias por compartir sus conocimientos y sobre todo por la confianza depositada en el éxito de esta tesis.

Muchas gracias.

PROLOGO DEL JURADO

La presente tesis fue expuesta por las señoritas bachilleres **NÚÑEZ ZAMBRANO MERY ELIZABETH** y **ALVARADO HUAYLUPO HEIDY VANESSA** ante el **JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS** de la Facultad de Ingeniería Química, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:

ING. CARRASCO VENEGAS LUIS AMERICO	:	PRESIDENTE
ING. LAZO CAMPOSANO ROBERTO	:	SECRETARIO
ING. AVELINO CARHUARICA CALMEN GILDA	:	VOCAL
ING. GUTIERREZ CUBA CESAR	:	ASESOR

Tal como está asentado en el Libro 2, Folio N°76 y acta N°259 de fecha **PRIMERO DE JULIO DEL DOS MIL DIECISÉIS**, para la obtención del título profesional de Ingeniero Químico en la modalidad de Titulación por tesis en conformidad con lo establecido en el Reglamento de grados y títulos aprobado por resolución N° 082-2011-CU de fecha veintinueve de Abril del dos mil once, resolución N° 221-2012-CU de fecha diecinueve de Setiembre del dos mil doce y resolución N° 759-2013-R de fecha veintiuno de Agosto del dos mil trece.

INDICE

TABLAS DE CONTENIDO	4
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Descripción general del tema.....	11
1.2. Marco situacional.....	12
1.3. Enunciado del problema.....	12
1.4. Objetivos.....	13
1.5. Antecedentes, importancia, justificación y alcance.....	14
1.6. Hipótesis general y específica.....	17
II. CREACIÓN, ORGANIZACIÓN, PLANIFICACIÓN, PROGRAMACIÓN Y EVALUACIÓN DEL PROYECTO DE INSTALACIÓN DE LA PLANTA PARA LA PRODUCCION DE ROTENONA A PARTIR DE BARBASCO	18
2.1. Creación del proyecto de instalación de una planta para la producción de Rotenona a partir de Barbasco	18
2.2. Organización del proyecto de instalación de una planta para la producción de Rotenona a partir de Barbasco	23

2.3.	Planificación del proyecto de instalación de una planta para la producción de Rotenona a partir de Barbasco	26
2.4.	Programación del proyecto de instalación de una planta para la producción de Rotenona a partir de Barbasco	26
III.	INGENIERÍA DE PROCESO	28
3.1.	Desarrollo del proceso	28
3.1.1.	Diseño del producto	28
3.1.2.	Análisis de la materia prima	31
3.2.	Análisis y descripción de tecnologías	41
3.3.	Selección de tecnologías	50
3.4.	Diseño del proceso de la tecnología seleccionada	53
3.4.1.	Procedimiento de diseño del proceso industrial	53
3.4.2.	Balance de materia y energía	62
3.4.3.	Diseño del diagrama de proceso	66
3.5.	Plan maestro o Plot Plan	67
IV.	LOCALIZACION Y TAMAÑO DE LA PLANTA	71
4.1.	Localización de planta	71
4.1.1.	Análisis de los factores locacionales	71
4.1.2.	Evaluación y elección de localización de planta	77
4.2.	Tamaño de Planta	78
4.2.1.	Tamaño de Planta Máximo	78
4.2.2.	Tamaño de Planta intermedio	80

4.2.3. Selección de tamaño de planta.....	86
4.2.4. Selección de tamaño de planta.....	90
V. INGENIERIA DE DISEÑO DE DETALLES	91
5.1. Diseño de equipos principales	91
5.2. Diseño de equipos de uso genérico	148
5.3. Listado de los equipos y maquinarias de la planta industrial	157
5.4. Disposición de Planta (Plan Layout)	158
VI. EVALUACION ECONOMICA.....	164
6.1. Estimación del costo total de producción.....	164
6.2. Estimación de inversión total.....	167
6.2.1. Inversión de capital fijo.....	168
6.2.2. Capital de trabajo.....	172
6.3. Estado de pérdidas y ganancias.....	172
6.3.1. Criterios de Rentabilidad.....	173
6.4. Financiamiento.....	176
VII. CONCLUSIONES.....	179
VIII. RECOMENDACIONES.....	181
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	182
X. ANEXOS.....	190

TABLAS DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS

TABLA N° 01	: Datos históricos de Barbasco exportado.....	23
TABLA N° 02	: Determinación del tiempo del proyecto de instalación.....	27
TABLA N° 03	: Propiedades del Tricloroetileno.....	34
TABLA N° 04	: Propiedades del Tetracloruro de Carbono.....	35
TABLA N° 05	: Propiedades del Cloroformo.....	37
TABLA N° 06	: Propiedades del Etanol.....	39
TABLA N° 07	: Comparación de Rotenona extraída de raíces con Cloroformo y Tetracloruro de Carbono.....	47
TABLA N° 08	: Evaluación técnica de tecnologías de proceso en función a la materia prima.....	51
TABLA N° 09	: Evaluación y selección de tecnologías del proceso	52
TABLA N° 10	: Resultados experimentales del proceso.....	59
TABLA N° 11	: Principales mercados para la Rotenona.....	79
TABLA N° 12	: Datos historicos de Barbasco exportado.....	81
TABLA N° 13	: Modelos econométricos.....	82
TABLA N° 14	: Proyección de Barbasco a exportar y Rotenona a producir	83
TABLA N° 15	: Tasa de crecimiento	85
TABLA N° 16	: Análisis de las relaciones de tamaño de planta....	90

LISTA DE FIGURAS

FIGURA N° 01	: Pasos para la ejecución del proyecto de instalación	24
FIGURA N° 02	: Organigrama para la ejecución del proyecto de instalación.....	25
FIGURA N° 03	: Fórmula estructural de la Rotenona.....	28
FIGURA N° 04	: Formas de presentación de la Rotenona.....	29
FIGURA N° 05	: Insectos cortadores.....	31
FIGURA N° 06	: Barbasco (Lonchocarpus).....	32
FIGURA N° 07	: Selección de raíz de Barbasco (Lonchocarpus).....	33
FIGURA N° 08	: Diagrama de proceso de la tecnología seleccionada.....	54
FIGURA N° 09	: Acondicionamiento, pesado y molienda.....	55
FIGURA N° 10	: Alimentación del barbasco y puesta en marcha.....	
FIGURA N° 11	: Proceso de extracción, control de prueba y toma de muestra.....	57
FIGURA N° 12	: Etapas de extracción de Rotenona.....	57
FIGURA N° 13	: Extracción por destilación directa por arrastre con vapor.....	58
FIGURA N° 14	: Extracción por cohobación.....	59
FIGURA N° 15	: Diagrama de bloques para la producción de Rotenona.....	68
FIGURA N° 16	: Diagrama de flujo para la producción de Rotenona.	69

FIGURA N° 17	: Plan maestro para la producción de Rotenona.....	70
FIGURA N° 18	: Tamaño de planta – Punto de equilibrio.....	88
FIGURA N° 19	: Distribución de planta (Plan Layout).....	163

LISTA DE CUADROS

CUADRO N° 01	: Calificación y ponderación.....	51
CUADRO N° 02	: Evaluación de la materia prima e insumos.....	51
CUADRO N° 03	: Abastecimiento de raíz de Barbasco.....	73
CUADRO N° 04	: Población económicamente activa.....	73
CUADRO N° 05	: Disponibilidad de agua.....	74
CUADRO N° 06	: Disponibilidad de energía eléctrica.....	75
CUADRO N° 07	: Facilidad de transporte para la materia prima.....	76
CUADRO N° 08	: Facilidad de transporte para el producto final.....	77
CUADRO N° 09	: Indicadores climáticos.....	77
CUADRO N° 10	: Costo de terrenos.....	78
CUADRO N° 11	: Escala de calificación (1 - 10).....	78
CUADRO N° 12	: Evaluación de factores locacionales.....	79
CUADRO N° 13	: Punto de equilibrio.....	89
CUADRO N° 14	: Gravedades específicas.....	140
CUADRO N° 15	: Coeficiente global de transferencia de calor típico de recipientes con serpentín.....	144
CUADRO N° 16	: Lista de equipos y maquinarias.....	158
CUADRO N° 17	: Área del proceso	161
CUADRO N° 18	: Área administrativa.....	162
CUADRO N° 19	: Intervalos de estimación del costo directo de producción.....	164

CUADRO N° 20	: Intervalos de estimación del costo fijo.....	165
CUADRO N° 21	: Intervalos de estimación de los costos generales.....	165
CUADRO N° 22	: Intervalos de estimación de los costos directos.....	170
CUADRO N° 23	: Intervalos de estimación de los costos indirectos.....	170
CUADRO N° 24	: Intervalos de estimación de la inversión del capital fijo	171
CUADRO N° 25	: Inversión de capital de trabajo.....	173
CUADRO N° 26	: Estado de pérdidas y ganancias.....	176
CUADRO N° 27	: Cuadro de la estructura de financiamiento.....	179

RESUMEN

Se ha diseñado una planta para la producción de Rotenona a partir de Barbasco, con una capacidad de producción de 415 TM/año, localizada en el distrito de Belén, localidad de Iquitos, en la región Loreto. Su inversión asciende a \$ 4 892 675 con una rentabilidad alta, cuya tasa de interés de retorno económico (TIRE) es del 47 %, y su valor actual neto económico (VANE) es de \$ 11 813 013, con un capital financiado de \$ 3 424 872 al 12% de interés anual pagados dentro 5 años, y el capital de aporte propio es de \$ 1 467 802. La tasa de interés de retorno financiero (TIRF) es del 96% y su valor actual neto financiero es de \$ 7 982 045.

Para la producción de la Rotenona, se ha utilizado la raíz de la planta del Barbasco con un contenido del 8 % de Rotenona y Etanol como solvente extractor, cuya tecnología fue seleccionada y desarrollada a nivel de laboratorio.

Finalmente, para la elaboración del plano de distribución de planta se han diseñado los equipos principales y de uso genérico detalladamente que componen la unidad de producción, usando los datos de diseño y las condiciones de operación obtenidos experimentalmente.

Palabras clave: Barbasco, Lonchocarpus, extracción.

ABSTRACT

It has designed a plant for the production of Rotenone from Barbasco, with a production capacity of 415 MT / year, located in the district of Belen, a town of Iquitos, in the Loreto region. The investment is \$ 4 892 675 with a high yield, the interest rate of economic return (TIRE) is 47% and its economic net present value (VANE) is \$ 11 813 013, with capital funded of \$ 3 424 872 and 12% annual interest paid within five years, and own capital contribution is \$ 1 467 802. The interest rate of financial return (TIRF) is 96% and its financial net present value is \$ 7 982 045.

For the production of rotenone, it has been used barbasco root containing 8% of rotenone and ethanol as solvent extractor. Extraction technology was selected and developed in the laboratory.

Finally, for the preparation of the distribution plant has been designed the detail of the main and general use equipment that make up the production unit, using the design data and operating conditions obtained experimentally.

Keywords: Barbasco, Lonchocarpus, extraction

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción general del tema.-

En la actualidad, uno de los principales problemas de la agricultura mundial es el manejo de plagas y su control por medio del uso de plaguicidas sintéticos, actividad que cumple un rol de gran importancia en la producción agrícola de diversos países; pero que muchas veces ocasiona consecuencias negativas para los ecosistemas y la salud de las personas.

Así, se inicia la búsqueda de métodos alternativos eficaces y seguros que no sean de origen sintético como las plantas con propiedades biocidas. La utilización de extractos vegetales para el control de plagas tiene la ventaja de no provocar contaminación, debido a que estas sustancias son degradadas rápidamente en el medio ambiente (Benner, 1996; Iannacone y Lamas, 2002). De esta forma plantas con potencial biocida constituyen un componente importante de control, dentro del contexto de manejo integrado de plagas (Estrada y López, 1998; Iannacone y Montoro, 2002; Iannacone y Lamas, 2003).

El uso de la raíz de barbasco para combatir agentes patógenos y la captura de peces en la región amazónica es un hecho más que comprobado (Torres, 2009), sin embargo en el Perú su comercialización como insecticida natural se da en forma de raíces picadas o pulverizadas; por lo que para dar mayor valor agregado y mayor amplitud de venta, la

investigación del presente trabajo diseña una planta para la producción de la Rotenona a partir de Barbasco.

1.2. Marco situacional.-

El tema se encuentra ubicado dentro del área de la ingeniería y diseño, porque responde al fundamento y procedimiento de diseño de plantas químicas.

1.3. Enunciado del problema.-

1.3.1. Problema general.-

¿Cómo se va diseñar una planta para la producción de Rotenona a partir de Barbasco (Lonchocarpus)?

1.3.2. Sub-problemas.-

- a. ¿Cuál será el tamaño de planta óptimo y dónde se localizará la planta para la producción de Rotenona a partir de Barbasco (Lonchocarpus)?
- b. ¿Cuál será la tecnología adecuada para el proceso de producción de Rotenona a partir de Barbasco (Lonchocarpus)?
- c. ¿Cómo se determinaran los parámetros del proceso para la producción de Rotenona a partir de Barbasco (Lonchocarpus)?

- d. ¿Cómo se diseñaran los equipos principales y de uso genérico que componen la planta industrial para la producción de Rotenona a partir de Barbasco (Lonchocarpus)? Y ¿cómo se elaborara el plano de distribución de planta?
- e. ¿Cómo se evaluara y determinara la rentabilidad y financiamiento para el proyecto de instalación de planta para la producción de Rotenona a partir de Barbasco (Lonchocarpus)?

1.4. Objetivos.-

1.4.1. Objetivo general.-

Diseñar una planta para la producción de Rotenona a partir de Barbasco (Lonchocarpus).

1.4.2. Objetivos específicos.-

- a. Analizar y determinar la localización y tamaño de planta óptimo.
- b. Analizar y seleccionar la tecnología adecuada para la producción de Rotenona a partir de Barbasco (Lonchocarpus).
- c. Determinar los parámetros del proceso para la producción de Rotenona a partir de Barbasco (Lonchocarpus).
- d. Diseñar los equipos principales y de uso genérico para elaborar el plano de disposición de planta.

- e. Analizar la evaluación económica para determinar su rentabilidad y financiamiento.

1.5. Antecedentes, importancia, justificación y alcances.-

1.5.1. Antecedentes de la investigación.-

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

Smith, 1930, hace un estudio del Barbasco "Lonchocarpus Utilis", determinándose el principio de insecticida.

Forge y colaboradores, 1936, estudiaron y clasificaron a la Rotenona en dos grupos unidos por un anillo pirónico, el del ácido tubánico, de estructura hidrofurámica, y el del ácido netónico o del dérrico.

Cahn, 1936, estudió en que componente de los derris radica la toxicidad.

Jones, 1937, ha ensayado la polarimetría de la Rotenona en disolución bencénica.

Rowaan, 1939, ha concentrado la cristalización de la Rotenona, mejorando las condiciones de extracción.

Fragen, 1958, estudia la selección de tratamiento y del tamaño de una planta industrial.

Lowenstein, 1985, publica un artículo sobre la fundamentación de diseño de plantas pilotos en general.

Guayasamin, 2011, ha estudiado la optimización de la extracción de la Rotenona y principio activo usando un método por HPLC a ser validado.

1.5.2. Importancia de la investigación.-

La importancia de la investigación radica en los siguientes aspectos:

- a. Diseñar la planta para la producción de Rotenona a partir de Barbasco (Lonchocarpus), con la finalidad de proporcionar información tanto técnica y económica para el diseño e instalación de plantas industriales para la producción de Rotenona a partir de Barbasco.
- b. Obtener Rotenona a nivel industrial como insecticida natural.
- c. Analizar la viabilidad del proyecto de instalación de una planta para la producción de Rotenona a partir de Barbasco, proponiendo principalmente el desarrollo de la agroindustria.

1.5.3. Justificación de la investigación.-

La presente tesis se justifica por lo siguiente:

- a. Reducir el uso de los insecticidas sintéticos en la agricultura haciendo viable el uso de la Rotenona como insecticida natural.
- b. Nuestro país es gran productor de Barbasco, molle y varias plantas con propiedades insecticidas siendo comercializadas como materia prima básicamente, razón por la cual se desea exportar con un mayor valor agregado, dándole mejores condiciones técnicas y promoviendo el desarrollo industrial y el aumento de las reservas de divisas del país.
- c. Permite determinar las variables de diseño de una planta industrial a condiciones de operación técnicas y económicas viables para la producción de Rotenona como natural con un alto valor económico en el mercado nacional e internacional.
- d. Al investigar en las literaturas existentes (artículos publicados) no se conocen hasta la actualidad estudios sobre el diseño de una planta industrial para la producción de Rotenona a partir de Barbasco (Lonchocarpus) mediante la fundamentación y el procedimiento adecuado para el diseño de una planta industrial.

1.5.4. Alcances de la investigación.-

El desarrollo de esta tesis alcanza el diseño de una planta con estimación detallada para la producción de Rotenona a partir de Barbasco (Lonchocarpus).

1.6. Hipótesis general y específica.-

1.6.1. Hipótesis general.-

El diseño de una planta para la producción de Rotenona a partir de Barbasco considera los fundamentos de la ingeniería de diseño y su evaluación económica para elaborar el plano de disposición de planta.

1.6.2. Hipótesis de Específica.-

- a. Los fundamentos y los criterios de localización y tamaño de planta permiten evaluar y determinar la localización y tamaño de planta para la producción de Rotenona a partir de Barbasco (Lonchocarpus).
- b. Los fundamentos de diseño de la ingeniería del proceso nos permiten evaluar y seleccionar la tecnología adecuada.
- c. El diseño experimental de la tecnología seleccionada nos permiten determinar los parámetros del proceso para la producción de Rotenona a partir de Barbasco (Lonchocarpus).
- d. Los fundamentos y procedimientos de diseño de equipos nos permite diseñar los equipos principales y de uso genérico para la elaboración del plano de disposición de planta.
- e. Los fundamentos de la ingeniería económica nos permiten determinar la rentabilidad económica y su financiamiento.

II. CREACIÓN, ORGANIZACIÓN, PLANIFICACIÓN, PROGRAMACIÓN Y EVALUACIÓN DEL PROYECTO DE INSTALACIÓN DE LA PLANTA PARA LA PRODUCCION DE ROTENONA A PARTIR DE BARBASCO

2.1. Creación del proyecto de instalación de una planta para la producción de Rotenona a partir de Barbasco (Lonchocarpus).-

El Barbasco, es una planta leguminosa originaria del continente Sudamericano, específicamente de Perú, Ecuador, Brasil, Colombia y Surinam. Los nativos de la selva conocen y utilizan esta planta desde tiempos inmemorables para la captura estacional de peces de agua dulce, así como para impregnar sus flechas en la cacería de animales silvestres. El Barbasco, en cuyas raíces se concentra una sustancia química tóxica llamada Rotenona, es una planta con alto potencial industrial y medicinal (Descola, 1989).

El Barbasco es una planta que se encuentra mayormente en estado silvestre y en menor proporción como área cultivada. Las raíces de este arbusto poseen el mayor valor comercial por la presencia del principio activo Rotenona, además de la deguelina; sustancias biodegradables utilizadas como insecticidas y repelentes en la agricultura. En estado natural las raíces presentan un 7% de concentración del ingrediente activo Rotenona (Zapata, 2001).

En el Perú, la aparición de insecticidas sintéticos alejó a la Rotenona de la actividad agrícola como insecticida, hasta ser casi olvidada por las nuevas generaciones de agricultores, a pesar de que la Rotenona es un producto de exportación cuyo uso está regulado por organismos internacionales encargados de supervisar la toxicidad de los insecticidas (Lizárraga, 1993).

Para preparar insecticidas comerciales se utiliza la resina extraída de la planta con la cual se preparan concentrados líquidos o formulados sobre polvos inertes u otros vehículos. Así mismo, las raíces de Lonchocarpus, se pueden pulverizar o mezclar directamente con un vehículo para producir una formulación en polvo (Carballo y col., 2004).

Así se tiene que el Barbasco, planta de la cual se obtiene la Rotenona, es un producto de exportación en forma de polvo o raíces secas picadas, razón por la cual existe la necesidad de la creación del proyecto de instalación de una planta para producir Rotenona a partir de Barbasco (Lonchocarpus) esto para promover su producción y exportación dándole un valor agregado.

- **Diseño del producto**

La Rotenona es un compuesto de origen vegetal con características insecticidas, presente en plantas del género Lonchocarpus, así como en otras leguminosas tropicales.

La Rotenona, es un insecticida natural selectivo por contacto, no sistémico con propiedades acaricidas y parasiticidas. Está considerado como un insecticida botánico y cuyo uso general es como pesticida. (SIICEX, 2012)

Industrialmente, la Rotenona es obtenida a través de la extracción mediante solventes a partir de raíces desecadas y molidas del Barbasco. Junto a la Rotenona, se obtienen otras sustancias como la deguelina, la trefosina, y el toxicarol (Torres, 2009).

Además de su eficacia para insectos chupadores de perforación, tales como pulgones y chinches rojas y los insectos masticadores, especialmente las orugas sobre las plantas, sino que también son excelentes polvos para los parásitos externos de los animales como las pulgas y los piojos (Grinda, 1986).

Usos

En ganadería se le utiliza para eliminar los parásitos de vacunos y también a nivel doméstico para la eliminación de pulgas, moscas y polillas. En acuicultura el producto formulado al 5% es un efectivo controlador de especies depredadoras o indeseables en los estanques antes del inicio de la crianza de especies nativas de agua dulce o cultivo del camarón (Zapata, 2001).

Es especialmente útil para aplicar en los vegetales, poco tiempo antes de la recolección, cuando no se pueden utilizar algunos de los nuevos insecticidas efectivos, por los posibles residuos excesivos (Remington, 2000).

Agricultura y Ganadería

Combaten todo tipo de insectos voladores y rastreros. La Rotenona se emplea en árboles frutales (Cítricos, Bananos Mangos, Manzanas, Melocotón, Peras, etc.), verduras y hortalizas (Espárragos, Tomates, Cebolla, Apio, Espinaca, Col, Nabo, Páprika, Rabanito, etc.), papas, menestras, y plantas ornamentales (Flores).

Controla la mosca blanca y las queresas (*Aspidiotus*, *psedudococus*, *chionaspis*, *Saissetia* y otros). Se han obtenido buenos resultados cuando se aplicó cube en forma de polvo o su extracto mezclado con aceite. Solo algunas especies de coleópteros de la familia Chrusomelidas son controlados por este insecticida, así como larvas de lepidópteros, entre lo que se menciona a *Pectinophoragossypiella*.

Sin embargo hay que advertir que la Rotenona es muy tóxica para los peces, y lo cual el poblador de la selva lo aprovecha para capturar peces con los que alimentarse. Este uso está prohibido por que mata a toda clase de peces y crustáceos del río, de toda edad y tamaño sin discriminar a los que están en crecimiento y que no pueden ser utilizados como alimento por su tamaño pequeño.

El Cube controla bien insectos de piel (cutícula) delgada como los áfidos y algunos coleópteros que tienen la parte de la unión entre la coraza quitinosa una piel muy delgada. Hay que tener cuidado al manejar este insecticida porque afecta a la abeja común (Palomeque 2015).

Toxicidad

La Rotenona es biodegradable. No destruye el ecosistema. No es fitotóxico (Palomeque 2015).

En Febrero 2010 se descubrió su relación con la enfermedad de Parkinson.

Principales mercados

Los principales mercados son Estados Unidos, Bangladesh, Francia, Marruecos, Australia, Países Bajos y China (SIICEX, 2012). La demanda insatisfecha se ha calculado considerando el consumo del mercado nacional y la exportación con la siguiente ecuación:

$$\text{Demanda insatisfecha} = \text{Consumo Nacional} + \text{Exportación}$$

La demanda de este producto se expresa en toneladas métricas, debido a que son las unidades con las cuales se trabaja en el comercio internacional.

Se ha considerado para el análisis los datos del Barbasco exportado del 2005 al 2014 por ser datos disponibles más recientes proporcionados por SUNAT: ADUANAS (véase la tabla N° 01).

TABLA N° 01

DATOS HISTORICOS DE BARBASCO EXPORTADO

N°	Año	Cantidad de Barbasco exportado (TM/año)
1	2005	3000
2	2006	2782,3
3	2007	2703
4	2008	3201
5	2009	3600
6	2010	4050,4
7	2011	3989,3
8	2012	4100,2
9	2013	4278,4
10	2014	4379,3

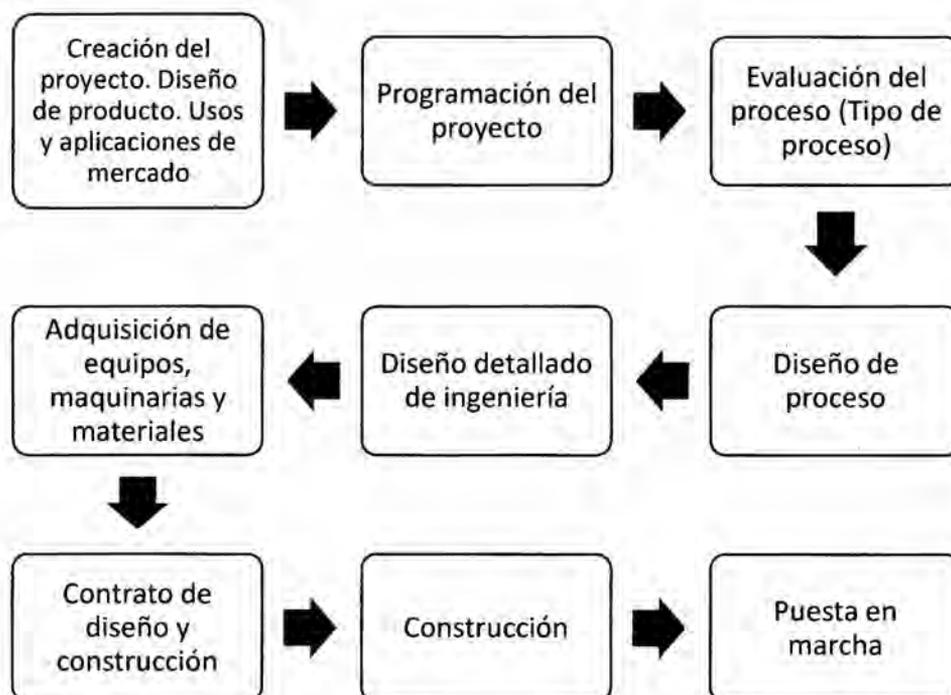
2.2. Organización del proyecto de instalación de una planta para la producción de Rotenona a partir de Barbasco (Lonchocarpus).-

2.2.1. Pasos para la ejecución del proyecto de instalación de una planta para la producción de Rotenona a partir de Barbasco (Lonchocarpus).-

Para la ejecución del proyecto de instalación se consideran los pasos establecidos en la figura N°01.

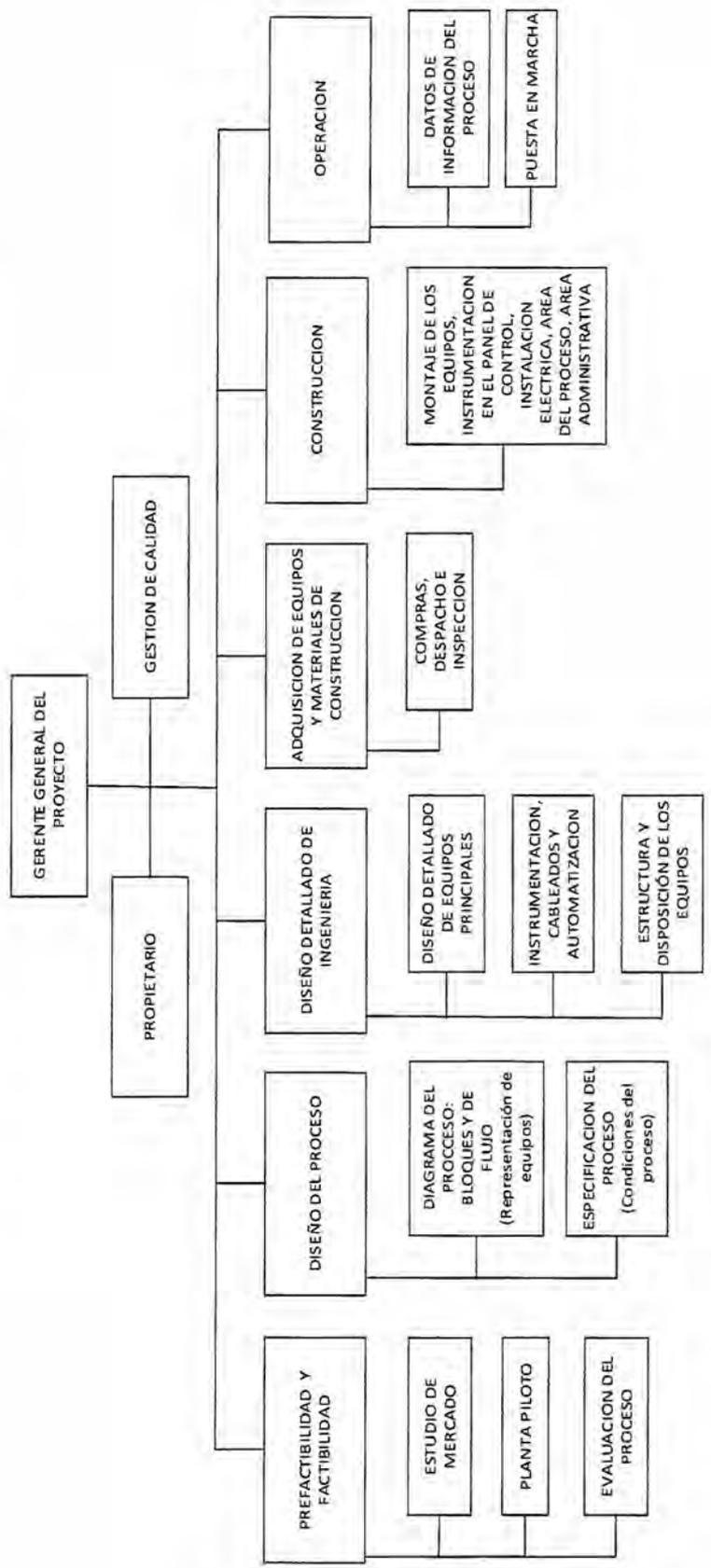
FIGURA N° 01

PASOS PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE INSTALACIÓN



2.2.2. Organigrama para la ejecución del proyecto de instalación de una planta para la producción de Rotenona a partir de Barbascos (Lonchocarpus).-

FIGURA N° 02
ORGANIGRAMA PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE INSTALACIÓN



2.3. Planificación del proyecto de instalación de una planta para la producción de Rotenona a partir de Barbasco (Lonchocarpus).-

La planificación, diseño y decisiones requeridas para el desarrollo del proyecto de instalación de una planta para la producción de Rotenona a partir de Barbasco (Lonchocarpus) tiene las siguientes responsabilidades:

- Preparar el estudio del ciclo del proceso y los sistemas de producción (estudio de la tecnología).
- Preparar el estudio económico asociado al comportamiento del proceso.
- Diseñar y especificar los rubros de los equipos y sistemas del proceso (diagramas de proceso).
- Evaluar la licitación competitiva para la adquisición de los equipos (materiales, resistencia de materiales, selección de materiales).
- Evaluar los datos de operación (condiciones de operación) para los equipos.

2.4. Programación del proyecto de instalación de una planta para la producción de Rotenona a partir de Barbasco (Lonchocarpus).-

La programación de las actividades para la ejecución del proyecto en función al tiempo, se ha determinado utilizando el método de PERT.

El tiempo de duración se calcula mediante:

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

Donde:

t_e : Tiempo esperado

t_m : Tiempo más probable

t_o : Tiempo más optimista

t_p : Tiempo pesimista

La programación propuesta se define en la tabla N° 02, de la cual tenemos que el tiempo total esperado para la ejecución del proyecto es de 27 meses.

TABLA N° 02

DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DEL PROYECTO DE INSTALACIÓN

Actividades	Duración			Tiempo esperado "te"
	t_o	t_m	t_p	(meses)
Estudio de mercado	4	5	6	5
Diseño del proceso	2	3	4	3
Diseño detallado de ingeniería	4	5	7	5
Adquisición de equipos y materiales de construcción	4	5	6	5
Construcción	4	5	6	5
Puesta en Marcha	3	4	5	4

III. INGENIERÍA DE PROCESO

3.1. Desarrollo del proceso.-

3.1.1. Diseño del producto.-

La Rotenona es el producto obtenido a partir del Lonchocarpus, también llamado Barbasco, por extracción con solventes. Este constituido básicamente por Rotenona y los rotenoides Deguelina, Tefrosina y Toxicarol, que en su conjunto, son conocidos como resinas asociadas.

FIGURA N° 03

FÓRMULA ESTRUCTURAL DE LA ROTENONA



Fuente: Irwan y col., 2015.

La Rotenona es un químico natural producido por plantas leguminosas, biogénicamente relacionado con los isoflavonoides; es utilizada en la actualidad en la agricultura, acuicultura, apicultura y en la ganadería (Guayasamín y col., 2011).

a. Características físico- químicas

- Formula Química: $C_{23} H_{22} O_6$
- Peso molecular: 394,43 g/mol

b. Formas de presentación

Barbasco Triturado, Extracto de Rotenona, Rotenona pura, entre otros. Véase la figura N° 04, de izquierda a derecha.

FIGURA N° 04

FORMAS DE PRESENTACIÓN DE LA ROTENONA



Fuente: Sociedad mercantil (Exportación) S.A.

c. Empaque

- Empaque de Rotenona en polvo: Interno, doble bolsa de polietileno de color negro. Externo, cajas de cartón, cilindros de polietileno. Peso neto: 25 Kg, 50 Kg y 100 Kg.
- Empaque de Rotenona líquida: Envasado en botellas de polietileno en los siguientes volúmenes: 500 mL, 1 L, 5 L. Embaladas en cajas de cartón corrugado.

d. Especificaciones Técnicas

- Aspecto: Sólido granulado (molienda gruesa) fácilmente quebradizo y disgregable.
- Color: Ámbar oscuro.
- Olor: Fuertemente a Resinas Asociadas.
- Composición: Rotenona al 98 %, 70 % y 40 % (+ / - 2).
- Solubilidad: Soluble en solventes orgánicos polares, parcialmente soluble en aceites derivados del petróleo e insoluble en agua.
- Estabilidad química: Se degrada rápidamente por contacto con sustancias alcalinas y por acción directa de los rayos solares y corrientes de aire.
- Humedad: Menor a 450 ppm.
- Corrosividad: No corrosivo.
- Explosividad: No explosivo.
- Inflamabilidad: No inflamable.

e. Aplicaciones de la Rotenona

Se aplica de abajo hacia arriba, mojando al insecto que se encuentre refugiado debajo de las hojas y en los órganos vegetales.

Es recomendable que el tratamiento con Rotenona, se realice en horas de la tarde o noche, debido a que es una molécula fotodegradable. De modo general, se recomienda realizar un segundo tratamiento pasados dos o tres días de la primera aplicación y un tercero a los siete o diez días de la primera aplicación.

FIGURA N° 05
INSECTOS CORTADORES



Se recomienda su uso en agricultura contra: Mosca minadora, polilla de la patata, pulgones, tryps, mosca blanca, araña roja y demás ácaros, gorgojos de leguminosas, psila, hormigas, mosquito verde, prays, glyphodes y orugas y es recomendado en ganadería contra: pulgas, piojos, garrapatas y chinches.

3.1.2. Análisis de la materia prima.-

a. Descripción del Barbasco.-

El Barbasco (Lonchocarpus) pertenece a la familia de las leguminosas Fabácea y es una planta nativa de las selvas tropicales de Paraguay, Perú, Brasil, Guyana, en habitas desde los 100 mnm hasta los 1800 msnm.

El Barbasco es utilizado para la extracción de Rotenona, sustancia que se encuentra en sus raíces, empleada para la elaboración de pesticidas para el área agrícola, ganadera, pesquera, entre otras; por lo cual la planta posee un alto potencial industrial y medicinal.

El Barbasco se siembra en ceja de selva en suelos muy pobres, requiere de climas tropicales o sub tropicales con precipitaciones pluviales entre 1800 y 3500 mm/año y temperaturas medias anuales de 23 - 26 °C.

La reproducción es por estacas y el cultivo es continuo y su periodo vegetativo es a los tres o cinco años. La producción por hectárea, es aproximadamente de 7500 Kg de raíz seca con una densidad de 10000 plantas por hectárea. Asimismo, se sabe que requiere suelos con valores de ph en el rango de 4,5 - 7.

FIGURA N° 06

BARBASCO (LONCHOCARPUS)



Fuente: <http://www.selvanet20.blogspot.pe>

Para la comercialización del referido producto, las raíces deben ser lavadas y secadas y posteriormente molidas; por lo tanto, la comercialización del Barbasco se da generalmente en forma de raíces picadas o pulverizadas.

FIGURA N° 07

SELECCIÓN DE RAÍZ DE BARBASCO (LONCHOCARPUS)



Fuente: <http://www.infoagro.com>

b. Descripción de los solventes de extracción.-

- Tricloroetileno

El tricloroetileno es un líquido denso e incoloro, no inflamable, de aroma más bien dulce y sabor dulce ardiente. Se caracteriza por presentar una baja solubilidad en agua y baja inflamabilidad, sin embargo posee una elevada volatilidad.

Químicamente reacciona de forma violenta con metales, como por ejemplo el Litio, Magnesio, Aluminio, Titanio, Bario y Sodio, y se

descompone lentamente por acción de la luz y en presencia de humedad, liberando cloruro de hidrógeno (HCl).

TABLA N° 03
PROPIEDADES DEL TRICLOROETILENO

Fórmula química	$C_2HCl_3/CICH=CCl_2$
Aspecto	Líquido incoloro
Olor	Característico (dulce)
Aspecto y color	Líquido incoloro
Masa molar (g/mol)	131,4
Punto de ebullición	87°C
Punto de fusión	-73°C
Densidad (20/4)	1,46
Solubilidad en agua (g/L a 20°C)	0.1
Momento dipolar	0,9 D
Presión de vapor	7,8
Densidad relativa de vapor (aire=1)	4,5

Fuente: <http://www.prtr-es.es/>

Peligrosidad

- Puede provocar cáncer.
- Provoca irritación cutánea.
- Provoca irritación ocular grave.
- Puede provocar somnolencia o vértigo.
- Se sospecha que provoca defectos genéticos.
- Nocivo para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.

de las bebidas alcohólicas como el vino (alrededor de un 13%), la cerveza (5%), los licores (hasta un 50%) o los aguardientes (hasta un 70%).

TABLA N° 06
PROPIEDADES DEL ETANOL

Fórmula semidesarrollada	CH ₃ -CH ₂ -OH
Fórmula molecular	C ₂ H ₆ O
Estado de agregación	Líquido
Apariencia	Incoloro
Densidad	789 kg/m ³ ; 0,789 g/cm ³
Masa molar	46,07 g/mol
Punto de fusión	158,9 K (-114 °C)
Punto de ebullición	351,6 K (78 °C)
Temperatura crítica	514 K (241 °C)
Presión crítica	63 atm
Viscosidad	1.074 mPa·s a 20 °C
Acidez	15,9 pK _a
Solubilidad en agua	Miscible
ΔrH ⁰ _{gas}	-235,3 kJ/mol
ΔrH ⁰ _{liquido}	-277,6 kJ/mol
Punto de inflamabilidad	286 K (13 °C)
Temperatura de autoignición	636 K (363 °C)
Límites de explosividad	3,3% a 19%
Compuestos relacionados	Alcoholes (Metanol, Propanol)

Fuente: <http://www.merckmillipore.com>

Peligrosidad

Líquido y vapores muy inflamables. Provoca irritación ocular grave.

- Agua desionizada

El agua desionizada o desmineralizada es aquella a la cual se le han quitado los cationes, como los de sodio, calcio, hierro, cobre y otros, y aniones como el carbonato, fluoruro, cloruro, etc. mediante un proceso de intercambio iónico. Esto significa que al agua se le han quitado todos los iones excepto el H^+ , o más rigurosamente H_3O^+ y el OH^- , pero puede contener pequeñas cantidades de impurezas no iónicas como compuestos orgánicos.

El agua desionizada tiene valores típicos de resistividad de $18,2 M\Omega \cdot cm$, o su inversa, la conductividad, de $0,055 \mu S \cdot cm^{-1}$ y puede cambiar su pH con facilidad al ser almacenada, debido a que absorbe el CO_2 atmosférico. Éste, al disolverse, forma ácido carbónico, de ahí el aumento de la acidez, que puede ser eliminada hirviendo el agua. Es parecida al agua destilada en el sentido de su utilidad para experimentos científicos, por ejemplo en el área de la química analítica donde se necesitan aguas puras libres de iones interferentes.

Asimismo, el agua desionizada es bastante agresiva con los metales, incluso con el acero inoxidable, por lo tanto debe utilizarse plástico o vidrio para su almacenaje y manejo.

3.2. Análisis y descripción de tecnologías.-

Al revisar los diferentes artículos científicos, enciclopedias u otros sobre el proceso de extracción de Rotenona utilizando como materia prima raíces de Barbasco, no se ha encontrado información alguna sobre este tema.

Al revisar las patentes sobre el proceso de extracción de Rotenona de las oficinas de patentes de los Estados Unidos se han encontrado las siguientes patentes:

- Patente BD-13203, Process of Extracting rotenone from plant material.
- Patente BD-13200, Manufactura de insecticidas
- Patente BD-17735, Estudio de Rotenona

3.2.1. Tecnología 1. Extracción de Rotenona con tetracloruro de carbono.-

En la patente BD-13203 relaciona a un componente hecho de una combinación química de Rotenona y Tetracloruro de carbono. El objeto de esta invención es la extracción de este componente, el cual tiene valores altos de propiedades de insecticidas y agentes morfológicos, de plantas como el Barbasco y Timbo usando como solvente el Tetracloruro de Carbono. Este compuesto contiene 71,9% de peso de Rotenona y 28,1% de Tetracloruro de Carbono. Esta combinación consta de una proporción

molecular de Rotenona por una molécula de Tetracloruro de Carbono y su fórmula empírica es: $C_{33}H_{22}O_6.CCl_4$. Este compuesto estaría clasificado como la combinación de un componente y el solbato dentro de la composición química de la Rotenona con solvente Tetracloruro de Carbono.

Al preparar este compuesto químico se ha encontrado que posee diferentes propiedades tanto químicas y físicas de Rotenona y Tetracloruro de Carbono. El compuesto se cristaliza de un color bajo, formando cristales de varillas largas y delgadas, mientras que la Rotenona se cristaliza en forma de placas planas hexagonales; además este nuevo compuesto es menos soluble que la Rotenona. También se ha encontrado que la función de la Rotenona y Tetracloruro de Carbono ha resultado ser un producto que posee diferentes propiedades de aquellas que poseen la Rotenona actuando por sí sola y el Tetracloruro actuando por sí solo.

La patente menciona que el compuesto ha sido preparado por varias formas, indicando que puede ser producido disolviendo una mezcla de Rotenona en Tetracloruro de Carbono formando una solución y luego evaporándola para obtener un producto cristalino, dicho producto es el formulado por la patente.

Este componente de adición de Rotenona y Tetracloruro de Carbono es producto también de las raíces de plantas del género Derris

(Deguelia), raíces de plantas del género Lonchocarpus, raíces de plantas del género Spatholobus, o de cualquier otra planta o material vegetal que contiene Rotenona, este es realizado extrayendo cualquier planta antes mencionada con Tetracloruro de Carbono y evaporando el extracto líquido a un volumen pequeño y finalmente enfriándolo.

El material que se cristaliza es sustancialmente el producto cubierto por el invento. Luego, es disuelto en Tetracloruro de Carbono caliente, se enfría la solución y se separa cristalizándose mediante el método de filtración u otros medios similares empleados para separar la solución.

El método de extracción descrito constituye un nuevo y mejorado medio para obtener un compuesto cristalino y puro con propiedades insecticidas que son derivado de las plantas vegetales (raíces) que contiene el Rotenol.

3.2.2. Tecnología 2. Extracción de Rotenona con Tricloroetileno.-

La patente BD-17735 menciona que la extracción de la Rotenona de la raíz Deguelia (Derris) y la raíz Cube (Lonchocarpus Nicou) es un método de creciente importancia y que son numerosos los solventes utilizados en la extracción de las plantas para obtener Rotenol, y se ha dado que la mayoría de los investigadores han usado éter por la prontitud y pureza del producto, por lo que generalmente se separa la Rotenona del extracto del Tricloroetileno evaporado.

ROARK ha perfilado un método inventado por CLRAK de este laboratorio para la extracción de la Rotenona de estas raíces, que consiste en la extracción con Tricloroetileno, permitiendo que el material cristalino se separe del extracto evaporado y se filtre para finalmente ser pesado.

En un test hecho de numerosas muestras de Deguelia y de raíces de Cubé, se encontró que en la mayoría de casos en los que se utilizó este método, la Rotenona se cristalizó prontamente de la noche a la mañana y se filtró sin dificultad, sin embargo en otros casos la separación de la Rotenona del extracto fue muy suave y en grumos por lo que la filtración se realizó dificultosamente. En ambos casos se examinó el material cristalino separado a través del microscopio y se encontró que los compuestos solo contenían una pequeña proporción de Rotenona o ninguna.

En otros estudios para superar algunas de estas dificultades se sustituyó el Tetracloruro de Carbono por el Tricloroetileno, esto puesto que su poder de solvencia para la Rotenona es muy similar al éter. Este material puede ser secado en el aire y pesado, aplicando un factor para obtener el peso equivalente de Rotenona. Se menciona también que la Rotenona se separa de los extractos de Tetracloruro de Carbono más rápidamente en la mayoría de las raíces, que aquellos correspondientes a

los extractos de Tricloroetileno; sin embargo la cantidad de Rotenona obtenida por el uso de los dos solvente mencionados son excelentes.

Asimismo, se menciona que se ha utilizado el Tricloroetileno como solvente extractor por algún tiempo para obtener Rotenona de las raíces de Deguelia y Cubé en una escala comercial. Por ejemplo, se encontró que una muestra de raíz de Cubé contenía más del 10% de Rotenona.

Dos kilogramos de la misma muestra de esta raíz fueron extraídas simultáneamente por percolación a la temperatura de la habitación uno con Tricloroetileno y el otro con Tetracloruro de Carbono. Se tuvo que, fueron requeridos 60 litros de Tricloroetileno para extraer la misma cantidad de Rotenona como la obtenida por el uso de sólo 35 litros de Tetracloruro de Carbono. En ambos casos la Rotenona se separó rápidamente del extracto evaporado (separándose como el solbato del extracto de Tetracloruro de Carbono) y tuvo un alto grado de pureza. La pérdida del solvente por evaporación fue mucho menor que el caso del Tetracloruro de Carbono.

Entonces, es razonablemente cierto que la cantidad de Tetracloruro de Carbono utilizada en esta prueba pudo haber sido reducido considerablemente si el percolador hubiera sido calentado entre 60 °C a 70°C durante la extracción, ya que esto incrementa grandemente la solubilidad de la Rotenona, aunque el incremento de la solubilidad y de la

temperatura en el caso del Tricloretileno puede ser grande, este factor no puede ser tomado como ventaja a causa del bajo punto de ebullición.

Grandes cantidades de raíces de Deguelia también han sido extraídas satisfactoriamente con Tetracloruro de Carbono por su contenido de Rotenona. El solbato obtenido de estas extracciones puede ser liberado de la cristalización del Tetracloruro de Carbono recristalizando con alcohol. Esto también puede ser llevado a cabo calentando entre 80 a 90°C bajo una presión reducida necesaria (el solbato no se derrite bajo estas condiciones).

La cantidad de Tetracloruro de Carbono perdido de esta manera es prácticamente no tomado en cuenta siendo sólo el 35% de peso de la Rotenona recuperada. Una ventaja adicional del Tetracloruro de Carbono sobre el éter en la extracción comercial de la Rotenona es la ausencia del riesgo de fuego (inflamabilidad), ventaja muy importante.

3.2.3. Tecnología 3. Extracción de Rotenona con Cloroformo.-

La patente BD 13200, menciona que la Rotenona se extrae de las raíces de Derris, Timbo, y Barbasco utilizando Cloroformo como solvente extractor.

La obtención y determinación de la Rotenona por diferentes métodos se dan en la Tabla N° 07 de la página 47, donde menciona que la Rotenona fue extraída por un proceso en frío de Bech con Cloroformo y

plantea la comparación del proceso de extracción en corto tiempo de Tetracloruro de Carbono. Se concluyó, que en general el último tiende a dar resultados más altos (en algunos casos considerablemente más altos).

TABLA N° 07

COMPARACIÓN DE ROTENONA EXTRAÍDA DE RAÍCES CON CLOROFORMO Y TETRACLORURO DE CARBONO

Material, raíces	Proceso de extracción	
	Cloroformo (%)	Tetracloruro de Carbono (%)
Derris	4,30	4,20
Derris	5,80	4,00
Derris	5,55	4,95
Derris	4,65	4,60
Timbo	4,65	4,40
Timbo	4,30	3,65
Timbo	6,40	6,75
Timbo	4,00	4,30
Barbasco	7,50	7,80
Barbasco	5,50	6,10
Barbasco	5,65	5,45
Barbasco	4,70	5,10
Cube	6,00	5,20
Cube	4,10	4,00
Cube	6,20	5,80
Cube	4,40	4,50

Fuente: Patente BD-13200, J.S.C.I.

Se menciona también que el mejor procedimiento experimental aconsejable para propósitos comerciales es la extracción en Derris por el proceso de cloroformo en frío y otras raíces por ambos procesos tomando el resultado más alto, como el más cercano al real. Desde esa fecha se ha hecho una serie de comparaciones entre el proceso de cloroformo en frío y el proceso de extracción con tetracloruro de carbono en corto tiempo (6 horas) que fue llevado a cabo por SEIL, PUTT y RUSBY. El proceso anterior fue llevado a cabo exactamente como se describió, y el último fue llevado a cabo como sigue: 50 gr de polvo fino (pasando por malla 60 por lo menos) fueron extraídos con tetracloruro de carbono durante 6 horas en el equipo de extracción, luego se agrega 0,34 grs de un complejo de tetracloruro de carbono y Rotenona. El tetracloruro de carbono fue destilado hasta 40 mL y luego fue tratado como usualmente las cifras "puras" descritas en el siguiente cuadro los cuales fueron obtenidos por polarización.

Luego al analizar los resultados, las cifras nos llevan a la conclusión de que el proceso de Cloroformo nos da casi invariablemente resultados más altos en el caso de Derris y generalmente, aunque no siempre, resultados más bajos en el caso de Timbo y Barbasco; mientras que con el Cubé, nos da resultados solo un poco más altos para el Cloroformo que el Tetracloruro de Carbono.

Los resultados de tetracloruro de carbono deben ser explicados no por carencia de extracción completa pero si tomando grandes cantidades de resina los cuales prevén la cristalización. Es raro que con timbo se obtengan los resultados usualmente más altos por extracción corta que por extracción prolongada debidas aparentemente con respecto a la descomposición actual de la Rotenona y a este respecto la raíz de Timbo pareciera ser más sensible que las raíces Derris. En relación a esto la extracción de 16 y 8 horas de las muestras, probablemente el resultado más alto está siempre más cerca a los reales, ya que el complejo es bastante puro, por lo cual en los resultados de ensayos con Timbo, Barbasco y Cubé por ambos procesos se ha tomado el resultado más alto.

Las raíces Derris son ensayadas sólo por procesos en frío de cloroformo y se puede encontrar que el resultado adecuado es obtenido generalmente en determinaciones duplicadas.

3.2.4. Tecnología 4. Extracción de Rotenona con Etanol caliente.-

Esta tecnología propone la extracción de Rotenona por contacto de las raíces de barbasco con Etanol caliente, alternativa considerada ecológica debido a que no utiliza compuestos clorados.

La obtención del extracto alcohólico de la raíz de Barbasco se obtendrá por maceración y en equipo soxhlet. Asimismo, se proponen

extracciones sucesivas con la finalidad de lograr un mayor agotamiento del material vegetal seco.

3.3. Selección de tecnologías.-

Para la selección de la tecnología a usar, se ha utilizado el método semi cuantitativo, para lo cual se considera la calificación de la materia prima, insumos, complejidad del equipo y rendimiento de extracción.

Para la evaluación, se ha considerado el criterio de calificación establecido en el cuadro N° 01.

CUADRO N° 01
CALIFICACIÓN Y PONDERACIÓN

PUNTAJE	PONDERACION	CALIFICACION
9 - 10	19 - 20	Excelente
6 - 8	16 - 18	Muy bueno
3 - 5	13 - 15	Bueno
1 - 2	10 - 12	Deficiente

Fuente: Apuntes de clase. Diseño de plantas del Ing. L. Machaca.

En el caso de la calificación de la materia prima, se ha considerado la procedencia de la materia prima e insumos, al igual que su calidad, procedencia y costo en dólares americanos. Véase cuadro N° 02 y tabla N° 08 de la página 51.

CUADRO N° 02**EVALUACIÓN DE LA MATERIA PRIMA E INSUMOS**

MATERIA PRIMA	CALIDAD	PROCEDENCIA	COSTO
Barbasco	Raíz	Nacional	0,36 \$/Kg
Tetracloruro de Carbono	QP	Importado	25 \$/L
Tricloroetileno	QP	Importado	12,50 \$/L
Cloroformo	QP	Importado	21,43 \$/L
Alcohol etílico	Comercial	Nacional	2,50 \$/L

TABLA N° 08

**EVALUACIÓN TÉCNICA DE TECNOLOGÍAS DE PROCESO EN
FUNCIÓN A LA MATERIA PRIMA**

Factor	Calificación Ponderada			
	Tecnología 1	Tecnología 2	Tecnología 3	Tecnología 4
Barbasco	20	20	20	20
T. de Carbono	12			
Tricloroetileno		15		
Cloroformo			13	
Alcohol etílico				20
TOTAL	32	35	33	40

Respecto al impacto ambiental, se ha considerado como contaminante el efecto de los insecticidas clorados, los cuales son altamente persistentes en los suelos y tienden a acumularse en los tejidos

grasos de los mamíferos, donde tienen un medio biológico de 2 años activos por lo cual se consideran contaminantes.

Los parámetros considerados y la calificación de cada una de las tecnologías se describen en la Tabla N° 09.

TABLA N° 09
EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS DEL PROCESO

Tecnología	Aspecto técnico (Puntaje)	Equipo a usar	Rendimiento %	Impacto Ambiental	Costo de tecnología \$/Kg
1	32	Complejo	92,30	Contamina	41,74
2	35	Simple	91,60		23,00
3	33	Complejo	90,67		36,40
4	40	Simple	91,80	No contamina	13,62

Finalmente, del análisis de la Tabla N° 09 se concluye una clara ventaja en usar la Tecnología 4, "Proceso de Extracción de Rotenona con Etanol caliente" con respecto a las otras tres tecnologías, razón por la cual es la tecnología seleccionada.

Los parámetros determinantes para esta decisión fueron:

- Aspecto técnico (materia prima)
- Equipo a usar
- Rendimiento
- Costos de tecnología
- Impacto ambiental

3.4. Diseño del proceso de la tecnología seleccionada.-

3.4.1. Procedimiento de diseño del proceso industrial.-

a. Descripción de la tecnología seleccionada.-

Las raíces frescas de Barbasco después de ser cosechadas serán secadas al ambiente, lavadas con agua potable, se picaran y serán sometidas a deshidratación a temperatura de 50°C por 48 horas (Vilchez, 1993).

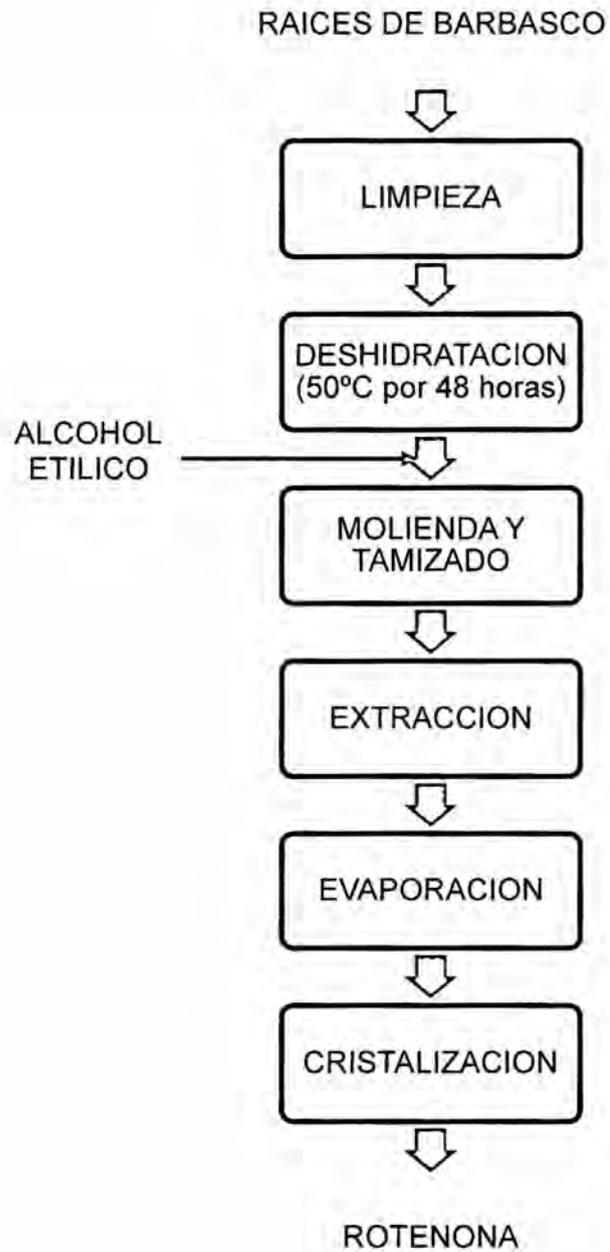
Después sigue el proceso de molienda de las raíces secas y limpias, obteniéndose Barbasco en polvo con un contenido de Rotenona de 7,3% a 10%. El equipo empleado será un molino de martillos, el cual permite obtener polvo fino de raíces de barbasco para un mejor rendimiento de las posteriores etapas de transformación.

El Barbasco en polvo fino proveniente de la molienda será contactado en el extractor sólido-líquido con alcohol etílico caliente, obteniéndose como producto a la Rotenona en estado líquido, la cual pasara al proceso de evaporación para recuperar el solvente, y a cristalización para la obtención de Rotenona en cristales. Finalmente el producto será empacado para su comercialización respectiva.

El diagrama del proceso de la tecnología seleccionada se muestra en la figura N° 08 de la página 54.

FIGURA N° 08

DIAGRAMA DE PROCESO DE LA TECNOLOGÍA SELECCIONADA



b. Desarrollo de la tecnología seleccionada a nivel laboratorio

Bases de Diseño

Se estudió experimentalmente la tecnología seleccionada para la extracción de la Rotenona mediante el contacto del Barbasco molido con el alcohol etílico como solvente. Las variables de importancia fueron:

- Cualitativos: Diferentes métodos de extracción y tipos de equipos.
- Cuantitativo: Temperatura, tiempo de extracción, flujo de alimentación de Barbasco y de solvente y grado de extracción.

Procedimiento Experimental

Acondicionamiento de la materia prima

Para la preparación de las raíces de Barbasco se ha considerado una distribución del principio activo que oscila entre 7,3% y 10% de Rotenona en todo el material sólido original (Barbasco).

FIGURA N° 09

ACONDICIONAMIENTO, PESADO Y MOLIENDA



Las raíces de Barbasco fueron adquiridas en la ciudad de Iquitos, las cuales fueron lavadas, secadas, trozadas y trituradas para romper las paredes celulares.

Extracción

Se han considerado los siguientes métodos:

- **Equipo Soxhlet con alcohol etílico**

Se colocó en un matraz balón de 200 mL, un volumen de 155 mL de alcohol etílico y se conectó con la columna transportadora de vapor, el cual a su vez fue conectado al condensador y éste al tope de la columna. Luego por la parte posterior de la columna de extracción se alimentó 30 gramos de Barbasco molido. Véase figura N° 10.

FIGURA N° 10

ALIMENTACIÓN DEL BARBASCO Y PUESTA EN MARCHA



Instalada la columna extractora, se conectó el sifón al matraz balón y se efectuó la extracción a una temperatura de 50 °C en forma repetida al Barbasco molido, resultando ser 3 etapas. Véase la figura N° 11 y la figura N° 12.

FIGURA N° 11

PROCESO DE EXTRACCIÓN, CONTROL DE PRUEBA Y TOMA DE MUESTRA



FIGURA N° 12

ETAPAS DE EXTRACCIÓN DE ROTENONA



- **Extracción por destilación directa por arrastre de vapor**

Se colocó un volumen de 1200 mL de alcohol etílico en el matraz balón de 2000 mL y se conectó con la columna extractora. Luego por la parte posterior de la columna de extracción se alimentó 175 gramos de Barbasco molido.

FIGURA N° 13
EXTRACCIÓN POR DESTILACIÓN DIRECTA POR ARRASTRE CON
VAPOR



Se ha determinado que no hay caída de presión en el lecho fijo del de Barbasco molido.

- **Extracción por cohobación**

En el matraz balón de 2000 mL se vierten 500 mL de alcohol etílico. Luego se coloca el Barbasco trozado en contacto directo con el alcohol etílico en ebullición, completamente sumergido; aquí los vapores del alcohol etílico fueron condensados recuperándose el disolvente.

Por el tope del balón extractor se conectó el cuello de cisne uniéndolo con el condensador y este a su vez al recipiente de recepción.

FIGURA N° 14
EXTRACCIÓN POR COHOBACIÓN



Resultados

Los resultados obtenidos de la experimentación se muestran en la tabla N° 10.

TABLA N° 10
RESULTADOS EXPERIMENTALES DEL PROCESO

Métodos de extracción	Tiempo de extracción (minutos)	Rendimiento (%)
Soxhlet	25	98
Arrastre por vapor	30	90
Cohobación	20	87

De la tabla N°10 de la página 59, se concluye que el procedimiento apropiado para la obtención de Rotenona a nivel industrial es la extracción por soxhlet en flujo cruzado.

c. Predicción de la tecnología de extracción de Rotenona por el método soxhlet.-

Recepción y preparación de la materia prima

Las raíces frescas de Barbasco (Lonchocarpus) son trozadas en la picadora o cortadora y pesadas para posteriormente valorar su rendimiento.

Lavado

Las raíces cortadas pasan por un transportador de sólidos, en el cual hay una ducha a presión para la remoción de partículas inertes adheridas a las raíces.

Secado

Las raíces son secadas con aire caliente en contracorriente.

Molienda

Las raíces secas son pulverizadas en un circuito cerrado de molino de martillo con una sección clasificadora entre las partículas de tamaños de -50 mallas a +50 mallas.

Extracción

El extracto de Rotenona se obtiene a partir del contacto de las raíces pulverizadas de Barbasco con Etanol (70%) a una temperatura de 50°C en un extractor de lecho fijo (soxhlet) durante 25 minutos por cada etapa de extracción, con un tiempo total del proceso de extracción de 75 minutos.

Las proporciones de los componentes para la extracción tienen una relación líquido/sólido de 5,167.

El Etanol es sometido a calentamiento hasta alcanzar una temperatura de 50 °C y después es enviado por gravedad al extractor de lecho fijo (soxhlet) para contactarse con la raíz de Barbasco pulverizado.

Evaporación

La solución resultante de la extracción es evaporada para la concentración de la Rotenona y para la separación y recuperación del Etanol. Luego, la Rotenona concentrada es bombeada al tanque de almacenamiento para luego ser enviada al cristizador para la obtención de Rotenona cristalizada.

Cristalización

La solución resultante de la evaporación es cristalizada por refrigeración y luego los cristales separados por centrifugación.

Envasado

Debido a que la Rotenona es fotosensible, el envasado considera recipientes que no permitan el ingreso de luz con tapas herméticas.

3.4.2. Balance de materia y energía

En el balance de materia se realiza la verificación de la igualdad cuantitativa de masas que debe existir entre los insumos de entrada y los productos de salida.

Balance de materia en la extracción



Para el balance de materia del proceso de extracción, se ha considerado el tamaño de planta óptimo 415 TM/año (véase la tabla N° 16 de la página 90) y las condiciones de operación.

$$415 \frac{\text{TM}}{\text{año}} \cdot \frac{1 \text{ año}}{265 \text{ días}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}} \cdot \frac{2 \text{ horas}}{\text{Lote}} = 0,131 \frac{\text{TM}}{\text{Lote}} = 131 \frac{\text{Kg}}{\text{Lote}}$$

Asimismo, se ha considerado una distribución de 7,32% del principio activo en las raíces de Barbasco.

$$F * 7,32\% = 131 \text{ kg de Roterona /lote}$$

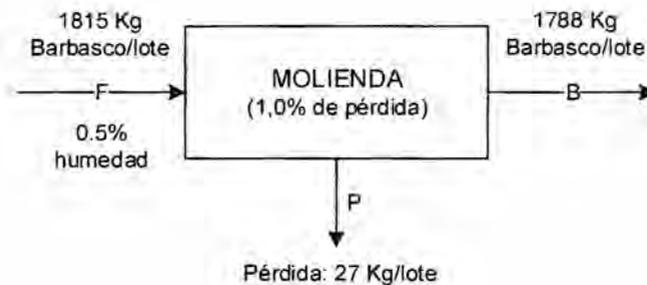
$$F = 1788 \text{ kg de Barbasco /lote}$$

Luego con los datos obtenidos experimentalmente tenemos el rendimiento en cada fase del proceso.

- Balance en la molienda

Balance global:

$$F = B + P$$



Balance de componentes:

$$99\% \cdot x_F \cdot F = B$$

$$(0,99) \cdot (0,995) F = 1788 \text{ kg de Barbasco /lote}$$

$$F = 1815 \text{ kg de Barbasco /lote}$$

Luego en el balance global:

$$P = F - B$$

$$P = 1815 \text{ kg} - 1788 \text{ kg}$$

$$P = 27 \text{ kg de pérdida (Barbasco y agua)}$$

- **Balance en el secado**

Balance global:

$$F = P + E_s$$



Balance de componentes:

$$x_F \cdot F = x_P \cdot P + y \cdot E_s$$

$$y = 0$$

$$(0,89) F = (0,995)(1815 \text{ kg de Barbasco /lote})$$

$$F = 2029 \text{ kg de Barbasco /lote}$$

Luego en el balance global:

$$E_s = F - P$$

$$E_s = 2029 \text{ kg} - 1815 \text{ kg}$$

$$E_s = 214 \text{ kg de agua evaporada}$$

- **Balance en el evaporador**

Balance global:

$$F = L + V$$

$$7421 \text{ Kg} = L + V$$

Balance de componentes:

$$x_F \cdot F = x_L \cdot L + y \cdot V$$

$$y = 0$$

$$(0,80) (7421) = (0,5) L$$

$$L = 1187 \text{ Kg de solución de Rotenona /lote}$$

Luego en el balance global:

$$V = 7421 \text{ Kg} - 1187 \text{ Kg} = 6234 \text{ Kg}$$

$$V = 6234 \text{ Kg de Etanol}$$



- Balance en el cristalizador

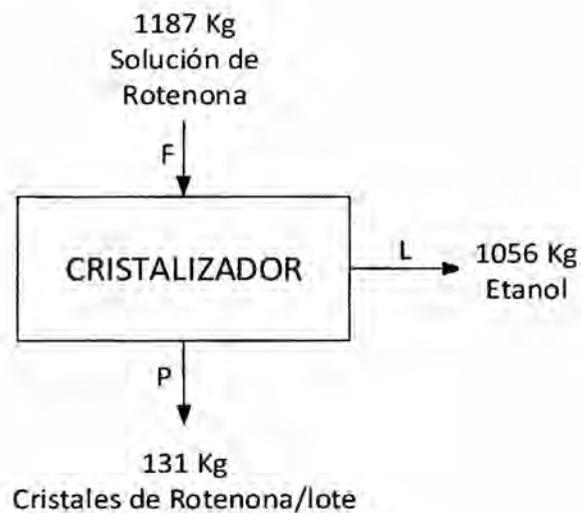
Balance global:

$$F = L + P$$

$$1187 \text{ Kg} = L + 131 \text{ Kg}$$

$$L = 1187 \text{ Kg} - 131 \text{ Kg}$$

$$L = 1056 \text{ kg de Etanol}$$



3.4.3. Diseño del diagrama de proceso.-

a. Diagrama de Bloques.-

De la predicción del proceso industrial diseñado se ha elaborado el diagrama de bloques que incluye el balance de materia y el balance térmico por ser un proceso difusional. Véase la figura N°15 de la página 68.

b. Diagrama de Flujo codificado.-

Describe la secuencia del proceso de extracción mediante los esquemas funcionales con sus respectivas codificaciones. Véase la figura N°16 de la página 69.

3.5. Plan maestro o Plot Plan.-

Llamado también plano de localización de equipos, contiene el bosquejo o el dibujo inicial de la distribución y localización de los equipos para las unidades que componen el proceso de la planta industrial para la extracción de la Rotenona.

Este documento muestra el área del proceso con la localización respectiva de los equipos y el área administrativa, tales como edificios, tanques de almacenamiento del etanol, generadores de vapor, taller de mantenimiento de equipos, vestidores de personal, etc. Véase la figura N°17 de la página 70.

FIGURA N° 15

DIAGRAMA DE BLOQUES PARA LA PRODUCCIÓN DE ROTENONA

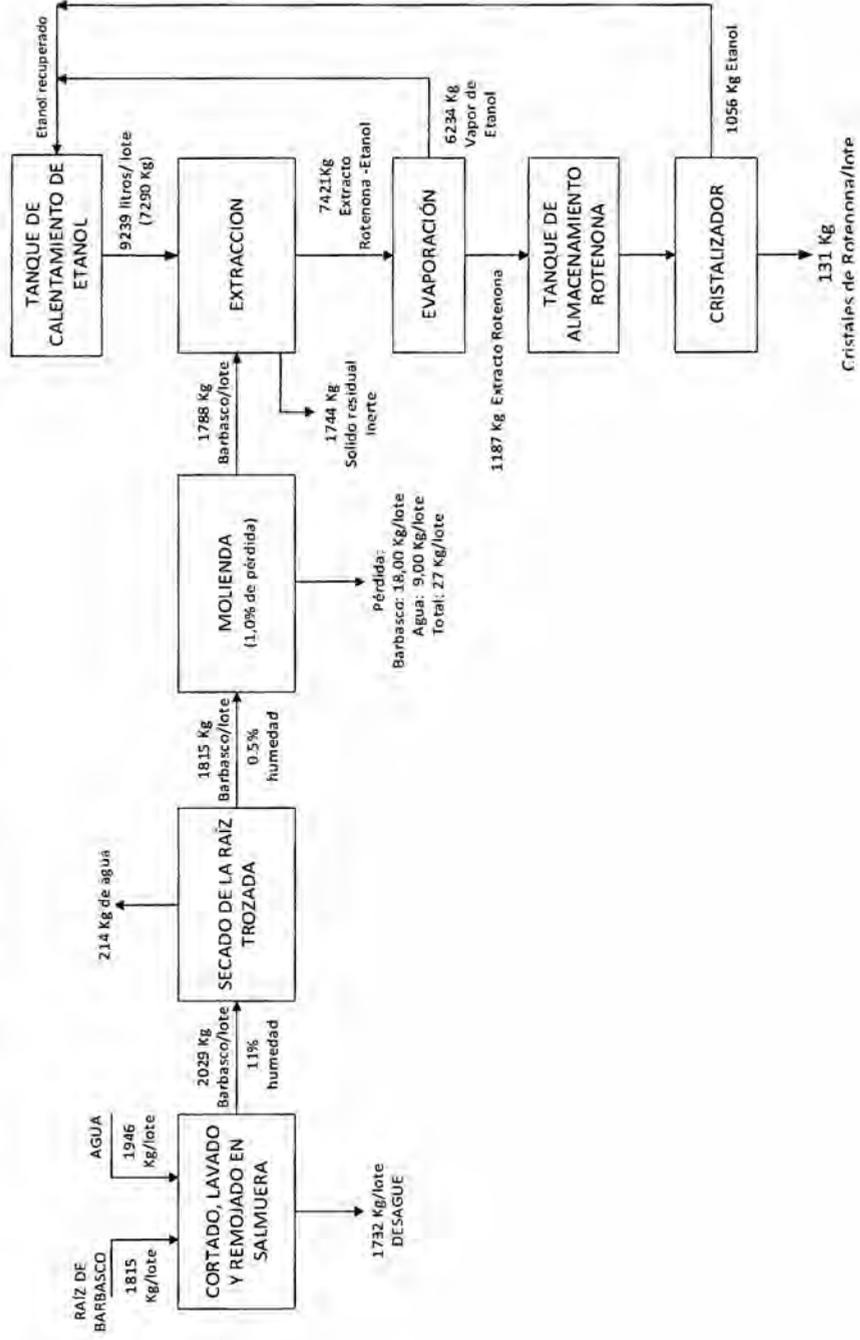


FIGURA N° 16

DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA PRODUCCIÓN DE ROTENONA

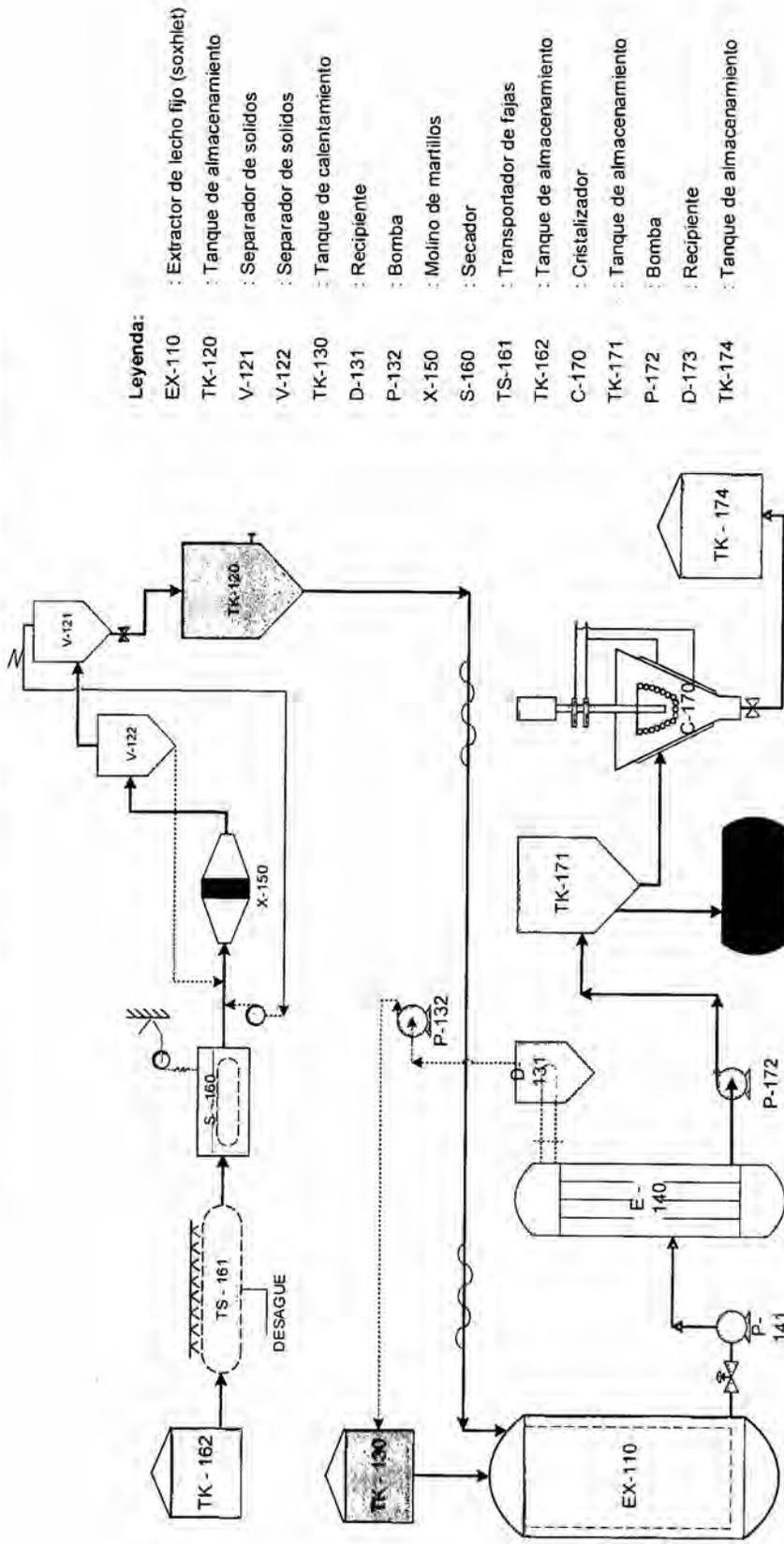
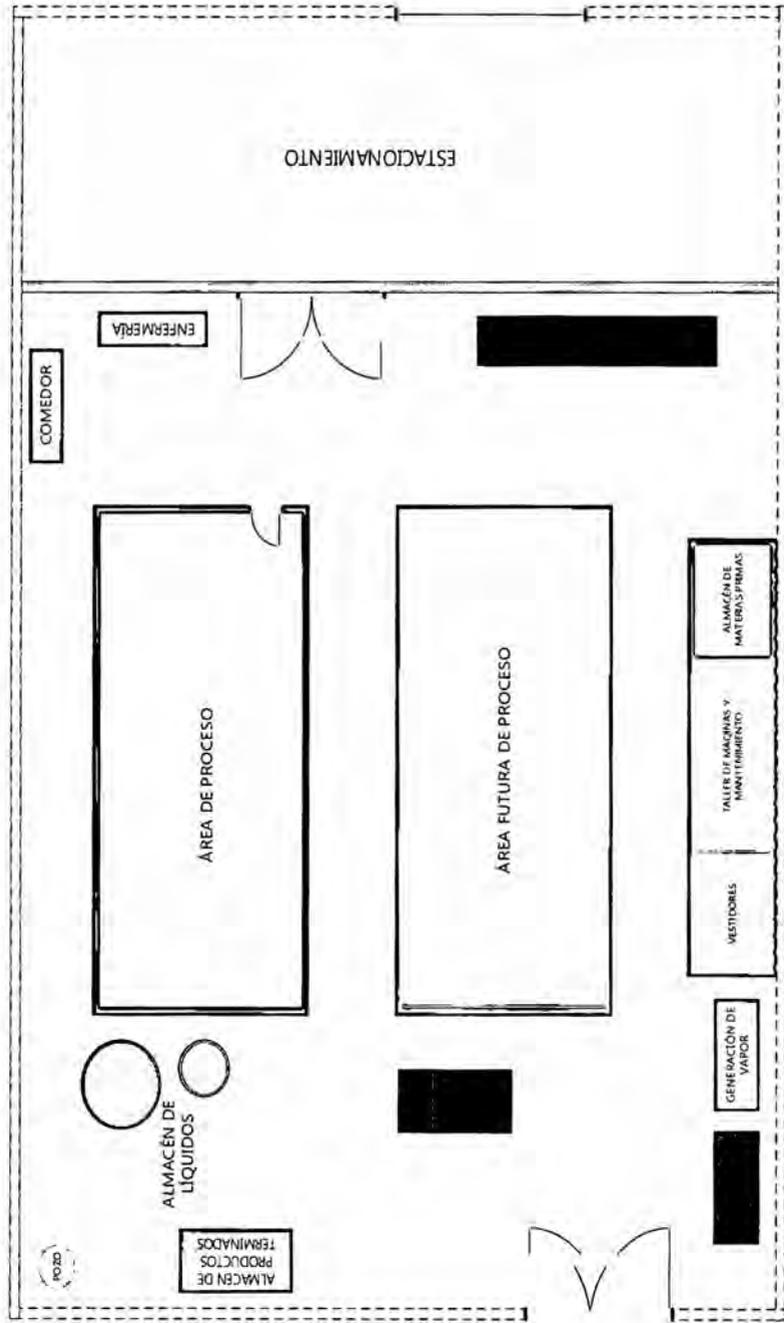


FIGURA N° 17
PLAN MAESTRO PARA LA PRODUCCIÓN DE ROTENONA



IV. LOCALIZACION Y TAMAÑO DE LA PLANTA

4.1. Localización de planta.-

Para determinar las posibles ubicaciones de la planta de producción de Rotenona a partir de Barbasco se ha tomado en consideración los siguientes aspectos:

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

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 ya que el transporte de la materia prima implica un costo que se podría reducir cuanto más cerca se encuentren los lugares de producción de la materia prima.

El Barbasco proviene principalmente de bosques naturales, sin embargo en los últimos años existe una tendencia creciente a plantar esta

especie y en América uno de los principales productores es el Perú. Los centros de producción del Barbasco en el Perú están en los departamentos de Loreto, Ucayali, Ayacucho, San Martín, Huánuco, Pasco y Junín (INDECOPI, 2015).

En los últimos 20 años, el Barbasco repentinamente se convirtió en un producto de exportación, siendo una importante actividad económica en la zona de Lagunas, Jeberos, Santa Cruz y Cahuapanas, en la provincia de Alto Amazonas, desde donde se transporta a Iquitos, siendo comercializado al exterior por dos empresas: Astoria S.A. y Sudamérica S.A. (IIAP, 2014).

El principal medio de transporte del Barbasco es por vía fluvial, siendo el tramo crítico de Jeberos al río Huallaga (Lagunas), pues se utiliza en la primera etapa la quebrada Rumiyacu, que solo es navegable en la época de creciente por botes con motor chicos y en una segunda etapa por el río Aypena, donde existe navegación comercial con embarcaciones de 10 a 20 T.M.; finalmente la navegación por el río Huallaga no tiene mayores problemas de tal manera que a través de este río se puede llegar de Yurimaguas a Iquitos y viceversa (IIAP, 2014).

El distrito de Jeberos tiene un pequeño aeródromo parcialmente pavimentado que sólo permite la operación de avionetas de reducida capacidad; no pudiendo aterrizar aviones cargueros (IIAP, 2014).

Por lo tanto, la localización de planta está entre las ciudades de Iquitos y Pucallpa. En el cuadro N° 03, se puede notar la diferencia de abastecimiento de materia prima (raíz de Barbasco).

CUADRO N° 03
ABASTECIMIENTO DE RAÍZ DE BARBASCO

Ciudad	Lugar de procedencia	Cantidad (TM/año)	Costo S/. /Kg
Iquitos	Jeberos-Lagunas-Yurimaguas	4500	0,50 a 0,60
Pucallpa	Pucallpa	117	0,8 a 1,00

Fuente: Cámara de comercio e industria de Loreto y CODESU Ucayali.

b. Disponibilidad de mano de obra.-

De acuerdo a las estadísticas realizadas por el INEI - 2012 de la región Loreto indica que han sido estudiadas la población económicamente activa (PEA) en los sectores analizados, lo cual se muestra en el Cuadro N° 04.

CUADRO N° 04
POBLACIÓN ECONÓMICAMENTE ACTIVA

Ciudad	Población	PEA	%	PBI per cápita
Iquitos	970918	391878	96,29	7294
Pucallpa	458177	15100	3,71	5267
Total		406 978	100,00	

Fuente: INEI 2012.

c. Disponibilidad de agua.-

El abastecimiento de agua en todos los distritos de los lugares analizados para la instalación de la planta industrial es regularmente constante y esto se muestra en el Cuadro N° 05.

CUADRO N° 05
DISPONIBILIDAD DE AGUA

Ciudad	Empresa que abastece	Producción m³/año
Iquitos	EPS SEDALORETO S.A.	17 027 500
Pucallpa	EMAPACOP S.A.	12 954 526

Fuente: INEI 2012.

d. Disponibilidad de energía eléctrica.-

La producción de energía eléctrica, en el quinto mes del 2012, se expandió en 8,7% con respecto al volumen reportado en mayo 2011, 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 analizadas.

En el Perú, el sistema eléctrico está conformado por dos sistemas interconectados: Centro norte (SICN) y Sur (SISUR), los cuales concentran el 72% de la capacidad instalada de todo el país. Las ciudades de Iquitos y Pucallpa son abastecidos por SICN.

CUADRO N° 06

DISPONIBILIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Ciudad	Potencia instalada (Mw)	Potencia efectiva (Mw)
Iquitos	364,94	305,06
Pucallpa	241,97	214,69

Fuente: INEI 2012.

e. Facilidades de transporte.-

Las carreteras se encuentran asfaltadas en su gran mayoría debido al incentivo de desarrollo económico de la región amazónica. De esta manera, el transporte del producto final desde la planta industrial al aeropuerto (costos de transporte) son los siguientes (Publicación gráfica del Departamento de Loreto, 2012):

- Jeberos-Lagunas-Yurimaguas (fluvial) : S/. 0,20 a 0,30/Kg
- Lagunas-Iquitos (fluvial) : S/. 350 a 400/TM
- Iquitos-Pucallpa-Lima : S/. 250 a 300/TM

CUADRO N° 07

FACILIDAD DE TRANSPORTE PARA LA MATERIA PRIMA

Ciudad	Procedencia: Medio transporte	Costo de transporte S/. /Kg
Iquitos	Jeberos- Lagunas- Yurimaguas: Fluvial	0,35
Pucallpa	Pucallpa: Terrestre	0,10

Fuente: Publicación gráfica del Departamento de Loreto, 2012.

CUADRO N° 08

FACILIDAD DE TRANSPORTE PARA EL PRODUCTO FINAL

Ciudad	Distancia (Km) Planta Industrial - Aeropuerto	Costo de transporte S/. /Kg
Iquitos	12	0,10
Pucallpa	8	0,10

Fuente: Publicación gráfica del Departamento de Loreto, 2012.

f. **Clima.-**

El cultivo del Barbasco depende de climas cálidos, pudiendo aceptar que los indicadores climáticos de hasta 26°C.

CUADRO N° 09

INDICADORES CLIMÁTICOS

Ciudad	Temperatura	Clima
Iquitos	16 a 35 °C	Húmedo, cálido
Pucallpa	32 °C	Húmedo, cálido

Fuente: SENAMHI.

g. **Características del terreno.-**

Para la evaluación del terreno, se requiere el costo de terreno por metro cuadrado en cada una de las localidades analizadas, análisis que se muestra en el cuadro N° 10 de la página 77.

CUADRO N° 10

COSTO DE TERRENOS

Ciudad	Costo \$ / m ²
Iquitos	121
Pucallpa	100

Fuente: SUNARP.

4.1.2. Evaluación y elección de localización de planta.-

Para el análisis de los factores locacionales se realizó la ponderación de los factores propuestos según la escala de calificación propuesta en el cuadro N°11.

CUADRO N° 11

ESCALA DE CALIFICACIÓN (1 – 10)

Puntaje	Peso relativo	Calificación de localización
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	Inadecuado

Fuente: Apuntes del curso Diseño de plantas del Ing. L. Machaca.

Del análisis del cuadro N°12 de la página 78, se concluye que la localización de la planta industrial para la producción de Rotenona a partir de Barbasco será en la localidad de Iquitos en el distrito de Belén.

CUADRO N° 12

EVALUACIÓN DE FACTORES LOCACIONALES

Factores de localización	Selección de la región	Selección del sitio	Localización 1 Iquitos		Localización 2 Pucallpa	
			Región Loreto	Sitio Belén	Región Ucayali	Sitio Pucallpa
Materia prima	x	o	90	90	80	80
Mano de Obra	x	o	80	80	60	60
Agua	x	o	60	60	70	70
Energía eléctrica	x	o	50	50	70	70
Transporte	x	o	80	80	70	70
Clima	x	o	90	90	80	80
Terreno		o		80		90
Total			450	530	430	520

4.2. Tamaño de Planta.-

4.2.1. Tamaño de Planta Máximo.-

Tamaño de Planta- Mercado.-

La demanda del Barbasco a nivel nacional es reducida y su aplicación directa todavía incipiente; sin embargo existe una demanda potencial interesante a medida que se vayan incrementando el uso de pesticidas naturales en agricultura, ganadería y medicina humana (IIAP, 2014).

Los principales mercados a nivel internacional para la exportación de la Rotenona son los países compradores de la raíz de Barbasco

triturado y estos son: Estados Unidos, Bangladesh, Francia, Marruecos, Australia, Países Bajos y China.

TABLA N° 11

PRINCIPALES MERCADOS PARA LA ROTENONA EN MILES DE US\$

Mercado	FOB (Miles US\$)
Estados unidos	3679,36
China	401,32
Bangladesh	250,53
Canadá	216,71
México	154,66
Alemania	136,15
Chile	127,34
Francia	109,45
Japón	56,47
Otros paises (25)	298,92
Total	5430,91

Fuente: SUNAT.

Los datos que se muestran en la Tabla N° 11 provienen del estudio de la demanda del año 2014 según fuente SUNAT, donde se indica que la demanda en dólares norteamericanos asciende a \$ 5 430 910,00, y a un precio de venta de \$ 900/ TM, se tiene una demanda de 6034 TM de Barbasco anual, que una vez extraída la Rotenona se tendría una producción de 483 TM/ año, siendo esta la capacidad de planta máximo prevista para el proyecto de instalación de la planta para la producción industrial de la Rotenona.

4.2.2. Tamaño de Planta intermedio.-

a. Tamaño de planta – Materia Prima.-

En el extranjero, en especial en Estados Unidos de Norteamérica, existe la demanda de raíz de Barbasco en polvo donde se tiene reportes de importantes exportaciones despachadas por el puerto fluvial y aeropuerto de Iquitos en los últimos años, a cargo de las empresas Astoria S.A. y Sudamérica S.A., llegándose a exportar por esta vía volúmenes anuales de 3800 TM en forma de polvo y partículas. También existe demanda en países europeos como Alemania, Francia e Inglaterra, cuyos pedidos han llegado a la Cámara de Comercio e Industria de Loreto (IIAP, 2014).

Los precios de polvo de Barbasco en el exterior fluctúan entre USA \$ 900 a \$ 3480 por tonelada métrica pero no se conoce el precio del extracto de Rotenona.

Por esta razón, para el análisis de tamaño de planta mercado se ha estudiado cuantitativamente la exportación del Barbasco (materia prima) desde el año 2005 hasta el año 2014, según los datos proporcionados por la SUNAT, en la tabla N° 12 de la página 81.

El análisis cuantitativo del Barbasco como materia prima nos permite determinar la relación de tamaño de planta – materia prima

considerando la distribución del principio activo Rotenona en la raíz de Barbasco que según estudios oscila entre el 7,32 % y 10 %.

TABLA N° 12

DATOS HISTORICOS DE BARBASCO EXPORTADO

N°	Año	Cantidad de Barbasco exportado (TM/año)	Cantidad de Rotenona a producir (TM/año, calculado)
1	2005	3000	240
2	2006	2782,3	223
3	2007	2703	216
4	2008	3201	256,1
5	2009	3600	288
6	2010	4050,4	324
7	2011	3989,3	319
8	2012	4100,2	328
9	2013	4278,4	342,3
10	2014	4379,3	350,4

Fuente: SUNAT – ADUANAS.

Así, a partir de los datos históricos de exportación del Barbasco en los últimos diez años se realizó la proyección de la producción de Rotenona en el mismo periodo; utilizando para este fin un valor de 8% de principio activo. Los cálculos obtenidos en se muestran en la tabla N° 12 y fueron realizados de la siguiente manera:

$$3000 \frac{\text{TM barbasco}}{\text{año}} \cdot \frac{0,08 \text{ TM rotenona}}{\text{TM barbasco}} = 240 \frac{\text{TM rotenona}}{\text{año}}$$

Los modelos econométricos de los resultados obtenidos se evaluaron en la tabla N° 13.

TABLA N° 13

MODELOS ECONOMÉTRICOS

Modelo	Ecuación	R² (Coeficiente de correlación)
Lineal	$y = 198.11x + 2518.8$	$R^2 = 0.8837$
Exponencial	$y = 2609.6 e^{0.0562 x}$	$R^2 = 0.8594$
Logarítmica	$y = 756.34 \ln(x) + 2466$	$R^2 = 0.7550$
Potencial	$y = 2565.9 x^{0.2159}$	$R^2 = 0.7428$
Polinómica	$y = -2.1913 x^2 + 222.21 x + 2470.6$	$R^2 = 0.8844$

Del análisis de los modelos econométricos y sus coeficientes de correlación se determinó que el modelo que mejor representa a los datos históricos reales es el modelo polinomial:

$$y = -2.1913 x^2 + 222.21 x + 2470.6$$

Por consiguiente, este modelo fue usado para calcular la proyección de la materia prima (Barbasco) y la proyección de capacidad de producción del Rotenona. Véase la tabla N°14 de la página 83.

TABLA N° 14
PROYECCIÓN DE BARBASCO A EXPORTAR Y ROTENONA A
PRODUCIR

Año	Cantidad de Barbasco a exportar proyectado (TM/año)	Cantidad de Rotenona a producir proyectado (TM/año)
2015	4650	372
2016	4822	386
2017	4989	399
2018	5152	412
2019	5311	425
2020	5465	437
2021	5615	449
2022	5761	461
2023	5902	472
2024	6038	483

Con los datos proyectados de la tabla N° 14 se determinó el tamaño de planta - Materia prima utilizando el siguiente modelo matemático:

$$T_0 = P_1(R)^{n_0} \quad (1)$$

Calculando el η_0 :

$$\frac{1}{R^{n_0}} = 1 - \frac{2(1-\alpha)(R-1)(N-n_0)}{\alpha(R+1)} \quad (2)$$

$$R = 1 + \bar{r} \quad (3)$$

$$\bar{r} = \frac{r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5 + r_6 + r_7 + r_8 + r_9}{9} \quad (4)$$

Donde:

T_0 : Tamaño de planta en TM/año

P_1 : Producción de Rotenona proyectada del año base

η_0 : Parámetro de corrección

\bar{r} : Tasa de crecimiento promedio.

α : Factor de escala, para industria química es 0,6

N : Número de datos de la proyección

La tasa de crecimiento se encuentra calculada en la tabla N°15 de la página 85, y se trabajó con la siguiente fórmula:

$$r_i = \frac{D_2 - D_1}{D_1} \quad (5)$$

Se obtiene:

$$\bar{r} = 0,029449 \quad \text{y} \quad R = 1,029449.$$

Reemplazando los valores anteriores en la ecuación 2:

$$\frac{1}{(1,029449)^{\eta_0}} = 1 - \frac{2(1-0,6)(1,029449 - 1)(9 - \eta_0)}{0,6(1,029449 + 1)}$$

Por el método de Newton Raphson se determinó el valor de $\eta_0=3.715$ obteniendo finalmente el tamaño de planta Materia prima reemplazando los datos obtenidos en la ecuación 1:

$$T_0 = 372 (1,029449)^{3,715} = 415 \text{ TM/año}$$

TABLA N° 15

TASA DE CRECIMIENTO

Año	Tasa de crecimiento (R_i)	Producción de Rotenona para el proyecto (TM/Año)
2015	-----	372
2016	37,635	386
2017	33,678	399
2018	3,258	412
2019	31,553	425
2020	28,235	437
2021	2,746	449
2022	2,673	461
2023	2,386	472
2024	2,331	483

b. Tamaño de planta – Inversión.-

Para determinar la capacidad de planta en función de la Inversión, se consideró que el tamaño de planta no exceda a la capacidad de inversión, para lo cual se tomó como referencia una planta similar de producción de ácido tánico, donde para una producción de 20000 TM/año se requirió una inversión de \$ 50 042 100,00, luego aplicando el método de Williams, con $I_2 = 5\ 000\ 000$ (capacidad de Inversión).

$$\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^\alpha \quad (6)$$

Donde:

I_2 : Inversión fija de la planta nueva

I_1 : Inversión fija de la planta similar conocida

T_2 : Tamaño de planta proyectada

T_1 : Tamaño de planta instalada similar conocida

α : Factor de volumen, para plantas químicas es 0,6

Entonces:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{I_2}{I_1} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \quad (7)$$

$$T_2 = 20000 \left(\frac{5000000}{500421} \right)^{1,6666}$$

$$T_0 = 430 \text{ T/año}$$

4.2.3. Tamaño de planta mínimo.-

Tamaño de planta- punto de equilibrio.-

La relación tamaño de planta - punto de equilibrio se determinó partiendo de la definición de punto de equilibrio donde el costo total anual de los productos se hace igual al ingreso por ventas, así tenemos:

$$\text{Costo total (CT)} = \text{Ingreso por ventas (I)}$$

$$C_T = I$$

El ingreso por ventas:

$$I = p \cdot Q_v \quad (8)$$

Q_V : Cantidad a producir para venta

p : precio de venta

Costo total:

$$C_T = C_f + C_v \quad (9)$$

Costo variable:

$$C_v = v \cdot Q_p \quad (10)$$

Reemplazando las ecuaciones (8) y (10) en (9):

$$p \cdot Q_V = C_f + v \cdot Q_p \quad (11)$$

En el punto de equilibrio se tiene que:

$$Q_v = Q_p = Q_{\min} \quad (12)$$

Reemplazando (12) en (11):

$$p \cdot Q_{\min} = C_f + v \cdot Q_{\min} \quad (13)$$

$$Q_{\min} = \frac{C_f}{p - v} \quad (14)$$

Tenemos:

$$C_f : \text{Costo fijo} = 1,78 \times 10^6 \text{ \$/ año}$$

$$p : \text{Precio de venta} = 66\,200 \text{ \$/TM}$$

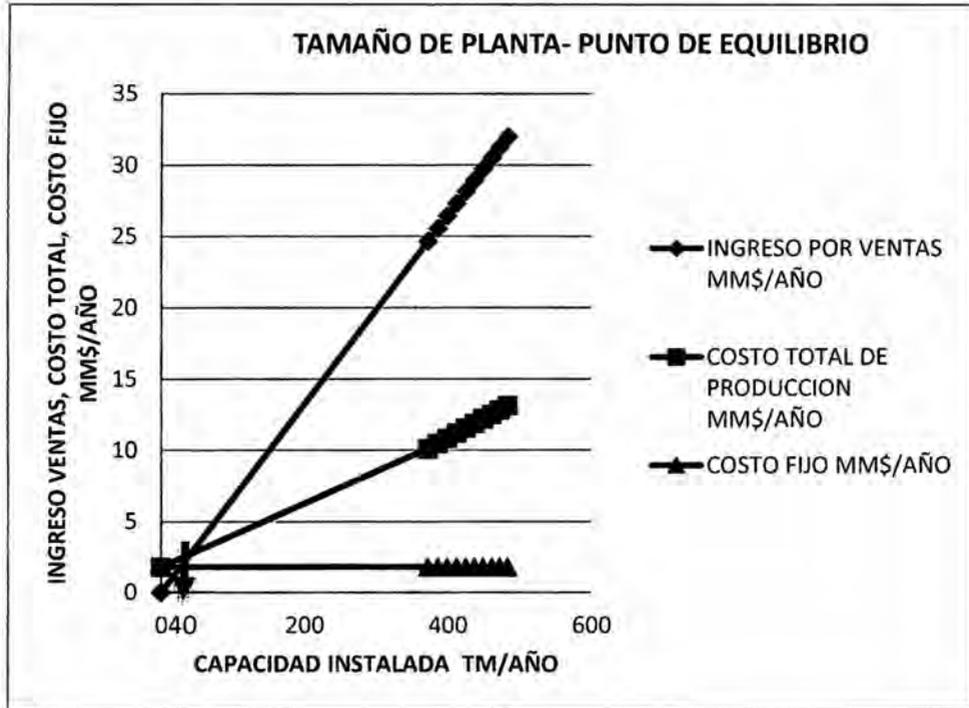
$$C_v : \text{Costo variable} = 21702 \text{ \$/TM}$$

Reemplazando en la ecuación 14, el tamaño de planta mínimo es:

$$Q_{\min} = 40 \text{ TM/año.}$$

FIGURA N° 18

TAMAÑO DE PLANTA – PUNTO DE EQUILIBRIO



CUADRO N° 13

PUNTO DE EQUILIBRIO

AÑO	MATERIA PRIMA TM/AÑO	PRODUCTO ROTENONA TM/AÑO	COSTO TOTAL MM \$/AÑO	INGRESO VENTAS MM \$/AÑO	COSTO TOTAL MM \$/AÑO SIN COSTO FIJO	COSTO FIJO MM \$/AÑO
2015	4650	372	11,87	24,63	10,09	1,78
2016	4822	386	12,32	25,55	10,47	1,78
2017	4989	399	12,73	26,42	10,83	1,78
2018	5152	412	13,15	27,3	11,18	1,78
2019	5311	425	13,56	28,14	11,53	1,78
2020	5465	437	13,95	28,93	11,85	1,78
2021	5615	449	14,33	29,73	12,18	1,78
2022	5761	461	14,71	30,52	12,50	1,78
2023	5902	472	15,06	31,25	12,80	1,78
2024	6038	483	15,41	31,98	13,10	1,78

Costo Total Unitario: 31911 \$/TM y 31,91 \$/Kg.

4.2.4. Selección de tamaño de planta.-

El análisis de las relaciones de tamaño de planta con respecto a los factores que se han indicado se muestra en tabla N°16.

TABLA N° 16

ANÁLISIS DE LAS RELACIONES DE TAMAÑO DE PLANTA

Tamaño de planta		Capacidad (TM/Año)	Inversión (MM\$/Año)
Máximo	Tamaño planta - Mercado	483	5,36
Intermedio	Tamaño planta - Materia prima	415	4,89
	Tamaño planta - inversión	430	5,00
Mínimo	Tamaño planta - Punto de equilibrio	40	1,20

Por lo tanto, comparando los diferentes tamaños de planta y considerando que el Barbasco se ofrece como materia prima en el lugar donde se va instalar la planta, y que en esos lugares ya se exporta en forma de polvo; el tamaño de planta óptimo para el proyecto es la relación de tamaño de planta – materia prima, cuya capacidad es de 415 TM/año.

$$Q_{\text{optimo}} = 415 \frac{\text{TM}}{\text{Año}}$$

V. INGENIERIA DE DISEÑO DE DETALLES

5.1. Diseño de equipos principales.-

5.1.1. Diseño del extractor sólido-líquido. Procedimiento de diseño.-

a. Bases de diseño del extractor.-

- Tipo de extractor: Soxhlet, discontinuo o lotes.
- Tipo de contacto sólido-líquido: percolación.
- Forma del extractor: tanque cilíndrico con fondos perforados.
- Material a extraer: Rotenona.
- Solvente: Etanol.
- Flujo de producción: 131 kg/lote de Rotenona.
- Flujo de alimentación del barbasco: 1788 kg de Barbasco triturado por lote.
- Cantidad de solvente:

Datos de laboratorio: relación líquido sólido:

$$\frac{L}{S} = 5,167$$

$L = 5,167 \text{ L/Kg de Barbasco} \times 1788 \text{ Kg de Barbasco} = 9239 \text{ L de Etanol / lote}$

Como la extracción se efectúa con flujo cruzado en tres etapas, entonces: $9239/3$

L = 3080 L de Etanol por etapas

b. Cálculo del volumen del extractor:

Densidad del lecho = $537,84 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ (dato práctico)

Volumen del lecho = $1788 \text{ Kg de Barbasco} / \text{lote} \times 1 \text{ m}^3 / 537,84 \text{ kg Barbasco}$

Volumen del lecho = $3,32 \text{ m}^3$

c. Dimensionamiento:

Relación entre $\frac{H_{\text{lecho}}}{D} = 2,4$ (dato práctico)

Volumen de lecho = $3,32 \text{ m}^3 = \frac{\pi}{4} D^2 \times 2,4 D$

Resolviendo: $D = 1,21 \text{ m} = 47,64 \text{ pulgadas}$

Altura del recipiente extractor

$H_{\text{Lecho}} = 2,4 \times 1,21 = 2,904 \text{ m}$

$H_{\text{Extractor}} = 1,2 \times 2,904 = 3,5 \text{ m}$

Volumen de extractor = $4,0 \text{ m}^3$

Diseño del sifón:

Tiempo de descarga: 10 minutos

Caudal, $Q = 3080 \text{ L} / 10 \text{ min} = 0,308 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$, para sifones pequeños la velocidad del líquido en el sifón es: $\frac{2 \text{ m}}{\text{s}} = 120 \frac{\text{m}}{\text{min}}$ (manual: criterio de diseño de sifón hidráulico, Autoridad nacional del agua, Lima 2010)

$$A_{\text{stsifon}} = \frac{Q}{v}; \quad A_{\text{stsifon}} = \frac{\pi}{4} d^2; \quad d_{\text{sifon}} = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times v}} = 5,72 \text{ cm} = 2''$$

Diseño del recipiente (espesor del recipiente):

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

$$P_{\text{op.}} = 14,696 \text{ psi} = 14,696 \text{ lbf/pulg}^2$$

$$P_D = P_{\text{op.}} + 15 \text{ psi}$$

$$P_D = 29,696 \text{ lbf/pulg}^2$$

Para recipientes cilíndricos de paredes delgadas (parte cilíndrica):

$$t = \frac{P \times R}{S \times E - 0,6 \times P} + c \quad (15)$$

P = Presión de diseño interna o externa, $\text{lb/pulg}^2 = 29,696 \text{ lbf/pulg}^2$

E = Eficiencia de la junta, $E = 0,65$

R = Radio interior del recipiente= 23,82 pulg

S = Valor máximo de esfuerzo permitido del material,
libras/pulgadas²

C = Tolerancia a la corrosión = 0.0625pulg.

t = Espesor de la lámina de fondo, pulgadas

$$t = \frac{P \times R}{S \times E - 0,6 \times P} = \frac{\frac{29,696\text{lb}}{\text{pulg}^2} \times 23,64\text{pulg}}{\frac{18750\text{lb}}{\text{pulg}^2} \times 0,65 - 0,6 \times \frac{29,696\text{lb}}{\text{pulg}^2}} + 0,0625$$

$$t = 0,12018 \text{ } 0 = 1/8''$$

Para recipientes cilíndricos de paredes delgadas (fondo tipo plato)

La presión en el fondo del recipiente, sumando la presión del barbasco molido, presión atmosférica y la reserva se tiene = 31,91 lb/ in², K=1,83 y c=0,0625 para presiones:

$$t = \frac{P \times D_T \times K}{2 S E - 0,2 P} + C \quad (16)$$

$$t = \frac{\frac{31,91\text{lb}}{\text{pulg}^2} \times 23,64\text{pulg} \times 1,83}{2 \times \frac{18750\text{lb}}{\text{pulg}^2} \times 0,65 - 0,2 \times \frac{31,91\text{lb}}{\text{pulg}^2}} + 0,0625 = \frac{1}{4}''$$

d. Datos de construcción:

Volumen de extractor =4,0 m³

Diámetro: 1,21 m.

Altura del extractor: 3,5 m.

Altura del lecho: 2,904 m.

Fondo principal tipo plato:

Altura del fondo: 20,6 cm (fondo abocinado)

Espesor de la chapa de construcción parte cilíndrica: 1/8"

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

Plato de soporte y distribuidor del líquido sobre el barbasco: D =
1,20 m

Diseño del sifón:

Diámetro: 2 pulgadas.

Altura del sifón: 2,91 m.

e. Especificaciones.-

Datos operativos:

- Debe tener un recipiente de acero inoxidable tipo 316, según normas americanas resistentes a la acción de compuestos orgánicos.
- Fondo tipo plato.
- Debe tener termocuplas para el control de temperatura de extracción con un conmutador, ajustado en un tablero de control.

- Debe tener toma muestra y un aerómetro para marcar los °Be.

5.1.2. Diseño del tanque de calentamiento del solvente.

Procedimiento de diseño.-

a. Bases de diseño.-

- Tipo de fluido de calentamiento: etanol al 95%.
- Cantidad de solvente para calentamiento: 3080 Litros
- Tiempo de calentamiento: 30 minutos (dato práctico)
- Características del fluido o propiedades del fluido:
 - Peso molecular del etanol, $PM = 46,07 \text{ Kg/Kmol}$
 - Densidad del etanol, $\rho = 789 \text{ Kg/ m}^3$
 - Viscosidad del etanol, $\mu = 1,074 \text{ mPa.s}$ a $20 \text{ }^\circ\text{C}$
 - Capacidad calorífica etanol, $C_p = 0,68 \text{ cal/g }^\circ\text{C}$
 - Calor específico del etanol, $C_e = 0,852 \text{ kcal/ Kg }^\circ\text{C}$
 - Calor latente de vaporización del etanol: $\lambda_V = 294,26 \text{ cal/g}$ a $78,3^\circ\text{C}$
 - Entalpía o calor de formación, $\Delta H_f = - 52,23 \text{ Kcal/mol}$ a $25 \text{ }^\circ\text{C}$
 - Energía libre de formación , $\Delta F = - 40,23 \text{ Kcal/ mol}$

- Condiciones de calentamiento:

- Temperatura inicial: 20 °C

- Temperatura final : 50 °C

b. Calculo del volumen del tanque de calentamiento.-

Carga Térmica (QT): para procesos difusionales la carga térmica viene del balance térmico.-

$$Q_T = \dot{m} C_e \Delta T \quad (17)$$

$$Q_T = Q_C + Q_S \quad (18)$$

Calor de calentamiento.-

$$Q_C = \dot{m} \lambda \omega$$

$$Q_S = \dot{m} C_e \Delta T \quad (19)$$

$$Q_C = 2430 \text{Kg} * 846 \text{KJ} / \text{Kg} = 20558 \text{KJ}$$

$$Q_C = 2430 \text{Kg} * 2,433 \text{KJ} / \text{Kg}^\circ \text{C} (323,2 - 293,2) = 177375 \text{KJ}$$

$$Q_T = \dot{m} C_e \Delta T$$

$$Q_T = Q_C + Q_S \quad (20)$$

$$Q_T = 223325 \text{KJ} / \text{h}$$

Área de transferencia de calor.-

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + ff_i + \frac{X}{K} + ff_j + \frac{1}{h_j} \quad (21)$$

$$N_u = \frac{h_i * D}{K} \quad (22)$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + ff_i + \left(\frac{X}{K}\right)\left(\frac{d_{Co}}{d_{Cm}}\right) + \left(\frac{1}{h_{ci}}\right)\left(\frac{d_{Co}}{d_{Ci}}\right) + ff_{ci} \quad (23)$$

Volumen de solvente, etanol, es de 3,080 m³.

c. Dimensionamiento:

Volumen del tanque = 1.1 volumen total = 1,1 × 3,098m³ = 3,40m³

Relación entre $\frac{L}{D} = 1,1$

Volumen del de calentamiento = 3,40m³ = $\frac{\pi}{4} D^2 \times 1,1 D$

Resolviendo:

D=1,58 m

Calculando la altura del fondo: de tabla

hf = 8,1" = 0,206m

- Fondo principal tipo plato (tablas):

V_F = 52 galones = 197 litros

- Calculo de la altura de la parte cilíndrica

$$V_E = V_C + V_F \quad (24)$$

V_C = V_E - V_F = 3,40 - 0,197 = 3,203m³

$$3,203m^3 = \frac{\pi}{4} (1,58^2) * h_{Cilindro}$$

$$h_{\text{Cilindro}} = 1,634\text{m}$$

- Cálculo de la altura del tanque de calentamiento

$$H_T = h_{\text{Cilindro}} + h = 1,634 + 2(0,206)$$

$$H_T = 2,06\text{m}$$

- Espesor del tanque de calentamiento

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 m.m.

$$h_r = 0,206 \text{ m (20,6 cm)}$$

Altura de la parte cilíndrica: 1,634 m

Espesor de la chapa para el fondo y parte cilíndrica: 1/8"

Nipple de carga (2): 3 pulgadas de diámetro

Nipple de descarga: 2 pulgadas de diámetro

Camisa de calentamiento: $A_h = 390 \text{ m}^2$

J_w = ancho de la camisa de calentamiento: 6 cm

Longitud de la camisa de calentamiento: 1,68 m.

5.1.3. Diseño del evaporador y concentrador. Procedimiento de diseño.-

a. Bases del diseño

Tipo de Equipo: Evaporador de simple efecto

Operación: Concentración

El extracto de alcohol- rotenona se encuentra al 8% w/w a una $T = 50^\circ\text{C}$, el cual deberá ser concentrada al 50% (porcentaje en masa).

Para una alimentación de 7421 Kg de extracto de alcohol- Rotenona.

Velocidad de flujo: $2 \text{ m/s} = 120 \text{ m/min}$. (Manual: criterio de diseño de sifón hidráulico, Autoridad nacional del agua, Lima 2010).

b. Calculo de capacidad:

Volumen del extracto alcohólico- rotenona a concentrar $3,1 \text{ m}^3$

c. Dimensionamiento:

Datos de diseño: Presión de vapor: $1,033 \text{ Kg/cm}^2$ a $T = 78,4^\circ\text{C}$

Cálculos de Diseño:

- Por datos de tabla de vapor de etanol (Manual de John Perry):

$$H_s = \text{entalpía de vapor saturado} = 643 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$h_c = \text{entalpía de líquido saturado} = 108 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

- Cálculo de temperatura de ebullición del etanol a la presión de 760 mm Hg. Por tabla de vapor:

$$P_v = 760 - 658 = 102 \text{ mm Hg} \longrightarrow T_{\text{ebullición}} = 78.4^\circ \text{C}$$

$$H_v = 567.89 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

- Mediante los datos del Manual de Perry Jhon se determina el punto de ebullición de la solución concentrada.

Parámetros:

$$T_{\text{ebullición}} = 78.6^\circ \text{C} \quad \text{y} \quad 50\%$$

$$T_{\text{ebullición líquido}} = 78.4^\circ \text{C}$$

- Con este dato se determinan las entalpías de la solución de alimentación (F) y concentrada (L) por Kg de solución:

Parámetros: Concentración y temperatura.

$$H_f = 31.4 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \quad T = 50.0^\circ \text{C}$$

$$H_i = 123.4 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \quad T = 78.4^\circ \text{C}$$

- Balance de materia:

- Balance total

$$F = L + V ; \quad 10\,000 = L + V \quad (25)$$

- Balance de rotenona:

$$F * X_f = L * X_1 + V * y ; \quad y = 0 \quad (26)$$

$$7421(0.08) = 0.50 L$$

L = 1187 kg de solución concentrada de rotenona

V = 6234 kg de vapor de etanol

- Balance de Entalpía:

$$F * h_f + S(H_s + h_c) = V * H + L * h_l \quad (27)$$

- La cantidad de calor transmitida es el cedido por el vapor de etanol:

$$Q = U * A * T = S(H_s - h_c) \quad (28)$$

- El cálculo de la entalpía H (entalpía del vapor que se desprende de la solución, está en equilibrio con la solución hirviendo a una presión de 760 mm Hg absoluta y por lo tanto está recalentado en comparación con el vapor que se encuentra en equilibrio con el agua pura a la misma presión:

$$T = 78.4^{\circ}\text{C} \longrightarrow C_p = 0.46 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}}$$

Por tanto:

$$H = 567.89 + 0.46(78.4 - 50) = 586.47 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

Sustituyendo:

$$7421(31.4) + S(643 - 108) = 6234(586.47) + (400)(123.4)$$

$$S = 6912.93 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}} \text{ de vapor de etanol}$$

- Se calcula la cantidad de calor transferido:

$$Q = S(H_s - h_c) \tag{29}$$

$$Q = 6912.93 (643 - 108) = 3698417.55 \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$$

- Cálculo del coeficiente global de transferencia (U):
- Para la solución al 50% de rotenona a $78.4^{\circ}\text{C} = 93.0^{\circ}\text{C}$ se pueden tomar los siguientes valores para las propiedades, de las tablas del Manual de Perry:

$$\varphi = \text{peso específico} = 1.475$$

$$\mu = \text{viscosidad dinámica} = 4.2 Cp$$

$$C_e = \text{calor específico} = 0.76 \frac{Kcal}{Kg^{\circ}C}$$

$$K = \text{conductividad térmica} = 0.629 \frac{Kcal}{mh^{\circ}C}$$

- Cálculo del Coeficiente de Transferencia de Calor para el lado de la solución alcohólica de rotenona, utilizando la ecuación de Dittus – Boelter.

$$Nu = \frac{h_i \cdot D_i}{K} = (0.0278)(Re)^{0.8} (Pr)^n \quad (30)$$

Donde:

h_i = coeficiente de película interno

$$Re = \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} \quad (31)$$

$$Pr = \frac{C \cdot \mu}{K}$$

Para el calentamiento $n = 0.4$

Por conversión de unidades:

$$\mu = 4.2 \text{ cp} = 15.12 \frac{\text{Kg}}{\text{mh}}$$

$$\rho = 1.475 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = 1475 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$V = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 10800 \frac{\text{m}}{\text{h}}$$

- Determinación del diámetro interior:

$$D_i = D_e - 2e = 16 - 2(1.65) = 12.7 \text{ mm}$$

Donde "e": espesor

$$D_i = 12.7 \text{ mm} = 0.0127 \text{ m}$$

- Reemplazando y despejando h_i

$$h_i = \frac{(0.0278)(0.629)}{0.0127} = \frac{(0.0127)(10\ 800)(1475)}{15.12} = \frac{(0.76)(15.12)}{0.629}$$

$$h_i = 8790 \frac{\text{Kcal}}{\text{h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

- Para el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor, se halla mediante la ecuación (limpio):

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e \cdot D_i}{K \cdot D_m} + \frac{D_i}{h_e \cdot D_o}} \quad (32)$$

Donde:

D_m = Diámetro medio logarítmico

$$D_m = \frac{(D_o - D_i)}{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)} \quad (33)$$

h_i = Coeficiente de película interno

h_e = Coeficiente de película externo

E = Espesor de la pared del tubo

K = Conductividad térmica del material del tubo de Níquel

$$K = 50.6 \frac{Kcal}{hm^{\circ}C}$$

- Cálculo de D_m :

$$D_m = \frac{16 - 12.7}{\ln\left(\frac{16}{12.7}\right)} = 14.286 \text{ mm}$$

$$D_m = 14.286 \text{ mm}$$

Se puede trabajar con el diámetro medio aritmético:

$$D_m = \frac{16 + 12.7}{2} = 14.3 \text{ mm}$$

- Cálculo del coeficiente de película externo:

Tenemos condensación sobre superficie de tubos verticales.

Utilizando la ecuación para tubos verticales en los cuales el condensado drenara flujo laminar, esta expresión con la constante analíticamente determinada para vapor saturado es:

$$h_{ext} = 1.47 \left[\frac{\pi \cdot D_0 \cdot k^3 \cdot \rho^2 \cdot g}{4W \cdot \mu} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (34)$$

Para:

$$\frac{4W}{\pi \cdot D_0 \cdot \mu} < 2000 \text{ (Reynolds)}$$

$$h_{ext} = 0.943 \left[\frac{K^3 \cdot \rho^2 \cdot g \cdot h_{fg}}{L \cdot \mu \cdot T} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (35)$$

Donde:

D_0 = Diámetro exterior del tubo, en m

L = Longitud del tubo, en m

h_{fg} = Calor latente de condensación, en

T = Diferencia de temperatura entre la pared del tubo y del vapor saturado.

W = Flujo de masa del condensado en el punto más bajo (por tubo) del banco de tubos verticales, en $\frac{Kg}{h}$.

Entonces:

$${}^{\circ}T_{tubo} = T \text{ entrada de solución alcohólica de rotenona} + 0.6T_m$$

$${}^{\circ}T_{tubo} = 37.8 + (0.6)(14.2) = 46.32^{\circ}C = 115.38^{\circ}F$$

- La única forma que se puede encontrar la temperatura de salida es por tanteo. Pero con una aproximación aceptable se puede utilizar la media aritmética de la diferencia de temperatura.

$$T_m = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{(108.4 - 92.4) + (108.4 - T_s)}{2}$$

$$T_m = 62.2 - 0.5T_s$$

Suponiendo una temperatura de salida de la solución de 76°C:

$$T_m = 62.2 - 0.5(76) = 14.2^\circ C$$

$$W = \frac{m_{mezcla}}{N_i} = \frac{6000}{N_i}$$

$$Re = \frac{4W}{\pi D_0 \cdot \mu} = \frac{4(6000)}{(16 \times 10^{-3})(\pi)(N_i)(62.2 - 0.5T_s)}$$

Pero: $T_s = 76^\circ C$

Entonces:

$$Re = \frac{33624.2875}{N_i}$$

$$\frac{K^3 \cdot \rho^2 \cdot g}{\mu^2} = \frac{(0.3648)^3 (61.3787)^2 (3.9602 \times 10^8)}{(2.5420)^2} = 1.12089 \times 10^{10}$$

$$h_{ext} = 1.47 \left[\frac{K^3 \cdot \rho^2 \cdot g}{\mu^2 Re} \right]^{\frac{1}{3}}$$

(36)

$$h_{ext} = 1.47 \left[\frac{(1.12089 \times 10^{10})(N_t)}{33624.28375} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$h_{ext} = 1.47 [333357.2868 N_t]^{\frac{1}{3}}$$

Si N_t = número de tubos = 610

$$h_{ext} = 864.4315 \frac{Kcal}{h m^2 \text{ } ^\circ C}$$

$$h_{ext} = 864.4315 + (864.4315)(0.83)$$

$$h_{ext} = 1581.9096 \frac{Kcal}{h m^2 \text{ } ^\circ C}$$

- Reemplazando en la ecuación 32 se tiene:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{8790} + \frac{(0.00165)(0.0127)}{(50.6)(0.0143)} + \frac{(0.0127)}{(158109096)(0.016)}}$$

$$U = 1551.6077 \frac{Kcal}{hr m^2 \text{ } ^\circ C}$$

- Cálculo de la diferencia media logarítmica de temperatura T_{ml} :

$$T_{ml} = \frac{(108.4 - 92.4)(108.4 - T_s)}{\ln \left(\frac{108.4 - 92.4}{108.4 - T_s} \right)}$$

$T_{ml} = 78.4 \text{ } ^\circ C$ (Se considera como la temperatura en que la solución entra a los tubos).

Se tiene que:

$$W.C.(T_s - T_1) = Q = U.A.T_m \quad (37)$$

Donde:

$$T_1 = \text{Temperatura de entrada} = 78.4^\circ\text{C}$$

W = Es la masa de solución líquida que pasa por el tubo y por hora.

- Cálculo de:

$$W \left(\frac{\text{Kg}}{n \text{ tubo}} \right)$$

Cada tubo tiene una superficie de sección transversal:

$$A_t = \frac{\pi}{4D^2} = \frac{\pi}{4(12.7)^2} = 126.5 \text{ mm}^2 = 0.00126 \text{ m}^2$$

La superficie por metro lineal de tubo es:

$$A_l = 0.0399 \text{ m}^2$$

$$A_l = 0.0399(7) = 0.2793 \text{ m}^2$$

$$W = \rho.v.A = (T_s - 92.4)(0.76) = (1581.9096)(0.0399)(92.2 - 0.5T_s)(7)$$

$$W = 2008 \frac{\text{Kg}}{h \text{ tubo}}$$

- Sustituyendo

$$\left(2008 \frac{\text{Kg}}{\text{h tubo}}\right)(T_s - 92.4)(0.76) = (1581.9096)(0.0399)(92.2 - 0.5T_s)(7)$$

$$T_s = 76.66 = 76^\circ \text{C}$$

Por lo tanto se verifica la temperatura des salida de la solución concentrada.

- Cálculo del área de transferencia

$$A_{\text{tan s}} = \frac{Q}{U T_m}$$

(38)

$$A_{\text{tan s}} = \frac{3698417.55}{(1581.9096)(62.5 - 0.5(96))}$$

$$A_{\text{tan s}} = 167.8594 \text{ m}^2$$

- Calor transferido por tubo:

$$Q_{\text{tubo}} = U A_i T_m = (1581.9096)(0.2793)(14.2)$$

$$Q_{\text{tubo}} = 61453.7692 \frac{\text{Kcal}}{\text{h tubo}}$$

- El número de tubos:

$$N_t = \frac{Q}{Q_{\text{tubo}}} = \frac{369847.55}{61453.7692}$$

$$N_t = 601 \text{ tubos}$$

El número de tubos es verificado con esta ecuación, lo cual es correcto.

- Cálculo de flujo de agua en el condensador:

Realizando un balance de entalpía:

$$V H_v + W h_w = (V + W)h \quad (39)$$

$$(6234)(586.47) + 15.6W = (600 + W)(49)$$

$$W = 105990 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

Considerando que 1 m³ de agua a 15.5°C para 1000 Kg, el flujo de agua es en $\frac{\text{m}^3}{\text{min}}$.

$$Q_w \frac{\text{m}^3}{\text{min}} = \frac{105990}{(1000)(60)} = 1.76 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

$$Q_w = 1.76 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

- Cálculo de la capacidad de la bomba de descarga:

$$Q_v = U.A_t = (0.000126)(601)(3)(60)$$

$$Q_v = 13.631 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

- Chequeo del espesor del tubo

Los tubos del evaporador estarán sometidos a esfuerzos originados por la temperatura T de calentamiento y por su propio peso. De resistencia de materiales, la fuerza F actuante debido al calentamiento T:

$$\frac{F \cdot L_t}{E \cdot A} = \alpha L_t T \quad (40)$$

$$F = (\alpha T)(E \cdot A) \quad (41)$$

Para la tubería de níquel seleccionada se tiene:

$$\alpha = 92.87 \times 10^{-6} \frac{\text{pulg}}{\text{pulg}}$$

$$E = \text{módulo de elasticidad} = 8.54 \times 10^{-6} \frac{\text{pulg}}{\text{pulg} \cdot \text{F}}$$

$$\sigma = \text{esfuerzo máximo} = 18.4 \times 10^{-6} \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$$

$$A = \text{área de la sección del tubo} = 0.0510 \text{ pulg}^2$$

$$f = \frac{(92.87 \times 10^{-6})(57.56)}{(8.54 \times 10^{-6})(0.051)} = 12273 \text{ lb}$$

La fuerza f' debido al propio peso:

$$F' = \left(\frac{\text{peso}}{\text{pie de longitud}} \right) (L_t) \quad (42)$$

$$F' = (0.7484 \text{ lb } 7 \text{ pies})(22.96 \text{ pies}) = 17.1832 \text{ lb}$$

$$F_{\text{tubo}} = F + F' = 12\,273 + 17.1832 = 12290.67 \text{ lb}$$

Y el esfuerzo cortante es:

$$\sigma_{tubo} = \frac{F_{tubo}}{A} = \frac{12290.67}{0.051} = 240993.65 \frac{lb}{pulg^2}$$

$$\sigma_{tubo} = 240993.65 \frac{lb}{pulg^2} < 18.4 \times 10^6 \frac{lb}{pulg^2}$$

- Casco del evaporador:

De la configuración elegida para el evaporador, el casco está constituido por tres cuerpos cilíndricos de igual diámetro:

- Cámara de ingreso de la solución.
- Cámara de vapor.
- Cámara de recepción de la solución concentrada.

Las alturas individuales de cada cuerpo:

$$H_{camisa} = L_i$$

Por cuanto la camisa de vapor está limitada por las placas sujetadoras de tubos superior e inferior. Por referencia del fabricante, para las cámaras se tiene:

$$\text{Altura de cámara de ingreso de la solución: } \frac{D_{casco}}{0.42}$$

Altura de cámara de recepción de la solución concentrada:

$$(D_{casco})(1.2)$$

De la bibliografía se tiene que $N_p = 601$

$$D_{\text{haz de tubos}} = 4.81 \text{ pies}$$

$$D_{\text{casco}} = (4.81)(12)(2) = 115.4 \text{ pulg} = 2.32 \text{ m}$$

$$H_{\text{cámara de ingreso}} = \frac{115.44}{0.42} = 274.86 \text{ pulg} = 7.00 \text{ m}$$

$$H_{\text{cámara de recepción}} = (1.2)(115.44) = 138.53 \text{ pulg} = 3.52 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} H_{\text{camisa}} &= H_{e.\text{ing}} + H_{e.\text{rec}} + 1.2(H_{c.\text{ing}} + H_{c.\text{rec}}) \\ &= 274.86 + 138.53 + 0.2(274.86 + 1138.53) \\ &= 12.60 = 13 \text{ m} \end{aligned}$$

- Capacidad del evaporador, se mide en:

$$\frac{\text{Kg de alcohol vaporizado}}{\text{hr}} = 6234 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

- Economía del evaporador. Se mide en:

$$\frac{\text{Kg de etanol vaporizado}}{\text{Kg de vapor alimentado}} = \frac{6234}{6912.93}$$

$$\frac{\text{Kg agua vaporizada}}{\text{Kg de vapor alimentado}} = 0.8679$$

d. Especificaciones:

- Debe tener tubos contruidos lado al lado en arreglo triangular

- Debe tener tubos de níquel según las normas ASTM B161, resistentes a la solución de Etanol-Rotenona.
- Debe tener un condensador.
- Temperatura de entrada de la solución = 50°C
- Temperatura de entrada de la solución en los tubos = 78.4°C
- Temperatura de salida del líquido concentrado = 76°C
- Temperatura del tubo = 46.32°C
- Debe tener una bomba de descarga de 13.63 m³/min.
- Fondo cónico
- El casco está constituido por 3 cuerpos cilindricos de igual diámetro.
- Área de transferencia = 168 m².

e. Datos de construcción

- Altura de la camisa = 13 m
- Altura de la cámara de ingreso 7.00 m
- Altura de la cámara de recepción = 3.52 m
- Número de tubos = 601

- Diámetro externo del tubo = $\frac{3}{4}$ "
- Diámetro interno del tubo = $\frac{1}{2}$ "
- Espesor del tubo = 1.65 mm
- Altura del tubo = 7.00 m
- Diámetro de haz de tubos = 1.46 m
- Diámetro del casco = 2.32 m

5.1.4. Diseño del secador. Procedimiento de diseño.-

a. Base de diseño

La cámara de secado, está diseñada para producción de 1815 Kg de raíces de barbasco seco / lote, tomándose los datos para una planta que opera a una temperatura de aire de 90 °C a 40 °C.

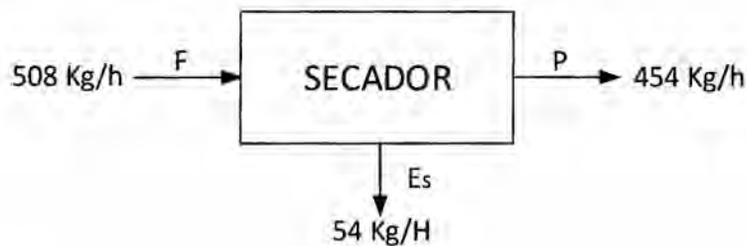
- Tipo de proceso: Secado de raíces de barbasco
- Tipo de secador: Rotatorio directo
- Carga total: 2029 kg de raíces de barbasco/lote
- Tiempo de secado: 30 minutos
- Condiciones de entrada del sólido:

- Alimentación: 508 Kg/h de raíces de barbasco de tamaño, longitud 20 cm, diámetro 2,5 cm.
- Humedad de entrada: 11 %.
- Temperatura de ingreso: 28 °C.
- Temperatura de Salida: 38 °C.
- Condiciones de entrada y salida del aire caliente:
 - Temperatura de ingreso del aire, (Ta) : 28 °C
 - Humedad relativa de entrada: 85 %.
 - Humedad leída de la carta a Ta: 24°C: $H_1 = 0,02 \frac{\text{kg de agua}}{\text{Kg aire seco}}$
 - Temperatura de secado (T2 aire caliente): 90 °C (194 °F)
 - Temperatura de Salida aire (T1 aire húmedo): 40 °C.
 - Humedad leída de la carta a Tw: 37,8°C: $H_W = 0,0438 \frac{\text{kg de agua}}{\text{Kg aire seco}}$
 - Humedad de salida leída de la carta a Ts: 43°C: $H_2 = 0,0357 \frac{\text{kg de agua}}{\text{Kg aire seco}}$
 - Capacidad calorífica (Cp): 0,24 Kcal/ Kg °C
 - Intensidad de evaporación: 1,2 Kg agua/h m²

- Eficiencia Térmica total: 75,8 %
- Calor latente de vaporización del agua: $\lambda V = 566,5 \text{ Kcal/Kg}$ a 43°C
- Velocidad másica de operación del aire: 2200 Kg/h m^2

b. Cálculo de capacidad:

Balance de materia en el secador rotatorio.



Donde:

F = Flujo de entrada de las raíces de barbasco lavado, 508 Kg/h

P = Flujo de salida de raíces de barbasco seco, 454 Kg/h

Es = Cantidad de agua que debe evaporarse, 54 Kg/h

Xf = Fracción molar del flujo de entrada: 11%

Xp = Fracción molar del producto: 1%.

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 Iquitos (localización de planta) y esto es:

- Temperatura promedio: 28°C
- Humedad relativa: (Hr) 85%
- Humedad absoluta (Ha), leída de la carta psicométrica es: 0,02 kg de agua/kg de aire seco.

Condiciones de ingreso del aire a la cámara de secado:

- Temperatura: 194°F = 90°C
- Ha1 = 0,02 Kg de agua/kg de aire seco

Se sabe que:

$$(H_s - H_a) = \frac{h_t C_s}{h_c \lambda} (T_a - T_s) \quad (43)$$

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 °C

λ_s = Calor latente de vaporización, a T_s , Kcal/Kg.

- En la carta psicométrica sigue una línea de enfriamiento adiabático.

Según la bibliografía consultada con respecto 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, para lo cual hemos considerado 6% de pérdida de calor respecto a un secador adiabático del calor introducido:

Cálculo de la temperatura de saturación (T_s) [33,38]

$$0,06 = \frac{T_s - T_1}{T_2 - T_1} = \frac{(T_s - 40)^\circ\text{C}}{(90 - 40)^\circ\text{C}}$$

$$T_s = 43^\circ\text{C} = 109,4^\circ\text{F}$$

Con $T_s = 43^\circ\text{C}$ se obtiene de la carta psicométrica la:

$Ha_2 = 0,0405$ Kg de agua/kg de aire seco.

La cantidad de agua extraída por el aire es:

$$(0,0405 - 0,02) \frac{\text{Kg de agua}}{\text{Kg de aire seco}} = 0,0205 \text{ Kg agua/kg aire seco}$$

Debemos de extraer 54 kg de agua/hora, luego la cantidad de aire necesario será:

$$\frac{54 \text{ kg de agua}}{h} \times \frac{1 \text{ kg de aire seco}}{0,0205 \text{ kg de agua}}$$

2634,2 kg de aire/h, o 5807,3 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 [19]:

$$T_c = T_2 - \frac{C_s G}{C_p L_s} (t_2 - T_w) \quad (44)$$

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.

$$T_G - T_w = \frac{\lambda_w (y'_w - Y_w)}{\frac{h_G}{h_y}} \quad (45)$$

$$y'_w = \frac{P_v}{P_T - P_v} \left(\frac{M_v}{M_a} \right) \quad (46)$$

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.

$$\frac{h_G}{h_y} = 0,294(Sc)^{0,56} \quad (47)$$

$Sc = 0,6$ a 3 , suponemos un valor intermedio, $Sc = 2$

$$\frac{h_G}{h_y} = 0,294(2)^{0,56} = 0,431 \text{ BTU/lb } ^\circ\text{F}$$

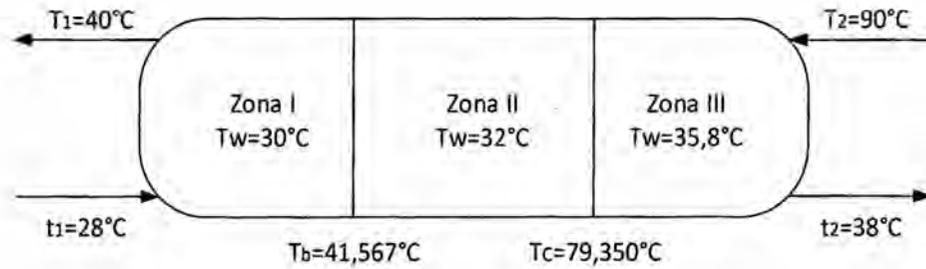
Con $T_G = 90$ °C, se calculó C_s , H_2 , λ , T_c y T_w por prueba y error, Siendo $T_c = 79,35$ °C.

En forma similar se calculó T_b , con:

$$T_b = T_1 + \frac{L}{G} \left(\frac{C_p + X_1 C_w}{C_s} \right) (T_w - t_1) \quad (48)$$

Con $T_1 = 40$ °C en la ecuación 47 y 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:

$$N_{tI} = \frac{T_b - T_1}{\frac{(T_b - T_w) - (T_1 - t_1)}{\ln \frac{(T_b - T_w)}{(T_1 - t_1)}}} \quad (49)$$

$$N_{tI} = \frac{41,567 - 40}{\frac{(41,567 - 30) - (40 - 28)}{\ln \frac{(41,567 - 30)}{(40 - 28)}}} = 0,133$$

Zona II.

$$N_{tII} = \frac{T_c - T_b}{\frac{(T_c - T_w) - (T_b - T_w)}{\ln \frac{(T_c - T_w)}{(T_b - T_w)}}} \quad (50)$$

$$N_{tII} = \frac{79,35 - 41,567}{\frac{(79,35 - 32) - (41,567 - 32)}{\ln \frac{(79,35 - 32)}{(41,567 - 32)}}} = 1,5992$$

Zona III

$$N_{tIII} = \frac{T_2 - T_c}{\frac{(T_2 - t_2) - (T_c - T_w)}{\ln \frac{(T_2 - t_2)}{(T_c - T_w)}}} \quad (51)$$

$$N_{tIII} = \frac{90 - 79,35}{\frac{(90 - 38) - (79,35 - 35,8)}{\ln \frac{(90 - 38)}{(79,35 - 35,8)}}} = 0,2237$$

$$N_r = 0,133 + 1,5992 + 0,2237 = 1,96 \approx < 2,0$$

El valor calculado está en rango recomendado (1,5 a 2,0)

Calculamos la longitud del secador, L.

$$L = L_t \times N_t \quad (52)$$

Donde: L_t = Longitud de la unidad de transferencia de calor

Para cálculo respectivo hemos usado la siguiente ecuación:

$$L_t = 0,026 C_p (G_s)^{0,84} D \quad (53)$$

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^o 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 $G_s = 2200$ kg/h m².

Sabemos que [38]:

$$A_{ST} = \frac{\dot{G}}{\dot{G}_s} \quad (54)$$

$$A_{ST} = \pi/4 D^2$$

Donde:

A_{ST} = área de sección transversal del secador, m²

G = Velocidad másica de aire necesario que ingresa al secador,

Kg/h

$$D = \sqrt{\frac{4 \dot{G}}{\pi G_s}} \quad (55)$$

Reemplazando los datos tenemos:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 2634,2 \text{ Kg/h}}{\pi \times 2200 \text{ kg/h m}^2}} = 1,23 \text{ m}$$

Calculamos la longitud de una unidad de transferencia de calor con la ecuación 103.

$$L_t = 0,026 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C} / \text{Kcal} \times 0,24 \text{ Kcal/kg }^\circ\text{C} (2200 \text{ Kg/h m}^2)^{0,84} (1,23) \text{ m}$$

$$L_t = 4,93 \text{ m}$$

La longitud necesaria del secador rotatorio es:

$$L = 4,93 \times 1,96 = 9,663 \text{ m} \approx 9,7 \text{ m}$$

Las dimensiones del secador determinados de esta forma debe de estar comprendido en: $4 < L/D < 10$, $9,663/1,23 = 7,86$

$$4 < 7,86 < 10$$

Por lo tanto este valor está en el rango del tamaño normalizado.

El volumen del secador es: $V_s = \pi/4 D^2 L = \pi/4(1,23)^2 \times 9,663 = 11,48 \text{ m}^3$.

c. Dimensionamiento.-

Diseño de la cámara de secado:

$$D = 1,23 \text{ m} \quad \text{y} \quad L = 9,7 \text{ m} = 31,82 \text{ ft.}$$

Los secadores rotatorios según el manual del ingeniero químico (Jhon Perry 4ºEd), 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,

$$N = 8/ D = 8/1,23 = 6,5 \approx 7 \text{ RPM}$$

Con respecto al número de aletas se ha encontrado que es: $6,5D$ a $11,5D$, del cual hemos asumido $10D$ tenemos:

- Número de aletas = $10 \times 1,23 = 12,3 \approx 13$ aletas
- Altura de la aleta = $D/8 = 1,23/8 = 0,1538 \approx 16$ cm.
- La inclinación de la cámara de secado (cilíndrico) varía entre 0 y $0,08 \text{ m/m}$, es decir 4° de inclinación.

Asimismo hemos calculado cantidad de calor total transmitido, Kcal/h. usando la siguiente ecuación:

$$q_t = U_a V (\Delta t)m \quad (56)$$

Donde:

q_t = Calor total transmitido Kcal/ h

U_a = Coeficiente volumétrico de transmisión de calor, Kcal/ h m³

V = Volumen del secador, 11,48 m³

$(\Delta t)_m$ = Diferencia media de temperatura total o real del aire caliente y el material.

$$(\Delta t)_m = 11,782 + 23,63 + 47,65 = 83,06 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Calculamos con: $U_a = 38 \text{ Gs}0,16 / D$ (57)

Reemplazando los valores en la ecuación 57:

$$U_a = 38 (2200 \text{ Kg/h m}^2)0,16 / 1,23 \text{ m} = 105,84 \text{ Kcal/h m}^3$$

$$U_a = 105,84 \text{ Kcal/h m}^3$$

$$q_t = 105,84 \text{ Kcal/h m}^3 \times 11,48 \text{ m}^3 \times 83,06 \text{ } ^\circ\text{C} = 100\ 922 \text{ Kcal/h}$$

$$q_t = 100\ 922 \text{ Kcal/h} = 400\ 484 \text{ BTU/h}$$

Espesor de la cámara:

Asumiendo el 6% de pérdida respecto a un secador adiabático del calor introducido es: $Q = 6055,3 \text{ Kcal/h} = 24029 \text{ BTU/h}$

Ecuación para hallar el espesor:

$$Q = \frac{k_f \cdot A \cdot \Delta T}{X(\text{espesor del recipiente})} \quad (58)$$

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

Despejando la ecuación anterior:

$$x = \frac{k_f \cdot 2\pi r h \cdot \Delta T}{Q}, \text{ reemplazando datos se tiene:}$$

$$x = \frac{0,4 \text{ BTU/hr -ft - } ^\circ\text{F} \times 2 \times \pi \times 2,018 \text{ ft} \times 31,82 \text{ ft} \times 92 \text{ } ^\circ\text{F}}{24029 \text{ BTU/h}}$$

$$x = 0,618 \text{ ft} = 18,84 \text{ cm} \approx 7,4 \text{ pulgadas}$$

Potencia del Quemador:

La potencia del quemador para calentar aire se tiene que suministrar 400 484 BTU/hr, del dato se tiene como:

$$1 \text{ BHp} = 33\,471 \text{ BTU/hr}$$

$$\text{Potencia} = \frac{400\,484 \text{ BTU/h}}{33\,471 \text{ BTU/h}} = 11,97 \text{ BHp} \approx 12 \text{ BHp}$$

Diseño del Ventilador:

La cantidad de aire a utilizarse es de 2634,2 kg de aire/h, o 5807,3 lb de aire/h y el volumen del aire a 90°C es de 1,0277 m³/Kg, luego:

$$\frac{2634,2 \text{ Kg de aire}}{60 \text{ min}} \times \frac{1,0277 \text{ m}^3}{\text{Kg aire}} = 45,12 \text{ m}^3 / \text{min.}$$

Presión del ventilador [33,38]:

$$h = m \cdot v^2 / 8 \text{ m.m.c.a.}$$

$$v = \text{velocidad del aire} = 20 \text{ m/s}$$

$$m = 0,8 \text{ (coeficiente de ventiladores del tipo I)}$$

$$h = 0,8 (20)^2 / 8 = 40 \text{ m.m.c.a.}$$

Potencia absorbida, Pa:

$$P_a = \frac{Q \times h}{e \cdot 75} \text{ Hp, donde:}$$

$$Q = \text{Caudal en metros cúbicos/s} = 0,752 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$h = \text{presión en m.m.c.a} = 40 \text{ m.m.c.a.}$$

$$e = \text{coeficiente de rendimiento} = 0,45$$

Reemplazando:

$$P_a = \frac{0,752 \text{ m}^3 / \text{s} \times 40 \text{ m.m.c.a.}}{0,45 \times 75} = 0,89 \text{ hp} \approx 1,0 \text{ hp}$$

$$P_f = 1,0 \times 1,5 \text{ (coeficiente de seguridad)}$$

$$P_f = 1,5 \text{ hp}$$

Rotor:

$\eta = A/N$ r.p.m. con $Q = 45,12 \text{ m}^3/\text{min.}$ y la presión estática = 40 m.m.c.a. se obtiene de la gráfica de ventiladores centrífugos para instalaciones industriales.

$$A = 3650, N = 2, \eta = 3650/2 = 1825 \text{ r.p.m.}, \Phi = 200\text{mm},$$

Φ = diámetro del rotor

Potencia Total del secador:

La potencia total necesaria, calculamos con $9 D^2 = 9 (1,23)^2 = 3,62$

$$CV = 13,43 \text{ hp}$$

d. Especificaciones.-

El secador rotatorio debe llevar tener las siguientes especificaciones:

- Una cámara de secado de forma cilíndrica de acero, inclinada con un ángulo de 4° con una rotación de 7 RPM, transmitido por un motor.
- En el interior del cilindro debe contener 16 aletas.
- Distribuidor del aire dentro de la cámara de secado.

- Calentador de aire por medio de resistencia.
- Un conducto de salida de aire desde la cámara de secado hacia la atmosfera.
- Un ventilador para el transporte de aire a través del secador rotatorio.
- Sistemas para regular la alimentación del secador para conseguir una temperatura concreta de los gases de salida.
- Un panel de instrumentos con amperímetro y termómetros automáticos para la temperatura de entrada y salida del aire de secado.

e. Datos de construcción.-

- Diámetro de la cámara: 1,23 m
- Longitud de la cámara: 9,7 m.
- Espesor del cilindro del secador: 18,84 cm= 7,4 pulgadas.
- Cámara de secado: Recipiente cilíndrico concéntricos con un quemador de potencia: 12 Hp y 16 aletas en el interior del cilindro.
- Velocidad de rotación de la cámara de secado: 7 RPM
- Ventilador: Capacidad de 45,12 m³ /min.

- Velocidad: 1825 RPM
- Velocidad de entrada del aire: 20 m/s
- Cabeza estática: 40 m.m.c.a.
- Potencia de motor: 1,5 hp.

5.1.5. Diseño del cristalizador. Procedimiento de diseño.-

a. Bases de diseño:

- Tipo de proceso: Cristalización
- Tipo de cristalizador: Tanque agitado intermitente (por lotes)
- Alimentación: 1187 Kg/lote de extracto etanólica con rotenona.
- Tiempo de residencia: 67 minutos
- Tasa de crecimiento: 0,015 mm/h
- Tipo de fluido de cristalización: extracto de etanol al 95% con rotenona.
- Características del extracto alcohol- rotenona:
 - Peso molecular del etanol, $PM = 46,07 \text{ Kg/Kmol}$
 - Densidad del etanol, $\rho = 789 \text{ Kg/ m}^3$
 - Viscosidad del etanol, $\mu = 0,7 \text{ cp. a } 30 \text{ }^\circ\text{C}$

- Capacidad calorífica etanol, $C_p = 0,68 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$
- Calor específico del etanol, $C_e = 0,852 \text{ kcal/ Kg } ^\circ\text{C}$
- Calor latente de fusión del etanol: $\lambda_f = 104 \text{ KJ/Kg}$
- Peso molecular de la rotenona etanol, $PM = 394,43 \text{ Kg/Kmol}$
- Densidad de la rotenona, $\rho = 1271 \text{ Kg/ m}^3$
- Densidad del extracto Etanol-Rotenona, $\rho_{es} = 848,6 \text{ Kg/ m}^3$
- Tamaño final de cristales: 0,05 mm (malla100)
- Condiciones de cristalización:
 - Temperatura inicial: $76 \text{ }^\circ\text{C}$
 - Temperatura final : $10 \text{ }^\circ\text{C}$

b. Cálculo del volumen del Tanque de cristalización:

Cálculo de la capacidad.-

Del balance de materia tenemos:

Cantidad de extracto etanólico con rotenona para la cristalización:

1187 Kg/lote

Densidad del extracto Etanol - rotenona: $848,6 \text{ kg/ m}^3$.

Ecuación de diseño para el cristalizador tanque agitado de mezcla perfecta por lotes [15]:

$$V_{\text{extracto etanol-rotenona}} = \frac{m_T}{\rho_{\text{extr}}} \quad (59)$$

$$V_{\text{extracto etanol-rotenona}} = \frac{1187 \text{ Kg}}{848,6 \text{ Kg/m}^3}$$

$$V_{\text{extracto}} = 1,40 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{cristalizador}} = 1,2 * 1,4 = 1,68 \text{ m}^3$$

c. Dimensionamiento o diseño de detalles.-

Diseño del recipiente del cristalizador.-

- Cálculo de la altura y el diámetro del cristalizador:

Volumen del cristalizador es 1,68 m³ = 443,81 gal; para calcular el diámetro del cristalizador intermitente usamos la relación [17] 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:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4V_R}{1,25 \times \pi}} = \sqrt[3]{\frac{4 \times 1,68}{1,25 \times \pi}} = 1,20 \text{ m}$$

Altura del fondo, de tabla [33]:

$$h_f = 6,5\text{pulg}$$

Para una altura de fondo de 6,5 pulg el volumen del fondo es 27 galones, 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:

$$h_2 = 0,26 \times 1,20 = 12,3\text{pulg}$$

- ✓ Cálculo del volumen de la parte cilíndrica:

$$V_{\text{cilindro}} = V_{\text{crist}} - 2 \times V_{\text{fondo}} \quad (60)$$

$$V_{\text{cilindro}} = 443,81 - 2 \times 27 = 389,81\text{gal} = 1,48\text{m}^3$$

- ✓ Cálculo de la altura de la parte cilíndrica:

$$H_{\text{cilin}} = \frac{4 \times V_{\text{cilin}}}{\pi \times D^2} = \frac{4 \times 1,48 \text{ m}^3}{\pi \times (1,20\text{m})^2} = 1,31 \text{ m}$$

- ✓ Cálculo de la altura real del cristalizador:

$$H_{\text{Real}} = H_{\text{cilindro}} + 2 \times h_{\text{fondo}} \quad (61)$$

$$H_{\text{Real}} = 1,31 + 2 \times 0,1651 = 1,64$$

- ✓ Cálculo de la altura del extracto alcohol-rotenona en el cristalizador:

$$Z_{\text{extracto}} = \frac{4 \times V_{\text{extrac}}}{\pi \times D^2} = \frac{4 \times 1,40}{\pi \times (1,20 \text{ m})^2} = 1,24 \text{ m}$$

- ✓ Calculo del volumen del extracto etanol-rotenona en parte cilíndrica:

$$V_{\text{extracto en cilindro}} = V_{\text{extracto total}} - V_{\text{fondo}} \quad (62)$$

$$V_{\text{mezcla en cilindro}} = 1,30 \text{ m}^3$$

- ✓ Calculo de la altura del extracto en la parte del cilindro:

$$Z_{\text{extracto en cilindro}} = \frac{4 \times V_{\text{extracto cilindro}}}{\pi \times D^2} = \frac{4 \times 1,30 \text{ m}^3}{\pi \times (1,20\text{m})^2} = 1,15 \text{ m}$$

- ✓ Calculo del número de impulsores de la siguiente relación [16,33]:

$$\frac{H_L}{D} = \frac{1,15}{1,20} = 0,96 < 1,4$$

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

- ✓ Velocidad de rotación del impulsor: 85 RPM (dato de laboratorio)

- Calculo de las dimensiones de los deflectores:

Con $B_1/D = 0,1$ tenemos: $B_1 = 0,1 * 1,20 \text{ m} = 0,12 \text{ m} \approx 5 \text{ pulgadas}$

$$L_{\text{baffle}} = 1,15 \text{ m}$$

El espacio entre el deflector y el recipiente:

Con $B_2/D = 0,02$ tenemos: $B_2 = 0,02 * 1,20m = 0,024 m \approx 1$ pulgada, se usan 4 deflectores instalados a 90°

- Cálculo 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 la cristalización isotérmico (10°C) es:

$$T_D = T_{\text{Operación}} + 10^\circ\text{C} \quad (63)$$

$$T_D = 10^\circ\text{C} + 10^\circ\text{C} = 20^\circ\text{C} = 68^\circ\text{F}$$

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:

$$P_D = P_{\text{op.}} + 15\text{psi} \quad (64)$$

$$P_{\text{operacion.}} = P_{\text{Atmosferica.}} + P_{\text{hidraulica.}} \quad (65)$$

$$P_{\text{hidraulica.}} = \gamma_{sl} * H_{sl} \quad (66)$$

Peso específico del fluido $\gamma_{sl} = 0,8486 = 848,6 \text{ Kg/m}^3$

$$\begin{aligned} P_{\text{hidraulica.}} &= 848,6 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3_{sl}} * 1,24 \text{ m} = 1052,3 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \\ &= 0,10523 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} * 14,22 = 1,4963 \text{ lbf/pulg}^2 \end{aligned}$$

$$P_{\text{operacion.}} = 14,696 \text{ psi} + 1,496\text{psi} = 16,192 \frac{\text{lbf}}{\text{pulg}^2} < 250 \text{ psi}$$

$$P_D = 31,192 \text{ lbf/pulg}^2$$

Para recipientes de paredes delgadas:

$$t = \frac{P \times R}{S \times E - 0,6 \times P} + c \quad (67)$$

P = Presión de diseño interna o externa, lb/pulg² = 31,192 lbf/pulg²

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

R = Radio interior del recipiente = 24 pulgadas

S = Esfuerzo admisible del material, libras/pulgadas²

Para acero 306 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

$$t = \frac{P \times R}{S \times E - 0,6 \times P} = \frac{31,192 \frac{\text{lbf}}{\text{pulg}^2} \times 24 \text{ pulg}}{\frac{18750 \text{ lbf}}{\text{pulg}^2} \times 0,6 - 0,6 \times 31,192 \text{ lbf/pulg}^2} + 0,0625$$

$$t = 0,1292 \text{ pulg} \cong 1/8 \text{ pulg}$$

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 = 31,192 lbf/in², de tablas, K = 1,83 [16,33].

Con estos datos calculamos el espesor del fondo, en:

$$t = \frac{P \times D_T \times K}{2 SE - 0,2 P} + c \quad (68)$$

$$t = \frac{\frac{31,192 \text{ lbf}}{\text{pulg}^2} \times 48 \text{ pulg} \times 1,83}{2 \times \frac{18750 \text{ lbf}}{\text{pulg}^2} \times 0,65 - 0,2 \times \frac{31,192 \text{ lbf}}{\text{pulg}^2}} + 0,0625 = 0,175 \text{ pulg}$$

$$\cong \frac{3}{16} \text{ pulg}$$

Diseño del impulsor [16,33].-

- ✓ Cálculo del volumen equivalente:

$$V_{\text{equivalente}} = (Sg)_{sl} \times V_{\text{extracto}} \quad (69)$$

$$V_{\text{equivalente}} = 0,8486 \times 1,40 = 1,19 \text{ m}^3 = 316,5 \text{ galones}$$

- Escala de agitación para sistema sólido-líquido: 9
- Gravedades específicas para sistema de agitación sólido-líquido: véase el cuadro N° 14.

CUADRO N° 14

GRAVEDADES ESPECÍFICAS

% sólido	11,04
(Sg) _{sl}	0,8486
(Sg) _s	1,271
(Sg) _L	0,816
Tamaño de partículas	Malla 100
Fw	0,93

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:

$$[(Sg)_s - (Sg)_l] = 1,271 - 0,816 = 0,455$$

Para una partícula de malla N° 100, la velocidad terminal (V_t) = 0,98 pie/min

Calculo de la velocidad de diseño (V_d):

$$V_d = V_t \times f_w \quad (70)$$

$$V_d = 0,98 \times 0,93 = 0,91 \frac{\text{pie}}{\text{min}}$$

De la tabla III de la misma revista para una $V_d = 0,91$ pies/min, con un $V_{\text{equi}} = 316,5$ galones y con una escala de agitación N° 9, se tiene la siguiente relación:

$$7,5\text{Hp}/84 \text{ RPM}$$

✓ Calculo del diámetro del impulsor:

$$d_{\text{ag}} = 394 \times \left[\frac{\text{Hp}}{n \times N^3 \times (Sg)_{sl}} \right]^{0,2} \quad (71)$$

$$d_{\text{ag}} = 394 \times \left[\frac{7,5}{1 \times 84^3 \times 0,8486} \right]^{0,2} = 42,7 \text{ pulg} = 1,08 \text{ m}$$

✓ Calculo de la longitud del eje del impulsor:

$$L_{\text{eje}} = (H_R - h_2) \times 1,2 \quad (72)$$

$$L_{\text{eje}} = (1,64 - 0,312) \times 1,2 = 1,60 \text{ m}$$

✓ Momento de torsión:

$$T = \frac{9545 \text{ W}}{N} = \frac{9545 \times 5,593}{84} = 635,54$$

✓ El diámetro del eje del impulsor es:

$$d_{\text{eje}} = 8,36 \times \left(\frac{TL}{G\alpha} \right)^{1/3} \quad (73)$$

$$d_{\text{eje}} = 8,36 \times \left(\frac{635,54 * 50}{(9 \times 10^{10}) \times 1} \right)^{1/3} = 0,0591 \text{ m} = 2 \frac{1}{2} \text{ pulgadas}$$

Diseño del serpentín de enfriamiento del cristizador.-

La carga Térmica (Q_T), para procesos difusionales viene del balance térmico [33].

$$Q_T = \dot{m} C_e \Delta T \quad (74)$$

$$Q_T = Q_c + Q_s \quad (75)$$

Calor de enfriamiento

$$Q_c = \dot{m} \lambda_f$$

$$Q_s = \dot{m} C_e \Delta t$$

$$Q_c = 1187 \text{ Kg} \times 104 \text{ KJ/Kg} = 123 448 \text{ KJ}$$

$$Q_s = 1187 \text{ Kg} \times 2,433 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C} (76 - 10)^\circ\text{C} = 190 606 \text{ KJ}$$

$$Q_T = 314 054,1 \text{ KJ/h} = 70 060,73 \text{ Kcal/h}$$

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

$$A_h = \frac{Q_T}{U \Delta T} \quad (76)$$

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

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + ff_i + \left(\frac{X}{K}\right)\left(\frac{d_{co}}{d_{cm}}\right) + \left(\frac{1}{h_{ci}}\right)\left(\frac{d_{co}}{d_{ci}}\right) + ff_{ci} \quad (77)$$

$$Nu = \frac{h_i D}{K} \quad (78)$$

$$Nu = 0.17 \left(\frac{dag^2 N \rho}{\mu}\right)^{0.67} \left(\frac{C_p \mu}{K}\right)^{0.37} \left(\frac{dag}{D}\right)^{0.1} \left(\frac{d}{D}\right)^{0.5} \left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)^m \quad (79)$$

Donde:

U = coeficiente global de transferencia de calor para el serpentín,
Kcal /h m² °C

h_i = Coeficiente de transferencia de calor sobre el área lateral del serpentín y el fluido del proceso, cal/s. cm² °C

h_{ci} = Coeficiente de transferencia de calor dentro del serpentín,
cal/s.cm² °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, cal/s m °C

En la bibliografía existen valores del coeficiente global de transferencia de calor típico en recipientes con serpentín, el cual se muestra en el cuadro N° 15.

CUADRO N° 15
COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR TÍPICO 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
Agua fría	Extracto alcohol Rotenona	390

Fuente: [38]

Usando el valor del cuadro N° 15 y la ecuación (76) tenemos:

$$A_h = \frac{70\,060,73 \text{ Kcal/h}}{390 \text{ Kcal/h m}^2 \text{ °C} \times 66 \text{ °C}} = 2,722 \text{ m}^2$$

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

$$A_{\text{next}} = \pi D_{\text{serp}} L_{\text{serp}} \quad (80)$$

Pero, diámetro del serpentín en el recipiente es:

$$D_{\text{serp}} = D_i - 2 B_1 = 0,96 \text{ m,}$$

Calculamos la longitud del serpentín con:

$$L_{\text{serpentin}} = \frac{A_h}{\pi d_{\text{co}}} \quad (81)$$

- Para calcular el diámetro del tubo del serpentín, usamos la tabla que proporciona en función de la cantidad de agua de enfriamiento a usar que ingresa al serpentín, entonces:

$$Q_T = \overset{\circ}{m}_{\text{H}_2\text{O}} C_{\text{dH}_2\text{O}} \Delta T \quad (82)$$

$$\overset{\circ}{m}_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{Q_T}{C_{\text{e}_{\text{H}_2\text{O}}} (T_b - T_a)} \quad (83)$$

Reemplazando los valores en la ecuación (83), tenemos:

$$\overset{\circ}{m}_{\text{H}_2\text{O}} \text{ enfriamiento} = 2802 \text{ Kg/h}$$

Del grafico [33] obtenemos que para 2802 Kg de agua fría/h (caudal = 2,8 m³/h se debe usar una cañería de 1½ pulgadas (0,032 m), y en la ecuación (81), tenemos:

$$L_{\text{serpentin}} = \frac{2,722 \text{ m}^2}{\pi (0,032 \text{ m})} = 27,1 \text{ m}$$

Ahora:

$$L_c = \pi D_{\text{serp}} = \pi \times 0,96 \text{ m} = 3,016 \text{ m}$$

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

La distancia entre vueltas:

$$\text{Numero de vueltas} = \frac{L_{\text{tubo}}}{L_{\text{c de una vuelta}}} = \frac{27,1}{3,016} = 9 \text{ vueltas}$$

$$d_{\text{Vueltas}} = \frac{Z_L}{\text{numero de vuelta}} = \frac{1,15}{9} = 0,13 \text{ m}$$

d. Datos de construcción.-

- Volumen del cristalizador : 1,68 m³
- Diámetro del cristalizador : 1,20 m.
- Altura del cristalizador : 1,64 m.
- Altura del extracto : 1,24 m.
- Deflectores : 4
- Ancho del deflector : 5"
- Longitud del deflector : 1,15 m
- Fondo principal : tipo plato
- Altura del fondo : 16,51 cm (fondo abocinado)
- Espesor de la chapa de construcción parte cilíndrica: 1/8"

- 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 : 1,08 m.
- Longitud del eje del impulsor : 1,60 m.
- Diámetro del eje del impulsor : 2½"
- Potencia del motor del impulsor : 7,5 hp
- Serpentin de calentamiento con vapor de agua
- Área de transferencia de calor : 2,722 m².
- Longitud del serpentín : 27,1 m.
- Diámetro del caño para el serpentín : 1½"
- Diámetro del serpentín en el reactor : 0,96 m

e. Especificaciones.-

Datos operativos:

- Debe tener un recipiente de acero 306, según normas americanas resistentes a la acción de compuestos orgánicos.
- Fondo tipo plato.
- Debe tener termocuplas para el control de temperatura de cristalización con un conmutador, ajustado en un tablero de control.
- Debe tener toma muestra para verificar el tamaño de cristales.
- El acero inoxidable A.S.T.M serie 306, es el material más recomendable para este tipo de equipos. Por lo tanto el espesor con el cual se construirá el tanque del cristizador es de 1/8 pulgadas, parte cilíndrica y el fondo 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 7,5 hp.

5.2. Diseño de equipos de uso genérico.-

5.2.1. Diseño del molino cortador de martillos. Procedimiento de diseño.-

a. Bases de diseño.-

El molino cortador de martillos actúa por efecto de impacto sobre el material a desintegrar, el cual ingresa por la boca de entrada y por

gravedad cae al interior de la cámara de desintegración, donde es cortado y golpeado por los martillos que choca contra la cámara de desintegración y nuevamente es golpeado por los martillos hasta que alcanza un tamaño tal que puede pasar por la rejilla de la descarga.

b. Calculo de capacidad.-

Alimentación: 1815 Kg/lote = 1,815 TM

Potencia consumida por el molino Kw h/TM,

$$P = w_i \left(\frac{100}{\text{prod}} \right)^{1/2} * \left(\frac{\sqrt{r}-1}{\sqrt{r}} \right) \quad (84)$$

W_i = Índice de trabajo (Tabla de Perry) = 6

$$\sqrt{r} = \left(\frac{F}{p} \right)^{1/2} \quad (85)$$

F = Tamaño de partícula alimentada = 30 cm

P = Tamaño de partícula del producto que es a malla 40 = 420

micrones

Reemplazando en la ecuación 85:

$$\sqrt{r} = \left(\frac{30000}{420} \right)^{1/2} = 8,45$$

$$P = 6 * \left(\frac{100}{420} \right)^{1/2} * \left(\frac{8,45 - 1}{8,45} \right) = 2,58 \text{ Kw h/TM}$$

$$\frac{2,582 \text{ Kw h}}{\text{TM}} * \frac{1,34 \text{ hp h}}{\text{Kw h}} * \frac{1,815 \text{ TM}}{\text{h}} = 6,3 \text{ hp} \approx 7 \text{ hp}$$

c. Especificaciones

- Molino de martillos 480 x 250 mm.
- Total de tamaño de rendimiento de 0 a 25mm
- Molino de suministro con cajón vibrante temporizador
- Producción de horas de 2 a 5 m³
- Peso Kg. 950
- Potencia del motor: 7 Hp
- Fuente de alimentación 380V-50/60Hz
- Actual 15-18Kw.

5.2.2. Diseño de la faja transportadora de raíz de barbasco a la ducha lavadora y al secador rotatorio [35]. Procedimiento de diseño.-

a. Bases de diseño:

- Material a transportar: Trozos de raíz de barbasco
- Capacidad requerida: 907,5 Kg/h
- Granulometría del material: 30 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).
- Coeficiente de corrección por inclinación de cinta 18°: 0,85
- Velocidad de la cinta : 0,5 m/s

b. Calculo de la capacidad.-

Capacidad teórica =

$$\frac{\text{Capacidad real}}{\text{coeficiente de corrección de concavado y descarga x coef.inclinacion}}$$

$$\text{Capacidad teórica} = \frac{907,5 \text{ kg/h}}{1,303 * 0,85} = 819,4 \text{ kg/h}$$

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]:

$$P = \frac{P_t}{\eta_1 * \eta_2} \tag{86}$$

Donde:

Pt = Potencia teórica en hp

Q = peso de la carga en Kg/m = 910.42 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

$$F_t = Q * f * L + L(q_1 f_1 + q_2 f_2) \quad (87)$$

$$F_t = 910,42 \text{ Kg/m} * 0,33 * 4\text{m} + 4\text{m}(6,6 * 0,33 + 0,7 * 0,05)\text{Kg/m}$$

$$F_t = 1203,97 \text{ kg}$$

$$\text{Ahora: } P_t = \frac{F_t * v}{75} \quad (88)$$

$$P_t = \frac{1203,97 \text{ Kg} * 0,5 \text{ m/s}}{75}$$

$$P_t = 8,02 \text{ hp}$$

En la ecuación 86, se obtuvo:

$$P = \frac{8,02 \text{ hp}}{0,8 * 0,98}$$

$$P = 10,23 \text{ hp} \approx 10 \text{ hp}$$

5.2.3. Diseño de la bomba para el extracto alcohol-Rotenona.

Procedimiento de diseño.-

a) Bases de diseño:

Característica de la solución

- Flujo (Q) : 40,91 GPM
- Gravedad específica (S) : 0,8486
- Densidad (ρ) : 52,98 lb/ft³
- Viscosidad (μ) : 0,79 cp
- Temperatura (T) : 50 °C
- Tiempo de bombeo (t) : 20 min.

b) Calculo de la capacidad

$$NPSH = P_{atm} + LH - (P_v + \Delta P_{fs}) \quad (89)$$

Calculamos el diámetro de la tubería (o línea) de succión:

Asumiendo que sea una línea de 3" de diámetro

Se hace el chequeo de la velocidad (v):

$$v = 0,408 \frac{Q}{d^2} \quad (90)$$

Donde:

d: diámetro de línea en pulg.

Q: caudal GPM

Para un diámetro nominal de 2½ pulg. de diámetro el di = 2,47 in

$$v = 0,408 * \frac{40,91 \text{ GPM}}{2,47^2} = 2,74 \text{ ft/s}$$

Rango de velocidad recomendado para la succión: [1-3 ft/s]

v = 2,74 ft/s entonces el diámetro asumido es correcto

$$d = 2\frac{1}{2}''$$

Calculo de la caída de presión por fricción en la succión (ΔP_{fs}):

$$\Delta P_{fs} = \Delta P_{100} * L_e * S$$

ΔP_{100} = Caída de presión por cada 100 ft de línea

L_e = Longitud equivalente, ft.

S = Gravedad específica

Con Q = 40,91 GPM y $\mu/s = 0,79/0,8486 = 0,93$

Se obtiene de la gráfica $\Delta P_{100}/s = 0,2$

Calculo de Le

$$\text{Línea de } 2\frac{1}{2}'' = 3,28 \text{ ft}$$

$$\text{Conexión} = 0,08 \text{ ft}$$

$$\text{Válvula de compuerta} = 6,5 \text{ ft}$$

$$\text{Filtro} = 0,5 \text{ ft}$$

$$\text{Reductor de } 2\frac{1}{2}'' \text{ a } 1'' = 3 \text{ ft}$$

$$\mathbf{Le = 13,36 \text{ ft}}$$

$$\text{Reemplazando: } (\Delta P_{fs}) = 0,2 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} * \frac{13,36 \text{ft}}{100 \text{ft}} * 0,8486 = 0,023 \frac{\text{lb-f}}{\text{in}^2}$$

Calculo de la presión de succión (ΔP_s):

Calculo de la presión hidrostática: (L_s)

$$P = \rho gh = 52,98 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} * 32,2 \frac{\text{ft}}{\text{s}^2} * 11,48 \text{ ft} = 19589,4 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2}$$

$$19589,4 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} * \frac{\text{lb-f} * \text{s}^2}{32,174 \text{ft lb}} = 608,9 \frac{\text{lb-f}}{\text{ft}^2} \frac{\text{ft}^2}{(12 \text{in})^2} = 4,23 \frac{\text{lb-f}}{\text{in}^2}$$

$$\Delta P_s = L_s - \Delta P_{fs} = (4,23 - 0,023) \text{ lb-f / in}^2 = 4,21 \text{ lb-f / in}^2$$

Calculo de la presión de vapor:

$$\text{De tablas, para una solución: } P_v = 0,58 \text{ lb-f / in}^2$$

Calculo de NPSH para la solución:

$$\text{NPSH} = P_{\text{atm}} - P_v + \Delta P_s = 14,7 - 0,58 + 4,21 = 18,33 \text{ lb-f / in}^2$$

$$18,33 \frac{\text{lb-f}}{\text{in}^2} * 32,2 \frac{\text{lb-f}}{\text{lb-f} * \text{s}^2} \frac{144 \text{in}^2}{\text{ft}^2} \frac{\text{s}^2}{32,2 \text{ft}} * \frac{\text{ft}^3}{52,98 \text{lb}} = 49,82 \text{ ft}$$

Presión de descarga (Pd):

$$\Delta P_D = L_D - \Delta P_{fD}$$

Calculo del diámetro de la línea de descarga

Asumiendo un diámetro nominal de 2 pulg. ($d_i = 1,5$)

Chequeo de la velocidad:

$$v = 0,408 * \frac{40,91}{1,5^2} = 7,42 \text{ ft/seg.}$$

Rango de velocidad de descarga [3 – 10] ft/s , está en del rango, entonces el diámetro de descarga es:

Diámetro = 2"

Calculo de la caída de presión en la descarga, por fricción (ΔP_{fD})

$$\Delta P_{fD} = \Delta P_{100} * L_e * S$$

Con $Q = 40,91$ GPM y $\mu/S = 0,79/0,8486 = 0,93$

De la gráfica para un diámetro de 2"

$$\frac{\Delta P_{100}}{S} = \frac{1,65 \text{ lb/in}^2}{100\text{ft}}$$

Calculo de la carga estática de descarga (L_D)

$$L_D = \frac{14,83 \text{ ft}}{2,31} * 0,8486 = 5,45 \text{ lb - f/in}^2$$

ΔP_d : Presión de descarga

$$\Delta P_d = (5,45 + 0,187) = 5,64 \text{ lb-f / in}^2$$

carga estática total

$$\Delta(P_d - P_s) = (5,64 - 4,21) = 1,43 \text{ lb-f / in}^2$$

$\Delta P = 3,33 \text{ ft de agua.}$

Calculo de la potencia hidráulica $P(\text{hp})$

$$P(\text{Hp}) = \frac{\Delta P * Q}{1714 * \eta_B} \quad \eta_B : \text{Eficiencia de la bomba}$$

$$B(\text{hp}) = \frac{1,43 \text{ lb - f/in}^2 * 40,91 * 7,1}{1714 * 0,6} = 0,40$$

$$\text{Motor} , \frac{BHp}{0,9} = \frac{0,40}{0,9} \approx 1/2 \text{ hp}$$

5.3. Listado de los equipos y maquinarias de la planta industrial.-

Véase el cuadro N° 16 de la página 158.

CUADRO N° 16

LISTA DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS

Especificaciones	Capacidad m ³	Unidad	Potencia hp
Extractor solido - liquido	4,0	1	
Tanque de calentamiento	3,40	1	
Secador	242 kg vapor/ h, 150 Psi	1	12 BHP
Bombas	41 GPM	2	42036
Evaporador - Concentrador	3,1	1	
Cristalizador	1,68	1	
Faja transportadora	910,5 kg/m	1	10
Molino cortador de martillo		1	7
Tanque de agua de alimentación	0,190 (50 galones)	1	

5.4. Disposición de Planta (Plan Layout).-

La distribución de planta es la etapa final en el diseño de una planta industrial, por lo cual previo a planear la distribución de las unidades principales en la planta y de los equipos de proceso dentro del área proceso, y del área administrativa; se evaluo utilizando el modelo de Guerchet considerando que el área para cada equipo a distribuir es igual a la suma de tres superficies parciales:

$$S_T = S_s + S_g + S_e \quad (91)$$

Donde:

S_s : Superficie Estática

S_g : Superficie Gravitacional

S_e : Superficie Evolutiva

Para determinar la Superficie evolutiva se ha empleado la siguiente expresión:

$$S_e = k * (S_g + S_s) \quad (92)$$

Donde: $K = 0.6$ (Para industrias químicas).

Reemplazando la ecuación 92 en la ecuación 91, tenemos:

$$S_T = S_s + 2 S_s + (S_s + S_g)K \quad (93)$$

Luego, se procedió a la determinación de la Superficie Estática y gravitacional de los equipos:

Molino cortador:

$$S_s = 0,6\text{m} * 1\text{ m} = 0,6\text{ m}^2$$

$$S_g = S_s * 4 = 2,4\text{ m}^2$$

Extractor solido-liquido:

$$S_s = \frac{\pi}{4} * (1,21\text{m})^2 = 1,15\text{m}^2$$

$$S_g = S_s * 4 = 4,60 \text{ m}^2$$

Evaporador- concentrador:

$$S_s = \frac{\pi}{4} * (2,32 \text{ m})^2 = 4,23 \text{ m}^2$$

$$S_g = S_s * 4 = 16,91 \text{ m}^2$$

Faja transportador de solido:

$$S_s = 1 \text{ m} \times 4 \text{ m} = 4,0 \text{ m}^2$$

$$S_g = 2 * S_s = 8,0 \text{ m}^2$$

Secador:

$$S_s = 1,23 \text{ m} \times 9,7 \text{ m} = 11,93 \text{ m}^2$$

$$S_g = 4 * S_s = 47,73 \text{ m}^2$$

Cristalizador:

$$S_s = \frac{\pi}{4} * (1,20 \text{ m})^2 = 1,13 \text{ m}^2$$

$$S_g = S_s * 4 = 4,53 \text{ m}^2$$

Tanque de calentamiento:

$$S_s = \frac{\pi}{4} * (1,58 \text{ m})^2 = 1,96 \text{ m}^2$$

$$S_g = S_s * 4 = 7,84 \text{ m}^2$$

Bombas:

$$S_s = 0,6 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} = 0,36 \text{ m}^2$$

$$S_g = 4 * S_s = 1,44 \text{ m}^2$$

Tanque de alimentación de agua

$$S_s = 0,432 \text{ m} \times 1,296 \text{ m} = 0,56 \text{ m}^2$$

$$S_g = 4 * S_s = 1,12 \text{ m}^2$$

Los cálculos de las ecuaciones mostradas anteriormente se resumen en el cuadro N° 17. El área total de la planta se ha evaluado teniendo en cuenta el área del proceso, área futura y el área administrativa.

CUADRO N° 17
ÁREA DEL PROCESO

EQUIPO	UNIDADES	S _s	S _g	S _e	ÁREA TOTAL (m ²)
Extractor solido - liquido	1	1,15	4,60	5,75	11,50
Tanque de calentamiento	1	1,96	7,84	5,88	15,68
Secador	1	11,93	47,73	35,8	95,46
Bombas	2	0,36	1,44	1,08	5,8
Evaporador - Concentrador	1	4,23	16,91	12,68	33,83
Cristalizador	1	1,13	4,53	3,4	9,06
Faja transportadora	1	4,0	8,0	7,2	19,2
Molino cortador de martillo	1	0,6	2,4	1,62	8,62
Tanque de agua de alimentación	1	0,25	1,00	0,75	2,00
Reserva					201,2
TOTAL					402,4

Se calculó el área administrativa teniendo en cuenta las áreas detalladas en el cuadro N° 18 de la página 162.

CUADRO N° 18

ÁREA ADMINISTRATIVA [17]

NOMBRE DE AREA		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 3,50	14,00
Almacén de insumos	Considerando el nivel de producción	4,00 x 4,50	18,00
Almacén de materia prima		40,40 x 5,56	224,63
Total			284,63

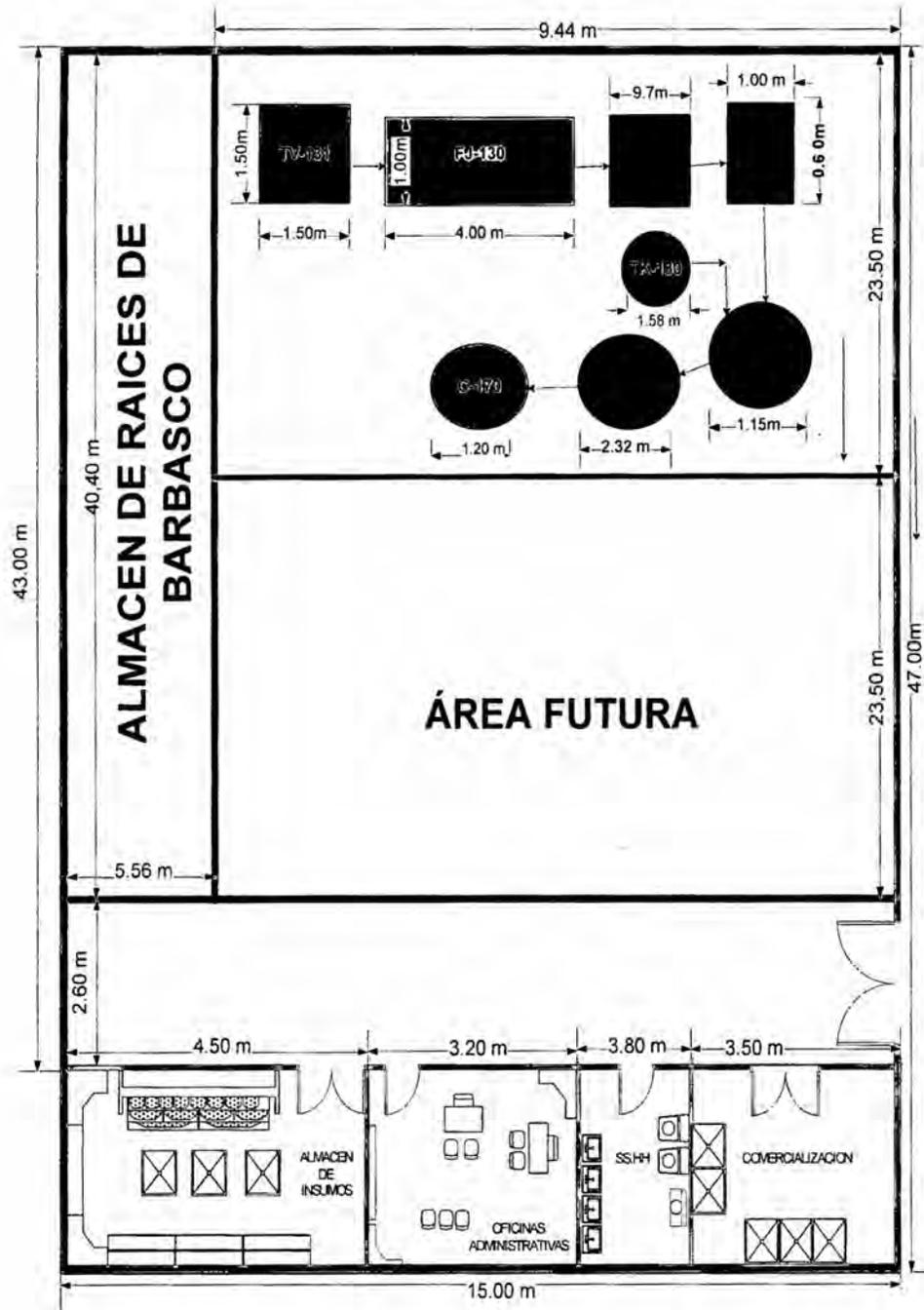
$$\text{Área total} = 402,4 \text{ m}^2 + 284,63 \text{ m}^2 = 687,03 \text{ m}^2$$

La disposición de planta se muestra en la figura N° 19 de la página

163.

FIGURA N° 19

DISTRIBUCIÓN DE PLANTA (PLAN LAYOUT)



VI. EVALUACION ECONOMICA

6.1. Estimación del costo total de producción.-

Para determinar el costo total de producción (CTP), se consideró todos los costos que están asociados al proceso de producción de la Rotenona, para lo cual planteamos:

$$\text{CTP} = \text{Costo de fabricación} + \text{Costos generales} \quad (94)$$

Donde:

$$\begin{aligned} \text{Costo de fabricación} &= \text{Costos directos de producción} + \text{Costos fijos} \\ &+ \text{Costos generales de planta} \end{aligned} \quad (95)$$

CUADRO N° 19

INTERVALOS DE ESTIMACIÓN DEL COSTO DIRECTO DE PRODUCCIÓN

Concepto	Costos directos de producción
Materia prima	Por el balance
Mano de obra de operación	0,15*CTP
Supervisión de operación	0,20*0,15*CTP
Servicios auxiliares	0,15*CTP
Mantenimiento y reparación	0,06*ICF
Suministros de operación	0,0075*ICF
Costos de laboratorio	0,15*0,15*CTP
Regalías y patentes	0,04*CTP

Fuente: Apuntes de clase de Diseño de plantas del Ing. Machaca.

CUADRO N° 20

INTERVALOS DE ESTIMACIÓN DEL COSTO FIJO

Concepto	Costos fijos
Depreciación	0,05*ICF
Impuestos Locales	0,02*ICF
Seguros	0,01*ICF
Alquileres	0,07*ICF

Fuente: Apuntes de clase de Diseño de plantas del Ing. Machaca.

CUADRO N° 21

INTERVALOS DE ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS GENERALES

Concepto	Costo parcial
Costos de administración	0,035*CTP
Costo de distribución y comercialización	0,110*CTP
Costo de investigación y desarrollo	0,050*CTP

Fuente: Apuntes de clase de Diseño de plantas del Ing. Machaca.

Asimismo se define los costos generales de planta como:

$$\text{Costos generales de planta} = 0,10 \cdot \text{CTP} \quad (97)$$

Luego, reemplazando la ecuación 95 y 97 en la ecuación 94 y reemplazando las variables definidas en el cuadro N° 19 de la página 164 y los cuadros N°20 y N° 21, se obtiene:

$$\begin{aligned} \text{CTP} = & \text{Materia Prima} + 0,15*\text{CTP} + 0,20*0,15*\text{CTP} + 0,15*\text{CTP} + \\ & 0,06*\text{ICF} + 0,0075*\text{ICF} + 0,15*0,15*\text{CTP} + 0,04*\text{CTP} + 0,15*\text{ICF} + \\ & 0,035*\text{CTP} + 0,11*\text{CTP} + 0,05*\text{CTP} + 0,10*\text{CTP} \end{aligned}$$

$$\text{CTP} = \text{Materia Prima} + 0,838*\text{CTP} + 0,0675*\text{ICF} \quad (98)$$

Por consiguiente, para determinar el costo total de producción (CTP) las variables a calcularse son la inversión de capital fijo (ICF) y el costo de la materia prima (materia prima) descritos a continuación:

- **Costo de Materia Prima**

El costo de la materia prima se calculó de la siguiente manera:

✓ Barbasco = 5772 TM/año

Costo = 360 \$/TM

5772 TM/año * 360 \$/TM = 2 077 920 \$/año

✓ Alcohol etílico = 1 891 551 kg/año

Costo = 0,76 \$/kg

1 891 551 Kg/año * 0,76 \$/Kg = 1 437 579 \$/año

Entonces, el costo de materia prima total es 3 515 499 \$/año

Finalmente, reemplazando la ICF (véase el cálculo en el ítem 6.2.1 de la página 168) y el costo de la materia prima en la ecuación 98:

$$\text{CTP} = \text{Materia Prima} + 0,838\text{CTP} + 0,0675 \text{ ICF} \quad (98)$$

$$0,162 \text{ CTP} = 0,0675 (3\,914\,140 \text{ \$/año}) + 3\,515\,499 \text{ \$/año}$$

$$\text{CTP} = 23\,331\,444,4 \text{ \$/año} = 23,33 \text{ MM\$/año}$$

Dividiendo entre la capacidad de planta óptima:

$$\widehat{\text{CTP}} = \frac{23\,331\,444,4 \text{ \$/año}}{415 \text{ TM/año}} = 56\,220,4 \frac{\$}{\text{TM}} = 56,22 \text{ \$/Kg}$$

Asimismo, se definen los costos fijos como:

$$\text{CF} = 0,15 \text{ CTP}$$

$$\text{CF} = 0,15 (23,33 \text{ MM\$/año}) = 3,499 \text{ MM\$/año}$$

6.2. Estimación de inversión total.-

Se ha estimado la inversión total requerida para la instalación de la planta de producción de Rotenona considerando la inversión de una planta de producción de Ácido tánico utilizando el modelo de escalamiento de Williams:

✓ Ácido tánico:

Para una capacidad de planta de Ácido tánico de 20 000 TM/año se requirió una inversión de 33,8 MM\$/año en el año 2000, así:

- Al año 2000 CEPCI = 395.6
- Al año 2015 CEPCI = 585.7

$$I_1 = 33,8 \times \left(\frac{585,7}{395,6} \right)$$

$$I_1 = 50,0421 \frac{\text{MM\$}}{\text{año}}$$

Se obtiene que en el año 2015, para una capacidad de planta de 20 000 TM/año, se requiere una inversión de 50,0421 MM\$/año.

✓ Rotenona:

Para una capacidad de planta de Ácido tánico de 20 000 TM/año con una inversión de \$ 50 042 100 y una capacidad de planta de Rotenona de 415 TM/año:

$$\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^\alpha, \quad \text{para un proceso químico } \alpha = 0,6$$

$$I_2 = 50,0421 \left(\frac{415}{20\,000} \right)^{0,6} = 4,89 \frac{\text{MM\$}}{\text{año}}$$

Finalmente, para una capacidad de planta de 415 TM/año la inversión total es de \$ 4 892 675 /año.

6.2.1. Inversión de capital fijo.-

La inversión de capital fijo se ha evaluado considerando el 80% de la inversión total.

$$\text{ICF} = 0,8 (4\ 892\ 675 \text{ \$/año}) = 3\ 914\ 140 \text{ \$/año.}$$

Asimismo, la Inversión de capital fijo (ICF) se define según lo siguiente:

$$\text{ICF} = \text{Costos Directos} + \text{Costos Indirectos} \quad (99)$$

Donde:

- ✓ Costos Directos (CD) = 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.
- ✓ Costos Indirectos (CI) = Costos de ingeniería + Costos de construcción y honorarios de contratistas y eventuales

Las variables mencionadas en los Costos Directos e Indirectos, se muestran en el cuadro N° 22 y N° 23 de la página 170.

CUADRO N° 22

INTERVALOS DE ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS DIRECTOS

Concepto	Costo parcial
Costo de equipo	0,40 ICF
Instalación + aislamiento + pintura	0,40 Costo del equipo adquirido
Instrumentación y control	0,10 Costo del equipo adquirido
Tuberías y cañerías	0,10 Costo del equipo adquirido
Instalación o equipo eléctrico	0,08 Costo del equipo adquirido
Edificaciones y obras civiles	0,265 Costo del equipo adquirido
Instalación de servicios y mejora del terreno	0,10 Costo del equipo adquirido
Costo del terreno	0,08 ICF

Fuente: Apuntes de clase de Diseño de plantas del Ing. Machaca.

CUADRO N° 23

INTERVALOS DE ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS INDIRECTOS

Concepto	Costo parcial
Costos de ingeniería	0,0435 CD
Costos de construcción y honorarios	0,0741 CD
Eventuales	0,05 ICF

Fuente: Apuntes de clase de Diseño de plantas del Ing. Machaca.

La evaluación respectiva [33] se muestra en el cuadro N° 24 de la página 171.

CUADRO N° 24

INTERVALOS DE ESTIMACIÓN DE LA INVERSIÓN DEL CAPITAL

FIJO

CONCEPTO	%	MONTO US\$
COSTOS DIRECTOS		
Costos de equipos adquiridos	40%	1 565656
Costo de instalación, aislación y pinturas	40%	626262,4
Costo de instrumentación y controles instalados	10%	156 565,6
Costo de tuberías y cañerías instaladas	10%	156 565,6
Costo de instalaciones eléctricas	8%	125 252,5
Costo del edificio y obras civiles para el proceso y equipos auxiliares	26,5%	414 899
Costo de instalaciones de servicio y mejoras de terreno	10%	156 565,6
Costo del terreno	8%	125 252,5
Total costos directos		3 327 019,2
COSTOS INDIRECTOS		
Costos de ingeniería y supervisión	4,35 %	144 725,4
Costo de construcción y honorarios de contrato	7,4147%	246 688,4
Costos eventuales	5%	195 707
Total costos indirectos		587 120,8
INVERSION DE CAPITAL FIJO	CD+CI	3 914 140

6.2.2. Capital de trabajo.-

El capital de trabajo para una planta industrial, es la cantidad de dinero necesario para hacer funcionar la planta hasta que produzca y se auto abastezca.

Se ha estimado el capital de trabajo tomando como base un trimestre, siendo este el 20% de la inversión total.

$$\text{Capital de trabajo} = 0,20 (4\ 892\ 675\ \$/\text{año}) = 978\ 535\ \$/\text{año}$$

CUADRO N° 25

INVERSIÓN DE CAPITAL DE TRABAJO

CONCEPTO	%	MONTO US\$
INVERSION DE CAPITAL DE TRABAJO PRIMER TRIMESTRE		
Materia prima	30%	293 560,50
Costo de supervisión y mano de obra directa e indirecta	25%	244 633,75
Costo de mantenimiento y cargas fijas	20%	195 707,00
Imprevistos	25%	244 633,75
TOTAL INVERSIÓN DE CAPITAL DE TRABAJO		978 535,00

Fuente: Apuntes de clase de Diseño de plantas del Ing. Machaca.

6.3. Estado de pérdidas y ganancias.-

Se consideró las ventas netas como las ventas de cada año que son cobrados en el mismo año, de esta manera se tiene los ingresos

totales desde \$ 24 626 400 en el primer año hasta \$ 27 473 000 en el último año.

El costo de producción y los otros factores económicos se muestran en el cuadro N° 26 de la página 175.

6.3.1. Criterios de Rentabilidad.-

Empleamos el concepto del valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR).

a. Tasa interna de retorno

Determinación del TIR:

$$I = \frac{F1}{(1+i)^1} + \frac{F2}{(1+i)^2} + \frac{F3}{(1+i)^3} + \frac{F4}{(1+i)^4} + \dots + \frac{F10}{(1+i)^{10}} \quad (100)$$

Reemplazando datos se obtiene: $i = 47,077\%$ (TIR)

b. Valor Actual Neto

Se empleó $i = 17,10\%$ para los cálculos del VAN:

$$VANE = -I + \frac{F1}{(1+i)^1} + \frac{F2}{(1+i)^2} + \frac{F3}{(1+i)^3} + \frac{F4}{(1+i)^4} + \dots + \frac{F10}{(1+i)^{10}} \quad (101)$$

$$VANE = -2\,826\,331 + 14\,639\,344$$

$$VANE = 11\,813\,013 \$$$

$VANE > 0$ entonces, se acepta el Proyecto

Cabe mencionar que el presente proyecto es de carácter social principalmente, por lo cual el beneficio directo más importante es la producción de Rotenona con un valor agregado mayor a la que se exporta el Barbasco como materia prima al extranjero actualmente.

Por otro lado, se evaluó el Valor Actual Neto Financiero (VANF) y la tasa de interés de retorno financiero (TIRF):

Tasa de interés de retorno financiero (TIRF): $i = 95,9366\%$ anual

Para los cálculos del VANF se empleó $i = 14,52\%$:

$$\text{VANF} = - \text{Aporte propio} + \frac{F_1}{(1+i)^1} + \frac{F_2}{(1+i)^2} + \frac{F_3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{F_{10}}{(1+i)^{10}} \quad (101)$$

$$\text{VANF} = -\$1\,467\,802, + 9\,449\,847,0$$

$$\text{VANF} = \$7\,982\,045,40$$

$\text{VANF} > 0$ entonces, se acepta el Proyecto

Asimismo, con la elaboración del cuadro N° 26 de la página 175, se concluye que se recuperara la totalidad de la inversión a partir del tercer año, lo cual hace factible dicha inversión.

CUADRO N° 26

ESTADO DE PÉRDIDAS Y GANANCIAS

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INVERSION \$/Año	- 4 892 675										
DEMANDA TMI/Año		372	386	399	412	425	437	449	461	472	483
CAPACIDAD DE PLANTA Qp (TM)		372	386	399	412	415	415	415	415	415	415
INGRESO POR VENTAS \$/Año		24626400	25553200	26413800	27274400	27473000	27473000	27473000	27473000	27473000	27473000
COSTO FIJO \$/Año		3 499 717	3 499 717	3 499 717	3 499 717	3 499 717	3 499 717	3 499 717	3 499 717	3 499 717	3 499 717
COSTO TOTAL \$/Año		21276590,7	21945612,9	22566847,7	23188082,5	23331444,4	23331444,4	23331444,4	23331444,4	23331444,4	23331444,4
UTILIDAD BRUTA \$/Año		3349809,3	3607587,2	3846952,3	4086317,5	4141555,6	4141555,6	4141555,6	4141555,6	4141555,6	4141555,6
Ley de Industrias N°23407 (12%) \$		401977,1	432910,5	461634,3	490358,1	496986,7	496986,7	496986,7	496986,7	496986,7	496986,7
Impuesto a la Renta (28%) \$		825393,0	888909,5	947889,1	1006868,6	1020479,3	1020479,3	1020479,3	1020479,3	1020479,3	1020479,3
Utilidad retenida (Flujo de caja) \$	- 4 892 675	2122439,2	2285767,2	2437429	2589090,8	2624089,6	2624089,6	2624089,6	2624089,6	2624089,6	2624089,6
PRESTAMO INTERESES (\$)	-3424872,5	398589,8	333047,9	254809,9	166752,4	67,642,8					
AMORTIZACION		421467,3	623366,6	701604,6	789662,2	888771,8					
APORTE PROPIO	1467802,5										
FLUJO NETO FINANCIERO \$		1302382,07	1329352,66	1481014,43	1632676,20	1667675,07	2624089,63	2624089,63	2624089,63	2624089,63	2624089,63

Precio = 66200 \$/TM; CVu = 47787,3 \$/TM; VAN = \$ 6477605,05 ; TIRE = 47,0775%; VANF = \$7982045,4;

TIRF = 95,936%

6.4. Financiamiento.-

El Financiamiento del Proyecto para la instalación de la planta industrial para la producción de Rotenona a partir de Barbasco, requiere de una inversión de 4 892 675 de 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 01 año, a partir del segundo año (2017), el proyecto generará ingresos. Se estima que los ingresos anuales serán del orden de los 27 473 000 dólares americanos, que los costos fijos anuales es del orden de 3 499 717 dólares americanos, y el costo variable total del unitario de 47787,3 \$/TM de los ingresos estimados, los cuales son detallados en el cuadro N° 26 de la página 175.

Es importante mencionar la situación económica de la región la cual, según datos emitidos por el Banco Central de Reserva del Perú, muestra que la inversión del Gobierno Central en Loreto fue de S/. 32,7 millones en Enero 2012, siendo superior en S/. 25,2 millones respecto a similar mes del año anterior, debido al mayor gasto en obras de infraestructura de transporte terrestre. Asimismo, la inversión creció en el sector transporte (S/. 31,4 millones) por concesiones viales para la construcción del acceso al nuevo puerto de Yurimaguas.

El Banco Central de Reserva del Perú [58] refiere que el crédito del sistema financiero de Loreto alcanzó los S/. 1 268,9 millones a fines de

enero de 2012, saldo mayor en S/. 316,1 millones al registrado en similares meses del año anterior, importe que representó un crecimiento real de 27,8 por ciento. El crédito en soles creció a una tasa de 27,5 por ciento, y de dólares en 28,9 por ciento. El crédito otorgado por las empresas bancarias registró un incremento real anual de 34,1 por ciento, debido a los mayores saldos de casi todos los bancos, con excepción del Banco Financiero. Asimismo, las colocaciones de las entidades micro financieras no bancarias crecieron 9,0 por ciento, impulsadas por el dinamismo de las cajas municipales, en particular la Caja Municipal de Maynas.

6.4.1. Estructura de Financiamiento.-

La estructura de financiamiento será de 70% 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 12% 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 el proyecto es:

Capital financiado por banco de crédito	= \$ 3 424 872,5
Capital propio y de accionistas	= \$ 1 467 802,5
Inversión total	= \$ 4 892 675,0

El crédito necesario para el financiamiento de la inversión será otorgada por el Banco de Crédito. Asimismo, la tasa de interés que el banco cobrara por el préstamo otorgado en dólares norteamericanos, a un interés de 12 % anual al rebatir por todo concepto, incluyendo comisiones, intermediario, etc. Véase el cuadro N° 27.

CUADRO N° 27

CUADRO DE LA ESTRUCTURA DE FINANCIAMIENTO

Cuadro de Amortizaciones				
Préstamo:	\$3,424,872.50	CALCULAR BORRAR TOTAL	Nota: La tasa y los periodos deben de estar en la misma unidad de tiempo.	
Tasa	3%			
N° periodos:	20			
N° periodos de gracia:	1			
$CUOTA = \text{PRESTAMO} \left(\frac{(1 + TASA)^{PER-CGA} \cdot TASA}{(1 + TASA)^{PER-CGA} - 1} \right)$				
Periodo	Saldo	Interés	Amortización	Cuota
1	\$3,424,872.50	\$102,746.18	\$0.00	\$102,746.18
2	\$3,424,872.50	\$102,746.18	\$136,357.46	\$239,103.64
3	\$3,288,515.04	\$98,655.45	\$140,448.19	\$239,103.64
4	\$3,148,066.85	\$94,442.01	\$144,661.63	\$239,103.64
Total:	\$13,286,326.88	\$398,589.81	\$421,467.29	\$820,057.09
5	\$3,003,405.21	\$90,102.16	\$149,001.48	\$239,103.64
6	\$2,854,403.73	\$85,632.11	\$153,471.53	\$239,103.64
7	\$2,700,932.20	\$81,027.97	\$158,075.67	\$239,103.64
8	\$2,542,856.53	\$76,285.70	\$162,817.94	\$239,103.64
Total:	\$11,101,597.67	\$333,047.93	\$623,366.63	\$956,414.56
9	\$2,380,038.58	\$71,401.16	\$167,702.48	\$239,103.64
10	\$2,212,336.10	\$66,370.08	\$172,733.56	\$239,103.64
11	\$2,039,602.55	\$61,188.08	\$177,915.56	\$239,103.64
12	\$1,861,686.98	\$55,850.61	\$183,253.03	\$239,103.64
Total:	\$8,493,664.21	\$254,809.93	\$701,604.63	\$956,414.56
13	\$1,678,433.95	\$50,353.02	\$188,750.62	\$239,103.64
14	\$1,489,683.33	\$44,690.50	\$194,413.14	\$239,103.64
15	\$1,295,270.19	\$38,858.11	\$200,245.53	\$239,103.64
16	\$1,095,024.66	\$32,850.74	\$206,252.90	\$239,103.64
Total:	\$5,558,412.13	\$166,752.36	\$789,662.19	\$956,414.56
17	\$888,771.76	\$26,663.15	\$212,440.49	\$239,103.64
18	\$676,331.27	\$20,289.94	\$218,813.70	\$239,103.64
19	\$457,517.57	\$13,725.53	\$225,378.11	\$239,103.64
20	\$232,139.46	\$6,964.18	\$232,139.46	\$239,103.64
Total:	\$2,254,760.05	\$67,642.80	\$888,771.76	\$956,414.56

VII. CONCLUSIONES

- a. Se logró el objetivo de la determinación de tamaño de planta óptimo para la elaboración de plano de disposición de la planta industrial de producción de Rotenona a partir de Barbasco mediante el análisis y el estudio del mercado.
- b. La ubicación de la planta se ha establecido en la región de Loreto, en la localidad de Iquitos, distrito de Belén, considerando como factor determinante que se encuentra cerca la materia prima y los beneficios de los otros factores locacionales evaluados, lográndose el objetivo trazado.
- c. 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.
- d. 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.
- e. Se logró el objetivo de la evaluación económica y financiera con un VANE de \$ 11 813 013 y el VANF de \$ 7 982 045,40 y que los costos de producción de 56 220 \$/TM, demuestran que esta alternativa económica es rentable. Desde estos dos puntos vista se

puede afirmar que el proyecto es un proceso con potencial de desarrollo y es necesario ampliar su investigación.

- f. 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 de fácil construcción y de fabricación nacional. Los costos asociados a la instalación de la planta son moderados, y de igual manera los costos de manufactura, ya que se necesita una mínima cantidad de trabajadores, se utilizan el Barbasco como materia prima.
- g. Los residuos de producción se pueden tratar para la fabricación de planchas de madera compresas, las cuales tienen un precio medio de US\$ 66,2 \$/Kg; lo cual indica que esta alternativa es viable económicamente.

VIII. RECOMENDACIONES

- a. El margen de ganancia que se obtiene es alto, y por lo tanto se recomienda la aplicación e implementación de la planta industrial para la producción de Rotenona a partir de Barbasco.
- b. Debido a la poca información acerca de la producción de Rotenona a partir de Barbasco, se deberá de evaluar la proyección de instalación de una planta para el procesamiento de los residuos del Barbasco luego de la extracción la localidad de Belén- Iquitos, de esta manera aprovechar estos residuos para producir planchas de maderas compresas.
- c. De acuerdo a los parámetros establecidos durante la fase de diseño, este estudio garantiza la instalación para la producción industrial de Rotenona a partir de Barbasco en la localidad de Iquitos, distrito de Belén.
- d. Un producto de calidad se obtiene de una buena materia prima, por lo cual resulta necesario que la cosecha de las raíces del Barbasco llegue integra a la planta industrial.
- e. 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 recomendados.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). **Tetracloruro de carbono**. Disponible en: http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfags/es_tfacts30.html. Consultada 04 de Agosto del 2015.
- [2] AGRODATA. **Precio de etanol en el Perú**. 2014.
- [3] AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA. **Manual Criterio de diseño de sifón hidráulico**. Lima. 2010.
- [4] AUSTIN, G.T.. **Shreve's Chemical Process Industries**. 5th international ed., McGraw-Hill, New York, Sydney, 597-598. 1983
- [5] BARCELÓ, J.. **Diccionario tecnológico de química**. 2º Edición, 1982.
- [6] BENNER, J.P. **Crop protection agents from higher plants**. The **Royal Society of Chemistry**. Cambridge. 1996.
- [7] CALDAS, C., P. **UNESCO**. 2011.
- [8] CAMARA DE COMERCIO E INDUSTRIA DE LORETO. **Asistencia técnica y capacitación a los agricultores de barbasco de la zona de alto Amazonas**. 2012

- [9] CARBALLO M. Y COL. **Control biológico de plagas agrícolas.** Editores Técnicos CATIE. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanzas. 2002.
- [10] CODESU. **Análisis de la cadena Agroindustrial de productos amazónicos.** Ucayali. 2012.
- [11] COMERCIO EXTERIOR EXPORTACIONES PERUANAS - SIICEX. **Barbasco.** Disponible en:
<http://www.siicex.gob.pe/siicex/resources/fichaproducto/Barbasco1.pdf>. Consultada 25 de Mayo del 2015.
- [12] CIAT. **Proyecto de desarrollo de agro empresas rurales.** Loreto. 2009.
- [13] CLARK, E. L. **Pilot Plants in Process Technology**, Chem. Eng. 65(8); 155; (1): 119, (15): 119(20): 125 (1958).
- [14] ESTRADA, J., Y M. LÓPEZ. **Los bioplaguicidas, tecnología para la agricultura sostenible.** Lima. 1998.
- [15] FONDO DE PROMOCION DE EXPORTACIONES. **Catálogo del Potencial Exportable de la Industria Química en Colombia.** Bogotá. 1979.

- [16] GATES, L.E.. **Selecting agitator systems to suspend solids in liquids**, Chem. Eng. 144(5). 1958.
- [17] GRINDA, F. & GUEYNE, J. **Extraction of insecticides from plants. USPTO Patent Full -Text and Image Database, Saphyr S.A.R.L.** Francia. 1986.
- [18] GUAYASAMÍN T. Y COL. **Optimización de la extracción de la rotenona y cuantificación del principio activo usando un método por HPLC a ser validado.** 2011.
- [19] IANNACONE, J., Y LAMAS, G., **Efectos toxicológicos de rotenona sobre tres micro avispas parasitoide de plagas agrícolas en el Perú**, Boletín Sanitario Vegetal. Plagas. 29. 2003.
- [20] IANNACONE, J., Y G. LAMAS. **Efecto de dos extractos botánicos y un insecticida convencional sobre el depredador *Chrysoperla externa*.** Perú. 2002.
- [21] IANNACONE, J., Y G. LAMAS. **Efecto toxicológicos de extractos de molle (*Schinus molle*) y lantana (*Lantana camara*) sobre *Chrysoperla externa* (Neuroptera: Chrysopidae), *Trichogramma pinto* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) y *Copidosoma koehleri* (Hymenoptera: Encyrtidae) en el Perú.** Chile. 2003..

- [22] IANNACONE, J., E Y. MONTORO. **Impacto de dos productos botánicos bioinsecticidas (azadiractina y rotenona) sobre la artropofauna capturada con trampas de suelo en el tomate en Ica. Perú. 2002.**
- [23] INDECOPI. 2015. **Comisión nacional ccontra la piratería Año 1 N° 3 Marzo 2015.** Disponible en:
https://www.indecopi.gob.pe/documents/20791/202940/03.-Boletin_N3_LONCHOCARPUS_NICOU.pdf/9f30f523-b4a5-47fc-985f-8190ac7e0d5b
- [24] INFOAGRO. Disponible en: <http://www.infoagro.com>
- [25] INDECOPI. Disponible en: <https://www.indecopi.gob.pe/>
- [26] INDUSTRIAS PIRELLI S.A.I.C. **División de artículos varios.** Buenos Aires. Argentina. 2013.
- [27] INIE, **Estimaciones y proyecciones, 1995 – 2025.** Loreto.
- [28] INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA AMAZONÍA PERUANA. **Barbasco.** Disponible en:
https://www.google.com.pe/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj-je6nv6PLAhXH2R4KHXLuBesQFggaMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.iiap.org.pe%2FUpload%2FPublicacion%2FCD_PEBIAM%2Fdocumentos%2FBIO%25202%2FBIO2.1%2520Recursos%2520Biolo

gicos%2FBIO2.1-

K.pdf&usq=AFQjCNFkVPD86clDStSR2RheBvrSPx26lw&sig2=-

dyUwRCMCWCpXEQHDqUWfA&bvm=bv.115339255.d.dmo.

Consultada 04 de Agosto del 2015.

- [29] INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. **Tetracloruro de carbono**. Disponible en:

www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/.../nspn0024.p

df. Consultada 04 de Agosto del 2015.

- [30] KIRK, J., **Diccionario Químico Industrial**, 1 ° Edición. 1970.

- [31] LEY GENERAL DE INDUSTRIAS N° 23407. 21 de enero 2011.

- [32] LIZÁRRAGA, T. A. **Extractos vegetales para la Agricultura: Insecticidas de menor grado de toxicidad**. **El Comercio**. Feb. 19 **Rev. El Agro**. N° 9. **Sección Consultorio**. 1993.

- [33] 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.

- [34] MERCK MILLIPORE. **Etanol**. Disponible en:

<http://www.merckmillipore.com/PE/es/product/Etanol->

absoluto,MDA CHEM-107017. Consultada 04 de Agosto del 2015.

- [35] McKETTA, John J., DEKKER, Marcel. **Encyclopedia of Chemical Processing and Design**. Tomo 8. New York and Bases. 324 – 333. 1979.
- [36] PALOMEQUE V. **Estudio de factibilidad para la creación de una empresa productora de pesticidas a base de barbasco en el Cantón Palora, provincia de Morona Santiago y su comercialización en la provincia de Pastaza**. 2015.
- [37] PERÚ INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA. Disponible en: <https://www.inei.gob.pe/>
- [38] PERRY, John, H. **Chemical Engineers' Handbook**. Tomo I, Third edition, McGraw Hill Book Company, Inc. USA, 198.1
- [39] PUBLICACION GRAFICA DEL DEPARTAMENTO DE LORETO, 2012.
- [40] PROGRAMA DE PROMOCIÓN DE INVERSIONES Y EXPORTACIONES DE UCAYALI. **Gerencia Regional de Desarrollo Económico**. 2009.
- [41] PRTR ESPAÑA - REGISTRO ESTATAL DE EMISIONES Y FUENTES. Disponible en: <http://www.prtr-es.es/http://www.prtr-es.es/>. Consultada 04 de Agosto del 2015.
- [42] REPORTE: Exportación subpartida Nacional/ País destino. 2008

- [43] REVISTA. **Análisis de la cadena Agroindustrial de Productos Amazónicos**. 2010.
- [44] RUIZ, A.. **Evaporación de la leche**. Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico. Universidad Nacional de Ingeniería. 1985.
- [45] RUTHS, M., J. **Evaporator System**, Ind. Eng. Chem. Junio 1965.
- [46] SENAMHI. Disponible en: www.senamhi.gob.pe/. Consultada 10 de Noviembre del 2014.
- [47] SELVANET RESCATANDO Y DIFUNDIENDO LO NUESTRO. Disponible en: <http://www.selvanet20.blogspot.pe>. Consultada 10 de Noviembre del 2014.
- [48] SON BRUCE, M. Y DONALD, Y., **Fundamentos de mecánica de fluidos** Editorial Limusa Wiley, México DF. 2003.
- [49] STOHMANN, F., SCHROETER, G. **Gran Enciclopedia de Química Industrial**. Tomo I.
- [50] SUNARP. Disponible en: <https://www.sunarp.gob.pe/>. Consultada 10 de Noviembre del 2014.
- [51] SUNAT. Disponible en: www.sunat.gob.pe/. Consultada 10 de Noviembre del 2014.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

PROVEIDO N°. 1458-2016-FIQ

**ASUNTO: CONFORMIDAD PARA EL TRÁMITE DE
OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUIMICO POR LA MODALIDAD DE
TESIS AL HABER LEVANTADO LAS
OBSERVACIONES EN LA SUSTENTACION.**

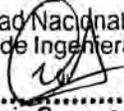
**REF.: DICTAMEN DE SUBSANACION DE
OBSERVACIONES – INGENIERO LUIS CARRASCO
VENEGAS - PRESIDENTE DE JURADO DE
SUSTENTACIÓN DE TESIS.**

INGRESO: 2819

**PASE A LAS SEÑORITAS BACHILLERES NUÑEZ
ZAMBRANO MERY ELIZABETH Y ALVARADO
HUAYLUPO HEIDY VANESSA, PARA QUE
CONTINUE CON EL TRÁMITE RESPECTIVO.**

Bellavista, 10 de octubre de 2016.

Universidad Nacional del Callao
Facultad de Ingeniería Química


.....
Ing. Dr. Luis Carrasco Venegas
Decano

Mile a.

cc. ARCHIVO.

DICTAMEN DE SUBSANACION DE OBSERVACIONES

Sr. Luis Carrasco Venegas

Decano de la Facultad de Ingeniería Química

Presente.-

Por medio del presente informo a Ud. que las Srtas. Bachilleres Núñez Zambrano Mery Elizabeth y Alvarado Huaylupo Heidy Vanessa, han cumplido con levantar la observación del Jurado hecha durante la sustentación de la tesis denominada **"Diseño de una Planta para la Producción de Rotenona a partir de Barbasco (Lonchocarpus)"**, la misma que se llevó a cabo el día 01 mes de julio del 2016 a las 13 horas.

Lo que informo a Ud. para que las mencionadas sustentantes puedan proseguir con sus trámites respectivos

Sin otro particular, quedo de Ud.

Atentamente,



Ing. Luis Carrasco Venegas
Presidente del Jurado de Tesis

2819
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
Secretaria de Decanato
FECHA: 10 OCT 2016 14:20
HORA: 
RECIBIDO

**LIBRO 2 FOLIO No.76 ACTA N° 259 DE SUSTENTACION DE TESIS SIN
CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO**

El día Primero de julio del Dos Mil Dieciséis, siendo las 13.00 horas, se reunió el JURADO DE SUSTENTACION DE TESIS de la Facultad de Ingeniería Química, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:

Ing. CARRASCO VENEGAS LUIS AMERICO	: Presidente
Ing. LAZO CAMPOSANO ROBERTO	: Secretario
Ing. AVELINO CARHUARICRA CARMEN GILDA	:Vocal
Ing. GUTIERREZ CUBA CESAR	:Asesor

con el fin de dar inicio al acto de sustentación de tesis de las Señoritas Bachilleres NUÑEZ ZAMBRANO MERY ELIZABETH Y ALVARADO HUAYLUPO HEIDY VANESSA, quienes habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico, sustenta la tesis titulada "DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN DE LA ROTENONA A PARTIR DE BARBASCO (LONCHOCARPU)".

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la exposición de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, se acordó: Dar por Aprobado..... con el calificativo Bueno..... a las expositoras Señoritas Bachilleres NUÑEZ ZAMBRANO MERY ELIZABETH Y ALVARADO HUAYLUPO HEIDY VANESSA.

Se dio por cerrada la Sesión a las 14.15 horas del día primero del mes y año en curso.


Ing. CARRASCO VENEGAS LUIS
AMERICO

Presidente


Ing. LAZO CAMPOSANO ROBERTO
Secretario


Ing. AVELINO CARHUARICRA CARMEN
GILDA

Vocal


Ing. GUTIERREZ CUBA CESAR

Asesor

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Recomendaciones de los Señores Miembros del Jurado de Sustentación a la sustentantes,
que realicen las correcciones de la tesis antes de su aprobación.

ASISTENTES : Bachilleres NUÑEZ ZAMBRANO MERY ELIZABETH Y ALVARADO
HUAYLUPO HEIDY VANESSA.

TÍTULO DE LA TESIS: "DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN DE LA ROTENONA A PARTIR DE
BARBASCO (LONCHOCARPUS)".

PRESIDENTE:

Prescribir por esgraseca de extractos

- SECRETARIO:

.....
.....
.....

- VOCAL:

.....
.....
.....

Ing. CARRASCO VENEGAS LUIS AMERICO
Presidente

Ing. LAZO CAMPOSANO ROBERTO
Secretario

Ing. AVELINO CARHUARICRA CARMEN GILDA
Vocal

Fecha: 01 de julio 2016