



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

ÁREA BIOLÓGICA Y BIOMÉDICA

TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO

**Aprovechamiento industrial del aceite esencial del limón sutil *Citrus
aurantifolia***

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTOR: León Rodríguez, Cesar Elías

DIRECTOR: Valarezo Valdez, Benito Eduardo, Ph.D.

LOJA – ECUADOR

2017



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2017

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ph.D

Benito Eduardo Valarezo Valdez

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: Aprovechamiento industrial del aceite esencial del limón sutil *Citrus aurantifolia* realizado por Cesar Elías León Rodríguez ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, noviembre de 2017

f) _____

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Cesar Elías León Rodríguez declaro ser autor del presente trabajo de titulación: Aprovechamiento industrial del aceite esencial del limón sutil *Citrus aurantifolia*, de la Titulación de Ingeniería Química, siendo Benito Eduardo Valarezo Valdez director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f) _____

Autor: Cesar Elías León Rodríguez

Cedula:1104324759

DEDICATORIA

Este trabajo quiero dedicar, primeramente a Dios, que me lleno de fuerza para lograr culminar este trabajo.

A mis Padres, que siempre fueron el pilar fundamental y apoyo que siempre me brindaron en el transcurso de toda la carrera.

A toda mi familia gracias por el apoyo incondicional, siempre estuvieron animándome para lograr esta meta en mi vida.

En especial quiero dedicar a un compañero y amigo "Milton Sigcho" que fue una persona excepcional, se nos adelantó en este viaje de la vida.

AGRADECIMIENTO

A mi tutor Ph.D. Eduardo Valarezo, quien más que un docente es como un amigo, gracias a su experiencia de investigación fue un pilar fundamental en este trabajo culminado.

A Ph.D. Miguel Ángel Meneses, por su asesoramiento y sugerencias para que este trabajo sea culminando de la mejor manera.

A Ph.D. Luis García, gracias a sus palabras de apoyo y recomendación para sacar adelante este trabajo.

A los docentes que participaron en mi formación profesional: Mgtr. Diana Guaya, Mgtr. Juan Toledo, Mgtr. Alfonso Allen-Perkins, Ph.D. Iuliana Cota, Mgtr. Silvio Aguilar, Mgtr. Ricardo Arévalo, Mgtr. Oswaldo Tandazo, Mgtr. Paulina Aguirre, Ph.D. Chabaco Armijos, gracias a sus enseñanzas hacen que sea una persona que aporte positivamente a la sociedad de forma profesional.

A mis colegas de trabajo Patricio Jaramillo, Daniela Carrión, gracias a su esfuerzo y dedicación logramos culminar este trabajo.

A mis compañeros y amigos: Gabriel Rivera, Arturo Bravo, Andrés Cuenca, Santiago Paladines, Pablo Gonzaga, Pablo Jumbo, Cristian Ortega, Geovanny Jiménez, Daniel Valdivieso, Walter Agila, Jairo Ortiz, Henry Romero, David Ordoñez, Diego Maza, James Calva, gracias por compartir momentos maravillosos, a veces distanciados, pero siempre estábamos ahí cuando nos necesitamos.

A mis amigas y compañeras: Ximena Rosales, Marcela Cabrera, Karla Bustamante, Karina Espinoza, Karina Cuenca, Karina Vaca, Gabriela Piedra, Dayana Díaz, Denisse Loaiza, Alexandra Flores, Yoana Gallegos, Gladis Shingre, Verónica Capa, gracias por estar presentes en los momentos que necesitaba ayuda.

En forma especial: Dania Bastidas, Irene Alvarado, gracias por estar ahí siempre con el apoyo incondicional todo el tiempo, además a Janeth Sarango, aunque nuestras vidas hayan tomado un rumbo diferente, gracias a ti logre elegir una carrera extraordinaria.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARATULA.....	I
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	li
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	lii
DEDICATORÍA.....	lv
AGRADECIMIENTO.....	V
RESUMEN.....	1
ABSTACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I.....	5
MARCO TEÓRICO.....	6
1.1. Aceites esenciales.....	6
1.1.1. Clasificación de los aceites esenciales.....	6
1.1.2. Características.....	8
1.2. Aceites esenciales de limón.....	8
1.2.1. Composición química de los aceites esenciales de limón.....	9
1.2.2. Realidad de los aceites esenciales de limón en Ecuador.....	10
1.2.3. Realidad de los aceites esenciales de limón a nivel Mundial.....	10
1.3. Historia de los cítricos.....	10
1.3.1. Distribución de la especie citrus.....	10
1.3.2. Cultivo en Ecuador de limón sutil.	11
1.3.3. Descripción del limón sutil (Citrus aurantifolia).....	12
1.3.4. Usos del limón (Citrus aurantifolia).	13
1.3.5. Exportación del limón sutil.....	15
1.4. Técnicas de destilación.....	15
1.4.1 Hidrodifusión.....	16
1.4.2 Hidrodestilación.....	16
1.4.3 Destilación agua-vapor.....	18
1.4.4. Destilación por arrastre de vapor.....	18
1.4.4.1. Transferencia de calor y masa.....	19
1.4.4.1.1. Fase de calentamiento.....	19
1.4.4.1.2. Fase de Extracción.....	19
1.4.4.1.3. Fase de Enfriamiento.....	19
1.4.4.2. Diseño del equipo.....	20

1.4.4.2.1. Caldera.....	20
1.4.4.2.2. Destilador.....	20
1.4.4.2.3. Condensador.....	20
1.4.4.2.4. Separador de aceites esenciales	21
1.4.4.3. Distribución de la planta	22
1.4.4.4. Especificaciones técnicas.....	22
CAPÍTULO II.....	23
2. Metodología.....	24
2.1. Obtención de la materia prima.....	25
2.2. Extracción del aceite esencial.....	25
2.3. Determinación de parámetros para la extracción de aceites esenciales y mejorar el rendimiento.....	26
2.3.1. Parámetros de extracción.....	26
2.3.2. Calculo del rendimiento del aceite esencial.....	27
2.3.3. Envasado y almacenamiento del aceite esencial.....	27
2.4. Diseño de los equipos de extracción.....	27
2.4.1. Volumen del tanque de extracción.....	28
2.4.2. Diseño térmico.....	29
2.4.3. Espesor del aislamiento térmico.....	30
2.4.4. Condensador.....	31
2.4.4.1. Diseño térmico.....	31
2.4.5. Instalación y selección de equipos auxiliares.....	33
2.4.6. Separador de aceites esenciales.....	33
2.5. Zonificación y distribución de la planta	33
2.6. Especificaciones técnicas para la puesta en marcha.....	34
CAPITULO III.....	35
3. Resultado y Análisis.....	36
3.1. Obtención de la materia prima.....	36
3.2. Extracción del aceite esencial.....	37
3.3. Determinación de parámetros para extracción de aceites esenciales y mejorar el rendimiento.....	39
3.3.1. Parámetros de extracción.....	39
3.3.2. Calculo del rendimiento del aceite esencial.....	40
3.3.3. Envasado y almacenamiento del aceite esencial.....	40

3.4. Diseño de los equipos de extracción.....	41
Cantidad de materia prima (MP) necesaria para la producción.....	42
Tiempo necesario para la producción de 1kg de aceite esencial (min).....	42
Agua de extracción.....	42
3.4.1. Volumen del tanque de extracción.....	42
3.4.2. Diseño térmico.....	43
3.4.3. Espesor del aislamiento térmico.....	43
Cantidad de combustible necesario para la producción de vapor.....	45
3.4.4. Condensador.....	45
3.4.4.1. <i>Diseño térmico</i>.....	45
3.4.5. Instalación y selección de equipos auxiliares	48
3.4.6. Separador de aceites esenciales.....	49
3.5. Zonificación y distribución de la planta.....	49
3.6. Especificaciones técnicas para la puesta en marcha.....	52
CONCLUSIONES.....	53
RECOMENDACIONES.....	54
BIBLIOGRAFÍA.....	55
ANEXOS.....	57

FIGURAS

Figura 1.	Distribucion de los citricos.....	11
Figura 2.	Citrus limón.....	12
Figura 3.	Equipo de hidrodifusión.....	16
Figura 4.	Equipo de Hidrodestilación.....	17
Figura 5.	Equipo de destilación agua vapor.....	18
Figura 6.	Condensador.....	21
Figura 7.	Separador de aceites esenciales.....	22
Figura 8.	Esquema del desarrollo de la metodología.....	24
Figura 9.	Equipo de extraccion.....	26
Figura 10.	Metodología para calcular el volumen del tanque de extracción.....	28
Figura 11.	Metodología para el diseño térmico.....	29
Figura 12.	Metodología para calcular el espesor de asilamiento. Térmico.....	30
Figura 13.	Metodología para el diseño del condensador.....	31
Figura 14.	Lugar de recoleccion de la materia prima.....	36
Figura 15.	Curva de la cantidad de 4 Kg.....	37
Figura 16.	Curva de la cantidad de 8 Kg.....	38
Figura 17.	Curva de la cantidad de 12 Kg.....	38
Figura 18.	Curva de rendimiento acumula.....	39
Figura 19.	Almacenado y etiquetado del aceite de limón.....	40
Figura 20.	Escala gráfica del equipo de extracción.....	41
Figura 21.	Espesor del aislante térmico.....	43
Figura 22.	Dimensionamiento del tanque extractor.....	44
Figura 23.	Dimensionamiento del condensador tipo serpentín y soporte del condensador.....	47
Figura 24.	Dimensionamiento de la hornilla.....	47
Figura 25.	Sección de la llave de paso.....	48
Figura 26.	Sección del tubo contenedor.	48
Figura 27.	Plano de la planta de extracción del aceite esencial.....	50
Figura 28.	Plano acotado de la planta de extracción del aceite esencial.....	51
Figura 29.	Tabla para calcular los coeficientes de transferencia de calor.....	78

TABLAS

Tabla 1.	Descripción del limón sutil.....	8
Tabla 2.	Compuestos presentes en el aceite de limón.....	9
Tabla 3.	Cultivo del limón sutil en Ecuador	12
Tabla 4.	Características técnicas del limón sutil.....	13
Tabla 5.	Valor alimenticio de por consumo de limón.....	14
Tabla 6.	Distribución de las regiones que exportan limón sutil.....	15
Tabla 7.	Parámetros técnicos de extracción.....	40
Tabla 8.	Diámetros de tuberías.....	45
Tabla 9.	Parámetros técnicos para el dimensionamiento del intercambiador.....	46
Tabla 10.	Datos utilizados en el dimensionamiento del condensador.	74

RESUMEN

La finalidad del presente estudio fue el aprovechamiento industrial del aceite esencial del limón sutil, se determinó algunos parámetros dentro de la destilación, se diseñó un equipo y una planta de extracción, también se elaboró manuales para la puesta en marcha. Para el aprovechamiento del aceite esencial se utilizó un tanque extracción de 100 L de capacidad construido en acero inoxidable 304 de 2 mm de espesor, el cual fue aislado con lana de vidrio con un espesor de 3 cm, que esta acoplado a un destilador de tipo serpentín de 3.14 m de longitud de tubo nominal de ¼ de pulgada, el cual está dentro de un tanque de 12.5 L de volumen. La planta de extracción comprende 9 zonas que está diseñada de forma rectangular con medidas de 16.5 m x 9 m, dando una área total 150 m². Los manuales de procedimiento y los manuales de operación de los equipos fueron elaborados para cada uno de los pasos del proceso del aprovechamiento del aceite esencial de limón.

PALABRAS CLAVES: (*Citrus aurantifolia*), aceite esencial, tanque de extracción, condensador.

ABSTRACT

The purpose of the present study was the industrial use of the essential oil of the lemon, some parameters were determined within the distillation, a equipment and an extraction plant were designed, and manuals were also prepared for commissioning. For the exploitation of the essential oil, a 100 L extraction tank was used, constructed of 304 stainless steel, 2 mm thick, which was insulated with glass wool with a thickness of 3 cm, which is coupled to a type distiller coil of 3.14 m nominal pipe length $\frac{1}{4}$ inch, which is inside a 12.5 L volume tank. The extraction plant comprises 9 zones that is designed in rectangular form with measures of 16.5 m x 9 m, giving a total area 150 m². The procedure manuals and equipment operation manuals were prepared for each step of the process of the extraction of the essential oil of lemon.

KEYWORDS: (*Citrus aurantifolia*), essential oil, extraction tank, condenser.

INTRODUCCIÓN

Este proyecto tiene como finalidad el aprovechamiento industrial de aceite esencial de limón sutil, para ello se tomó en cuenta los siguientes lineamientos como son: diseño de un equipo, una planta, consideración de los parámetros técnicos, costos para la implementación de la planta y puesta en marcha, de la misma forma los manuales tanto de los equipos como para el proceso de extracción.

Se desarrolla en 3 capítulos de interés, el primer capítulo titulado marco teórico trata sobre el estado del arte de este tema, en el segundo capítulo se da a conocer las técnicas y los materiales utilizados para llevar a cabo la investigación y en el tercer capítulo se expone y analiza los resultados propuestos. La investigación está enfocada hacia el estudio de la flora aromática de Región Sur del Ecuador y específicamente al proyecto “Aprovechamiento industrial del aceite esencial del limón sutil (*Citrus aurantifolia*)” que se desarrolla en la Sección de Ingeniería de Procesos de la Universidad Técnica Particular de Loja.

Con este estudio se incrementa el conocimiento sobre la existencia de los aceites esenciales, sus propiedades y usos para aplicaciones en las diferentes industrias tales como: Farmacéutica, Cosmética y Alimenticia, fomentando la información del catálogo de plantas aromáticas.

Una vez determinado los parámetros técnicos, el diseño del equipo y la planta de extracción de aceites esenciales de limón, se pretende contribuir con los estudios de nuevas especies de la flora local.

Los aceites esenciales pueden ser utilizados como materia prima para las diferentes industrias o para la formulación de subproductos, lo que permita a futuro que las industrias locales logren patentar dicho producto, ya que esto incrementara el empleo, en el mercado laboral y la superación de las empresas con personal técnicamente calificado para la elaboración de productos de calidad.

El objetivo general de este estudio es el aprovechamiento industrial del aceite esencial del limón (*Citrus aurantifolia*) presentes en este estudio, así mismo se compone de objetivos específicos considerados como componentes del proyecto donde se involucraran los parámetros para la extracción de los aceites esenciales, conjuntamente con un equipo de extracción donde se diseña el tanque de destilación, condensador, separador de aceites esenciales, parte mecánica del equipo, la selección de la caldera, la distribución de la planta de implementación, conjuntamente con los manuales de operación de los equipos y procedimientos para la extracción.

En el desarrollo del estudio de aceites esenciales de distintas especies vegetales tales como el limón se basa en la importancia económica que estos presentan en mercado en los últimos años y sus aplicaciones en procesos industriales, por lo que se ha planteado realizar un estudio de aprovechamiento de los compuestos presentes en los aceites esenciales presentes en el limón sutil, con la finalidad de dar un valor agregado y vincular la investigación con la Industria Ecuatoriana, debido a que en la ciudad de Loja exclusivamente en el Cantón Catamayo existe una gran producción de limón, por lo que se conoce que en temporadas del año existe sobreproducción del cítrico, el cual no es expendido en su totalidad lo que genera que estos productos sean desechados provocando pérdidas financieras para los productores.

CAPITULO I
MARCO TEÓRICO

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Aceites esenciales.

Se denomina como aceite esencial de limón a las fracciones líquidas volátiles que generalmente se extraen por destilados mediante proceso físico, estas contienen las características responsables del aroma y sabor del limón Guerrero, Flores, Lama, Luy, & Mao (2012).

Los aceites esenciales son conocidos como la mezcla de compuestos orgánicos constituidos principalmente por terpenos, con una densidad baja y una viscosidad más alta que el agua además de esto poseen un color que va desde amarillento hasta transparente. Sufren degradación en presencia de luz, de aire, de ácidos o álcalis fuertes. Tienen la capacidad de disolverse en compuestos orgánicos comunes, inmiscibles en compuestos polares como el agua, amoníaco. Cuenta con propiedades de solvencia en polímeros gracias a la presencia de anillos aromáticos en su cadena (Contreras Puentes & Ruiz Pérez, 2012).

En la mayoría parte de los aceites esenciales provenientes de especies vegetales, presentan un olor atractivo, esto se debe a planta que se extrae, algunas variedades de plantas presentan gran cantidad de aceite, mientras que la mayoría de especies presentan pequeña cantidad Andrade (2015).

Estos aceites provienen de diferentes partes de las plantas como son: en las hojas de (ajeno, albahaca, eucalipto, hierbabuena, mejorana, menta, capulí, romero, salvia), en las raíces de las plantas (angélica, cúrcuma, jengibre, salando, sasafrás, valeriana, vetiver), en las semillas (anís, cardamomo, hinojo, comino), en el tallo (canela), en las flores (lavanda, manzanilla, piretro, tomillo, rosa), en los frutos (nuez moscada, perejil, pimiento), en el pericardio de los frutos cítricos como son (limón, mandarina, naranja) Contreras Puentes & Ruiz Pérez (2012).

1.1.1. Clasificación de los aceites esenciales.

Los autores Alvarez, Meléndez, & Cosío (2012) describen a los aceites clasificados por su consistencia.

- Las esencias fluidas son líquidos que se volatilizan a temperatura ambiente.
- Los bálsamos presentan una consistencia más densa, y de poca volatilidad, son propensos a sufrir reacciones de polimerización, son ejemplos, el bálsamo de copaiba, el bálsamo del Perú, bálsamo de Tolú, Estoraque.
- Las oleorresinas muestran el aroma de las plantas en una mayor concentración, presentando su característica típica como líquidos muy densos o sustancias semisólidas (caucho, gutapercha, chicle, oleorresina de paprika, de pimienta negra, de clavo, etc.).

Según Martínez (2003), describe la clasificación debido a su origen y componentes mayoritarios de la siguiente manera.

- Naturales, directamente son extraídos de las la plantas y no sufren alteraciones físicas ni químicas posteriores, tienen un muy bajo rendimiento por lo que su precio es de arto valor económico.
- Artificiales, son enriquecidos por la misma mezcla con uno a varios de sus componentes.
- Sintéticos, son producidos por la combinación de sus componentes los cuales son la mayoría de las veces producidos por procesos de síntesis química.

De acuerdo con el tipo de sustancias que son los componentes mayoritarios. Los aceites esenciales ricos en monoterpenos son denominados aceites esenciales monoterpenoides como: hierbabuena, albahaca, salvia, etc.

- Ricos en sesquiterpenos son los aceites esenciales sesquiterpenoides como: copaiba, pino, junípero, etc.
- Ricos en fenilpropanos son los aceites esenciales fenilpropanoides como: clavo, canela, anís, etc.

1.1.2. Características.

Los aceites esenciales se caracterizan por factores que presentan las especies vegetales como son: la cantidad de aceite esencial, propiedades sensoriales como el olor, color y sabor, algunas especies presentan una coloración que va desde incoloro-amarillo pálido a verde esmeralda, además son solubles en alcoholes y en disolventes de tipo orgánicos, como éter, o cloroformo y alcohol etílico Andrade (2015).

1.2. Aceites esenciales de limón.

Los aceites esenciales de limón se pueden extraer de la cutícula de la cáscara del limón o de destilar el limón completo en su totalidad, siendo el segundo el que mayor aporte brinda para obtener un mejor rendimiento. Además estos aceites procedentes del limón se los considera las como las partes líquidas volátiles obtenidas, generalmente destilables por un proceso físico, que contienen las sustancias que brindan el aroma y sabor característicos al limón Guerrero, Flores, Lama, Luy, & Mao (2012).

Los aceites esenciales provenientes de cítricos son aplicados mayoritariamente en la industria alimentaria como base fundamental en los sabores conocidos como cítricos. Desafortunadamente, los aceites esenciales cuentan con una composición química relativamente sencilla y enormes contradicciones de precios entre las especies de cítricos además la adulteración siempre ha sido un factor negativo en la industria desde sus inicios Franco (2015). Ver tabla 1.

Tabla 1. Descripción del limón sutil.

Ficha técnica	
Nombre científico	Citrus aurantifolia
Familia	Rutaceae
Varietades importantes	Sutil
Apariencia	Líquido cristalino
Color	Levemente amarillento
Aroma	Fresco, terpénico , cítrico

Fuente Guerrero et al.(2012).

Elaboración: El autor.

Según los autores Guerrero et al. (2012), para la producir de 185 kg de aceite esencial de limón se necesita emplear 60 toneladas de limón sutil fresco, previamente lavado cepillado y seleccionado.

1.2.1. Composición química de los aceites esenciales del limón.

Según Cerutti & Neumayer (2004), definen que los aceites esenciales comúnmente se expresan como la mezcla de más de cien compuestos que presentan la siguiente composición química:

- Compuestos alifáticos de bajo peso molecular (alcanos, alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres y ácidos).
- Monoterpenos.
- Sesquiterpenos.
- Fenilpropanos.

El aceite de limón está compuesto a aproximadamente de 2% de sustancias no volátiles en su mayoría en la forma de coumarince, alrededor de 18 alcoholes, 16 aldehídos, 11 ésteres, 3 cetonas, 4 ácidos, y 23 hidrocarburos. Ver tabla 2.

Tabla 2. Compuestos presentes en el aceite de limón.

Compuesto	Porcentaje %
Limoneno (Monoterpeno monocíclico)	63
Beta-pineno (Monoterpeno Bicíclico)	12
Gama-terpineno (Monoterpeno monocíclico)	9
Otros Compuestos	
Geranial (aldehído)	1.5
Geranial (aldehído)	1.0
Neril acetato (frutal, floral, rosa)	5
Geranil acetato (frutal, floral, rosa)	0.4
Citronelal (fuerte, cítrico, verde)	0.2
Linalol (brillante, lavanda) (monoterpeno acíclico)	0.2
Nonanal (fuerte)	0.1

Fuente: Guerrero et al.(2012).

Elaboración: El autor.

1.2.2. Realidad de los aceites esenciales de limón en Ecuador.

En nuestro país no existen Industrias dedicadas a la extracción de aceites esenciales de los cítricos como el del limón, con ello conlleva a la importación de los mismos haciéndolos más costosos y pocos conocidos. Es por esto las Industrias alimentarias están en la constante búsqueda de nuevas fuentes en los productos antioxidantes naturales para reemplazar los sintéticos ya que estos últimos son cuestionados por razones saludables Franco (2015).

1.2.3. Realidad de los aceites esenciales de limón a nivel Mundial.

A nivel mundial la producción aproximada anual es de 3600 toneladas de aceite esencial, siendo el aceite esencial de limón ocupa el segundo lugar tan solo superado por el de naranja dulce. Entre los mayores productores del mundo se encuentran países como Estados Unidos, Italia y Argentina; otros productores de menor importancia son Brasil, Costa de Marfil, Grecia, España, Israel, Australia, Perú, Guinea, Indonesia, Venezuela y Chile Cerutti & Neumayer (2004).

Ecuador muestra un rol de competitividad de exportación muy pequeño al ser comparado con el resto de países del mundo, ubicándose en la posición número 29 del ranking, aunque en solo 3 años logro escalar 28 puestos, con lo que se muestra con buen porvenir en exportaciones futuras Logroño (2013).

1.3. Historia de los cítricos.

Los cítricos se llevan cultivando hace unos 4000 años, donde los frutos fueron lo que más atrajo a los pobladores primitivos, quienes se encargaron de cultivarlos mucho tiempo antes de que aparecieran en los países Europeos a donde fueron llevados por los primeros viajeros gracias a la cautivante apariencia debido a sus frutos y flores Coello (2014).

1.3.1. Distribución de la especie citrus.

La familia del género Citrus proviene de las zonas tropicales y subtropicales del Continente Asiático y del archipiélago Malayo. El territorio que asocia su origen comúnmente está ubicado al sudeste de Asia, además abarca el este de Arabia, este de Filipinas, también incluye el sur del Himalaya llegando hasta Indonesia Guerrero et al. (2012). Ver figura 1.



Figura 1: Distribución de los cítricos
Fuente: Guerrero et al.(2012).
Elaboración: El autor.

1.3.2. Cultivo en Ecuador de limón sutil.

La producción que está centrada a la exportación de limón sutil se encuentran principalmente en las provincias de Manabí, Pichincha, Los Ríos y Loja; donde se desarrolla la mayor parte de la producción Nacional es en la Costa (61.64% de la producción nacional). Según estadísticas del Ministerio de Agricultura y Ganadería ((SIAGRO-MAG), en el año 2005 en el país existían 5180 hectáreas dedicadas al cultivo de cítricos, donde 34.94% que incluye toda la variedad de limas y limones, 10 de estas variedades se encuentran en la Provincia de Manabí con un porcentaje de 15.44% en Pichincha (las zonas son colindantes), 13.32% en Los Ríos y 9.02% en Loja Logroño (2013). Ver tabla 3.

Tabla 3. Cultivo del limón sutil en Ecuador

Año	Área de cosecha (Ha)	Rendimiento (Hg/Ha)	Producción (TM)
2000	3330	88993	29635
2001	5323	21380	11381
2002	5075	26910	13657
2003	4965	13272	6590
2004	4893	18837	9217
2005	6256	26165	16369
2006	4000	13727	5491
2007	4000	19912	7965
2008	4000	24412	9765
2009	4000	25143	11021

Fuente: Logroño (2013).

Elaboración: El autor.

1.3.3. Descripción del limón sutil (*Citrus aurantifolia*).

Citrus x limón, es un árbol pequeño normalmente alcanza los 4 m de altura en ocasiones un poco más, cuyo fruto es comestible de sabor ácido y extremadamente fragante que se usa en la alimentación. La planta también posee madera cuya corteza tiene una apariencia lisa y muy dura de color amarillenta que se utiliza para trabajos de ebanistería. Botánicamente, es una especie híbrida entre *C. médica* (cidro o limón francés) y *C. aurantium* (naranja amarga) Torres (2012). Ver figura 2.



Figura 2: Citrus limón
Fuente Grunauer (2009).
Elaboración: El autor.

Este cítrico pertenece a la familia de las limas, que en Perú como en Ecuador es más conocido por el nombre de limón, cuyo nombre científico es (*Citrus x aurantifolia* Swingle). El fruto se caracteriza por su forma redondeada u ovalada de 2 a 5 cm de diámetro que está compuesto por tres partes que son; el flavedo o exocarpio, albedo o mesocarpio y endocarpio Grunauer (2009). Ver tabla 4.

Tabla 4. Características técnicas del limón sutil.

Características	Descripción
Reino	Vegetal
Clase	Angiospermae
Orden	Rutae
Familia	Rutaceae
Genero	Citrus
Subgénero	Eucitrus
Especie	<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle
Periodo Vegetativo	A los cinco años del injerto se obtiene la primer cosecha

Fuente: Guerrero et al. (2012).

Elaboración: El autor.

1.3.4. Usos del limón (*Citrus aurantifolia*).

El limón tiene un alto uso en el área medicinal por su gran contenido de vitamina C, además es utilizado en el campo alimentario para la elaboración de ensaladas refrescos, y como un ingrediente fundamental en el encebollado y ceviche debido a su bajo pH, igualmente se utiliza la cascara en repostería, panadería perfumería, aromaterapia ya que es la parte principal del limón ya que es donde se encuentran los aceites esenciales Grunauer (2009).

El Limón se encuentra en los primeros lugares dentro las especies curativas, preventivas y de aporte vitamínico, sirve para eliminar toxinas y es un poderoso bactericida. Algunas de sus propiedades nutritivas se listan a continuación:

- Contiene abundante vitamina C, que sirve para reforzar las defensas del organismo para evitar virus y enfermedades, en especial si se trata de las vías respiratorias que van desde un simple catarro, ronquera, amigdalitis, hasta pulmonías, bronquitis, congestiones, gripe, pleuresías, asma etc. También la vitamina C se aplica como desinfectante gracias a su acción antitóxica frente a los venenos microbianos y medicamentosos.
- Además de la vitamina C, se encuentra la vitamina P que se aplica para tonificar y vasos sanguíneos.
- Es utilizado en la aplicación para cicatrizar heridas de todo tipo, aplicándolo interiormente y exteriormente. Además este cítrico es muy rico en minerales entre los que se destacan potasio, magnesio, calcio y fósforo (contiene también sodio, hierro y flúor). Cuenta con vitaminas como son el complejo B (B1, B2, B3, B5, B6, PP).
- Es recomendado en casos de hipertensión, arteriosclerosis y enfermedades cardiovasculares (activando la circulación de la sangre), en casos de diabetes se aplica para evitar complicaciones relacionadas con las arterias. Sirve también para la prevención de la formación de cálculos renales y puede llegar a disolverlos lentamente Guerrero et al. (2012). Ver tabla 5.

Tabla 5. Valor alimenticio de por consumo de limón

Valor alimenticio (g por cada 100 g de consumo de limón)	
Humedad	88.7 - 93.5 gr
Proteína	0.70 – 0. 112
Grasa	0
Carbohidratos	7
Fibra	3
Ceniza	0.25 – 0.40
Vitamina A	2
Fosforo	9.3 – 21. 0 mg
Sodio	1 mg
Tiamina	0.019 – 0.068 mg
Riboflavina	0.011 – 0.023 mg
Niacina	0.14 – 0.25 mg
Ácido Ascórbico	30.0 – 48.7mg
Vitamina C	35
Hierro	2
Calcio	2

Fuente: Logroño: (2013).

Elaboración: El autor.

1.3.5. Exportación del limón sutil.

Gracias al apoyo que hoy brinda el Gobierno Nacional a los productores, mediante programas de apertura al comercio exterior se ha podido observar el incremento significativo en la exportaciones de limón sutil, siendo Estados Unidos uno de los mayores destino para este cítrico, que en el año 2013 de tuvo un crecimiento en su demanda de importaciones más del 16% y en el 2014 tuvo más del 39% de crecimiento, ya que es preferido por su elevada concentración de acidez Ruiz & Wang (2015). Ver tabla 6.

Tabla 6. Distribución de las regiones que exportan limón sutil

Años	2011	20012	2013
Nacional	10.768	38.850	10.594
Región Sierra	1.970	2.166	6.558
Región Costa	7.668	36.018	3.030
Región Oriental	1.110	665	1.006
El Oro	307	69	37

Fuente: Ruiz & Wang, (2015).

Elaboración: El autor.

1.4. Técnicas de destilación.

Existen varios procedimientos para la extracción de los aceites esenciales presentes en algunas plantas que se han ido perfeccionando con el paso de los años, pero el método más utilizado es el de arrastre por vapor Moscoso (2014). En el destilado no existe ninguna transformación química, todo se lleva a cabo bajo un proceso físico Granados & Wilmer (2007).

El vocablo destilación proviene del latín “destillare” separar por medio de calor, donde se utiliza enfriadores como alambiques condensadores coraza y tubo para enfriar el vapor que sale del destilado. Consta en separar los aceites esenciales de las plantas aromáticas que contienen estas sustancias que se somete al proceso de destilación Granados & Wilmer (2007).

1.4.1. Hidrodifusión.

Para este proceso existen innovaciones constantes por lo que la Sociedad Montenier Tachnologies logra la creación de un sistema llamado H.D.F, donde el principio de funcionamiento es que el agua desciende desde la parte superior arrastrando el aceite de la materia vegetal hasta la salida que equipo tiene incorporado en la parte inferior. Este método de H.D.F usa la acción osmótica para la extracción logrando que el aceite se libere en forma de azeótropo que contienen la materia vegetal, de la misma forma condensa el aceite aprovechando la gravedad que dispersa el azeótropo que es generado mediante el vapor de agua. Este procedimiento aplicado es uno de los más aplicados en varios países, ya que permite minimizar los incomodos procedimientos de la destilación tradicional Granados & Wilmer (2007). Ver figura 3.

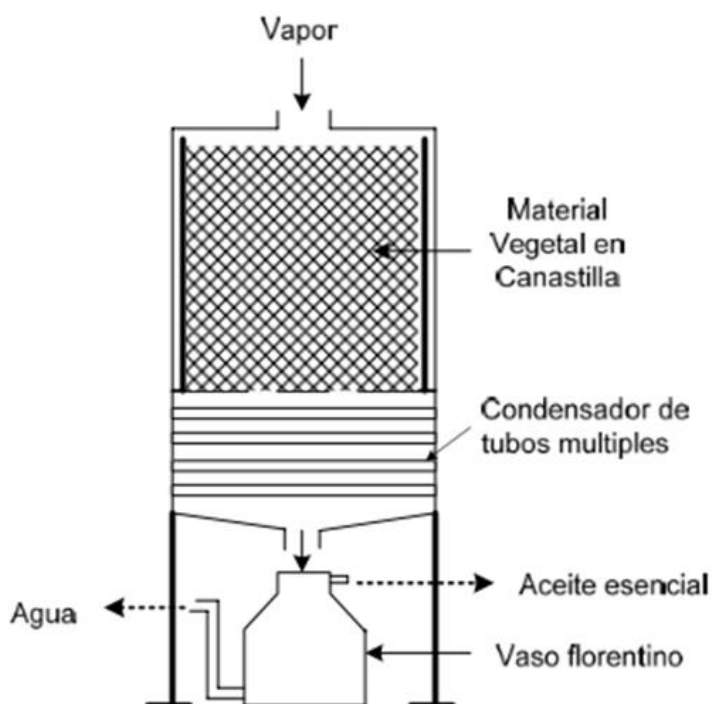


Figura 3: Equipo de hidrodifusión
Fuente: Granados & Wilmer (2007).
Elaboración: El autor.

1.4.2. Hidrodestilación.

Mucho tiempo ha pasado desde que el hombre descubrió que al hervir los vegetales aromáticos junto con agua podía atrapar las esencias que le daban el olor característico a dichas plantas, que se considera uno de los métodos más antiguos, pero hasta el momento aún se lo aplica Granados & Wilmer (2007).

El proceso consta en introducir material vegetal dentro de un cilindro, que estará cubierto la parte inferior con un fluido (agua), asegurando que el material este en su mayoría suspendido donde el vapor va a subir por el destilador arrastrando los aceites, que son inmiscibles en el agua hasta ser enfriados por un condensador, finalmente los aceites son separados debido a su densidad relativa que es diferente a la del líquido Granados & Wilmer (2007).

Este sistema es de fácil aplicabilidad es por ello que son instalados mayoritariamente en zonas rurales ya que cuentan con varias ventajas como son: facilidad de instalación, se puede trasladar con mayor facilidad, menor gasto de instalación, mayor facilidad de operación, presentan menor consumo energético, lo que lo hace amigable con el medio ambiente Falconí & Pincha (2013). Ver figura 4.

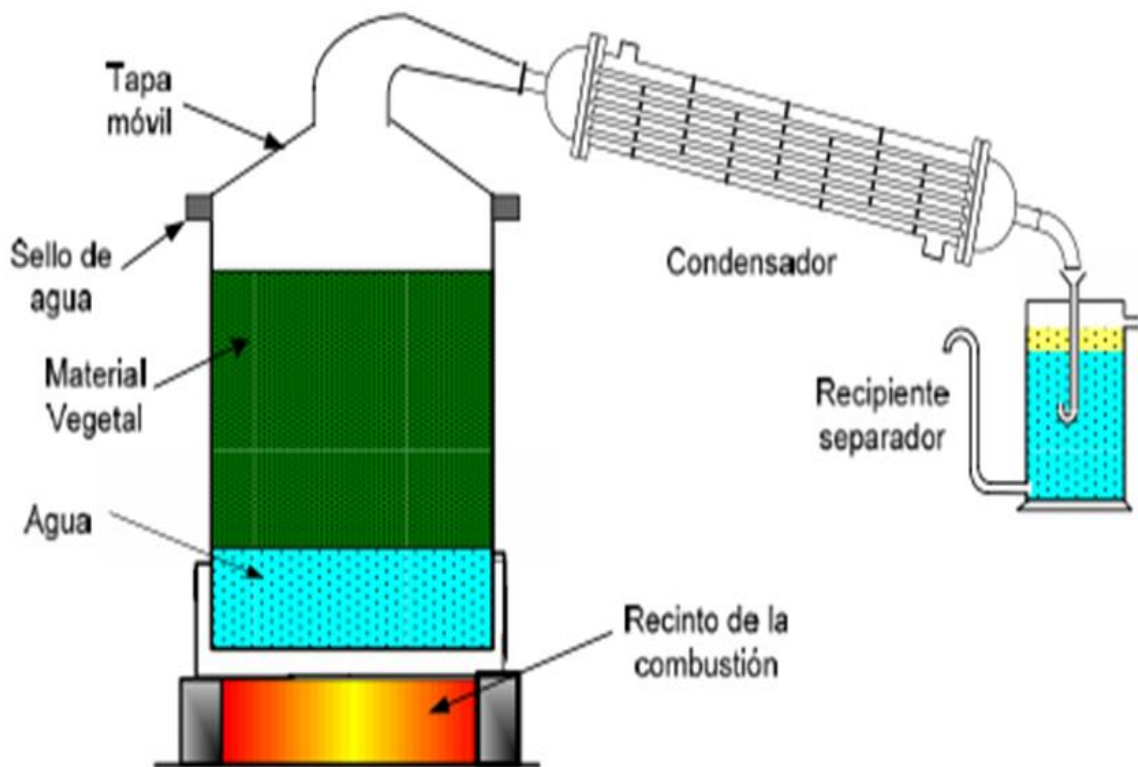


Figura 4: Equipo de Hidrodestilación
Fuente: Granados & Wilmer, (2007).
Elaboración: El autor.

1.4.3. Destilación agua-vapor.

Este proceso es similar al anterior, donde el arrastre puede ser generado mediante una fuerza desde el exterior o dentro del mismo tanque, la mayoría de diseños cuentan con una malla para mantener separados la materia vegetal que se encuentra en suspensión, del agua que está en ebullición minimizando la capacidad de carga, pero aumenta en una forma considerable la condición del aceite esencial. La presión que se genera en el proceso es muy cercano a la de la presión atmosférica Granados & Wilmer (2007). Ver figura 5.

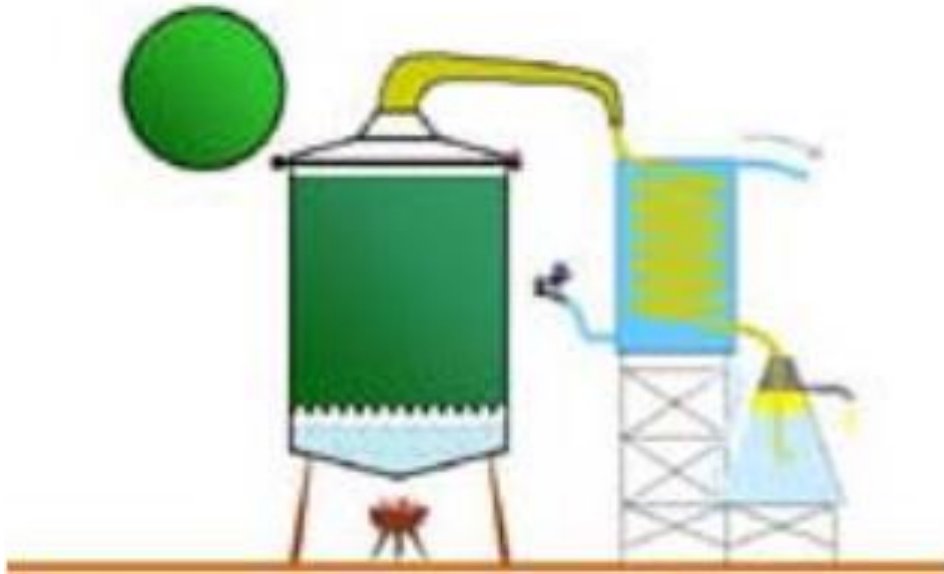


Figura 5. Equipo de destilación de agua vapor

Fuente: (Granados & Wilmer, 2007).

Elaboración: El autor.

1.4.4. Destilación por arrastre de vapor.

En este proceso de destilado, se ubica la materia vegetal a cierta distancia del fondo del tanque, y no existe presencia de agua en forma líquida, solo existe presencia de vapor que es generado por una caldera, con una presión necesaria para traslapar la materia vegetal, la cual es mayor a la presión atmosférica suficiente para arrastrar los componentes que emergen junto con el vapor, luego son condensados y separados en un envase llamado florentino, que permite separar estas sustancias, mediante sus densidades (Torres, 2013).

Esta acción se lleva a cabo hasta que el aceite esencial se consuma totalmente en la materia vegetal, entonces se realizara la remoción y será remplazada por una nueva carga de materia vegetal, continuando con el proceso de forma continua Granados & Wilmer (2007).

1.4.4.1. *Transferencia de calor y masa.*

En la destilación mediante el principio de arrastre por vapor, la transferencia de calor se da en tres fases como son: la fase de calentamiento, fase de extracción y fase de enfriamiento, en cambio la transferencia de masa se lleva a cabo en el momento que se realiza la extracción Granados & Wilmer (2007).

1.4.4.1.1. *Fase de calentamiento.*

Según Granados & Wilmer (2007), el vapor que es generado mediante una caldera asciende hasta el punto donde realiza el contacto con los aceites esenciales que son arrastrados hacia la parte superior del equipo de destilación. En este punto se trasfiere calor a la sustancia vegetal, tanto como al envase que contiene dicha sustancia.

1.4.4.1.2. *Fase de extracción.*

En esta etapa existe transferencia de calor y de masa, la transferencia de calor se lleva a cabo cuando el agua desde una temperatura ambiente llega a pasar a fase de vapor para arrastrar el aceite esencial, mientras que la transferencia de masa se da cuando el agua alcanza su fase de vapor saturado para introducir en la cutícula del fruto y arrastrar el aceite esencial conjuntamente con el vapor Granados & Wilmer (2007).

1.4.4.1.3. *Fase de enfriamiento.*

El autor Granados & Wilmer (2007), considera en esta etapa se necesita diseñar un condensador con un área determinada para remover la cantidad de calor que se requiere en esta etapa.

1.4.4.2. Diseño del equipo.

1.4.4.2.1. Caldera.

La caldera es responsable de brindar el poder calorífico al agua, para generar el vapor requerido para la destilación, una caldera puede expresarse en Caballos Caldera (CC). Este equipo puede funcionar con combustibles derivados del petróleo, como es el gas licuado, esta se puede estar instalada al equipo o también o también puede diseñarse por separado Granados & Wilmer (2007).

1.4.4.2.2. Destilador.

El destilador, se denomina a la parte del equipo donde se deposita el agua junto con la materia vegetal que son separados por una rejilla de acero inoxidable para que estas dos sustancias no estén en contacto directo Moscoso (2014).

El diseño básicamente consiste en cilindro con un diámetro similar o inferior al de la altura, en la cima del tanque se encuentra una tapa de acero que debe ser cerrada en su totalidad, para que no exista perdidas de vapor. Algunos diseños cuentan con una válvula de drenaje para eliminar el agua que se mantiene durante la extracción Granados & Wilmer (2007).

1.4.4.2.3. Condensador.

Es la parte del equipo donde los aceites junto con el vapor son enfriados parcialmente por el agua que ingresa a temperatura ambiente al condensador. Para el equipo se pueden usar varios tipos de condensadores dependiendo de la cantidad de flujo de vapor que se requiere enfriar Granados & Wilmer (2007).

Entre los condensadores con mayor aplicación es el de serpentín y cámara de expansión. Para fabricar el destilador adecuado hay que tener criterios adecuados de diseño como es la longitud y diámetros con el fin de optimizar la transferencia de calor en todo el condensador Moscoso (2014).

Otro tipo de condensador aplicado en estos equipos es el de coraza y tubos, que aumenta la eficiencia que el anterior, pero es más costoso al momento de construir, además presenta la ventaja de seguridad si se llegara a tapar, ya sea por materia vegetal que fue arrastrada junto con el vapor o por condensación de sustancias solidas como; metanol, alcanfor o borneol, para ello cuentan con salidas alternativas que puede reducir la sobreacumulación en alambique Granados & Wilmer (2007). Ver imagen 6.

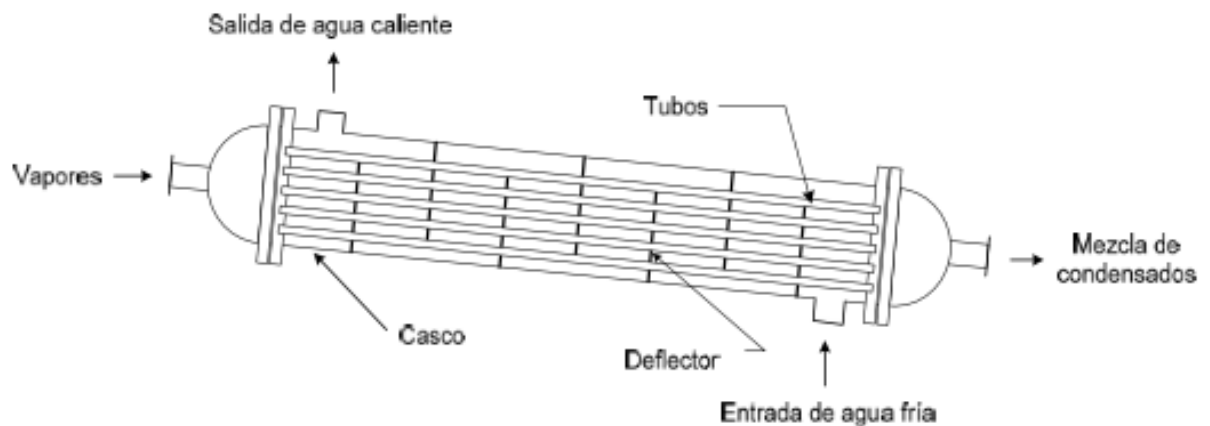


Figura 6. Condensador
Fuente: Granados & Wilmer (2007).
Elaboración: El autor.

1.4.4.2.4. Separador de aceites esenciales.

También es conocido como vaso florentino, es un instrumento utilizado para realizar la separación de los aceites que proceden de la destilación. Los aceites esenciales, pueden presentar la característica de ser unos más densos que otros, a los de mayor densidad se los conoce como “aceites esenciales pesados”, que tienen la densidad muy cercana a la del agua, lo que dificulta su separación que se depositan en la parte inferior del recipiente junto con el agua. Mientras que los aceites de menor densidad se los conoce como “aceites esenciales ligeros” estos presentan una densidad mucho menor que la del agua y se los puede separar con mayor facilidad Granados & Wilmer (2007).

Para realizar la separación de aceites se hace a una temperatura mayor que la del ambiente, debido a que la densidad de los aceites disminuye lo que hace que los aceites puedan ser separados con mayor facilidad. El diseño del equipo se puede realizar para extraer el aceite por la parte inferior y también por la parte superior, por la parte inferior primero se evacua el agua que fue condensado del vapor, luego se extrae el aceite, en cambio por la parte superior se deja acumular de agua, logrando desplazar el aceite a la superficie donde pueda ser recolectado Granados & Wilmer (2007). Ver figura 7.

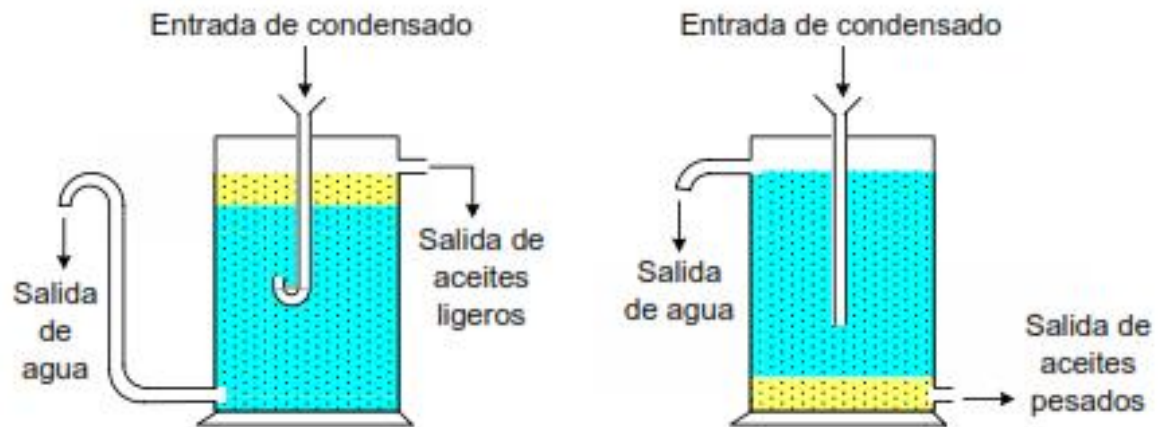


Figura 7. Separador de aceites
Fuente: Granados & Wilmer (2007).
Elaboración: El autor.

1.4.4.3. Distribución de la planta.

De acuerdo a la proyección de una planta de extracción de aceites esenciales, se debe realizar de una forma adecuada, para que no haya inconformidad al momento de producir. La distribución de las áreas se debe ejecutar de acuerdo al tamaño de producción, número de equipos, y personas que intervienen en la producción. La planta debe ser diseñada donde cuente con recursos hídricos, eléctricos, temperatura adecuada, sea de fácil acceso y tenga el espacio suficiente para distribuir cada una de las áreas Vera (2006).

1.4.4.4. Especificaciones Técnicas.

Para elaborar un manual de operación se debe tener en cuenta ciertas restricciones de operación, que se pueda identificar bien los pasos en el proceso, debe tener claridad y legibles, los diagramas del proceso deben diferenciarse fácilmente. Los manuales debe ser elaborados para el procedimiento de operación, donde se determinara las condiciones para la puesta en marcha de la planta Cerpa (2007).

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

2. METODOLOGIA

La metodología que fue aplicada se presenta de forma esquematizada en la figura 8.

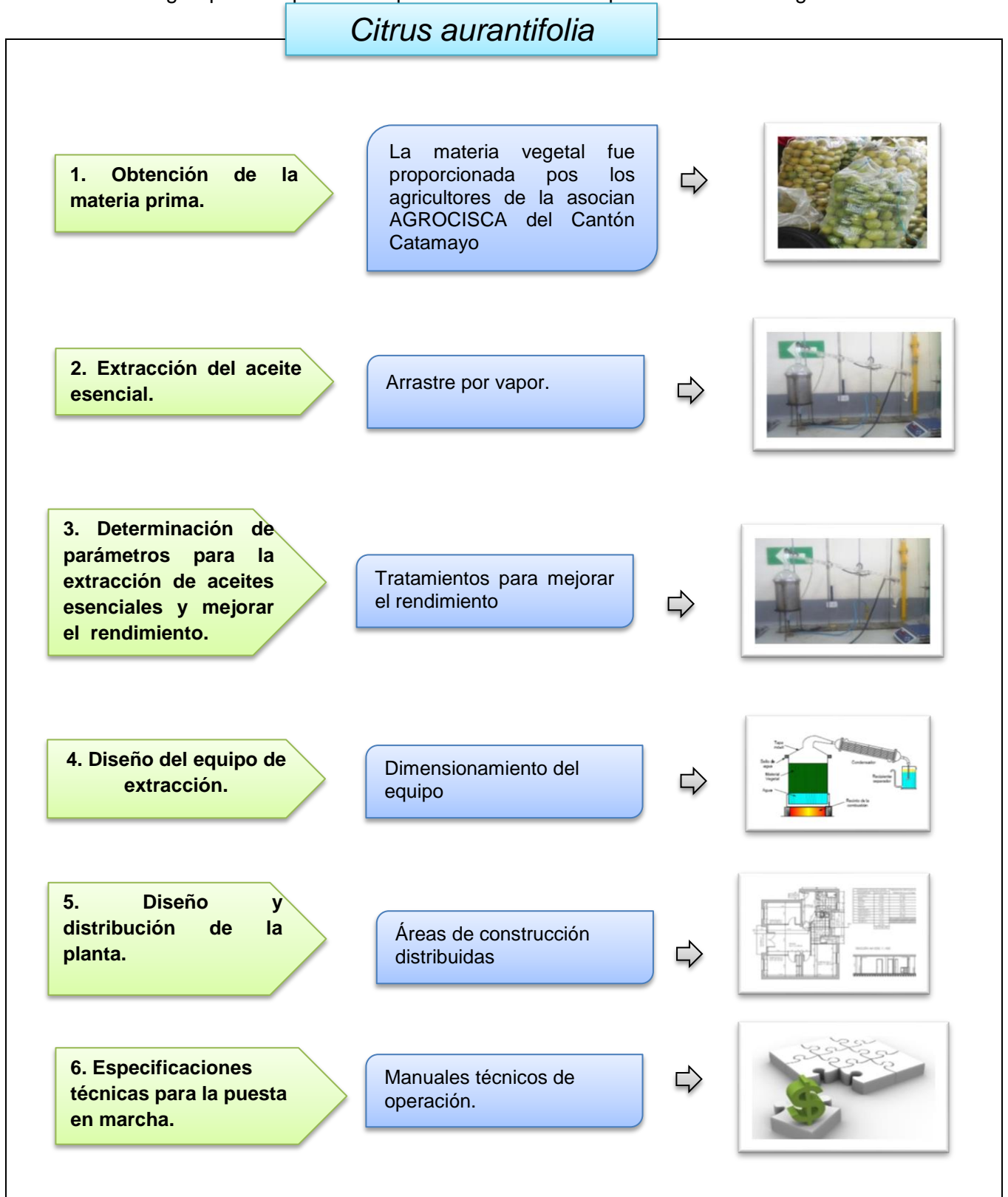


Figura 8. Esquema del desarrollo de la metodología.

Fuente: El autor.

Elaboración: El Autor.

2.1. Obtención de la materia prima.

La materia prima fue proporcionada por los propietarios de las fincas pertenecientes a la Asociación de Productores Agropecuaria Reina del Cisne del Cantón Catamayo (AGROCISCA), el día jueves 30 de marzo de 2017, la misma que fue transportada hacia los laboratorios de Ingeniería de Procesos de la Universidad Técnica Particular de Loja para ser almacenada y posterior utilización en la destilación.

2.2. Extracción del aceite esencial.

Para la obtención del aceite esencial de limón sutil se realizaron tres destilaciones con diferentes muestras de materia vegetal en las cantidades de 4 kg, 8 kg y 12 kg. Las mismas que fueron extraídas en un destilador que funciona mediante arrastre de vapor como se observa en la figura 9.

Los pasos que se debe aplicar para realizar la destilación se describe a continuación:

- Preparación de la materia vegetal.
- Colocar la materia vegetal dentro del tanque de extracción.
- Introducir agua en el fondo del tanque de extracción.
- Tapar el tanque de extracción.
- Acoplar el florentino.
- Abrir la llave del gas industrial y encender el quemador.
- Destilar por un tiempo determinado de 180 min.
- Separar el aceite esencial del agua en el florentino.
- Medir el volumen de aceite esencial obtenido en una probeta graduada.

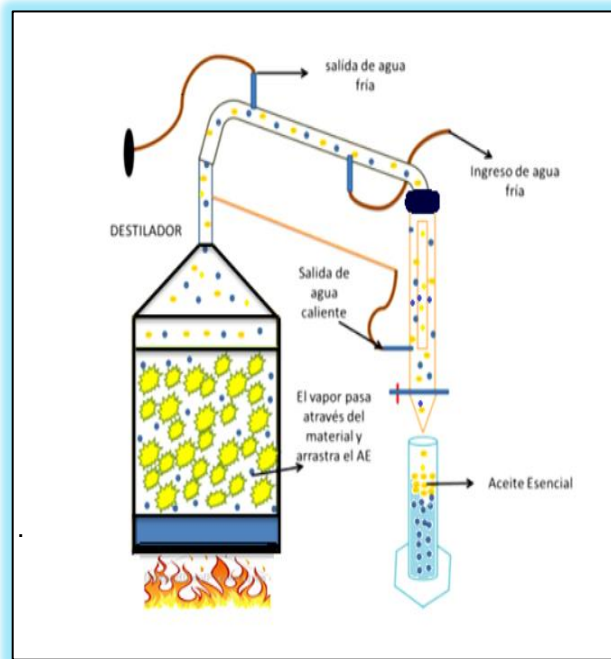


Figura 9: Equipo de extracción.
Fuente: Andrade (2015).
Elaboración: El autor.

2.3. Determinación de parámetros para la extracción de aceites esenciales y mejorar el rendimiento.

Se consideró algunos parámetros dentro de la obtención del aceite esencial por el método de arrastre por vapor, los mismos que sirvieron para mejorar el rendimiento del aceite esencial.

2.3.1. Parámetros de extracción.

Dentro de los parámetros de extracción se consideraron los siguientes.

- Rendimiento acumulado.
- Presión.
- Flujo de corriente de agua de refrigeración.
- Flujo de corriente de vapor.
- Temperatura de corriente de condensado.
- Flujo volumétrico de agua de condensado.

2.3.2. Cálculo del rendimiento del aceite esencial.

El aceite esencial que se obtiene mediante la destilación es previamente separado del agua en un florentino y es recogido en una probeta para medir el volumen extraído, el volumen obtenido se transforma a unidades de masa (g) y se procede a calcular el rendimiento aplicando la ecuación 1.

$$R = \frac{m}{p} \times 100 \% \quad \text{Ecu.1}$$

Dónde:

R: Rendimiento expresado en porcentaje.

m : Cantidad de aceite obtenido. (g)

p : Cantidad de la materia vegetal. (g)

2.3.3. Envasado y almacenamiento del aceite esencial.

El aceite esencial que se obtuvo de la destilación, se colocó en frascos ámbar cerrados herméticamente de la misma forma fueron etiquetados siguiendo la codificación: empezando por las iniciales de la especie, fecha de destilación y el volumen total obtenido de la destilación.

Posterior a esto los aceites esenciales se pusieron a refrigeración a una temperatura que oscila entre los -4°C con el fin de evitar la degeneración por parte de la luz, ya que sus componentes son muy volátiles (Andrade, 2015).

2.4. Diseño de los equipos de extracción.

Para la extraer de los aceites de limón sutil se diseñó el equipo con las partes correspondientes como son: tanque de extracción y condensador, para ello se realizaron balances de materia de materia y de energía. Además se calculó el espesor de aislante térmico en el tanque de extracción para evitar pérdidas de calor.

2.4.1. Volumen del Tanque de extracción.

El volumen del tanque fue diseñado de acuerdo a la capacidad de materia vegetal que se necesita para obtener 1 kg de aceite esencial, para ello se tomó en cuenta el volumen libre dentro del tanque, el volumen de agua y el volumen de materia vegetal, la secuencia basada en la metodología se presenta en la Figura 10.

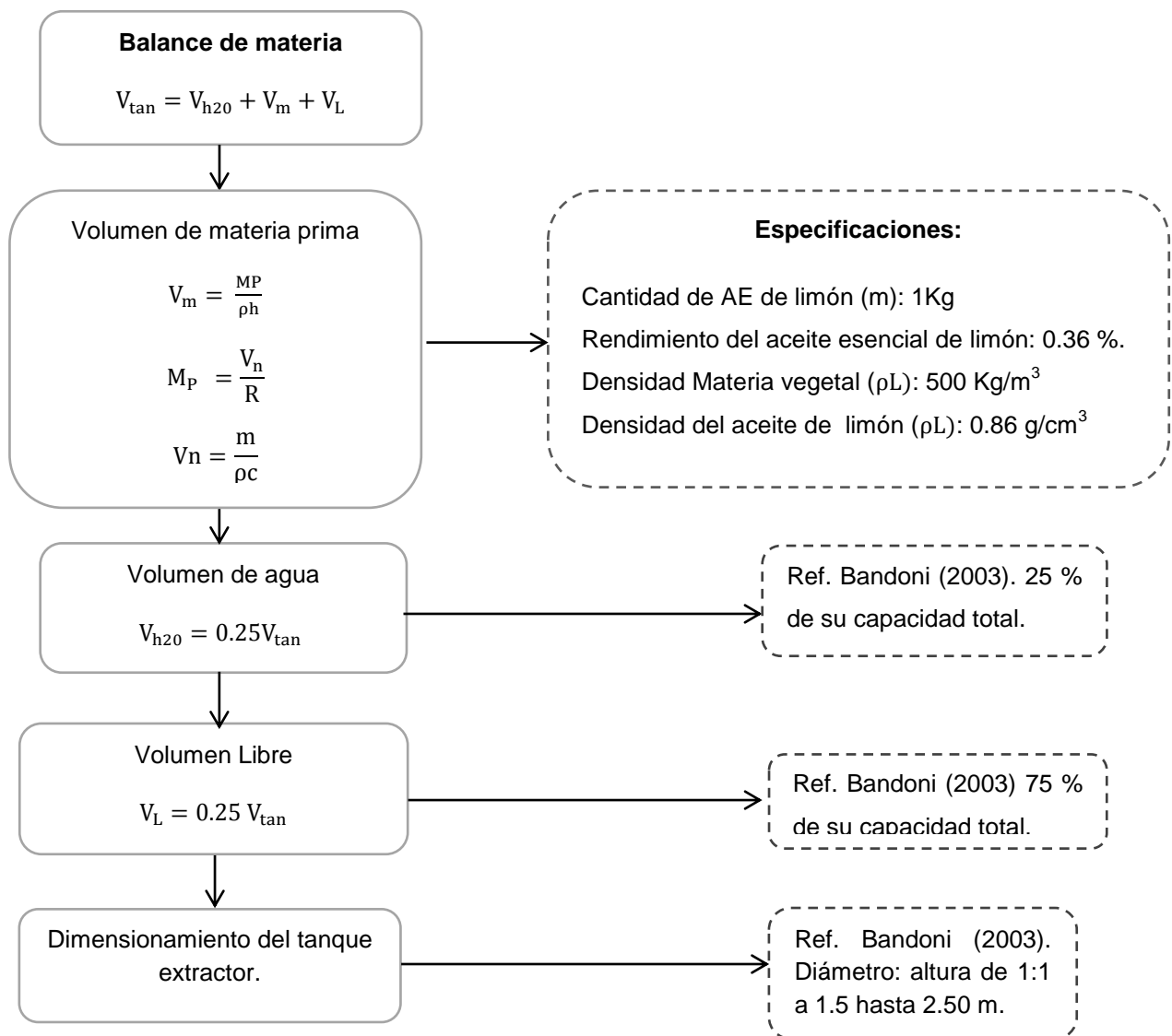


Figura10. Metodología para calcular el volumen del tanque de extracción.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

2.4.2. Diseño térmico.

Dentro del diseño térmico del tanque extractor se realizó un balance de energía con la finalidad de determinar el calor total del sistema, el cual nos permita establecer la cantidad gas (GLP) consumido durante la extracción por el calentador a fuego directo, la secuencia de cálculo se presenta en la figura 11.

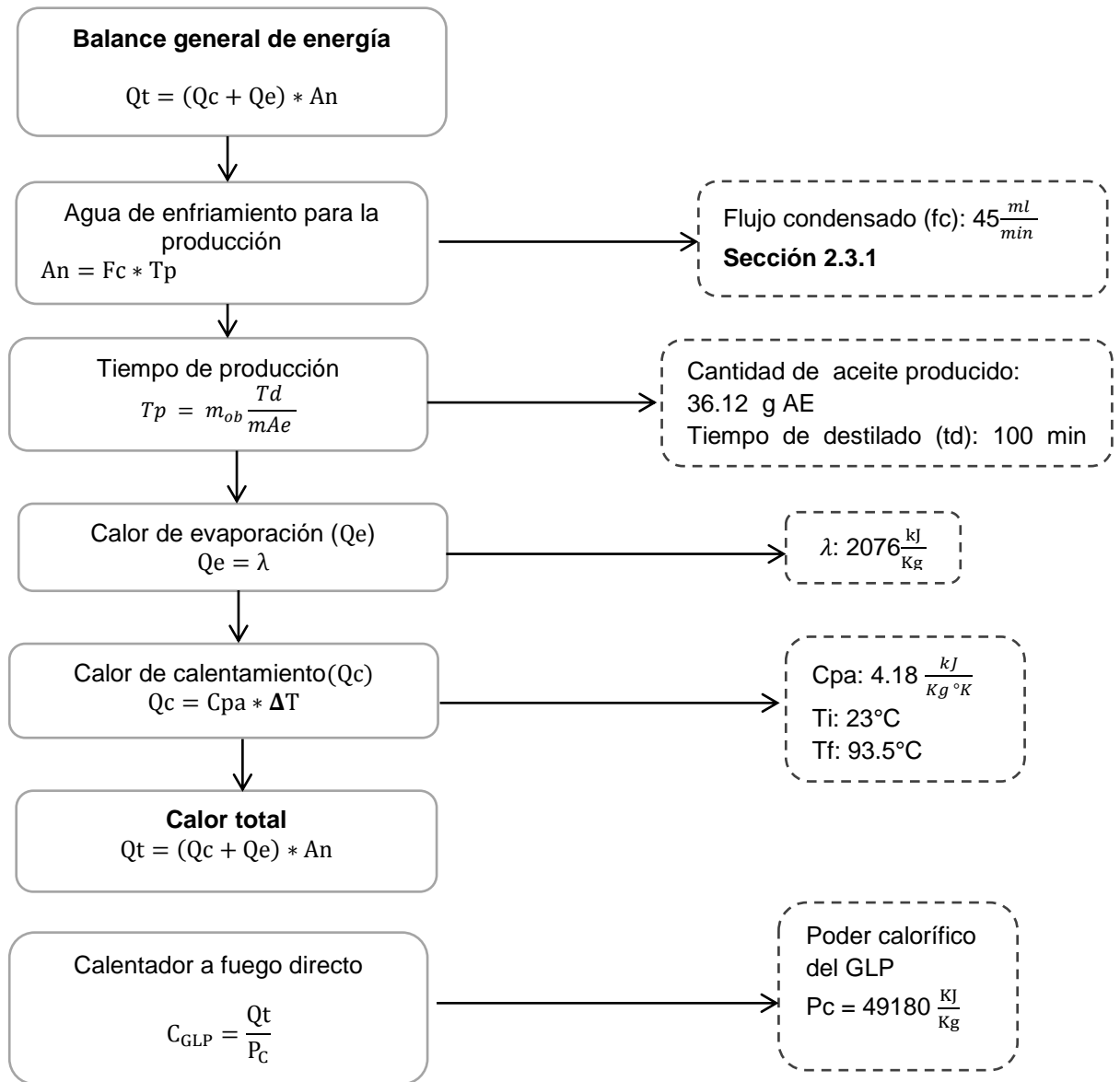


Figura 11. Metodología para el diseño térmico.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor

2.4.3. Espesor del aislamiento térmico.

El cálculo de espesor de aislamiento térmico, se consideró una red de resistencias térmicas correspondientes a las capas, a la convección interna, al acero inoxidable, al aire y a la convección externa, la secuencia de cálculo se presenta en la figura 12.

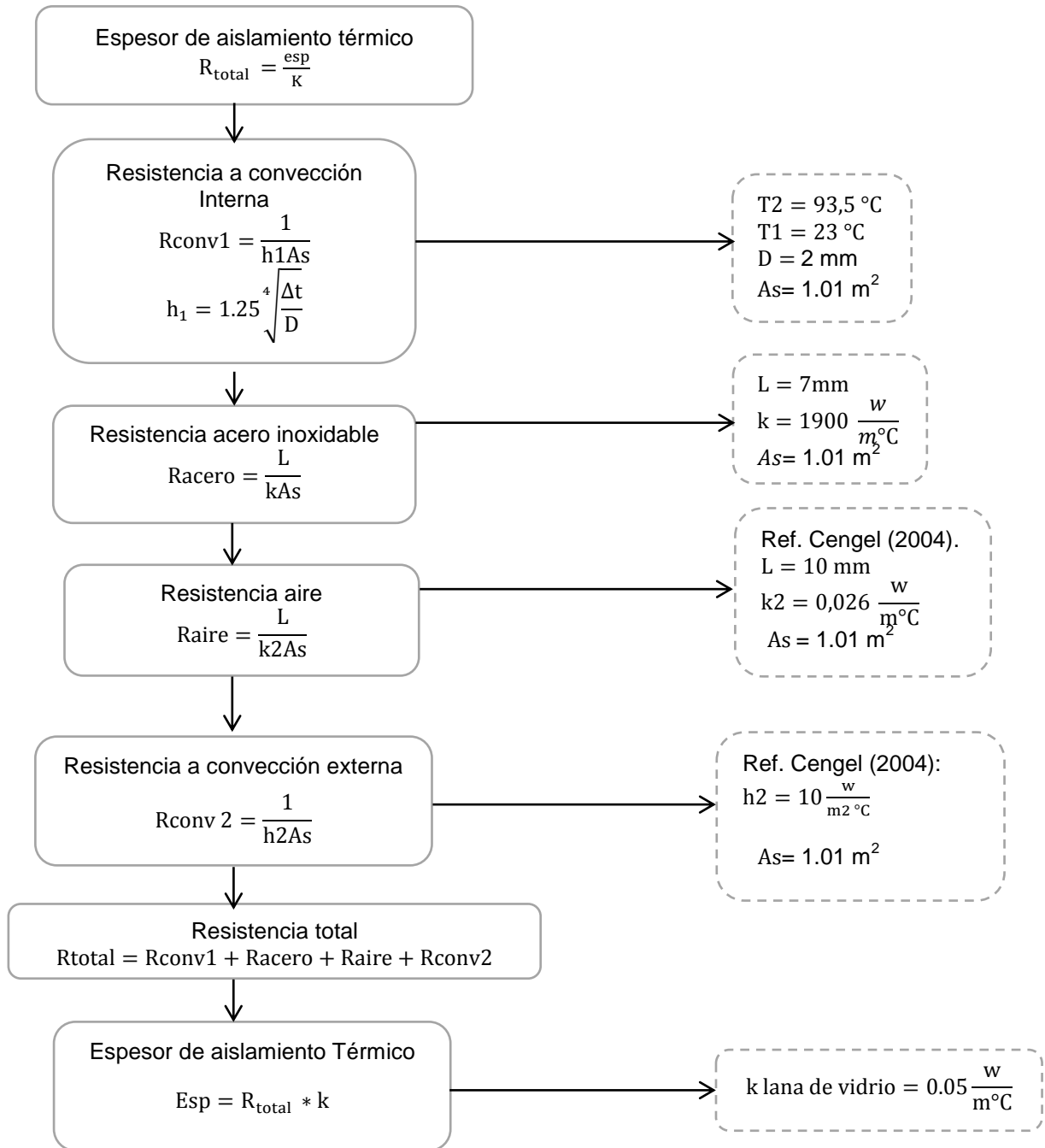


Figura12: Metodología para calcular espesor de aislamiento térmico.

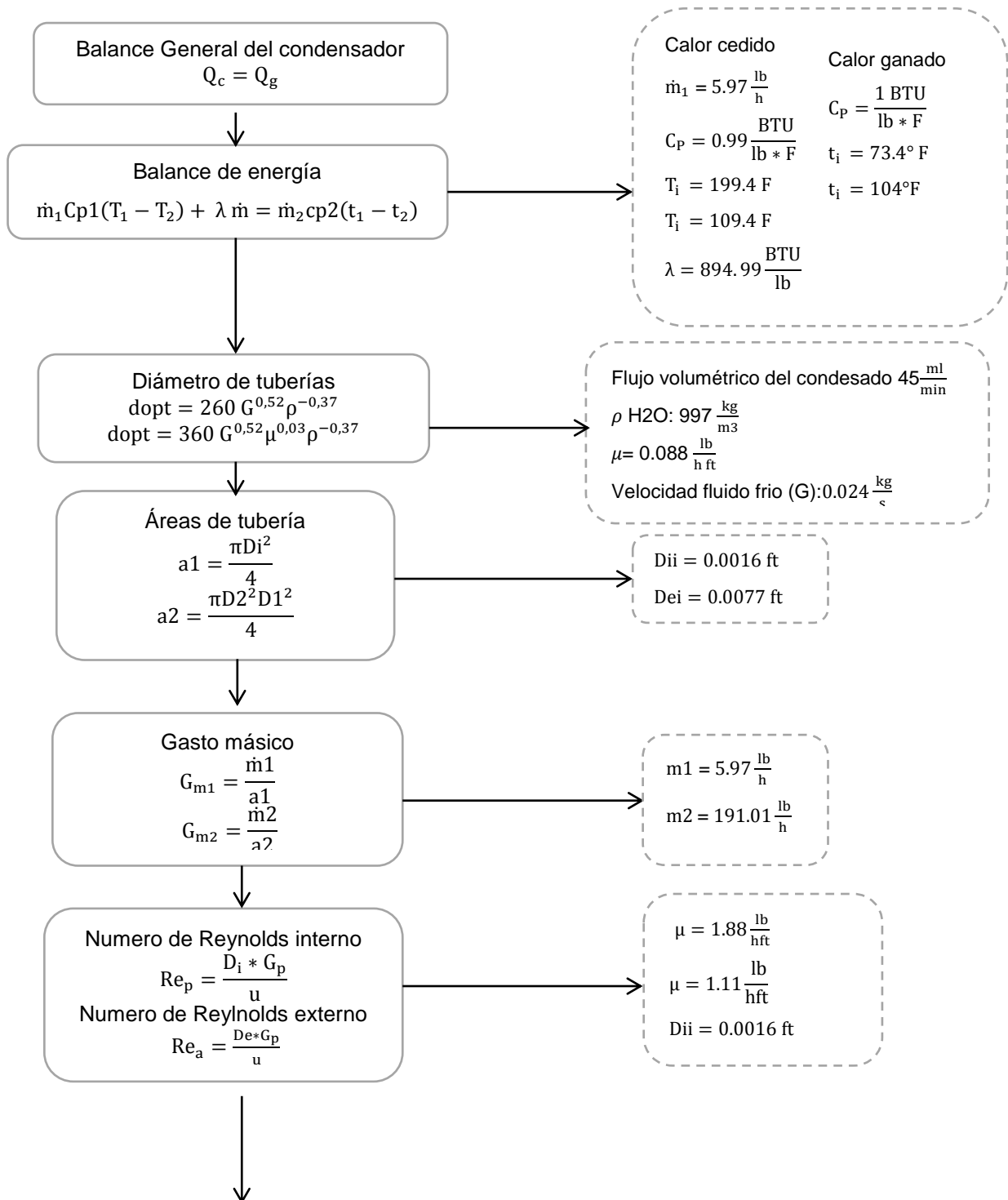
Fuente: El autor.

Elaboración: El autor

2.4.4. Condensador.

2.4.4.1. Diseño térmico.

Para el diseño térmico del condensador se realizó un balance de energía con la finalidad condensar y enfriar los vapores de agua-aceite provenientes del tanque extractor hasta una temperatura de enfriamiento determinada, la secuencia de cálculo basada en la metodología se presenta en la figura 13.



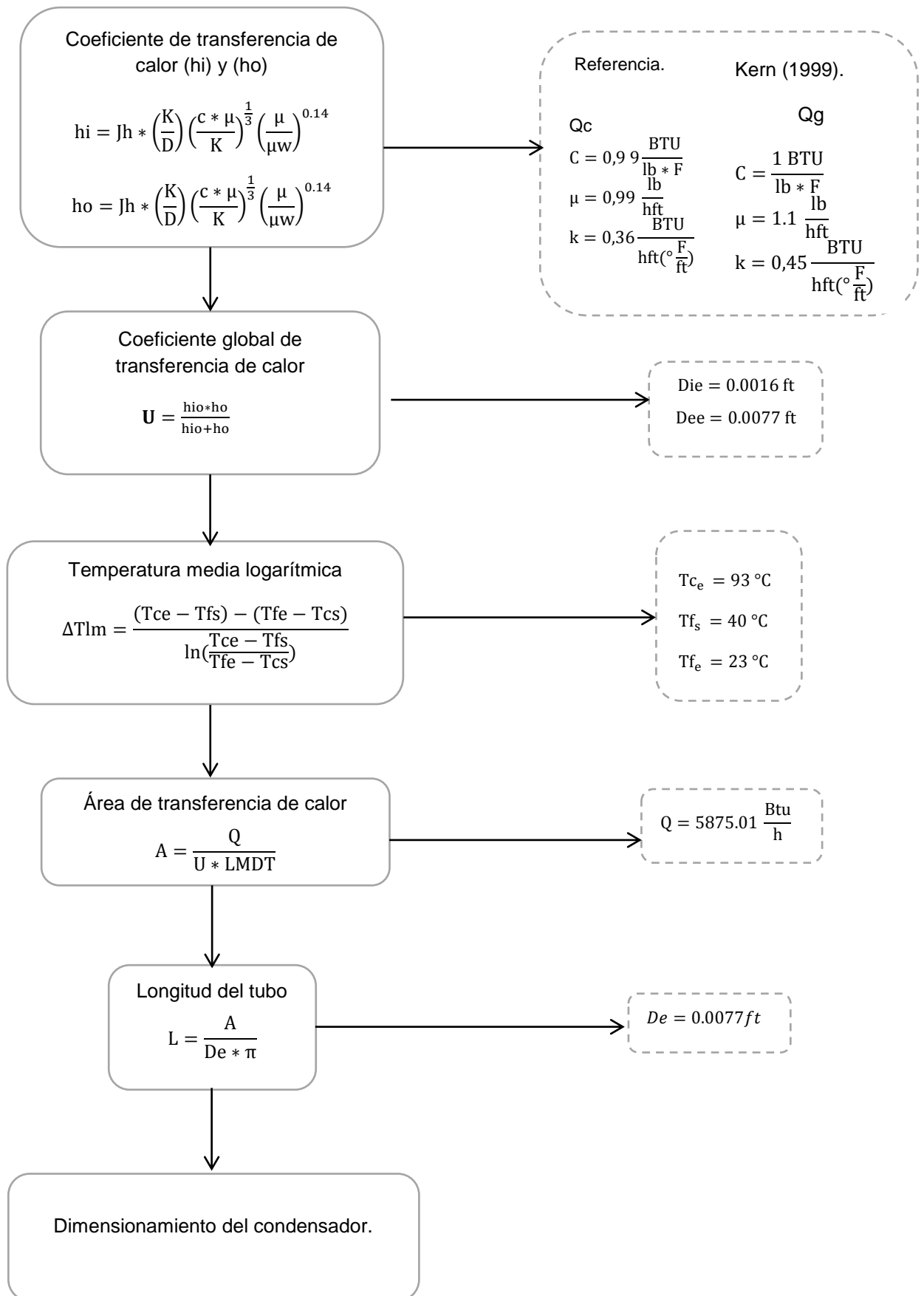


Figura13. Metodología para el diseño del condensador
Fuente: El autor.
Elaboración: El autor

2.4.5. Instalación y selección de instrumentos auxiliares.

Para la selección de los equipos auxiliares se consideraron:

- Selección de tuberías
- Selección de accesorios de llave de paso.

La tubería que se utilizó para el transporte de vapor, que va desde la salida del cono del tanque extractor hasta la entrada del tanque del condensador, la tubería que se seleccionó fue de acero inoxidable 304 Moscoso (2014).

2.4.6. Separador de aceites esenciales.

Se eligió un separador de los que se encuentran comercialmente.

2.5. Zonificación y distribución de la planta.

Para la zonificación de la planta se tomaron en cuenta los espacios necesarios donde se van a realizar las actividades de obtención y almacenamiento del aceite esencial, también se consideraron áreas suplementarias para el correcto funcionamiento de la planta Moscoso (2014).

Para la distribución de la planta se consideró la relación que existe entre las diferentes zonas, de tal manera que el flujo de la materia prima o de los productos no entorpezca el proceso de producción, y que los tiempos de transporte sean los más cortos posibles. Criterios de no existencia de contaminación cruzada y espacios ocupado por los equipos también fueron considerados. Para la distribución de la planta se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

- Se determinó la localización de la planta.
- Se determinó la producción diaria de aceite esencial.
- Se estudió el proceso productivo desde el ingreso de la materia prima hasta la obtención del producto final.
- Se dimensionó los equipos de destilación, según los requerimientos del proceso.
- Se distribuyó el espacio físico de la planta.

El diseño y la acotación de la planta se elaboraron con el Software AutoCAD 2016

2.6. Especificaciones técnicas para la puesta en marcha.

Para la puesta en marcha de la planta de extracción se diseñó una guía que cumpla con los siguientes aspectos.

- Manuales de operación del equipo
- Manuales de procedimiento.

Los manuales fueron elaborados para el procedimiento de operación de extracción del aceite esencial de copal, donde se determinó las condiciones técnicas para la puesta en marcha de la planta Torres (2013).

El diseño y la acotación de la planta se elaboraron con el Software AutoCAD 2016

CAPÍTULO III
RESULTADOS Y ANÁLISIS

3 RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1. Obtención de la materia prima.

La materia prima fue proporcionada por los propietarios de las fincas pertenecientes a la Asociación de Productores Agropecuaria Reina del Cisne del Cantón Catamayo (AGROCISCA), la cantidad obtenida fue de 30 kg que fue utilizada en destilaciones previas al diseño. El lugar donde se extrajo la materia vegetal se puede observar en la figura 14.

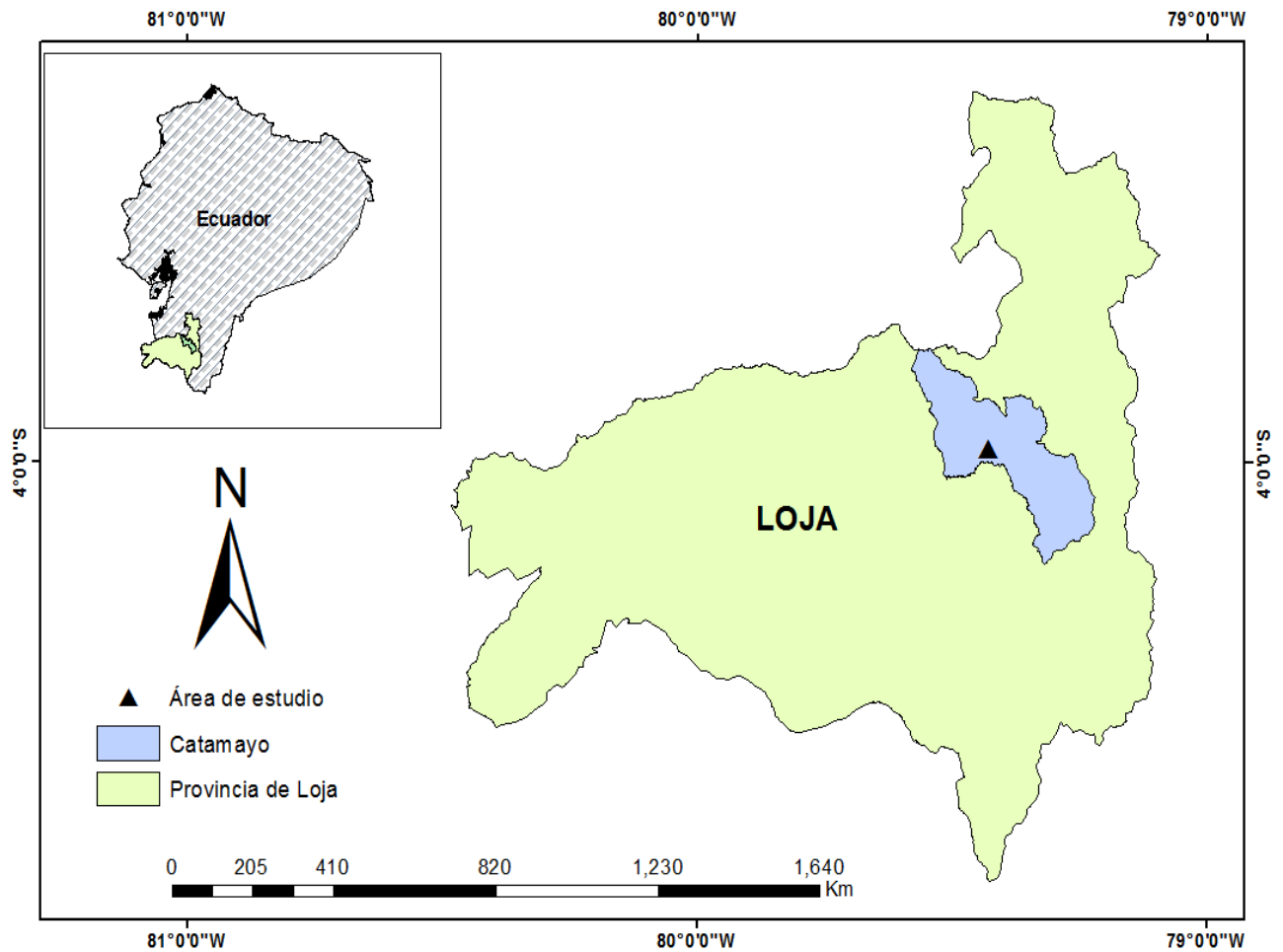


Figura 14. Lugar de recolección de la materia prima

Fuente: El autor

Elaboración: El autor.

3.2. Extracción del aceite esencial.

El resultado de la extracción de aceite esencial por el método por arrastre por vapor de las cantidades de materia vegetal de 4 kg, 8 kg y 12 kg que sirvieron para graficar las siguientes curvas que se pueden observar en las figuras 15, 16, 17.

En la figura 15 se observa que en 60 minutos de extracción de aceite esencial de limón sutil a partir de la cantidad de 4 kg de materia vegetal es de 13 mL, posterior a este tiempo el volumen aumenta 0.5 mL.

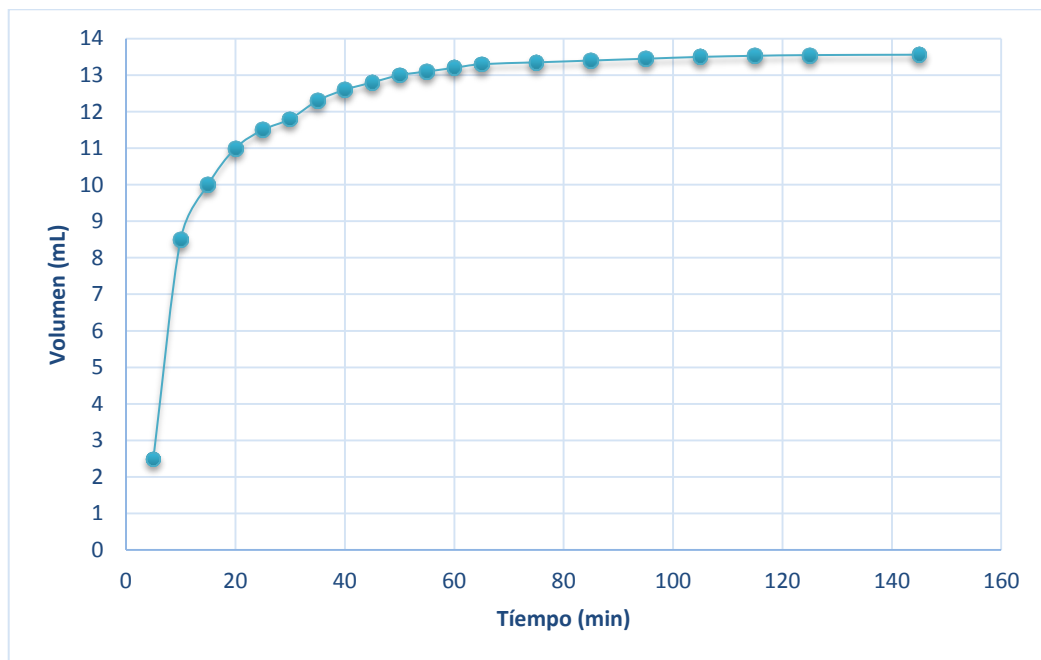


Figura 15. Curva de la cantidad de 4 Kg.
Fuente: El autor.
Elaboración: El autor.

En la figura 16 se puede observar que en el tiempo de 100 minutos de extracción del aceite esencial de limón sutil, a partir de la cantidad de 8 Kg de materia vegetal, alcanza un volumen 44 mL, posterior a este tiempo el volumen aumenta 0.5 mL, por lo que el tiempo de destilación de 230 minutos es innecesario.

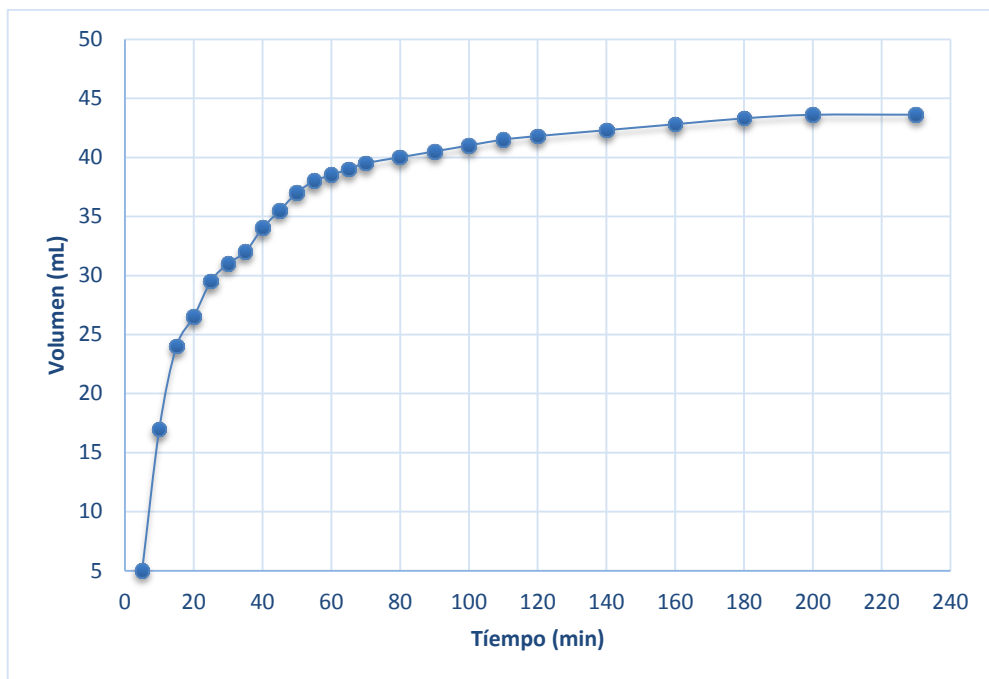


Figura 16. Curva de destilación de la cantidad de 8 Kg.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

En la figura 17 se observa que en el tiempo de destilación de 100 minutos el aceite esencial de limón sutil extraído de la cantidad de 12 Kg de materia vegetal, es de 64 mL, posterior a este tiempo el volumen aumenta 0.5 mL, lo que provoca un gasto energético innecesario.

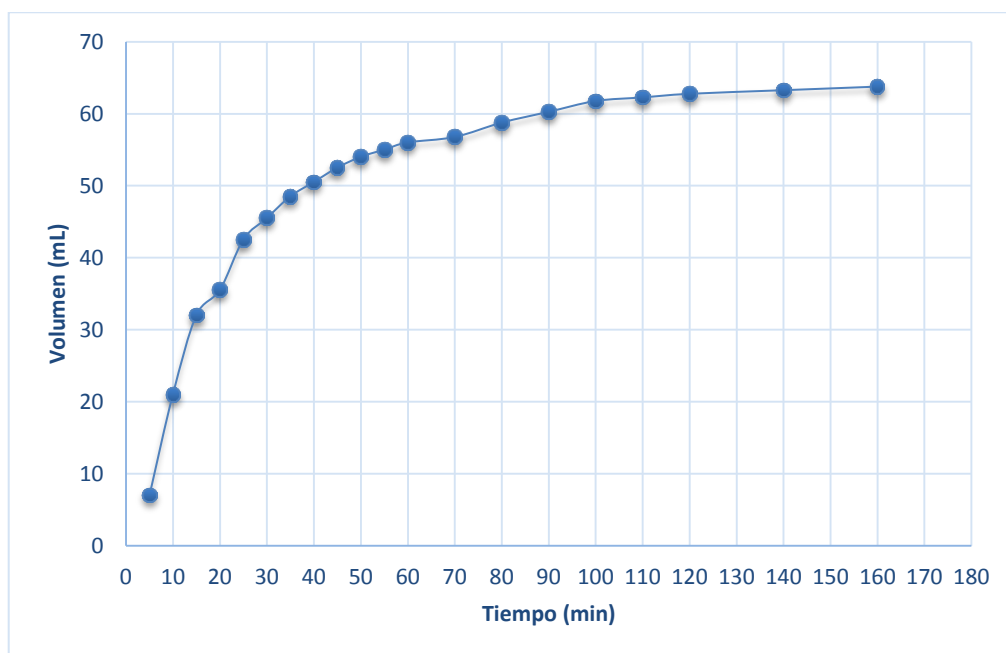


Figura 17. Curva de destilación de la cantidad de 12 Kg.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

3.3. Determinación de parámetros para extracción de aceites esenciales y mejorar el rendimiento.

3.3.1. Parámetros de extracción.

En la figura 18 se puede observar que el rendimiento acumulado de la cantidad de 12 Kg, el volumen alcanza el 95% en un tiempo de 100 minutos, posterior a esto el gasto energético es innecesario.

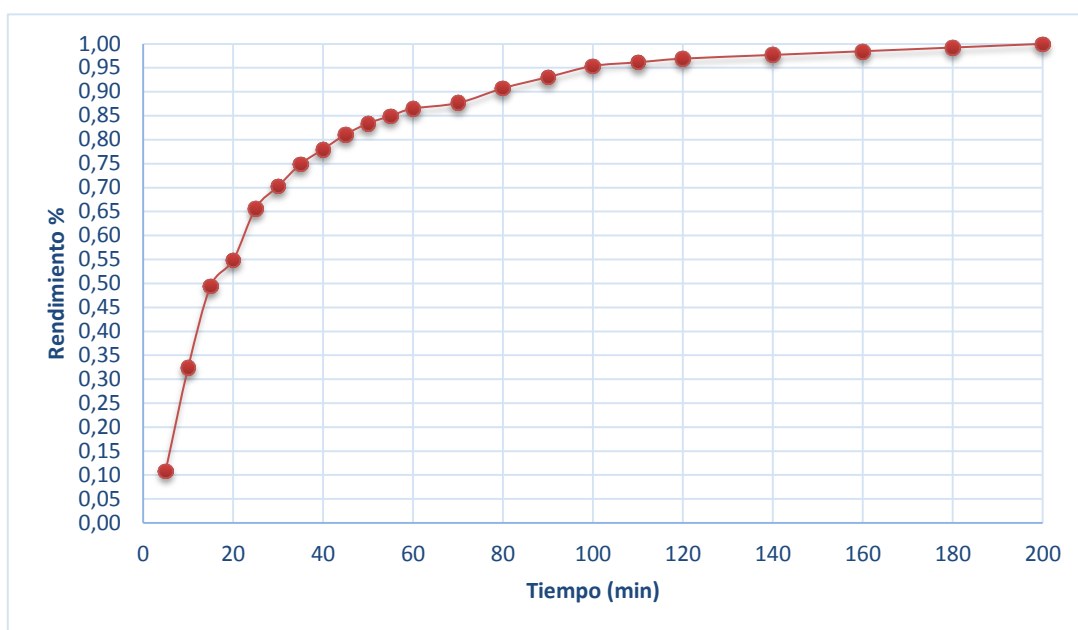


Figura 18. Curva de rendimiento acumulado.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Acercas de los parámetros técnicos propuestos para la extracción de aceite esencial de limón sutil se presentan en la tabla 7.

Tabla 7. Parámetros técnicos de extracción.

Datos	Valores	Unidades
Presión Atmosférica	701	Hmm
Temperatura dentro del taque	93.5	°C
Flujo de agua de condensado	45	mL/min
Flujo de agua de enfriamiento	4477	mL/min
Temperatura de agua de enfriamiento	23	°C
Temperatura de agua-aceite de destilado	43	°C
Tiempo de destilación	100	Min

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

3.3.2. Calculo del rendimiento del aceite esencial.

El resultado de rendimiento de aceite esencial de limón sutil fue de 0.36 %. Los análisis se pueden observar en el **Anexo 1**.

3.3.3 Envasado y almacenamiento del aceite esencial.

El aceite esencial obtenido de las destilaciones, se colocó en frascos ámbar cerrados herméticamente y debidamente codificado como se puede observar en la figura 19.



Figura 19. Almacenado y etiquetado del aceite de limón.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

3.4. Diseño de Los equipos de extracción.

Para el diseño de los equipos de extracción se diseñó: un tanque extractor, un condensador tipo serpentín, calentador a fuego directo y los equipos auxiliares acoplados al destilador los mismos que están identificados con letras como se puede observar en la figura 20.

Identificación de las partes del equipo de extracción.

- A) sección del calentador a fuego directo.
- B) sección del tanque extractor.
- C,E) sección de detalle de llave.
- D) corte del tubo.
- F) condensador tipo serpentín.
- G) soporte para condensador.

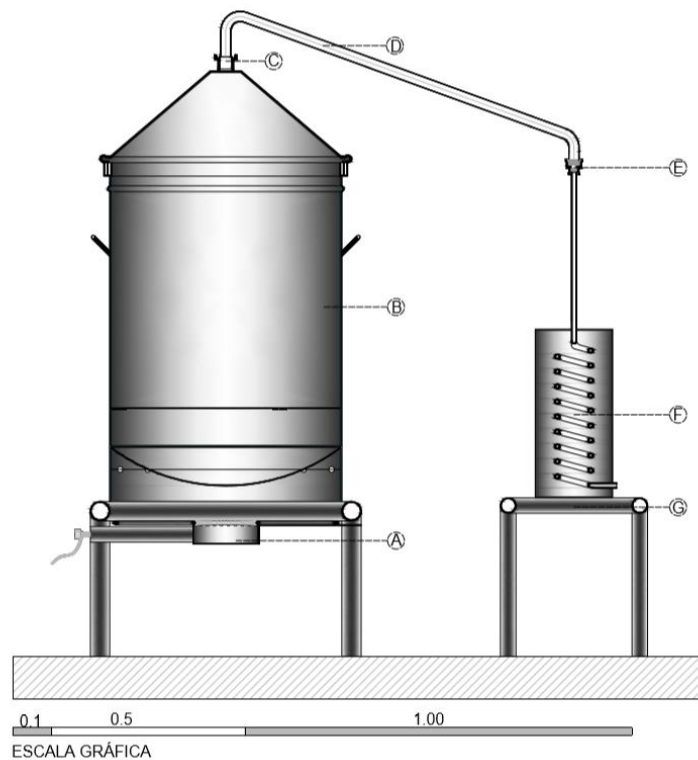


Figura 20. Escala gráfica del equipo de extracción.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Cantidad de materia prima (MP) necesaria para la producción.

Los resultados acerca de la cantidad de materia prima necesaria para extraer 1 Kg de aceite esencial de limón sutil fue de 276.85 kg, esto debido a que el rendimiento no es bajo, el cálculo que se realizó fue en base a la densidad que presenta el aceite del fruto que fue 0.86 g/cm^3 , los resultados se presentan en el anexo 3.

Tiempo necesario para la producción de 1kg de aceite esencial.

El resultado del tiempo que se necesita para extraer 1 kg de aceite esencial de limón sutil fue de 2769 min tomando en cuenta los 100 minutos que se necesita por cada destilación y la cantidad de aceite esencial que se obtuvo de la destilación de la cantidad de 10 kg que fue la cantidad de 36.12 g. Para los análisis no se tomó en cuenta los tiempos de carga y descarga del tanque de extracción, debido a que no existen gastos energéticos. Los cálculos realizados se pueden observar en el anexo 4.

Agua en el tanque de extracción.

El resultado del agua que se necesita para extraer 1 kg de aceite esencial fue 124.58 L, este resultado fue calculado en base al flujo volumétrico de la corriente del destilado que es mezcla agua y aceite que tuvo un valor de 45 mL/min. El valor fue tomado en unidades de masa (kg), debido a que el agua líquida no varía la densidad.

Los resultados se pueden observar en el anexo 2.

3.4.1. Volumen del tanque de extracción.

El resultado del volumen del tanque extractor fue de 2 veces la cantidad de la materia vegetal $2 V_m$ para ello se realizó cálculos de la cantidad necesaria para la extracción de 1 kg de aceite esencial de limón sutil, que presenta la cantidad de 276.85 kg (frutos de limón), equivalente a un volumen de 1107.4 L de capacidad. Los cálculos se detallan en el anexo 5.

3.4.2. Diseño térmico.

Para el calor total del sistema se obtuvieron valores de energía necesarios para cada fase de producción, el calor de calentamiento presento un valor de 294.69 KJ/kg, el calor de vaporización de 2076 KJ/kg, dándonos un calor total (QT) de 258922.7 KJ, hay que considerar que dicho valor presentando también se tomó en cuenta la cantidad de agua que se va a necesitar durante el proceso que fue de 124.58 kg, los cálculos correspondientes se muestran en el anexo 6.

3.4.3. Espesor del aislamiento térmico.

El espesor de aislamiento para el tanque extractor fue de 3 cm de lana de vidrio, tomando en cuenta que el tanque de extracción tiene 0,2 cm de espesor de acero inoxidable y una longitud de tanque de 0,7 m ver figura 21, los cálculos se detallan en el anexo 8.

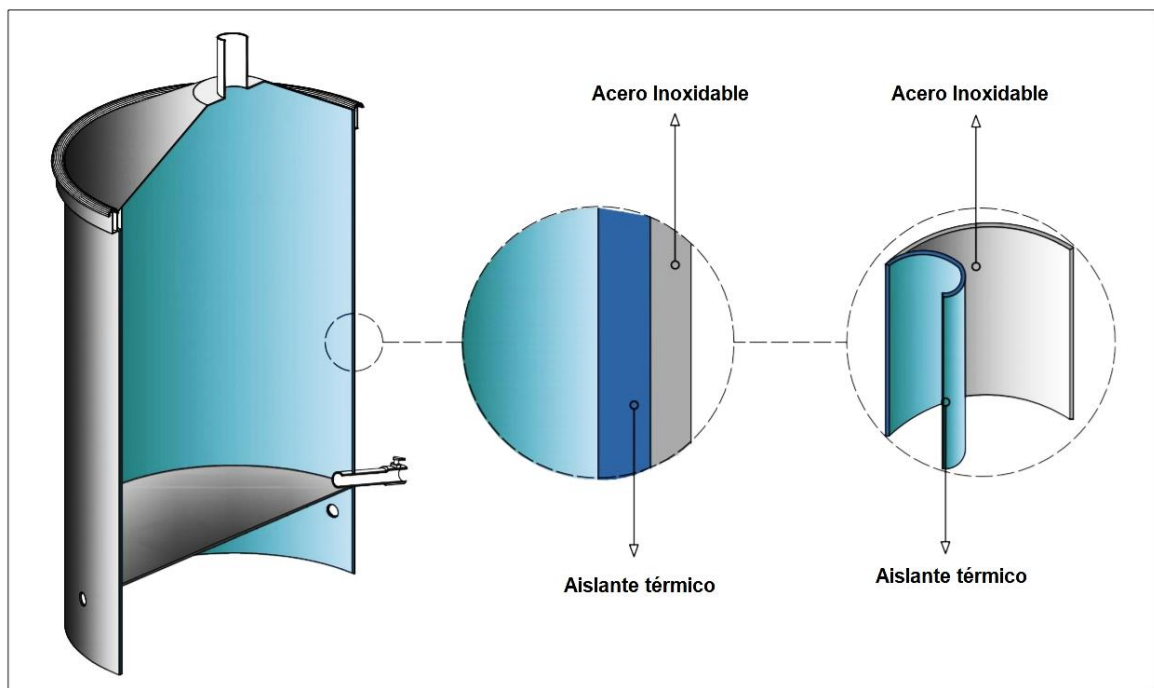


Figura 21. Espesor del aislante térmico.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor

Los cálculos realizados para el volumen del tanque dio como resultado 1107.4 L de capacidad, con una cantidad necesaria de materia prima de 276.5 kg, Sin embargo, los productores de la asociación AGROCISCA del Cantón Catamayo no solamente va a utilizar este equipo para destilación de limón sutil sino que también será utilizado para la destilación de otras especies vegetales con distinta densidad, se propone un equipo de menor capacidad para que pueda ser maniobrable al campo por los miembros de la asociación.

Con lo antes expuesto y tomando en cuenta lo establecido por Bandoni (2003), que la relación diámetro: altura debe estar entre 1:1 a 1:1.5, proponemos un equipo con una capacidad de 100 L. de diámetro (ϕ) y altura (h) de 0.6 m y 0.7 m respectivamente.

El dimensionamiento se realizó en el programa AutoCAD 2016, Las dimensiones del equipo obtenido se muestra en la figura 22.

Ⓑ SECCIÓN DEL TANQUE DE EXTRACTOR

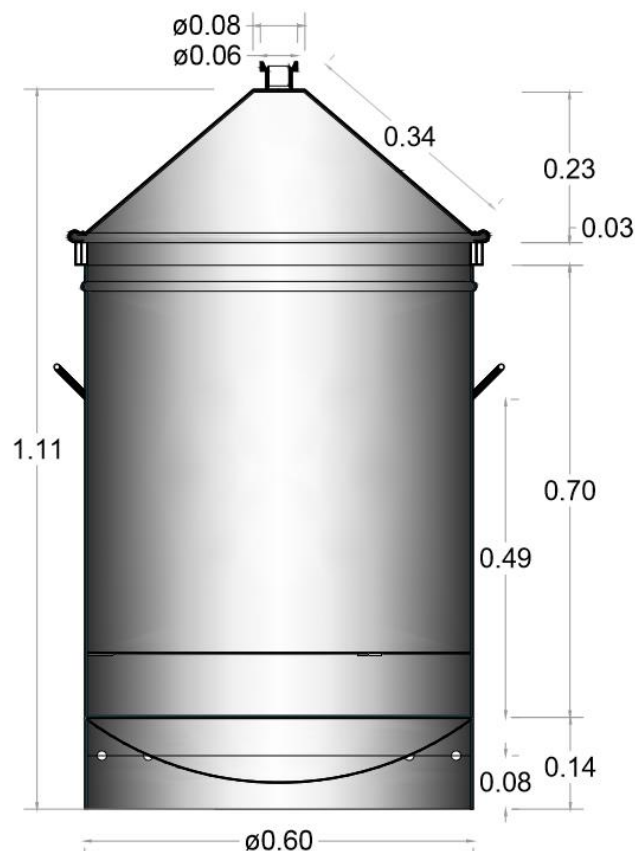


Figura 22. Dimensionamiento del tanque extractor.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

El diseño elaborado del tanque extractor fue diseñado para ser construido con un material de acero inoxidable 304 de 2 mm de espesor, además se observa que en los lados del tanque consta de un soporte a cada lado para dar movilidad al mismo, estos se encuentran a 0.63 m de la base del tanque. El destilador cuenta con un sello de agua de 0.03 m para evitar que se presenten fugas en la parte superior debido a que el vapor se encuentra a presión atmosférica.

Cantidad de combustible necesario para la producción de vapor.

Como combustible para la producción se seleccionó el gas licuado de petróleo (GLP) la cantidad que se utilizó fue de 5.26 kg debido a que el rendimiento del limón es bajo (0.36 %) comparado con otras especies vegetales. Se optó por un calentador a fuego directo, como se muestra en la figura 23 y los cacucos se pueden observar en el **anexo 8**.

3.4.4. Condensador.

Los balances de energía para el diseño del condensador se describen a continuación según los pasos se planteó en el algoritmo. Los cálculos se pueden observar en el **anexo 9**.

3.4.4.1. Diseño térmico.

El calor total en el intercambiador de calor dio como resultado un valor de 5875.01 BTU/h, partiendo de un balance de energía, los resultados de los diámetros tanto interno como externo para el dimensionamiento de los tubos del intercambiador de calor se presentan en la tabla 8.

Los datos utilizados en el diseño fueron tomados la mayoría de los libros de transferencia de calor (Kern, 1999) y de (Cengel, 2004), algunos de los datos fueron interpolados a las temperaturas planteadas en los parámetros, por lo que se tomó las unidades en el sistema inglés para el diseño del condensador.

Tabla 8. Diámetros de tuberías.

Tubo Externo		Tubo Interno	
	Ft		Ft
DI	0.02016	DI	0.0016
DE	0.02656	DE	0.00768

Fuente: El autor.
Elaboración: El autor.

Para el área y longitud de los tubos, se obtuvo valores de coeficientes de calor interno y externo con resultados de los resultados se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Parámetros para el dimensionamiento del intercambiador de calor.

Parámetros	Resultado	
Coeficiente global de transferencia de calor (U)	444.519	Btu/(h) (°F) (ft ²)
Área de transferencia de calor (A)	0.091	ft ²
Longitud de los tubos (L)	3.7	ft

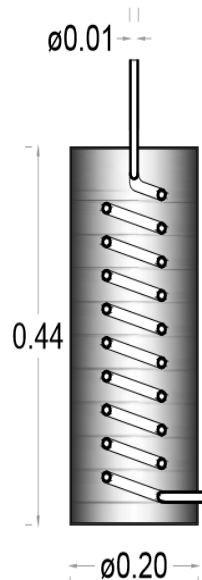
Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Para el dimensionamiento se consideró que los productores de la asociación AGROCISCA no destilaran solo aceite esencial de limón, sino varias especies vegetales que varían la densidad, lo que provoca que el flujo de condensado disminuya o aumente considerablemente por lo que se propone el diseño de un condensador de tipo serpentín que se le sobredimensiono 2 veces la longitud obtenida en los resultados que fue de 1.3 m el mismo que se trata de un tubo estandarizado de cedula 40 y de ¼ de pulgada con esto existe mayor enfriamiento de flujo de condensado. La nueva longitud será de 3.1 m que consta de 10 vueltas enrollables sumergido en un tanque de 12.5 L de capacidad con una relación diámetro de 0.20 y altura 0.44 m respectivamente, el mismo fue construido de acero inoxidable 304.

El dimensionamiento se realizó en el programa AutoCAD 2016, Las dimensiones del equipo obtenido se muestra en la figura 23.

Ⓕ CONDENSADOR
TIPO SERPENTÍN



Ⓖ SOPORTE PARA CONDENSADOR

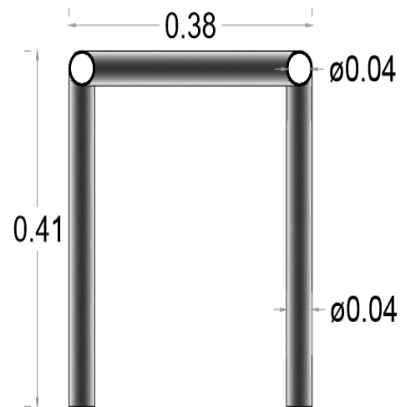


Figura 23. Dimensionamiento del condensador tipo serpentín y soporte del condensador.
Fuente: El autor.
Elaboración: El autor.

Dimensionamiento del calentador a fuego directo

Para el calentador a fuego directo se seleccionó el material de acero dulce de 2 mm de espesor, el mismo consta de un soporte de un diámetro y altura de 0.70 m y 0.40 m respectivamente, con 4 patas de 0.05 m de diámetro cada uno, además el calentador contiene una llave reguladora para el pase de gas (GLP), de diámetro de 0.04 m, que conecta a un quemador directo de 0.17 m de diámetro. Ver figura 23.

Ⓐ SECCIÓN DE HORNILLA

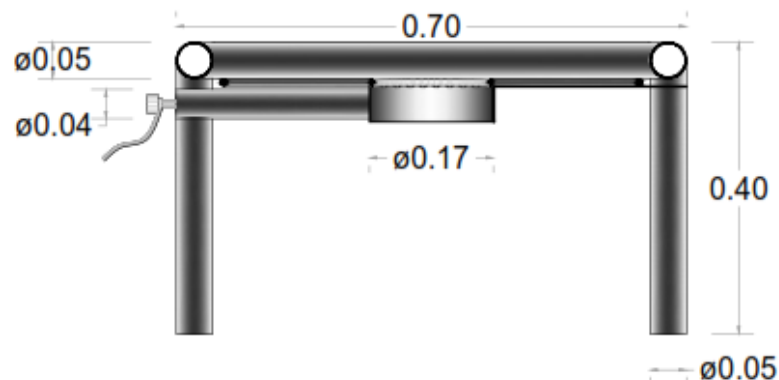


Figura 24. Dimensionamiento de la hornilla.
Fuente: El autor.
Elaboración: El autor.

3.4.5. Instalación y selección de instrumentos auxiliares.

En la figura 25, se puede observar la sección de llave de paso de tubo que se encuentra entre el tanque de destilación y el tubo que pasa al condensador conocido como tubo contenedor.

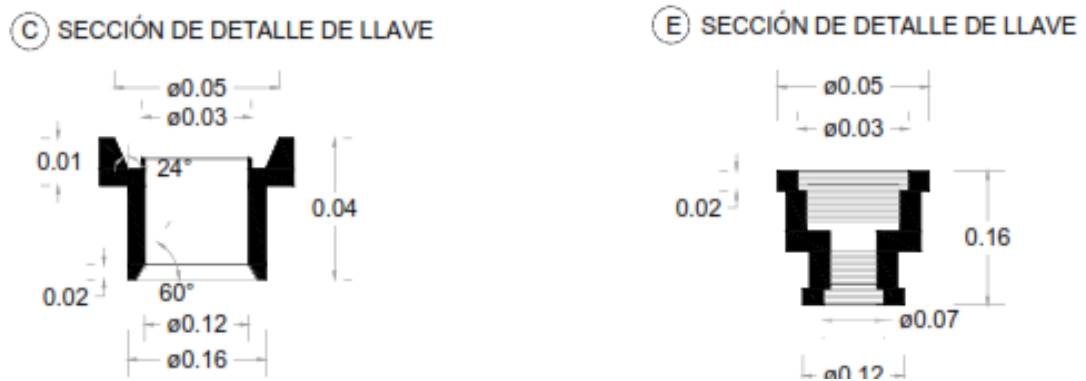


Figura 25. Sección de la llave de paso.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

En la figura 26 se puede observar la sección del tubo contenedor.

Tiene la función de transportar el flujo que sale del tanque de extracción y llevarlo hacia el condensador.

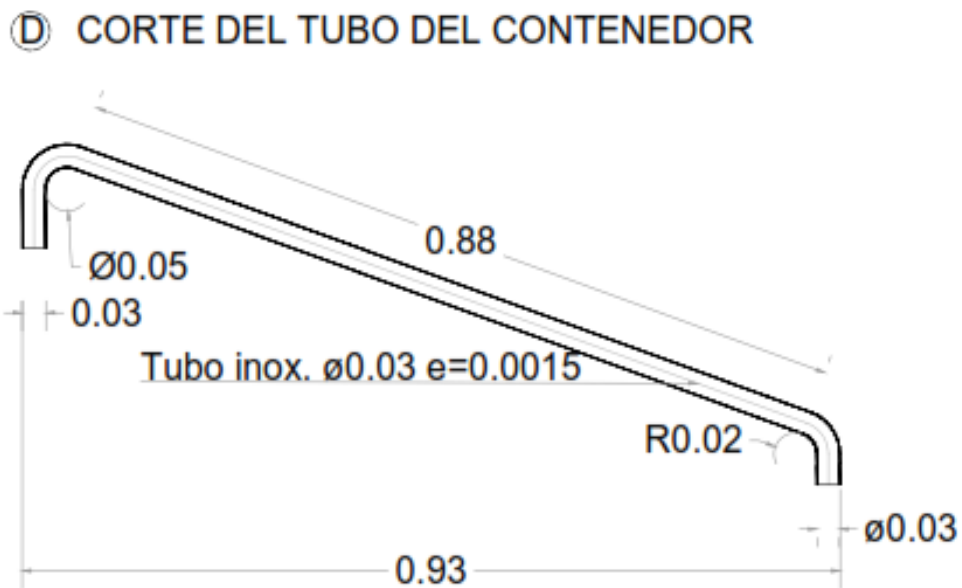


Figura 26. Sección del tubo contenedor.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

3.4.6. Separador de aceites esenciales.

El equipo separador de aceites esenciales está basado en el principio de diferencia de densidades, donde el agua de condensado será evacuado por la parte inferior, mientras que el aceite se extraerá por la parte superior del equipo. Para ello existe en el mercado varios tipos de modelos de equipos como son; embudo de captación, separador tipo florentín que serán adquiridos para la extracción de aceites esenciales.

3.5. Zonificación y distribución de la planta.

Se dimensiona una planta arquitectónica como se observa en la figura 27 de forma rectangular con medidas de 16.5m x 9m (148,5 m²) que comprende todos los espacios. Se recurre a menudo al uso de paredes a media altura para separar algunas zonas, pero manteniendo una conexión visual entre espacios, se opta también por algunas puertas corredizas para ahorrar espacio en lugares estrechos y amplios ventanales para permitir el paso de luz y crear un ambiente más amigable. Se utiliza columnas de hormigón para la estructura excepto en el portal donde se propone columnas de madera con base de hormigón, la cobertura está hecha a base de ladrillo visto en su mayoría y cubierto con pintura especial donde lo requiera.

1. CARGA Y DESCARGA
2. RECEPCIÓN DE MATERIA PRIMA
3. ZONA DE DESTILACIÓN
4. ZONA DE ELABORACIÓN DE SUBPRODUCTOS Y CONTROL DE CALIDAD
5. BODEGA
6. DESALOJO DE DESECHOS
7. ADMINISTRACIÓN
8. BAÑOS
9. PORTAL

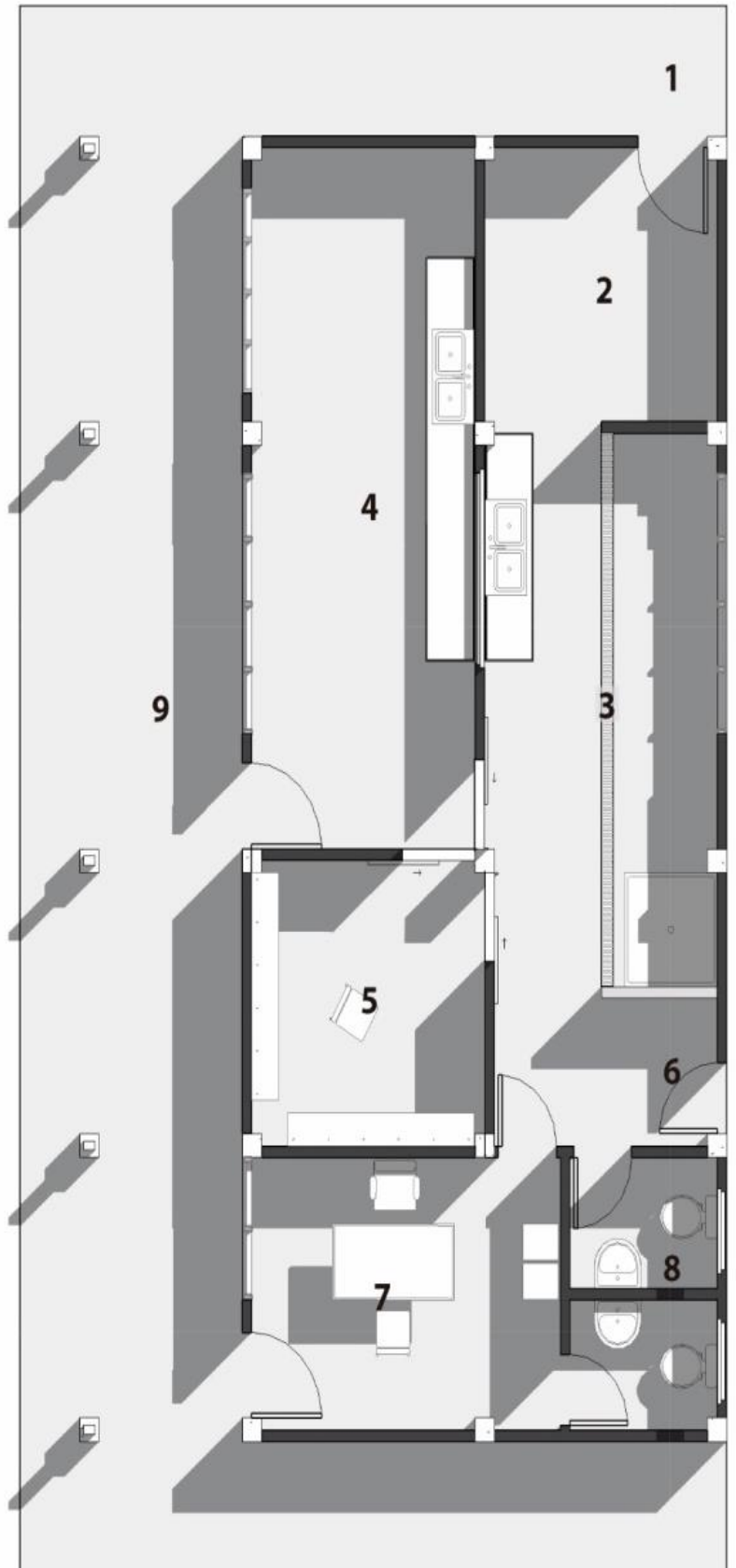


Figura 27. Plano de la planta de extracción del aceite esencial.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

El plano de la planta de extracción del aceite esencial de Limón está diseñado de tal forma que su distribución permite una buena organización ya que existen distancias más cortas de desplazamiento. En el plano se puede visualizar un área destinada para la carga y descarga de la materia vegetal. Además, existe un área destinada para la recepción de la materia prima la cual esta contigua a la zona de destilación, diseñada considerando el espacio adecuado para 4 destiladores. Para una visión más detallada de la planta se dividió por secciones el área total como se puede observar la figura 28.

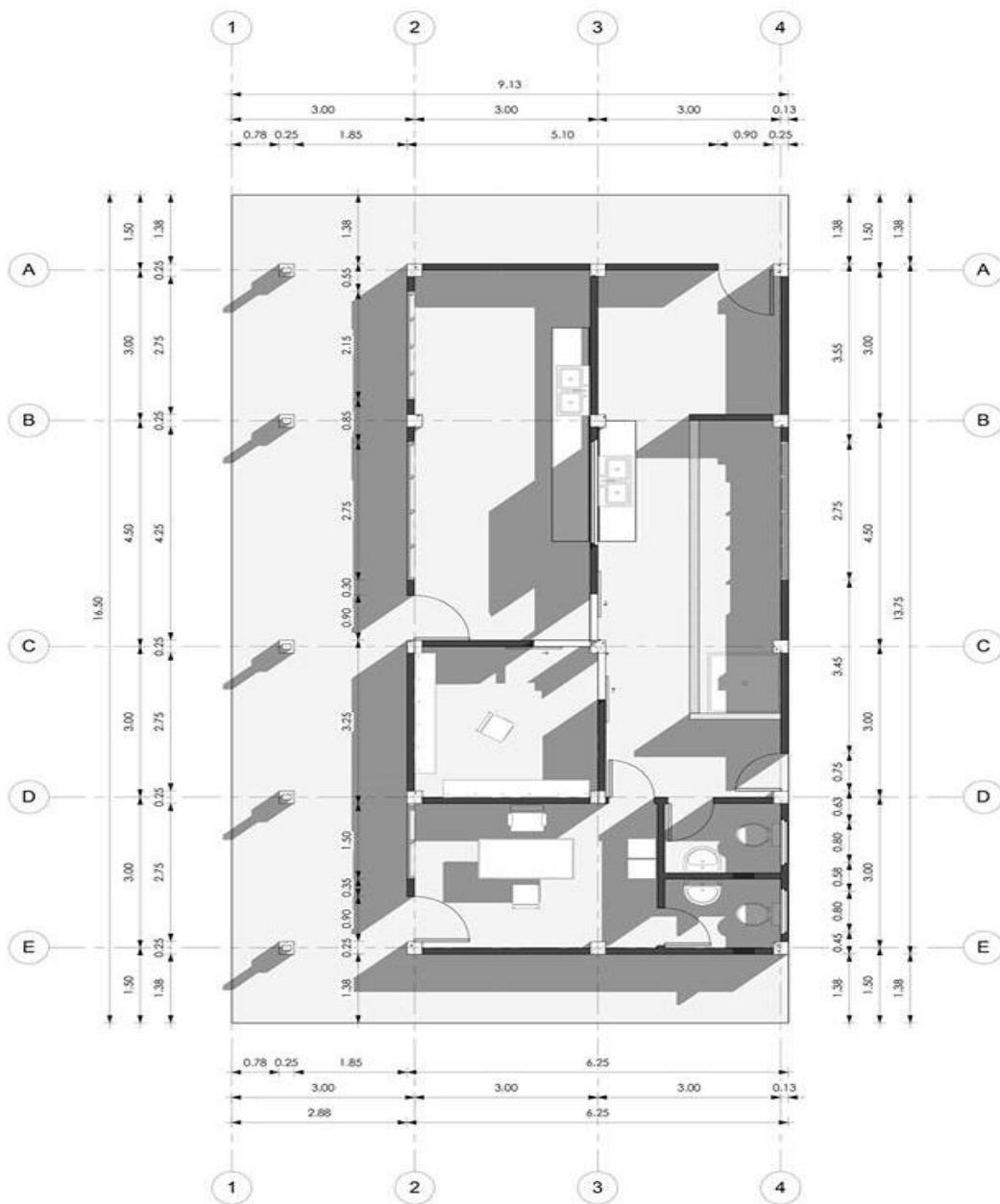


Figura 28. Plano acotado de la planta de extracción del aceite esencial.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Se diseñó una zona de elaboración de subproductos y control de calidad, la misma que está perfectamente delimitada para evitar cualquier tipo de contaminación, adicional la planta cuenta con oficina destinada para la parte administrativa, una bodega, área para el desalojo de desechos, baños y el portal.

3.6. Especificaciones técnicas para la puesta en marcha.

Para las especificaciones técnicas para la puesta en marcha se elaboró un manual de operaciones, donde se diseñó una guía que cumpla con los siguientes aspectos:

- Un manual de operación del equipo
- Un manual de procedimiento.

Para el manejo del equipo de extracción de aceites esenciales se ha elaborado manuales de forma individual como se presentan en los anexos 10 y 11.

CONCLUSIONES

- Para obtener 1 Kg de aceite esencial de limón sutil se necesita la cantidad de 276.85 Kg de materia prima esto depende directamente del rendimiento que presenta la especie vegetal.
- La destilación correcta para el aceite esencial de limón sutil es de 100 min, donde el aceite alcanza el 95 % de aceite extraído, posterior a esto es innecesario los gastos energéticos, ya que el volumen de aceite que se obtiene es mínimo.
- El volumen del tanque es de la capacidad de 100 L adecuado para cualquier tipo de especie vegetal que se desee destilar y para enfriar el fluido se diseñó un condensador tipo serpentín de 3 m de longitud que está dentro de un tanque de capacidad de 12.5 L de capacidad.
- La planta arquitectónica consta de una de una área total de 150 m² divididas en 9 con secciones medidas de 16.5 x 9 m que están distribuidas correctamente en su totalidad.
- Para las especificaciones técnicas de la puesta en marcha de la planta se elaboró manuales tanto como para cada fase del proceso de destilación, como para los equipos que son utilizados en el proceso de extracción.

RECOMENDACIONES

- ❖ Los miembros de la Asociación AGROCISCA no solo pueden hacer uso del equipo para aprovechar el aceite esencial de limón cuando haya sobreproducción del fruto en ciertas temporadas del año sino también pueden destilar otras especies vegetales.
- ❖ Se recomienda implementar un sistema de recirculación para el fluido de enfriamiento con la finalidad de reducir costos y optimizar el proceso de extracción.
- ❖ Al momento de realizar la destilación poner en funcionamiento al menos 4 destiladores con la cantidad contenida de materia vegetal de 10 Kg, ya que esta es proporción adecuada para la destilación en estos tanques de destilación y es fácilmente manejable.
- ❖ Al momento de la implementación de la planta poner un plan de contingencia con correctas normas de seguridad industrial, para evitar riesgos laborales y tener retrasos en la producción de aceite esencial.

BIBLIOGRAFIA.

- Alvarez, M. R., Meléndez, L. A., & Cosío, S. M. R. (2012). Procedimientos para la extracción de aceites esenciales en plantas aromáticas, 38.
- Andrade, M. (2015). Extracción y caracterización de aceites esenciales de especies aromáticas del cantón Saraguro.
- Bandoni, A. L. (2003). *Los Recursos Vegetales Aromáticos en Latinoamérica*.
- Cengel, Y. (2004). *Transferencia de Calor y Masa*.
- Cerpa, M. (2007). Hidrodestilación de aceites esenciales: MODELADO Y CARACTERIZACIÓN.
- Cerutti, M., & Neumayer, F. (2004). Introducción a la obtención del aceite esencial del limón, 149–155.
- Coello, S. (2014). Evaluación Del Rendimiento En La Determinación De Aceite Esencial Y Pectina De Tres Cítricos Limón “Chino”, Mandarina “Criolla” Y Toronja “Blanca” En el Canton Ventanas año 2014. Retrieved from <http://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/262/1/T-UTEQ-0016.pdf>
- Contreras Puentes, E., & Ruiz Pérez, J. D. (2012). Estudio comparativo de dos métodos de extracción para el aceite esencial presente en la cáscara de Pomelo (*Citrus maxima*), 1–101.
- Franco, Y. (2015). Evaluación de proceso de extracción de aceites esenciales de hojas de *Citrus aurantifolia* (limón sutil) *Citrus sinensis* (naranja) y *Citrus nobilis* (mandarina) mediante hidrodestilación.
- Granados, R., & Wilmer, A. (2007). Diseño de una planta extractora de aceites esenciales por arrastre con vapor, 195.
- Grunauer, C. (2009). Influencia del Secado sobre la Captación de agua de Pectina extraída a partir del *Citrus x aurantifolia* Swingle.
- Guerrero, D., Flores, A., Lama, D., Luy, G., & Mao, J. (2012). DISEÑO Y EXPERIMENTACIÓN DE LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE UNA PLANTA PROCESADORA DE LIMONES.
- Kern, D. (1999). *Procesos de transferencia de calor*.
- Logroño, E. (2013). “PROYECTO DE FACTIBILIDAD PARA LA EXPORTACIÓN DE LIMÓN SUTIL, AL MERCADO JAPONÉS, PERIODO 2009-2014.” *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Martínez, A. (2003). Aceites esenciales. *Pharmaceutical Chemistry Faculty*, 1–34.
- Moscoso, G. A. (2014). Diseño de una planta para la extracción del aceite esencial de palo

santo (*bursera graveolens*) mediante destilación por arrastre de vapor, 174.

- Ruiz, A., & Wang, Q. (2015). PROPUESTA PARA LA COMERCIALIZACIÓN INTERNACIONAL DE LIMÓN SUTIL DEL SECTOR EL BUNQUE-PALMALES DE LA PROVINCIA DE EL ORO DIRIGIDO A LA CIUDAD DE NUEVA YORK. *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015*, 1. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Torres, L. (2013). ESTUDIO DE LA HIDRODESTILACIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE *Lippia alba* (Mill.) N.E.Br., EN UN DESTILADOR A ESCALA PILOTO. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

ANEXOS

ANEXO I

Calculo del rendimiento del aceite esencial.

El cálculo del rendimiento del aceite esencial fue en base del volumen obtenido de aceite (mL), que en función de la densidad se trasformó a medida de masa (g) a esta masa se divido para la cantidad de materia vegetal (g) multiplicado por 100.

$$R = \frac{m(g)}{p(g)} \times 100 \%$$

$$R = \frac{36.12(g)}{10000(g)} \times 100 \%$$

$$R = 0.36 \%$$

ANEXO 2

Agua necesaria para la producción de 1 Kg de aceite esencial (Kg)

El cálculo de la cantidad de agua que se necesitó para la extracción de un 1 Kg de aceite esencial de limón se describe a continuación.

$$A_n = F_c * T_p \quad \text{Ecu.2}$$

Dónde:

An: Cantidad de agua requerida para la producción de un 1kg de aceite esencial. [kg]

Fc: Flujo del condensado [ml/min].

Tp: Tiempo necesario total de destilado para la producción de 1kg de Ae [min].

$$A_n = 45 \left(\frac{\text{ml}}{\text{min}} \right) * 2769 \text{ min}$$

$$A_n = 124585 \text{ mL}$$

$$A_n = 124585 \text{ mL} \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}}$$

$$A_n = 124.585 \text{ L}$$

El agua la tiene la propiedad de densidad que es de 1 Kg/m^3 , por lo que se puede transformar con facilidad a unidades de masa (Kg). Entonces el agua para la destilación sería.

$$A_n = 124.59 \text{ Kg}$$

ANEXO 3

Cantidad de materia prima (MP) necesaria para la producción.

Para la cantidad de material vegetal que se necesitó para la producción de un 1 Kg de aceite esencial se describe a continuación. Se parte por la cantidad en volumen, en función de la densidad.

$$\rho = \frac{m}{V_n} \quad \text{Ecu.3}$$

Dónde:

ρ : Densidad. [Kg/m³]

m : Cantidad a extraer de aceite esencial. [Kg]

V_n : Volumen necesario para producir un 1Kg de aceite esencial. [m³]

$$V = \frac{1000 \text{ g}}{0.86 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * \frac{1 \text{ cm}^3}{1 \text{ ml}}}$$
$$V = 1162.8 \text{ ml}$$

Con el valor obtenido de volumen, se calculó la masa de 1 Kg de aceite esencial al multiplicar el volumen por la densidad.

$$m = 0.86 \frac{\text{g}}{\text{ml}} * 1162.8 \text{ ml}$$

$$m = 1000 \text{ g}$$

El cálculo de la materia prima que se necesita para la extracción de 1 Kg de aceite esencial de limón sutil se describe a continuación.

$$M_p = \frac{V_n}{R} \quad \text{Ecu.4}$$

Dónde:

M_p: Materia prima necesaria en el proceso de producción. [g]

V_n: Volumen necesario para producir 1 kg de aceite esencial. [mL]

R: Rendimiento del aceite esencial. [g]

$$M_p = \frac{1162.8 \text{ ml}}{0,0036 \left(\frac{\text{ml}}{\text{g}}\right)}$$

$$M_p = 276854.93 \text{ g}$$

$$M_p = 276.85 \text{ Kg}$$

ANEXO 4

Tiempo necesario para la producción de 1kg de aceite esencial de limón sutil.

El tiempo de extracción se determinó mediante la curva que se presentó en tablas anteriormente, cual fue de 100 minutos y en base de la cantidad de aceite esencial que se requiere como se observa a continuación.

$$T_d = m_{ob} \frac{T_d}{m_{Ae}} \quad \text{Ecu.5}$$

Dónde:

T_d: Tiempo de destilado total necesario para la producción de 1kg de AE. [min]

T_d: Tiempo óptimo de destilado para la producción de 1Kg de AE. [min]

m_{ob}: Cantidad de aceite esencial producido [g]

$$T_d = 1000 \text{ g} \frac{100 \text{ min}}{36.12 \text{ g}}$$

$$T_d = 2769 \text{ min}$$

ANEXO 5

Tanque de extracción.

El cálculo del volumen del tanque para la destilación de un 1 Kg de aceite esencial, se realizó partiendo por la densidad que presenta el fruto de limón, que fue de 500 Kg/m^3

$$V_T = \frac{m}{\rho} \quad \text{Ecu.6}$$

Dónde:

ρ : Densidad del fruto de limón sutil. [Kg/m^3]

m : Cantidad de materia vegetal necesaria para extraer 1 Kg de aceite esencial. [Kg]

V_T : Volumen del tanque extractor. [m^3]

$$V_T = \frac{276.85 \text{ KG}}{500 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$
$$V_T = 0.56 \text{ m}^3 \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3}$$

$$V_T = 553.7 \text{ L}$$

Tanque de extracción.

Los cálculos realizados para el volumen del tanque de extracción fueron en base a la cantidad de materia vegetal que se procesa. Para ello se tomó la relación de 10 Kg de hojas de especies vegetales que presentaron una densidad de 200 Kg/m^3 . Empleado la ecuación que se observa a continuación.

$$V_{\text{Tan}} = V_{\text{h}_2\text{O}} + V_m + V_L$$

Dónde:

V_{Tan} : Volumen total del tanque extractor. [L]

$V_{\text{h}_2\text{O}}$: Volumen que ocupa el agua dentro del tanque. [L]

V_m : Volumen de la materia vegetal. [L]

V_L : Volumen libre de espaciamiento en el tanque. [L]

Para ello se tomó la relación de 10 Kg de hojas de especies vegetales que presentaron una densidad de 200 Kg/m³. Empleado la ecuación que se observa a continuación.

$$V_m = \frac{m}{\rho}$$

Dónde:

V_m: Volumen de la materia vegetal. [L]

m : Masa de la materia prima a procesar. [Kg]

ρ : Densidad aparente de la variedad de plantas. [kg/m³]

$$V_m = \frac{m}{\rho}$$

$$V_m = \frac{10 \text{ kg}}{200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V_m = 0.05 \text{ m}^3 * \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3}$$

$$V_m = 50 \text{ L}$$

El volumen de agua que ocupara dentro del taque sera 25 % del volumen del material a procesar, aplicando la siguiente relación.

$$V_{h20} = 0.25V_m$$

Para el volumen libre dentro del tanque de extracción, se consideró el 25% del volumen total del tanque.

$$V_L = 0.25 V_{Tan}$$

El desglose de la deducción matemática se observa a continuación.

$$V_{\text{Tan}} = V_{\text{h20}} + V_{\text{m}} + V_{\text{L}}$$

$$V_{\text{Tan}} = 0,25V_{\text{tan}} + V_{\text{m}} + 0,25 V_{\text{Tan}}$$

$$V_{\text{Tan}} = 0,5 V_{\text{Tan}} + V_{\text{m}}$$

$$V_{\text{Tan}}(1 - 0,5) = V_{\text{m}}$$

$$V_{\text{Tan}} = \left(\frac{V_{\text{m}}}{1 - 0,5}\right)$$

$$V_{\text{Tan}} = 2V_{\text{m}}$$

ANEXO 6

Calor utilizado en la extracción

El análisis del calor que se necesita para extraer el aceite esencial se presenta a continuación:

Calor necesario para calentar.

Los cálculos para el calor para que el agua pueda calentar previa a la vaporización se realizaron de la siguiente manera.

$$Q_c = C_p * (T_s - T_e)$$

Dónde:

Q_c : Calor necesario calentar el agua. [Kj/kg]

C_p : Capacidad calorífica del agua. [Kj/(Kg) (K)]

T_s : Temperatura de salida [k]

T_e : Temperatura de entrada. [k]

$$Q_c = 4.18 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg} * ^\circ\text{K}} (93.5 - 23)^\circ\text{K}$$

$$Q_c = 294.69 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}$$

Calor necesario para la vaporización del agua.

El calor necesario para la vaporización el agua es igual al calor latente como se describe a continuación.

$$Q_e = \lambda$$

Dónde:

λ : Calor latente de vaporización. [KJ/Kg]

$$Q_e = 2076 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}$$

Calor total.

Para el cálculo realizado para la cantidad total de calor requerido se suman el calor de necesario para el calentamiento con el calor necesario para ebullición, a esto se multiplica por la masa de agua que se necesita para la extracción de un 1 Kg de aceite esencial de limón, como se puede observar a continuación.

$$Q_T = (Q_c + Q_e) * A_n$$

Q_T: Calor total. [KJ]

Q_c: Calor necesario para calentar el agua. [KJ/kg]

Q_e: Calor necesario para evaporación. [KJ/kg]

A_n: Cantidad de agua requerida para la producción de un 1kg de aceite esencial. [kg]

$$Q_T = \left(294.69 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} + 2076 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} \right) * 124.58 \text{ Kg}$$

$$Q_T = 258922.7 \text{ Kj}$$

ANEXO 7

Espesor de aislamiento térmico

Para calcular el espesor de aislamiento térmico y evitar pérdidas de calor en el tanque de extracción se aplicó la siguiente ecuación.

$$R_{\text{total}} = \frac{\text{esp}}{K}$$

Dónde:

R_{Total}: Resistencia total. [(m²) (K)/(w)]

esp: Espesor del aislante térmico. [m]

K: Conductividad térmica del aislante térmico. [(W/(m)(k)]

Para calcular la resistencia se sumó el número de resistencias aplicando la siguiente ecuación

$$R_{\text{conv1}} = \frac{1}{h_1 A_s}$$

Dónde:

R_{conv1}=Resistencia de convección interior. [°C/W]

h₁= coeficiente de convección interior. [W/(m²) (°C)]

A_s=Área de pared. [m²]

Para el coeficiente de convección interior (h₁) se aplica la siguiente ecuación:

$$h_1 = 1.25 \sqrt[4]{\frac{\Delta t}{D}}$$

Dónde:

h_{conv}: Coeficiente de convección interior. [W/(m²) (k)]

Δt: Variación de temperatura en contacto de los fluidos. [°C]

D: Espesor del acero. [mm]

$$h_{\text{conv}} = 1.25 \sqrt[4]{\frac{(93 - 23)}{0,002}}$$

$$h_{\text{conv}} = 8.38 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * ^\circ\text{C}}$$

Una vez obtenido el coeficiente de convección interno se reemplaza en la ecuación de resistencia de convección 1, quedando de la siguiente manera:

$$R_{\text{conv1}} = \frac{1}{8.38 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * ^\circ\text{C}} 1.01 \text{ m}^2}$$

$$R_{\text{conv1}} = 0.118 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

Para la resistencia que presentó el acero, se consideró la longitud de pared que fue de 0,7 m, haciendo relación con la siguiente ecuación:

$$R_{\text{acero}} = \frac{L}{kAs}$$

Dónde:

Rconv=Resistencia que presentó el acero. [$^\circ\text{C}/\text{W}$]

L= Longitud de pared. [m]

k= Conductividad térmica del acero. [$\text{W}/(\text{m}) (^\circ\text{C})$]

As=Área de pared. [m^2]

Remplazando los datos en la ecuación:

$$R_{\text{acero}} = \frac{0.7 \text{ m}}{1900 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}} 1.01\text{m}^2}$$

$$R_{\text{acero}} = 0.0003 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

La resistencia que presentó el aire, se consideró un espacio de aire de 10 mm de espesor, se aplicó la siguiente ecuación.

$$R_{\text{aire}} = \frac{L}{k2As}$$

Dónde:

Rconv: Resistencia que presentó el aire. [°C/W]

L: Espacio libre de aire. [m]

k: Conductividad térmica del aire. [W/(m) (°C)]

As: Área de pared. [m²]

$$R_{\text{aire}} = \frac{0.01 \text{ m}}{0.026 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}} 1.01 \text{m}^2}$$

$$R_{\text{aire}} = 0.38 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

Para la resistencia de convección exterior se hizo relación con la siguiente ecuación, considerando un coeficiente exterior de $10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * ^{\circ}\text{C}}$:

$$R_{\text{conv}2} = \frac{1}{h2As}$$

Dónde:

Rconv2: Resistencia de convección exterior. [°C/W]

h2: Coeficiente de convección exterior. [W/(m²) (°C)]

As: Área de pared. [m²]

Remplazando:

$$R_{\text{conv}2} = \frac{1}{10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * ^{\circ}\text{C}} 1.01 \text{ m}^2}$$

$$R_{\text{conv2}} = 0.09 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

La resistencia total, se aplicó la siguiente ecuación:

$$R_{\text{total}} = R_{\text{conv1}} + R_{\text{acero}} + R_{\text{aire}} + R_{\text{conv2}}$$

$$R_{\text{total}} = 0.118 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} + 0.0003 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} + 0.38 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} + 0.09 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

Una vez obtenido la resistencia total, se reemplazó en la ecuación.

$$R_{\text{total}} = 0.59 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{total}} = \frac{\text{esp}}{K}$$

$$\text{Esp} = R_{\text{total}} * K$$

$$\text{Esp} = 0.59 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} * 0.050 \frac{\text{W}}{\text{m } ^{\circ}\text{C}}$$

$$\text{Esp} = 0.030 \text{ m}$$

$$\text{Esp} = 3\text{cm}$$

ANEXO 8

Cantidad de combustible necesario para la producción de vapor.

Para el cálculo del combustible necesario para la extracción de aceite esencial de limón fue en base a la cantidad de calor total y el poder calorífico del (GLP), se describe a continuación.

$$C_{\text{GLP}} = \frac{Q_{\text{T}}}{P_{\text{C}}}$$

Dónde:

C_{GLP} : Cantidad de combustible necesario. [kg]

Q_{T} : Calor total. [KJ]

P_{C} : Poder calorífico del GLP. [KJ/kg]

$$C_{\text{GLP}} = \frac{258922.7 \text{ Kj}}{49180 \frac{\text{Kj}}{\text{kg}}}$$

$$C_{\text{GLP}} = 5.26 \text{ Kg}$$

ANEXO 9

CONDENSADOR

Los cálculos del diseño del condensador se realizaron por partes a continuación se describe los pasos, realizando los cálculos en el sistema inglés debido a que en la bibliografía hay datos que se necesitan para el análisis se observan en la **tabla 10**.

Tabla 10. Datos utilizados en los cálculos de dimensionamiento del condensador.

	Fluido Frio (Agua)		Fluido caliente (Vapor)
t1	73 °F	T1	199°F
t2	104 °F	T2	109.4°F
tp	88.7 °F	Tp	154.4°F
cp2	1 BTU/(Lb)(°F)	Cp1	0.99 BTU/(Lb)(°F)
u	1.83 lb/(h)(ft)	U	0.99 lb/(h)(ft)
k	0.36 BTU/(h)(ft ²) (°F) /(Ft)	K	0.45 BTU /(h)(ft ²) (°F) /(Ft)

Fuente: (Kern, 1999).

Elaboración: El autor.

Área de transferencia en el condensador.

Los cálculos del área de transferencia fueron despejadas de la ecuación de transferencia de calor que se expone a continuación.

$$Q = A * U * LTMD$$

Dónde:

Q : Cantidad de calor liberado por la mezcla de vapores agua-aceite durante la condensación y enfriamiento. [Btu/h]

A : Área de transferencia de calor. [m²]

U : Coeficiente global de transferencia de calor. [Btu/(h) (°F) (Ft²)]

LTMD : Diferencia media logarítmica entre las temperaturas de entrada y salida. [°F]

$$A = \frac{Q}{U * LTMD}$$

Al final se reemplaza los datos en la ecuación.

Para calcular la cantidad de agua se necesita para condensar el vapor se realizó un balance de energía, a continuación se describe el procedimiento.

$$Q_c = Q_g$$

Dónde:

Q: Calor total del proceso. [Btu/h]

m1: flujo másico caliente [Lb/h]

Cp1: Calor específico del vapor. [Btu/(lb)°F]

T1: Temperatura caliente de entrada. [°F]

T2: Temperatura caliente de salida. [°F]

m2: Flujo másico fluido frío. [Lb/h]

Cp2: Calor específico del agua. [Btu/(lb)°F]

t1: Temperatura fría de entrada. [°F]

t2: Temperatura fría de salida. [°F]

$$Q = \dot{m}_1 C_{p1} (T_1 - T_2) + \lambda = \dot{m}_2 C_{p2} (t_1 - t_2)$$

$$\left(5.97 \frac{\text{lb}}{\text{h}}\right) \left(0.99 \frac{\text{Btu}}{\text{lb} \cdot ^\circ\text{F}}\right) (199 - 109)^\circ\text{F} + 894.99 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} \left(5.97 \frac{\text{lb}}{\text{h}}\right) = \dot{m}_2 1 \frac{\text{BTU}}{\text{b} \cdot ^\circ\text{F}} (104 - 73.4)$$

$$\dot{m}_2 = \frac{Q_c}{C_{p2} * (t_1 - t_2)}$$

$$\dot{m}_g = \frac{\left(5.97 \frac{\text{lb}}{\text{h}}\right) \left(0.99 \frac{\text{Btu}}{\text{lb} \cdot ^\circ\text{F}}\right) (199 - 109)^\circ\text{F} + 894.99 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} \left(5.97 \frac{\text{lb}}{\text{h}}\right)}{1 \frac{\text{BTU}}{\text{b} \cdot ^\circ\text{F}} (104 - 73.4)}$$

$$\dot{m}_2 = 191.1 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

El cálculo del diámetro óptimo en la tubería interna se describe a continuación.

$$d_{opt} = 260 G^{0.52} \rho^{-0.37}$$

Dónde:

dopt : Diámetro óptimo. [cm]

G : Velocidad del flujo. [kg/s]

ρ: Densidad del fluido. [kg/m³]

$$d_{opt} = 260 * 0.00075 \text{ kg/s}^{0.52} 997.63 \text{ kg/m}^3^{-0.37}$$

$$d_{opt} = 0.5 \text{ mm}$$

$$d_{opt} = 0.05 \text{ cm}$$

Transformado a pies seria.

$$d_{opt} = 0,05 \text{ cm} \frac{1\text{ft}}{30.47\text{cm}}$$

$$d_{opt} = 0.0016 \text{ ft}$$

De la misma forma se calcula el diámetro óptimo de la tubería externa.

$$d_{opt} = 366 * G^{0.52} * u^{0.03} * \rho^{-0.37}$$

$$d_{opt} = 366 * 0.024 \text{ kg/s}^{0.52} * 0.088^{0.03} 997.63 \text{ kg/m}^3^{-0.37}$$

$$d_{opt} = 3.81 \text{ mm}$$

$$d_{opt} = 0.381 \text{ cm}$$

$$d_{opt} = 0.381 \text{ cm} \frac{1\text{ft}}{30.47\text{cm}}$$

$$d_{opt} = 0.012 \text{ ft}$$

Luego se calculó el área interna de los tubos, se describe a continuación.

$$a_i = \frac{\pi D_i^2}{4}$$

Dónde:

a_i : Área del tubo interno. [Ft²]

D_i : Diámetro optimo interno. [Ft]

$$a_i = \frac{\pi(0,0016)^2}{4}$$

$$a_i = 2.009 \times 10^{-06} \text{ft}^2$$

Para el cálculo de la velocidad masa se toma en cuenta el flujo másico del vapor, se puede observar a continuación.

$$G_{m1} = \frac{\dot{m}_1}{a_i}$$

Dónde:

G_{m1} : Velocidad de masa del fluido. [lb/(h)(ft²)]

\dot{m}_1 : Flujo másico caliente. [lb/h]

a_i : Área externa del tubo. [ft²]

$$G_{m1} = \frac{5.97 \frac{\text{lb}}{\text{h}}}{2.009 \times 10^{-06} \text{ft}^2}$$

$$G_{m1} = 3093232.451 \frac{\text{lb}}{\text{hft}^2}$$

Para calcular el número de Reynolds, se consideró el diámetro interno, la velocidad másica y viscosidad del fluido que va a pasar el tubo interno, como se puede observar a continuación.

$$R_e = \frac{D_i G_p}{\mu}$$

$$Re = \frac{(0.0016\text{ft}) \left(3093232.451 \frac{\text{lb}}{\text{hft}^2} \right)}{0.988 \frac{\text{lb}}{\text{hft}}}$$

$$Re = 4909.1$$

Para encontrar el factor de transferencia de calor (jh), se utilizó la figura 29 que se presenta a continuación tanto para la tubería interna como externa, para la tubería interna se leyó un valor de 14 y para la tubería externa se leyó un valor de 130.

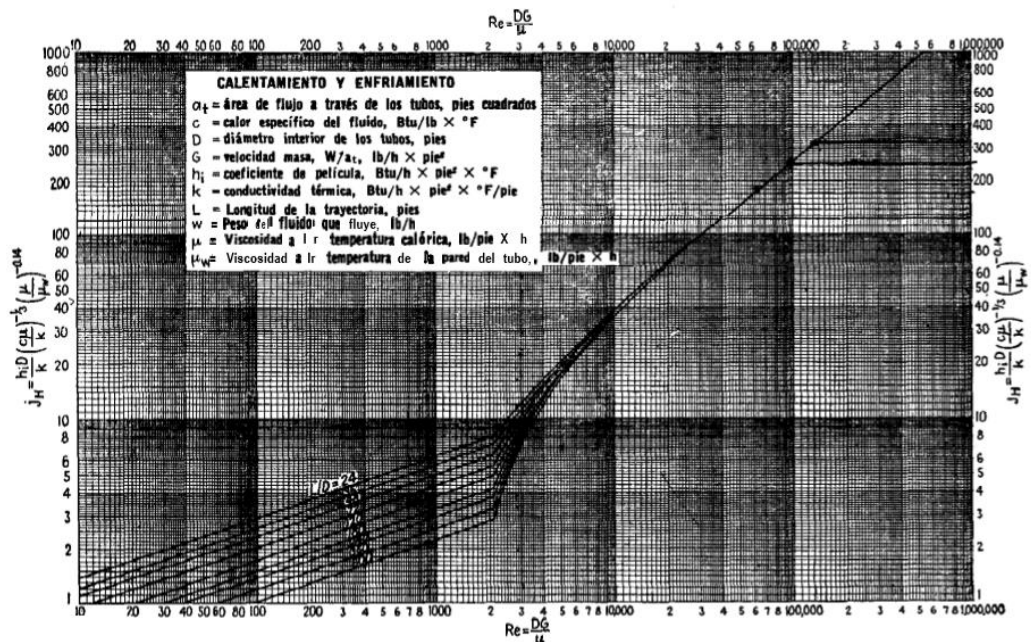


Figura 29. Tabla para calcular los coeficientes de transferencia de calor.
Fuente: (Kern, 1999).

Para encontrar en tablas el coeficiente de transferencia de calor (hi), para el tubo interno por donde pasara el fluido caliente, se parte leyendo a la temperatura promedio el valor de K (Coeficiente de conductividad térmica), a continuación se describe.

$$K \text{ a } 145,4^{\circ}\text{F}$$

$$K = 0.36 \frac{\text{Btu}}{\text{hft}^2 \frac{\text{°F}}{\text{ft}}}$$

$$hi = jh * \left(\frac{K}{D} \right) \left(\frac{c * \mu}{K} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu}{\mu w} \right)^{0.14}$$

$$h_i = 5 * \left(\frac{0.36 \frac{\text{Btu}}{\text{hft}^2 \frac{^\circ\text{F}}{\text{ft}}}}{0.0016\text{ft}} \right) * \left(\frac{0.99 \frac{\text{Btu}}{\text{lb} \frac{^\circ\text{F}}{\text{ft}}} * 0.988 \frac{\text{lb}}{\text{hft}}}{0.36 \frac{\text{Btu}}{\text{hft}^2 \frac{^\circ\text{F}}{\text{ft}}}} \right)^{\frac{1}{3}} * (1)$$

$$h_i = 2911.1 \frac{\text{Btu}}{\text{h}^{\circ\text{F}}\text{ft}^2}$$

De la misma forma se realiza el cálculo del área de la tubería externa que es la zona por donde pasa el fluido de agua caliente como se puede observar a continuación.

$$a = \frac{\pi(D_2^2 - D_1^2)}{4}$$

Dónde:

a: Área del tubo externo. [ft²]

D₁ : Diámetro interno del tubo externo. [ft]

D₂ : Diámetro externo del tubo externo. [ft]

$$a = \frac{\pi(0.02016 \text{ ft})^2 - (0.007968\text{ft})^2}{4}$$

$$a = 0.00027\text{ft}^2$$

Para calcular la velocidad másica que pasa por el tubo externo se considera que tiene relación la tubería interna como la externa, por lo cual se calcula en relación al diámetro equivalente como se detalla a continuación.

$$D_e = \frac{(D_2^2 - D_1^2)}{D_1}$$

Dónde:

D_e : Diámetro equivalente del tubo externo. [ft]

$$D_e = \frac{\pi(0.02016 \text{ ft})^2 - (0.007968\text{ft})^2}{D_1}$$

$$D_e = 0.043 \text{ ft}$$

De la misma forma se realizó los cálculos para el fluido frío que se expone a continuación.

$$G_{m2} = \frac{\dot{m}_2}{a_2}$$

Dónde:

G_{m2} : Velocidad de masa del fluido. [lb/(h)(ft²)]

\dot{m}_2 : Flujo másico del fluido frío. [lb/h]

a_2 : Área externa del tubo. [ft²]

$$G_{m2} = \frac{191.1 \frac{\text{lb}}{\text{h}}}{0.00027 \text{ ft}^2}$$

$$G_{m2} = 713188.38 \frac{\text{lb}}{\text{hft}^2}$$

Se calculó el número de Reynolds, como se describe a continuación.

$$Re = \frac{D_e * G_{m2}}{u}$$

Dónde:

Re : Numero de Reynolds.

D_e : Diámetro equivalente para el tubo externo. [ft]

G_{m2} : Velocidad de masa de los diferentes fluidos. [lb/(h)(Ft²)]

μ: Viscosidad de los fluidos. [lb/(h)(Ft)]

$$Re = \frac{(0.043\text{ft})(713188.38 \frac{\text{lb}}{\text{hft}^2})}{1.83 \frac{\text{lb}}{\text{hft}}}$$

$$Re = 16773.26$$

De igual forma se leyó en tablas calcula jh (factor de transferencia de calor), partiendo del número de Reynolds, leído en la tabla tubo un valor de 130.

De la misma forma se encontró K (Coeficiente de conductividad térmica) leído a la temperatura promedio del fluido frío

K a 88.7°F

$$K = 0.45 \frac{\text{Btu}}{\text{hft}^2 \frac{^{\circ}\text{F}}{\text{ft}}}$$

Con el dato obtenido (K), se calculó el (ho) como se describe a continuación.

$$h_o = J_h * \left(\frac{K}{D_e} \right) \left(\frac{c * \mu}{K} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14}$$

$$h_o = 14 * \left(\frac{0.45 \frac{\text{Btu}}{\text{hft}^2 \frac{^{\circ}\text{F}}{\text{ft}}}}{0.043 \text{ft}} \right) * \left(\frac{1 \frac{\text{Btu}}{\text{lb}^{\circ}\text{F}} * 1.83 \frac{\text{lb}}{\text{hft}}}{0.45 \frac{\text{Btu}}{\text{hft}^2 \frac{^{\circ}\text{F}}{\text{ft}}}} \right)^{\frac{1}{3}} * (1)$$

$$h_o = 1842.50 \frac{\text{Btu}}{\text{h}^{\circ}\text{Fft}^2}$$

Luego se corrigió el (hi0), como se observa a continuación.

$$h_{i0} = h_i * \frac{D_i}{D_e}$$

$$h_{i0} = \left(2911.1 \frac{\text{Btu}}{\text{h}^{\circ}\text{Fft}^2} \right) * \left(\frac{0.0192 \text{plg}}{0.0956 \text{plg}} \right)$$

$$h_{i0} = 572.86 \frac{\text{Btu}}{\text{h}^{\circ}\text{Fft}^2}$$

Con los resultados obtenidos de los coeficientes de calor interno y externo, se calculó el coeficiente global de transferencia de calor, como se describe a continuación.

$$U = \frac{h_{i0} * h_o}{h_{i0} + h_o}$$

Dónde:

U: Coeficiente global de transferencia de calor. [BTU/(h)(°F) (ft²)]

hi0: Valor de hi cuando está referido al diámetro exterior del tubo. [BTU/(h)(ft²) (°F)]

ho: Coeficientes de transferencia de calor en general, para fluido interior y fluido exterior, respectivamente. [BTU/(h)(ft²) (°F)].

Con el coeficiente que se obtuvieron anteriormente se remplazaron para calcular el calcular el coeficiente global de calor como se observa a continuación.

$$U = \frac{\left(572.86 \frac{\text{Btu}}{\text{h}^\circ\text{Fft}^2}\right) * \left(1842.50 \frac{\text{Btu}}{\text{h}^\circ\text{Fft}^2}\right)}{\left(1842.50 \frac{\text{Btu}}{\text{h}^\circ\text{Fft}^2}\right) + \left(1842.50 \frac{\text{Btu}}{\text{h}^\circ\text{Fft}^2}\right)}$$

$$U = 436.1 \frac{\text{Btu}}{\text{h}^\circ\text{Fft}^2}$$

Para el cálculo del área total de transferencia de calor era necesario obtener la temperatura media logarítmica, como se describe a continuación.

$$\text{MLDT} = \frac{(T_{ce} - T_{fs}) - (T_{fe} - T_{cs})}{\ln\left(\frac{T_{ce} - T_{fs}}{T_{fe} - T_{cs}}\right)}$$

Dónde:

MLDT : Diferencia de temperatura media logarítmica. [°C]

Tce : Temperatura caliente de entrada. [°C]

Tfs : Temperatura caliente de salida. [°C]

Tfe : Temperatura fría de entrada. [°C]

Tcs : Temperatura fría de salida. [°C]

$$\text{MLDT} = \frac{(93 - 40) - (23 - 43)}{\ln\left(\frac{93 - 40}{23 - 43}\right)}$$

$$\text{MLDT} = 145.4 \text{ }^\circ\text{F}$$

Para calcular el área total se despeja de la ecuación de calor que se planteó al inicio.

$$A = \frac{Q}{U * \text{LTMD}}$$

$$A = \frac{5875.01 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}}{\left(436.1 \frac{\text{Btu}}{\text{h}^\circ\text{Fft}^2}\right) * (145.4^\circ\text{F})}$$

$$A = 0.092\text{ft}^2$$

Finalmente se calculó la longitud de transferencia como se describe a continuación.

$$L = \frac{A}{De * \pi}$$

$$L = \frac{0.092 \text{ft}^2}{0.0796 \text{ft} * 3.14}$$

$$L = 3.7 \text{ft}$$

La longitud trasformada a metros seria

$$A = 0.085 \text{m}^2$$

$$L = \frac{A}{De * \pi}$$

$$L = \frac{0.085 \text{m}^2}{0.00249 * 3.14}$$

$$L = 1.9 \text{ft}$$


ANEXOS 10


MANUALES DE PROCEDIMIENTOS PARA LA EXTRACION DE ACEITES ESENCIALES


A VI 1. Manuales de procedimientos


Para la extracción de aceites esenciales se elaboró un manual para cada proceso tomando en cuenta las medidas de seguridad que se debe tomar al momento de realizar las actividades.


Estos manuales se presentan a continuación.


 <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA <i>La Universidad Católica de Loja</i></p>	<p>PROCESIDEMIENTO DE LIMON (Citrus aurantifolia)</p>	<p>Nº: CELR-CA-01 Rev: 01 Fecha: 05-08-17 Pág: 1/1</p>
<p>1. Objeto Recepción de frutos de limón</p> <p>2. Alcance Este procedimiento es aplicable al proceso de destilación de palo santo</p> <p>3. Responsable Persona encargada del turno de destilación de limón</p> <p>4. Ejecutor Personas encargadas de la recepción y almacenamiento de frutos de limón en la planta de producción</p> <p>5. Materiales 5.1 Balanza 5.2 Bandejas 5.3 Armarios</p> <p>6. Descripción 6.1 Se analiza las características externas de los frutos de limón: grado de madurez (del fruto de limón), partes dañados y color 6.2 Se pesa la cantidad de materia prima 6.3 Si el producto no es procesado de inmediato y debe esperar más de 8 horas se coloca en gavetas de madera, que luego serán colocados en los armarios de madera hasta su posterior tratamiento 6.4 Si las características del fruto no son las adecuadas, se detecta fruto en mal estado y/o que no es posible procesar, este producto debe ser separado y tratado como materia prima no aceptada</p> <p>7. Registro Ficha técnica de control de recepción de palo santo</p>		
<p>Distribución: Personas que trabajan con limón</p>	<p>Usuario: Operarios</p>	<p>Copia Nº: 01</p>
<p>Elaborado: C.E.L.R</p>	<p>Revisado: B.E.V.V</p>	<p>Aprobado: M.A.M.C</p>
<p>Prohibida su reproducción total o parcial sin autorización del Autor</p>		

 <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA <i>La Universidad Católica de Loja</i></p>	<p>PROCESIDEMIENTO DE LIMON (Citrus aurantifolia)</p>	<p>Nº: CELR-CA-02 Rev: 01 Fecha: 05-08-17 Pág: 1/1</p>
<p>1. Objeto Disminuir el tamaño de los frutos de limón</p> <p>2. Alcance Este procedimiento es aplicable a la trituración de limón</p> <p>3. Responsable Persona encargada del turno de destilación de limón</p> <p>4. Ejecutor Personas encargadas del triturado de frutos de limón</p> <p>5. Materiales 5.1 Licuadora industrial 5.2 Recipiente 5.3 Frutos de limón 5.4 Agua</p> <p>6. Descripción 6.1 Medir la cantidad de agua necesaria para la destilación en función del tamaño de cada destilador: 13 litros en los destiladores (2) y (3) y 11 litros en el destilador (1) 6.2 Colocar frutos de limón en la licuadora hasta completar las tres cuartas partes de ésta 6.3 Añadir agua suficiente hasta cubrir los frutos colocados en la licuadora 6.3 Triturar durante 45 segundos</p> <p>6. Registro Ficha técnica de control de obtención de aceite esencial de limón</p>		
<p>Distribución: Personas que trabajan con limón</p>	<p>Usuario: Operarios</p>	<p>Copia Nº: 01</p>
<p>Elaborado: C.E.L.R</p>	<p>Revisado: B.E.V.V</p>	<p>Aprobado: M.A.M.C</p>
<p>Prohibida su reproducción total o parcial sin autorización del Autor</p>		


 <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA <i>La Universidad Católica de Loja</i></p>	<p>PROCESIDEMIENTO DE LIMON (Citrus aurantifolia)</p>	<p>Nº: CELR-CA-03 Rev: 01 Fecha: 05-08-17 Pág: 1/1</p>
<p>1. Objeto Disminuir el tamaño de los frutos de limón</p> <p>2. Alcance Este procedimiento es aplicable a la trituración de frutos de limón</p> <p>3. Responsable Persona encargada del turno de destilación de limón</p> <p>4. Ejecutor Personas encargadas del triturado de frutos de limón</p> <p>5. Materiales 5.1 Licuadora industrial 5.2 Recipiente 5.3 Frutos de palo santo 5.4 Agua</p> <p>6. Descripción 6.1 Medir la cantidad de agua necesaria para la destilación en función del tamaño de cada destilador: 13 litros en los destiladores (2) y (3) y 16 litros en el destilador (1) . 6.2 Colocar frutos de palo santo en la licuadora hasta completar las tres cuartas partes de ésta 6.3 Añadir agua suficiente hasta cubrir los frutos colocados en la licuadora 6.3 Triturar durante 50 segundos.</p> <p>6. Registro Ficha técnica de control de obtención de aceite esencial de limón</p>		
<p>Distribución: Personas que trabajan con limón</p>	<p>Usuario: Operarios</p>	<p>Copia Nº: 01</p>
<p>Elaborado: C.E.L.R</p>	<p>Revisado: B.E.V.V</p>	<p>Aprobado: M.A.M.C</p>
<p>Prohibida su reproducción total o parcial sin autorización del Autor</p>		

 <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA <i>La Universidad Católica de Loja</i></p>	<p>PROCESIDEMIENTO DE LIMON (Citrus aurantifolia)</p>	<p>Nº: CELR-CA-04 Rev: 01 Fecha: 05-08-17 Pág: 1/1</p>
<p>1. Objeto Disposición del aceite esencial en el caso de que se sospeche o se compruebe que ha perdido su estatus de orgánico</p> <p>2. Alcance Este procedimiento es aplicable al proceso de disposición del aceite esencial en el caso de que se sospeche o se compruebe que ha perdido su estatus de orgánico</p> <p>3. Responsable Persona encargada del turno de destilación de palo santo y responsable del laboratorio de aceites esenciales</p> <p>4. Ejecutor Personas encargadas de la disposición del producto que ha perdido su estatus de orgánico</p> <p>5. Materiales 5.1 Frascos de vidrio 5.2 Etiquetas</p> <p>6. Descripción 6.1 El producto del que se sospeche que ha perdido su estatus de orgánico debe ser tratado como producto no orgánico. 6.2 El producto contaminado debe ser separado del producto orgánico y colocado en la zona de producto no orgánico. 6.3 Se debe identificar la fuente de contaminación y/o la razón por la que el producto ha perdido su estatus de orgánico. 6.4 Se debe comprobar de que no exista más producto contaminado. 6.5 Se debe registrar el suceso y la cantidad de producto que ha perdido el estatus de orgánico en la Hoja de registro de producto que ha perdido su estatus de orgánico, se debe llenar una hoja por envase.</p> <p>7. Registro Hoja de materia de producto que ha perdido su estatus de orgánico.</p>		
<p>Distribución: Personas que trabajan con limón</p>	<p>Usuario: Operarios</p>	<p>Copia Nº: 01</p>
<p>Elaborado: C.E.L.R</p>	<p>Revisado: B.E.V.V</p>	<p>Aprobado: M.A.M.C</p>
<p>Prohibida su reproducción total o parcial sin autorización del Autor</p>		

 <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA <i>La Universidad Católica de Loja</i></p>	<p>PROCESIDEMIENTO DE LIMON (Citrus aurantifolia)</p>	<p>Nº: CELR-CA-05 Rev: 01 Fecha: 05-08-17 Pág: 1/1</p>
<p>1. Objeto Limpieza de destiladores y zona de producción</p> <p>2. Alcance Este procedimiento es aplicable a la limpieza de los destiladores, la zona de producción y la zona de almacenamiento</p> <p>3. Responsable Responsable del proceso de destilación de frutos de limón</p> <p>4. Ejecutor Personas encargadas del desmontado y lavado de destiladores y la zona de producción y almacenamiento</p> <p>5. Materiales 5.1 Agua 5.2 Destiladores 5.3 Cepillos metálicos</p> <p>6. Descripción 6.1 Quitar el florentino 6.2 Destapar el destilador 6.2 Sacar la materia vegetal (torta) del destilador y colocarla en el recipiente para desperdicios 6.3 Filtrar el agua residual de destilación de cada destilador antes de su eliminación 6.3 Lavar con abundante agua y remover con cepillo metálico toda la materia vegetal que se encuentra en la superficie del destilador 6.4 Enjuagar con abundante agua los destiladores 6.5 Lavar una segunda vez los destiladores 6.6 Barrer los desechos de palo santo del piso, recogerlos y colocarlos en los recipientes para desperdicios 6.7 Baldear y trapear el piso con abundante agua 6.8 Limpiar mesones y gavetas con franela húmeda 6.9 Dejar los destiladores y todos los componentes listos para un nuevo turno</p> <p>6. Registro Hoja de registro de limpieza de destiladores y zona de producción</p>		
<p>Distribución: Personas que trabajan con limón</p>	<p>Usuario: Operarios</p>	<p>Copia Nº: 01</p>
<p>Elaborado: C.E.L.R</p>	<p>Revisado: B.E.V.V</p>	<p>Aprobado: M.A.M.C</p>
<p>Prohibida su reproducción total o parcial sin autorización del Autor</p>		

 <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA <i>La Universidad Católica de Loja</i></p>	<p>PROCESIDEMIENTO DE LIMON (Citrus aurantifolia)</p>	<p>Nº: CELR-CA-06 Rev: 01 Fecha: 05-08-17 Pág: 1/1</p>
<p>1. Objeto Determinar la composición química del aceite esencial de limón</p> <p>2. Alcance Este procedimiento es aplicable a la determinación de la composición química del aceite esencial.</p> <p>3. Responsable Responsable del proceso de destilación de frutos de limón</p> <p>4. Ejecutor Persona encargada de la determinación de la composición química del aceite esencial</p> <p>5. Materiales 5.1 Diclorometano grado cromatógrafo 5.2 Viales ámbar de 1 ml 5.3 Aceite esencial 5.4 Cromatografo de gases 5.5 Espectrómetro de masas 5.6 Micropipeta</p> <p>6. Descripción</p> <p>6.1 Preparación de la muestra 6.1.1 En un vial de 1 ml para cromatografía colocar 10 ul de diclorometano grado cromatógrafo 6.1.2 Añadir 1 ul de aceite esencial 6.1.3 Tapar herméticamente</p> <p>6.2 Inyección cromatográfica 6.2.1 Se realiza la inyección en un cromatografo de gases acoplado al espectrómetro de masas 6.2.1 Controlar la temperatura inicial del horno a 50°C, temperatura final de 250°C con 62 minutos de corrido de muestra 6.2.3 La fase en la que se corre la muestra es HP-INNOWax de 0.25mm * 30m * 0.25um 6.2.4 Terminado el tiempo de recorrido de muestra se reportará los datos</p> <p>6. Registro Ficha de laudo de análisis de aceite esencial</p>		

<p>Distribución: Personas que trabajan con limón</p>	<p>Usuario: Operarios</p>	<p>Copia Nº: 01</p>
<p>Elaborado: C.E.L.R</p>	<p>Revisado: B.E.V.V</p>	<p>Aprobado: M.A.M.C</p>
<p>Prohibida su reproducción total o parcial sin autorización del Autor</p>		

 <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA <i>La Universidad Católica de Loja</i></p>	<p>PROCESIDEMIENTO DE LIMON (Citrus aurantifolia)</p>	<p>Nº: CELR-CA-07 Rev: 01 Fecha: 05-08-17 Pág: 1/1</p>
<p>1. Objeto Eliminar los residuos sólidos generados en la extracción de aceite esencial de limón</p> <p>2. Alcance Este procedimiento es aplicable a la eliminación de los desechos producidos en la destilación aceite esencial.</p> <p>3. Responsable Responsable del proceso de destilación de frutos de limón</p> <p>4. Ejecutor Persona encargada de la eliminación de desechos en la línea de producción</p> <p>5. Materiales 5.1 Recipientes plásticos</p> <p>6. Descripción 6.1 Transportar los tanques con los desechos desde la zona de limpieza hasta la zona de evacuación de desechos 6.2 Los recipientes son lavados antes de ingresar nuevamente a la planta de producción</p> <p>6. Registro Ficha de control de procesamiento de aceite esencial.</p>		
<p>Distribución: Personas que trabajan con limón</p>	<p>Usuario: Operarios</p>	<p>Copia Nº: 01</p>
<p>Elaborado: C.E.L.R</p>	<p>Revisado: B.E.V.V</p>	<p>Aprobado: M.A.M.C</p>
<p>Prohibida su reproducción total o parcial sin autorización del Autor</p>		



**UNIVERSIDAD TÉCNICA
PARTICULAR DE LOJA**
La Universidad Católica de Loja

**PROCESIDEMIENTO DE
LIMON (Citrus aurantifolia)**

Nº: CELR-CA-08
Rev: 01
Fecha: 05-08-17
Pág: 1/1

1. Objeto

Resolución de quejas

2. Alcance

Este procedimiento es aplicable al proceso de venta de aceite esencial de limón Santo

3. Responsable

Persona encargada del proyecto limón

4. Ejecutor

Personas conocedoras del campo en el que se realiza la queja, con previa designación del director del proyecto

5. Materiales

Hoja de registro de quejas

6. Descripción

- 6.1 Se receta la queja
- 6.2 Se establece las acciones correctoras
- 6.3 Se ejecuta las acciones correctoras
- 6.4 Se establece la efectividad de las acciones correctoras

7. Registro

Hoja de registro de quejas

Distribución: Personas que trabajan con limón

Usuario: Operarios

Copia Nº: 01

Elaborado: C.E.L.R

Revisado: B.E.V.V

Aprobado: M.A.M.C

Prohibida su reproducción total o parcial sin autorización del Autor

ANEXO 11

Manuales de equipos

De la misma forma se elaboró manuales para la correcta manipulación de los equipos que se utilizan el proceso de destilación.

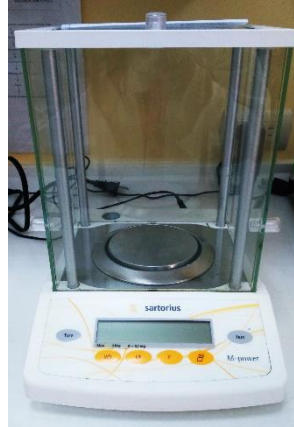
Se presentan a continuación.




**UNIVERSIDAD TÉCNICA
PARTICULAR DE LOJA**
La Universidad Católica de Loja

**MANUAL TECNICO DE OPERACIÓN
DE EQUIPOS (BALANZA
ANALITICA)**

Nº: CELR-CA-01
Rev: 01
Fecha: 05-08-17
Pág: 1/1



MANEJO Y FUNCIONAMIENTO

1. Asegúrese que el equipo esté conectado a una fuente de energía de 230 y 115V (de preferencia a 110V).
2. Verificar que la balanza este nivelada cada vez que se cambie de lugar de instalación caso contrario se la nivelara con ambas patas de regulación delantera.
3. Encienda y apague la balanza pulsando el botón 
4. Deje estabilizar hasta que la pantalla muestre 0,000000 g.
5. Coloque el recipiente vacío y tare, presionando la tecla TARE.
6. Cierre el blindaje de la balanza y pese (para resultados exactos deje la balanza encendida por 30 minutos luego de encenderla).



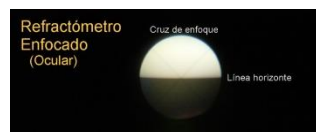
MANEJO Y FUNCIONAMIENTO

1. Conectar a una fuente de energía de 110V.
2. Encienda la balanza presionando en la parte inferior el botón ON.
3. Deje estabilizar hasta que muestre la pantalla 0,0000 Kg (se puede realizar el cambio de unidades de peso)
4. Coloque un recipiente vacío y tare, seguidamente realizar la pesada.
5. Apague la balanza presionando el botón OFF en la parte inferior de la balanza.



MANEJO Y FUNCIONAMIENTO

1. Conectar a una fuente de energía de 110V.
2. Encienda y apague el equipo con la tecla POWER, seguido se activará la lámpara junto con la pantalla de inicio.
3. Si la muestra es líquida tomar con una pipeta o gotero una o dos gotas y colocarlo en el prisma , cierre y coloque la lámpara.
4. Si la muestra es sólida debe tener una superficie lisa y pulida, colocar una o dos gotas de bromuro de naftaleno en el prisma y dejar reaccionar, cerrar los prismas.
5. Ajuste con la rueda de mano la “línea horizonte” en el centro de la cruz de enfoque, observando a través del ocular la siguiente figura.



6. Para leer presionar el botón READ.



MANEJO Y FUNCIONAMIENTO

1. Conectar el interruptor a una fuente de energía de 110 V.
2. Antes de encender el equipo, llenar el tanque del baño con agua destilada hasta la señal del mismo.
3. Encienda el equipo con la tecla **ON**.
4. Se visualizará en la pantalla digital (LED) por unos segundos, un valor máximo de 4 dígitos de la temperatura (3 integrales y un decimal).
5. Presione el botón **SET** para seleccionar la posición de cada dígito.
El dígito seleccionado parpadeará y se modificará el valor de cada dígito al pulsar las teclas **+** y **-** y de acuerdo a la temperatura requerida.
6. Una vez seleccionada la temperatura, se presiona el botón **ADJ** para confirmar la temperatura a la que se trabajará; por defecto el equipo regresara a la temperatura inicial hasta alcanzar el valor programado.
7. Apague el equipo con la tecla OFF.



MANEJO Y FUNCIONAMIENTO

1. Conecte el refrigerador a una fuente de corriente de 110V.
2. Ajuste el controlador de temperatura del congelador y del refrigerador en la posición máxima (en caso de encender el refrigerador).
3. Ajuste la perilla del controlador de temperatura del congelador y refrigerador de acuerdo al uso que se le dé al equipo tomando en consideración que se puede regular en mínimo, medio y máximo.
4. Coloque el material que desea conservar ya sea en los compartimentos del congelador (To máxima -18oC) o del frío "chiller" (To: 2oC más baja que el resto del compartimento refrigerador).
5. Si por alguna razón se desconecta bruscamente el refrigerador esperar 10 minutos para volverlo a prenderlo nuevamente.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA
PARTICULAR DE LOJA**
La Universidad Católica de Loja

MANUAL TÉCNICO DE OPERACIÓN DE EQUIPOS (DESTILADOR INDUSTRIAL)

Nº: CELR-CA-06
Rev: 01
Fecha: 05-08-17
Pág: 1/1



MANEJO Y FUNCIONAMIENTO

1. Verificar que las mangueras de gas y agua estén conectadas correctamente.
2. Colocar aproximadamente 18 litros de agua en el tanque del destilador hasta la señal ubicada en la parte interna del mismo.
3. Colocar la placa perforada dentro del destilador.
4. Esparcir el material vegetal sobre la placa perforada.
5. Colocar el sello de agua en los bordes del destilador y tape herméticamente el tanque de extracción.
6. Colocar las mangueras de entrada y salida de agua del refrigerante junto con el florentino.
7. Abrir la llave del gas y encienda la hornilla exponiendo el tanque a una fuente de calor.



MANEJO Y FUNCIONAMIENTO

1. Conectar el equipo a una fuente de energía de 220 V.
2. Encender el equipo presionando el interruptor.
3. Se visualizara en la pantalla de inicio las siguientes funciones: "Mode", "Parameter", "Date", "Data", "Help", "About".
4. Seleccionar la función "Mode" y escoger la opción con la que se desee trabajar, en este caso seleccionar "Specific Optical Rotation" ; presione "Confirm".
5. Ingresar a "Parameter".
6. Configurar "Measumerent Time"(número de veces a leer la muestra), SampleNo (digitar el número de muestra), Tube Length (longitud del tubo en mm), Concentration (digitar la concentración en g/100mL).
7. Seleccione "Back"
8. Finalmente seleccione "Re-measure" para proceder a la lectura de la muestra.
9. Si desea visualizar los valores de mediciones anteriores, escoja la opción "Data".
10. Apague el equipo presionando el interruptor



**UNIVERSIDAD TÉCNICA
PARTICULAR DE LOJA**
La Universidad Católica de Loja

**MANUAL TÉCNICO DE
OPERACIÓN DE EQUIPOS
(DESTILADOR INDUSTRIAL)**

Nº: CELR-CA-08
Rev: 01
Fecha: 05-08-17
Pág: 1/1



MANEJO Y FUNCIONAMIENTO

1. Para encender la lámpara, conectar el interruptor a la fuente de energía de 110 V.
2. Colocar las muestras en el plato de la lámpara y tápelas correctamente
3. Regular la temperatura de acuerdo con las muestras, en el caso de materia vegetal la temperatura adecuada es de 35°C. La temperatura máxima de la lámpara es de 150°C.
4. Regular el tiempo al cual la muestra se expondrá a la fuente de calor (lámpara).
5. Al momento de apagar desconecte el interruptor.