



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE
ENFRIAMIENTO PARA EL EQUIPO DE EXTRACCIÓN DE
ACEITES ESENCIALES POR ARRASTRE DE VAPOR”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROYECTOS TÉCNICOS

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTORES: MARTHA ALICIA PAUCAR MAZA

FERNANDO RAÚL ORTA TOAPANTA

DIRECTOR: ING. HANNIBAL LORENZO BRITO MOINA PhD.

RIOBAMBA-ECUADOR

2018

©2018 MARTHA ALICIA PAUCAR MAZA

FERNANDO RAÚL ORTA TOAPANTA

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

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

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de investigación: Tipo técnico “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PARA EL EQUIPO DE EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES POR ARRASTRE DE VAPOR”, de responsabilidad de los señores MARTHA ALICIA PAUCAR MAZA y FERNANDO RAÚL ORTA TOAPANTA, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Hannibal Brito Moina PhD.

**DIRECTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Ing. Valeria Tapia

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Nosotros, Martha Alicia Paucar Maza - Fernando Raúl Orta Toapanta, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación, el patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Fernando Raúl Orta Toapanta

Cédula de identidad: 060409982-0

Martha Alicia Paucar Maza

Cédula de identidad: 060427051-2

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis a mis padres, Ramón y María, quienes con su ejemplo y su apoyo incondicional me han guiado hasta la meta siempre por el camino correcto.

A mis hermanas Vicky e Isabel por su apoyo moral y comprensión en este arduo camino.

Martha Alicia Paucar Maza

Dedico este trabajo a mi padre, Raúl por ser el pilar más importante en mi vida, porque creyó en mí y porque me sacó adelante solo, dándome un ejemplo digno de superación, ya que siempre estuvo apoyándome moral y económicamente durante toda mi carrera.

Fernando Raúl Orta Toapanta

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la vida y salud, a mis maestros por ayudarme a terminar este trabajo y mis amigos que me han sabido apoyar y acompañar en este arduo trayecto de mi vida.

Martha Paucar

Un agradecimiento muy especial a los maestros que me guiaron y compartieron sus conocimientos para poder terminar este trabajo, y a mis amigos que me incentivaron a seguir adelante en cada obstáculo presentado.

Fernando Orta

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	XIII
--------------	------

ABSTRACT.....	XIV
---------------	-----

CAPÍTULO I

1	DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1	Identificación del Problema	1
1.2	Justificación del Proyecto.....	1
1.3	Línea de base del Proyecto.....	2
1.3.1	<i>Reconocimiento del lugar de la investigación</i>	2
1.3.2	Estado actual del Equipo	2
1.3.2.1	<i>Operación del equipo de extracción de aceite esencial</i>	3
1.3.3	<i>Metodología</i>	4
1.3.3.1	<i>Método inductivo</i>	4
1.3.3.2	<i>Método deductivo</i>	4
1.3.3.3	<i>Análisis de resultados</i>	4
1.3.3.4	<i>Parte experimental</i>	6
1.3.3.5	<i>Selección de un refrigerante</i>	7
1.4	Beneficiarios directos e indirectos	8

CAPÍTULO II

2	OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	9
2.1	General	9
2.2	Específicos	9

CAPÍTULO III

3	ESTUDIO TÉCNICO.....	10
---	----------------------	----

3.1	Localización del proyecto.....	10
3.2	Ingeniería del proyecto.....	10
3.2.1	Terminología.....	11
3.2.1.1	<i>Aceites esenciales</i>	<i>11</i>
3.2.1.2	<i>Sistema de enfriamiento.....</i>	<i>12</i>
3.2.1.3	<i>Diseño del Sistema de Enfriamiento.....</i>	<i>14</i>
3.2.2	Cálculos de diseño	20
3.2.2.1	<i>Cálculo del calor latente</i>	<i>20</i>
3.2.2.2	<i>Cálculo del calor sensible</i>	<i>20</i>
3.2.2.3	<i>Cálculo del calor total.....</i>	<i>20</i>
3.2.2.4	<i>Cálculo de la masa agua de refrigeración</i>	<i>21</i>
3.2.3	Diseño del evaporador	21
3.2.3.1	<i>Cálculo de la masa del refrigerante</i>	<i>21</i>
3.2.3.2	<i>Cálculo del coeficiente de convección del agua.....</i>	<i>22</i>
3.2.3.3	<i>Cálculo del Coeficiente Global de transferencia de calor</i>	<i>22</i>
3.2.3.4	<i>Cálculo de la media logarítmica de la diferencia de la temperatura.....</i>	<i>23</i>
3.2.3.5	<i>Área de transferencia de calor</i>	<i>23</i>
3.2.3.6	<i>Longitud de la tubería del evaporador.....</i>	<i>24</i>
3.2.3.7	<i>Número teórico de vueltas</i>	<i>24</i>
3.2.3.8	<i>Altura del tanque</i>	<i>24</i>
3.2.4	Tabla de Resultados.....	25
3.2.5	Dimensionamiento del soporte estructural.....	26
3.2.5.1	<i>Componentes</i>	<i>26</i>
3.2.5.2	<i>Estructura soporte</i>	<i>27</i>
3.3	Proceso de producción.....	29
3.3.1	Construcción y montaje.....	29
3.3.1.1	<i>Aspectos técnicos.....</i>	<i>29</i>
3.3.1.2	<i>Diagramas de procesos</i>	<i>29</i>
3.3.1.3	<i>Diagrama de operaciones para el desarrollo del sistema de refrigeración.....</i>	<i>30</i>
3.3.1.4	<i>Construcción de estructura soporte.....</i>	<i>30</i>
3.3.1.5	<i>Construcción del evaporador</i>	<i>31</i>
3.3.1.6	<i>Ensamblaje de componentes del sistema.....</i>	<i>33</i>
3.3.2	Validación del equipo	37
3.3.2.1	<i>Cálculos realizados para la validación del equipo</i>	<i>37</i>
3.4	Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria	39

3.4.1	<i>Etapa de verificación del estado del sistema de enfriamiento inicial.</i>	39
3.5	Análisis de costo	40
3.5.1	<i>Costo de inversión</i>	40
3.6	Análisis y discusión de resultados	42
	CONCLUSIONES	444
	RECOMENDACIONES	455
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Descripción de los elementos del equipo de extracción de aceites esenciales	5
Tabla 2-1: Matriz elemental para selección del evaporador	5
Tabla 3-1: Propiedades físicas del refrigerante 134a	8
Tabla 1-3: Datos de diseño	20
Tabla 2-3: Datos adicionales	20
Tabla 3-3: Datos para el cálculo de la masa del refrigerante	21
Tabla 4-3: Datos para el cálculo del coeficiente de convección	22
Tabla 5-3: Datos para el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor	22
Tabla 6-3: Datos para el cálculo de la media logarítmica de la diferencia de la temperatura	23
Tabla 7-3: Dato para el cálculo del área de transferencia de calor	23
Tabla 8-3: Resultados del dimensionamiento del sistema de enfriamiento	25
Tabla 9-3: Datos de la temperatura del agua	37
Tabla 10-3: Recursos materiales del sistema de enfriamiento	40
Tabla 11-3: Mano de obra del sistema de enfriamiento	41
Tabla 12-3: Recursos totales del sistema de enfriamiento	41
Tabla 13-3: Análisis de los resultados en la validación VS sin la implementación del sistema	42

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1:	Equipo de Extracción de aceite esencial _____	3
Gráfico 2-1:	Esquema del equipo de extracción de aceites esenciales _____	5
Gráfico 1-3:	Mapa de ubicación del laboratorio de Procesos Industriales en la ESPOCH ____	10
Gráfico 2-3:	Unidad condensadora nivel 1 _____	26
Gráfico 3-3:	Evaporador nivel 2 _____	27
Gráfico 4-3:	Estructura Soporte _____	28
Gráfico 5-3:	Equipo sistema de enfriamiento AUTOCAD _____	28
Gráfico 6-3:	Proceso de montaje del sistema de refrigeración _____	30
Gráfico 7-3:	Perfil angular metálico _____	31
Gráfico 8-3:	Deposito rectangular _____	32
Gráfico 9-3:	Serpentín helicoidal _____	32
Gráfico 10-3:	Diagrama general de montaje _____	33
Gráfico 11-3:	Evaporador ensamblado _____	354
Gráfico 12-3:	Serpentín _____	354
Gráfico 13-3:	Filtro _____	355
Gráfico 14-3:	Visor _____	355
Gráfico 15-3:	Válvula VET _____	355
Gráfico 16-3:	Sistema de enfriamiento _____	356

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A.** Sistema de enfriamiento
- Anexo B.** Diagrama de equipo
- Anexo C.** Diagrama del equipo por partes
- Anexo D.** Validación

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de titulación fue implementar un sistema de enfriamiento para el equipo de extracción de aceites esenciales por arrastre de vapor del Laboratorio de Procesos Industriales, de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo el trabajo se inició con un análisis global del equipo de extracción de aceites esenciales para lo cual se realizó el reconocimiento del funcionamiento y condiciones actuales del equipo, y se llegó a identificar que los problemas del extractor de aceites fueron ocasionados por el deficiente enfriamiento en la zona de condensación. En base a los métodos experimentales, se plantearon dos diseños de acuerdo a cálculos de ingeniería, escogiendo el que cumpla con los requisitos de rendimiento, tomando en cuenta las alternativas planteadas se optó por la segunda siendo así un sistema de enfriamiento que se adicionará al equipo de extracción de aceites en el proceso de recirculación para el condensado. De forma posterior se realizó un trabajo demostrativo del diseño planteado. Los resultados fueron de una razón de alimentación de 22,3 kg/h, la cantidad de calor removido del vapor destilado fue 27651,41 kg/h, logrando así que la temperatura final del destilado sea de 19° C, de acuerdo con esto se concluyó que al realizar la validación del equipo mediante la operación de extracción de aceite esencial de una muestra de eucalipto aromático se obtuvo un volumen de aceite de 177 ml, lo que indica un aumento en el rendimiento del equipo de extracción de 0,19 % a 1,96 %, verificando que el sistema de enfriamiento obtuvo una remoción de calor de 452,97 watts en el flujo de destilado. Se recomienda automatizar su respectivo procedimiento para una mayor facilidad de uso y verificación del proceso que se lleva a cabo.

Palabras clave: <CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES>, <INGENIERIA QUIMICA>, <REFRIGERANTE>, <EXTRACCION DE ACEITE>, <SISTEMA DE ENFRIAMIENTO>, <RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN>, <REMOCIÓN DE CALOR>.

ABSTRACT

The objective of this research work was to implement a cooling system for the extraction equipment of essential oils by arrastre vapour from the Industrial Processes Laboratory, of the Sciences Faculty at Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. The work began with an overall analysis of the extraction equipment of essential oils for which the functioning recognition and current conditions of the equipment were carried out, and it was identified that the problems of the oil extractor were caused by poor cooling in the condensation zone. Based on the experimental methods, two designs were proposed according to engineering standards, choosing that they meet the performance requirement taking into account the level of performance required, taking into account the selected alternatives, the second option was chosen as well as a cooling system that will be added to the extraction equipment of oils in the recirculation process for the condensate. Subsequently, a demonstrative work of the proposed design was carried out. The results were of a feeding reason of 22,3 kg / h, the amount of calories extracted from the distilled vapour was 27651,41 kg / h, thus achieving the final temperature of the distilled was 19 ° C. According to this, it was concluded that when validating the equipment by extracting essential oil from an aromatic eucalyptus sample, an oil volume of 177 mL, was obtained, which indicates an increase in the performance of the extraction equipment from 0,19% to 1,96%, verifying that the cooling system obtained a heat removal of 452,97 watts in the distillate flow. It is recommended to automate its respective procedure for greater ease of use and verification of the process that takes place.

Keywords: <EXACT AND NATURAL SCIENCES>, <CHEMICAL ENGINEERING>, <REFRIGERANT>, <EXTRACTION OF OIL>, <COOLING SYSTEM>, <EXTRACTION PERFORMANCE>, <HEAT REMOVAL>.

CAPÍTULO I

1 DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Identificación del Problema

En el laboratorio de Procesos Industriales se encuentra el equipo para la extracción de aceites esenciales por arrastre de vapor el cual carece de un sistema de enfriamiento adecuado ya que al momento de su diseño no se tomó en cuenta factores importantes como temperatura máxima, cantidad de agua y tiempo para obtener la mayor cantidad de aceite sin necesidad de saturar la materia prima. Debido a esto se vio la necesidad de implementar un sistema de enfriamiento para que la extracción de dichos aceites sea más eficiente para obtener de esta manera la mayor cantidad de producto en un menor tiempo de condensación, para garantizar la utilización de la materia prima al máximo.

Con base en lo anterior, se puede sintetizar el problema de la siguiente manera: ¿Cómo diseñar y construir un sistema de enfriamiento para el equipo de extracción de aceites esenciales el mismo que garantice la extracción de la mayoría del aceite contenido en el material vegetal?

1.2 Justificación del Proyecto

EL presente proyecto surge con la necesidad de diseñar un sistema de enfriamiento para el equipo de extracción de aceites esenciales por arrastre de vapor con el propósito de mejorar el rendimiento de la producción de aceite esencial ya que este equipo que se encuentra ubicado en el laboratorio de Procesos Industriales no cuenta con un suministro de agua constante siendo este el principal problema para que las prácticas de laboratorio no se realicen las cuales son de vital importancia para un buen desarrollo académico de los estudiantes, la implementación de este sistema de enfriamiento está dirigida a eliminar dicho problema que afecta directamente a los estudiantes de la ESPOCH, y teniendo en cuenta sus necesidades se busca introducir un equipo adecuado para que este sector realice prácticas de laboratorio con la utilización de un prototipo accesible y fácil de utilizar, los aceites esenciales son utilizados en el campo de la salud, como aromatizantes y saborizantes: para suplir la demanda en estos sectores comerciales se debe fabricar en grandes cantidades al menor costo. Teniendo en cuenta esto, con la ejecución de este proyecto se busca optimizar el rendimiento del equipo para la extracción de aceites esenciales. Esto se hace debido a que entre más tiempo de extracción ha transcurrido la cantidad de aceite en

el vegetal disminuye, y por consiguiente la extracción de este aceite se dificulta hasta el punto de convertirse en desperdicio de tiempo y energía, con esto se logra la relación costo-producción más conveniente para el empresario.

En si este sistema de enfriamiento se realizará con la finalidad de mejorar la eficiencia del equipo de extracción de aceites esenciales por arrastre de vapor disminuyendo así el tiempo de condensación, el mismo que se realizará con la aplicación de cálculos enfocados a la ingeniería. Este equipo de extracción de aceites esenciales es de suma importancia ya que brindará un soporte académico-práctico al laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias donde los estudiantes de las diferentes carreras podrán realizar prácticas e investigaciones aplicando los conocimientos adquiridos en las aulas.

1.3 Línea de base del Proyecto

1.3.1 Reconocimiento del lugar de la investigación

El presente trabajo técnico se ejecutó en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias específicamente en el laboratorio de procesos industriales, en el mismo se hizo un análisis global de los equipos de dicho laboratorio, enfocándonos en las fallas de diseño y funcionamiento que estos posean, se llegó a la conclusión que el equipo de extracción de aceite esenciales presenta problemas al momento de la condensación de la mezcla vapor-aceite, debido a esto se planteó la implementación de un nuevo sistema de enfriamiento para corregir dicho problema, con lo cual se tendrá un mayor rendimiento en la obtención de aceite.

1.3.2 Estado actual del Equipo

El equipo de extracción de aceites esenciales está compuesto por un recipiente extractor en el cual se deposita el material vegetal, la cual posee una tapa que está conectada al condensador, al elevar la temperatura del recipiente se forma una mezcla vapor-aceite, esta pasa por el condensador en el cual realiza un intercambio de calor con el agua, obteniendo como resultado agua-aceite. El sistema de enfriamiento que utiliza actualmente el equipo de extracción es un sistema simple de recirculación, como se muestra en el gráfico 1-1.

Gráfico 1-1: Equipo de Extracción de aceite esencial



Realizado por: ORTA, F; PAUCAR, M. 2018

1.3.2.1 Operación del equipo de extracción de aceite esencial

- Lavar las hojas o parte de la planta que se someterá a extracción dejar secar al ambiente por unos 10 minutos en caso de ser necesario (si hay presencia de impurezas)
- Picar las partes de la planta de acuerdo a la cantidad indicada por el asistente
- Pesar el vegetal picado y luego ir colocando en cada uno de los recipientes de carga destinado para aquello
- Colocar los recipientes con vegetal en el interior del recipiente extractor
- Verificar que la llave de purga del extractor se encuentre cerrada
- Alimentar al extractor 1,5 Kg de agua por cada Kg de vegetal dispuesto a extracción
- Asegurar herméticamente la tapa con sus respectivos seguros para evitar que exista fuga de vapor
- Acoplar el condensador a la tapa del extractor y asegurarla herméticamente
- Acoplar la tubería del sistema de recirculación del refrigerante por medio de una unión universal
- Verificar que esté cerrado la llave de desfogue del tanque de recirculación
- Conectar la bomba a una fuente de 110 V
- Abrir la válvula de gas y encender el quemador
- Encender la bomba cuando se aprecie las primeras gotas de condensado
- Recoger el condensado en un embudo de separación
- Separar el aceite esencial recogido a medida que se llene el embudo y guardarlo en un recipiente de color obscuro de preferencia
- Apagar el quipo (ACAN, F; PILATAXI, J, 2014, p. 124)

1.3.3 Metodología

1.3.3.1 Método inductivo

Este método le permite al investigador mediante una observación detallada del proceso de extracción, conocer el funcionamiento y condición actual del equipo e identificar el principal problema en la etapa de condensación, esto permitió determinar los factores que afectan el normal funcionamiento del equipo de extracción y como corregir sus condiciones de operación.

1.3.3.2 Método deductivo

Una vez conocidos los problemas que presenta la operación de extracción de aceites esenciales mediante técnicas de inducción, se llega a la generalización de que los problemas de funcionamiento del equipo extracción están siendo ocasionadas por el deficiente enfriamiento en la etapa de condensación, por lo cual si se quiere aumentar el rendimiento del equipo se debe solucionar los problemas de enfriamiento con lo cual se mejora las condiciones de operación para la resolución de dichos problemas se emplearán técnicas y cálculos de ingeniería para diseñar un nuevo sistema de enfriamiento mejorando el proceso de extracción.

1.3.3.3 Análisis de resultados

- **Definición del problema de diseño**

La formulación y delimitación del problema de ingeniería es un aspecto fundamental para un correcto diseño de ingeniería, en este proyecto técnico, el problema fue identificado en la etapa de condensación, ya que el agua de enfriamiento utilizada se encontraba a una temperatura no adecuada y no permitía una correcta extracción de aceite.

De acuerdo a la delimitación del problema anteriormente mencionado, se propuso la implementación de un óptimo sistema de enfriamiento.

- **Descripción del extractor de aceite esencial**

El equipo de extracción de aceite esencial que es objeto de estudio, contiene los siguientes elementos operativos descritos en la tabla 1-1

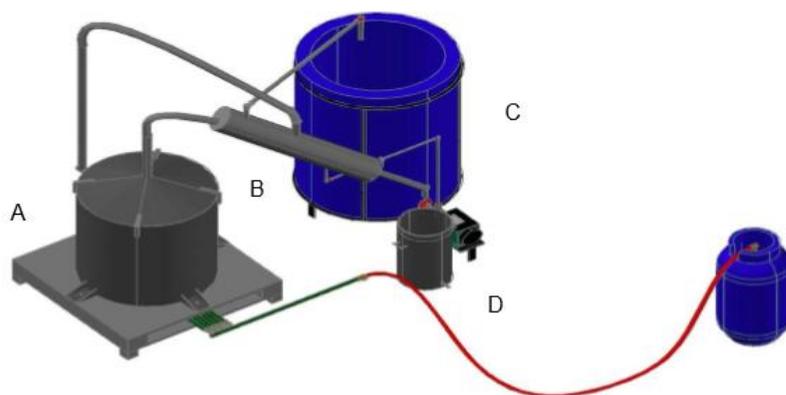


Gráfico 2-1: Esquema del equipo de extracción de aceites esenciales
Fuente: Acán Fausto y Pilataxi José, 2014

Tabla 1-1: Descripción de los elementos del equipo de extracción de aceites esenciales

IDENTIFICACIÓN	ELEMENTO
A	Extractor
B	Condensador
C	Sistema de recirculación de refrigeración para el condensador
D	Embudo de separación

Fuente: Acán Fausto y Pilataxi José, 2014

- **Alternativas de sistemas de enfriamiento de acuerdo al evaporador**

Alternativa A: Enfriado por líquido

Alternativa B: Enfriado por aire

Tabla 2-1: Matriz elemental para selección del evaporador

ASPECTOS	PONDERACIÓN	TIPO DE EVAPORADOR	
		A	B
TÉCNICOS	50	47	37
Aplicación	16	15	12
Facilidad de construcción	14	14	11
Espacio físico	9	8	6
Disponibilidad	7	6	5
Grado de complejidad	4	4	3
ECONÓMICOS	30	27	17
Costo de adquisición	13	12	7
Costo de operación	13	11	6
Costo de mantenimiento	4	4	4

COMPLEMENTARIOS	20	16	15
Confiabilidad	10	10	9
Facilidad de operación	10	6	6
Puntuación total	100	90	69

Realizado por: ORTA, F; PAUCAR, M. 2018

Al realizar el análisis de los resultados, considerando los aspectos definidos en la tabla 1-2, se establece que el intercambiador de calor más apropiado es el enfriado por líquido, ya que este obtiene la mayor puntuación técnica con un total de 90 puntos frente a los 69 puntos que obtuvo el intercambiador de calor enfriado por aire.

• **Construcción del prototipo**

Una vez determinado el sistema de enfriamiento más conveniente, se procedió a detallar los parámetros, dimensiones y especificaciones técnicas para el diseño, y posteriormente para su construcción en base al diseño, para ello es necesario tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Utilizar materiales de buena calidad, que toleren la acción corrosiva de las temperaturas y condiciones a las que opere el equipo.
- Ajustar el presupuesto a la construcción del equipo.
- Disponer de todos los implementos de seguridad durante la etapa de construcción.

1.3.3.4 Parte experimental

Al realizar las prácticas de laboratorio de extracción de aceites, se debe tener en cuenta que al momento de llegar a la temperatura de 80⁰ C el vapor se dirige hacia el condensador, es aquí donde se encuentra el problema a resolver, ya que para la condensación hay un tanque de agua, esta recircula durante varias horas aumentando su temperatura considerablemente, esto causa un descenso en la remoción de calor, hasta el punto que deja de condensar el aceite, ya que no existe una eficiente transferencia de calor entre el agua de enfriamiento y el vapor.

Una vez identificado el problema en el equipo de extracción de aceite, se indagó las herramientas que permitan solucionar el problema anteriormente planteado en el presente proyecto técnico, para esto se realizó prácticas de laboratorio siguiendo la técnica de extracción, esto nos permitió conocer los parámetros y variables que deben ser controladas con el fin de obtener un correcto enfriamiento de la mezcla vapor-agua, se establece que la temperatura es la variable a tratar para que el agua que interactúa con el vapor en el condensador sea óptima para obtener un alto rendimiento en la extracción de aceites y una mayor eficiencia en el equipo.

Después de ejecutar varias prácticas de laboratorio, se da la propuesta de implementar un sistema de enfriamiento por refrigeración con recirculación de agua, con lo cual el agua sale al

condensador a 14°C , y retorna a una temperatura de 40°C , logrando de esta manera una mayor eliminación de calor.

Los parámetros determinados son, el volumen de agua para tener la máxima remoción de calor posible, la capacidad para bajar la temperatura, y el tiempo de enfriamiento, estos se determinaron mediante balances de masa y energía, en base a estos se desarrollará el rendimiento de la operación de extracción.

1.3.3.5 Selección de un refrigerante

El desarrollo de cualquier sistema de refrigeración, implica elegir el correcto refrigerante en cuanto a sus propiedades y características que lo hacen único.

Teniendo una cantidad muy amplia de refrigerantes en el mercado, para los distintos sistemas de refrigeración o acondicionamiento requeridos.

Los refrigerantes como el R11, R12, R22, R134a, y R502 abarcan, por ejemplo un uso aplicativo de un 90% en Estados Unidos, reflejando el dimensionamiento aplicativo en diferentes sistemas para su aplicación.

“Hay que tener en cuenta, que el debilitamiento de la capa de ozono ha ocasionado una gran variación y cambios en la industria de refrigeración y acondicionamiento, generando un análisis profundo y crítico de los refrigerantes actualmente considerados como tóxicos. Siendo los refrigerantes CFC (R-12), los responsables de mayor daño directo a la capa de ozono. Debido a esto, en la actualidad se están desarrollando refrigerantes favorables al medio ambiente, como por ejemplo el reemplazo del HCFC (R-22), por el refrigerante R-134a, libre de cloro”.(CENGEL, Y. Termodinámica, pp, 627-628).

Basándonos en todo lo anteriormente mencionado se escoge el refrigerante 134a ya que este no es perjudicial para la capa de ozono al no poseer cloro en su estructura, además es una sustancia con muy poca toxicidad, no es inflamable y posee una gran estabilidad térmica y química, este es utilizado en sistemas de aire acondicionado de autos, refrigeradores domésticos, bombas de calor, transporte frigorífico y una amplia gama de enfriadores (chillers) dentro del sector industrial.

Su compatibilidad de uso, en sistemas que componen materiales como el cobre, aluminio con aleación, hierro y latón.

Tabla 3-1: Propiedades físicas del refrigerante 134a

PROPIEDADES FISICAS	UNIDADES	R-134A
Peso molecular	(g/mol)	102
Punto de ebullición (a 1,013 bar)	(°C)	-26.1
Punto de congelación	(°C)	-103
Temperatura crítica	(°C)	101.1
Presión crítica	(bar abs)	40.67
Densidad crítica	(Kg/m ³)	508
Densidad del líquido (25°C)	(Kg/m ³)	1.206
Densidad del líquido (0°C)	(Kg/m ³)	1.293
Densidad del vapor saturado (a punto ebull.)	(Kg/m ³)	5,28
Presión de vapor (25°C)	(bar abs)	6.657
Presión de vapor (0°C)	(bar abs)	2,92
Calor de vaporización a punto de ebullición	(KJ/Kg)	217,2
Calor específico del líquido (25°C) (1,013 bar)	(KJ/Kg.K)	1.44
Calor específico del vapor (25°C) (1,013 bar)	(KJ/Kg.K)	0.85
Viscosidad del líquido (25°C)	(cP)	0.202
Presión superficial (25°C)	(mN/m)	8,09
Solubilidad del R134a en agua (25°C a 1,013 bar)	(wt%)	0.15
Capacidad volumétrica refrig. (-25°C)	(Kg/m ³)	1192.11
Inflamabilidad		No
ODP	-	0
PCA (GWP)	-	1430 *

Fuente: https://www.gas-servei.com/images/Ficha_tecnica_R134A.pdf

1.4 Beneficiarios directos e indirectos

Los beneficiarios directos serán los estudiantes de la Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química y los indirectos corresponden a los estudiantes de las diferentes facultades de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

CAPÍTULO II

2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1 General

- Diseñar y construir un sistema de enfriamiento para el equipo de extracción de aceites esenciales por arrastre de vapor.

2.2 Específicos

- Diagnosticar el estado actual en el que se encuentra el equipo de extracción de aceites esenciales por arrastre de vapor.
- Identificar el sistema de enfriamiento más adecuado para el equipo.
- Determinar el volumen de agua fría que necesita el equipo para la recirculación.
- Realizar cálculos de ingeniería para el dimensionamiento del sistema de enfriamiento.
- Implementar el sistema de enfriamiento en el equipo de extracción de aceites esenciales.
- Validar el sistema de enfriamiento mediante práctica de laboratorio.

El diseño en ingeniería corresponde a un proceso iterativo, en el que existe una combinación de la matemática, ciencias experimentales, para lograr el proceso de fabricación de un equipo, sistema o proceso que cumpla con las expectativas deseadas y objetivos planteados, en base a las principales características, dimensiones físicas, variables de operación y limitaciones de diseño.

3.2.1 Terminología

3.2.1.1 Aceites esenciales

Los aceites esenciales son las fracciones líquidas volátiles, producto del metabolismo secundario de las plantas, que contienen las sustancias responsables del aroma y que son importantes en la industria cosmética (perfumes y aromatizantes), de alimentos (condimentos y saborizantes) y farmacéutica (saborizantes).

➤ Aplicación de los aceites esenciales

Los aceites esenciales son utilizados en la elaboración de varios productos industriales:

- Adhesivos: Gomas, pastas, pegamentos, cintas, vendas quirúrgicas.
- Industria del motor: Pulimentos, limpiadores, pinturas, muebles.
- Farmacéutica: Pasta de dientes, preparaciones dentales, medicinas patentadas, preparaciones medicadas para el cabello, aplicaciones para el cuerpo, productos herbales, etc.
- Polímeros y pinturas: Pinturas para la casa, barnices, plásticos y juguetes, utilidades de la casa.
- Insecticidas y repelentes: Sprays, eliminadores de olor, desinfectantes, preparaciones repelentes.
- Cuerpo: Desodorantes y fragancias.
- Papel, impresión y empaquetado: Papelería especial, tintas, materiales de envoltura, materiales de embalaje, cintas adhesivas, etc.
- Petróleo: Cremas desodorantes, solventes de la nafta, aceites lubricantes, destilados especiales del petróleo, ceras.
- Bebidas: Bebidas carbonatadas, licores, concentrados, esencias.
- Veterinario: Alimentos de animales, sprays y desodorantes, medicamentos y preparaciones antiparasitarias.
- Género de la casa: detergentes, jabones, preparaciones de limpieza.
- Textiles: Desodorantes, materiales de tapicería, tintes y preparaciones de pigmentos.
- Artículos de baño: Perfumes, fragancias, shampoos, colonias, aceites, cremas, utilización general del baño, talcos, etc.

➤ *Extracción de aceites esenciales*

Es el método más común de extracción de los aceites esenciales. Se suele utilizar con plantas etc. Para ello se utiliza un alambique en el que se introduce la parte de la planta que queremos destilar junto con agua. Al calentarse, el vapor arrastra las moléculas volátiles de la planta que van a parar a otro recipiente junto con el vapor. Al enfriarse, la diferente densidad del agua con el aceite hace que la esencia quede depositada en la parte superior separada del vapor, ya convertido en agua relativamente resistentes cuya esencia se encuentra en partes como las hojas, el tallo, el tronco,

3.2.1.2 *Sistema de enfriamiento*

“La refrigeración mecánica es el proceso mediante el cual se reduce la temperatura de una sustancia por debajo de la que prevalece en su ambiente. La industria de procesos químicos es uno de los usuarios más importante de las instalaciones de refrigeración. Los grandes usuarios típicos de la refrigeración es este campo realizan procesos como la elaboración de hule sintético y textiles, refrigerantes, cloro, plásticos, fluoruro de hidrógeno, intermedios de nafteno, tinturas, tereftalato de dimetilo, acrilonitrilo y caprolactama”. (DOMÍNGUEZ, 1995, p. 70).

“La refrigeración se emplea para suprimir calor de reacciones químicas, licuar gases de procesos, separar gases por destilación y condensación y purificar productos mediante la congelación de separación selectiva de un componente de una mezcla. La refrigeración se usa también en forma amplia en el acondicionamiento de aire de zonas de plantas industriales, con fines de confort y en aplicaciones asociadas a procesos y al aprovechamiento térmico ambiental. El acondicionamiento de aire es el proceso que consiste en tratar el aire de tal modo que se controlen simultáneamente su temperatura, su humedad, limpieza y distribución para satisfacer los requisitos del espacio acondicionado”. (GARCÍA, 2013, p. 55).

“El desarrollo y la ampliación de procesos a bajas temperaturas de ha ampliado de una manera impresionante en la última década. La utilización el oxígeno y el nitrógeno líquido en el desarrollo de cohetes y naves espaciales han generado un aumento increíble en la capacidad de licuefacción y separación del aire”. (DOMÍNGUEZ, 1995, pp. 73-74)

➤ *Enfriamiento Directo*

“En el cual el fluido de enfriamiento, en este caso el agua fría, va directamente al proceso y regresa como agua caliente a la parte superior (charolas), de la torre de enfriamiento”. (Giménez Thomsen, 2007, p. 89)

➤ Enfriamiento Indirecto

“En este caso el agua fría intercambia calor con un equipo (intercambiador de calor) y regresa como agua caliente a la parte superior de la torre, en el intercambiador de calor el fluido frío pasa por el proceso intercambia calor y regresa al intercambiador como fluido caliente”. (DOMÍNGUEZ, 1995, p. 90)

➤ Sistema de recirculación cerrado

“El agua circula dentro del sistema y no hay contacto con la atmósfera, en este tipo de sistema no hay pérdidas por evaporación, ni por purgado.” (McCabe, 2000, pp. 50-51)

➤ Sistema de recirculación abierto

“En este tipo de sistema existe contacto con la atmósfera, por lo que existe pérdidas por evaporación y por purgado.” (DOMÍNGUEZ, 1995, p. 91).

➤ Por funcionamiento

“Dependiendo del funcionamiento existen cuatro tipos básicos de sistemas de enfriamiento de aguas: Aire acondicionado, Chiller (Enfriamiento rápido), Refrigeración, Torres de enfriamiento”. (González, 1998, p. 36).

➤ *Enfriador Chiller*

El enfriador de agua ó water chiller es una unidad enfriadora de líquidos. En modo bomba de calor también puede servir para calentar ese líquido. El evaporador tiene un tamaño menor que el de los enfriadores de aire, y la circulación del agua se proporciona desde el exterior mediante bombeo mecánico. (Giménez Thomsen, 2007, p. 460).

3.2.1.3 Diseño del Sistema de Enfriamiento

A continuación, se hace un breve estudio de las ecuaciones y cálculos respectivos que se emplearán en el diseño y construcción del sistema de enfriamiento para el equipo de extracción de aceites esenciales.

➤ Calor latente

Es el calor necesario que se debe suministrar a una sustancia para que ésta cambie de fase.

$$Q_L = m * h_{fg}$$

Ecuación 1

Donde:

Q_L: Calor latente de vaporización (KJ)

m: Masa de agua (Kg)

h_{fg}: Entalpia de vaporización (KJ/kg)

➤ Calor sensible

Es la cantidad de calor que requiere un cuerpo para aumentar su temperatura sin cambiar su estado.

$$Q_s = m * Cp * \Delta T$$

Ecuación 2

Donde:

Q_s: Calor sensible (kJ)

m: Masa de agua (Kg)

C_p: Capacidad calorífica del agua (KJ/Kg°C)

ΔT: Variación de temperatura

- Calor total de evaporación del agua

El calor total que requiere un fluido para pasar de fase líquida a gas la cual es igual al calor sensible más el calor latente de vaporización.

$$Q_T = Q_L + Q_s$$

Ecuación 3

Donde:

Q_T: Calor total para evaporación del agua (KJ)

Q_L: Calor latente de vaporización (KJ)

Q_s: Calor sensible (kJ)

- Cantidad de agua de refrigeración

Volumen de agua necesaria para disipar el calor en el condensador.

$$m_{ar} = \frac{Q_{\text{pierde (vapor+aceite esencial)}}}{Cp_a * \Delta T}$$

Ecuación 4

Donde:

m_{ar}= masa de agua de refrigeración (Kg)

C_p: Capacidad calorífica del agua (KJ/Kg°C)

ΔT: Variación de temperatura

➤ Masa del refrigerante

Es la masa de refrigerante utilizada en un sistema de enfriamiento para funcionar a condiciones indicadas.

$$m_r = \frac{Q_{H_2O}}{Q_r}$$

Ecuación 5

Donde:

m_r = masa de refrigerante (Kg)

Q_{H_2O} = calor del agua (KJ)

Q_r = calor

➤ Coeficiente de transferencia de calor por convección para el agua

La transferencia de calor por convección de un cuerpo comprende el movimiento de un fluido (líquido o gas) en relación con el cuerpo.

$$h_{agua} = \frac{k_{agua} * NuD}{D}$$

Ecuación 6

Donde

h_{agua} = Coeficiente de convección del agua ($W/m^2°C$)

k_{agua} = Conductividad térmica del agua ($W/m°C$)

NuD = Numero Nusselt

D = Diámetro interior del tanque (m)

- Coeficiente global de transferencia de calor

Cuando en un problema de transferencia intervienen varias resistencias térmicas en serie, en paralelo, o en combinación de ambas formas

$$U_0 = \frac{1}{\frac{r_0}{r_i * h_r} + \frac{r_0 * \ln \frac{r_0}{r_i}}{K_{Cu}} + \frac{1}{h_{H_2O}}}$$

Ecuación 7

Donde:

U_0 = Coeficiente global de transferencia de calor ($W/m^2\text{°C}$)

r_0 = Radio exterior de la tubería de cobre (m)

r_i = Radio interno de la tubería de cobre (m)

h_{H_2O} = Coeficiente de convección del agua ($W/m^2\text{°C}$)

h_r = Coeficiente de convección del refrigerante ($W/m^2\text{°C}$)

K_{Cu} = Conductividad térmica del cobre ($W/m\text{°C}$)

- Media logarítmica de temperatura

Se utiliza muy a menudo en el diseño y dimensionamiento de intercambiadores de calor en la industria.

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$$

Ecuación 8

Donde:

ΔT_{ml} = Media logarítmica de temperatura

ΔT_A = Variación de temperatura en el extremo A

ΔT_B = Variación de temperatura en el extremo B

- Área de transferencia de calor

Esta ecuación nos sirve para calcular el área o parte del evaporador en el cual tendrá lugar el intercambio de calor.

$$A_s = \frac{Q_p}{U_o * \Delta T_{ml}}$$

Ecuación 9

Donde:

A_s = Área de transferencia de calor (m^2)

Q_p = Calor perdido por el agua (W)

U_o = Coeficiente global de transferencia de calor ($W/m^2\text{°C}$)

ΔT_{ml} = Media logarítmica de temperatura

- Longitud de la tubería del evaporador

Esta ecuación permite el cálculo del tamaño del serpentín la cual depende del área total de transferencia de calor.

$$L_0 = \frac{A_s}{\pi * 2 * r_0}$$

Ecuación 10

Donde:

L_0 = Longitud de la tubería del evaporador (m^2)

A_s = Área de transferencia de calor (m^2)

r_0 = Radio exterior de la tubería de cobre (m)

➤ Número teórico de vueltas

Es el número de vueltas teórico que tendrá el serpentín la cual depende de la longitud de la tubería.

$$N_v = \frac{L_0}{Pc}$$

Ecuación 11

Donde:

N_v = Número de vueltas teórico

L_0 = Longitud de la tubería del evaporador (m^2)

Pc = Perímetro del serpentín helicoidal (m)

➤ Altura del tanque

Es el tamaño del tanque del evaporador.

$$H_T = N_v(2 * r_0 + E_s)$$

Ecuación 12

Donde:

H_T = Altura del tanque (m)

N_v = Número de vueltas teórico

r_0 = Radio exterior de la tubería de cobre (m)

E_s = Espaciamiento entre tubos

3.2.2 Cálculos de diseño

Tabla 1-3: Datos de diseño

Agua de refrigeración		Vapor del condensador	
T_{ir}	T_{sr}	T_{iv}	T_{sv}
18°C	40°C	92°C	35°C

Realizado por: ORTA F; PAUCAR M.

Tabla 2-3: Datos adicionales

Variable/constante	Valor
T_{sat}	91°C
hfg	2279,59 KJ/Kg
C_p	4,1813 KJ/Kg°C

Realizado por: ORTA F; PAUCAR M.

3.2.2.1 Cálculo del calor latente

En la Ec. 1 se reemplazan los datos y se tiene:

$$Q_L = m * hfg$$

$$Q_L = 22796,59 \text{ KJ/h}$$

3.2.2.2 Cálculo del calor sensible

En la Ec. 2 se reemplazan los datos y se tiene:

$$Q_s = m * C_p * \Delta T$$

$$Q_s = 2341,69 \text{ KJ/h}$$

3.2.2.3 Cálculo del calor total

En la Ec. 3 se reemplazan los datos y se tiene:

$$Q_T = Q_L + Q_s$$

$$Q_T = 25137,28 \text{ KJ/h}$$

$$Q_T = 25137,28 * 1,1$$

$$Q_T = 27651,4 \text{ 1 KJ/h}$$

$$Q_T = 7680,94 \text{ W}$$

3.2.2.4 Cálculo de la masa agua de refrigeración

En la Ec. 4 se reemplazan los datos y se tiene:

$$m_{ar} = \frac{Q_{\text{pierde (vapor+aceite esencial)}}}{C_{p_a} * \Delta T}$$

$$m_{ar} = 390 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

3.2.3 Diseño del evaporador

3.2.3.1 Cálculo de la masa del refrigerante

Tabla 3-1: Datos para el cálculo de la masa del refrigerante

Variables/constantes	Valor
m_{ar}	390Kg
T_{iH_2O}	18°C
T_{fH_2O}	15°C
Q_{H_2O}	4892,121KJ

Realizado por: ORTA F; PAUCAR M.

En la Ec. 5 se reemplazan los datos y se tiene:

$$m_r = \frac{Q_{H_2O}}{Q_r}$$

$$m_r = 22,326\text{kg}$$

3.2.3.2 Cálculo del coeficiente de convección del agua

Tabla 4-3: Datos para el cálculo del coeficiente de convección

Variables/constantes	Valor
K_{H_2O}	$\frac{1,7425W}{m^{\circ}C}$
N_{UD}	379,713
D	0,65 m

Realizado por: ORTA F; PAUCAR M.

En la Ec. 6 se reemplazan los datos y se tiene:

$$h_{H_2O} = \frac{K_{H_2O} * N_{UD}}{D}$$

$$h_{H_2O} = 1017,923 W/m^2^{\circ}C$$

3.2.3.3 Cálculo del Coeficiente Global de transferencia de calor

Tabla 5-3: Datos para el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor

Variables/constantes	Valor
r_o	$6,35 * 10^{-3} m$
r_i	$5,35 * 10^{-3} m$
h_r	$32,31W/m^2^{\circ}C$
K_{Cu}	$387 W/m^{\circ}C$
h_{H_2O}	$1017,923 W/m^2^{\circ}C$

Realizado por: ORTA F; PAUCAR M.

En la Ec. 7 se reemplazan los datos y se tiene:

$$U_0 = \frac{1}{\frac{r_o}{r_i * h_r} + \frac{r_o * \ln \frac{r_o}{r_i}}{K_{Cu}} + \frac{1}{h_{H_2O}}}$$

$$U_0 = 26,326W/m^2^{\circ}C$$

3.2.3.4 Cálculo de la media logarítmica de la diferencia de la temperatura

Tabla 6-3: Datos para el cálculo de la media logarítmica de la diferencia de la temperatura

VARIABLES/CONSTANTES	VALOR
ΔT_1	9,4°C
ΔT_2	28°C

Realizado por: ORTA F; PAUCAR M.

En la Ec. 8 se reemplazan los datos y se tiene:

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$$

$$\Delta T_{ml} = 17,04^\circ\text{C}$$

3.2.3.5 Área de transferencia de calor

Tabla 7-3: Dato para el cálculo del área de transferencia de calor

VARIABLES/CONSTANTES	VALOR
Q_p	452,974 W

Realizado por: ORTA F; PAUCAR M.

En la Ec. 9 se reemplazan los datos y se tiene:

$$A_s = \frac{Q_p}{U_o * \Delta T_{ml}}$$

$$A_s = 1,01\text{m}^2$$

3.2.3.6 Longitud de la tubería del evaporador

En la Ec. 10 se reemplazan los datos y se tiene:

$$L_0 = \frac{A_S}{\pi * 2 * r_0}$$

$$L_0 = 25,314\text{m}$$

3.2.3.7 Número teórico de vueltas

Datos

$$P = 0,942\text{m}$$

En la Ec. 11 se reemplazan los datos y se tiene:

$$N_v = \frac{L_0}{P}$$

$$N_v = 26,87\text{m}$$

3.2.3.8 Altura del tanque

Datos:

$$E_s = 0,03\text{m}$$

En la Ec. 10 se reemplazan los datos y se tiene:

$$H_C = N_v(2 * r_0 + E_s)$$

$$H_C = 1,147\text{m}$$

3.2.4 Tabla de Resultados

Tabla 8-3: Resultados del dimensionamiento del sistema de enfriamiento

PARÁMETROS	SÍMBOLOS	VALOR	UNIDADES
Calor latente	Q_L	22796,59	KJ/h
Calor sensible	Q_s	2341,69	KJ/h
Calor total	Q_T	7680,94	W
Masa agua de refrigeración	m_{ar}	389	Kg
Masa del refrigerante	m_r	22,33	Kg
Coefficiente global de transferencia de calor	U_0	26,33	W/m ² °C
Media logarítmica de la temperatura	ΔT_{mL}	17,04	°C
Calor perdido por el agua	Q_p	452,97	W
Área de transferencia de calor	A_s	1,01	m ²
Longitud de la tubería del serpentín	L_0	25	m
Número de vueltas teórico	N_v	26	-----
Altura del tanque	H_T	1	m

Realizado por: ORTA, F; PAUCAR, M. 2018

3.2.5 Dimensionamiento del soporte estructural

Teniendo en cuenta las medidas reales de todos los componentes que van a ser utilizados en el sistema de enfriamiento, se obtiene la dimensión del espacio físico estructural requerido para el proyecto. Se debe tomar en cuenta que el sistema de enfriamiento, comprende un sistema de refrigeración típico por compresión de vapor, que al darle un enfoque didáctico, como es el caso; no debe requerir de un espacio grande para su funcionamiento.

Para su correspondiente desarrollo, intervienen los siguientes aspectos que se detallan a continuación:

3.2.5.1 Componentes

Con las medidas reales de los componentes se procede a desarrollar los planos de diseño en 2D y 3D en el programa AutoCAD 2017, con la finalidad de dimensionar el espacio físico requerido. Para ello es de suma importancia identificar los componentes que van a ser ubicados tanto en nivel uno como en el nivel dos.

Nivel 1:

Se dimensiona según la medida real de la unidad condensadora la misma que se ubicara en dicho nivel.

La dimensión de la unidad condensadora es:

Largo: 0,50 m

Ancho: 0,40 m

Alto: 0,35 m

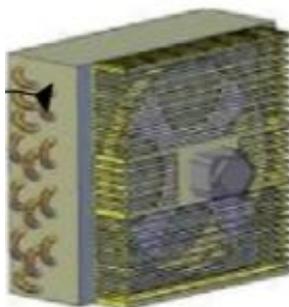


Gráfico 2-3: Unidad condensadora nivel 1
Realizado por: ORTA F; PAUCAR M.

En este nivel irá situado el evaporador dimensionado según el espacio requerido para el intercambiador de calor (serpentín) y el espacio para la tubería de cobre en conexión con la válvula de expansión termostática (VET).

En conjunto el evaporador tiene las siguientes dimensiones:

Largo: 0,40 m

Ancho: 0,40 m

Alto: 1 m

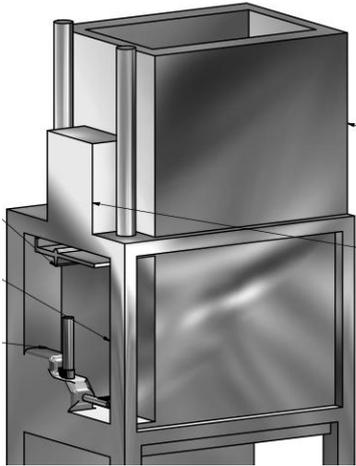


Gráfico 3-1: Evaporador nivel 2

Realizado por: ORTA F, PAUCAR M

3.2.5.2 Estructura soporte

Para ello se debe tener en cuenta que la unidad condensadora y los diferentes componentes involucrados, no poseen un peso realmente significativo y no hay la presencia de partes móviles que afecten la estructura.

La estructura se desarrolla en dos niveles, en los mismos que se integrarán todos los componentes del sistema de enfriamiento distribuidos como anteriormente mencionamos.

Con las medidas obtenidas se procede a dimensionar el espacio físico idóneo:

Largo: 0,60 m

Ancho: 0,5 m

Alto: 1 m

Se considera una altura adecuada, teniendo en cuenta que el condensador es enfriado por aire este requiere de un espacio amplio para tener una buena ventilación.

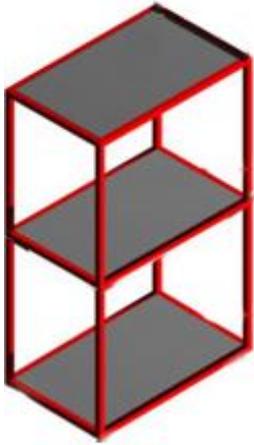


Gráfico 4-3: Estructura Soporte

Realizado por: ORTA F; PAUCAR M.

Por último se procede a realizar los planos del sistema de enfriamiento (Anexo II) que son requeridos para la construcción teniendo en cuenta las medidas reales de los materiales y componentes, con esto se tendrá una perspectiva final del proyecto.

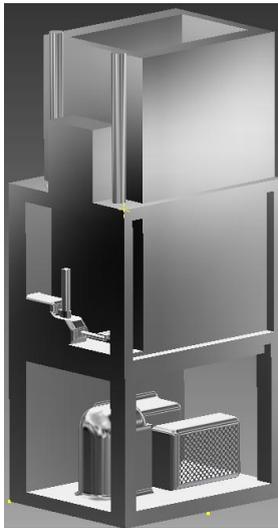


Gráfico 5-3: Equipo sistema de enfriamiento AUTOCAD

Realizado por: ORTA F; PAUCAR M.

3.3 Proceso de producción

3.3.1 Construcción y montaje

3.3.1.1 Aspectos técnicos

Esto se refiere a los documentos técnicos que debe poseer todo equipo, estos son una herramienta básica para todo proceso que se encuentre en la etapa de construcción por lo que se presenta los planos tanto en 2D como en 3D del sistema de refrigeración, en los que se puede apreciar los diferentes componentes que en conjunto forman el sistema, esto ayuda a visualizar al constructor para una mejor ejecución del proyecto (ver anexo).

3.3.1.2 Diagramas de procesos

Es de suma importancia al realizar cualquier proceso productivo contar con un adecuado procedimiento para desarrollar de manera eficiente las diferentes actividades de transformación de materia prima, hasta obtener un producto terminado.

3.3.1.3 Diagrama de operaciones para el desarrollo del sistema de refrigeración

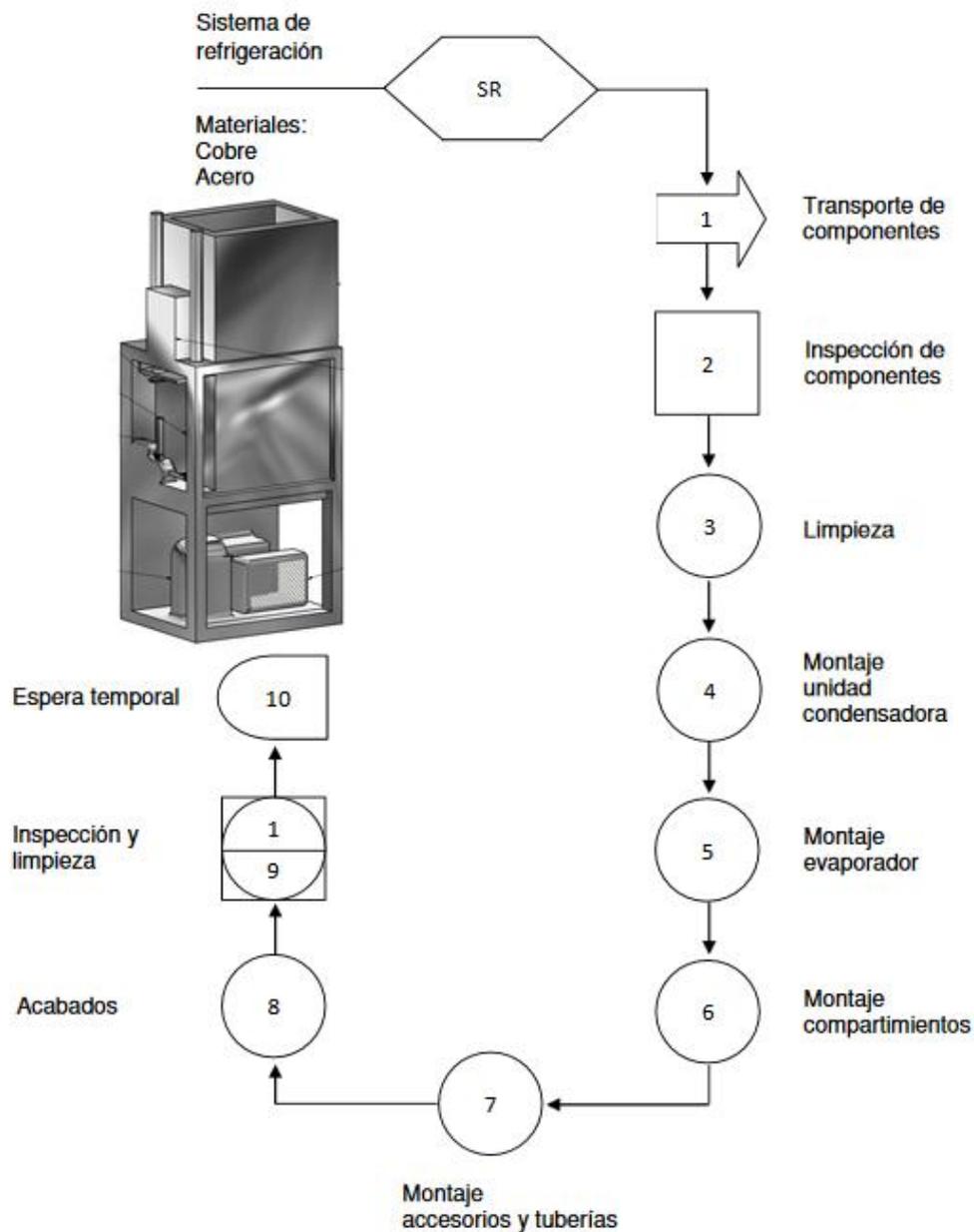


Gráfico 6-3: Proceso de montaje del sistema de refrigeración
Realizado por: ORTA F; PAUCAR M.

3.3.1.4 Construcción de estructura soporte

Después de obtener todos los componentes, la unidad de condensación y demás materiales, se procede a la construcción de la estructura soporte, la cual consta de dos niveles en los cuales se integraran todos los elementos y dispositivos.

El material a utilizarse para la construcción de la estructura base además de ser el adecuado deberá tener las dimensiones requeridas, para que soporte todo el peso del sistema de enfriamiento.

Posteriormente se procedió a la adquisición del perfil angular (2 unidades) el cual consta de las siguientes medidas:

Espesor: 0,4mm

Largo: 6m (2 unidades)

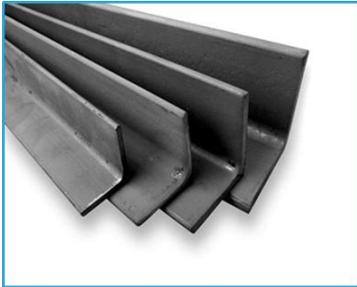


Gráfico 7-3: Perfil angular metálico

Realizado por: ORTA F; PAUCAR M.

Después se corta y dimensiona el perfil angular en base a las medidas de los componentes de acuerdo con ello requerirá las siguientes medidas:

Largo: 0.60m

Ancho: 0.50m

Altura: 1m

Cortado los perfiles, se realiza la soldadura de estos formando así la estructura rectangular para ello se utilizó electrodos y un equipo de soldadura eléctrica.

Se debe eliminar cualquier tipo de falla generada por la soldadura para ello se utiliza la técnica del esmerilado para obtener un buen acabado, y poder colocar las planchas de madera sobre la estructura base, formando los compartimientos para el nivel 1 y 2 donde serán colocados los componentes del sistema de refrigeración.

3.3.1.5 Construcción del evaporador

➤ Depósito rectangular

Para la construcción del depósito utilizamos la plancha metálica de acero inoxidable de 3mm de espesor, a esta se la moldea hasta darle una forma rectangular, luego se acopla el serpentín helicoidal en el interior del tanque.

El espacio interior se dimensiona de acuerdo al número de giros, y al diámetro de la tubería de cobre.

El serpentín helicoidal que está fabricado con tubería de cobre de 0.5 pulgadas de diámetro, se coloca en el depósito rectangular con la finalidad de realizar el enfriamiento del agua.



Gráfico 8-3: Deposito rectangular
Realizado por: ORTA F; PAUCAR M.

➤ Serpentín helicoidal

Este se construye con tubería de cobre ya que este material posee propiedades excelentes de maleabilidad, ductilidad y conductividad de temperatura, estas son fundamentales para que el sistema de enfriamiento funcione correctamente y no presente ninguna falla.

La tubería de cobre utilizada para la construcción del serpentín helicoidal tiene las siguientes medidas:

Diámetro: 0,5 pulgadas

Longitud: 25m

Basándose en el diámetro del depósito rectangular se procede a moldear las espiras utilizando los 25m de tubería para conformar un número apropiado de giros y pueda situarse dentro de este.

Para evitar corrugar o deformar la tubería de cobre al momento de moldearla se debe considerar un diámetro como base y para darle una forma simétrica adecuada se debe utilizar una base cilíndrica.



Gráfico 9-3: Serpentín helicoidal
Realizado por: ORTA F; PAUCAR M.

3.3.1.6 Ensamblaje de componentes del sistema

➤ Diagrama general de montaje

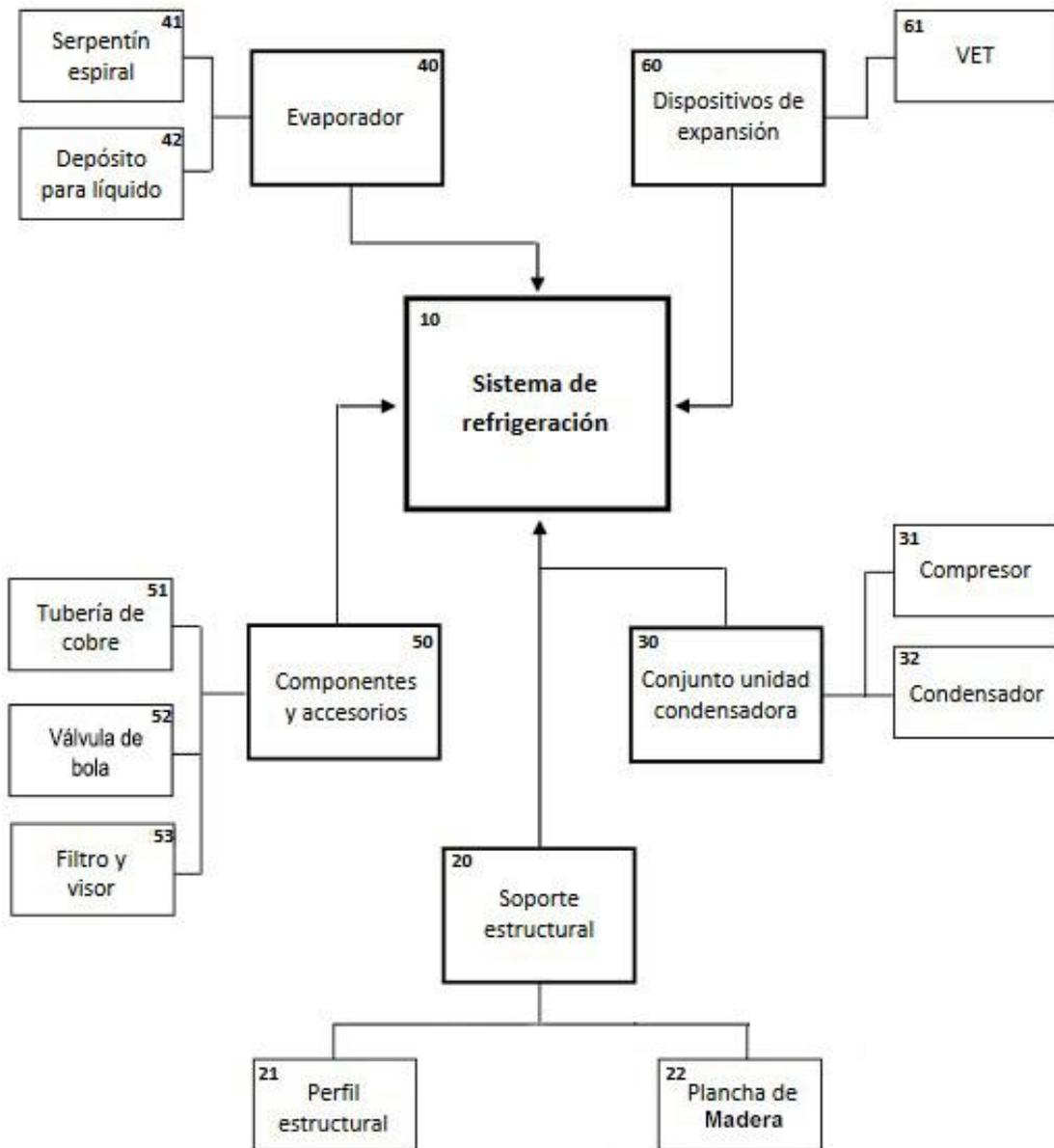


Gráfico 10-3: Diagrama general de montaje

Realizado por: ORTA F; PAUCAR M.

➤ Montaje del sistema

Una vez terminada la estructura soporte se ubica la unidad condensadora en el nivel 1 y se procede al ajuste de la misma. Con respecto a la ubicación de la unidad condensadora se procede a realizar la conexión de la tubería que integrará todos los componentes según el diagrama funcional realizado.

Dentro del depósito rectangular se ensambla y sujeta al serpentín en forma vertical de modo que encaje de manera perfecta dentro del tanque de acero inoxidable para reducir el efecto de corrosión, y con una capacidad de 180 litros.

Posteriormente se procede a ubicar el serpentín ya moldeado dentro del depósito evaporador y la tubería es orientada hacia los dispositivos de expansión y compresión, tanto la conexión de entrada y salida del serpentín emergen por la parte superior del tanque.



Gráfico 11-3: Evaporador ensamblado
Realizado por: ORTA F; PAUCAR M.



Gráfico 12-3: Serpentín
Realizado por: ORTA F; PAUCAR M.

Formada toda la estructura, se procede a la fijación del depósito evaporador en el nivel 2. Así mismo se integran todos los componentes y accesorios, se ensambla el filtro a la salida del condensador y al otro costado la tubería que une el filtro con la mirilla y esta a su vez se une con el dispositivo de expansión (Válvula VET).



Gráfico 13-3: Filtro
Realizado por: ORTA F; PAUCAR M.



Gráfico 14-3: Visor
Realizado por: ORTA F; PAUCAR M.

Colocado el dispositivo de expansión, en nuestro caso una válvula VET, se debe enroscar esta en dirección al serpentín evaporador.



Gráfico 15-3: Válvula VET
Realizado por: ORTA F; PAUCAR M.

➤ Acabado final

En última instancia se realiza una verificación de fallas que se presentan después del ensamblando



Gráfico 16-3: Sistema de enfriamiento
Realizado por: ORTA F; PAUCAR M.

3.3.2 Validación del equipo

Tabla 9-3: Datos de la temperatura del agua

Tiempo (min)	Temperatura de entrada (° C)	Temperatura de salida (° C)
0	13,6	27,4
10	13,7	28,4
20	15,0	28,7
30	16,2	29,8
40	17,5	30,1
50	18,1	30,5
60	19,1	30,9
70	19,0	31,4
80	18,9	32,1
90	18,9	32,7
100	19,0	33,5
110	18,9	34,1
120	18,9	34,6
130	18,9	35,5
140	18,9	35,7
150	19,0	36,3
160	19,9	36,8
170	19,8	37,1
180	20,0	37,3
190	19,9	37,5
200	19,8	37,9
210	19,7	38,2
220	20,0	38,3
230	19,9	38,8
240	19,9	39,8

Realizado por: ORTA, F; PAUCAR, M. 2018

3.3.2.1 Cálculos realizados para la validación del equipo

- **Balance de masa**

$$M_{H_2O \text{ alim}} = M_{H_2O \text{ condens}} + M_{H_2O \text{ residual}} + M_{H_2O \text{ evaporada}}$$

$$M_{H_2O \text{ evaporada}} = M_{H_2O \text{ alim}} - M_{H_2O \text{ condens}} - M_{H_2O \text{ residual}}$$

$$M_{H_2O \text{ evaporada}} = 13,5 - 12,3 - 0,9$$

$$M_{H_2O \text{ evaporada}} = 0,3 \text{ Kg/h}$$

- Cálculo del rendimiento del equipo

✓ Cálculo de la masa del aceite esencial

$$m = \rho * V$$

$$m = 0.99546 * 177$$

$$m = 0,177 \text{ Kg}$$

✓ Cálculo de rendimiento del vegetal

$$\%R = \frac{m_{ae}}{m_{mpu}} * 100$$

$$\%R = \frac{0,177}{9} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 1,96 \%$$

- Determinación del COP:

$$COP = \frac{Q_L}{W_{comp}}$$

$$COP = \frac{151,64}{(268,63 - 245,06)}$$

$$COP = 6,43$$

3.4 Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria

Para el presente proyecto los requerimientos tecnológicos que se consideran primordiales en el desarrollo del sistema de enfriamiento para el equipo de extracción de aceites esenciales se citan a continuación:

3.4.1 Etapa de verificación del estado del sistema de enfriamiento inicial.

- Equipo de extracción de aceites esenciales.
- Sistema de enfriamiento inicial.

Para esta etapa se utilizaron los equipos antes mencionados, por los cuales no pagamos ningún costo ya que son propiedad de la institución.

3.5 Análisis de costo

3.5.1 Costo de inversión

➤ Recursos materiales

Tabla 10-3: Recursos materiales del sistema de enfriamiento

Recursos materiales sistema de enfriamiento			
Cantidad	Descripción	Precio unidad (\$)	Total (\$)
1	Unidad condensadora	600	600
1	Tanque inoxidable	457	457
1	Válvula de expansión	120	120
1	Visor de liquido	45	45
10	Acoples roscados 3/8	2	20
8	Acoples roscados 1/2	2	16
10	Codos de cobre 3/8	1	10
6	Codos de cobre ½	1	6
25	Metro de cañería de cobre 1/2	12	300
4	Metros de cañería de cobre 3/8	8	32
2	Mangueras flexibles ¾ x25 cm	15	30
2	Mangueras de poliuretano 3/4x 100 cm	10	20
1	Bomba Hidráulica	80	80
1	Filtro deshidratante	30	30
10	Metros de cable concéntrico	2	20
1	Enchufe 220v	5	5
1	Módulo de control	120	120
1	Estructura inoxidable	200	200
1	Panel lateral	200	200
1	Kit adhesivo	50	50
1	Suelda inoxidable	100	100
1	Válvula de drenaje y abastecimiento	20	20
TOTAL			2481

Realizado por: ORTA, F; PAUCAR, M. 2018

➤ Mano de obra

Tabla 11-3: Mano de obra del sistema de enfriamiento

Mano de obra del sistema de enfriamiento			
Cantidad	Descripción	Precio unitario (\$)	Total(\$)
1	Mano de obra para la construcción del sistema de enfriamiento	400	400
TOTAL			400

Realizado por: ORTA, F; PAUCAR, M. 2018

➤ Recursos totales

Tabla 12-3: Recursos totales del sistema de enfriamiento

Recursos totales del sistema de enfriamiento	
Recursos Materiales Sistema de enfriamiento	2481
Mano de obra Sistema de enfriamiento	400
TOTAL	2881

Realizado por: ORTA, F; PAUCAR, M. 2018

3.6 Análisis y discusión de resultados

Comparación de resultados sin el sistema de enfriamiento VS con el sistema de enfriamiento

Tabla 13-3: Análisis de los resultados en la validación VS sin la implementación del sistema

Parámetros	Sin el sistema de enfriamiento	Con el sistema de enfriamiento
Alimentación de materia prima	9 Kg	9kg
Volumen de agua por kg de materia prima	13,5 L	13,5 L
Tiempo de extracción	1h	4 h
Volumen de destilado	3 L	11,8 L
Volumen del aceite	15 mL	177 mL
Masa de agua evaporada	0,4 kg	0,3 kg
Rendimiento	0,19 %	1,96 %
COP		6,43

Realizado por: ORTA, F; PAUCAR, M. 2018

Después de realizar un análisis para determinar en qué condiciones se encontraba el equipo de extracción se identificó que el problema se daba en la etapa de condensado ya que este equipo no contaba con un sistema de enfriamiento que disipara el calor de una manera eficiente.

Se obtuvo un volumen de aceite de 177mL en 4 horas con el sistema de enfriamiento, mientras que sin el sistema de enfriamiento fue de 15mL en 1 hora, ya que al implementar el sistema de enfriamiento se produce una correcta condensación de la mezcla vapor-aceite y por ende se obtendrá un mayor volumen de aceite.

Según el resultado obtenido del rendimiento 1,96 % se puede observar claramente que existe un mayor rendimiento en el equipo de extracción, esto debido a la implementación del sistema de enfriamiento por compresión de vapor ya que estos poseen una buena eficiencia y a la vez ocupan un mínimo de espacio.

La eficiencia del sistema de enfriamiento es de 6,43; esto nos indica que por cada unidad de energía eléctrica que consume, este eliminará 6,43 unidades de energía térmica del espacio enfriado esto se refiere a que el sistema de enfriamiento tendrá un bajo consumo de energía.

CONCLUSIONES

- Se realizó un análisis de las condiciones iniciales del equipo de extracción de aceites esenciales, obteniendo las siguientes variables q : 7680,94 W; D : 0,015 kg/h con un tiempo de operación de 1 h.
- Se identificó que el sistema de enfriamiento más adecuado para el equipo de extracción de aceites esenciales es un sistema de refrigeración por compresión de vapor.
- Se determinó que el volumen de agua para condensar el vapor es de 390 L/h.
- Las dimensiones calculadas del sistema de enfriamiento son: Área Superficial de transferencia de calor: 1,01 m²; \varnothing : 0,011 m y longitud del sistema refrigerante: 25,3 m; Capacidad del tanque: 180 L; Altura del tanque: 1m; Bomba: 0.5 Hp; Unidad de Enfriamiento: 1,06 Hp
- Al realizar la validación del equipo mediante la extracción se obtuvo un volumen de 177 ml de aceite

RECOMENDACIONES

- Para la utilización del equipo se recomienda revisar previamente el manual de operación del sistema de enfriamiento o las técnicas experimentales planteadas en el presente proyecto.
- El equipo debe ser utilizado con una fuente de alimentación de 220V polarizado, esto es de suma importancia, ya que de esto dependerá su buen funcionamiento.
- Para efectuar un buen mantenimiento del sistema de enfriamiento se debe revisar el manual de operación que le facilitará el asistente de laboratorio.
- Prender el sistema de enfriamiento a la par con el equipo de extracción de aceites esenciales.
- No manipular la caja de control, ni los sensores que se encuentran ubicados en la entrada y salida del evaporador.
- Se recomienda mantener una llama media del quemador para una correcta condensación.

BIBLIOGRAFÍA

ACAN ASITIMBAY, Fausto Fabián & PILATAXI CHUQUI, José Luis. Diseño y construcción de un equipo extractor de aceites esenciales por arrastre de vapor para berro, espinaca, zanahoria [En línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.2014. pp. 116-124. [Consulta: 2017-10-20]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/3874>

Calderón, M. A. *Manual de buenas prácticas de refrigeración.* Paraguay: SEAM. . p 35.

Cengel, Y. A. *Termodinámica.* [En línea]. España: McGraw-Hill, 2009. [Consulta: 20 septiembre 2017]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/miguelangelgranadamejia/termodinamica-cengel7th-55364614>

Domínguez, J. G. *Dirección de Operaciones: Aspectos Tácticos y Operativos en la producción y los servicios.* España: McGraw-Hill, 1995. pp. 82-83.

Fuentes Martínez, José; & Rodríguez Sánchez, José. *Ciclo formativo montaje y mantenimiento de instalaciones de frío, climatización y producción de calor.* Valencia-España: Cámara oficial de comercio, industria y navegación de Valencia. sa. ISBN: 978-84-96438-44-6, pp. 31-50.

García, S. *Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento industrial.* Madrid-España: Renovetec, 2013. pp. 30-31.

Giménez, Cristina; et al. *Dirección de la producción: casos y aplicaciones.* Barcelona-España: Universitat Barcelona, 2007. pp. 20-55.

Kister, H. Z. *Distillation Operation.* New York-USA: McGraw-Hill, 1990. pp. 22-23.

Mccabe, W. L. *Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química.* Madrid-España: McGraw-Hill, 2000. pp. 69-70.

Villabuena, R. *Refrigerantes para Aire acondicionado y Refrigeración.* España: Club universitario, 2011. p. 18.

Whitman, B. *Tecnología de refrigeración y aire acondicionado*. [En línea]. España: PARANINFO 2012. [Consulta: 20 septiembre 2017]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/161210339/Whitman-Tecnologia-de-La-Refrigeracion-y-Aire-Acondicionado-Fundamentos-Tomo-1>

ANEXOS

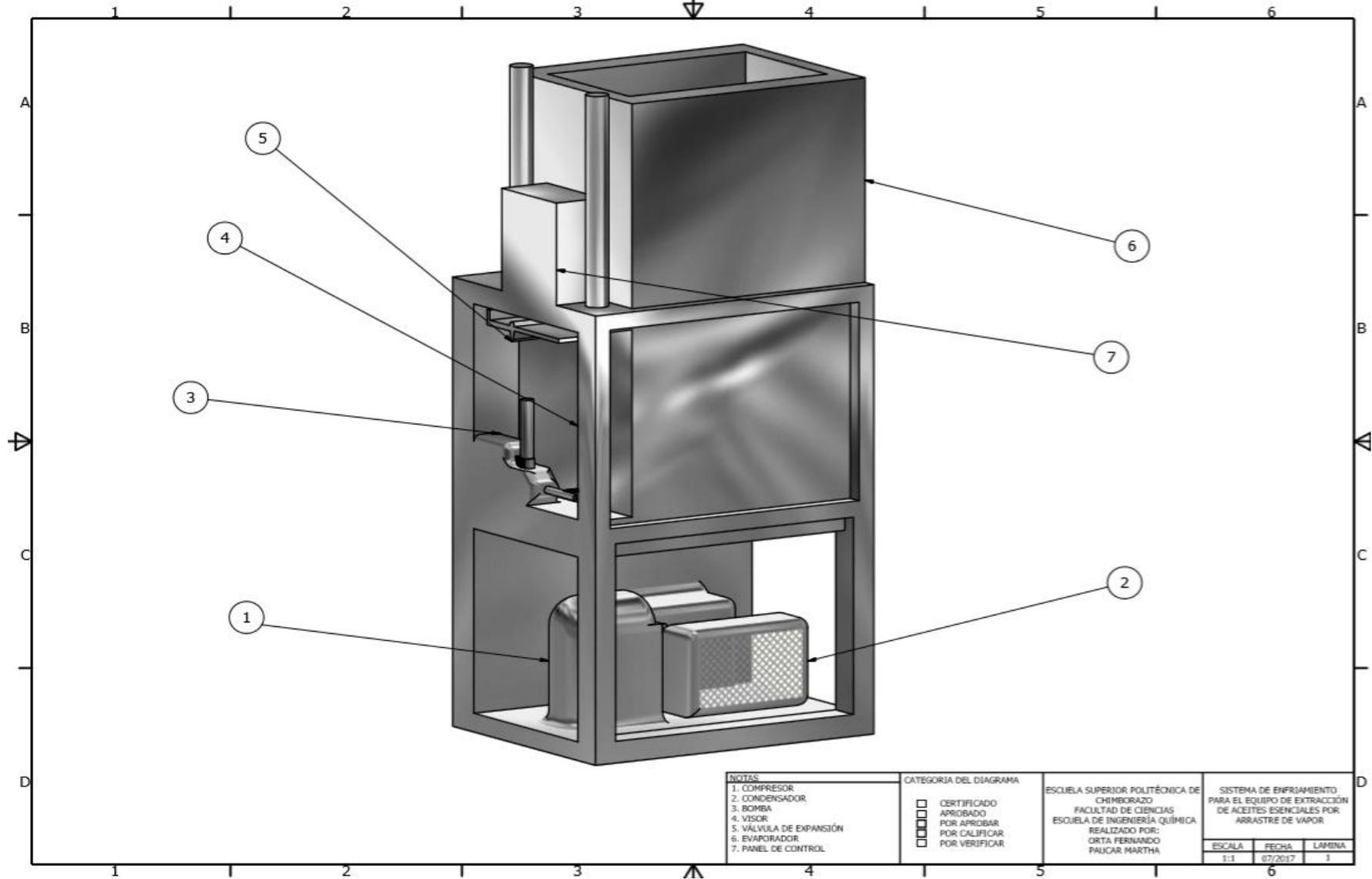
Anexo A

A.



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA REALIZADO POR: ORTA TOAPANTA FERNANDO RAUL PAUCAR MAZA MARTHA ALICIA</p>	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PARA EL EQUIPO DE EXTRACION DE ACEITES ESENCIALES POR ARRASTRE DE VAPOR		
<p>A. Vista del equipo real</p>	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> APROBADO <input checked="" type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR		ESCALA	FECHA	LAMINA
		1:1	Marzo 2018	1	

Anexo B



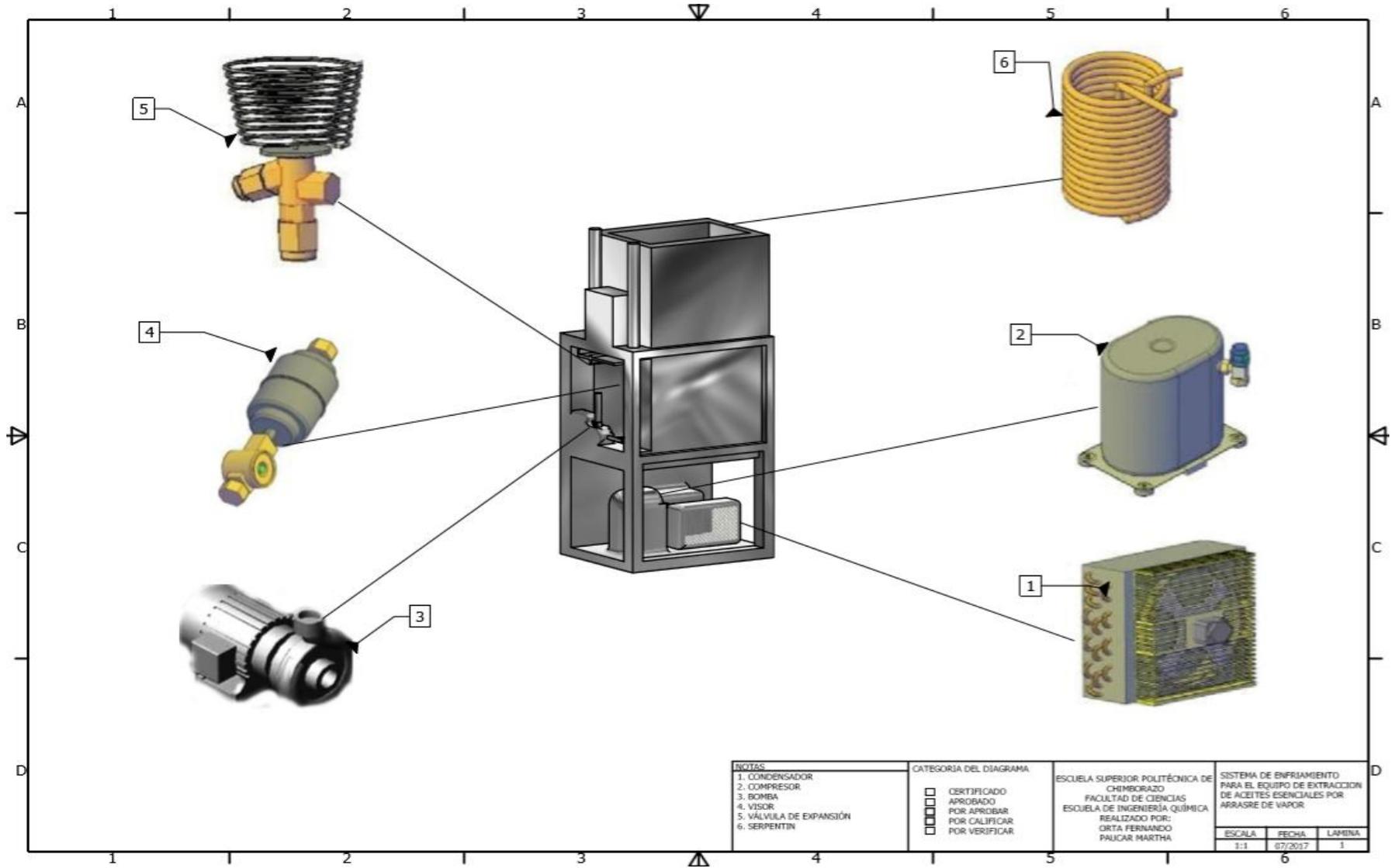
NOTAS
1. COMPRESOR
2. CONDENSADOR
3. BOMBA
4. VISOR
5. VÁLVULA DE EXPANSIÓN
6. EVAPORADOR
7. PANEL DE CONTROL

CATEGORIA DEL DIAGRAMA
<input type="checkbox"/> CERTIFICADO
<input type="checkbox"/> APROBADO
<input type="checkbox"/> POR APROBAR
<input type="checkbox"/> POR CALIFICAR
<input type="checkbox"/> POR VERIFICAR

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
REALIZADO POR:
ORTA FERNANDO
PAUCAR MARTHA

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PARA EL EQUIPO DE EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES POR ARRASTRE DE VAPOR		
ESCALA	FECHA	LÁMINA
1:1	07/2017	1

Anexo C



NOTAS 1. CONDENSADOR 2. COMPRESOR 3. BOMBA 4. VISOR 5. VÁLVULA DE EXPANSIÓN 6. SERPENTIN	CATEGORIA DEL DIAGRAMA <input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: ORITA FERRIANDO PAUCAR MARTHA	SISTEMA DE ENFRÍAMIENTO PARA EL EQUIPO DE EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES POR ARRASRE DE VAPOR		
			ESCALA 1:1	FECHA 07/2017	LÁMINA 1

Anexo D

A.



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS – LABORATORIO DE PROCESOS INDUSTRIALES

A petición verbal de la parte interesada

CERTIFICO

Que la Sra. Martha Alicia Paucar Maza, con CI 0504270512 y el Sr. Fernando Raúl Orta Toapanta, con CI 0604099820 egresados de la Carrera de Ingeniería Química, han culminado el trabajo de titulación en el laboratorio de Procesos Industriales con el tema "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PARA EL EQUIPO DE EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES POR ARRASTRE DE VAPOR", TIPO: PROYECTOS TÉCNICOS, pudiendo hacer uso de la presente como a bien tuviere.

Riobamba a, 16 de Octubre de 2017.



Ing. Teobaldo Paucar
 TÉCNICO DOCENTE
 LAB. PROCESOS INDUSTRIALES
 LAB. OPERACIONES UNITARIAS
 LAB. INVESTIGACIÓN

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA REALIZADO POR: ORTA TOAPANTA FERNANDO RAUL PAUCAR MAZA MARTHA ALICIA	CERTIFICADO DE VALIDACION DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PARA EL EQUIPO DE EXTRACION DE ACEITES ESENCIALES POR ARRASTRE DE VAPOR						
A. CERTIFICADO	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input checked="" type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR		<table border="1"> <thead> <tr> <th>ESCALA</th> <th>FECHA</th> <th>LAMINA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1:1</td> <td>MARZO 2018</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	ESCALA	FECHA	LAMINA	1:1	MARZO 2018	1
ESCALA	FECHA	LAMINA							
1:1	MARZO 2018	1							