



*Diseño, simulación y validación de un prototipo de alambique para la obtención de aceites esenciales de eucalipto y ciprés*

*Design, simulation and validation of a still prototype to obtain essential oils from eucalyptus and cypress*

*Projeto, simulação e validação de protótipo de alambique para obtenção de óleos essenciais de eucalipto e cipreste*

Jorge Sebastián Buñay-Guamán <sup>I</sup>

[jorge.bunay@esPOCH.edu.ec](mailto:jorge.bunay@esPOCH.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0001-6963-0383>

Jorge Isaias Caicedo-Reyes <sup>II</sup>

[isaias.caicedo@esPOCH.edu.ec](mailto:isaias.caicedo@esPOCH.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0001-9875-6348>

Freddy Rodrigo Atupaña-Bacuy <sup>III</sup>

[freddy.atupania@esPOCH.edu.ec](mailto:freddy.atupania@esPOCH.edu.ec)

<https://orcid.org/0009-0007-8084-2812>

Christian Omar Chiluzza-Saquinga <sup>IV</sup>

[christian.chiluzza@gmail.com](mailto:christian.chiluzza@gmail.com)

<https://orcid.org/0009-0007-2277-2393>

**Correspondencia:** [jorge.bunay@esPOCH.edu.ec](mailto:jorge.bunay@esPOCH.edu.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 30 de diciembre de 2023 \* **Aceptado:** 21 de enero de 2024 \* **Publicado:** 27 de febrero de 2024

- I. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Riobamba, Ecuador.
- II. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Riobamba, Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Riobamba, Ecuador.
- IV. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Riobamba, Ecuador.

## Resumen

El presente proyecto tuvo como objetivo presentar el diseño y validación de un alambique semiautomático para la obtención de aceites esenciales de eucalipto y ciprés. El compendio de material bibliográfico permitió presentar los principales parámetros de diseño, con una capacidad máxima establecida de 70 litros conformado de acero inoxidable AISI 304 grado alimenticio y perfil cuadrado estructural. Se empleó la metodología del diseño es un enfoque sistemático y creativo que se emplea para resolver problemas y crear soluciones innovadoras en diversas disciplinas, dando como resultado la exploración de cada una de las alternativas para validar la metodología del diseño en función de calidad QFD ocasionando la descomposición de cada una de las posibles alternativas mediante la aplicación del diseño mecánico, térmico y estructural se utilizó un software especializado en CAD y MEF. La metodología explora las propiedades, aplicaciones para analizar el método de extracción seleccionado que consiste en el arrastre con vapor, por un recipiente a presión, una columna de destilación, un intercambiador tipo serpentín y un sistema de decantación. Estos componentes son diseñados conforme al código ASME, Además, el diseño térmico de dichos elementos, son validados mediante el método de elemento finito, para luego implementar un sistema. semiautomático para supervisar el proceso. Se realiza la construcción individual de cada elemento, seguido del ensamblaje del sistema con las debidas pruebas de funcionamiento con el fin de obtener el producto final bajo estándares de calidad y seguridad establecidos.

**Palabras clave:** Diseño y construcción; Alambique semiautomático; Aceites esenciales; Eucalipto y ciprés; Análisis térmico.

## Abstract

The objective of this project was to present the design and validation of a semi-automatic still for obtaining essential oils from eucalyptus and cypress. The compendium of bibliographic material allowed the main design parameters to be presented, with an established maximum capacity of 70 liters made of AISI 304 food grade stainless steel and a structural square profile. The design methodology was used is a systematic and creative approach that is used to solve problems and create innovative solutions in various disciplines, resulting in the exploration of each of the alternatives to validate the design methodology based on QFD quality, causing the decomposition of each of the possible alternatives through the application of mechanical, thermal and structural

design, specialized CAD and FEM software was used. The methodology explores the properties, applications to analyze the selected extraction method that consists of steam stripping, through a pressure vessel, a distillation column, a coil-type exchanger and a decantation system. These components are designed in accordance with the ASME code. In addition, the thermal design of these elements is validated using the finite element method, to then implement a system. semi-automatic to supervise the process. The individual construction of each element is carried out, followed by the assembly of the system with the proper functional tests in order to obtain the final product under established quality and safety standards.

**Keywords:** Design and construction; Semi-automatic still; Essential oils; Eucalyptus and cypress; Thermal analysis.

## Resumo

O objetivo deste projeto foi apresentar o projeto e validação de um alambique semiautomático para obtenção de óleos essenciais de eucalipto e cipreste. O compêndio de material bibliográfico permitiu apresentar os principais parâmetros de projeto, com capacidade máxima estabelecida de 70 litros em aço inoxidável AISI 304 de qualidade alimentar e perfil estrutural quadrado. A metodologia de design utilizada é uma abordagem sistemática e criativa que é utilizada para resolver problemas e criar soluções inovadoras em diversas disciplinas, resultando na exploração de cada uma das alternativas para validar a metodologia de design baseada na qualidade do QFD, causando a decomposição de cada uma delas. as alternativas possíveis através da aplicação de projetos mecânicos, térmicos e estruturais, foram utilizados softwares CAD e FEM especializados. A metodologia explora as propriedades, aplicações para análise do método de extração selecionado que consiste na extração a vapor, através de um vaso de pressão, uma coluna de destilação, um trocador tipo bobina e um sistema de decantação. Estes componentes são projetados de acordo com o código ASME, além disso, o projeto térmico destes elementos é validado através do método dos elementos finitos, para então implementar um sistema. semiautomático para supervisionar o processo. É realizada a construção individual de cada elemento, seguida da montagem do sistema com os devidos testes funcionais de forma a obter o produto final dentro dos padrões de qualidade e segurança estabelecidos.

**Palavras-chave:** Projeto e construção; Alambique semiautomático; Óleos essenciais; Eucalipto e cipreste; Análise térmica.

## **Introducción**

### **Alambique**

Un alambique es un aparato o dispositivo utilizado para destilar líquidos y aceites. Consiste en un sistema cerrado que consta de una caldera o recipiente en el cual se coloca el agua necesaria y las sustancias a destilar, un condensador para enfriar y transformar los vapores en líquidos. El proceso de destilación en un alambique implica calentar las sustancias en la caldera lo que provoca la evaporación de los componentes volátiles, estos vapores ascienden a través de un tubo o columna y llegan a un condensador, donde se enfrían y vuelven a convertirse en líquido. El líquido condensado se recoge en un matraz de decantación y se separa los residuos no deseados, resultando un aceite esencial más puro y concentrado.

### **Aceites esenciales**

Los aceites esenciales se obtienen de diversas partes de las plantas como: flores, frutos, hojas, raíces, semillas y corteza, de esta forma el aceite de eucalipto, ciprés proviene de las hojas y ramas, estos aceites se forman en las partes verdes de las plantas que contienen clorofila. Las aplicaciones de los aceites esenciales son diversas pero las principales son la aromaterapia y farmacéutica.

### **Selección de materiales**

Según (Budynas & Nisbett, 2011), la selección de materiales se basa en el uso de gráficos que representan datos relacionados con diferentes propiedades, clases y familias de materiales, se tienen en cuenta diversos filtros o especificaciones, como la rigidez del material, el precio, la composición y las propiedades físicas, entre otras. En consecuencia, se presenta la siguiente imagen que facilita la selección de materiales.



*Ilustración 2: Composiciones y propiedades típicas de los aceros inoxidable.*

Acero	% C	% Cr	% Ni	Otros	Resistencia a la tensión (MPa)	Resistencia a la fluencia (MPa)	Porcentaje de elongación	Condición
<b>Austenítico</b>								
201	0.15	17	5	6.5% Mn	655	310	40	Recocido
304	0.08	19	10		517	207	30	Recocido
					1275	965	9	Trabajado en frío
304L	0.03	19	10		517	207	30	Recocido
316	0.08	17	12	2.5% Mo	517	207	30	Recocido
321	0.08	18	10	0.4% Ti	586	241	55	Recocido
347	0.08	18	11	0.8% Nb	620	241	50	Recocido
<b>Ferrítico</b>								
430	0.12	17			448	207	22	Recocido
442	0.12	20			517	275	20	Recocido
<b>Martensítico</b>								
416	0.15	13		0.6% Mo	1240	965	18	Templado y revenido
431	0.20	16	2		1380	1035	16	Templado y revenido
440C	1.10	17		0.7% Mo	1965	1895	2	Templado y revenido
<b>Endurecimiento por precipitación</b>								
17-4	0.07	17	4	0.4% Nb	1310	1170	10	Endurecido por envejecimiento
17-7	0.09	17	7	1.0% Al	1655	1585	6	Endurecido por envejecimiento

*Fuente: (Askeland, 2017)*

## Software ANSYS 2021 R2

Es un software especializado en la simulación y análisis de componentes mecánicos, estructurales y térmicos, con la finalidad de garantizar un correcto funcionamiento, estabilidad, soporte de cualquier tipo de máquina o mecanismo presente en la industria. De este modo dentro del ANSYS se utiliza los siguientes paquetes:

- **Static Structural:** Es aquel que se encarga de definir un sinnúmero de condiciones de contorno de forma muy fácil para idealizar la geometría, mediante el cual se puede calcular el factor de seguridad, esfuerzo y deformación, donde requiere propiedades como el módulo de Young, relación de poisson, límite de fluencia.
- **Análisis de fluidos CFX:** Permite analizar y simular todo tipos de fluidos en los que incluye efectos térmicos, turbulencia y reacciones de mezclas líquidas ya sea en sistemas abiertos o cerrados.

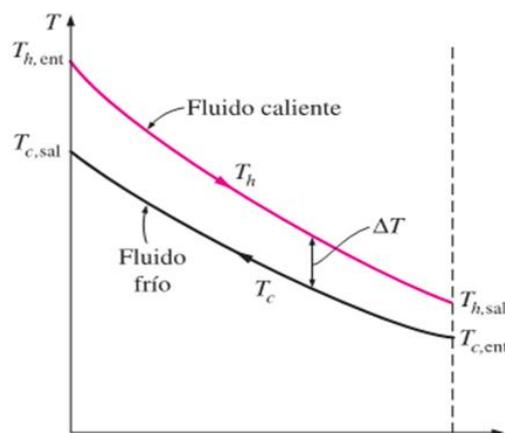
## Diferencia de temperatura media logarítmica (LMTD)

La diferencia de temperatura media logarítmica (LMTD) es un concepto utilizado en el diseño y análisis de intercambiadores de calor, especialmente en aquellos de flujo contracorriente o flujo

cruzado. Se utiliza para determinar la eficiencia de transferencia de calor en el intercambiador y calcular la cantidad de calor transferido.

### Para calcular el LMTD tanto para condensación y para enfriamiento

*Ilustración 3: Variación de temperatura en el condensador.*



*Fuente: (Cengel & Boles, Transferencia de Calor y Masa, 2007)*

### Sistema automático

Los sistemas automáticos juegan un papel crucial en la automatización de procesos y tareas, lo que puede aumentar la eficiencia, reducir costos y mejorar la seguridad en diversas áreas de la vida moderna. (gb advisors, 2023).

### Sistema semiautomático

Los sistemas semiautomáticos encuentran un equilibrio entre la automatización y la intervención humana, aprovechando las ventajas de ambos enfoques. Estos sistemas son comunes en aplicaciones donde se requiere flexibilidad, adaptabilidad y donde la colaboración entre humanos y máquinas puede mejorar la eficiencia y el rendimiento global del proceso o tarea. (Barzallo Núñez, 2013).

## Protocolo de pruebas

A continuación, se detallará el proceso de extracción de los aceites esenciales de eucalipto y ciprés, que se obtiene mediante un equipo diseñado con los parámetros respectivos para garantizar la calidad del producto obtenido.

## Procedimientos de prueba

- Selección de la materia prima (eliminación de hojas deterioradas)
- Limpieza de la materia prima para eliminar impurezas (polvo)
- Pesar en proporciones de un kilogramo para las respectivas tandadas
- Medir dos litros de agua por cada kilogramo de materia prima más un litro de seguridad.
- Llenado del agua y la materia prima en el recipiente a presión para la prueba.
- Posicionar el sensor de nivel dentro del sistema
- Aseguramiento del recipiente a presión
- Montaje de la columna y el intercambiador de calor
- Conexión del suministro eléctrico y GLP
- Encendido del equipo
- Toma de datos para las especies a prueba
- Pruebas reiteradas para diferentes proporciones de materia prima
- Análisis del volumen del producto obtenido para las distintas proporciones
- Análisis de los aceites esenciales en el laboratorio.

## Metodología

### Matriz Quality Function Deployment o QFD

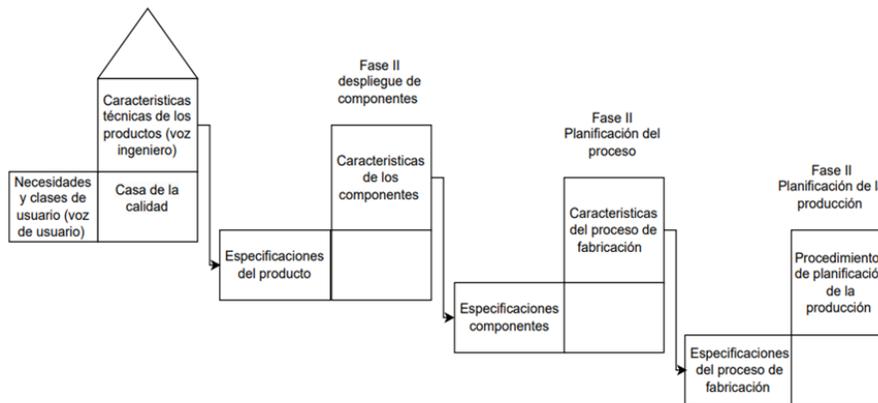
El QFD es una herramienta colaborativa que involucra a múltiples funciones y niveles dentro de una organización, fomentando la comunicación y la alineación entre los equipos.

Para dar inicio al proceso de creación de un producto, es fundamental recolectar información, y una herramienta útil para lograrlo es la metodología del Despliegue de la Función de la Calidad (QFD, por sus siglas en inglés). Esta técnica de diseño de productos y servicios permite obtener la perspectiva del cliente y traducirla al lenguaje técnico del ingeniero mediante varias etapas

consecutivas. De esta forma, se pueden definir características operativas de diseño que satisfagan las necesidades y expectativas del mercado. (Falcó Rojas, 2009)

El proceso de QFD se divide en varias etapas, que incluyen la identificación de los requisitos del cliente, la priorización, la definición de las características de diseño y operativas del producto. Durante cada una de estas etapas, se utilizan herramientas específicas para recopilar y analizar la información relevante.

**Ilustración 4:** Esquema general del desarrollo de la función de calidad.



*Fuente:* (Falcó Rojas, 2009).

## Matriz Morfológica

La matriz morfológica es una técnica de innovación que persigue el desglose conceptual de los elementos en estudio hasta alcanzar extremos básicos y simplificados de los mismos, de forma que permitan el replanteamiento del diseño conceptual para explotar nuevas oportunidades sobre el producto o elementos, anexar nuevos materiales al diseño o reconfigurarlas ventajas esquemáticas.

La técnica se vale de la siguiente sucesión de fases para implementarse:

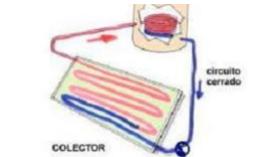
- Definir la problemática.
- Identificar los parámetros de diseño.
- Construcción de la matriz morfológica.
- Combinar posibilidades.
- Evaluar las oportunidades detectadas.

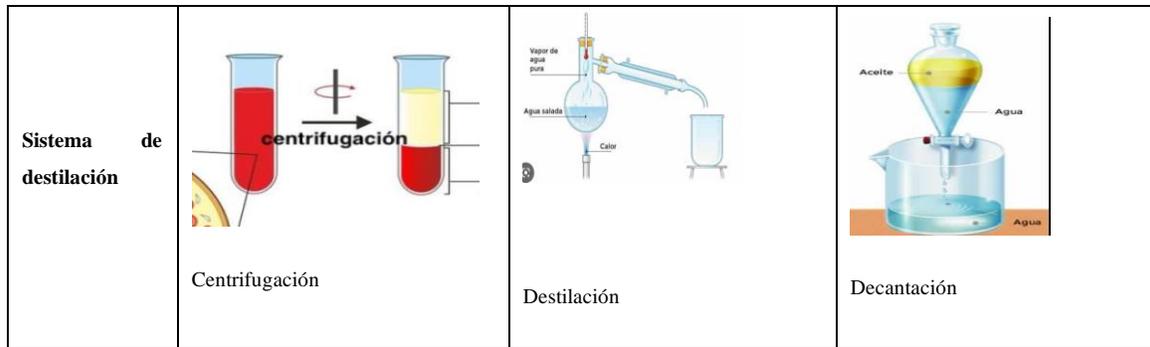
Lo correspondiente a la matriz morfológica conlleva a una combinación de ideas que principalmente busca descomponer un concepto en elementos esenciales o estructuras básicas.

- Análisis de alternativas:
- Alternativa 1 —
- Alternativa 2 —
- Alternativa 3 —

*Ilustración 5: Matriz morfológica aplicada a la característica analizada para el diseño*

	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
<b>Tipo de material</b>	 Acero inoxidable AISI 304 grado alimenticio	 Acero inoxidable	 Cobre
<b>Recipientes a presión</b>	 Cilindro	 Pera	 Columna
<b>Energía</b>	 Eléctrica	 Gas	 Solar

<p><b>Sistema de encendido</b></p>	 <p>Chispero eléctrico</p>	 <p>Manual</p>	
<p><b>Fuente de calor</b></p>	 <p>Niquelina</p>	 <p>Quemador</p>	<p>Inducción</p>
<p><b>Calentamiento</b></p>	 <p>Directo</p>	 <p>Indirecto</p>	
<p><b>Controladores de temperatura</b></p>	 <p>Termocupla</p>	 <p>Hilo de termopar</p>	 <p>Termostato digital</p>
<p><b>Control de nivel</b></p>	 <p>Serie HMT330</p>	 <p>Sensor de nivel líquido</p>	 <p>HRT2402</p>



*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

- **Alternativa 1:** este tipo de alambique está construido en cobre se le conoce como pera por su geometría, la caldera tiene una forma cilíndrica que está unida a una columna dónde se coloca la materia prima, se une mediante tubería al condensador cilíndrico. Este alambique funciona con energía eléctrica y es de accionamiento manual, consta de una termocupla tipo hilo de termopar y un control de nivel de serie HMT 330 como se detalla a continuación:

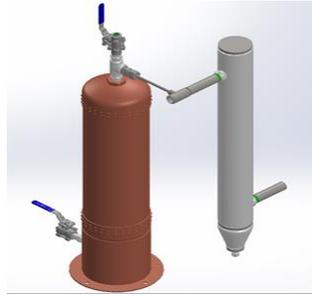
*Ilustración 6: Alambique de cobre.*



*Fuente: (J la despensa del jabón, 2023)*

- **Alternativa 2:** este alambique consta de 2 cilindros, el primero es una caldera de cobre dónde se coloca el agua y la materia prima, unida mediante tuberías hacia el condensador, la alimentación directa es por fuego, el primer cilindro comprende un recipiente a presión compacto, mientras que el otro cilindro es el condensador por donde sale el producto final, este sistema es manual es decir que cuenta con un medidor de temperatura para controlar la evaporización del agua como se detalla el bosquejo a continuación:

*Ilustración 7: Alambique de dos cilindros*



*Fuente: (GrabCAD, 2014)*

- **Alternativa 3:** este tipo de alambique este hecho de acero al carbono, su funcionamiento es con gas, sistema de encendido manual, consta de un recipiente con alimentación directa y una columna delgada para la materia prima misma que se conecta al condensador donde sale el líquido destilado, en cuanto al control de temperatura consta de un termostato digital y un control de nivel HRT2402.

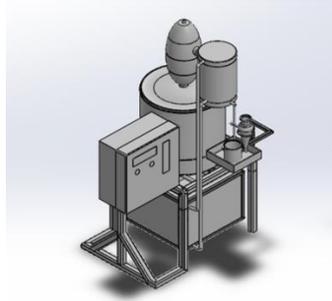
*Ilustración 8: Alambique de acero al carbono.*



*Fuente: (GrabCAD, 2014).*

- **Alternativa 4:** este tipo de alambique consta de un sistema semiautomático que utiliza gas como medio de aporte de energía directa al recipiente a presión y este a su vez unido a un evaporador donde circula el fluido que conduce a un condensador dónde sale el producto final, en cuanto a la automatización cuenta con un panel de control que consta de una termocupla, sensor de nivel y un chispero que envían señales a 2 controladores que son el control Autonics y Rex c-100; además consta de un separador químico para separar el producto final agua y aceite, método conocido como decantación.

*Ilustración 9: Alambique diseñado.*



*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

### **Evaluación de las alternativas**

Para la evaluación de las alternativas consideramos criterios de evaluación que nos permita obtener cuál de las mejores alternativas nos permite obtener un mejor diseño en función de sus diferentes características:

**Criterio 1:** Eficiencia

**Criterio 2:** Automatización

**Criterio 3:** Capacidad

**Criterio 4:** Costo

**Criterio 5:** Peso

**Criterio 6:** Montaje

**Criterio 7:** Mantenimiento

### **Evaluación del peso específico de las alternativas**

La evaluación del peso específico se la realizó de acuerdo con los criterios pertinentes que nos permitieron determinar los siguientes valores.

Eficiencia > Automatización > Capacidad > Costo > Peso > Montaje > Mantenimiento.

*Tabla 1: Evaluación del peso específico de las alternativas.*

Eficiencia	Automatización	Capacidad	Costo	Peso	Montaje	Mantenimiento	$\Sigma+1$	Ponderación
------------	----------------	-----------	-------	------	---------	---------------	------------	-------------

Eficiencia		0.5	1	1	1	1	1	6.5	0.232	
Automatización	0.5		1	1	1	1	1	6.5	0.232	
Capacidad	0	0		1	1	1	1	5	0.178	
Costo	0	0	0		0.5	1	1	3.5	0.125	
Peso	0	0	0	0.5		1	1	3.5	0.125	
Montaje	0	0	0	0	0		0.5	1.5	0.053	
Mantenimiento	0	0	0	0	0	0.5		1.5	0.053	
<b>Realizado por:</b> Atupaña. F.; Chiluiza. C.								Suma	28	1

La evaluación del peso específico de cada uno de los criterios nos permite encontrar la mejor alternativa de solución posible.

**Tabla 1:** Evaluación del criterio eficiencia

$$D > C > B > A$$

<b>Criterio 1: Eficiencia</b>						
	A	B	C	D	$\sum+1$	Ponderación
A		0	0	0	1	0.1
B	1		0	0	2	0.2
C	1	1		0	3	0.3
D	1	1	1		4	0.4
<b>Realizado por:</b> Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.					10	1

**Tabla 2:** Evaluación del criterio automatización.

$$D > B > C > A$$

<b>Criterio 2: Automatización</b>
-----------------------------------

	A	B	C	D	$\sum+1$	Ponderación
A	0	0	0	0	1	0.1
B	1	0	1	0	3	0.3
C	1	0	0	0	2	0.2
D	1	1	1	0	4	0.4
<i>Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C.</i> 2023.					10	1

**Tabla 3:** Evaluación del criterio capacidad.

$$D > C > A > B$$

<b>Criterio 3: Capacidad</b>						
	A	B	C	D	$\sum+1$	Ponderación
A	0	1	0	0	2	0.2
B	0	0	0	0	1	0.1
C	1	1	0	0	3	0.3
D	1	1	1	0	4	0.4
<i>Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza.</i> C. 2023					10	1

**Tabla 4:** Evaluación del criterio costo.

$$D > C > B = A$$

<b>Criterio 4: Costo</b>						
	A	B	C	D	$\sum+1$	Ponderación
A	0	0.5	0	0	1.5	0.15
B	0.5	0	0	0	1.5	0.15

C	1	1	0	3	0.3	
D	1	1	1	4	0.4	
<i>Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023</i>					10	1

**Tabla 5:** Evaluación del criterio peso.

$$D = C > B = A$$

<b>Criterio 5: Peso</b>						
	A	B	C	D	$\sum+1$	Ponderación
A	0	0.5	0	0	1.5	0.15
B	0.5	0	0	0	1.5	0.15
C	1	1	0.5	0.5	3.5	0.35
D	1	1	0.5	0.5	3.5	0.35
<i>Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023</i>					10	1

**Tabla 6:** Evaluación del criterio peso.

$$A > B > C > D$$

<b>Criterio 6: Montaje</b>						
	A	B	C	D	$\sum+1$	Ponderación
A	1	1	1	1	4	0.4
B	0	1	1	1	3	0.3
C	0	0	1	1	2	0.2
D	0	0	0	1	1	0.1
<i>Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023</i>					10	1

**Tabla 7: Evaluación del criterio mantenimiento.**

$$A = B > C > D$$

<b>Criterio 7: Mantenimiento</b>						
	A	B	C	D	$\sum+1$	Ponderación
A		0.5	1	1	3.5	0.35
B	0.5		1	1	3.5	0.35
C	0	0		1	2	0.2
D	0	0	0		1	0.1
<i>Realizado por: Atupaña. F.; Chiluzza. C.</i>					10	1
2023						

### Tabla de conclusiones de alternativas

El análisis de la tabla de conclusiones de alternativas permite visualizar cuál de las alternativas tiene mejores resultados, permitiendo así que los esfuerzos de diseño se centren en la alternativa más viable.

**Tabla 9: Resultados - conclusiones de las alternativas**

<b>Tabla de conclusiones</b>									
	<b>Eficiencia</b>	<b>Automatización</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Costo</b>	<b>Peso</b>	<b>Montaje</b>	<b>Mantenimiento</b>	$\Sigma$	<b>Prioridad</b>
<b>A</b>	0.1*0.2 32	0.1*0.232	0.2*0.17 8	0.15*0. 125	0.15*0. 125	0.4*0.0 53	0.35*0.053	0.14 0	4
<b>B</b>	0.2*0.2 32	0.3*0.232	0.1*0.17 8	0.15*0. 125	0.15*0. 125	0.3*0.0 53	0.35*0.053	0.20 5	3

<b>C</b>	0.3*0.2 32	0.2*0.232	0.3*0.17 8	0.3*0.1 25	0.35*0. 125	0.2*0.0 53	0.2*0.053	0.27 1	2
<b>D</b>	0.4*0.2 32	0.4*0.232	0.4*0.17 8	0.4*0.1 25	0.35*0. 125	0.1*0.0 53	0.1*0.053	0.36 1	1

*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023*

## Resultados

### Valores obtenidos lo que corresponde a la extracción de aceites esenciales de eucalipto y ciprés

De acuerdo con el análisis efectuado en el marco metodológico en donde se efectúa los cálculos pertinentes a la extracción de aceites esenciales de eucalipto y ciprés, se presentan a continuación, diferentes pruebas con distintas condiciones para el eucalipto y ciprés.

### Pruebas con eucalipto

Se realizará tres pruebas para distinta masa hojas de eucalipto para determinados tiempos de extracción.

#### Prueba 1

#### Condiciones iniciales para las pruebas del eucalipto

Materia prima de eucalipto: 1 kg.

Temperatura del caldero: 19°C

Temperatura de la columna de destilación: 17°C

Temperatura del refrigerante: 18°C

La prueba se realizó para un tiempo de 60 minutos, en donde se obtiene los siguientes resultados.

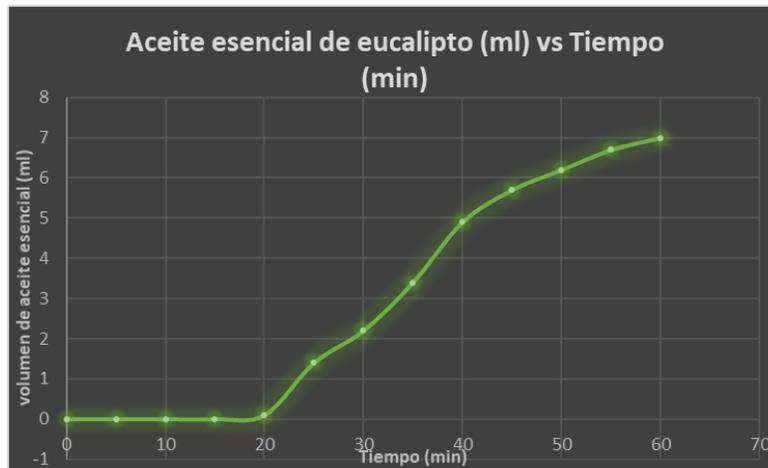
**Tabla 10-1:** Resultados de extracción de aceite esencial de eucalipto para 1 Kg de materia prima.

Tiempo (min)	Aceite esencial de eucalipto (ml)	Volumen de hidrolato (L)	Temperatura del caldero (°C)	temperatura de la columna de destilación (°C)

0	0	0	19	17
5	0	0	53	46
10	0	0	84	79
15	0	0	113	90
20	0,1	0,4	113	90
25	1,4	0,7	113	90
30	2,2	0,9	113	90
35	3,4	1,3	113	90
40	4,9	1,4	113	90
45	5,7	1,7	113	90
50	6,2	2,1	113	90
55	6,7	2,4	113	90
60	7	2,7	113	90

*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

**Ilustración 10-1:** Gráfica de aceite esencial de eucalipto (ml) vs Tiempo (min)



*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

**Ilustración 10-1:** Resultado de la prueba 1



*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

Una vez terminada la prueba se determina la cantidad de aceite esencial obtenido, el hidrolato, pérdidas de agua por evaporación y el agua concentrada en las hojas después de la prueba.

*Tabla 10-2: Resultados de la prueba 1.*

Volumen inicial de agua (L)	Materia prima (Kg)	Aceite esencial de eucalipto (ml)	Volumen de hidrolato (L)	Volumen de agua en las hojas (L)	Perdidas por evaporación(L)	pérdidas totales (L)
3	1	7	2,6	0,35	0,05	0,4

*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

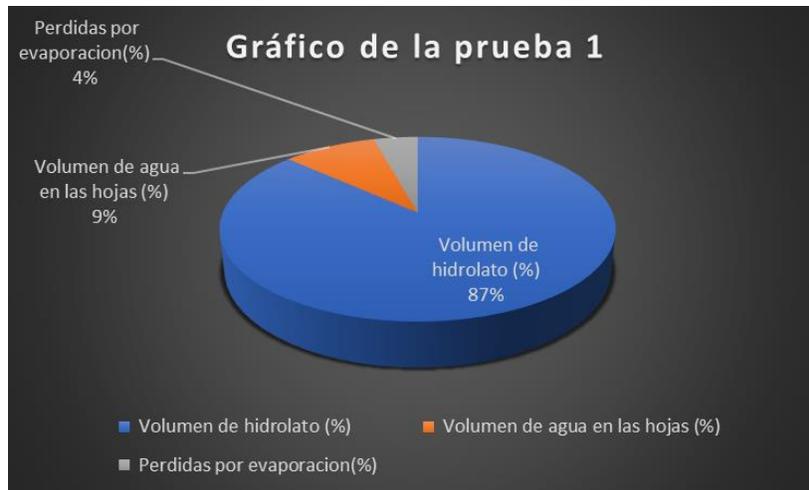
Se muestra los valores en porcentaje de los productos obtenidos y las perdidas por evaporación

*Tabla 10-3: Resultados en porcentaje del volumen de hidrolato, agua en las hojas y perdidas por evaporación de la prueba de extracción de aceite esencial de eucalipto número uno.*

Volumen inicial de agua (%)	Volumen de hidrolato (%)	Volumen de agua en las hojas (%)	Perdidas por evaporación (%)
100	86,667	9,0712	4,26

*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

*Ilustración 10-2: Resultados en porcentaje de volumen del agua utilizado para la prueba 1*



*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

## Prueba 2

### Condiciones iniciales para las pruebas del eucalipto

Materia prima de eucalipto: 2 kg.

Temperatura del caldero: 19°C

Temperatura de la columna de destilación: 17°C

Temperatura del refrigerante: 18°C

La prueba se realizó para un tiempo de 90 minutos, en donde se obtiene los siguientes resultados.

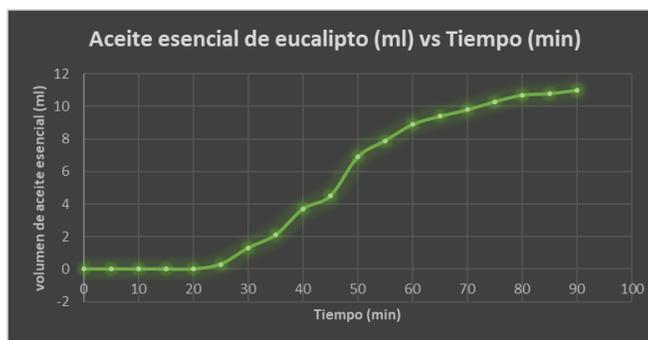
*Tabla 10-4: Resultados de extracción de aceite esencial de eucalipto para 2 Kg de materia prima.*

Tiempo (min)	Aceite esencial de eucalipto (ml)	Volumen de hidrolato (L)	Temperatura del caldero (°C)	temperatura de la columna de destilación (°C)
0	0	0	19	17
5	0	0	35	29
10	0	0	71	64
15	0	0	92	88
20	0	0	113	89
25	0,3	0,6	113	89
30	1,3	0,9	113	89
35	2,1	1,1	113	89

40	3,7	1,5	113	89
45	4,5	1,8	113	89
50	6,9	2,2	113	89
55	7,9	2,6	113	89
60	8,9	3,1	113	89
65	9,4	3,5	113	89
70	9,8	3,9	113	89
75	10,3	4,2	113	89
80	10,7	4,7	113	89
85	10,8	5,2	113	89
90	11	5,585	113	89

*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

**Ilustración 10-3:** Curva de extracción de aceite esencial de eucalipto para 2 Kg de materia prima.



*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

**Ilustración 10-4:** Resultados de la prueba 2



*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

Una vez terminada la prueba se determina la cantidad de aceite esencial obtenido, el hidrolato, pérdidas de agua por evaporación y el agua concentrada en las hojas después de la prueba.

**Tabla 10-5: Resultados de la prueba 2**

Volumen inicial de agua (L)	Materia prima (Kg)	Aceite esencial de eucalipto (ml)	Volumen de hidrolato (L)	Volumen de agua en las hojas (L)	Perdidas por evaporación(L)	pérdidas totales (L)
6	2	11	5,585	0,308	0,107	0,415

*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

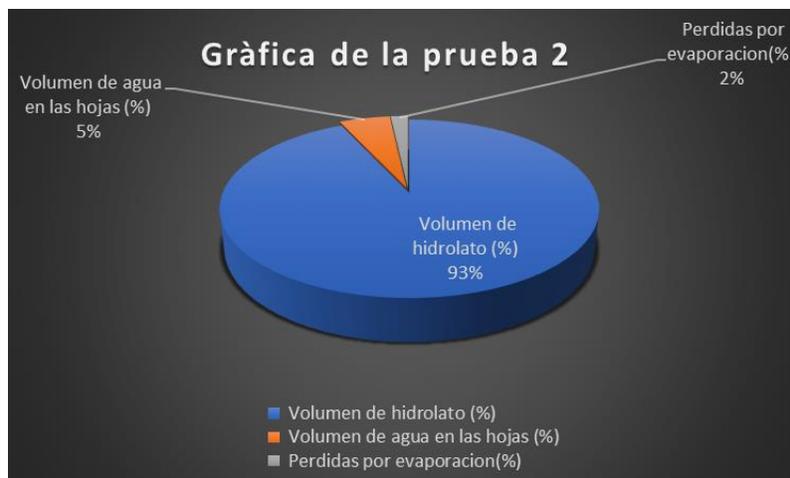
Se muestra los valores en porcentaje de los productos obtenidos y las perdidas por evaporación

**Tabla 10-6: Resultados en porcentaje del volumen de hidrolato, agua en las hojas y perdidas por evaporación de la de extracción de aceite esencial de eucalipto número dos.**

Volumen inicial de agua (%)	Volumen de hidrolato (%)	Volumen de agua en las hojas (%)	Perdidas por evaporación (%)
100	93,0833	5,175	1,742

*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023*

**Ilustración 10-5: Resultados en porcentaje de volumen del agua utilizado para la prueba 2**



*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

### Prueba 3

#### Condiciones iniciales para las pruebas del eucalipto

Materia prima de eucalipto: 5 kg.

Temperatura del caldero: 19°C

Temperatura de la columna de destilación: 17°C

Temperatura del refrigerante: 18°C

La prueba se realizó para un tiempo de 120 minutos, en donde se obtiene los siguientes resultados.

*Ilustración 10-6: Resultado de la prueba 3*



*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

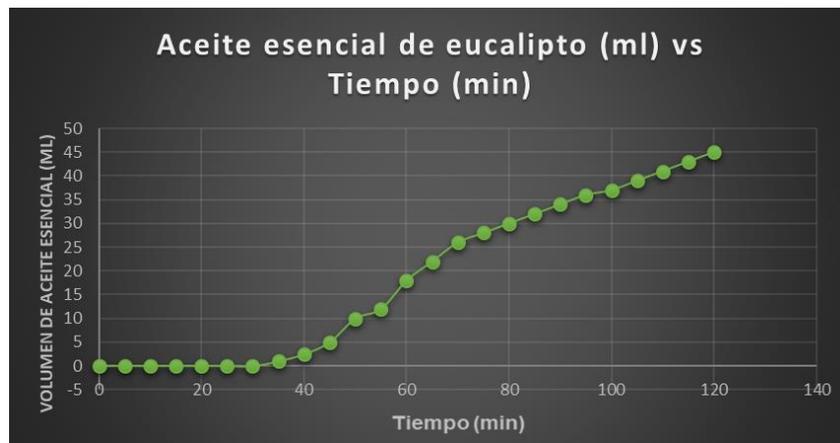
*Tabla 10-7: Resultados de extracción de aceite esencial de eucalipto para 5 Kg de materia prima.*

Tiempo (min)	Aceite esencial de eucalipto (ml)	Volumen de hidrolato (L)	Temperatura del caldero °C	temperatura de la columna de destilación
0	0	0	18	16
5	0	0	24	20
10	0	0	29	22
15	0	0	34	23
20	0	0	94	39
25	0	0	111	88
30	0,01	0,002	114	89
35	1	0,084	114	89
40	2,5	0,252	114	89
45	5	0,458	114	89
50	10	0,663	114	89
55	12	0,867	114	89
60	18	1,103	114	89
65	22	1,302	114	89

70	26	1,547	114	89
75	28	1,743	114	89
80	30	1,934	114	89
85	32	2,168	114	89
90	34	2,359	114	89
95	36	2,57	114	89
100	37	2,785	114	89
105	39	2,972	114	89
110	41	3,184	114	89
115	43	3,409	114	89
120	45	3,729	114	89

*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

*Ilustración 10-7: Curva de extracción de aceite esencial de eucalipto para 5 Kg de materia prima.*



*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

Una vez terminada la prueba se determina la cantidad de aceite esencial obtenido, el hidrolato, pérdidas de agua por evaporación y el agua concentrada en las hojas después de la prueba.

*Tabla 10-8: Resultados de la prueba 3*

Volumen inicial de agua (L)	Materia prima (Kg)	Aceite esencial de eucalipto (ml)	Volumen de hidrolato (L)	Volumen de agua en las hojas (L)	Perdidas por evaporación(L)	pérdidas totales (L)
8	5	45	5,729	0,57142857	1,69957143	2,271

*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

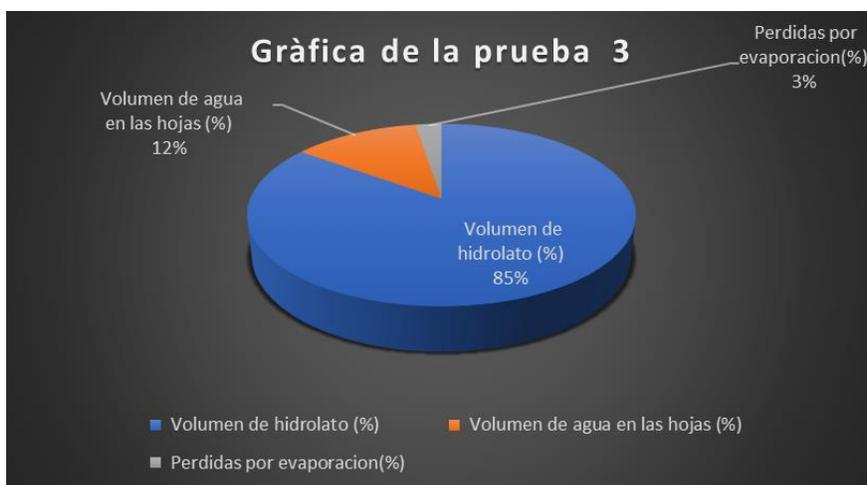
Se muestra los valores en porcentaje de los productos obtenidos y las perdidas por evaporación.

**Tabla 10-9:** Resultados en porcentaje del volumen de hidrolato, agua en las hojas y perdidas por evaporación de la prueba de extracción de aceite esencial de eucalipto número tres

Volumen inicial de agua (%)	Volumen de hidrolato (%)	Volumen de agua en las hojas (%)	Perdidas por evaporación (%)
100	71,6125	7,14285714	21,2446429

*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

**Ilustración 10-8:** Resultados en porcentaje de volumen del agua utilizado para la prueba 3.



*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

## Pruebas con ciprés

### Prueba 1

#### Condiciones iniciales para las pruebas del ciprés

Materia prima de ciprés: 4 kg.

Temperatura del caldero: 18°C

Temperatura de la columna de destilación: 15°C

Temperatura del refrigerante: 18°C

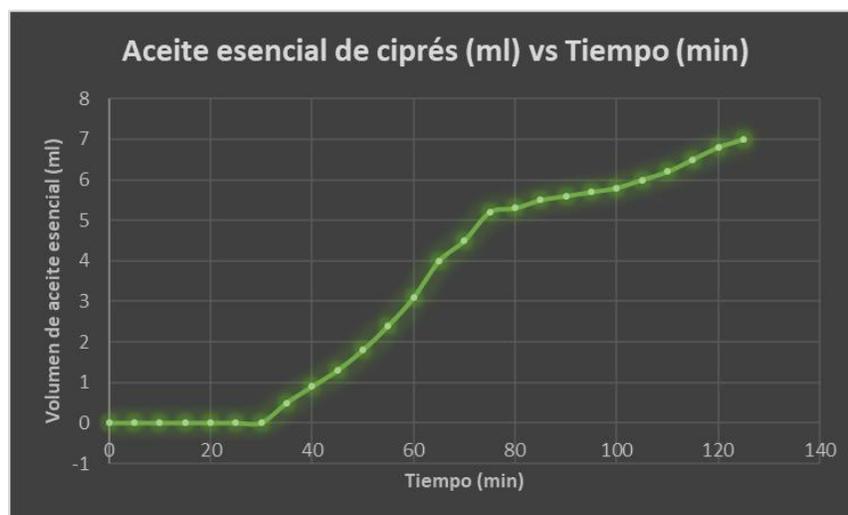
La prueba se realizó para un tiempo de 125 minutos, en donde se obtiene los siguientes resultados.

**Tabla 10-10:** Resultados de extracción de aceite esencial de ciprés para 5 Kg de materia prima.

Tiempo (min)	Aceite esencial de ciprés (ml)	Volumen de hidrolato (L)	Temperatura del caldero (°C)	temperatura de la columna de destilación (°C)
0	0	0	18	15
5	0	0	23	17
10	0	0	33	22
15	0	0	42	28
20	0	0	66	35
25	0	0	94	75
30	0,01	0,1	112	86
35	0,5	0,221	113	89
40	0,9	0,489	113	89
45	1,3	0,749	113	89
50	1,8	1,019	113	89
55	2,4	1,305	113	89
60	3,1	1,566	113	89
65	4	1,805	113	89
70	4,5	2,073	113	89
75	5,2	2,373	113	89
80	5,3	2,522	113	89
85	5,5	2,777	113	89
90	5,6	3	113	89
95	5,7	3,263	113	89
100	5,8	3,589	113	89
105	6	3,835	113	89
110	6,2	4,033	113	89
115	6,5	4,289	113	89
120	6,8	4,453	113	89
125	7	4,793	113	89

*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

*Ilustración 10-9: Curva de extracción de aceite de ciprés para 4 Kg de materia prima*



*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

*Ilustración 10-10: Resultado de la prueba 1*



*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

Una vez terminada la prueba se determina la cantidad de aceite esencial obtenido, el hidrolato, pérdidas de agua por evaporación y el agua concentrada en las hojas después de la prueba.

*Tabla 10-11: Resultados de la prueba 1*

Volumen inicial de agua (L)	Materia prima (Kg)	Aceite esencial de ciprés (ml)	Volumen de hidrolato (L)	Volumen de agua en las hojas (L)	Perdidas por evaporación(L)	pérdidas totales (L)

6	4	7	4,793	1,03401361	0,27	1,207
---	---	---	-------	------------	------	-------

*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

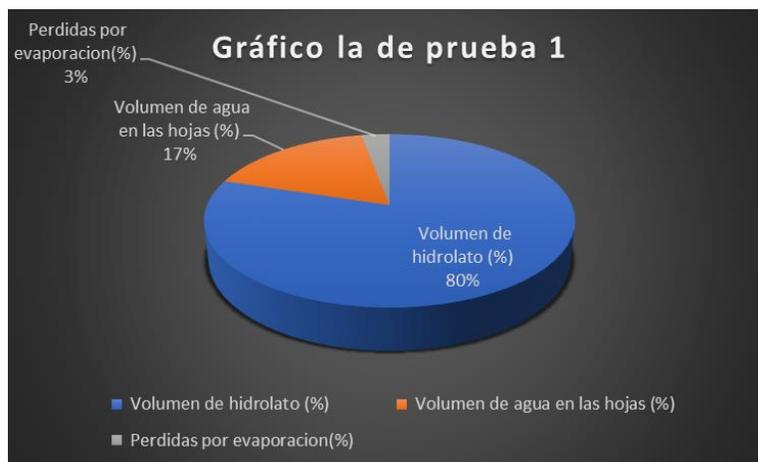
Se muestra los valores en porcentaje de los productos obtenidos y las perdidas por evaporación

**Tabla 10-12:** Resultados en porcentaje del volumen de hidrolato, agua en las hojas y perdidas por evaporación de la prueba de extracción de aceite esencial de ciprés.

Volumen inicial de agua (%)	Volumen de hidrolato (%)	Volumen de agua en las hojas (%)	Perdidas por evaporación (%)
100	79,8833333	17,2335601	2,88310658

*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

**Ilustración 10-11:** Curva de extracción de aceite de ciprés para 4 Kg de materia prima.



*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

## Método de análisis

Se realiza la espectroscopia infrarroja que es una técnica valiosa para identificar compuestos, estudiar estructuras moleculares, analizar mezclas y monitorear reacciones.

Se realiza la validación del aceite esencial de eucalipto entre la comparativa de un aceite comercial y el obtenido mediante el alambique construido.

## Espectroscopia infrarroja con la transformada de Fourier (FTIR) para el aceite comercial Julguer

*Ilustración 10-12: Pruebas del aceite esencial comercial Julguer.*



*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

**Tabla 10-13:** Resultados de los picos del aceite esencial de eucalipto Julguer

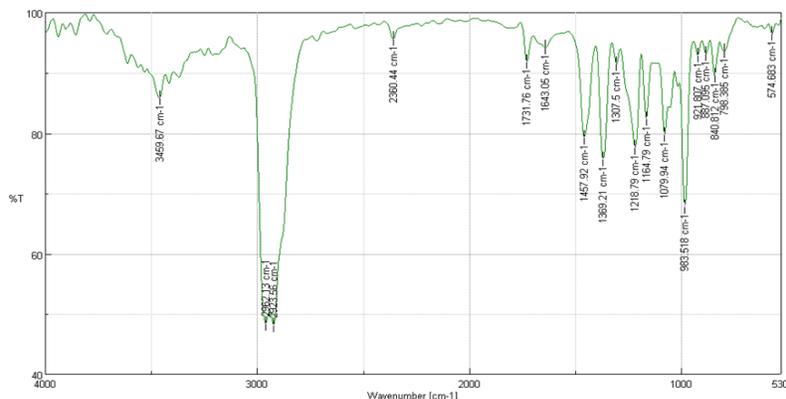
Wavenumber (cm-1)	% T
3459.67	859.018
2962.13	483.569
2923.56	481.646
2360.44	956.315
1731.76	918.668
1643.05	941.934
1457.92	792.872
1369.21	756.551
1307.5	915.104
1218.79	775.587
1164.79	823.695
1079.94	797.344
983.518	678.036
921.807	92.918
887.095	931.837
840.812	895.991
798.385	936.243

574.683

965.235

Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.

Ilustración 10-13: Espectroscopia infrarroja del aceite esencial de eucalipto comercial Julguer



Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.

### Análisis

- Se detectó en primer pico representativo en el pico  $3459.67 \text{ cm}^{-1}$  el cual no tiene una buena resolución y la presencia de pequeños picos alrededor de este puede llegar a indicar las vibraciones del enlace OH del agua.
- Los picos en la  $2962,13 - 2923,56 \text{ cm}^{-1}$  aparecen por las bandas ligadas al estiramiento carbono e hidrogeno, se puede hablar de la presencia de los grupos metilos ( $\text{CH}_3$ ) y metilenos ( $\text{CH}_2$ ).
- En pico que corresponde en la región de  $1731,76 \text{ cm}^{-1}$  es un pico pequeño y de poca intensidad, aparase asociada con el enlace carbonilo ( $\text{C}=\text{O}$ ), aunque también se tiene la presencia de un pico pequeño en los  $1643.05 \text{ cm}^{-1}$  de carácter ancho a la vibración de los enlaces carbono – carbono ( $\text{C}=\text{C}$ )

### Espectroscopia infrarroja con la transformada de Fourier (FTIR) para el aceite obtenido

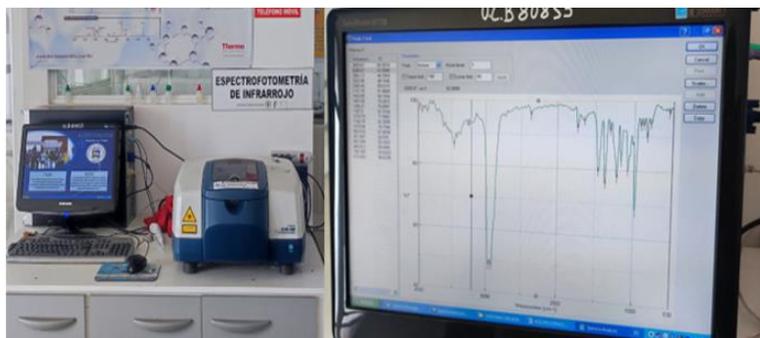
Tabla 10-14: Resultados de los picos del aceite esencial de eucalipto obtenido

Wavennumber (cm-1)	% T
--------------------	-----

3459.67	864.242
3417.24	867.382
3185.83	919.205
2965.98	462.931
2923.56	46.779
2534.01	954.196
2360.44	930.718
1820.47	954.406
1643.05	920.587
1457.92	779.098
1369.21	743.972
1307.5	898.704
1218.79	766.859
1164.79	816.744
1079.94	789.194
983.518	654.329
921.807	913.036
887.095	911.336
844.669	877.338
790.671	927.481
644.108	958.895
570.826	942.009

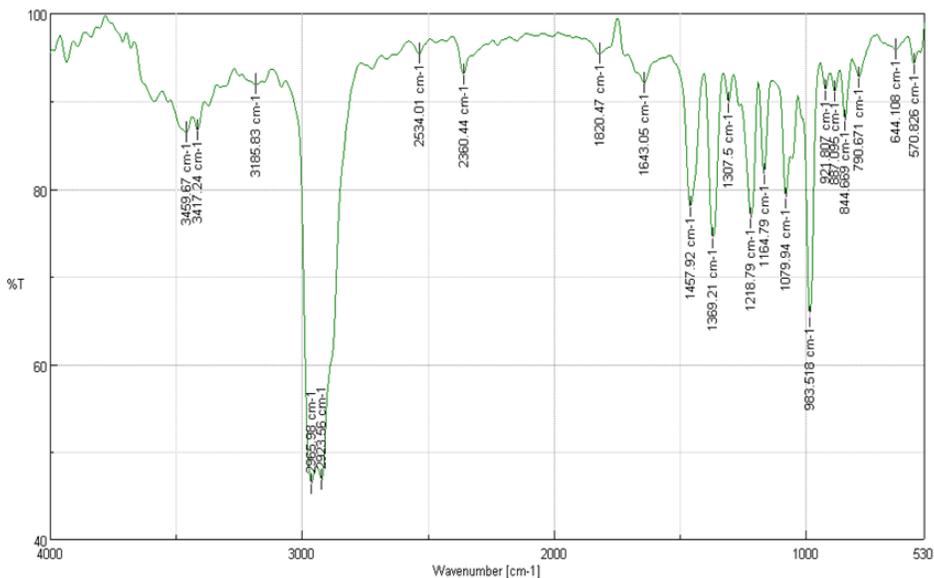
*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

**Ilustración 10-14:** Pruebas del aceite esencial de eucalipto obtenido



*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

*Ilustración 10-15: Resultados espectroscopia infrarroja del aceite esencial de eucalipto obtenido*



*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

## Análisis

- Un pico ancho y débil alrededor de los  $3459.67\text{-}3417.24\text{ cm}^{-1}$ , que corresponde a la vibración del grupo hidroxilo (OH) presente en los alcoholes y fenoles presentes en el aceite, siendo pequeño porque como tal no se encuentra el grupo OH. Pero si un pico alrededor de los  $1820.47\text{ cm}^{-1}$ , que indica la presencia de un grupo carbonilo (C=O), probablemente asociado con aldehídos o cetonas que concuerda con la formula del aceite de eucalipto.
- Picos en la región de los  $2965.98\text{-}2923.56\text{ cm}^{-1}$ , asociados a las vibraciones de estiramiento de los grupos metilo (CH<sub>3</sub>) y metileno (CH<sub>2</sub>) presentes en los alifáticos del aceite.
- Picos en la región de los  $1600\text{-}1660\text{ cm}^{-1}$ , exactamente en los  $1643.05\text{ cm}^{-1}$  el más predominante correspondientes a las vibraciones de estiramiento del doble enlace carbono-carbono (C=C) presentes en alquenos y otros compuestos insaturados.

## Pruebas físicas-químicas

Se refiere a un conjunto de análisis y evaluaciones que se realizan para medir propiedades físicas y químicas de una sustancia, material o producto.

### Prueba de densidad

Se realiza la prueba de densidad del líquido para analizar si hay variaciones en la composición química de los aceites esenciales de las pruebas.

### Prueba de densidad para el eucalipto obtenido

*Ilustración 10-16: Pruebas de densidad.*



*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

### Datos para la prueba

Peso de picnómetro: 16,1924 g

Volumen del picnómetro: 10ml

Peso del picnómetro con el aceite: 25,2620 g

$$\delta = \frac{m}{v}$$
$$\delta = \frac{25,2620 - 16,1924}{10}$$
$$\delta = 0.907 \text{ g/ml}$$

## Datos del eucalipto comercial

*Tabla 10-15: Información Físico - Químico del eucalipto comercial*

Información Físico - Químico del eucalipto comercial	
Densidad	0,904 - 0,920
Refracción	1,460 - 1,470
rotación	0/+10
Punto de inflamación	50 °C

*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

### *Prueba del pH*

Se mide el pH del producto obtenido para corroborar que no sea irritante para la piel o dañar ciertos materiales. Además, asegúrate de desechar adecuadamente los materiales utilizados para evitar la contaminación o la exposición no deseada a los aceites esenciales.

*Ilustración 10-17: Prueba de pH del aceite de eucalipto.*



*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

El aceite de eucalipto presenta en su composición 1-8 cineol (monoterpénico), pertenecientes a los hidrocarburos terpénicos simples, los cuales no son solubles en agua, sin embargo, sus derivados pueden atravesar parcialmente la fase acuosa tras la destilación debido a su capacidad de formar enlaces de hidrógeno y son capturados por mediciones de pH (Turek y Stintzing 2013). González y Véliz (2020) argumentan que los aceites esenciales de alta calidad presentan pH cercanos a 5 y máximo a 5.8. (Caderòn Rodríguez & Loor Vera)

## Discusión de resultados

- En el espectro del aceite esencia comercial Julguer aparece un pico en la región de los  $3459.67\text{cm}^{-1}$ , al igual que en nuestro espectro correspondiente al aceite esencial obtenido en el alambique con la diferencia que aparece un pico extra en la región de la  $3459.67 - 3417.24\text{ cm}^{-1}$  que corresponde a la vibración del grupo hidroxilo (OH) presente en los alcoholes y fenoles presentes en el aceite, siendo pequeño porque como tal no se encuentra el grupo OH. Pero si un pico alrededor de los  $1820.47\text{ cm}^{-1}$  que indica la presencia de un grupo carbonilo (C=O), probablemente asociado con aldehídos o cetonas que concuerda con la fórmula del aceite de eucalipto
- Además, se recalca que el espectro número uno tiene más ruido y sus interferencias en comparación de espectro número dos presenta picos más suavizados y con menos ruido.
- Con la prueba de densidad realizada para el aceite obtenido, se encuentra dentro del rango de especificaciones del producto comercial por ende se valida que el producto destilado se encuentra dentro de los márgenes para su comercialización
- Según (Caderón Rodríguez & Loor Vera) argumentan que los aceites esenciales de alta calidad presentan pH cercanos a 5 máximo a 5.8. Dato con el cual se valida el aceite esencial destilado en este proyecto que tiene un valor de 5.20 de pH.
- Se determina que el aceite esencial de eucalipto obtenido en este proyecto está dentro de los parámetros ya establecidos del producto.

## Espectroscopia infrarroja con la transformada de Fourier (FTIR) para el aceite comercial de ciprés

*Tabla 10-16: Resultados de los picos del aceite esencial de ciprés comercial*

Wavennumber (cm-1)	% T
3355.53	271.946
2973.7	544.099
2896.56	666.816
2175.31	954.857

1650.77	798.458
1450.21	856.816
1384.64	856.714
1326.79	900.324
1083.8	783.137
1045.23	602.516
879.381	830.296
593.968	752.197
559.255	771.485

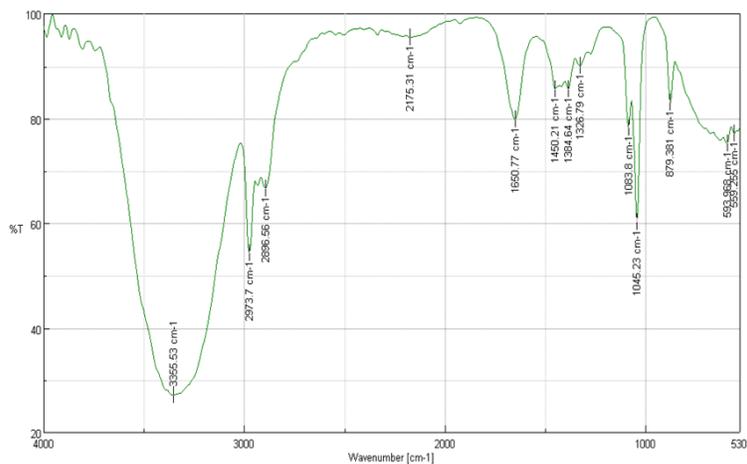
*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

**Ilustración 10-18:** Pruebas del aceite esencial de ciprés comercial



*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

**Ilustración 10-19:** Resultados espectroscopia infrarroja del aceite esencial de ciprés comercial.



*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

## Análisis

- Se encontró un pico en la zona de los 3400 y 3200  $cm^{-1}$  exactamente en 3355.53  $cm^{-1}$  con una apariencia menos amplia pero además se puede asumir que corresponde al estiramiento de banda de los fenoles.
- Otro pico con representativo se encuentra en la zona de los 2973.7  $cm^{-1}$  que corresponde a bandas ligadas al enlace de estiramiento C-H.
- Otro pico representativo con buena resolución e intensidad en la región de los 1650.77  $cm^{-1}$  por la vibración de los enlaces C=C.
- El pico representativo para los ciclos alcanos aparece en la región d ellos 1450.21 a 1384.0764  $cm^{-1}$  con una banda de tensión C-H y banda de flexión C-H en tijera para los  $CH_2$
- En la región del los 1045.83 aparece la flexión de los  $CH_3$

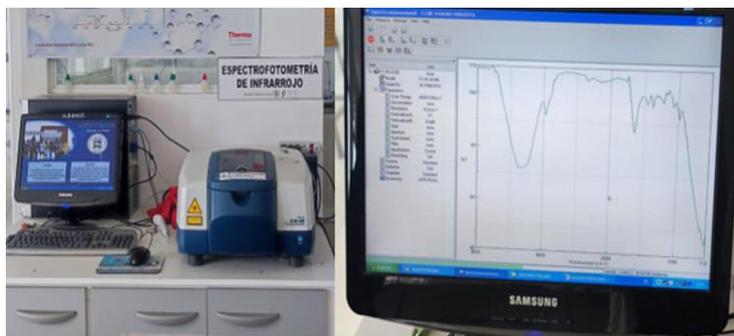
## Espectroscopia infrarroja con la transformada de Fourier (FTIR) para el aceite obtenido

*Tabla 10-17: Resultados de los picos del aceite esencial de ciprés obtenido.*

Wavennumber (cm-1)	% T
3363.25	231.627
2969.84	586.463
2356.59	912.571
2144.46	922.035
1639.2	705.838
1457.92	882.067
1373.07	881.524
1222.65	927.884
1076.08	940.527
983.518	911.279
628.68	685.468
551.542	67.34

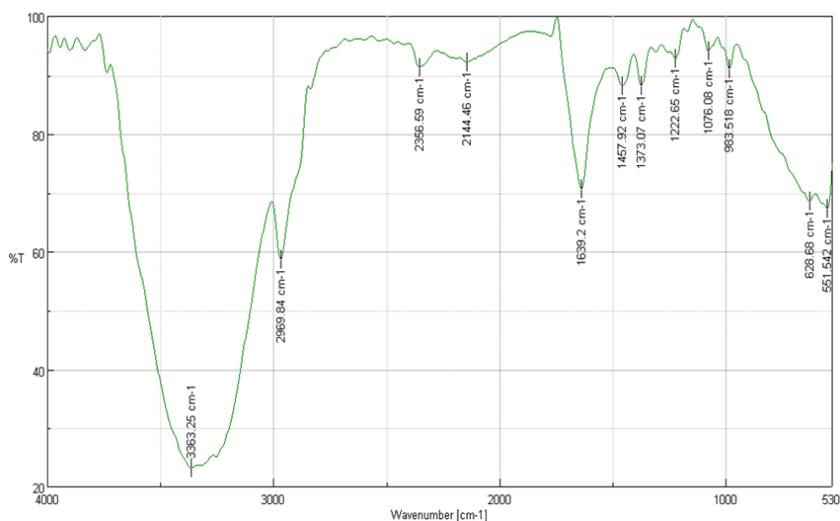
*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

*Ilustración 10-20: Pruebas del aceite esencial de ciprés obtenido.*



*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

*Ilustración 10-21: Resultados espectroscopia infrarroja del aceite esencial de ciprés obtenido*



*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

## Análisis

- Se encontró un pico en la zona de los  $3400$  y  $3200 \text{ cm}^{-1}$  exactamente en  $3363.25 \text{ cm}^{-1}$  con una apariencia menos amplia pero además se puede asumir que corresponde al estiramiento de banda de los fenoles.
- Otro pico con representativo se encuentra en la zona de los  $2969.84 \text{ cm}^{-1}$  que corresponde a bandas ligadas al enlace de estiramiento C-H.
- Otro pico representativo con buena resolución e intensidad en la región de los  $1639.2 \text{ cm}^{-1}$  por la vibración de los enlaces C=C.

- El pico representativo para los ciclos alcanos aparece en la región de ellos 1457.92 a 1373.07  $cm^{-1}$  con una banda de tensión C-H y banda de flexión C-H en tijera para los  $CH_2$
- En la región de los 983.518 aparece la flexión de los  $CH_3$

## Pruebas físicas-químicas

### Prueba de densidad

Se realiza la prueba de densidad del líquido para analizar si hay variaciones en la composición química de los aceites esenciales de las pruebas.

### Datos del cipsrés comercial

Peso de picnómetro: 16,1924 g

Volumen del picnómetro: 10ml

Peso del picnómetro con el aceite: 25,3856 g

$$\delta = \frac{m}{v}$$
$$\delta = \frac{25,12 - 16,1924}{10}$$
$$\delta = 0.892 \text{ g/ml}$$

*Tabla 10-18: Información Físico - Químico del cipsrés comercial*

Información Físico - Químico del cipsrés comercial	
Densidad	0,865 - 0,895
refracción	1,465 - 1,480
rotación	(+12/+25)
Punto de inflamación	(+12/+25)

*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

## Prueba del pH

Se mide el pH del producto obtenido para corroborar que no sea irritante para la piel o dañar ciertos materiales. Además, asegúrate de desechar adecuadamente los materiales utilizados para evitar la contaminación o la exposición no deseada a los aceites esenciales.

El pH del aceite de ciprés debe encontrarse en el rango de 5 a 7

*Ilustración 10-22: Prueba de pH para el ciprés*



*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

## Discusión de resultados

- En comparación se encuentran bandas con mayor intensidad el ciprés comercial debido a la presencia de compuestos de los preservantes añadidos a la muestra obtenida experimentalmente
- De acuerdo con los resultados de espectroscopía se concluye que se ha obtenido el mejor aceite destilado.
- El pH del aceite obtenido se encuentra en el margen establecido por bibliografía por ende el producto se valida

## Pruebas de medición de temperaturas por puntos

Como se detalló en las pruebas de funcionamiento se realizó un mecanismo para medir la temperatura en distintos puntos del recipiente a presión, por lo que se obtuvo los siguientes valores tanto para el eucalipto como para el ciprés:

**Tabla 10-19:** Valores de temperatura en distintos puntos.

Medición	Distancia (cm)	Medida marcada por el controlador de temperatura(°C)
1	10	114
2	20	114
3	30	114
4	40	114

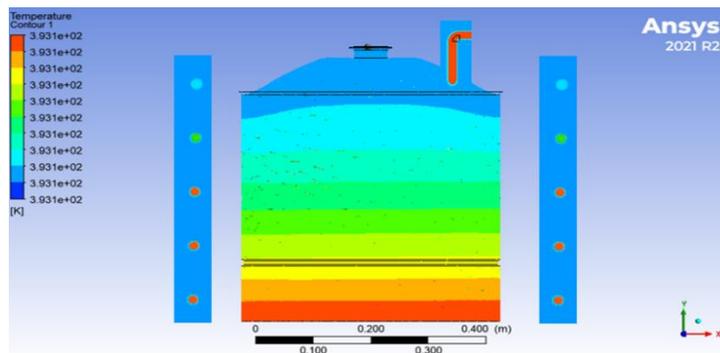
*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

Se esta manera se corrobora que en casi todas las distancias a lo largo del tubo se tiene las mismas temperaturas. A continuación, se procede a analizarlo mediante software.

### **Validación del sistema de medición de temperaturas mediante el software especializado, ANSYS**

Como ya se realizó anteriormente el análisis de la distribución de temperatura mediante elementos finitos en el punto superior donde se encuentra la termocupla mostraba un valor de 119, 95°C, del mismo modo al introducir este sistema de medición por puntos nos marca el mismo valor concluyendo que tanto la presión y temperatura son los mismos a lo largo de todo el recipiente.

**Ilustración 10-23:** Validación del sistema de medición de temperaturas mediante el software especializado ANSYS



*Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.*

Una vez realizado este mecanismo de medición de temperaturas se establece que hay una diferencia de 5, 95 °C entre las pruebas realizadas que nos dio una temperatura de destilación de 114 °C y los cálculos mediante software, de modo que es válida debido a que en el diseño teórico se considera un sistema ideal dónde no existen pérdidas mientras que en la vida real si existen.

### Cálculo de la eficiencia del alambique semi automatizado

Se refiere a la capacidad del equipo para realizar la destilación de manera efectiva y con un mínimo desperdicio de recursos, tiempo y energía.

El protocolo de pruebas se realizó para una capacidad neta de 5Kg de materia prima, a continuación, se muestra el resultado obtenido.

#### Datos:

Masa: 5Kg de hojas de eucalipto

Tiempo de consumo de GLP: 2 h

Tiempo de destilación: 1.5 h

Poder calorífico superior del GLP:  $11.867 \text{ Kcal/Kg}$

Entalpia del vapor a  $114^\circ\text{C}$ :

$$h_v = 2697.1 \text{ KJ/Kg} = 0.642 \text{ Kcal/Kg} \quad \text{Tabla A-4, Cengel.}$$

Flujo masico del GLP:

Peso inicial de la bombona de GLP: 59.15 Lb

Peso final de la bombona de GLP: 57.70 Lb

$$\dot{m}_{GLP} = \frac{59.15 - 57.70}{2} = 0.725 \text{ Lb/h} = 0.329 \text{ Kg/h}$$

Flujo masico evaporado:

$$\dot{m}_v = \frac{7.428}{1.5} = 4.952 \text{ Kg/h}$$

Eficiencia.

$$e = \frac{E_s}{E_e} = \frac{\dot{m}_v h_v}{\dot{m}_{GLP} PCS_{GLP}}$$

$$e = \frac{4.952 * 0.642}{0.329 * 11.867}$$

$$e = 0.8167 * 100$$

$$e = 81.67\%$$

## Conclusiones

- El diseño y construcción de este alambique ha sido un éxito, dando como resultado un equipo que cumple con los estándares de calidad y seguridad establecidos. Este proyecto ha demostrado la importancia de la planificación minuciosa, la atención a los detalles y la colaboración entre diferentes disciplinas para lograr un producto final que cumple con sus objetivos de manera efectiva.
- Se realizó el diseño de los componentes mecánicos bajo la norma ASME VIII división I para el recipiente a presión obteniendo un factor de seguridad de 43,20 idealizado que se corroboró mediante elementos finitos en el cual nos dio un factor de seguridad de 9,73 por lo que es aceptable según la norma ASME en el cual establece que debe ser mayor a 8.5.
- Se realizó el análisis térmico de los componentes críticos como son el recipiente, columna de vapor, pero principalmente el intercambiador de calor los cuáles se validaron mediante el paquete de Fluent CFX de ANSYS donde cumplen con la calidad de malla establecida, los valores de temperatura de entrada y salida del condensador, distribución de temperaturas en el recipiente, flujo en el serpentín y velocidad en paredes.
- Se implementó un sistema de semiautomatización que inicia con el accionamiento de un chispero que deja pasar la masa de GLP a través de una electroválvula, todo esto sincronizado con una termocupla en la cual se le da una temperatura de destilado a la que debe llegar, además un sensor de nivel que controla el nivel de agua en el fondo del recipiente y finalmente un manómetro de vapor para medir la presión de destilado.
- Se realizó el protocolo de pruebas de funcionamiento mediante el control de la temperatura obteniendo así una temperatura de destilación óptima de 114°C y una presión de 111350,33 Pa tanto para el eucalipto como ciprés, llegando así a una eficiencia del 81,67% de la máquina que se proponía al inicio de la investigación mediante un sistema de semiautomatización.

## Referencias

1. ABDELRAHIM ALQUDAH, R. A. otential anti-inflammatory activity of the Anastatica hierochuntica essential oil. Journal of Essential Oil Research, 1-10. doi:10.1080/10412905.2022.2118878

2. ALVARADO, A. Los Aceites esenciales se hacen en Ecuador. Obtenido de <https://www.ultimasnoticias.ec/vida-sana/aceites-esenciales-ecuador-vida-sana.html>
3. ANSYS. Ansys 2020 R1. Obtenido de ANSYS: <https://www.ansys.com/blog/ansys-2020-r1>
4. ASKELAND, D. Ciencia e Ingeniería de los Materiales (Vol. Tercera Edición). México: International Thomson. Obtenido de <https://chirinosilvaroger.files.wordpress.com/2012/05/ciencia-e-ingenieria-de-los-materiales-askeland-3-edicion.pdf>
5. ASME. ASME Boiler and Pressure Vessel Code. Estados Unidos: Two Park Avenue.
6. Barzallo Núñez, D. I. Repotenciación y automatización de una máquina pulidora [tesis de ingeniería, escuela superior politécnica de Chimborazo]. Repositorio Institucional, Riobamba. Obtenido de ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO: <http://dspace.esoch.edu.ec/handle/123456789/2902>
7. BUDYNAS, R., & NISBETT, K. Diseño en Ingeniería Mecánica (58-64 ed., Vol. Novena Edición). México: Mc GrawHill. Obtenido de <http://www1.frm.utn.edu.ar/electromecanica/materias%20pagina%20nuevas/elementoMaquina/material/libroCabecera.pdf>
8. CADERÓN RODRÍGUEZ, M., & LOOR VERA, M. (S.F.). Influencia del tiempo y contenido de humedad en el rendimiento del aceite esencial obtenido de hojas de eucalipto frescas y liofilizadas [Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. Repositorio Institucional, Manabí. Obtenido de [https://repositorio.espam.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/42000/2059/TIC\\_AI21D.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.espam.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/42000/2059/TIC_AI21D.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
9. CENGEL, Y., & BOLES, M. Transferencia De Calor Y Masa. México: McGraw-Hill.
10. CORDERO VINTIMILLA, D. Diseño y Construcción de Alambique para la Obtención de Aguardiente a 60° y Alcohol Etfílico a 96° a Partir de Jugo de Caña [Tesis de Ingeniería, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional, Cuenca. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20233/4/UPS-CT009108.pdf>
11. DÍAZ, D. Análisis de la producción de aceites esenciales en el Ecuador. Información Tecnológica, 5, 19-28.

12. FAJARDO, C. L. Procesamiento de plantas aromáticas y medicinales: estado del arte en América Latina. s. Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromática, 18(2), 91-109.
13. FALCÓ ROJAS, A. Obtenido de DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN CALIDAD (QFD) [Versión Pdf]: <https://web.cortland.edu/matresearch/qfd.pdf>
14. FLORES RAMIREZ, M. P. Consideraciones para el diseño y fabricación de recipientes a presión y tanques atmosféricos [Tesis de estudios de posgrado, Corporación Mexicana de Investigación en Materiales]. Repositorio Institucional, México. Obtenido de <https://comimsa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1022/190/1/MONO-ETSI-FLORES.RAMIREZ%20%281%29.pdf>
15. GARCÍA MORENO, E. Automatización de procesos industriales [Versión Pdf]. Obtenido de Universidad Politécnica de Valencia: [https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/ba85b785-46cb-49e6-a006-a8626d4177e1/TOC\\_4116\\_01\\_01.pdf?guest=true](https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/ba85b785-46cb-49e6-a006-a8626d4177e1/TOC_4116_01_01.pdf?guest=true)
16. GOICOCHEA, M. SCRIB. Obtenido de Tipos de Alambiques: <https://es.scribd.com/document/96898729/Tipos-de-Alambiques-Word>
17. GÓMEZ-MEJÍA, E. Avances en la extracción de aceites esenciales por destilación. Revista mexicana de ingeniería química, 15(2), 551-562.
18. LOACHAMIN, L., & LOAYZA, C. Variación de la composición Química de los aceites esenciales. 1-22. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/11655/1/UPS-QT09222.pdf>
19. LÓPEZ, C. J., JIMÉNEZ LÓPEZ, J., ORTEGA CEJAS, V., & PÉREZ BUSTAMANTE, J. Producción de aceites esenciales.
20. MCCORMAC, J., & CSERNAK, S. Diseño de Estructuras de Acero (Vol. Quinta Edición). México: Alfa omega. Obtenido de [https://www.academia.edu/43835732/DISE%C3%91O\\_DE\\_ESTRUCTURAS\\_DE\\_ACERO\\_McCORMAC\\_JACK\\_C](https://www.academia.edu/43835732/DISE%C3%91O_DE_ESTRUCTURAS_DE_ACERO_McCORMAC_JACK_C)
21. OYALA ESCOBAR, E., CORTÉS RODRÍGUEZ, C., & DUARTE VELASCO, O. Despliegue de la función calidad (QFD). Revista ingeniería E INVESTIGACIÓN No. 57, ABRIL DE 2005. 30 - 38, 25. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64325105>

22. PAREDES PUNINA, D. O., & QUINATO A CHICAIZA, F. D. Desarrollo de un sistema de extracción de aceites esenciales [Tesis de ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Institucional, Riobamba, Chimborazo, Ecuador.
23. RAMÍREZ, E. Alambiques: descripción y tipos. Obtenido de TODOBODEGA: <http://www.alambiques.com/alambiques.htm>
24. ZAMORANO, V. Diferentes Tipos De Alambiques. Obtenido de Mi CMS: <http://gintonicpack.com/blog/diferentes-tipos-de-alambiques/>

© 2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).