



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA MECÁNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ALAMBIQUE  
SEMIAUTOMÁTICO PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITES  
ESENCIALES DE EUCALIPTO Y CIPRÉS**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTORES:**

**FREDDY RODRIGO ATUPAÑA BACUY**

**CHRISTIAN OMAR CHILUIZA SAQUINGA**

Riobamba – Ecuador

2023



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA MECÁNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ALAMBIQUE  
SEMIAUTOMÁTICO PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITES  
ESENCIALES DE EUCALIPTO Y CIPRÉS**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTORES:** FREDDY RODRIGO ATUPAÑA BACUY

CHRISTIAN OMAR CHILUIZA SAQUINGA

**DIRECTOR:** Ing. JORGE SEBASTIÁN BUÑAY GUAMÁN, MSc.

Riobamba – Ecuador

2023

**© 2023, Freddy Rodrigo Atupaña Bacuy & Christian Omar Chiluza Saquina**

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

Nosotros, Freddy Rodrigo Atupaña Bacuy y Christian Omar Chiluiza Saquina, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 5 de diciembre del 2023



**Freddy Rodrigo Atupaña Bacuy**  
**C. I: 060582447-3**



**Christian Omar Chiluiza Saquina**  
**C. I: 180486782-6**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MECÁNICA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ALAMBIQUE SEMIAUTOMÁTICO PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITES ESENCIALES DE EUCALIPTO Y CIPRÉS**, realizado por los señores: **FREDDY RODRIGO ATUPAÑA BACUY** y **CHRISTIAN OMAR CHILUIZA SAQUINGA** , ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez, Phd.  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



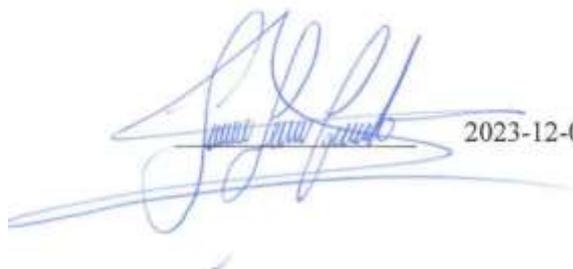
2023-12-05

Ing. Jorge Sebastián Buñay, MSc.  
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**



2023-12-05

Ing. Jorge Isaías Caicedo Reyes, MSc.  
**ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**



2023-12-05

## **DEDICATORIA**

Dedicado a mis padres Juan y María quienes estuvieron en esta travesía de mi vida, que con gran sacrificio me ayudaron a culminar este gran sueño tanto moral, económico y el ánimo de cada día a seguir adelante. También a mis hermanos Luis, Nancy, Franklin y Mayra quienes me apoyaron y me dieron su ayuda cuando lo necesitaba. Finalmente, a Dios por darme una oportunidad más de vida y poder disfrutar de este logro académico.

Freddy

Dedicado a mi madre Margarita, abuelos Juan y Clementina, hermanos Melinton y Paul, expreso mi más profundo agradecimiento a cada uno de ustedes. Vuestra inquebrantable dedicación y apoyo han sido fundamentales para alcanzar este logro tan importante en mi vida. Su constante estímulo y presencia positiva fueron el impulso que necesitaba en los momentos desafiantes. A mis amigos y compañeros, quienes compartieron este trayecto conmigo, agradezco sus manos extendidas, su apoyo incondicional y la confianza depositada en mí.

Christian

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco en primer lugar a toda mi familia, luego a mis compañeros que conocí en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y finalmente a todos los docentes que compartieron sus conocimientos a lo largo de esta vida estudiantil en especial al Ingeniero Isaías Caicedo y Jorge Buñay docentes de la carrera de mecánica.

Freddy

Agradezco a mi familia quienes me brindaron un apoyo incondicional durante este proceso. A mis amigos y compañeros con quienes compartimos la vida estudiantil. A mis docentes que impartieron su conocimiento, paciencia y experiencia dentro del ámbito ingenieril. Al ingeniero Jorge Caicedo y Jorge Buñay por su predisposición para llevar a cabo este proyecto de titulación con éxito total. Finalmente, a la ESPOCH que me permitió mi desarrollo profesional, ético y moral.

Christian

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xix
RESUMEN.....	xx
SUMMARY.....	xxi
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Delimitación.....	3
1.3. Formulación del Problema.....	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. <i>Objetivo general</i> .....	4
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	4

### CAPÍTULO II

2. MARCO REFERENCIAL.....	5
2.1. Marco conceptual.....	5
2.1.1. <i>Metodología QFD</i> .....	5
2.1.1.1. <i>Casa de la Calidad</i> .....	5
2.1.1.2. <i>Diseño Conceptual</i> .....	5
2.1.2. <i>Diseño y construcción</i> .....	6
2.1.3. <i>Alambique</i> .....	6
2.1.4. <i>Sistema semiautomatizado</i> .....	6
2.1.5. <i>Aceites esenciales</i> .....	6
2.2. Marco teórico.....	7
2.2.1. <i>Diseño mecánico</i> .....	7
2.2.1.1. <i>Propiedades mecánicas</i> .....	7
2.2.1.2. <i>Selección de materiales</i> .....	8
2.2.1.3. <i>Aceros inoxidables</i> .....	8
2.2.1.4. <i>Acero inoxidable AISI 304 grado alimenticio</i> .....	9

2.2.1.5.	<i>Acero estructural</i> .....	9
2.2.1.6.	<i>Perfil cuadrado 40*40*2 mm</i> .....	10
2.2.1.7.	<i>Diseño de recipientes a presión</i> .....	11
2.2.1.8.	<i>Espesor mínimo de un recipiente a presión</i> .....	11
2.2.1.9.	<i>Esfuerzo radial</i> .....	11
2.2.1.10.	<i>Esfuerzo tangencial</i> .....	11
2.2.1.11.	<i>Esfuerzo axial</i> .....	12
2.2.1.12.	<i>Esfuerzo equivalente</i> .....	12
2.2.1.13.	<i>Factor de seguridad</i> .....	12
2.2.2.	<b><i>Diseño estructural de la base del alambique</i></b> .....	12
2.2.2.1.	<i>Cargas en función del tiempo</i> .....	13
2.2.2.2.	<i>Carga muerta o permanente</i> .....	13
2.2.3.	<b><i>Validación por método de elementos finitos</i></b> .....	13
2.2.3.1.	<i>Software ANSYS 2021 R2</i> .....	13
2.3.	<b>Análisis térmico</b> .....	14
2.3.1.	<b><i>Condiciones de operación</i></b> .....	14
2.3.1.1.	<i>Capacidad</i> .....	14
2.3.1.2.	<i>Temperatura</i> .....	14
2.3.1.3.	<i>Tiempo</i> .....	14
2.3.1.4.	<i>Dilatación térmica</i> .....	15
2.3.1.5.	<i>Capacidad calorífica</i> .....	15
2.3.1.6.	<i>Conductividad térmica</i> .....	15
2.3.1.7.	<i>Propiedades Térmicas</i> .....	15
2.3.2.	<b><i>Transferencia de calor</i></b> .....	15
2.3.2.1.	<i>Densidad</i> .....	15
2.3.2.2.	<i>Cálculo del calor sensible</i> .....	16
2.3.2.3.	<i>Calor latente</i> .....	16
2.3.2.4.	<i>Calor Total</i> .....	16
2.3.2.5.	<i>Flujo másico</i> .....	17
2.3.2.6.	<i>Intercambiador de calor tipo serpentín</i> .....	17
2.3.2.7.	<i>Diferencia de temperatura media logarítmica (LMTD)</i> .....	17
2.3.2.8.	<i>Cálculo de los coeficientes convectivos</i> .....	18
2.3.2.9.	<i>Cálculo de la temperatura real de la pared del condensador</i> .....	19
2.3.2.10.	<i>Coefficiente convectivo de transferencia de calor por subenfriamiento (he), convección natural en superficies interiores</i> .....	19
2.3.2.11.	<i>Número de Grashof</i> .....	20
2.3.2.12.	<i>Número Nusselt</i> .....	20

2.3.2.13.	<i>ho del refrigerante (agua), convección forzada en superficies interiores</i>	20
2.3.2.14.	<i>Cálculo del coeficiente de transferencia de calor</i>	21
2.3.2.15.	<i>Áreas de transferencia de calor</i>	21
2.3.2.16.	<i>Selección de la bomba</i>	21
2.3.3.	<b>Software ANSYS 2021 R2.</b>	22
2.4.	<b>Construcción y semiautomatización industrial</b>	22
2.4.1.	<b>Construcción</b>	22
2.4.1.1.	<i>Tornería de repujase para recipientes a presión</i>	22
2.4.1.2.	<i>Soldadura TIG</i>	23
2.5.	<b>Sistema automático</b>	23
2.5.1.	<b>Sistema semiautomático</b>	23
2.5.2.	<b>Sistema de control</b>	24
2.5.2.1.	<i>Control Autonics</i>	24
2.5.2.2.	<i>Control REX C-700</i>	24
2.5.2.3.	<i>Sistema de Chispero</i>	25
2.5.2.4.	<i>Electroválvula</i>	25
2.5.2.5.	<i>Termocupla</i>	25
2.5.2.6.	<i>Sensor de nivel</i>	25
2.5.2.7.	<i>Manómetro de presión de vapor</i>	26
2.5.2.8.	<i>Protocolo de pruebas</i>	26
2.5.2.9.	<i>Temperatura</i>	27
2.5.2.10.	<i>Eficacia de arrastre</i>	27

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b>	28
3.1.	<b>Diseño del alambique</b>	28
3.1.1.	<b>Diseño Conceptual</b>	28
3.1.1.1.	<i>Metodología QFD</i>	28
3.1.1.2.	<i>Despliegue de la función de calidad</i>	28
3.1.1.3.	<i>Primera fase o Definición del Producto</i>	29
3.1.1.4.	<i>Voz del Usuario</i>	29
3.1.1.5.	<i>Voz del ingeniero</i>	29
3.1.1.6.	<i>Correlaciones</i>	30
3.1.1.7.	<i>Comparación Técnica</i>	30
3.1.1.8.	<i>Compromisos técnicos</i>	30
3.1.1.9.	<i>Segunda fase o Diseño conceptual</i>	30

3.1.1.10.	<i>Matriz morfológica.....</i>	30
3.1.1.11.	<i>Tercera fase o diseño de materialización. ....</i>	30
3.1.1.12.	<i>Cuarta fase o diseño de detalle. ....</i>	31
3.1.1.13.	<i>Definición del producto.....</i>	31
3.1.1.14.	<i>Requerimientos del cliente. ....</i>	31
3.1.1.15.	<i>Requerimientos de operación.....</i>	31
3.1.1.16.	<i>Requerimientos funcionales. ....</i>	32
3.1.1.17.	<i>Requerimientos de costos.....</i>	33
3.1.1.18.	<i>Materiales de fabricación. ....</i>	33
3.1.1.19.	<i>Análisis de competencias. ....</i>	34
3.1.1.20.	<i>Competidor principal. ....</i>	34
3.1.1.21.	<i>Competidor secundario. ....</i>	35
3.1.2.	<b><i>Despliegue de la función de calidad (casa de calidad).....</i></b>	36
3.1.2.1.	<i>Voz del ingeniero. ....</i>	36
3.1.2.2.	<i>Correlaciones.....</i>	36
3.1.2.3.	<i>Compromisos técnicos. ....</i>	37
3.1.2.4.	<i>Especificaciones técnicas.....</i>	38
3.1.2.5.	<i>Análisis Funcional/Modular. ....</i>	40
3.1.3.	<b><i>Matriz Morfológica.....</i></b>	40
3.1.3.1.	<i>Generación de alternativas.....</i>	42
3.1.3.2.	<i>Análisis de alternativas.....</i>	42
3.1.3.3.	<i>Evaluación de las alternativas. ....</i>	44
3.1.3.4.	<i>Evaluación del peso específico de las alternativas. ....</i>	45
3.1.3.5.	<i>Evaluación del peso específico de los criterios. ....</i>	46
3.1.3.6.	<i>Tabla de conclusiones de alternativas. ....</i>	48
3.1.4.	<b><i>Diseño preliminar. ....</i></b>	50
3.1.4.1.	<i>Generación del modelo 3D. ....</i>	50
3.1.5.	<b><i>Diseño mecánico. ....</i></b>	51
3.1.5.1.	<i>Cálculos generales de diseño.....</i>	51
3.1.5.2.	<i>Cálculo del radio de la base. ....</i>	52
3.1.5.3.	<i>Cálculo del área transversal del cilindro.....</i>	52
3.1.5.4.	<i>Cálculo del área de la base.....</i>	52
3.1.5.5.	<i>Cálculo del área total.....</i>	52
3.1.5.6.	<i>Presión de Trabajo.....</i>	52
3.1.5.7.	<i>Cálculo del espesor mínimo del extractor.....</i>	53
3.1.5.8.	<i>Esfuerzo Circunferencial bajo junta longitudinal.....</i>	53
3.1.5.9.	<i>Esfuerzo longitudinal bajo junta circunferencial.....</i>	53

3.1.5.10.	<i>Esfuerzos mecánicos.</i>	54
3.1.5.11.	<i>Esfuerzo Axial</i>	54
3.1.5.12.	<i>Validación mediante software especializado ANSYS.</i>	54
3.1.5.13.	<i>Análisis de la estructura metálica o soporte.</i>	60
3.1.6.	<b>Análisis térmico.</b>	64
3.1.6.1.	<i>Calor sensible y calor latente.</i>	64
3.1.6.2.	<i>Calor sensible.</i>	64
3.1.6.3.	<i>Flujo másico</i>	64
3.1.6.4.	<i>Calor latente</i>	65
3.1.6.5.	<i>Capacidad de la caldera BHP.</i>	65
3.1.6.6.	<i>Diseño del intercambiador de calor.</i>	65
3.1.6.7.	<i>Calor sensible de condensación.</i>	66
3.1.6.8.	<i>Calor latente de condensación.</i>	66
3.1.6.9.	<i>Selección de la bomba</i>	72
3.1.6.10.	<i>Caudal requerido</i>	72
3.1.7.	<b>Validación del sistema térmico mediante el software especializado, ANSYS.</b>	73
3.1.7.1.	<i>Velocidad en las paredes</i>	74
3.1.7.2.	<i>Velocidades en el centro.</i>	74
3.1.7.3.	<i>Temperatura del caldero.</i>	75
3.1.7.4.	<i>Flujo del fluido.</i>	75
3.1.8.	<b>Presión de destilación.</b>	76
3.1.9.	<b>Análisis térmico del intercambiador de calor mediante el software ANSYS.</b>	76
3.1.9.1.	<i>Temperatura del serpentín</i>	77
3.1.10.	<b>Sistema semiautomático</b>	78
3.1.10.1.	<i>Control de temperatura</i>	78
3.1.10.2.	<i>Relé de nivel.</i>	79
3.1.10.3.	<i>Relé auxiliar RA1.</i>	79
3.1.10.4.	<i>Relé auxiliar RA2.</i>	79
3.1.10.5.	<i>Paro de emergencia PE.</i>	79
3.1.10.6.	<i>Control de llama.</i>	79
3.1.11.	<b>Construcción del alambique.</b>	81
3.1.11.1.	<i>Construcción de partes constitutivas.</i>	81
3.1.11.2.	<i>Descripción del proceso de construcción del alambique.</i>	82
3.2.	<b>Ensamblaje del sistema</b>	89
3.2.1.	<b>Montaje de los elementos de control.</b>	90
3.2.1.1.	<i>Termocupla.</i>	91
3.2.1.2.	<i>Manómetro.</i>	91

3.2.1.3.	<i>Sensor de nivel.</i>	91
3.2.1.4.	<i>Medidor de temperatura.</i>	91
3.2.2.	<b>Montaje de los elementos de destilación</b>	91
3.2.2.1.	<i>Vaso de decantación.</i>	91
3.3.	<b>Pruebas de funcionamiento.</b>	91
3.3.1.	<b>Desarrollo de las pruebas de funcionamiento.</b>	92
3.3.1.1.	<i>Preparación de la materia prima.</i>	92
3.3.1.2.	<i>Preparación del alambique.</i>	92
3.3.2.	<b>Condensación y separación</b>	93
3.4.	<b>Análisis de costos</b>	94
3.4.1.	<i>Costos directos.</i>	94
3.4.2.	<i>Costos indirectos.</i>	96
3.4.3.	<i>Costos totales.</i>	96

#### CAPÍTULO IV

4.	<b>RESULTADOS</b>	97
4.1.	<b>Pruebas con eucalipto</b>	97
4.1.1.	<i>Prueba 1</i>	97
4.1.2.	<i>Prueba 2</i>	99
4.1.3.	<i>Prueba 3</i>	102
4.2.	<b>Pruebas con ciprés</b>	105
4.2.1.	<i>Prueba 1</i>	105
4.3.	<b>Método de análisis</b>	108
4.3.1.	<i>Espectroscopia infrarroja con la transformada de Fourier (FTIR) para el aceite comercial Julguer</i>	108
4.3.2.	<i>Espectroscopia infrarroja con la transformada de Fourier (FTIR) para el aceite obtenido</i>	110
4.3.3.	<b>Pruebas físicas-químicas.</b>	112
4.3.3.1.	<i>Prueba de densidad</i>	112
4.3.4.	<i>Prueba del pH</i>	113
4.3.5.	<i>Espectroscopia infrarroja con la transformada de Fourier (FTIR) para el aceite comercial de ciprés</i>	114
4.3.6.	<i>Espectroscopia infrarroja con la transformada de Fourier (FTIR) para el aceite obtenido</i>	116
4.4.	<b>Prueba físico-químico</b>	117
4.4.1.	<i>Prueba de densidad</i>	117

4.4.2.	<i>Prueba del pH.</i>	118
4.5.	<b>Pruebas de medición de temperaturas por puntos</b>	119
4.5.1.	<i>Validación del sistema de medición de temperaturas mediante el software especializado, ANSYS.</i>	119
4.6.	<b>Cálculo de la eficiencia del alambique semi automatizado</b>	120

#### **CAPÍTULO IV**

5.	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	122
5.1.	<b>Conclusiones</b>	122
5.2.	<b>Recomendaciones</b>	123

#### **BIBLIOGRAFÍA**

#### **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b>	Tipos de aceros comúnmente utilizados en la construcción en el Ecuador.....	10
<b>Tabla 2-2:</b>	Propiedades del tubo cuadrado 30x30x2.....	11
<b>Tabla 2-3:</b>	Tipos de termocuplas.....	25
<b>Tabla 3-1:</b>	Requerimientos del cliente.....	34
<b>Tabla 3-2:</b>	Requerimientos del cliente.....	35
<b>Tabla 3-3:</b>	Voz del ingeniero.....	36
<b>Tabla 3-4:</b>	Correlaciones.....	37
<b>Tabla 3-5:</b>	Requerimientos del cliente.....	37
<b>Tabla 3-6:</b>	Puntuación.....	38
<b>Tabla 3-7:</b>	Especificaciones técnicas.....	39
<b>Tabla 3-8:</b>	Matriz morfológica.....	40
<b>Tabla 3-9:</b>	Evaluación del peso específico de las alternativas.....	46
<b>Tabla 3-10:</b>	Evaluación del criterio eficiencia.....	47
<b>Tabla 3-11:</b>	Evaluación del criterio automatización.....	47
<b>Tabla 3-12:</b>	Evaluación del criterio capacidad.....	47
<b>Tabla 3-13:</b>	Evaluación del criterio costo.....	47
<b>Tabla 3-14:</b>	Evaluación del criterio peso.....	48
<b>Tabla 3-15:</b>	Evaluación del criterio montaje.....	48
<b>Tabla 3-16:</b>	Evaluación del criterio mantenimiento.....	48
<b>Tabla 3-17:</b>	Resultados - conclusiones de las alternativas.....	49
<b>Tabla 3-18:</b>	Partes principales del diseño preliminar.....	50
<b>Tabla 3-19:</b>	Recomendaciones de mallado y validación.....	55
<b>Tabla 3-20:</b>	Mediciones de temperaturas en distintas alturas.....	79
<b>Tabla 3-21:</b>	Máquinas y herramientas utilizadas en el proceso de construcción.....	81
<b>Tabla 3-22:</b>	Condiciones de funcionamiento para la extracción del aceite esencial de eucalipto.....	93
<b>Tabla 3-23:</b>	Evaluación de los costos de los materiales a utilizar.....	94
<b>Tabla 3-24:</b>	Costos indirectos.....	96
<b>Tabla 3-25:</b>	Costos totales.....	96
<b>Tabla 4-1:</b>	Resultados de extracción de aceite esencial de eucalipto para 1 Kg de materia prima.....	97
<b>Tabla 4-2:</b>	Resultados de la prueba 1.....	98

<b>Tabla 4-3:</b>	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.....	99
<b>Tabla 4-4:</b>	Resultados de extracción de aceite esencial de eucalipto para 2 Kg de materia prima.....	99
<b>Tabla 4-5:</b>	Resultados de la prueba 2.....	101
<b>Tabla 4-6:</b>	Resultados en porcentaje del volumen de hidrolato, agua en las hojas y perdidas por evaporación de la extracción de aceite esencial de eucalipto número dos.	101
<b>Tabla 4-7:</b>	Resultados de extracción de aceite esencial de eucalipto para 5 Kg de materia prima.....	103
<b>Tabla 4-8:</b>	Resultados de la prueba 3.....	104
<b>Tabla 4-9:</b>	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 .....	104
<b>Tabla 4-10:</b>	Resultados de extracción aceite esencial de ciprés para 5Kg materia prima...	105
<b>Tabla 4-11:</b>	Resultados de la prueba 1 .....	107
<b>Tabla 4-12:</b>	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. ....	107
<b>Tabla 4-13:</b>	Resultados de los picos del aceite esencial de eucalipto Julguer .....	109
<b>Tabla 4-14:</b>	Resultados de los picos del aceite esencial de eucalipto obtenido .....	110
<b>Tabla 4-15:</b>	Información Físico - Químico del eucalipto comercial.....	113
<b>Tabla 4-16:</b>	Resultados de los picos del aceite esencial de ciprés comercial.....	114
<b>Tabla 4-17:</b>	Resultados de los picos del aceite esencial de ciprés obtenido. ....	116
<b>Tabla 4-18:</b>	Información Físico - Químico del ciprés comercial .....	118
<b>Tabla 4-19:</b>	Valores de temperatura en distintos puntos.....	119

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2-1:</b>	Propiedades mecánicas.....	7
<b>Ilustración 2-2:</b>	Módulo de Young E contra densidad de diferentes materiales. (Figura cortesía del profesor Mike Ashby, Gran ta Design, Cambridge, R.U.) .....	8
<b>Ilustración 2-3:</b>	Composiciones y propiedades típicas de los aceros inoxidable.....	9
<b>Ilustración 2-4:</b>	Tubo cuadrado 30x30*2.....	10
<b>Ilustración 2-5:</b>	Sistema de intercambiador de tipo serpentín.....	17
<b>Ilustración 2-6:</b>	Variación de temperatura en el condensador. ....	18
<b>Ilustración 3-1:</b>	Compromisos técnicos. ....	38
<b>Ilustración 3-2:</b>	Análisis modular .....	40
<b>Ilustración 3-3:</b>	Alambique de cobre. ....	42
<b>Ilustración 3-4:</b>	Alambique de dos cilindros.....	43
<b>Ilustración 3-5:</b>	Alambique de acero al carbono.....	43
<b>Ilustración 3-6:</b>	Alambique diseñado.....	44
<b>Ilustración 3-7:</b>	Diseño preliminar.....	50
<b>Ilustración 3-8:</b>	Modelado del recipiente a presión.....	55
<b>Ilustración 3-9:</b>	Calidad de mallado.....	55
<b>Ilustración 3-10:</b>	Condicionamiento para el análisis.....	56
<b>Ilustración 3-11:</b>	Análisis estructural.....	56
<b>Ilustración 3-12:</b>	Deformaciones en los puntos críticos del recipiente a presión.....	57
<b>Ilustración 3-13:</b>	Factores de seguridad en los.....	57
<b>Ilustración 3-14:</b>	Perfil de la columna de destilación.....	58
<b>Ilustración 3-15:</b>	Deformaciones de la columna de evaporación.....	58
<b>Ilustración 3-16:</b>	Concentradores de esfuerzos.....	59
<b>Ilustración 3-17:</b>	Concentradores de esfuerzos en la columna.....	59
<b>Ilustración 3-18:</b>	Factor de seguridad en la columna de evaporación.....	60
<b>Ilustración 3-19:</b>	Análisis de la estructura metálica o.....	60
<b>Ilustración 3-20:</b>	Parámetros para el análisis estructural. ....	61
<b>Ilustración 3-21:</b>	Asignación de perfiles.....	61
<b>Ilustración 3-22:</b>	Asignación de cargas.....	62
<b>Ilustración 3-23:</b>	Calculo de deformaciones.....	62
<b>Ilustración 3-24:</b>	Punto más crítico de deformación.....	63
<b>Ilustración 3-25:</b>	Factor de seguridad de la estructura.....	63
<b>Ilustración 3-26:</b>	Mallado del recipiente a presión. ....	73
<b>Ilustración 3-27:</b>	Velocidades en las paredes.....	74

<b>Ilustración 3-28:</b>	Velocidades en el centro en el centro del recipiente a presión.....	74
<b>Ilustración 3-29:</b>	Temperatura en el centro del caldero .....	75
<b>Ilustración 3-30:</b>	Flujo del fluido en el recipiente.....	75
<b>Ilustración 3-31:</b>	Presión de destilación.....	76
<b>Ilustración 3-32:</b>	Análisis térmico del intercambiador de calor.....	76
<b>Ilustración 3-33:</b>	Temperatura del serpentín.....	77
<b>Ilustración 3-34:</b>	Temperatura del serpentín en el proceso de enfriado.....	77
<b>Ilustración 3-35:</b>	Sistema de medición de temperatura.....	78
<b>Ilustración 3-36:</b>	Planos del sistema de automatización. ....	80
<b>Ilustración 3-37:</b>	Construcción del recipiente a presión. ....	82
<b>Ilustración 3-38:</b>	Sistema de cierre. ....	82
<b>Ilustración 3-39:</b>	Empaques y binchas. ....	83
<b>Ilustración 3-40:</b>	Agujeros para los instrumentos de medición. ....	83
<b>Ilustración 3-41:</b>	Rejilla interior. ....	84
<b>Ilustración 3-42:</b>	Columna de evaporación.....	84
<b>Ilustración 3-43:</b>	Intercambiador de calor.....	85
<b>Ilustración 3-44:</b>	Tablero de control. ....	85
<b>Ilustración 3-45:</b>	Construcción de la mesa.....	86
<b>Ilustración 3-46:</b>	Estructura metálica.....	86
<b>Ilustración 3-47:</b>	Piezas desmontables.....	87
<b>Ilustración 3-48:</b>	Aro de seguridad. ....	87
<b>Ilustración 3-49:</b>	Adaptación de la hornilla del GLP.....	87
<b>Ilustración 3-50:</b>	Instalación del chispero.....	88
<b>Ilustración 3-51:</b>	Recipiente de agua .....	88
<b>Ilustración 3-52:</b>	Sistema de destilación. ....	89
<b>Ilustración 3-53:</b>	Armado de la estructura. ....	89
<b>Ilustración 3-54:</b>	Abrazadera tri-clamp.....	90
<b>Ilustración 3-55:</b>	Bomba de agua sumergible .....	90
<b>Ilustración 3-56:</b>	Diagrama de proceso para extracción de aceites esenciales.....	92
<b>Ilustración 4-1:</b>	Gráfica de aceite esencial de eucalipto (ml) vs Tiempo (min).....	98
<b>Ilustración 4-2:</b>	Resultado de la prueba 1 .....	98
<b>Ilustración 4-3:</b>	Resultados en porcentaje de volumen del agua utilizado para la prueba 1 ..	99
<b>Ilustración 4-4:</b>	Curva de extracción de aceite esencial de eucalipto para 2 Kg de materia prima.....	100
<b>Ilustración 4-5:</b>	Resultados de la prueba 2.....	101
<b>Ilustración 4-6:</b>	Resultados en porcentaje de volumen del agua utilizado para la prueba 2	102
<b>Ilustración 4-7:</b>	Resultado de la prueba 3 .....	102

<b>Ilustración 4-8:</b>	Curva de extracción de aceite esencial de eucalipto para 5 Kg de materia prima.....	104
<b>Ilustración 4-9:</b>	Resultados en porcentaje de volumen del agua utilizado para la prueba 3.	105
<b>Ilustración 4-10:</b>	Curva de extracción de aceite de ciprés para 4 Kg de materia prima.....	106
<b>Ilustración 4-11:</b>	Resultado de la prueba 1 .....	107
<b>Ilustración 4-12:</b>	Curva de extracción de aceite de ciprés para 4 Kg de materia prima.....	108
<b>Ilustración 4-13:</b>	Pruebas del aceite esencial comercial Julguer.....	108
<b>Ilustración 4-14:</b>	Espectroscopia infrarroja aceite esencial de eucalipto comercial Julguer..	109
<b>Ilustración 4-15:</b>	Pruebas del aceite esencial de eucalipto obtenido.....	111
<b>Ilustración 4-16:</b>	Resultados espectroscopia infrarrojaaceite esencial de eucalipto obtenido	111
<b>Ilustración 4-17:</b>	Pruebas de densidad. ....	112
<b>Ilustración 4-18:</b>	Prueba de pH del aceite de eucalipto.....	113
<b>Ilustración 4-19:</b>	Pruebas del aceite esencial de ciprés comercial .....	115
<b>Ilustración 4-20:</b>	Resultados espectroscopia infrarroja aceite esencial de ciprés comercial..	115
<b>Ilustración 4-21:</b>	Pruebas del aceite esencial de ciprés obtenido.....	116
<b>Ilustración 4-22:</b>	Resultados espectroscopia infrarroja aceite esencial de ciprés obtenido ...	117
<b>Ilustración 4-23:</b>	Prueba de pH para el ciprés.....	118
<b>Ilustración 4-24:</b>	Validación del sistema de medición de temperaturas mediante el software especializado ANSYS .....	120

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** MANUAL DE USUARIO

**ANEXO B:** PLANOS DE UN ALAMBIQUE SEMIAUTOMÁTICO

## RESUMEN

En la actualidad, aún queda mucho por investigar la eficacia del alambique en la destilación de aceites esenciales, por lo que se sugiere que se puede investigar más a fondo el efecto de la variación de la temperatura en la producción de aceites esenciales. Por ello que se planteó el objetivo de diseñar y construir un alambique semiautomático con capacidad de 70 litros para la obtención de aceites esenciales de eucalipto y ciprés. Utilizando una metodología que se centra en explorar las propiedades, aplicaciones y analizar el método de extracción seleccionado. El método de extracción elegido es el de arrastre con vapor, el cual comprende 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, se lleva a cabo el diseño térmico de dichos elementos, validándolos mediante el método de elemento finito, para luego implementar un sistema semiautomático para supervisar el proceso. Posteriormente, se procede a la construcción individual de cada elemento, seguido del ensamblaje del sistema con las debidas pruebas de funcionamiento con el fin de obtener aceite esencial de eucalipto y ciprés. Obteniendo como resultado el diseño y construcción de este alambique con éxito, cumpliendo con los estándares de calidad y seguridad establecidos. A través de un método de control de calidad, se valida la calidad del aceite esencial obtenido. Para evaluar la calidad de los aceites extraídos, se llevó a cabo la caracterización mediante parámetros como la densidad, el pH y la espectroscopia infrarroja. Concluyendo que 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.

**Palabras clave:** <DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN>, <ALAMBIQUE SEMIAUTOMÁTICO>, <ACEITES ESENCIALES>, <EUCALIPTO Y CIPRÉS>, <ANÁLISIS TÉRMICO>.

2164-DBRA-UPT-2023



## SUMMARY

There is still much to investigate the effectiveness of the still in the distillation of essential oils. Therefore, it is suggested that the effect of temperature variation on the production of essential oils can be further investigated. For this reason, the objective was to design and build a semi-automatic still with a capacity of 70 liters to obtain essential oils from eucalyptus and cypress by using a methodology that focuses on exploring the properties and applications and analyzing the selected extraction method. The extraction method chosen is steam stripping, which includes a pressure vessel, a distillation column, a coil-type exchanger, and a decantation system. The ASME code designs these components. In addition, the thermal design of these elements is carried out, validating them using the finite element method and then implementing a semi-automatic system to supervise the process. Subsequently, the individual construction of each element is carried out, followed by the assembly of the system with the proper functional tests to obtain eucalyptus and cypress essential oil. The result was that this still had a successful design and construction, complying with the established quality and safety standards. The quality of the essential oil obtained is validated through a quality control method. Characterization was carried out to evaluate the quality of the extracted oils using parameters such as density, pH, and infrared spectroscopy. This project has demonstrated the importance of careful planning, attention to detail, and collaboration between disciplines to achieve a final product that effectively meets its objectives.

Keywords: <DESIGN AND CONSTRUCTION>, <SEMIAUTOMATIC STILL>, <ESSENTIAL OILS>, <EUCALYPTUS AND CYPRESS>, <THERMAL ANALYSIS>.



Lic. Sandra Leticia Guijarro Paguay

C.I.: 0603366113

## **INTRODUCCIÓN**

Los aceites esenciales es un fascinante recorrido por el mundo de las esencias naturales, con un papel crucial a lo largo de la historia humana. Estos aceites, extraídos de plantas y otras fuentes botánicas, se destacan por sus propiedades aromáticas y terapéuticas únicas. Utilizados desde tiempos antiguos en medicina, rituales religiosos y bienestar, estos tesoros no solo ofrecen fragancias distintivas, sino también propiedades que van desde la calma hasta la acción antimicrobiana.

El proceso de extracción ya sea mediante métodos tradicionales o modernos como destilación al vapor, revela la diversidad de plantas que ofrecen una amplia gama de fragancias con beneficios específicos. La exploración se centra en los aceites esenciales de eucalipto y ciprés, detallando sus propiedades y aplicaciones en campos como la aromaterapia y la cosmética. El proyecto incluye la investigación y diseño de un sistema semiautomatizado para su extracción.

Acerca del control de calidad del aceite esencial de eucalipto y ciprés destaca la importancia crucial de garantizar la excelencia y pureza de estos extractos botánicos en respuesta al creciente interés en sus beneficios terapéuticos. Este proceso implica evaluar propiedades como la pureza química, composición, aroma y propiedades físicas mediante métodos analíticos avanzados como la espectroscopia.

## CAPÍTULO I

### 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Antecedentes

A nivel mundial, la construcción del alambique y la extracción de aceites esenciales ha sido un proceso continuo de evolución y mejora. (Gómez-Mejía, 2016). En el siglo XVI, los alambiques evolucionaron hacia una forma más compleja, con dos cámaras de destilación y serpentines de enfriamiento para mejorar la eficiencia del proceso. El diseño actual del alambique se atribuye al químico irlandés Robert Boyle, quién en el siglo XVII patentó una mejora en el diseño del alambique que permitía una mayor eficiencia en la destilación. (Smith, 2013)

Uno de los tipos de alambiques más utilizados en Europa es el alambique de cobre, que se utiliza para la destilación de plantas aromáticas como el romero y eucalipto. Este tipo de alambique cuenta con un recipiente de cobre para la cocción de las plantas, un serpentín de cobre para la condensación del vapor y un recipiente de vidrio o acero inoxidable para la recolección del aceite esencial. (López, Jiménez López, Ortega Cejas, & Pérez Bustamante, 2016)

En América, la extracción de aceites esenciales ha sido una práctica común desde la época precolombina, y ha evolucionado a lo largo del tiempo. En la actualidad, muchos países americanos producen aceites esenciales, y se utilizan diferentes tipos de alambiques para la extracción. En algunos países como México, por ejemplo, se han desarrollado alambiques de cobre tradicionales que se utilizan en la producción de tequila, mezcal y que también se pueden adaptar para la producción de aceites esenciales. (Fajardo, 2019)

En Ecuador, la producción de aceites esenciales ha crecido en los últimos años, y se ha desarrollado una industria importante en este campo. En la extracción del compuesto esencial se utilizan diferentes tipos de alambiques con técnicas específicas para la extracción de aceites de plantas nativas de la región. (Díaz, 2018)

Además, en Ecuador la producción de sustancias esenciales de consumo está regulada por la Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria (ARCSA, 2017), La ARCSA exige que los alambiques utilizados cumplan con las normas de seguridad y calidad establecidas, deben ser sometidos a inspecciones periódicas para garantizar su correcto funcionamiento.

En la actualidad, los alambiques se fabrican en diversos materiales como el cobre, acero inoxidable, vidrio y se utilizan en la producción de una amplia variedad de productos finales. La construcción de un alambique depende del tipo y de los materiales disponibles, pero los principios básicos de funcionamiento siguen siendo los mismos que hace siglos.

La revista "Journal of Essential Oil Research", analiza la producción de aceites esenciales de la planta de ylang-ylang (*Cananga odorata*) en Ecuador. Menciona que la producción de aceites esenciales en el país se realiza principalmente mediante destilación por arrastre de vapor en alambiques tradicionales, pero se identifican oportunidades para mejorar la eficiencia y la calidad de los procesos a través de la utilización de tecnologías de automatización. (Abdelrahim Alqudah, 2022)

Otro ejemplo se puede encontrar en un artículo publicado en la revista "Agronomía Mesoamericana" en 2018, que analiza la producción de aceites esenciales de la planta de hierbaluisa (*Cymbopogon citratus*) en Ecuador. En el artículo se menciona que la producción de aceites esenciales en el país se realiza principalmente mediante la destilación por arrastre de vapor en alambiques tradicionales, pero se identifican oportunidades para mejorar la calidad del producto final a través de la semiautomatización del proceso. (Loachamin & Loayza, 2016)

## **1.2. Delimitación**

Este trabajo de investigación se centra en diseñar y construir un alambique para la destilación de aceites esenciales. El alcance del estudio se limita al diseño, construcción y semiautomatización del mismo con una capacidad de 70 litros conformado de acero inoxidable AISI 304 grado alimenticio y perfil cuadrado estructural. Para validar el diseño mecánico, térmico y estructural se utilizará software especializado en CAD y MEF, finalmente el producto se analizará mediante pruebas químicas de laboratorio.

## **1.3. Formulación del Problema**

Actualmente, aún queda mucho por investigar la eficacia del alambique en la destilación de aceites esenciales. (García Moreno, 1999) "sugiere que se podría investigar más a fondo el efecto de la variación de la temperatura en la producción de aceites esenciales".

Con esta investigación se pretende contribuir con el avance en la mejora de la eficiencia del alambique para la producción de aceites esenciales mediante el proceso semiautomático del equipo, con el fin de controlar la temperatura para mejorar la eficacia de extracción del 62% de

los alambiques actuales a un 80% con la máquina semiautomática que se propone en este trabajo de titulación.

En las empresas ecuatorianas la fabricación de alambiques se realiza de forma mecánica y artesanal por lo que pretende implementar tecnología para un proceso de extracción más eficiente. Los aceites esenciales tienen un mercado diverso en Ecuador como: la industria alimentaria, farmacéutica, aromaterapia y medicina alternativa. (Alvarado, 2020)

## **1.4. Objetivos**

### ***1.4.1. Objetivo general***

Diseñar y construir un alambique semiautomático con capacidad de 70 litros para la obtención de aceites esenciales de eucalipto y ciprés.

### ***1.4.2. Objetivos específicos***

- Realizar el diseño mecánico, estructural y validar mediante software especializado.
- Realizar el análisis térmico y la validación de los componentes críticos mediante método de elementos finitos.
- Construir el alambique e implementar un sistema semiautomático para el control del proceso, haciendo uso del Control Rex C-700.
- Desarrollar un protocolo de pruebas de funcionamiento para evaluar la eficiencia del alambique.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO REFERENCIAL

#### 2.1. Marco conceptual

Se basa en capturar las necesidades del cliente, traducirlas en características del producto, priorizar las relaciones interfuncionales y fomentar la colaboración y la mejora continua en el proceso de diseño y desarrollo.

##### 2.1.1. Metodología QFD.

El Quality Function Deployment (QFD) es una metodología que se utiliza para asegurar que las necesidades del cliente se reflejen en el diseño y desarrollo de un producto o servicio. Esta metodología ayuda a establecer una conexión clara entre los requisitos del cliente y las características técnicas un producto.

##### 2.1.1.1. Casa de la Calidad

La Casa de la Calidad, también conocida como QFD (Quality Function Deployment), es una herramienta que se utiliza en la gestión de calidad y el diseño de productos para traducir las necesidades y expectativas del cliente en características técnicas específicas. La implementación del QFD generalmente sigue estos pasos:

- Recopilación de los requisitos del cliente.
- Identificación y clasificación de las características técnicas.
- Establecimiento de relaciones entre los requisitos del cliente y las características técnicas.
- Asignación de prioridades y pesos a las características técnicas.
- Desarrollo de una matriz QFD para visualizar las relaciones y prioridades.
- Interpretación y análisis de la matriz QFD para guiar el diseño y desarrollo del producto.

##### 2.1.1.2. Diseño Conceptual

El Diseño Conceptual es la etapa inicial en el proceso de desarrollo de productos o servicios, donde se identifican y definen las características clave que el producto debe tener para satisfacer las necesidades del cliente. Durante esta fase, se generan ideas y se exploran diferentes enfoques

para lograr los objetivos del proyecto. Es importante considerar aspectos como la funcionalidad, el rendimiento, la estética y la viabilidad técnica.

### **2.1.2. *Diseño y construcción***

Se plantea el diseño y construcción de un alambique con una capacidad de 70 litros cuya función es principalmente para destilar líquidos, es decir separar los componentes volátiles de una mezcla líquida. Su objetivo principal es obtener un destilado más puro y concentrado en comparación con la mezcla original.

### **2.1.3. *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.

### **2.1.4. *Sistema semiautomatizado***

Se pretende semiautomatizar el sistema para la destilación de los aceites esenciales sin la necesidad de una intervención humana constante. Estos sistemas utilizan la tecnología para ejecutar actividades de manera automatizada, siguiendo instrucciones predefinidas o respondiendo a estímulos específicos.

### **2.1.5. *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.

## 2.2. Marco teórico

El diseño mecánico implica la creación de soluciones ingenieriles para componentes y sistemas basados en principios de mecánica, se traducen conceptos en diseños funcionales considerando materiales, dimensiones, resistencia y manufacturabilidad.

### 2.2.1. Diseño mecánico

El diseño mecánico de alambiques se centra en crear dispositivos que destilan líquidos y separan componentes valiosos, requiere planificación para eficiencia y seguridad.

#### 2.2.1.1. Propiedades mecánicas

Se refiere a las características y comportamiento de un material cuando se somete a fuerzas o cargas externas. Estas propiedades describen cómo el material resiste, deforma o se rompe bajo diferentes condiciones de carga. (Askeland, 2017)



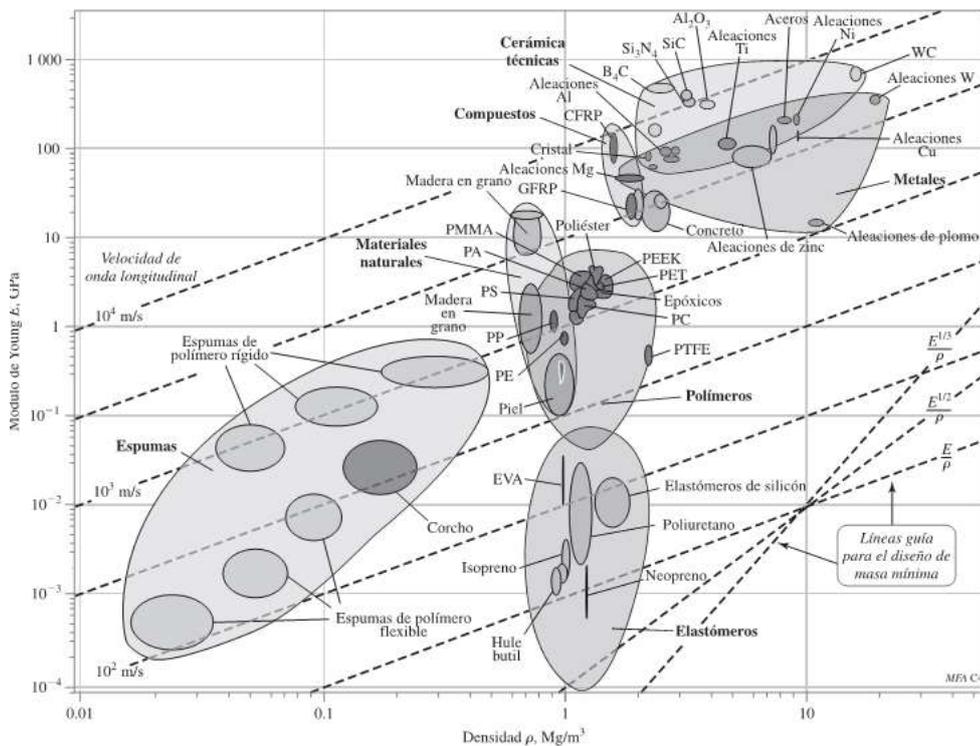
**Ilustración 2-1:** Propiedades mecánicas.

Fuente: (Askeland, 2017).

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

### 2.2.1.2. 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 2-2:** Módulo de Young  $E$  contra densidad de diferentes materiales. (Figura cortesía del profesor Mike Ashby, Gran|ta Design, Cambridge, R.U.)

**Fuente:** (Budynas & Nisbett, 2011).

### 2.2.1.3. Aceros inoxidables

Los aceros inoxidables se seleccionan debido a su excelente resistencia a la corrosión. Todos los aceros inoxidables verdaderos contienen un mínimo de 12% Cr, lo que permite que se forme una delgada capa protectora de óxido de cromo al exponer el acero al oxígeno.

Existen varias clases de aceros inoxidables basados en estructura cristalina y mecanismo de endurecimiento. Las propiedades típicas se encuentran en la ilustración. (Askeland, 2017)

#### 2.2.1.4. Acero inoxidable AISI 304 grado alimenticio

El AISI 304 es un acero inoxidable austenítico común y versátil. Está compuesto principalmente por hierro, cromo y níquel. El cromo proporciona resistencia a la corrosión y formación de óxido de cromo protector. El níquel mejora la resistencia a la corrosión y la ductilidad. El AISI 304 es utilizado en la industria alimentaria, farmacéutica, química, automotriz y construcción. Tiene buenas propiedades mecánicas, es fácil de trabajar y puede ser soldado, formado y mecanizado. Se utiliza en tanques de almacenamiento, tuberías, utensilios de cocina, entre otros. En ambientes altamente corrosivos, pueden requerirse grados de acero inoxidable más especializados.

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

**Ilustración 2-3:** Composiciones y propiedades típicas de los aceros inoxidables.

Fuente: (Askeland, 2017)

#### 2.2.1.5. Acero estructural.

El acero estructural es un tipo de acero diseñado para aplicaciones de construcción, con propiedades mecánicas que le confieren resistencia y capacidad de carga. Es utilizado en una variedad de estructuras donde se requiere una alta resistencia y durabilidad.

En la Tabla 2-3 se presentan tres categorías fundamentales de aceros estructurales empleados en la construcción de diversas infraestructuras, como puentes, edificios, torres, entre otros. Además, en el mercado se encuentran disponibles perfiles de sección redonda o rectangular fabricados con acero ASTM A500 Gr. B en una cantidad limitada. El acero ASTM A36 ha sido reemplazado por el ASTM A572 Gr. 50 debido a sus propiedades mecánicas superiores. El primero se utiliza principalmente para ángulos laminados en caliente y placas de conexión.

**Tabla 2-1:** Tipos de aceros comúnmente utilizados en la construcción en el Ecuador.

Tipo de acero	$F_u$ [MPa]	$S_y$ [MPa]
ASTM A36	250	400-500
ASTM A572 Gr.50	345	450
ASTM A588	345	450

Fuente: (Askeland, 2017)

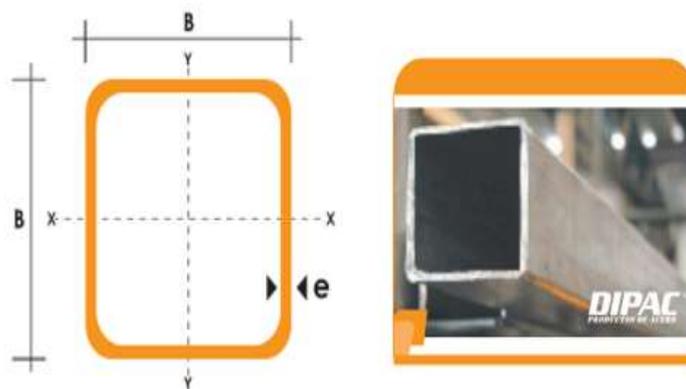
Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.

Las consideraciones que se presenta a continuación están fundamentadas bajo la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC).

#### 2.2.1.6. Perfil cuadrado 40\*40\*2 mm.

Este tipo de perfil se utiliza comúnmente en la construcción de estructuras, como marcos, soportes, pasamanos, barandas, entre otros. El espesor de pared de 2 mm proporciona resistencia y estabilidad a la estructura, mientras que las dimensiones cuadradas de 40x40 mm permiten un diseño compacto y versátil.

El perfil estructural de 40x40x2 mm se fabrica generalmente en acero al carbono o acero inoxidable, dependiendo de los requisitos específicos de la aplicación. Es importante tener en cuenta las propiedades mecánicas y las cargas de diseño para asegurarse de que el tubo sea adecuado para su uso en la estructura deseada.



**Ilustración 2-4:** Tubo cuadrado 30x30\*2.

Fuente: (DIPAC, 2022)

**Tabla 2-2:** Propiedades del tubo cuadrado 30x30x2.

Dimensiones		Área		Ejes X-X e Y-Y		
A mm	Espesor mm	Peso Kg/m	Área cm <sup>2</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	I cm
30	2	1.78	2.14	2.71	1.81	1.13

Fuente: (DIPAC , 2022)

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

### 2.2.1.7. Diseño de recipientes a presión

Los recipientes a presión son estructuras diseñadas para contener sustancias con presiones superiores a la atmosférica, y desempeñan un papel fundamental en numerosas industrias donde se requiere el almacenamiento y manipulación segura de líquidos y gases a presión.

### 2.2.1.8. Espesor mínimo de un recipiente a presión

Para el cálculo del espesor mínimo de un recipiente a presión utilizamos el código ASME sección VIII, División I, (ASME , 2019)

$$t = \frac{P * R}{S * E - 0.6 * P} \quad \text{Ecuación 2 – 1}$$

Donde:

t= espesor mínimo [m]

P = presión interna de diseño [Pa]

r = radio interior del cuerpo [m]

S = Esfuerzo disponible máximo del material  $\left[\frac{N}{m^2}\right]$

E = Eficiencia de la junta, para juntas soldadas E=0.85

### 2.2.1.9. Esfuerzo radial.

$$\sigma_t = 0 \quad \text{Ecuación 2 – 2}$$

### 2.2.1.10. Esfuerzo tangencial.

$$\sigma_t = \frac{P * r}{t} \quad \text{Ecuación 2 – 3}$$

Donde:

P: presión [Pa]

r: radio [m]

t: espesor de la pared del cilindro [m]

2.2.1.11. *Esfuerzo axial*

$$\sigma_L = \frac{P * r}{2t} \quad \text{Ecuación 2 - 4}$$

Donde:

P: presión [Pa]

r: radio [m]

t: espesor [m]

2.2.1.12. *Esfuerzo equivalente*

$$\tau_{eq} = \sqrt{\tau_t^2 - \tau_t * \tau_L + \tau_L^2} = \frac{S_y}{n} \quad \text{Ecuación 2 - 5}$$

Donde:

$\tau_{eq}$ : esfuerzo equivalente [MPa]

$S_y$ : resistencia a la fluencia [MPa]

n: factor de seguridad

2.2.1.13. *Factor de seguridad*

El factor de seguridad de un recipiente a presión es crucial para garantizar su integridad estructural y seguridad operativa. Se calcula como la relación entre la presión máxima de trabajo permitida y la presión de diseño del recipiente. Se deben considerar diversos factores, como el material utilizado, el espesor de las paredes y la resistencia del material a la presión. Los códigos y estándares, como la norma ASME, proporcionan pautas para su cálculo. Por lo general, el factor de seguridad debe ser mayor a 8.5, pero varía según las regulaciones y estándares específicos.

$$n = \frac{S_y}{\sqrt{\tau_t^2 - \tau_t * \tau_L + \tau_L^2}} \quad \text{Ecuación 2 - 6}$$

2.2.2. *Diseño estructural de la base del alambique*

El diseño del armazón proporcionará soporte y estabilidad a los componentes y elementos del alambique, el cual mantendrá los componentes en su lugar y resistirá las fuerzas, vibraciones generadas durante su funcionamiento. También se puede incluir elementos como vigas, marcos, paneles y placas de refuerzo para garantizar la rigidez y la durabilidad de la máquina

Además de proporcionar soporte físico, la estructura de la máquina también puede considerar aspectos ergonómicos, como la accesibilidad y la seguridad del operador.

#### *2.2.2.1. Cargas en función del tiempo*

Para el diseño del armazón intervienen distintos tipos de cargas que se detallan a continuación.

#### *2.2.2.2. Carga muerta o permanente*

La carga muerta es el peso constante y permanente de los elementos estructurales y no estructurales de una construcción. Incluye el peso de los materiales de construcción y otros componentes fijos que no varían con el tiempo. Su consideración es esencial para el diseño seguro y eficiente de una estructura. (McCormac & Csernak, 2012)

#### **2.2.3. Validación por método de elementos finitos.**

La validación por MEF es esencial para asegurarse de que los modelos numéricos sean confiables y puedan utilizarse para tomar decisiones de diseño y análisis con confianza.

#### *2.2.3.1. 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.

## **2.3. Análisis térmico**

El análisis térmico es valioso para el diseño y la optimización de productos y procesos en áreas como la electrónica, la manufactura, la energía y la investigación de materiales.

### ***2.3.1. Condiciones de operación***

Las variables evaluadas en este proyecto están estrechamente relacionadas para la creación del producto propuesto. Por lo tanto, es necesario analizar algunos temas importantes para comprender mejor el funcionamiento y la composición de la máquina, así como algunos procesos que tienen un gran impacto en la extracción de aceites. Al aplicar los nuevos parámetros de funcionamiento a ciertas condiciones de operación, se presentan las siguientes definiciones y dimensiones de trabajo para su comprensión.

#### ***2.3.1.1. Capacidad.***

El equipo de destilación que se propone en esta investigación tiene una capacidad neta de 70 litros.

#### ***2.3.1.2. Temperatura.***

La temperatura de extracción de aceites esenciales puede variar dependiendo de varios factores, como el tipo de planta o material vegetal utilizado, el método de extracción y las propiedades deseadas del aceite esencial.

Uno de los métodos más comunes de extracción de aceites esenciales es la destilación por arrastre de vapor. En este método, la temperatura de extracción se mantiene por debajo del punto de ebullición de la materia prima, Por lo general, la temperatura de extracción en la destilación por arrastre de vapor se sitúa entre 90 °C y 120 °C.

#### ***2.3.1.3. Tiempo***

El tiempo de extracción puede depender de factores como la cantidad y calidad de la planta utilizada, la temperatura de extracción y la eficiencia del equipo utilizado. En general, el tiempo de extracción puede oscilar entre 1 y 2 horas, pero en algunos casos puede prolongarse de 2 a 3 horas.

#### *2.3.1.4. Dilatación térmica.*

Es el fenómeno por el cual un material experimenta un cambio en su longitud, área o volumen debido a cambios en la temperatura.

#### *2.3.1.5. Capacidad calorífica.*

Es una propiedad térmica de un material que indica la cantidad de calor que puede absorber o liberar por unidad de masa cuando se produce un cambio en su temperatura.

#### *2.3.1.6. Conductividad térmica*

Es una propiedad física de los materiales que describe su capacidad para conducir el calor. Indica la facilidad con la que un material permite el flujo de calor a través de él cuando se establece una diferencia de temperatura.

#### *2.3.1.7. Propiedades Térmicas*

Las propiedades térmicas se refieren a las características y comportamiento de un material en respuesta a cambios de temperatura. Estas propiedades describen cómo un material conduce, almacena o transfiere calor. (Cengel & Boles, Transferencia de Calor y Masa, 2007)

### **2.3.2. Transferencia de calor**

Es la forma de la energía que se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia en la temperatura, (Cengel & Boles, Transferencia de Calor y Masa, 2007)

La transferencia de calor se refiere al proceso físico mediante el cual la energía térmica se mueve de una sustancia o sistema a otro debido a una diferencia de temperatura. Esta transferencia de energía puede ocurrir por conducción, convección o radiación.

#### *2.3.2.1. Densidad*

La densidad se refiere a la cantidad de masa contenida en una unidad de volumen de una sustancia o material.

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

**Ecuación 2 – 7**

Donde:

$\rho$ : Densidad  $[Kg/m^3]$

m: Masa  $[Kg]$

v: Volumen  $[m^3]$

#### 2.3.2.2. Cálculo del calor sensible.

Es la cantidad de energía térmica que se requiere para cambiar la temperatura de una sustancia sin que se produzca un cambio de fase, (Cengel & Boles, Transferencia de Calor y Masa, 2007)

$$Q_s = \dot{m} * C_p * \Delta T \quad \text{Ecuación 2 – 8}$$

Donde:

$Q_s$ : Calor  $[KJ/h]$

$\dot{m}$ : Flujo masico  $[Kg/s]$

$C_p$ : Calor especifico a presión contante  $[KJ / Kg * ^\circ C]$

$\Delta T$ : Variación de temperatura  $[^\circ C]$

#### 2.3.2.3. Calor latente.

Se refiere a la cantidad de energía térmica que se requiere para cambiar el estado de una sustancia sin que se produzca un cambio en su temperatura, (Cengel & Boles, Transferencia de Calor y Masa, 2007)

$$Q_l = \dot{m} * h_{fg} \quad \text{Ecuación 2 – 9}$$

Donde:

$Q_l$ : Calor latente  $[KJ/h]$

$\dot{m}$ : Flujo masico  $[Kg/s]$

$h_{fg}$ : Calor latente de evaporación  $[KJ/Kg]$

#### 2.3.2.4. Calor Total

Se refiere a la suma de la energía térmica sensible y la energía térmica latente de una sustancia.

$$Q = Q_l + Q_s \quad \text{Ecuación 2 – 10}$$

Donde:

Q: Calor total  $[KJ/h]$

### 2.3.2.5. Flujo másico.

Se refiere a la cantidad de masa que fluye a través de una sección transversal de un conducto, tubería o sistema en un determinado intervalo de tiempo.

$$\dot{m} = \frac{m}{t} \quad \text{Ecuación 2 – 11}$$

Donde:

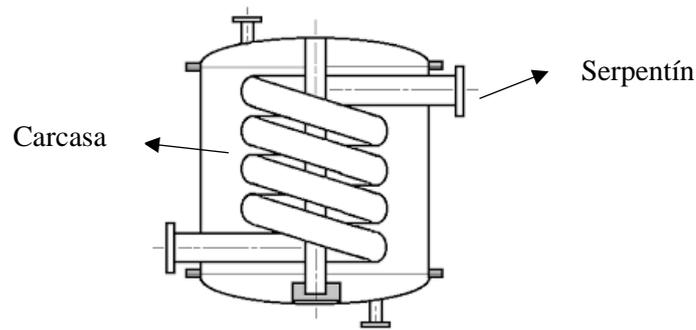
m: Masa [Kg]

t: Tiempo [s]

### 2.3.2.6. Intercambiador de calor tipo serpentín.

Un intercambiador de calor tipo serpentín es un dispositivo utilizado para transferir calor entre dos fluidos que están a diferentes temperaturas. Consiste en un tubo en forma de serpentín, generalmente fabricado de metal, que permite el intercambio de calor entre los fluidos.

El serpentín se compone de una serie de vueltas o bobinas, lo que proporciona una gran superficie de transferencia de calor en un espacio relativamente pequeño. Los dos fluidos, llamados fluido caliente y fluido frío, fluyen a través del serpentín en caminos separados.



**Ilustración 2-5:** Sistema de intercambiador de tipo serpentín.

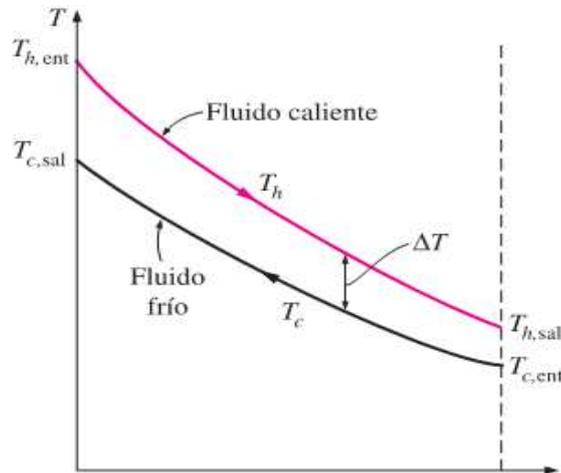
**Fuente:** (Cengel & Boles, Transferencia de Calor y Masa, 2007)

### 2.3.2.7. 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 2-6:** Variación de temperatura en el condensador.

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

$$\Delta T_1 = T_{h,ent} - T_{c,sal}$$

$$\Delta T_2 = T_{h,sal} - T_{c,ent}$$

Donde:

$T_{h,ent}$ : Temperatura de entrada caliente

$T_{c,sal}$ : Temperatura fría de salida

$T_{h,sal}$ : Temperatura caliente de salida

$T_{c,ent}$ : Temperatura fría de entrada

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad \text{Ecuación 2 - 12}$$

### 2.3.2.8. Cálculo de los coeficientes convectivos

Cálculo de (hi) Condensación en película en el interior de la tubería:

$$h_i = 0.555 \left[ \frac{g \rho_L (\rho_L - \rho_v) k_l^3 h_{fg}}{\mu_l (T_{sat} - T_s)} * \left( h_{fg} + \frac{3}{8} C_{pl} (T_{sat} - T_s) \right) \right]^{1/4} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

$g$ : Aceleración gravitacional  $[m/s^2]$

$\rho_L, \rho_v$ : Densidades del líquido y del vapor, respectivamente  $[kg/m^3]$

$\mu_l$ : Viscosidad del líquido  $[kg/m \cdot s]$

$h_{fg} = h_{fg} + 0.68 C_{pl}(T_{sat} - T_s) =$  Calor latente modificado de vaporización  $[J/kg]$

$k_l^3$ : Conductividad térmica del líquido  $[W/m \cdot ^\circ C]$

$L$ : Altura de la placa vertical  $[m]$

$T_s$ : Temperatura superficial de la placa vertical  $[^\circ C]$

$T_{sat}$ : Temperatura de saturación del fluido condensándose  $[^\circ C]$

$C_{pl}$ : Calor específico del líquido  $[KJ/Kg \cdot ^\circ K]$

Para:

$$Re_{vapor} = \left[ \frac{\rho_v V_v D}{\mu_l} \right]_{Admisión} < 35000 \quad \text{Ecuación 2 - 14}$$

En donde el número de Reynolds del vapor se debe evaluar en las condiciones de admisión del tubo, mediante su diámetro interno como la longitud característica. Además, se cuenta con las correlaciones del coeficiente de transferencia de calor para velocidades más altas del vapor. (Cengel, Transferencia de Calor y Masa, 2007)

### 2.3.2.9. Cálculo de la temperatura real de la pared del condensador

$$q_T = h_i * D * L * \pi \left[ T_W - \frac{T_e + T_s}{2} \right]$$
$$T_W = \frac{q_T}{h_i * D * L * \pi} + \frac{T_e + T_s}{2} \quad \text{Ecuación 2 - 15}$$

Donde:

$q_T$ : Calor total  $[W]$

$T_e$ : Temperatura de entrada  $[^\circ C]$

### 2.3.2.10. Coeficiente convectivo de transferencia de calor por subenfriamiento ( $h_e$ ), convección natural en superficies interiores

$$h_e = \frac{Nu * K}{Lc}$$

Donde:

$h_e$ : Coeficiente convectivo de transferencia de calor por subenfriamiento

Para determinar las propiedades, se calcula la temperatura promedio del fluido para el enfriamiento

$$T_b = \frac{T_1 - T_2}{2} \quad \text{Ecuación 2 – 16}$$

Donde:

$T_b$ : Temperatura promedio del fluido

$$T_f = \frac{T_b - T_w}{2} \quad \text{Ecuación 2 – 17}$$

Donde:

$T_f$ : Temperatura fílmica [°C]

$T_w$ : Temperatura real de la pared del condensador [°C]

2.3.2.11. *Número de Grashof*

$$Gr = \frac{\delta^2 g \beta}{\mu^2} [T_b - T_w] L_c^3 \quad \text{Ecuación 2 – 18}$$

Donde:

$\beta$ : Coeficiente de expansión volumétrica, [1/k] [ $\beta = \frac{1}{T}$  para los gases ideales]

$L_c$ : Longitud del fluido suficientemente lejos de la superficie [°C]

$\mu$ : Viscosidad cinemática del fluido [ $m^2/s$ ]

$$Ra = Gr * Pr \quad \text{Ecuación 2 – 18}$$

2.3.2.12. *Número Nusselt.*

$$Nu = 0.36 + \frac{0.518 Ra^4}{\left[1 + \left[\frac{0.559}{Pr}\right]^{9/16}\right]^{4/9}} \quad \text{Ecuación 2 – 19}$$

2.3.2.13. *ho del refrigerante (agua), convección forzada en superficies interiores*

$$\frac{h_0}{C_p G} \left[\frac{C_p \mu}{K}\right]^{\frac{2}{3}} \left[\frac{\mu_s}{\mu}\right]^{0.14} = 0.0038$$

$$h_0 = \frac{0.0038 * C_p G}{\left[\frac{C_p \mu}{K}\right]^{\frac{2}{3}} * \left[\frac{\mu_s}{\mu}\right]^{0.14}} \quad \text{Ecuación 2 – 20}$$

Donde:

h: Coeficiente convectivo de transferencia de calor

$C_p$ : Calor específico

$\mu$ : Viscosidad dinámica

$\mu_s$ : Viscosidad dinámica a temperatura de pared

G: Flujo másico

K: Conductividad térmica

#### 2.3.2.14. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor

Coeficiente global de transferencia de calor por condensación

$$U_c = \frac{h_c * h_0}{h_c + h_0} \quad \text{Ecuación 2 – 21}$$

Coeficiente global de transferencia de calor por subenfriamiento.

$$U_e = \frac{h_e * h_0}{h_e + h_0} \quad \text{Ecuación 2 – 22}$$

#### 2.3.2.15. Áreas de transferencia de calor

Área de transferencia de calor para condensación.

$$A_c = \frac{q_l}{U_c * LMTD_c * F} \quad \text{Ecuación 2 – 23}$$

Donde:

F: Factor de corrección.

$U_c$ : Coeficiente global de transferencia de calor por condensación

#### 2.3.2.16. Selección de la bomba

Se seleccionará una bomba que se ajuste de acuerdo con las condiciones de operación.

#### **Caudal requerido**

$$Q = \frac{\dot{m}_a}{\delta} \quad \text{Ecuación 2 – 24}$$

Donde:

Q: Caudal

$\gamma$ : Viscosidad cinemática

$\delta$ : Densidad del agua

$m_a$ : Flujo másico del agua

### **Condiciones de succión**

Es crucial tener en cuenta las condiciones de succión para asegurar el rendimiento óptimo, la vida útil y la seguridad del funcionamiento de la bomba sumergible. Si no se cumplen adecuadamente, podrían surgir problemas como cavitación, pérdida de caudal o daños en la bomba. Siempre es recomendable seguir las especificaciones del fabricante y las prácticas de ingeniería recomendadas para garantizar un funcionamiento adecuado de la bomba y prolongar su vida útil.

$$A_s = \frac{Q_{max}}{V_s} \quad \text{Ecuación 2 – 25}$$

Donde:

$V_s$ : Velocidad máxima recomendada

$Q_{max}$ : Caudal máximo

$A_s$ : Área de succión

#### **2.3.3. Software ANSYS 2021 R2.**

Es un software de simulación y análisis de ingeniería utilizado en diversas disciplinas, como la mecánica estructural, la dinámica de fluidos, la electromagnética y la ingeniería térmica. (ANSYS, 2023)

### **2.4. Construcción y semiautomatización industrial**

La combinación de construcción industrializada y semiautomatización industrial está revolucionando la industria de la construcción al mejorar la productividad, la calidad y la sostenibilidad en un sector tradicionalmente intensivo en mano de obra.

#### **2.4.1. Construcción**

La construcción de un recipiente a presión es un proceso complejo y delicado que debe seguir rigurosas normas y regulaciones de seguridad para garantizar su correcto funcionamiento y evitar riesgos potenciales. (Flores Ramirez, 2005)

##### **2.4.1.1. Tornería de repujase para recipientes a presión**

La tornería de repusaje en recipientes a presión es un proceso específico para fabricar o reparar estos dispositivos que contienen fluidos o gases a altas presiones. Se utilizan en diversas industrias como química, petroquímica y farmacéutica.

El repusaje implica manipular la superficie interna o externa del recipiente para agregar características adicionales, cumpliendo con estándares de seguridad y rendimiento (ASME, PED). Es vital realizar el repusaje con precisión y siguiendo las especificaciones técnicas para asegurar la integridad y capacidad de contener presiones seguras. El proceso puede variar según el tipo de recipiente, el material y condiciones de operación. Cumplir con normativas y tener profesionales capacitados es esencial para garantizar la seguridad y funcionamiento adecuado de los recipientes a presión.

#### *2.4.1.2. Soldadura TIG*

La soldadura TIG es un proceso valioso y ampliamente utilizado para la unión de metales que ofrece una alta calidad de soldadura y una amplia gama de aplicaciones en diversos sectores industriales.

##### **Control preciso**

La soldadura TIG permite un alto nivel de control sobre la cantidad de calor y la velocidad de alimentación del metal, lo que es especialmente útil en aplicaciones de soldadura que requieren precisión y delicadeza.

##### **Aplicaciones versátiles**

La soldadura TIG es adecuada para una amplia gama de metales y aleaciones, lo que la convierte en una opción versátil para muchas aplicaciones industriales y de fabricación.

#### **2.5. 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)

##### *2.5.1. 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)

Objetivos de la semiautomatización:

- Simplificar el trabajo
- Mayor eficiencia
- Mayor calidad
- Incremento de la productividad y competitividad

Por proceso, se hace referencia a la etapa de un sistema en la que, a partir de la introducción de materiales, energía e información, se produce una transformación que está sujeta a las influencias del entorno, resultando en la salida de productos materiales. Los procesos industriales se clasifican en procesos continuos, procesos discretos y procesos batch.

Los procesos continuos se caracterizan por generar una salida de material en forma de flujo continuo, como por ejemplo en la purificación del agua o la generación de electricidad.

Los procesos discretos implican que la salida del proceso se produce en forma de unidades o un número finito de piezas, siendo la fabricación de automóviles el ejemplo más destacado. Por último, los procesos batch son aquellos en los que la salida se lleva a cabo en cantidades o lotes de material, como ocurre en la fabricación de productos farmacéuticos o la producción de cerveza. (García Moreno, 1999)

### **2.5.2. Sistema de control**

Un sistema de control es un conjunto de componentes, dispositivos y procesos interconectados que se utilizan para regular, supervisar y dirigir el funcionamiento de otros sistemas o procesos.

#### **2.5.2.1. Control Autónicos**

Son dispositivos electrónicos diseñados para controlar y supervisar diversos procesos industriales de forma automática. Estos controladores están equipados con capacidades de entrada y salida para recibir señales de sensores y actuadores, y pueden realizar operaciones lógicas y cálculos para controlar el funcionamiento de máquinas y sistemas. (Gutiérrez & Iturralde, 2017)

#### **2.5.2.2. Control REX C-700**

El Control REX C-700 es un controlador de temperatura o termostato industrial que ofrece una amplia gama de funciones y características para monitorear y controlar la temperatura de manera precisa y confiable. Está diseñado para trabajar con termopares o sondas de resistencia (RTD)

como sensores de temperatura, y utiliza algoritmos de control PID (Proporcional, Integral y Derivativo) para mantener la temperatura deseada con precisión. (Shenlin, 2022)

### 2.5.2.3. Sistema de Chispero.

Un sistema de chispero se refiere a un dispositivo o mecanismo utilizado para generar chispas eléctricas de alta energía. Estas chispas son producidas mediante la aplicación de una alta tensión eléctrica a través de una brecha o espacio entre dos electrodos, lo que crea un arco eléctrico y produce chispas visibles. (Bueno Lara, 2009)

### 2.5.2.4. Electroválvula

Una electroválvula es un dispositivo electromecánico utilizado para controlar el flujo de fluidos, como agua, aire, gas u otros líquidos, mediante el uso de una corriente eléctrica. (Bueno Lara, 2009)

### 2.5.2.5. Termocupla

Es un dispositivo utilizado para medir la temperatura mediante el principio de la termoelectricidad. Consiste en la unión de dos metales diferentes, generalmente alambre de diferentes materiales, que forman dos puntos de conexión conocidos como "junta caliente" y "junta fría". Cuando se aplica una diferencia de temperatura entre las dos uniones, se genera una diferencia de potencial eléctrico, conocida como voltaje termoeléctrico. (Suárez, 2019)

**Tabla 2-3:** Tipos de termocuplas.

Tipo	Material		Rango	
	Negativo	Positivo	Mínimo	Máximo
<b>J</b>	Constantán	Hierro	0°C	750°C
<b>K</b>	Alumen	Cromo	-180°C	1250°C
<b>T</b>	Constantán	Cobre	-180°C	400°C
<b>E</b>	Constantán	Constantán	-180°C	900°C

Fuente: (Askeland, 2017)

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

### 2.5.2.6. Sensor de nivel.

Es un dispositivo utilizado para detectar y medir el nivel de un líquido o material en un tanque, contenedor u otra forma de almacenamiento. Proporciona información sobre la cantidad de

líquido presente y puede enviar una señal o indicación visual para su monitoreo y control. (OMEGA, 2023)

#### *2.5.2.7. Manómetro de presión de vapor*

Es un tipo específico de manómetro diseñado para medir la presión de vapor en un sistema o equipo que utiliza vapor como medio de trabajo. Los sistemas que emplean vapor son comunes en diversas industrias, como la generación de energía, la industria química, la calefacción y la refrigeración, entre otros.

Este funciona de manera similar a otros tipos de manómetros, pero está especialmente diseñado para soportar las altas temperaturas y presiones asociadas con el vapor. Está compuesto por un tubo bourdon o algún otro mecanismo elástico que responde a la presión del vapor y un indicador que muestra la presión en una escala. (OMEGA, 2023)

#### *2.5.2.8. 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.

### **Presión de destilación**

De acuerdo (Coba Carrera & Panimboza Labre , 2008) la destilación se debe llevarse a cabo a baja presión, entre 0,05 y 0,10 bares, ya que a alta presión se podrían producir sobre oxidaciones. De este modo el color del aceite esencial puede alterarse.

La pirogenación de la madera con corteza, después de la destilación a alta presión y temperatura, produce aceites esenciales contaminados con alquitranes cancerígenos.

#### *2.5.2.9. Temperatura.*

Por efecto de la temperatura del vapor ( $> 100^{\circ}\text{C}$ ) en un cierto tiempo, el tejido vegetal se rompe liberando aceite esencial. (Paredes Punina & Quinatoa Chicaiza, 2010)

### **El agua de destilación**

Se deberá usar agua destilada para evitar el uso de productos químicos que eliminan la cal. (Coba Carrera & Panimboza Labre , 2008)

#### *2.5.2.10. Eficacia de arrastre*

El vapor de agua que asciende en forma de burbujas a través de la carga del calderín se condensa parcialmente al tiempo que cede calor para la evaporación del componente volátil. De este modo se forma una mezcla gaseosa que va concentrándose en componente volátil; si el contacto de las burbujas con el líquido fuese suficientemente prolongado, la presión parcial de aquél sería la de equilibrio con la carga, que puede calcularse con arreglo a la ley de Raoult. El coeficiente de eficacia depende de la naturaleza de la sustancia destilada, del espesor del líquido atravesado por las burbujas del vapor y del tamaño medio de éstas. Carey admite la relación exponencial.

Para los cálculos prácticos, y a falta de otros datos, se admiten para E valores que oscilan de 0,5 a 0,7, según la naturaleza de la carga; pero no será difícil alcanzar valores del orden de 0,9 mediante una experimentación adecuada. (Coba Carrera & Panimboza Labre , 2008)

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

En el siguiente capítulo se describe a detalle todo lo analizado en el marco conceptual en cuanto al diseño mecánico, térmico y semiautomatización industrial.

#### 3.1. Diseño del alambique

El diseño mecánico de un alambique debe equilibrar la eficiencia de la destilación, la seguridad, la facilidad de uso y la durabilidad. Además, es importante considerar las regulaciones y estándares relevantes, especialmente en aplicaciones donde se destilan líquidos para el consumo humano o uso industrial.

##### 3.1.1. *Diseño Conceptual.*

Asegura que las decisiones de diseño estén directamente alineadas con lo que valoran los clientes, lo que aumenta las posibilidades de crear productos y servicios que satisfagan sus necesidades y generen satisfacción a largo plazo.

##### 3.1.1.1. *Metodología QFD.*

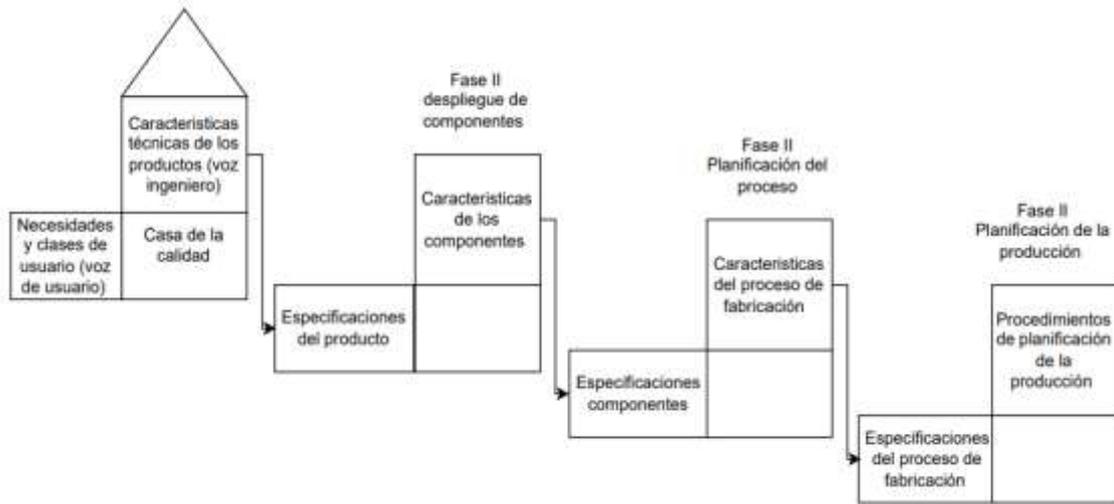
El QFD es una herramienta colaborativa que involucra a múltiples funciones y niveles dentro de una organización, fomentando la comunicación y la alineación entre los equipos.

##### 3.1.1.2. *Despliegue de la función de calidad*

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 3-1:** Esquema general del desarrollo de la función de calidad.

**Fuente:** (Falcó Rojas , 2009).

### 3.1.1.3. Primera fase o Definición del Producto.

La "Casa de la Calidad" o "House of Quality" (HOQ) es una herramienta fundamental que el equipo de especialistas responsables del desarrollo de productos utiliza para iniciar la implementación de la función de calidad. Su objetivo principal es identificar las necesidades del cliente, detectar oportunidades competitivas, definir los requisitos y características del diseño, y establecer las bases para futuros estudios. (Oyala Escobar , Cortés Rodríguez, & Duarte Velasco, 2005)

Para llevar a cabo estos objetivos y la construcción de la casa de la calidad se aplican los siguientes pasos:

#### 3.1.1.4. Voz del Usuario

Es importante describir con precisión las necesidades y preferencias del cliente con respecto al producto que se está desarrollando.

#### 3.1.1.5. Voz del ingeniero.

Traducir las demandas del cliente en requisitos técnicos necesarios para lograr su satisfacción.

#### *3.1.1.6. Correlaciones*

Establece las correlaciones entre la voz del usuario y la voz del ingeniero, ya sea que tengan un factor de incidencia fuerte, medio, bajo o no tengan ninguna relación.

#### *3.1.1.7. Comparación Técnica*

Establecer las correlaciones entre la voz del usuario y la voz del ingeniero, ya sea que tengan un factor de incidencia fuerte, medio, bajo o nulo.

#### *3.1.1.8. Compromisos técnicos*

Establece los compromisos potenciales entre las diferentes características técnicas del producto.

#### *3.1.1.9. Segunda fase o Diseño conceptual*

El proceso de diseño conceptual comienza estableciendo una conexión entre las especificaciones y objetivos del producto, teniendo en cuenta los requisitos técnicos, restricciones y variables del diseño. Todo esto requiere seguir procesos claramente definidos para poder representar la solución de diseño de manera morfológica.

#### *3.1.1.10. Matriz morfológica.*

El análisis morfológico se describe como una técnica creativa que implica descomponer un problema, sistema o concepto en sus componentes principales. La construcción de una matriz basada en las propiedades del problema, sistema o concepto es el elemento clave de este análisis, con el objetivo de identificar las relaciones entre estas partes y generar combinaciones de posibles alternativas para el diseño, (Riba Romeva, 2002)

#### *3.1.1.11. Tercera fase o diseño de materialización.*

Durante esta etapa se llevan a cabo los cálculos necesarios para el diseño del producto o sistema, se valida cada una de sus partes constitutivas a través de simulaciones con software de análisis por elementos finitos (CAE) y finalmente se generan alternativas para el modelado utilizando software de diseño asistido por computadora (CAD).

#### *3.1.1.12. Cuarta fase o diseño de detalle.*

Esta etapa del proceso de diseño permite representar de manera más precisa cada uno de los componentes que conforman el producto o sistema, a través de la generación de planos detallados que facilitan su ensamblaje y construcción

Una vez que se han revisado los principios fundamentales de la metodología QFD, es necesario abordar el estudio de mecánica de fluidos para adquirir los conocimientos necesarios que permitan diseñar la red de suministro de agua como una parte esencial del sistema de almacenamiento.

#### *3.1.1.13. Definición del producto*

En esta sección, se establecerán las necesidades fundamentales de los clientes como punto de partida para nuestro trabajo. Se utilizará la metodología más apropiada para abordar y satisfacer las expectativas generadas por los alambiques convencionales en términos de eficiencia, calidad del aceite esencial y respeto al medio ambiente.

La solución propuesta se enfocará en permitir un uso gradual del producto en diversas industrias, como la cosmetología, la aromaterapia, la medicina natural, los productos de limpieza y la industria alimentaria.

#### *3.1.1.14. Requerimientos del cliente*

Los requerimientos del cliente en los alambiques varían según sus necesidades. Se busca eficiencia en la destilación, calidad de los aceites esenciales, control preciso de temperatura y presión, seguridad, durabilidad, facilidad de uso y mantenimiento. Además, se requiere que los alambiques sean amigables con el medio ambiente mediante el uso de materiales sostenibles y la optimización del consumo de energía y agua.

#### *3.1.1.15. Requerimientos de operación*

Estos requerimientos se conectarían con las características técnicas y los objetivos de diseño para asegurarse de que se aborden de manera efectiva en todo el proceso de desarrollo.

#### **Eficiencia.**

Se refiere a la capacidad del equipo para extraer y concentrar los componentes deseados de manera efectiva y económica durante el proceso de destilación.

### **Control de temperatura**

Es un aspecto fundamental para garantizar un proceso de destilación eficiente y obtener resultados de calidad. El control preciso de la temperatura permite mantener las condiciones óptimas para la extracción de los componentes deseados, evitando tanto la degradación de los compuestos volátiles como la pérdida de sustancias valiosas.

### **Tiempo de extracción**

El tiempo de extracción de aceites en un alambique puede variar dependiendo de varios factores, como el tipo de alambique, las condiciones de destilación y la cantidad de materia prima utilizada. En general, el tiempo de extracción puede oscilar entre 1 y 2 horas.

#### *3.1.1.16. Requerimientos funcionales.*

Son los elementos clave que permiten traducir las necesidades y deseos de los clientes en características tangibles y medibles del producto o servicio.

### **Dimensiones**

Al seleccionar un alambique, es esencial considerar la cantidad de materia prima que se va a destilar, las características del producto final deseado y las condiciones de operación requeridas para determinar las dimensiones adecuadas del alambique.

### **Eficiencia**

Es un factor importante ya que se pretende optimizar recursos, pero al mismo tiempo obtener la mayor cantidad de aceites esenciales de mejor calidad.

### **Capacidad**

La capacidad de producción es primordial ya que para la destilación de aceites esenciales se necesita abundante materia prima del cual se obtiene muy poco aceite esencial.

### **Peso.**

Dentro de la investigación se ha tomado los materiales más adecuados para su construcción, con la finalidad de reducir el equipo y que sea de fácil transportación.

### **Mantenimiento**

Para asegurar una sencilla labor de mantenimiento, es importante tener en cuenta la utilización de materiales y componentes fácilmente disponibles en el mercado local, evitando así gastos innecesarios en importaciones.

## **Durabilidad**

La durabilidad de un producto depende de la calidad de los materiales, el diseño y la fabricación, el mantenimiento y cuidado, las condiciones de uso y el uso adecuado del producto.

### *3.1.1.17. Requerimientos de costos*

La incorporación de requerimientos de costos en el QFD permite una planificación más efectiva y realista del desarrollo de productos al tener en cuenta tanto las preferencias del cliente como las restricciones económicas de la organización.

## **Apariencia**

Es importante tener en cuenta que la apariencia de un alambique debe ser estético, ergonómico que facilite un mejor ambiente laboral.

## **Costos del producto**

Estos costos se analizan teniendo en cuenta el costo de la mano de obra, los materiales, la ingeniería y los beneficios en comparación con los alambiques convencionales existentes en el mercado en la actualidad.

### *3.1.1.18. Materiales de fabricación.*

Los materiales utilizados en la fabricación deben cumplir con altos estándares de calidad, tanto en términos de grado alimenticio como en su durabilidad y capacidad de uso. En el análisis, se priorizan los requisitos del usuario según las siguientes categorías: Obligatorio (O), Esencial (E) y Básico (B).

**Tabla 3-1:** Requerimientos del cliente.

TABLA DE REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE		
VOZ DEL USUARIO		Prioridad
DESEMPEÑO	Eficiencia	O
	Rapidez de destilado	E
	Calidad del producto	O
COSTO	Accesible	B
	Materiales de fabricación	O
FUNCIONALIDAD	Facil Operación	B
	Posibilidad de Movilizar el equipo	B
	Facil Montaje y desmontaje	O
	Manuales de Operación	B
MANTENIMIENTO	Facil reemplazo de Componentes	E
	Accesibilidad de componentes en el mercado	O
	Durabilidad de componentes	O
DISEÑO	Ergonomico	E
	Funcionamiento con gas	O
	Seguridad	O
	Ligera	E

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

### 3.1.1.19. *Análisis de competencias.*

En el ámbito de la fabricación, construcción y distribución de distintos tipos de alambiques, existen numerosos talleres en nuestro país que ofrecen estos servicios. Sin embargo, se realizará una evaluación de dos competidores que presenten similitudes y diferencias en sus productos. El objetivo es realizar un análisis exhaustivo que describa las características más relevantes de cada máquina, con el fin de identificar las amenazas y fortalezas de cada producto y mejorar aplicando los métodos necesarios en cada etapa del proceso.

### 3.1.1.20. *Competidor principal.*

Como uno de los principales competidores establecidos para análisis se encuentra industrias Romero. Dicha empresa se encuentra ubicado en la ciudad de Quito, Ecuador. Esta compañía cuenta con profesionales experimentados y capacitados en diseño mecánico, térmico que combinados con la tecnología de fabricación les permite regirse a las normas nacionales de la industria actual en la fabricación de alambiques. Siendo una empresa pionera en la construcción de alambiques mecánicos, pero no automatizados lo consideramos como un competidor principal,

ya que están iniciando e implementando tecnologías de semiautomatización en sus máquinas de destilación.

### 3.1.1.21. Competidor secundario.

InoxEcu, ubicada en Manabí Ecuador, es el segundo competidor en cuestión. Esta empresa se especializa en la fabricación de sus propias máquinas para destilerías y cervecerías cuenta con una amplia experiencia en distintos procesos químicos que involucran áreas como la semiautomatización del proceso, lo que garantiza acabados de alta calidad y una funcionalidad de sus máquinas fabricadas.

La semiautomatización es fundamental para lograr un producto de calidad constante, InoxEcu se destaca por construir maquinaria para cervecerías artesanales, alambiques mecánicos y otras líneas de producción alimenticia destinadas a la pequeña industria y talleres artesanales.

**Tabla 3-2:** Requerimientos del cliente

			A	B	C
			Propia Empresa	Competencia 1	Competencia 2
<b>TABLA DE REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE</b>					
VOZ DEL USUARIO		Prioridad			
DESEMPEÑO	Eficiencia	O	4	5	3
	Rapidez de destilado	E	4	4	5
	Calidad del producto	O	4	3	4
COSTO	Accesible	B	3	4	5
	Materiales de fabricación	O	4	3	3
Funcionalidad	Facil Operación	B	4	5	4
	Posibilidad de Movilizar el equipo	B	4	4	3
	Facil Montaje y desmontaje	O	4	3	4
	Manuales de Operación	B	5	3	2
MANTEENIMIENTO	Facil reemplazo de Componentes	E	4	3	3
	Accesibilidad de componentes en el mercado	O	4	3	3
	Durabilidad de componentes	O	4	4	4
DISEÑO	Ergonomico	E	4	3	2
	Funcionamiento con gas	O	4	4	4
	Seguridad	O	5	4	4
	Ligera	E	4	3	3

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

### 3.1.2. Despliegue de la función de calidad (casa de calidad)

A través de este análisis, es posible obtener las demandas o requisitos del usuario, los cuales señalan las necesidades relacionadas con la funcionalidad, el funcionamiento del equipo y lo más importante, la seguridad, con el objetivo de cumplir con todas las posibles exigencias de los clientes.

#### 3.1.2.1. Voz del ingeniero.

Una vez que se han evaluado las solicitudes individuales de los posibles clientes del alambique, es necesario transformar estas necesidades en especificaciones técnicas y objetivas del producto que se desea diseñar. Cada una de estas especificaciones debe tener un valor de referencia para establecer el punto de partida del equipo de ingeniería encargado de captar las exigencias del cliente y plasmarlas en el producto final.

**Tabla 3-3:** Voz del ingeniero

VOZ DEL INGENIERO															
Control de Temperatura	cantidad de destilado	velocidad de destilado	Capacidad de producción	consumo de gas	Materiales de Construcción	Dimensiones del Equipo	Mantenimiento	Peso del Equipo	Estructura del equipo	Interfaz Gráfica	Sistema Térmico	Tipo de Automatización	Costo del Equipo	Ergonomía	Seguridad

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

#### 3.1.2.2. Correlaciones.

En esta sección, se establecerá el componente central que construye la estructura de la casa de la calidad, donde los requisitos de cada cliente reflejarán los distintos niveles de influencia categorizados como: alto, medio y bajo, con valores específicos en la tabla general. No obstante, para facilitar su comprensión, se presenta la siguiente tabla, donde en los casos en que no haya una relación directa, el espacio quedará en blanco sin puntuación. De esta forma, presentamos de manera clara y organizada la información.

**Tabla 3-4: Correlaciones**

Factor de Incidencia	
☑	Fuerte = 9
○	Medio = 3
▽	Bajo = 1

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

**Tabla 3-5: Requerimientos del cliente**

TABLA DE REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE			VOZ DEL INGENIERO													A	B	C				
VOZ DEL USUARIO		Prioridad	Control de Temperatura	cantidad de destilado	velocidad de destilado	Capacidad de producción	consumo de gas	Materiales de Construcción	Dimensiones del Equipo	Mantenimiento	Peso del Equipo	Estructura del equipo	Interfaz Gráfica	Sistema Térmico	Tipo de Automatización	Costo del Equipo	Ergonomía	Seguridad	Propia Empresa	Competencia 1	Competencia 2	
DESEMPEÑO	Eficiencia	O	☑	☑	○	☑	▽		○											4	5	3
	Rapidez de destilado	E	☑	☑	☑	☑	○													4	4	5
	Calidad del producto	O	○	○	○	○						○								4	3	4
COSTO	Accesible	B						○								☑				3	4	5
	Materiales de fabricación	O						○	○					○		○				4	3	3
FUNCIONALIDAD	Facil Operación	B											☑	○	○				○	4	5	4
	Posibilidad de Mover el equipo	B						○	☑		☑							○	○	4	4	3
	Facil Montaje y desmontaje	O							☑	○	○			▽				○	○	4	3	4
	Manuales de Operación	B								▽			○	▽	▽		▽	○		5	3	2
MANTENIMIENTO	Facil reemplazo de Componentes	E								☑				○	○					4	3	3
	Accesibilidad de componentes en el mercado	O								☑				○	○					4	3	3
	Durabilidad de componentes	O								○										4	4	4
DISEÑO	Ergonomico	E											☑							4	3	2
	Funcionamiento con gas	O	☑	○	○	○	☑									☑	○			4	4	4
	Seguridad	O	☑	○	○	○	☑									☑	○			5	4	4
Ligera	E						☑	○		○						○			4	3	3	

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

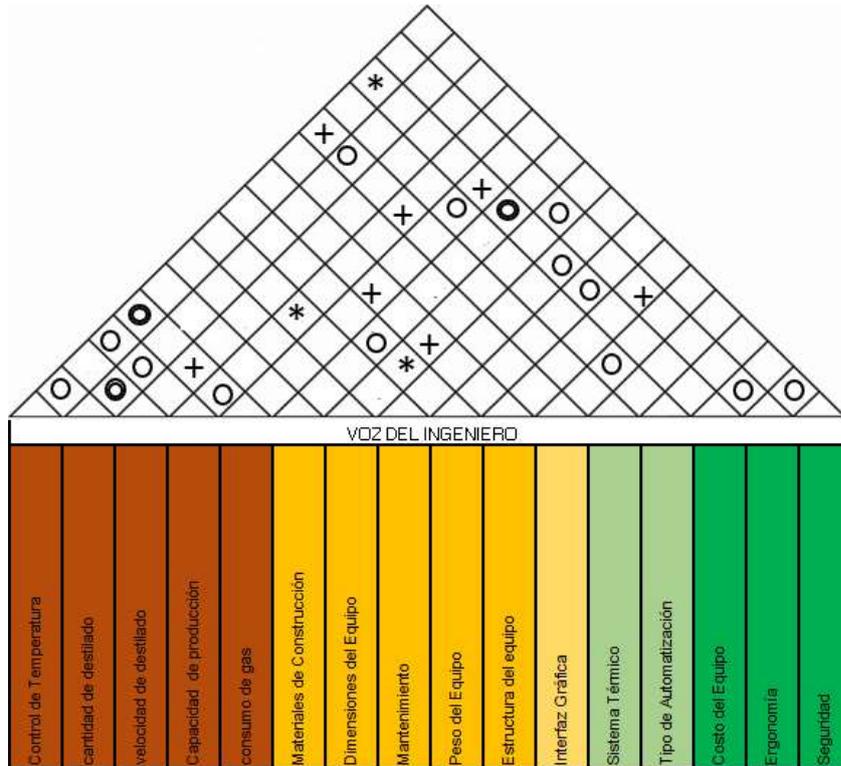
### 3.1.2.3. Compromisos técnicos.

Según las necesidades expresadas por el usuario, es importante establecer compromisos técnicos específicos para el producto, lo cual requiere la participación del ingeniero con el fin de cumplir con todos los compromisos técnicos que el componente pueda presentar. Asimismo, se proponen algunos indicadores de referencia y puntuación, por lo cual se presenta la siguiente tabla.

**Tabla 3-6:** Puntuación.

Correlación	
● ○	Muy positivo
+	Positivo
-	Negativo
*	Muy negativo

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



**Ilustración 3-1:** Compromisos técnicos.

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

#### 3.1.2.4. Especificaciones técnicas.

Las especificaciones técnicas del secador de plantas medicinales se basan en las necesidades de los clientes, así también el diseño y selección de componentes por parte de los diseñadores, con la finalidad de obtener un producto eficiente basado en la relación costo - efectividad de producción de esta.

Por lo tanto, a continuación, en el análisis de la matriz QFD se detallará las especificaciones técnicas de nuestra máquina:

**Tabla 3-7:** Especificaciones técnicas.

<b>Empresa Cliente:</b> Usuario/Cliente		<b>Producto:</b> Máquina para destilar aceites esenciales de eucalipto y ciprés		<b>Fecha Inicial:</b> 2023/08/10
<b>Diseñadores:</b> Grupo de Investigación				<b>Fecha Final:</b> Página 1
<b>Especificaciones – Detalles Constructivos</b>				
<b>Detalles Constructivos</b>				
Concepto	Fecha	Proposición	R/D	Descripción
Temperatura de destilado	Sin especificar	D	R	Rango de destilado: 90°C a 130 °C
Materiales	Sin especificar	C	R	Acero Inoxidable AISI 304 grado alimenticio. Acero Estructural A36
Capacidad	Sin especificar	D	R	Total: 70 litros Volumen de agua: 18 litros Volumen de materia prima: 52 litros
Mantenimiento y Vida útil	Sin especificar	D	D	Fácil mantenimiento (componentes comerciales)
		D	R	Vida útil de los componentes (sensores): 5 años
Energía	Sin especificar	C	R	Sistema a gas Híbrido – Alimentación 110 V para el tablero de control
Dimensiones Del alambique	Sin especificar	C	R	Máquina: ancho: 0.75m, alto: 2m, largo: 1.5m Peso: 100 kg
Control y semiautomatización	Sin especificar	C	R	Termocupla tipo K Sensor de nivel Electroválvula Chispero eléctrico
		C	R	Control REX C-700
Seguridad Y Ergonomía	Sin especificar	C	R	Ruido menor a 70 dB
		D	R	Acoplable y portable en cuanto a todos los componentes
Abreviaturas: C: Cliente, P: Producción, F: Fabricación R/D R: Requerimiento, D: Diseño				

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

### 3.1.2.5. Análisis Funcional/Modular.

Para el análisis funcional se va a considerar diferentes niveles que reflejen los procesos presentes en nuestra máquina destiladora de aceites esenciales.



**Ilustración 3-2:** Análisis modular

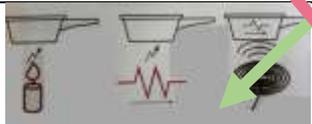
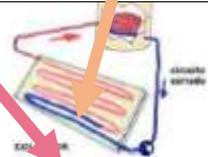
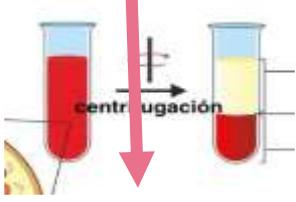
Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.

### 3.1.3. Matriz Morfológica

La matriz morfológica nos permite establecer las opciones para cada característica que va a ser analizada en el diseño.

**Tabla 3-8:** Matriz morfológica.

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

		Destilación	Decantación
--	--	-------------	-------------

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

### 3.1.3.1. Generación de alternativas

A continuación, se presenta las características de cada una de las alternativas antes analizadas.

### 3.1.3.2. Análisis de alternativas

A continuación, se presenta las características de cada una de las alternativas antes analizadas.

- **Alternativa 1(A).** - 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 3-3:** Alambique de cobre.

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

- **Alternativa 2(B).**-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 3-4:** Alambique de dos cilindros

Fuente: (GrabCAD, 2014)

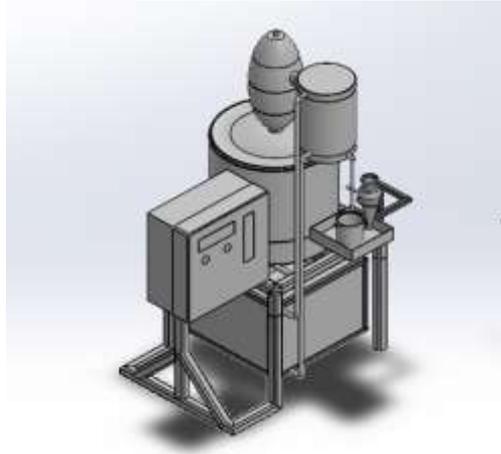
- **Alternativa 3(C).** -este tipo de alambique este hecho de acero al carbono, su funcionamiento es con gas, sistema de encendido manual, consta de un recipiente con alimentación directa y una columna delgada para la materia prima misma que se conecta al condensador donde sale el líquido destilado,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



**Ilustración 3-5:** Alambique de acero al carbono.

Fuente: (GrabCAD, 2014).

- **Alternativa 4(D).** - 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 3-6:** Alambique diseñado.

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

### *3.1.3.3. 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

**Eficiencia:** es un factor imprescindible que se centra en el aprovechamiento de recursos como combustible, materia prima, tiempo, entre otros; con la finalidad de obtener la mayor cantidad de aceite esencial y de buena calidad.

**Automatización:** es un parámetro esencial que ayuda a controlar el proceso de destilado, donde se tiene un control de las distintas variables de medición como son: presión, temperatura, nivel de líquido entre otros, evitando el contacto directo del operador con las partes críticas del sistema.

**Capacidad:** es una variable fundamental debido a que para la extracción de aceites esenciales se necesita una cantidad considerable de materia prima, de tal modo que es directamente proporcional a la cantidad de aceite obtenido.

**Costo:** este punto es de vital interés ya que abarca la compra de materiales para el sistema mecánico, térmico y estructural, por ello se debe realizar un análisis de costos directos, indirectos y totales para ver cuál es la opción más adecuada.

**Peso:** es un factor importante debido a que el equipo debe moverse de un lado a otro, no está estático o permanece en un solo lugar. En este apartado se considera el equipo como un sistema compacto.

**Montaje:** se debe considerar una máquina la cual sea de fácil montaje y desmontaje de sus partes es decir que sea desplegable para su transportación debido a que la máquina no va a estar en un solo lugar en específico.

**Mantenimiento:** factor que destaca especialmente debido al uso constante que tendrá la máquina y por los largos periodos de operación a los que será sometida, por ello es necesario tener un plan de mantenimiento adecuado en cuanto a los componentes eléctricos, térmicos y de automatización.

**Costo:** incluye la compra de materiales para su construcción que abarca el sistema mecánico, térmico, automatización y estructural. Se debe realizar un análisis de costos directos, indirectos y totales para ver la factibilidad de construcción.

#### *3.1.3.4. 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 3-9:** 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
							Suma	28	1

**Realizado por:** Atupaña. F.; Chiluzza. C.

### 3.1.3.5. Evaluación del peso específico de los criterios.

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

**Tabla 3-10:** Evaluación del criterio eficiencia.

$$D > C > B > A$$

Criterio 1: Eficiencia						
	A	B	C	D	$\Sigma+1$	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
					10	1

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

**Tabla 3-11:** Evaluación del criterio automatización.

$$D > B > C > A$$

Criterio 2: Automatización						
	A	B	C	D	$\Sigma+1$	Ponderación
A		0	0	0	1	0.1
B	1		1	0	3	0.3
C	1	0		0	2	0.2
D	1	1	1		4	0.4
					10	1

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

**Tabla 3-12:** Evaluación del criterio capacidad.

$$D > C > A > B$$

Criterio 3: Capacidad						
	A	B	C	D	$\Sigma+1$	Ponderación
A		1	0	0	2	0.2
B	0		0	0	1	0.1
C	1	1		0	3	0.3
D	1	1	1		4	0.4
					10	1

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

**Tabla 3-13:** Evaluación del criterio costo.

$$D > C > B = A$$

Criterio 4: Costo						
	A	B	C	D	$\Sigma+1$	Ponderación
A		0.5	0	0	1.5	0.15
B	0.5		0	0	1.5	0.15
C	1	1		0	3	0.3
D	1	1	1		4	0.4
					10	1

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

**Tabla 3-14:** Evaluación del criterio peso.

$$D = C > B = A$$

Criterio 5: Peso						
	A	B	C	D	$\sum+1$	Ponderación
A		0.5	0	0	1.5	0.15
B	0.5		0	0	1.5	0.15
C	1	1		0.5	3.5	0.35
D	1	1	0.5		3.5	0.35
					10	1

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

**Tabla 3-15:** Evaluación del criterio montaje.

$$A > B > C > D$$

Criterio 6: Montaje						
	A	B	C	D	$\sum+1$	Ponderación
A		1	1	1	4	0.4
B	0		1	1	3	0.3
C	0	0		1	2	0.2
D	0	0	0		1	0.1
					10	1

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

**Tabla 3-16:** Evaluación del criterio mantenimiento.

$$A = B > C > D$$

Criterio 7: Mantenimiento						
	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
					10	1

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

### 3.1.3.6. 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 3-17:** 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*0.232	0.1*0.232	0.2*0.178	0.15*0.125	0.15*0.125	0.4*0.053	0.35*0.053	0.140	4
<b>B</b>	0.2*0.232	0.3*0.232	0.1*0.178	0.15*0.125	0.15*0.125	0.3*0.053	0.35*0.053	0.205	3
<b>C</b>	0.3*0.232	0.2*0.232	0.3*0.178	0.3*0.125	0.35*0.125	0.2*0.053	0.2*0.053	0.271	2
<b>D</b>	0.4*0.232	0.4*0.232	0.4*0.178	0.4*0.125	0.35*0.125	0.1*0.053	0.1*0.053	0.361	1

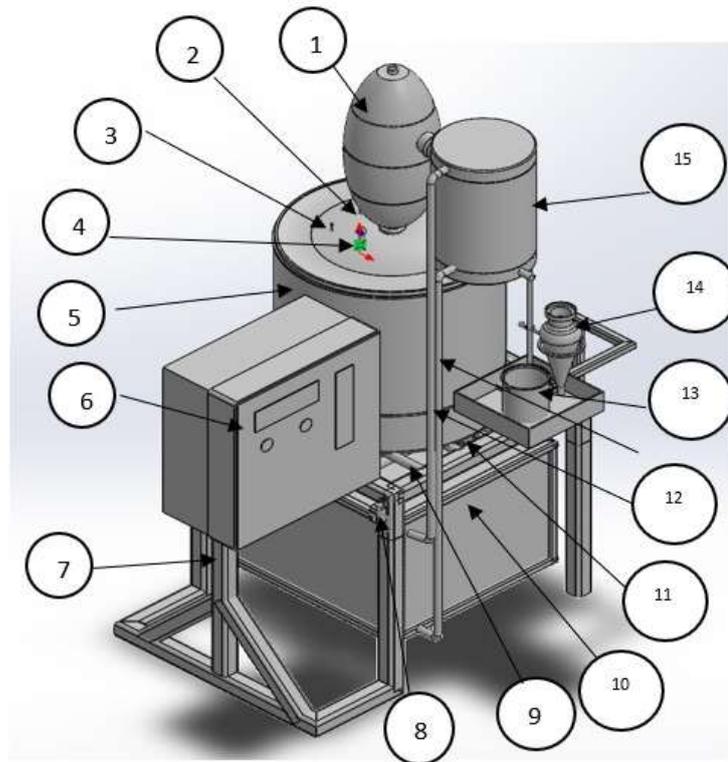
Realizado por: Atupaña. F.; Chiliza. C. 2023

### 3.1.4. Diseño preliminar.

Es un paso esencial en el proceso de desarrollo de productos, ya que sienta las bases para el desarrollo posterior, como el diseño detallado, la fabricación y las pruebas finales.

#### 3.1.4.1. Generación del modelo 3D.

Es una habilidad que requiere práctica y paciencia. A medida que te familiarices con el software y los principios del modelado 3D, podrás crear modelos más complejos y detallados.



**Ilustración 3-7:** Diseño preliminar.

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

**Tabla 3-18:** Partes principales del diseño preliminar.

1.- Columna de destilación	8.- Electroválvula
2.- Termocupla	9.-Rejilla de soporte
3.-Sensor de nivel	10.-Almacenamiento de agua
4.-Manómetro de vapor	11.-Sistema chispero
5.-Recipiente a presión	12.-Tubería de descarga
6.-Tablero de control	13.-Tubería de succión
7.-Estructura de soporte	14.-Sistema de destilación

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

Una vez seleccionado el alambique que funcionara con un sistema semiautomático de accionamiento a gas, que consta de un recipiente a presión el mismo que tiene una capacidad de 70 litros, una columna de evaporación para el paso del vapor, un condensador para destilar el líquido, una bandeja de agua como refrigerante y una estructura que soporte toda la máquina junto con el tablero de control. Una vez identificado todos estos componentes se procede a la generación del modelo de la máquina en un software especializado en este caso SolidWorks, en cuanto a los recipientes se fabricarán de chapa metálica de acero inoxidable AISI 304 grado alimenticio de 3 mm de espesor, el soporte se construirá de perfil cuadrado de acero estructural A-36.

Para el sistema de semiautomatización se elige una electroválvula para el paso de gas, una termocupla tipo K, un sensor de nivel de líquido, un manómetro de vapor y un chispero eléctrico, así mismo para la inserción de datos y lectura se utiliza el control de temperatura industrial Rex C-700 mismos que se situarán en una caja de control como se observa en el lado izquierdo de la figura del alambique, que serán capaces de controlar la máquina en cuanto a su encendido y apagado. Para el sistema de destilado se utiliza como refrigerante agua, misma que se ubica en un recipiente hermético en la base de la estructura dónde se ubica una bomba sumergible que es la encargada de suministrar agua al intercambiador de calor, de igual manera consta de un sistema de decantación que se ubica en la parte derecha del diseño, misma que consta de un matraz de decantación para separar el agua y el aceite esencial, y finalmente unos vasos de precipitado de distintas capacidades dónde se colocara nuestro producto final.

### **3.1.5. *Diseño mecánico.***

Recuerda que el diseño mecánico es un proceso iterativo, y a medida que avances, es posible que necesites realizar ajustes y mejoras en tu diseño.

#### **3.1.5.1. *Cálculos generales de diseño.***

Para este análisis iniciamos con cálculos generales sobre nuestro alambique con los datos proporcionados anteriormente como se detalla a continuación:

$$V = 70 \text{ litros} = 0,07 \text{ m}^3$$

$$H = 0,5 \text{ m}$$

### 3.1.5.2. Cálculo del radio de la base.

Utilizamos la fórmula del cilindro del volumen y despejamos el radio correspondiente a la base como se detalla:

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$r = \sqrt{\frac{V}{\pi * h}}$$

Reemplazando los valores:

$$r = \sqrt{\frac{0,07}{\pi * 0,46}}$$

$$r = 0,211 \text{ m}$$

$$r = 21,1 \text{ cm}$$

Entonces el diámetro de la base del recipiente a presión es:

$$\Phi = 2 * r$$

$$\Phi = 42,20 \text{ cm}$$

### 3.1.5.3. Cálculo del área transversal del cilindro

$$A_t = 2 * \pi * r * h$$

$$A_t = 2 * \pi * 0,211 * 0,5$$

$$A_t = 0,662 \text{ m}^2$$

### 3.1.5.4. Cálculo del área de la base

$$A_b = (\pi * r^2)_{base} + (\pi * r^2)_{tapa}$$

$$A_b = 2 * \pi * (0,211)^2$$

$$A_b = 0,279 \text{ m}^2$$

### 3.1.5.5. Cálculo del área total

$$A_T = A_t + A_b$$

$$A_T = 0,662 + 0,279 = 0,942 \text{ m}^2$$

### 3.1.5.6. Presión de Trabajo

$$P_{dest} = P_{trab} = 14,7 \text{ psi} + 1,45 \text{ psi} = 16,15 \text{ psi} = 111350,33 \text{ Pa}$$

$$P_{diseño} = P_{trabajo} + 20 \%$$

$$P_{diseño} = 1,2 * P_{trabajo}$$

$$P_{diseño} = 1,2 * (111350,33)$$

$$P_{diseño} = 133620,39 Pa$$

### 3.1.5.7. Cálculo del espesor mínimo del extractor.

Para calcular el espesor mínimo de un recipiente a presión utilizamos la norma ASME sección VIII división I parte UG-27 donde se menciona los requisitos para el cálculo de espesor mínimo.

### 3.1.5.8. Esfuerzo Circunferencial bajo junta longitudinal.

Se aplica cuando el espesor no excede la mitad del radio o la presión no exceda a  $0,385 * S * E$  entonces se aplican la siguiente fórmula:

$$t_1 = \frac{P * R}{S * E_L - 0,6 * P}$$

$$t_1 = \frac{133620,39 * 0,211}{340 * 10^6 * (0,85) - 0,6 * (133620,39)}$$

$$t_1 = 9,758 * 10^{-5} m$$

$$t_1 = 0,09758 mm$$

### 3.1.5.9. Esfuerzo longitudinal bajo junta circunferencial.

Se aplica cuando el espesor no exceda la mitad del radio interior o la presión no exceda  $1,25 * S * E$ , entonces se aplica la siguiente fórmula:

$$t_2 = \frac{P * R}{2 * S * E_c + 0,4 * P}$$

$$t_2 = \frac{133620,39 * 0,211}{2 * 340 * 10^6 * (0,85) + 0,4 * (133620,39)}$$

$$t_2 = 4,877 * 10^{-5} m$$

$$t_2 = 0,04877 mm$$

Entonces el espesor requerido es el mayor de los calculados anteriormente más la corrosión admisible:

$$t_{requerido} = \max(t_1; t_2) + c. a$$

Dónde la corrosión admisible es 3 mm entonces:

$$t_{requerido} = \text{máx}(t_1; t_2) + c. a$$

$$t_{requerido} = 0,09758 + 3$$

$$t_{requerido} = 3,098 \text{ mm}$$

### 3.1.5.10. Esfuerzos mecánicos.

Esfuerzo radial

$$\sigma_t = 0$$

Esfuerzo tangencial

$$\sigma_t = \frac{P * r}{t}$$

$$\sigma_t = \frac{133620,39 * 0,211}{0,003098} = 9,10 \text{ MPa}$$

### 3.1.5.11. Esfuerzo Axial

$$\sigma_L = \frac{P * r}{2t}$$

$$\sigma_L = \frac{133620,39 * 0,211}{2 * 0,003098} = 4,55 \text{ MPa}$$

En base a estos esfuerzos determinamos el factor de seguridad

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_t^2 - \sigma_t * \sigma_L + \sigma_L^2} = \frac{S_y}{n}$$

$$n = \frac{S_y}{\sqrt{\sigma_t^2 - \sigma_t * \sigma_L + \sigma_L^2}}$$

$$n = \frac{(340 * 10^6)}{\sqrt{(9,10 * 10^6)^2 - (9,10 * 10^6)(4,55 * 10^6) + (4,55 * 10^6)^2}}$$

$$n = 43,42$$

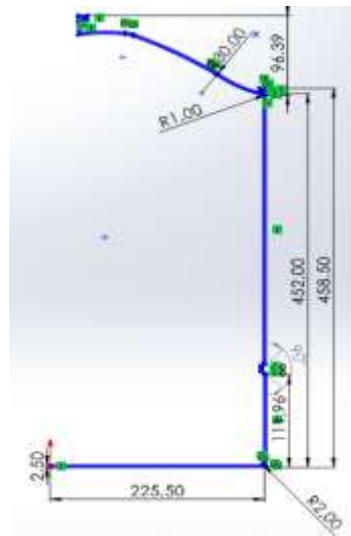
De esta manera obtenemos un factor de seguridad alto, mismo que garantiza confiabilidad de nuestro recipiente a presión que al compararlo con la norma ASME que recomienda que para recipientes a presión sea mayor a 8.5 el valor calculado es correcto.

### 3.1.5.12. Validación mediante software especializado ANSYS.

Se realiza el análisis del recipiente a presión utilizando el método de elementos finitos (MEF) que es una técnica de simulación numérica que permite evaluar el comportamiento estructural y la respuesta a las cargas de un recipiente sometido a presión.

### Análisis estructural mediante axisimetría

Primero se realizó la geometría con las medidas respectivas en mm de nuestro recipiente a presión en el software CAD SolidWorks.



**Ilustración 3-8:** Modelado del recipiente a presión.

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

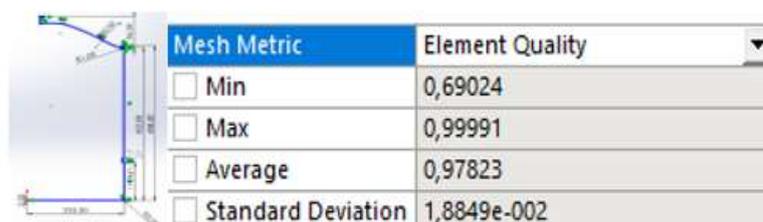
Luego para validar la geometría importamos a ANSYS, utilizando un paquete de static structural empezamos analizando la calidad de malla mediante Element Quality de acuerdo con los valores estandarizados válidos para validar una malla.

**Tabla 3-19:** Recomendaciones de mallado y validación.

	MINIMU M	MAXIMU M	AVERAGE	STANDARD DEVIATION	CORRECT
Element Quality	-4.58E-4	0.999	0.7570	0.2025	1
Aspect Ratio	1	94.942	2.3903	2.1655	1
Jacobian Ratio	1	38.141	1.0829	0.3531	1

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

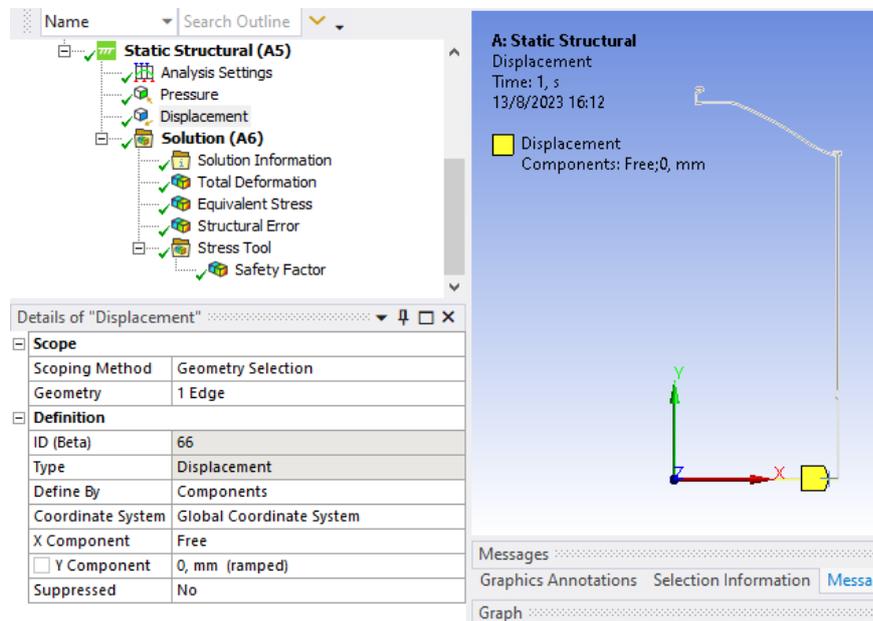
De este modo se tiene una calidad de malla o sizing de 1, promedio de 0,978 que es mayor a 0,75 valor aceptable y del mismo modo la desviación estándar cercano a cero cuyo valor es 1,884e-9.



**Ilustración 3-9:** Calidad de mallado

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

Una vez teniendo una buena calidad de malla, idealizo las condiciones iniciales de presión y desplazamiento para posteriormente analizar y calcular los resultados de diseño.



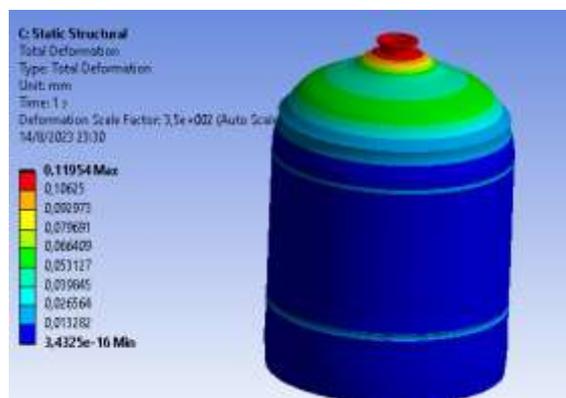
**Ilustración 3-10:** Condicionamiento para el análisis

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

Una vez simulado se obtiene los siguientes resultados de interés como son: deformación, esfuerzos equivalentes y el más importante el factor de seguridad para validar el diseño del recipiente a presión.

### Deformaciones

Como se puede observar en la imagen se tiene una deformación máxima de 0,119 mm en la salida superior o boquilla, lugar donde se concentra la presión de vapor y un valor de  $3.43e-16$  mm en las paredes y base del recipiente.

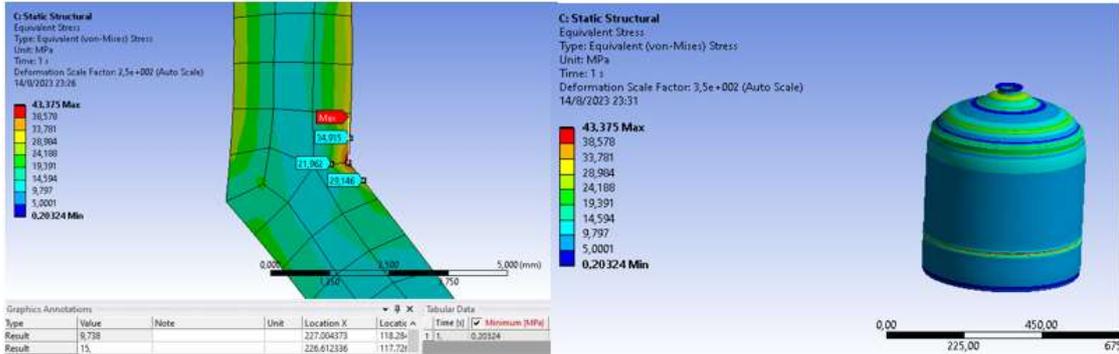


**Ilustración 3-11:** Análisis estructural.

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

### Esfuerzos equivalentes

Es esencial para evaluar la integridad estructural y la seguridad del recipiente bajo diferentes condiciones de carga, se observa que se tiene un valor de 43,375 Mpa entre la unión de la tapa y recipiente, además en el concentrador inferior medio.

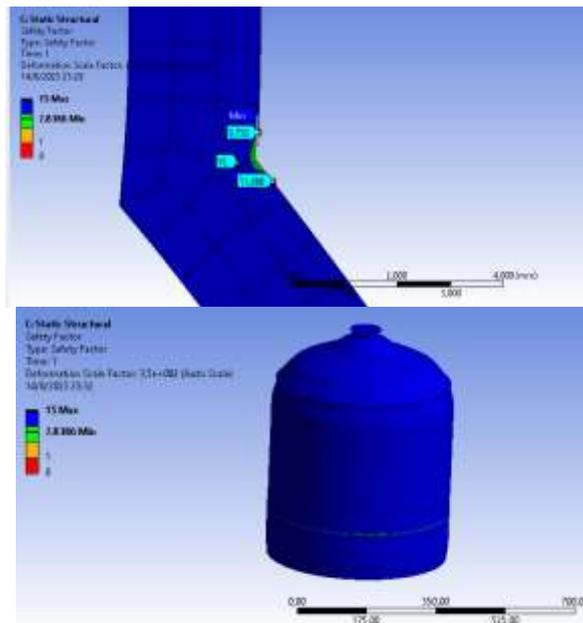


**Ilustración 3-12:** Deformaciones en los puntos críticos del recipiente a presión.

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

### Factor de seguridad

El análisis de factor de seguridad en recipientes a presión es una parte crítica del diseño y la evaluación de la seguridad. Si el factor de seguridad es mayor que 8,5 indica que el recipiente es seguro bajo las condiciones de carga consideradas según la norma ASME. Si es menor que 8,5 implica que el recipiente está en riesgo de falla y se deben tomar medidas para aumentar su seguridad, como modificar el diseño, elegir materiales más resistentes o reducir las cargas aplicadas



**Ilustración 3-13:** Factores de seguridad en los puntos críticos del recipiente a presión.

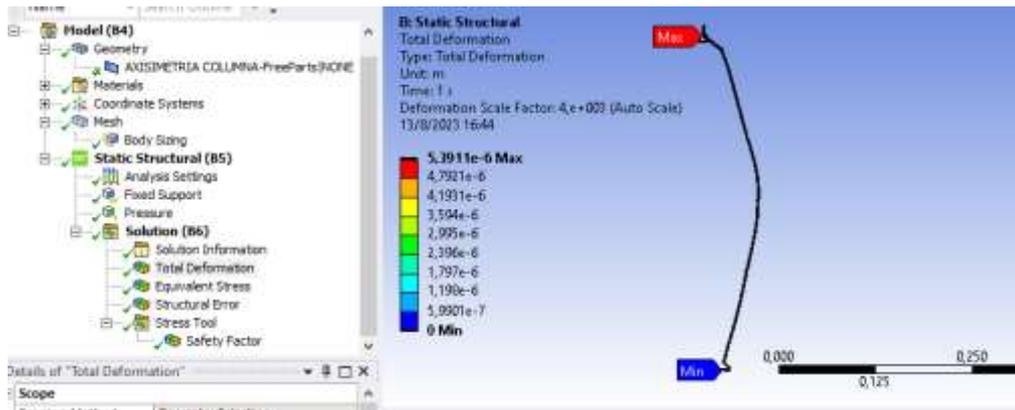
Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.

### Análisis de la columna

Es crucial tener en cuenta otros aspectos en la columna de destilación, como el rendimiento termodinámico, la transferencia de calor y las consideraciones operativas.

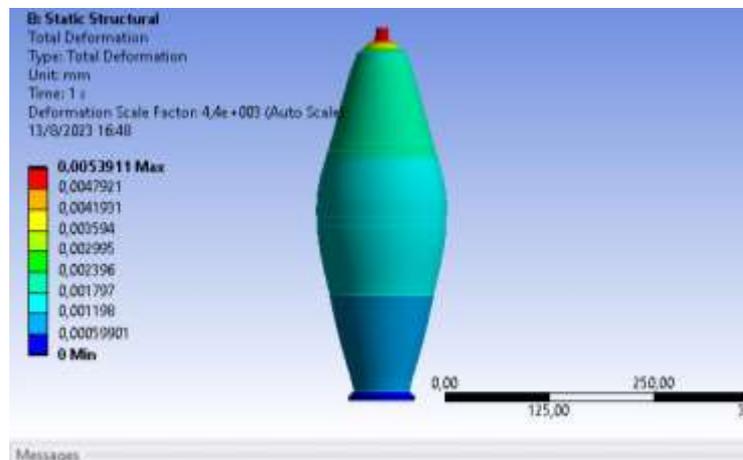
### Deformación

Es fundamental para la seguridad y el diseño adecuado de estas estructuras, asegurando que puedan soportar las cargas de presión y las fuerzas externas sin comprometer su integridad.



**Ilustración 3-14:** Perfil de la columna de destilación.

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

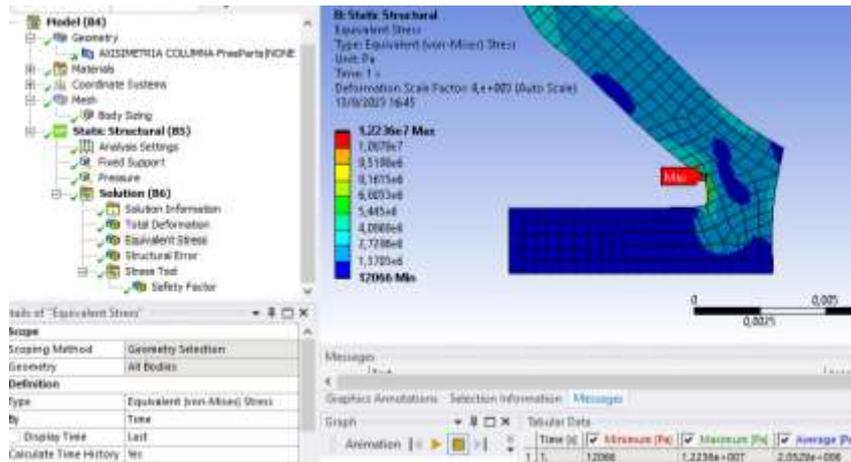


**Ilustración 3-15:** Deformaciones de la columna de evaporación.

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

### Esfuerzos combinados

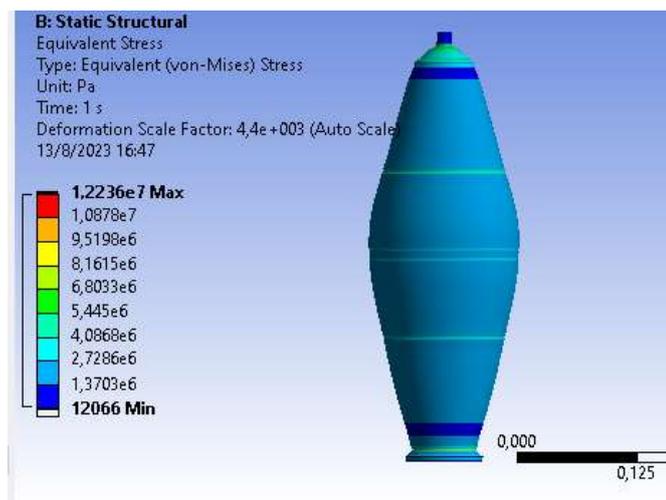
El objetivo de este análisis es garantizar que la columna sea capaz de soportar las diferentes cargas y mantener la integridad estructural y la seguridad operativa, a continuación, se muestra un valor máximo en la parte superior de  $1,22e7$  Mpa, cabe recalcar que esta parte se encuentran concentradores de esfuerzos.



**Ilustración 3-16:** Concentradores de esfuerzos.

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

En esta gráfica se muestra claramente los concentradores de esfuerzos de forma más clara, ya que en dichos puntos se encuentran secciones que cambian de dimensión y alteran la continuidad de nuestra columna.

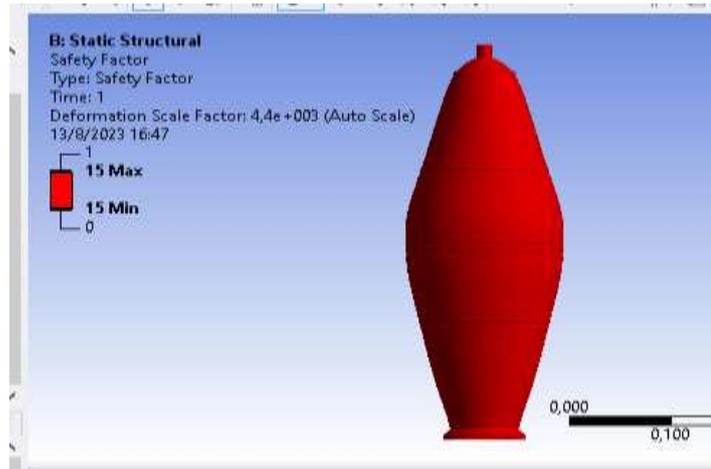


**Ilustración 3-17:** Concentradores de esfuerzos en la columna de destilación.

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

### Factor de seguridad

En este caso al tratarse de una columna de evaporación se debe garantizar las mismas condiciones del recipiente a presión, por ello se lo analiza como en el primer caso obteniendo un factor de seguridad de 15 que es muy bueno ya que es mayor al establecido por la norma AMSE DE 8.5.

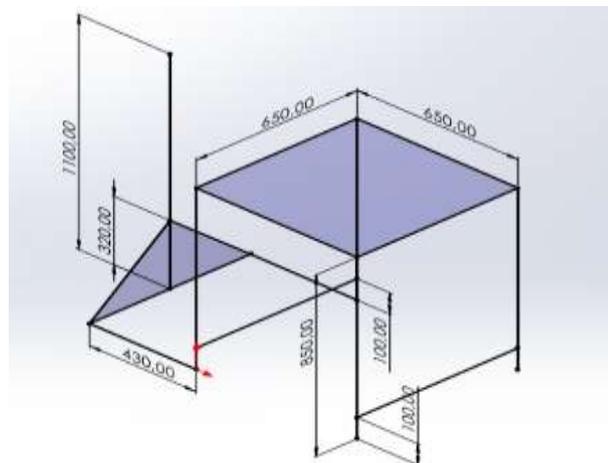


**Ilustración 3-18:** Factor de seguridad en la columna de evaporación

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

### 3.1.5.13. *Análisis de la estructura metálica o soporte.*

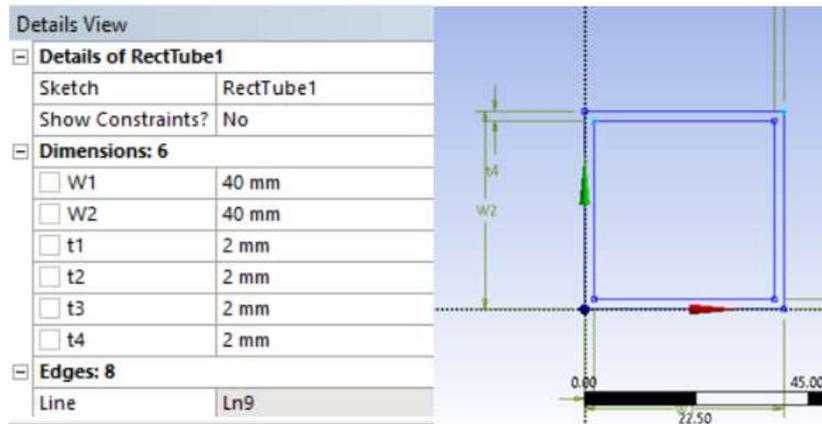
Se realiza el modelado en el software CAD SolidWorks con las respectivas medidas para importarlo en Ansys dónde utilizaremos el paquete de static structural para analizar las deformaciones, esfuerzos y factor de seguridad.



**Ilustración 3-19:** Análisis de la estructura metálica o soporte

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

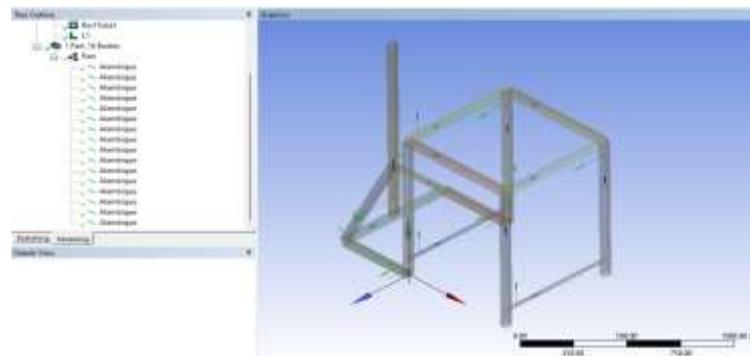
Una vez realizada la geometría la exportamos a ANSYS para analizarlo mediante elementos finitos para ello definimos las medidas de nuestro perfil estructural utilizado.



**Ilustración 3-20:** Parámetros para el análisis estructural.

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

Asignamos el perfil cuadrado correspondiente como se detalla a continuación para finalmente proceder a ubicar las cargas y las condiciones de esta.



**Ilustración 3-21:** Asignación de perfiles.

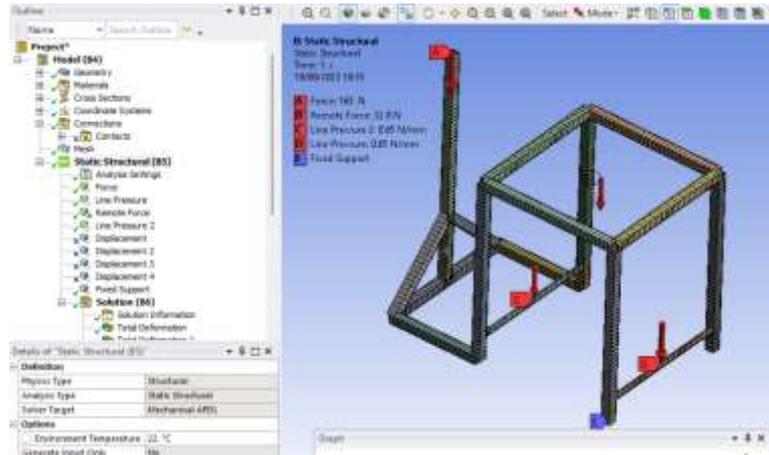
Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.

Para el análisis se considera fuerzas (peso) que actúan sobre la estructura como se detalla a continuación:

Para la caja de control una fuerza lineal en sentido negativo, para el recipiente a presión y los demás elementos que lo conectan una carga distribuida en la parte central, y del mismo modo para el tanque de almacenamiento de agua una carga distribuida a lo largo de todo su soporte.

**Asignación de cargas**

Una vez con el modelo definido, asignamos las condiciones iniciales a los que está sometida la estructura como son: peso de la caja de automatización, peso distribuido del recipiente a presión más la columna y condensador y el peso del tanque de almacenamiento de agua inferior. Como se puede observar en la figura se tiene cada uno de los valores correspondientes en sus puntos de interés.

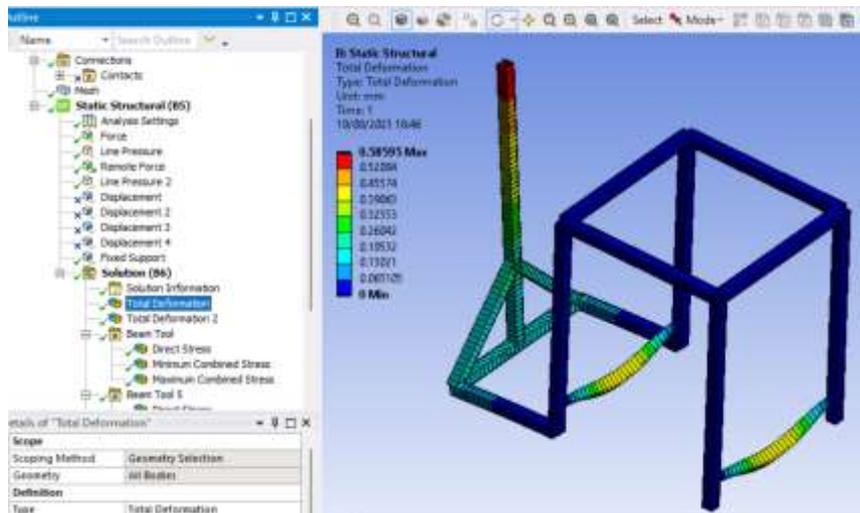


**Ilustración 3-22:** Asignación de cargas.

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

### Cálculo de deformaciones.

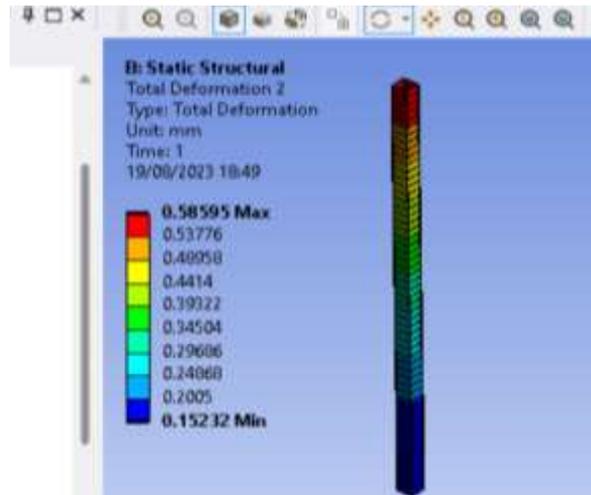
En la imagen se tiene una deformación total que toma los valores de 0,585 mm como máximo en el punto de soporte de la caja de control, posteriormente se tiene una deformación en la parte inferior donde se ubica el tanque de almacenamiento de agua con un valor de 0,455 mm y finalmente no existe deformación en la parte de soporte de la mesa donde se ubica el recipiente.



**Ilustración 3-23:** Calculo de deformaciones.

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

En la siguiente figura se muestra la sección más crítica a detalle, el soporte de la caja o tablero de control el cual genera deformación superior máxima de 0.585 mm en el punto de interés.



**Ilustración 3-24:** Punto más crítico de deformación.

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

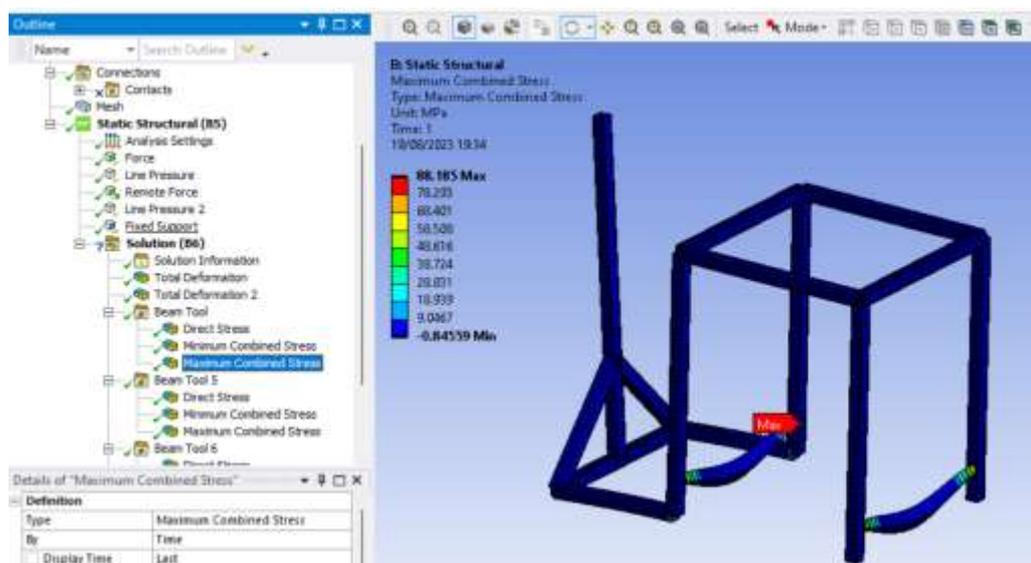
### Factor de seguridad

Para el factor de seguridad buscamos el esfuerzo máximo en toda la estructura, dando un valor de 88,185 Mpa que se concentra en la parte lateral en donde se asienta el tanque de almacenamiento de agua, entonces como tenemos el límite de fluencia del material utilizado aplicamos la fórmula:

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{m\acute{a}x}}$$

$$n = \frac{317 \text{ Mpa}}{88,185 \text{ Mpa}}$$

$$n = 3,60$$



**Ilustración 3-25:** Factor de seguridad de la estructura.

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

De esta manera se valida que se tiene un factor de seguridad mayor o igual a 2, entonces la estructura diseñada soportará sin problemas todos los componentes del alambique.

### 3.1.6. Análisis térmico.

Son esenciales para comprender cómo los materiales responden a las variaciones de temperatura y cómo esto puede afectar sus propiedades y rendimiento.

#### 3.1.6.1. Calor sensible y calor latente.

Dentro de esta etapa el caldero y columna se encuentran unidos uno a continuación de otro para evitar fugas del vapor de agua. Para la selección de estos dos componentes se debe determinar al calor total que pasa por dichos conductos mismo que proviene del calor que entrega el combustible que lo transforma de líquido a vapor.

Entonces este calor es producto de la suma del calor sensible y latente

Cálculo del calor total:

$$Q = Q_s + Q_l$$

#### 3.1.6.2. Calor sensible.

$$Q_s = \dot{m} * C_p * \Delta T$$

#### 3.1.6.3. Flujo másico

$$\dot{m} = \frac{m}{t} = 4,952 \frac{kg}{h}$$

Para la variación de temperatura tenemos:

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

Dónde:

$$T_1 = 19^\circ C \text{ es la temperatura ambiente del fluido.}$$

La presión de trabajo corresponde a:

$$P_{trab} = 16,15 \text{ psi} = 111350,33 Pa$$

$$P_{abs} = 111350,33 Pa$$

Con esta presión absoluta encontramos la temperatura de saturación final:

$P_{abs} = 111350.33 \text{ Pa}$  que Corresponde  $T_{sat} = T_2 = 101,67^\circ\text{C}$  (Tabla A-6, Cengel)

Entonces reemplazando en la ecuación de calor sensible:

$$Q_s = \dot{m} * C_p * \Delta T$$
$$Q_s = 4,952 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 4,186 \frac{\text{kJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} * (101,67 - 19)^\circ\text{C}$$
$$Q_s = 1713,672 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

#### 3.1.6.4. Calor latente

$$Q_l = \dot{m} * h_{fg}$$

De esta forma la  $P_{abs}$  encontramos el  $h_{fg} = 2258.075 \frac{\text{kJ}}{\text{Kg}}$  (Tabla A-5, Cengel)

$$Q_l = 4,952 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 2258,075 \frac{\text{kJ}}{\text{Kg}}$$
$$Q_l = 11181,987 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

Entonces el calor total será:

$$Q = Q_l + Q_s$$
$$Q = 1713,672 + 11181,987$$
$$Q = 12895,659 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

#### 3.1.6.5. Capacidad de la caldera BHP.

Con el valor del calor calculado anteriormente calculamos los BHP que debe proporcionar el caldero en forma de vapor en unidades de transferencia de calor:

$$1\text{BHP} = 33475 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}$$

Realizando la conversión tenemos:

$$Q = 19343,489 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} * \frac{1\text{BHP}}{33475 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}} = 0,578 \text{ BHP}$$

#### 3.1.6.6. Diseño del intercambiador de calor.

Como se detalló en el marco teórico se opta por un intercambiador de calor tipo serpentín el cual es el encargado de transformar el vapor en líquido de nuestra mezcla agua aceite para ello se realiza un análisis de funcionamiento de este.

Se calcula las diferentes variables con los datos que se detallan a continuación:

Datos de la refrigerante (agua):

$$T_{\text{entrada del agua}} = T_{ea} = 18^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{salida del agua}} = T_{sa} = 35^{\circ}\text{C}$$

Datos del vapor de entrada y salida al intercambiador:

$$T_{\text{entrada del vapor}} = T_{ev} = 89^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{salida del vapor}} = T_{sv} = 40^{\circ}\text{C}$$

Una vez que la mezcla de líquido vapor sale de la columna de vapor entra en el condensador se inicia el proceso de condensación, como sabemos que la masa de vapor de agua es superior a la del aceite, ya que por cada 3 litros de agua se necesita 1 kg de masa de eucalipto y así de forma proporcional se obtiene alrededor de 15 ml de aceite un valor muy pequeño en comparación con la del agua, de este modo analizaremos el calor para que se produzca la condensación:

### 3.1.6.7. Calor sensible de condensación.

$$q_s = \dot{m} * C_p * \Delta T$$

Reemplazando los valores:

$$q_s = \dot{m} * C_p * \Delta T$$

$$q_s = 4,952 * 4,186 * (89 - 40)$$

$$q_s = 1015,724 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

### 3.1.6.8. Calor latente de condensación.

Para este cálculo encontramos el valor de  $h_{fg}$  con nuestra temperatura de entrada, (Tabla A-4)

$$\text{Con } T_e = 89^{\circ}\text{C} \text{ encuentro } h_{fg} = 2285,06 \frac{\text{kJ}}{\text{Kg}}$$

$$q_l = \dot{m}_v * h_{fg}$$

$$q_l = 4,952 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 2285,06 \frac{\text{kJ}}{\text{Kg}}$$

$$q_l = 11315,617 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

Entonces el calor de condensación:

$$q_T = q_s + q_l$$

$$q_T = 1015,724 + 11315,617$$

$$q_T = 12331,341 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

### Cálculo del caudal masico del agua requerido

$$q_{perd(mezcla\ vapor+aceite\ esencial)} = q_{ganado\ agua}$$

$$12331,341 \frac{kJ}{h} = m_a C_P \Delta T$$

Despejando  $m_a$ :

$$m_a = \frac{12331,341}{4.186(35 - 18)}$$

$$m_a = 173,285 \frac{Kg}{h}$$

Asumimos el tubo de cobre de las siguientes dimensiones, por donde va a circular la mezcla de vapor de agua y aceite esencial

Tubo interior:  $\frac{1}{4}$  in

$$\phi_i = 6.35 \text{ mm}$$

$$\phi_{ext} = 8.35 \text{ mm}$$

$$A_i = 3.1662E - 5 \text{ m}^2$$

$$A_{ext} = A_0 = \frac{\pi * [0.00835]^2}{4}$$

$$A_{ext} = A_0 = 5.475E - 5 \text{ m}^2$$

### Caculo de la diferencia de temperatura media logarítmica.

Cálculo de la temperatura

Cálculo del LMTD para condensación

Cálculo del LMTD para enfriamiento

$$LMTD_e = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

$$LMTD_e = \frac{(35 - 18) - (89 - 40)}{\ln \frac{(35 - 18)}{(89 - 40)}}$$

$$LMTD_e = 30,2284^\circ\text{C}$$

### Cálculos de los coeficientes convectivos

Cálculo de (hi) Condensación en película en el interior de la tubería

$$h_i = 0.555 \left[ \frac{g \rho_L (\rho_L - \rho_v) k_l^3 h_{fg}}{\mu_l (T_{sat} - T_s)} * \left( h_{fg} + \frac{3}{8} C_{pl} (T_{sat} - T_s) \right) \right]^{1/4}$$

Para determinar las propiedades, se establece la temperatura fílmica.

$$T_f = \frac{T_{sat} + T_w}{2}$$

$$T_f = \frac{89 + 75}{2}$$

$$T_f = 82 \text{ °C}$$

Propiedades del agua a  $T_f = 82 \text{ °C}$  (Anexo C)

$$\delta_L = 969,58 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$K_L = 0,671 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{°C}} \right]$$

$$\mu_l = 3,46E - 4 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \right]$$

$$C_{pl} = 4,199 \left[ \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot \text{°K}} \right]$$

$$h_{fg} = 2303,8 \left[ \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} \right]$$

$$\rho_v = 0,318 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$h'_{fg} = h_{fg} + 0,375 C_{pl}(T_{sat} - T_s)$$

$$h'_{fg} = 2300,38 + 0,375 * 4,1994 * (89 - 77)$$

$$h'_{fg} = 2325,842E3 \left[ \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} \right]$$

$$hi = 0,555 \left[ \frac{9,8 * 967,3(967,3 - 0,3815)(0,673)^3}{325,8E - 6 * (89 - 85) * 0,00835} * (2,296E6) \right]^{1/4}$$

$$hi = 11102,91 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{°K}} \right]$$

Cálculo de la temperatura real de la pared del condensador

$$q_T = hi * D * L * \pi \left[ T_W - \frac{T_e + T_s}{2} \right]$$

$$12331,341 = 11102,91 * 0,00835 * 2,5 * \pi * \left[ T_W - \frac{89 + 40}{2} \right]$$

$$T_W = 81,435 \text{ °C}$$

El valor calculado de  $T_W$  se encuentra en proximidad al  $T_W$  asumido inicialmente, lo que significa que las características del fluido previamente consideradas serán aplicadas en el proceso de cálculo.

**Coefficiente convectivo de transferencia de calor por subenfriamiento (he), convección natural en superficies interiores.**

$$he = \frac{Nu * K}{Lc}$$

$$T_b = \frac{T_1 - T_2}{2}$$

$$T_b = \frac{89 + 40}{2}$$

$$T_b = 64.5^\circ\text{C}$$

$$T_f = \frac{T_b + T_w}{2}$$

$$T_f = \frac{64,5 + 81,435}{2} = 72,968^\circ\text{C}$$

Propiedades a temperatura fílmica

$$\delta_L = 975,838 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$K_L = 0.653 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \right]$$

$$\mu_L = 0.389E - 3 \left[ \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2} \right]$$

$$\text{Pr} = 2,449$$

Cálculo del número de Grashof.

$$Gr = \frac{\delta^2 g \beta}{\mu^2} [T_b - T_w] L_C^3$$

$$\beta = 0,595E - 3 \left[ \frac{1}{\text{K}} \right]$$

$$Gr = \frac{(975,838)^2 * 9.8 * 0,595E - 3}{(0.389E - 3)^2} [81,435 - 64,5] * (0.00635)^3$$

$$Gr = 159528,613$$

$$Ra = Gr * Pr$$

$$Ra = 159528,613 * 2.449 = 390701,063$$

Entonces

$$Nu = 0.36 + \frac{0,518 Ra^{1/4}}{\left[ 1 + \left[ \frac{0,559}{Pr} \right]^{9/16} \right]^{4/9}}$$

$$Nu = 0.36 + \frac{0.518 * 390701,063^4}{\left[ 1 + \left[ \frac{0.559}{2.449} \right]^{9/16} \right]^{4/9}}$$

$$Nu = 11,388$$

Utilizando Nu, encontramos he:

$$Nu = \frac{h_e * Lc}{K}$$

$$h_e = \frac{Nu * K}{Lc}$$

$$h_e = \frac{11,388 * 0.635}{0.00635} = 1171,403 \text{ W}/^\circ\text{Km}^2$$

ho del refrigerante (agua), convección forzada en superficies interiores.

$$h_0 = \frac{0.0038 * C_p G}{\left[ \frac{C_p \mu}{K} \right]^{\frac{2}{3}} * \left[ \frac{\mu_s}{\mu} \right]^{0.14}}$$

$$T_{refr} = \frac{18 + 33}{2}$$

$$T_{refr} = 25,5^{\circ}\text{C}$$

$$T_f = \frac{T_{refr} + T_w}{2}$$

$$T_f = \frac{25,5 + 81,436}{2}$$

$$T_f = 53,468^{\circ}\text{C}$$

Propiedades del agua a temperatura fílmica (Anexo C, D)

$$\delta_L = 986,089 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$K_L = 0.647 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m} * ^{\circ}\text{C}} \right]$$

$$\mu_L = 0,517E - 3 \left[ \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2} \right]$$

$$C_{pl} = 4.182 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * ^{\circ}\text{K}} = 4179 \frac{\text{Ws}}{\text{Kg} * ^{\circ}\text{K}}$$

$$Pr = 3.342$$

Área por donde va a circular la refrigerante (agua)

$$A_s = \pi DL$$

$$A_s = \pi * 0,2 * 0.2$$

$$A_s = 0,126 \text{ m}^2$$

$$m = A * \delta * V$$

$$V = \frac{\dot{m}}{A * \delta}$$

$$V = \frac{173,285}{0,126 * 986.089} = 1,398 \text{ m/h} = 0,000388 \text{ m/s}$$

El refrigerante circula a través de tubo y coraza, se utiliza la expresión siguiente.

$$\text{Con } T_w = 81,435^{\circ}\text{C} \text{ entonces } \mu_s = 3.46E - 4 \left[ \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2} \right]$$

El diámetro hidráulico se determina con la siguiente expresión

$$D_h = D_2 - D_1$$

$$D_h = 0.2 - 0.00835 = 0,192 \text{ m}$$

Determinamos el flujo másico mediante:

$$G = \delta * V$$

$$G = 985.7 * 0,000388 = 0,383 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{s} * \text{m}^2} \right]$$

$$h_0 = \frac{0.0038 * C_p G}{\left[\frac{C_p \mu}{K}\right]^{\frac{2}{3}} * \left[\frac{\mu_s}{\mu}\right]^{0.14}}$$

$$h_0 = \frac{0.0038 * 4182,387 * 0,383}{\left[\frac{4182,387 * 0,517E - 3}{0.649}\right]^{\frac{2}{3}} * [0,517E - 3]^{0.14}}$$

$$h_0 = 1318,844 \left[W/m^2 \cdot K\right]$$

**Cálculo del coeficiente de transferencia de calor.**

$$U_c = \frac{h_c * h_0}{h_c + h_0}$$

$$U_c = \frac{11485.3 * 1318,844}{11485.3 + 1318,844}$$

$$U_c = 3119.74 \left[W/m^2 * \text{°C}\right] = 11234 \left[KJ/m^2 \cdot \text{°C}\right]$$

Coeficiente global de transferencia de calor por subenfriamiento.

$$U_e = \frac{h_e * h_0}{h_e + h_0}$$

$$U_e = \frac{1110,291 * 4283.17}{1110,291 + 4283.17}$$

$$U_e = 818.91 \left[W/m^2 * \text{°C}\right] = 4242,571 \left[KJ/m^2 \cdot \text{°C}\right]$$

**Áreas de transferencia de calor para condensación**

Área de transferencia de calor para condensación

$$A_c = \frac{q_l}{U_c * LMTD_c * F}$$

$$A_c = \frac{12331,341}{4242,572 * 30,2284 * 1}$$

$$A_c = 0,0962 \text{ m}^2$$

Área de transferencia de calor para subenfriamiento.

$$A_e = \frac{q_l}{U_e * LMTD_e * F}$$

$$A_e = \frac{12331,341}{4242,572 * 60.12 * 1}$$

$$A_e = 0,0483 \text{ m}^2$$

Área total.

$$A_T = A_e + A_c$$

$$A_T = 0,0478 \text{ m}^2$$

### Cálculo de la longitud del condensador

$$A_T = \pi * D_e * L$$

$$L = \frac{A_T}{D_e * \pi}$$

$$L = \frac{0,0478}{0,00835 * \pi}$$

$$L = 1,822 \text{ m} \approx 1,9 \text{ m}$$

#### 3.1.6.9. Selección de la bomba

Condiciones del líquido a bombearse: Agua en las siguientes condiciones.

Temperatura del agua 18°C

$$\text{Flujo másico del agua: } m_a = 173,285 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right]$$

$$\text{Densidad del agua a 18°C: } \delta_L = 985,7 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$\text{Viscosidad cinemática: } \gamma = 1,072E - 6 \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$$

#### 3.1.6.10. Caudal requerido

$$Q = \frac{m}{\delta}$$

$$Q = \frac{173,285}{985,7}$$

$$Q = 0,176 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] = \left[ 2,923 \frac{\text{lt}}{\text{min}} \right]$$

Para que el sistema funcione correctamente, se requiere una bomba con un caudal de  $\left[ 2,923 \frac{\text{lt}}{\text{min}} \right]$ , pero como en el mercado no existe se selecciona una bomba con un rango de caudal de  $\left[ 0 \text{ a } 40 \frac{\text{lt}}{\text{min}} \right]$

Entonces para cuestiones de diseño se utiliza el caudal máximo de:

### Condiciones de succión

Para el sistema desarrollado se decide diseñar un sistema con cabeza estática de succión, para lo cual se necesita el diámetro de la tubería de succión.

$$A_s = \frac{Q_{max}}{V_s}$$

La velocidad recomendada en la tubería de succión del fluido es:

$$V_s = 0,6 - 2,2 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

$$V_s = 1,6 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Calculamos el área para nuestra velocidad máxima

$$A_s = \frac{Q_{max}}{V_s}$$

$$A_s = \frac{4,88E - 5}{1.6}$$

$$A_s = 3,05E - 5 [m^2]$$

$$D_s = \sqrt{\frac{4A_s}{\pi}}$$

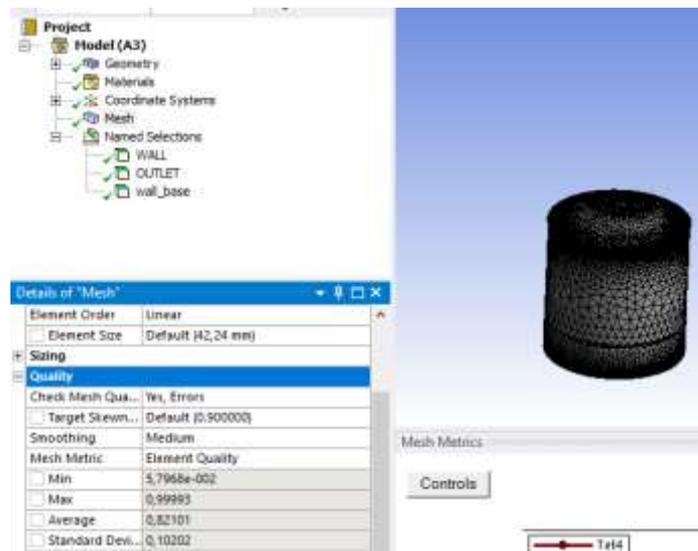
$$D_s = \sqrt{\frac{3,05E - 5}{\pi}}$$

$$D_s = 6,23E - 3m = 6,23mm$$

### 3.1.7. Validación del sistema térmico mediante el software especializado, ANSYS.

Se realizó el análisis de fluidos CFX, para analizar la distribución de fluido, la transferencia de calor.

Para analizar el mallado en dibujamos en 3D en SolidWorks para analizar el fluido dentro del recipiente, en el cual en “space clean” de ANSYS le quitamos en volumen del sólido para obtener mejores resultados en la calidad de la malla. Podemos ver que tenemos una desviación estándar de 0.102 que me quiere decir que el mallado es simétrico por lo que debe tender a cero.



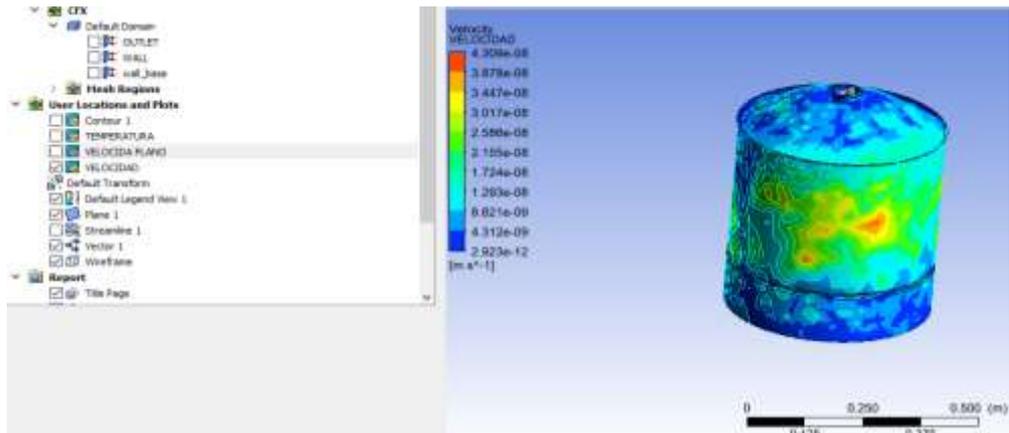
**Ilustración 3-26:** Mallado del recipiente a presión.

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

### 3.1.7.1. Velocidad en las paredes

Mediante el análisis en ANSYS con el paquete de “Flow fluid CFX” analizamos la velocidad del fluido de vapor en las paredes, mediante la idealización del contorno del recipiente como la de las paredes, usamos la conductividad térmica y el flujo de calor.

Se realiza un vaciado define las condiciones de entrada y salida del fluido, se realiza el análisis para comprender y analizar estas velocidades en detalle.

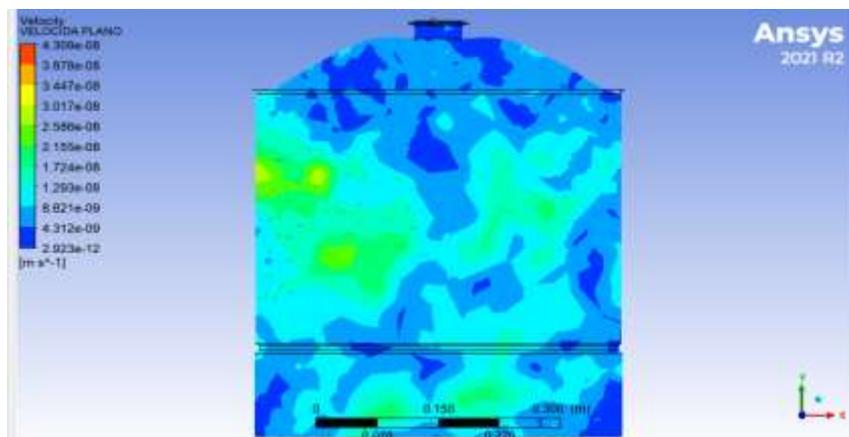


**Ilustración 3-27:** Velocidades en las paredes.

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

### 3.1.7.2. Velocidades en el centro.

Se muestra cómo se distribuye el flujo y cómo varían las velocidades en diferentes partes del recipiente. Para mejores resultados analizamos mediante un plano, la velocidad del centro del fluido de vapor donde obtenemos que donde hay mayor flujo de calor hay mayor velocidad es decir son directamente proporcionales.

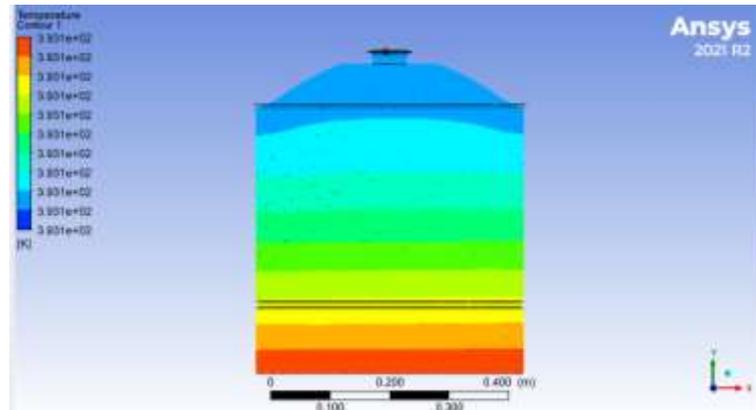


**Ilustración 3-28:** Velocidades en el centro en el centro del recipiente a presión

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

### 3.1.7.3. Temperatura del caldero.

Se muestra un análisis detallado de transferencia de calor y flujo de fluidos, que puede proporcionar información valiosa sobre cómo se distribuye el calor y la temperatura en diferentes regiones del recipiente.



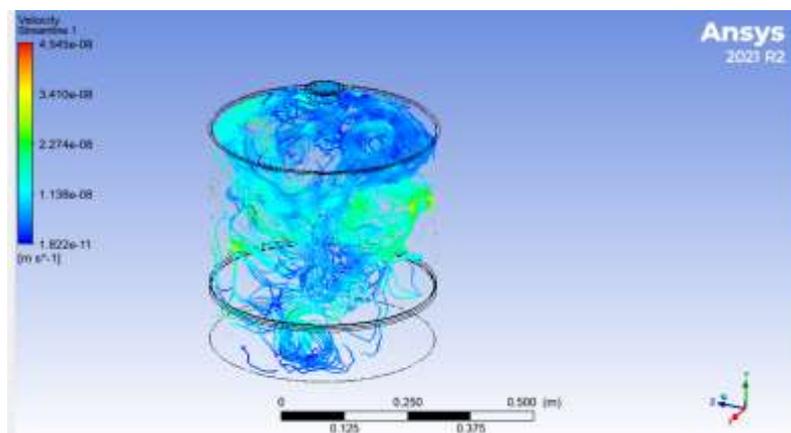
**Ilustración 3-29:** Temperatura en el centro del caldero

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

Se determina que la temperatura del recipiente se mantiene constante sobre los  $393.1 \text{ }^\circ\text{K} = 119,95^\circ\text{C}$

### 3.1.7.4. Flujo del fluido.

El análisis del flujo del fluido en un recipiente a presión es crucial para comprender cómo se distribuyen las propiedades del fluido y cómo afecta la transferencia de calor y la mezcla.

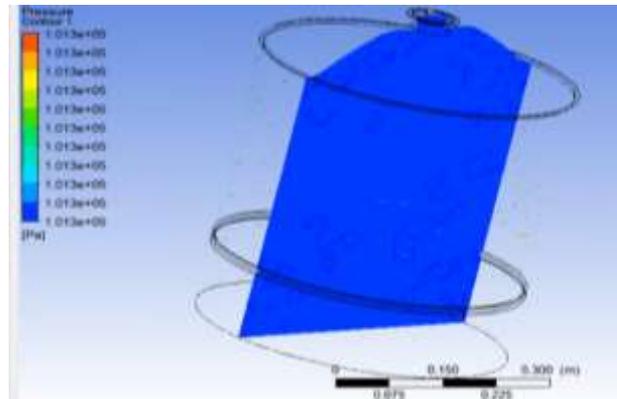


**Ilustración 3-30:** Flujo del fluido en el recipiente.

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

### 3.1.8. Presión de destilación.

Como se puede observar la presión es igual en todos los puntos y como sabemos que el sistema está abierto a la atmósfera su valor no va a cambiar a lo largo del mismo.



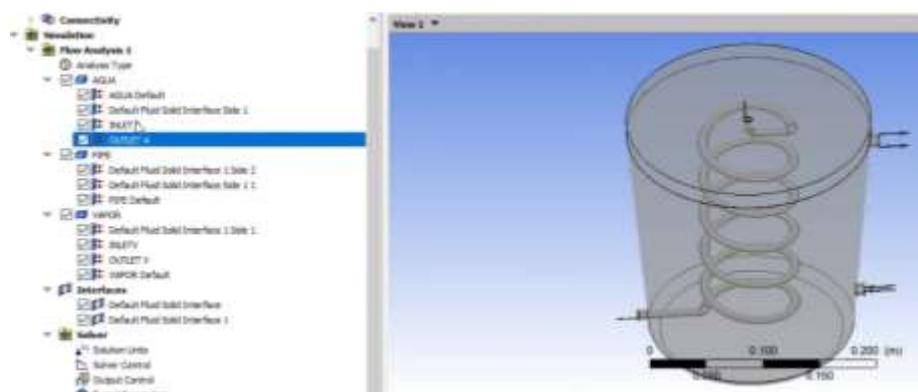
**Ilustración 3-31:** Presión de destilación.

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

### 3.1.9. Análisis térmico del intercambiador de calor mediante el software ANSYS.

El análisis es importante para comprender cómo se comporta el serpentín y cómo afecta a la transferencia de calor en el sistema.

De la misma manera bajo las mismas consideraciones para el recipiente a presión, se definen los dominios o parámetros a los que se analiza y que se quiere obtener, en este caso las temperaturas a las que está expuesta el serpentín.

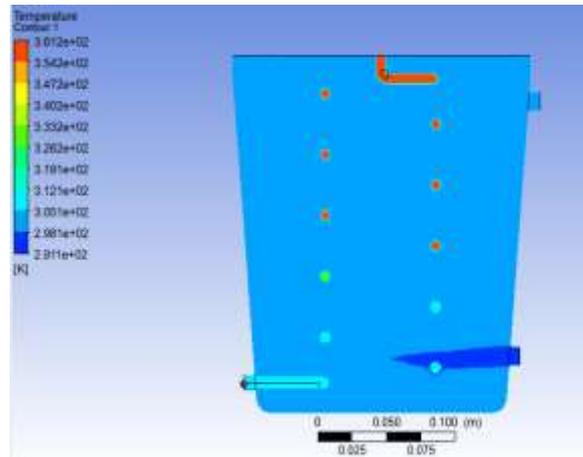


**Ilustración 3-32:** análisis térmico del intercambiador de calor

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

### 3.1.9.1. Temperatura del serpentín

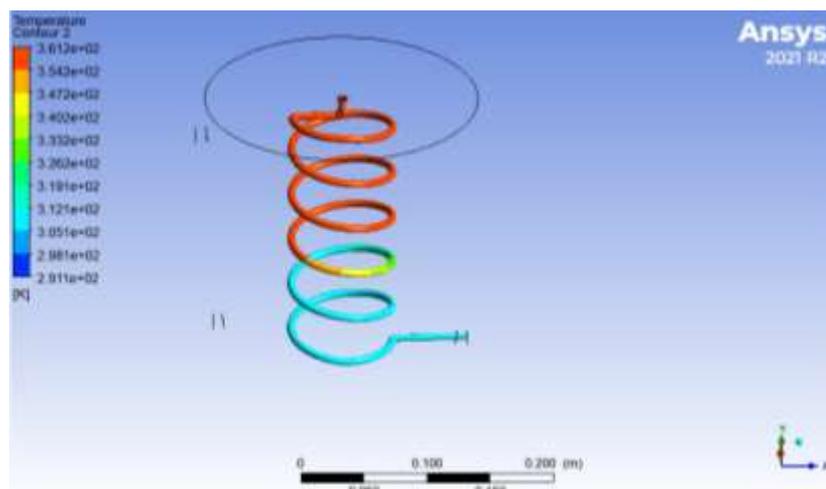
Se realiza el análisis de acuerdo con nuestras condiciones de operación. En la parte superior entra vapor saturado y sale por la parte inferior sale líquido a una temperatura determinada, del mismo modo en el contorno o alrededor del mismo se encuentra agua a una temperatura ambiente.



**Ilustración 3-33:** Temperatura del serpentín.

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

En la siguiente figura se muestra cómo se comporta en serpentín desde la parte superior dónde entra el vapor saturado y sale. Se determina que la temperatura de entrada del vapor saturado al serpentín es de  $361.2\text{ }^{\circ}\text{K} = 88.05^{\circ}\text{C}$  mientras que a la salida tenemos un valor de  $305,1^{\circ}\text{K} = 31.95\text{ }^{\circ}\text{C}$



**Ilustración 3-34:** Temperatura del serpentín en el proceso de enfriado

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

### **3.1.10. Sistema semiautomático**

Los sistemas semiautomáticos son comunes en una variedad de campos, como la industria manufacturera, la producción de alimentos, la robótica y la tecnología, donde se busca equilibrar la eficiencia de la automatización con la flexibilidad y adaptabilidad de la intervención humana

#### **3.1.10.1. Control de temperatura**

Elemento para la entrada de sonda para nuestro caso utilizamos una termocupla tipo J, controla el controlador de llama permitiendo su encendido y apagado.

Para el desarrollo de las pruebas de funcionamiento se ha visto la necesidad de implementar un sistema para la medición de las temperaturas en diferentes puntos del recipiente a presión.

Este sistema se va a encargar de medir las temperaturas en diferentes puntos que van desde el platillo separador hasta la tapa del recipiente a presión donde está la termocupla la cual se puede ajustar a cualquier medida.

Como se observa a continuación se ha soldado un tubo hueco de acero inoxidable con diferentes aberturas o agujeros a 10 cm de distancia a lo largo de sí misma con el fin de obtener datos más precisos o reales cuando el alambique esté en funcionamiento.



**Ilustración 3-35:** Sistema de medición de temperatura

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

**Tabla 3-20:** Mediciones de temperaturas en distintas alturas.

Medición	Distancia (cm)
1	10
2	20
3	30
4	40

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

*3.1.10.2. Relé de nivel.*

El funcionamiento está condicionando al nivel de agua que existe en el recipiente, en función de ese permite el accionamiento de equipo.

*3.1.10.3. Relé auxiliar RA1.*

Nos indica visualmente indicaría si hay agua o no hay agua

*3.1.10.4. Relé auxiliar RA2.*

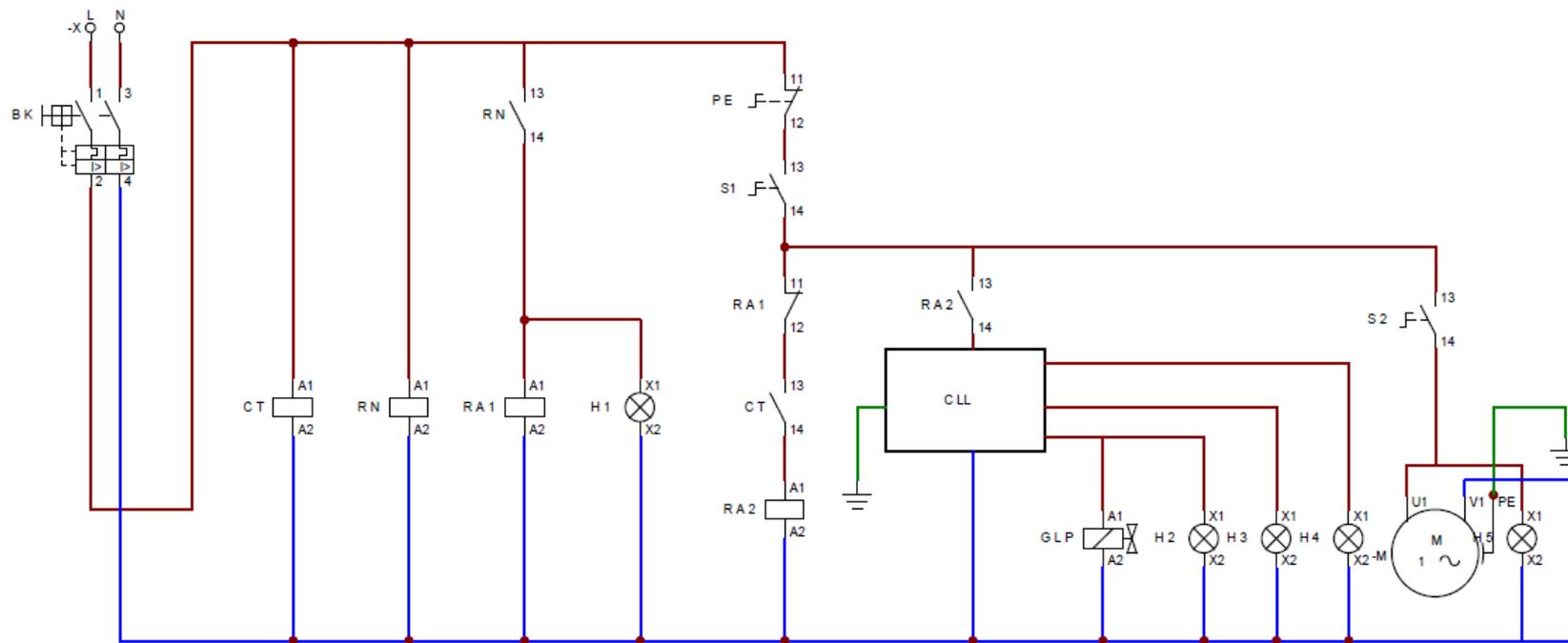
Prende o apaga el control de llama.

*3.1.10.5. Paro de emergencia PE.*

Impide el funcionamiento del controlador de llama y de la bomba de recirculación.

*3.1.10.6. Control de llama.*

Permite el accionamiento electroválvula para el paso del GLP. Además, consta de una salida para indicar que existe llama, otra para indicar que existe fallo y una última para indicar que se está generando la chispa.



**Ilustración 3-36:** Planos del sistema de automatización.

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

### 3.1.11. Construcción del alambique.

Es un proceso que implica la fabricación de un dispositivo utilizado para destilar líquidos, como aceites u otros productos químicos, separando componentes a través de la evaporación y condensación selectiva.

#### 3.1.11.1. Construcción de partes constitutivas.

Se realizará de forma sistemática para luego realizar su montaje y consiguientemente las pruebas de funcionamiento.

#### Máquinas y Herramientas utilizadas en el proceso de construcción.

Para la construcción del alambique se utilizó diferentes equipos, herramientas y accesorios los cuales nos permiten ir construyendo por partes el equipo como se detalla a continuación:

**Tabla 3-21:** Máquinas y herramientas utilizadas en el proceso de construcción

MH (máquina-herramienta)	Descripción
MH1	Soldadora de arco eléctrico
MH2	Soldadora TIC
MH3	Desarmadores
MH4	Amoladora
MH5	Envaroladora
MH6	Taladro
MH7	Esmeril
MH8	Pulidora
MH9	Entenalla
MH10	Arco de Sierra
MH11	Tijeras
MH12	Escariadores
MH13	Martillo
MH14	Alicate de presión
MH15	Flexómetro
MH16	Escuadra magnética
MH17	Llave de tubo
MH18	Destornillador
MH19	Compresor

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

### 3.1.11.2. Descripción del proceso de construcción del alambique.

El proceso de construcción se realizó de acuerdo con las normas establecidas por el ASME y por métodos de construcción.

#### **Recipiente a presión**

Para este primer elemento mecánico se empieza con la selección de la plancha de acero AISI 304 grado alimenticio de dimensiones 100x200 cm, se realiza el corte y obtenemos nuestra geometría final para el siguiente paso, del mismo modo para la tapa o cabezal se tiene una medida de 60x60 cm.

Una vez con nuestras planchas cortadas el siguiente paso es llevarlo hasta la engargoladora con el fin de darle la forma de un cilindro de diámetro y altura definidos, así mismo el cabezal se la lleva a una prensa hidráulica donde se tiene un molde predefinido, en este caso es un cabezal semi elíptico



**Ilustración 3-37:** Construcción del recipiente a presión.

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

Una vez obtenido el cilindro con dimensiones requeridas se procede a soldar con la soldadora TIG realizando el cordón de soldadura, con el aporte de tungsteno.



**Ilustración 3-38:** Sistema de cierre.

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

Para el asegurar el cierre de forma hermética entre la tapa y la olla se usa un empaque de grado alimenticio acompañado de un sistema de cierre por medio de vinchas y abrazaderas.



**Ilustración 3-39:** Empaques y binchas.

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

Posteriormente se procede a realizar las perforaciones en la tapa semi elíptica para instalar los instrumentos de medición de presión, temperatura y nivel.



**Ilustración 3-40:** Agujeros para los instrumentos de medición.

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

### **Rejilla interior**

Construidas las partes principales del extractor, se procede a realizar las perforaciones de una plancha circular de 45cm de diámetro para la entrada del vapor a la materia prima, la cual se encuentra a 12cm de altura medida desde la base de la olla.



**Ilustración 3-41:** Rejilla interior.

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

### **Columna**

Para la construcción de la columna se realiza el corte de dos planchas simétricas 30x40 cm el cual se le lleva a una prensa hidráulica en donde se obtiene la geometría mostrada a continuación, después se procede a soldar mediante la soldadura TIG para formar la columna.



**Ilustración 3-42:** Columna de evaporación.

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

### **Intercambiador de calor.**

Con la tubería de cobre se procede a doblar en forma de espiral para introducir en la carcasa del intercambiador para la condensación.



**Ilustración 3-43:** Intercambiador de calor.

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

### **Semi automatización del sistema**

Dentro de la caja plástica de petroquel se procede a montar los instrumentos como el Control Rex-C700, los indicadores, relés térmicos, breaker, control de paro, encendido, apagado, nivel, bomba. Una vez terminado el montaje de los elementos de control se procede anclar las canaletas para el cableado correspondiente, el sistema funcionara para una alimentación de 110 VAC.



**Ilustración 3-44:** Tablero de control.

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

### **Construcción de la estructura metálica**

Se procede a cortar los perfiles a 45 y 90 grados de medidas requeridas para realizar la mesa de la cocina en donde se realizará el montaje de la hornilla, el chispero y los conductos de gas.



**Ilustración 3-45:** Construcción de la mesa.

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

Con el mismo procedimiento se construye el pedestal desmontable para el tablero de control, finalmente se le da un fondo de color gris para consiguientemente aplicar la pintura color plata.



**Ilustración 3-46:** Estructura metálica.

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

Para la ergonomía de la estructura se planteó un diseño de construcción de piezas móviles que son de fácil montaje y desmontaje.



**Ilustración 3-47:** Piezas desmontables.

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

Se construye un aro para que funcione como seguro para que el recipiente a presión no se mueva durante las pruebas.



**Ilustración 3-48:** Aro de seguridad.

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

Procedemos a la adaptación de la hornilla a la una tubería que funciona como extensión que conecta al GLP.



**Ilustración 3-49:** adaptación de la hornilla del GLP.

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

Una vez terminado la adaptación de la hornilla, se procede a la instalación del chispero para lo cual se realiza el montaje de dos láminas de cerámica que funciona como aislante al momento de producirse el arco eléctrico para encender la llama.



**Ilustración 3-50:** Instalación del chispero

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

Para fabricar el contenedor de agua se utilizó acero galvanizado, el cual tendrá una capacidad de 100 litros para el sistema de enfriamiento, el recipiente consta de un sistema de drenaje en la parte inferior.



**Ilustración 3-51:** Recipiente de agua

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

### **Soporte para la destilación**

Se diseñó un acople desmontable en la mesa de la cocina en donde se monta el sistema de destilación que contiene al vaso de decantación.



**Ilustración 3-52:** Sistema de destilación.

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

### 3.2. Ensamblaje del sistema

Durante el proceso de ensamblaje, se utilizan accesorios para armar el sistema de extracción. Estos accesorios se describirán gradualmente a medida que avance el ensamblaje.

Se inicia con el armado de la estructura asegurando los pernos de esta, instalar el sistema de gas que alimenta a la electroválvula para la ignición de la hornilla.



**Ilustración 3-53:** Armado de la estructura.

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

Una vez asegurado la estructura se procede con el montaje del sistema del alambique, dentro del recipiente a presión se instala la rejilla inferior que separa el agua del producto botánico, posteriormente se pone el empaque de grado alimenticio entre la tapa y el recipiente a presión para su cierre hermético que será accionado por medio de las vinchas.

Para el montaje de la columna de evaporación de forma vertical, para la cual aseguraremos por medio de un empaque de grado alimenticio entre la tapa y la columna por medio de una abrazadera tri-clamp.



**Ilustración 3-54:** Abrazadera tri-clamp.

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

Finalmente unimos la columna con el intercambiador de calor de forma vertical. Además, se instala las mangueras de grado alimenticio, de entrada y salida del refrigerante con sus correspondientes abrazaderas en las boquillas, la bomba se instalará en el extremo inferior del tanque de almacenamiento de agua, el cual hará circular el fluido al condensador para la destilación del aceite esencial.



**Ilustración 3-55:** Bomba de agua sumergible

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

### ***3.2.1. Montaje de los elementos de control.***

Es una parte crítica del diseño y construcción de sistemas automatizados y de control, un montaje bien ejecutado garantiza la eficiencia, la seguridad y la confiabilidad del sistema en su conjunto.

#### *3.2.1.1. Termocupla.*

En una de las salidas de la tapa del recipiente a presión se enrosca un tee de acero inoxidable, en la salida vertical a la tapa se instala el sensor de temperatura.

#### *3.2.1.2. Manómetro.*

En el tee ya instalado se instala el manómetro en salida perpendicular al recipiente.

#### *3.2.1.3. Sensor de nivel.*

En el otro agujero se procede a enroscar el acople para ingresar el cableado correspondiente al sensor de nivel.

#### *3.2.1.4. Medidor de temperatura.*

Se instala en la columna un medidor analógico para visualización de la temperatura de vapor.

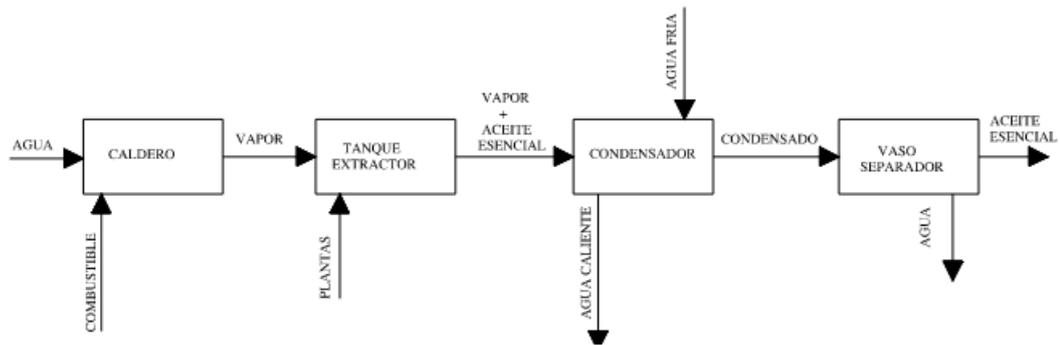
### **3.2.2. Montaje de los elementos de destilación**

#### *3.2.2.1. Vaso de decantación.*

Sobre una platina se enrosca la varilla de acero inoxidable, posteriormente se ajusta el brazo de soporte para el vaso de decantación a la altura de salida del intercambiador en donde sale el aceite esencial.

### **3.3. Pruebas de funcionamiento.**

Al llevar a cabo las pruebas de funcionamiento, es importante tener en cuenta el procedimiento de extracción de los aceites esenciales, el cual se encuentra detallado en el diagrama.



**Ilustración 3-56:** Diagrama de proceso para extracción de aceites esenciales.

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

Para iniciar la operación del conjunto, es necesario tener en cuenta diversos aspectos, como asegurarse de que los accesorios del equipo estén en óptimas condiciones y debidamente calibrados. Además, es importante contar con los componentes principales al alcance, como el gas, agua, energía eléctrica y la materia prima necesaria de eucalipto y ciprés.

### 3.3.1. *Desarrollo de las pruebas de funcionamiento.*

Ayuda a identificar problemas y garantizar que el sistema o producto cumpla con los estándares y requisitos establecidos, brindando confianza en su rendimiento y seguridad.

#### 3.3.1.1. *Preparación de la materia prima.*

Para introducir la materia prima en el extractor, es necesario comenzar seleccionando el tipo de planta y la parte de la planta que se utilizará para la destilación.

Una vez seleccionada una planta fresca y libre de impurezas, se procede a pesarla utilizando una balanza antes de colocarla en el extractor.

La disposición en el extractor debe ser compacta, asegurándose de acomodar el vegetal de la mejor manera posible para lograr un flujo de vapor uniforme. Esto permitirá arrastrar la mayor cantidad de aceite esencial. Para lograrlo, se utiliza una rejilla inferior.

#### 3.3.1.2. *Preparación del alambique.*

Iniciamos revisando que contamos con las respectivas fuentes de alimentación tanto del suministro electro para el table como para la fuente de ignición y que todos los elementos estén conectados respectivamente.

Para el proceso de pruebas de extracción de aceites esenciales comenzamos con la alimentación manual de agua dentro del recipiente a presión hasta la franja separadora en donde se monta la rejilla inferior, consiguientemente se procede a colocar la materia botánica en la parte superior. Los valores de agua y material botánico se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 3-22:** Condiciones de funcionamiento para la extracción del aceite esencial de eucalipto.

<b>Cantidad de agua (L)</b>	<b>Materia prima (Kg)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Aceite esencial (ml)</b>
3	1	50	15
6	2	80	20

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

Una vez puesta el material botánico en las proporciones especificadas anteriormente, procedemos a la revisión de los instrumentos que se encuentren colocados en su lugar correspondiente, para iniciar el proceso de extracción de aceite esencial.

Una vez realiza el proceso anterior procedemos a accionar el breaker para energizar el tablero de control, posteriormente saeteamos los parámetros de funcionamiento en control REX- C700 y procedemos a accionar el botón inicio.

Si el sistema no encuentra ninguna anomalía (el medidor de nivel no detecte agua, la bombona de gas este vacía) el sistema nos indicara fallos y las luces de advertencia se encenderán y el proceso no iniciara.

En caso de cualquier imprevisto externo el sistema consta de un paro de emergencia, el cual al accionarlo detiene todo proceso.

### **3.3.2. Condensación y separación**

Una vez iniciado el proceso esperamos que el agua yerba a la temperatura seteada, cambie su estado de líquido a gaseoso, el cual iniciará la extracción de aceites esenciales mediante el vapor que se va generando y pasando por la rejilla inferior atravesando la materia vegetal arrastrando el aceite esencial contenido en la planta.

La mezcla de vapor y aceites esenciales es conducida por la columna de evaporación conduciendo hacia el intercambiador de calor, en donde la mezcla se condensa por acción del refrigerante

(agua) y se conduce hasta el vaso de decantación, en el cual el aceite esencial se separa en dos fases de acuerdo con su densidad y se pueda extraer en sus respectivos recipientes.

Este proceso de extracción dura alrededor de 80 minutos, en el cual se logra extraer la mayor cantidad de aceite esencial contenido en la planta con lo que se logra el principal objetivo de la planta.

### 3.4. Análisis de costos

El cálculo de costos implicará examinar cómo el costo total de fabricación está relacionado y depende de los costos directos e indirectos que se generan durante el proceso de trabajo. Este análisis se llevará a cabo en tres etapas.

#### 3.4.1. Costos directos.

Los costos directos son aquellos gastos que necesariamente se deben incurrir para llevar a cabo el proyecto, es decir, son elementos indispensables durante su desarrollo. En el caso de productos o componentes mecánicos, se les hará referencia como el costo de los materiales adquiridos en estado bruto, los procesos de fabricación, los tratamientos superficiales, los suministros, entre otros.

Por lo tanto, será necesario analizar en detalle cada uno de los valores involucrados en este caso, centrándose en los siguientes aspectos:

- Costo de materiales: se refiere al precio de venta de la materia prima, que está determinado por el mercado local. Este costo se ve afectado por diversos factores, como criterios de producción, costos de fabricación, importación y distribución.

**Tabla 3-23:** Evaluación de los costos de los materiales a utilizar.

Cantidad	Descripción	Precio Unitario (\$)	Total (\$)
4	Plancha de acero inoxidable 304 grado alimenticio 1x2 m <sup>2</sup>	102,89	410,72
1	Tubería de cobre tipo K de 0,5 in (2m)	6,70	6,70
1	Manguera grado sanitario 304 (2m)	36,00	72,00
1	Codos de 90° PVC	1,00	1,00
1	Llave de plástico de bola de PVC	4,50	4,50
4	Pernos y tuercas AISI 1020 (montaje y desmontaje)	0,70	2,80

4	Arandelas AISI 1020	0,20	0,80
3	Empaques térmicos	4,00	12,00
1	Manómetro vertical de vapor	35,00	35,00
1	Tubería PVC de 1 in (1m)	0,50	0,50
2	Abrazaderas AISI 304	20,00	40,00
1	Unión PVC 1in	0,50	0,50
1	Teflón	3,00	6,00
2	Válvulas inoxidable 0,25 in	7,50	15,00
2	Unión 0,25 in	2,00	4,00
1	Bomba de agua de 0,5 hp	30,00	30,00
1	Igmitor de pulsos, electrodo y controlador para gas 110VAC	87,80	87,80
1	Válvula solenoide 2/2 NC 110VAC 1/2" 0-116PSI 91142	65,00	65,00
1	PT100 – Termoposo 10cm 300°C PT100-5-100-1/2NPTMAX5330	41,16	41,16
1	Detector nivel alto o bajo 8 pines 5ª 110VAC	16,17	16,17
1	Gabinete metálico liviano 40x30x20cm BEIGE	39,90	39,90
1	Caja plástica pretroquel 175x110x66mm (10ØPG16)	6,60	6,60
1	Material eléctrico	100,00	100,00
1	Termómetro analógico	40,00	40,00
1	Embudo de decantación	40,00	40,00
1	Soporte de decantación	40,00	40,00
1	Matraz de 50 ml	5,00	5,00
2	Perfil cuadrado 40x2 mm	26,50	53,00
2	Plancha de acero galvanizado 1x2m	60,00	120,00
1	Barrila solida de 1½ in (6m)	14,00	14,00
1	Angulo de 40x2 mm	15,00	15,00
3	Boquillas para entrada de gas de cobre 1in	3,50	10,50
1	Manguera de gas 3m	6,00	6,00
1	Válvula industrial de gas	10,00	10,00
1	Quemador industrial	22,00	22,00
4	Abrazaderas ½ in	0,50	2,00
1	Pintura color plata más la base	22,00	22,00
1	Thinner (3 litros)	1,50	4,50
Subtotal			1402,78

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

En última instancia, será importante resumir de manera más concisa todos los valores analizados en los puntos anteriores y adjuntar los costos de los suministros. Además, es necesario tener en cuenta que se aplicará un impuesto al valor agregado del 12% en la localidad.

### 3.4.2. Costos indirectos.

Estos costos forman parte de la estructura de costos para el desarrollo del proyecto en su conjunto.

**Tabla 3-24:** Costos indirectos.

Descripción	Costos (\$)
Diseño y construcción de alambique	400,00
Diseño armado e instalación sistema eléctrico	340,00
Diseño y construcción de la estructura del alambique	320,00
Transporte	150,00
Imprevistos	100,00
<b>TOTAL</b>	<b>1310,00</b>

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

### 3.4.3. Costos totales.

Son fundamentales para calcular el costo total de un proyecto, ya que estos costos están directamente relacionados con la generación de ingresos específicos.

**Tabla 3-25:** Costos totales.

Descripción	Costos (\$)
Costos directos	1402,78
Costos indirectos	1310,00
<b>TOTAL</b>	<b>2712,78</b>

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

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS

A continuación, se muestra los resultados de las pruebas realizadas para lo que corresponde a la extracción de aceites esenciales de eucalipto y ciprés, así como las respectivas pruebas para su validación

#### 4.1. Pruebas con eucalipto

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

##### 4.1.1. 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

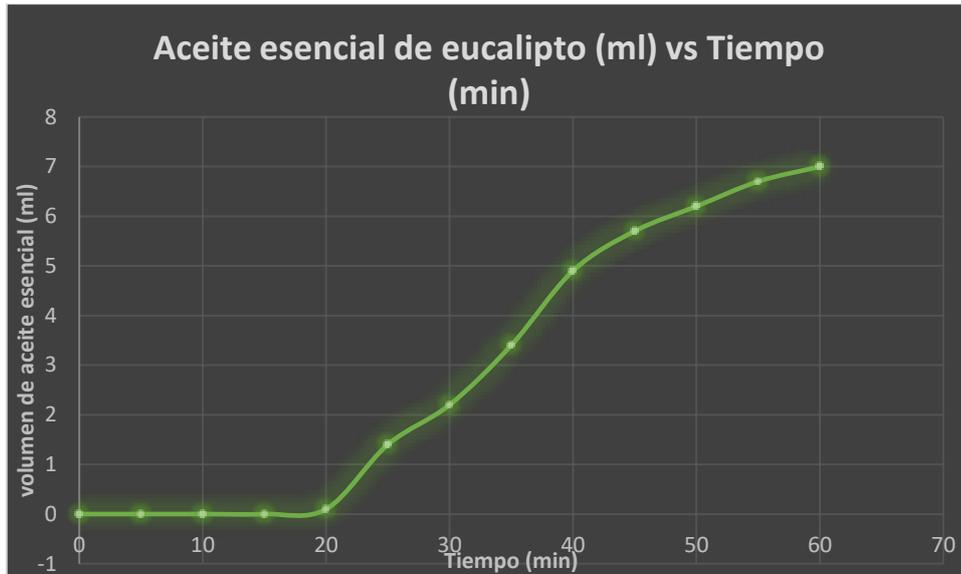
Temperatura del refrigerante: 18°C

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

**Tabla 4-1:** 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 4-1:** Gráfica de aceite esencial de eucalipto (ml) vs Tiempo (min)

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



**Ilustración 4-2:** 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 4-2:** 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

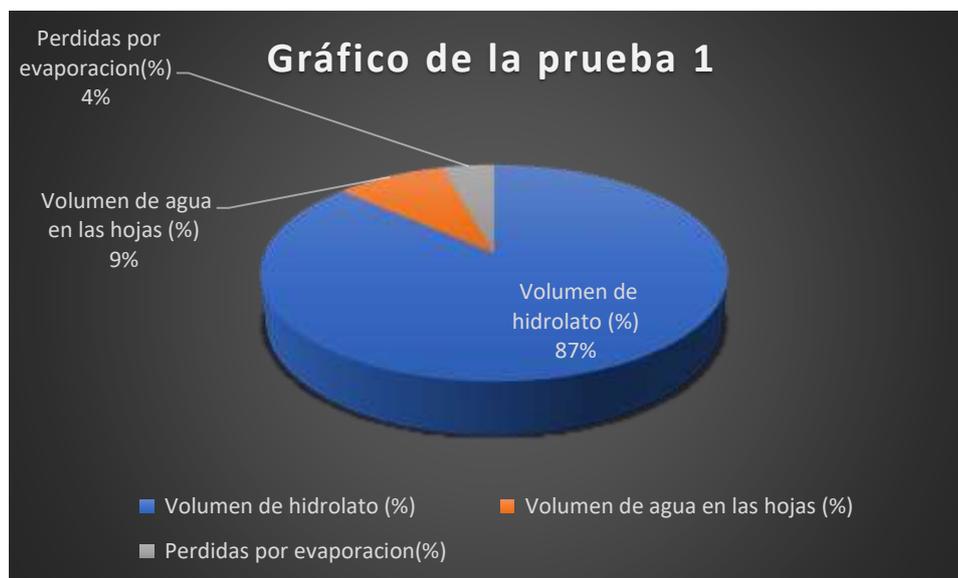
Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.

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

**Tabla 4-3:** Resultados en porcentaje del volumen de hidrolato, agua en las hojas y pérdidas 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 4-3:** Resultados en porcentaje de volumen del agua utilizado para la prueba 1

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

#### 4.1.2. 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 4-4:** 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 4-4:** Curva de extracción de aceite esencial de eucalipto para 2 Kg de materia prima.

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



**Ilustración 4-5:** 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 4-5:** 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

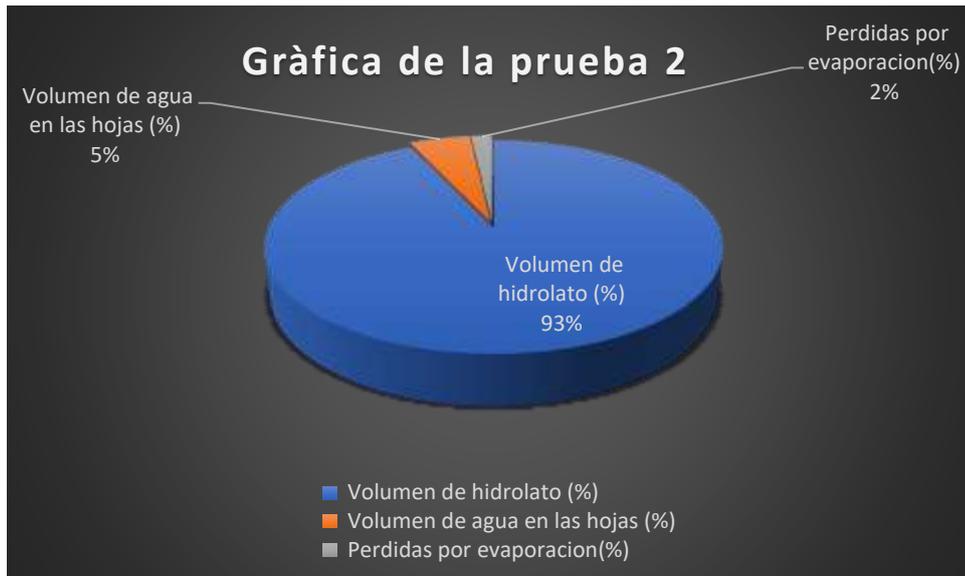
Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.

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

**Tabla 4-6:** 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 4-6:** Resultados en porcentaje de volumen del agua utilizado para la prueba 2

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

#### 4.1.3. 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.



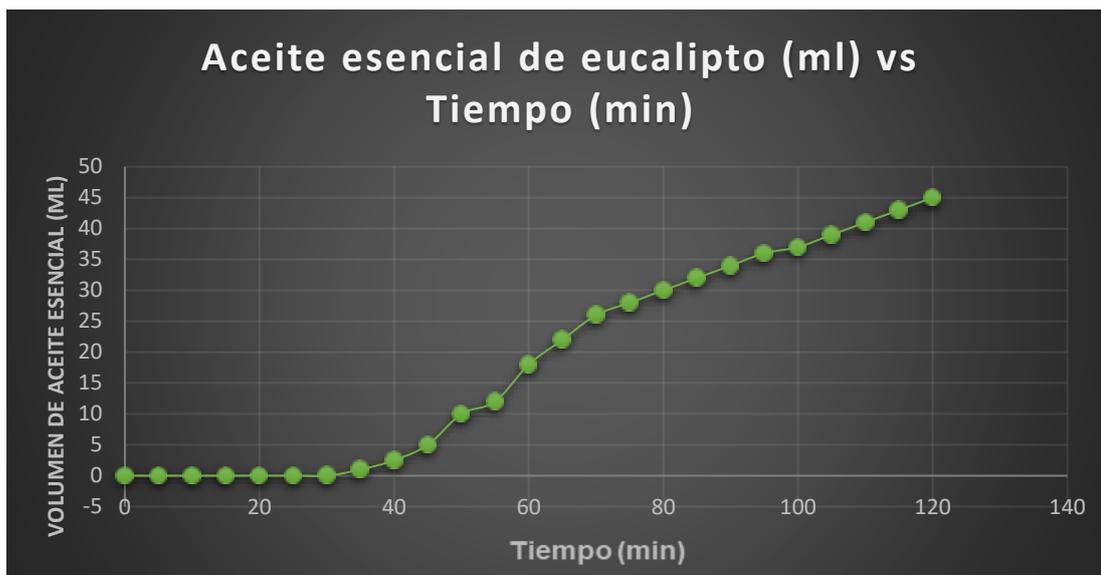
**Ilustración 4-7:** Resultado de la prueba 3

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

**Tabla 4-7:** 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 4-8:** 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 4-8:** 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

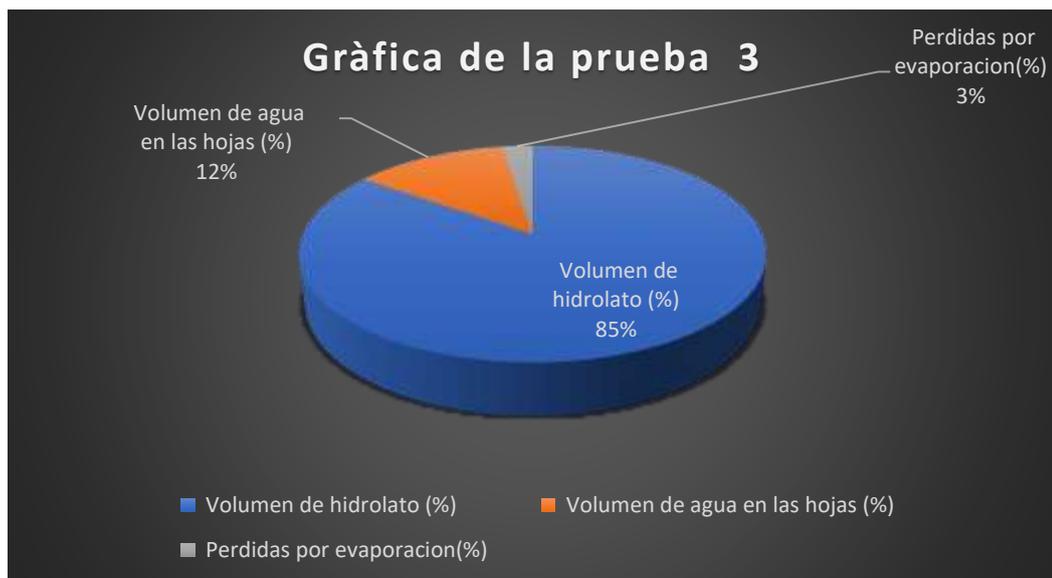
Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.

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

**Tabla 4-9:** Resultados en porcentaje del volumen de hidrolato, agua en las hojas y pérdidas 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 4-9:** Resultados en porcentaje de volumen del agua utilizado para la prueba 3.

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

## 4.2. Pruebas con ciprés

### 4.2.1. 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 4-10:** 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 4-10:** Curva de extracción de aceite de ciprés para 4 Kg de materia prima.

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



**Ilustración 4-11:** 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 4-11:** 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

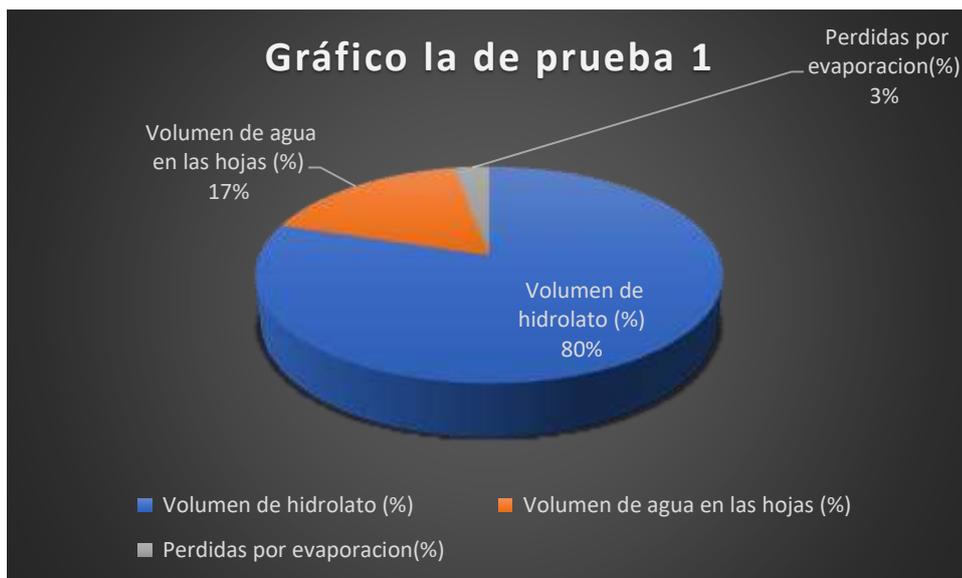
Realizado por: Atupaña. F.; Chiluiza. C. 2023.

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

**Tabla 4-12:** 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 4-12:** Curva de extracción de aceite de ciprés para 4 Kg de materia prima.

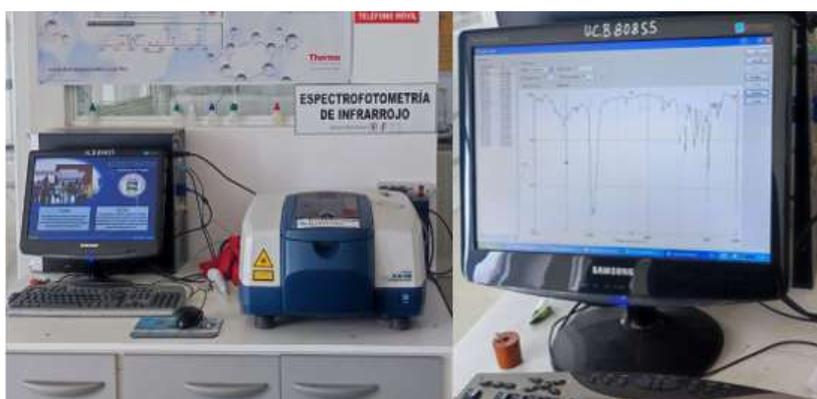
Realizado por: Atupaña. F.; Chiluíza. C. 2023.

### 4.3. 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.

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



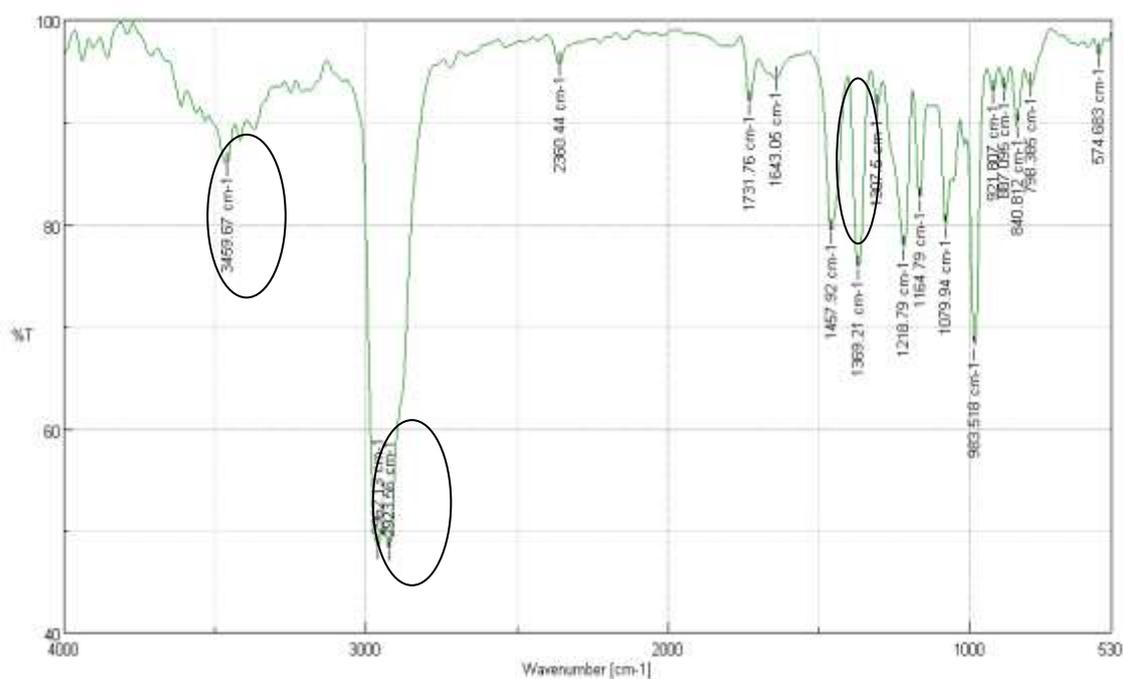
**Ilustración 4-13:** Pruebas del aceite esencial comercial Julguer.

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

**Tabla 4-13:** 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 4-14:** Espectroscopia infrarroja del aceite esencial de eucalipto comercial Julguer

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

## Análisis

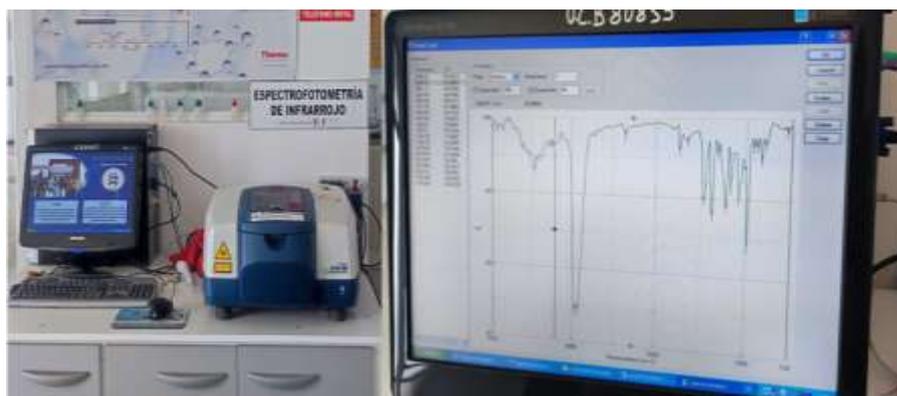
- Se detectó en primer pico representativo en el pico 3459.67  $\text{cm}^{-1}$  el cual no tiene una buena resolución y la presencia de pequeños picos alrededor de este puede llegar a indicar las vibraciones del enlace OH del agua.
- Los picos en la 2962,13 – 2923,56  $\text{cm}^{-1}$  aparecen por las bandas ligadas al estiramiento carbono e hidrogeno, se puede hablar de la presencia de los grupos metilos (CH3) y metilenos (CH2).
- 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 (C=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 (C=C)

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

**Tabla 4-14:** Resultados de los picos del aceite esencial de eucalipto obtenido

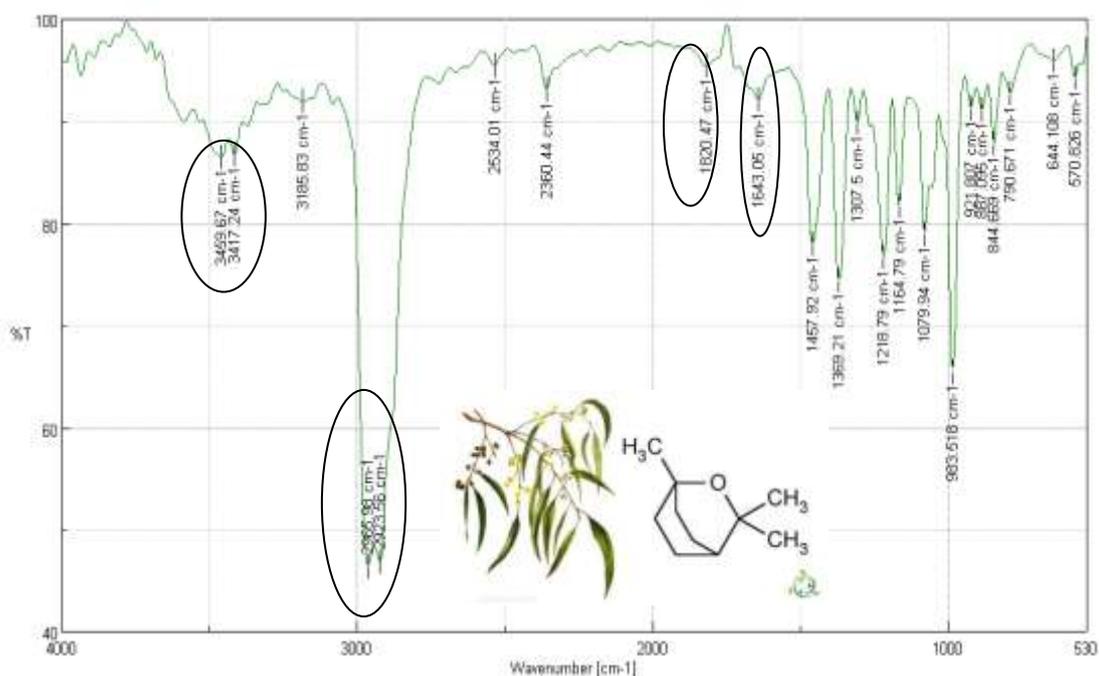
Wavennumber (cm-1)	% T
3459.67	864.242
3417.24	867.382
3185.83	919.205
2965.98	462.931
2923.56	46.779
2534.01	954.196
2360.44	930.718
1820.47	954.406
1643.05	920.587
1457.92	779.098
1369.21	743.972
1307.5	898.704
1218.79	766.859
1164.79	816.744
1079.94	789.194
983.518	654.329
921.807	913.036
887.095	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 4-15:** Pruebas del aceite esencial de eucalipto obtenido

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



**Ilustración 4-16:** 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 3459.67-3417.24 cm<sup>-1</sup>, 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 cm<sup>-1</sup>, 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.
- Picos en la región de los 2965.98-2923.56 cm<sup>-1</sup>, 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 1600-1660  $\text{cm}^{-1}$ , 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.

#### 4.3.3. 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.

##### 4.3.3.1. 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 4-17:** Pruebas de densidad.

Realizado por: Atupaña, F.; Chiluzza, 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 4-15:** 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.; Chiluíza. C. 2023.

#### 4.3.4. 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 4-18:** Prueba de pH del aceite de eucalipto.

Realizado por: Atupaña. F.; Chiluíza. 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. (Caderón 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 numero 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.

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

**Tabla 4-16:** Resultados de los picos del aceite esencial de ciprés comercial

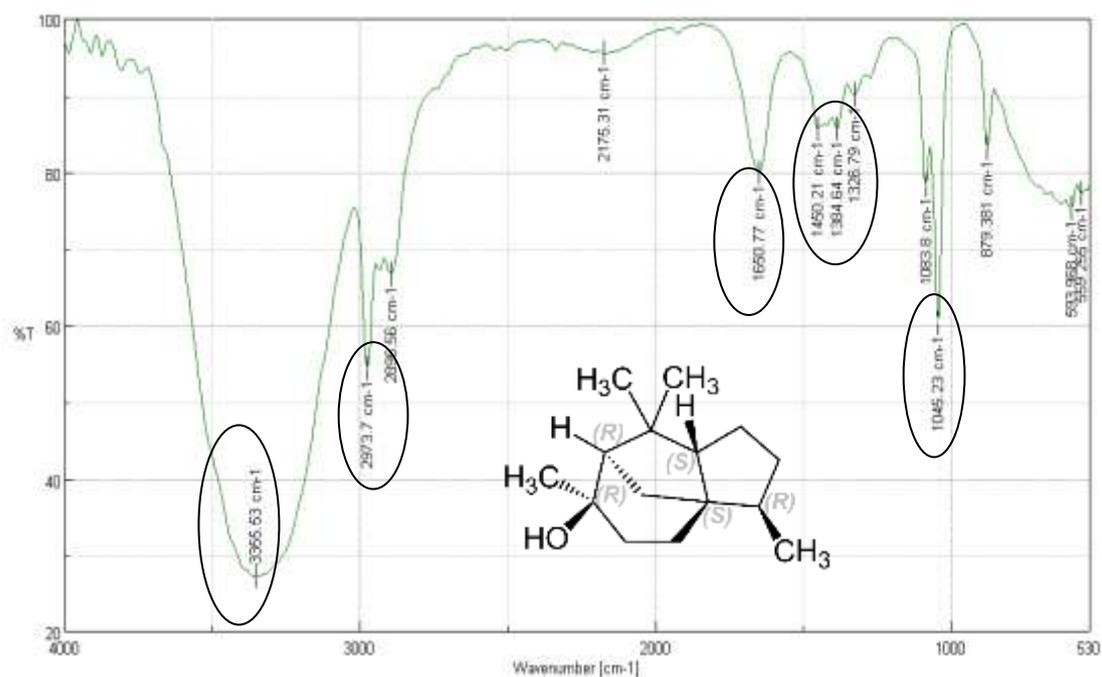
Wavenumber (cm-1)	% T
3355.53	271.946
2973.7	544.099
2896.56	666.816
2175.31	954.857
1650.77	798.458
1450.21	856.816
1384.64	856.714
1326.79	900.324
1083.8	783.137
1045.23	602.516
879.381	830.296
593.968	752.197
559.255	771.485

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



**Ilustración 4-19:** Pruebas del aceite esencial de ciprés comercial

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



**Ilustración 4-20:** 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  $3200\text{ cm}^{-1}$  exactamente en  $3355.53\text{ cm}^{-1}$  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  $2973.7\text{ cm}^{-1}$  que corresponde a bandas ligadas al enlace de estiramiento C-H.
- Otro pico representativo con buena resolución e intensidad en la región de los  $1650.77\text{ cm}^{-1}$  por la vibración de los enlaces C=C.

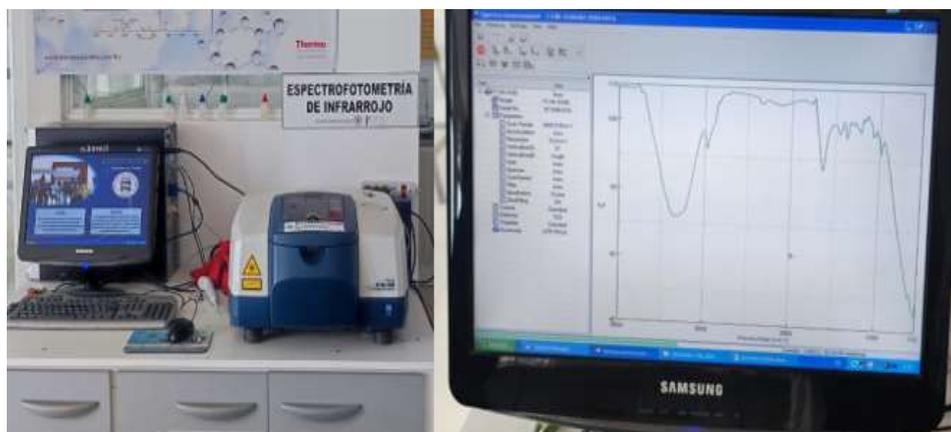
- El pico representativo para los ciclos alcanos aparece en la región de ellos 1450.21 a 1384.0764  $cm^{-1}$  con una banda de tensión C-H y banda de flexión C-H en tijera para los  $CH_2$
- En la región del los 1045.83 aparece la flexión de los  $CH_3$

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

**Tabla 4-17:** Resultados de los picos del aceite esencial de ciprés obtenido.

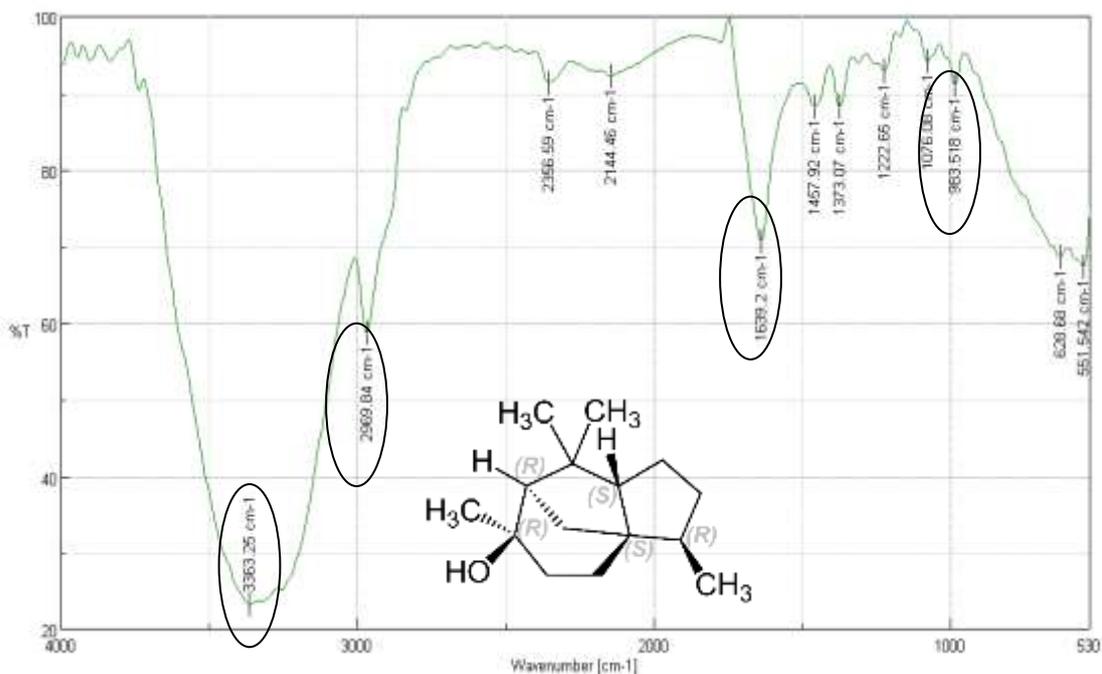
Wavenumber (cm-1)	% T
3363.25	231.627
2969.84	586.463
2356.59	912.571
2144.46	922.035
1639.2	705.838
1457.92	882.067
1373.07	881.524
1222.65	927.884
1076.08	940.527
983.518	911.279
628.68	685.468
551.542	67.34

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



**Ilustración 4-21:** Pruebas del aceite esencial de ciprés obtenido.

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



**Ilustración 4-22:** 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  $cm^{-1}$  exactamente en 3363.25  $cm^{-1}$  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  $cm^{-1}$  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  $cm^{-1}$  por la vibración de los enlaces C=C.
- El pico representativo para los ciclos alcanos aparece en la región d 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 del los 983.518 aparece la flexión de los  $CH_3$

## 4.4. Prueba físico-químico

### 4.4.1. Prueba de densidad

Datos del ciprés 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 4-18:** Información Físico - Químico del ciprés comercial

Información Físico - Químico del ciprés 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.

#### 4.4.2. 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 4-23:** 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

#### 4.5. 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 4-19:** Valores de temperatura en distintos puntos.

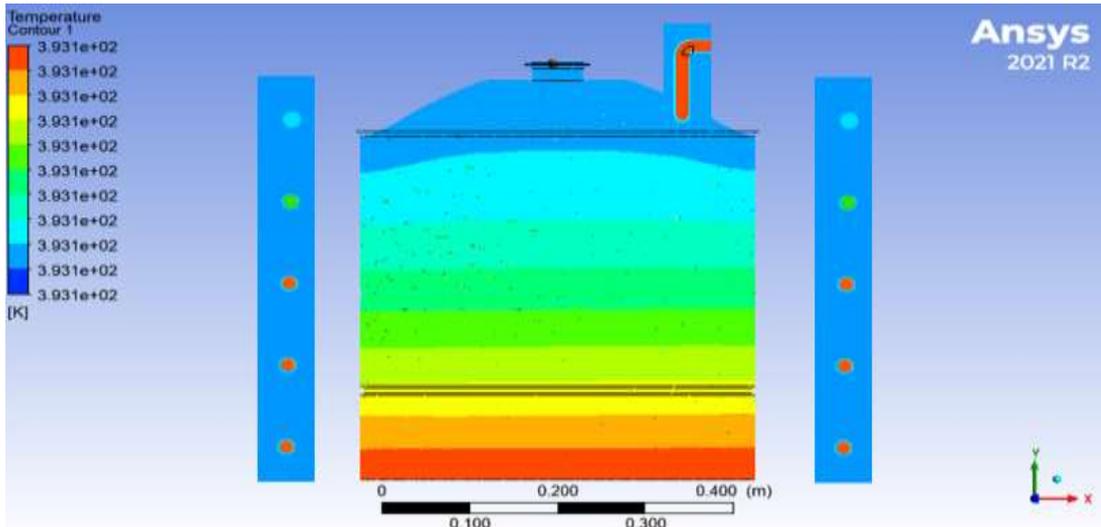
Medición	Distancia (cm)	Medida marcada por el controlador de temperatura(°C)
1	10	114
2	20	114
3	30	114
4	40	114

**Realizado por:** Atupaña. F.; Chiluzza. 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.

##### 4.5.1. 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 4-24:** 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.

#### 4.6. 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  $Kcal/Kg$

Entalpia del vapor a 114°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

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

Flujo masico evaporado:

$$m_v = \frac{7.428}{1.5} = 4.952 \text{ Kg/h}^2$$

Eficiencia.

$$e = \frac{E_s}{E_e} = \frac{m_v h_v}{m_{GLP} PCS_{GLP}}$$

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

$$e = 0.8167 * 100$$

$$e = 81.67\%$$

## CAPÍTULO IV

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. 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.

## 5.2. Recomendaciones

Para optimizar la eficiencia y la calidad en el proceso de extracción de aceites esenciales, se sugiere considerar las dimensiones del intercambiador de calor, así como el material de cobre utilizado como serpentín; se sugiere investigar nuevos materiales que ayuden a la mejora del proceso de enfriamiento.

Se recomienda emplear instrumentación precisa para las mediciones de temperatura y presión, calibrarlos regularmente, minimizar fuentes de error y seguir prácticas de medición estandarizadas para obtener resultados confiables y exactos.

Se aconseja emplear plantas frescas y de alta calidad como materia prima, con el propósito de asegurar la óptima obtención de aceites esenciales que destaquen por su excelencia en términos de calidad.

De acuerdo con la extracción del aceite esencial de ciprés, se recomienda que se aborde un nuevo tema de investigación para la separación de la sustancia apolares, ya que existe la complejidad para la obtención de estos productos por el método de decantación.

## BIBLIOGRAFÍA

**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

**ALVARADO, A.** Los Aceites esenciales se hacen en Ecuador. Obtenido de <https://www.ultimasnoticias.ec/vida-sana/aceites-esenciales-ecuador-vida-sana.html>

**ANSYS.** *Ansys 2020 R1*. Obtenido de ANSYS: <https://www.ansys.com/blog/ansys-2020-r1>

**ARCOSA.** *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2779: Bebidas alcohólicas*. Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria, Quito, Ecuador.

**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>

**ASME .** *ASME Boiler and Pressure Vessel Code*. Estados Unidos: Two Park Avenue.

**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.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2902>

**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>

**BUENO LARA, J. A.** *Programación en Lenguaje C de Microcontroladores de Control de Sistemas Electromagnéticos de Seguridad Gas [Tesis de Ingeniería, Universidad Pontificia Bolivariana]*. Repositorio Institucional, Bucaramanga. Obtenido de [https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/665/digital\\_18413.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/665/digital_18413.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**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)

**CENGEL, Y.** *Transferencia de Calor y Masa*. Mexico: Mc GrawHill. 2017

**CENGEL, Y., & BOLES, M.** *Transferencia De Calor Y Masa*. Mexico: McGraw-Hill.

**COBA CARRERA, R. L., & PANIMBOZA LABRE , G. K.** Diseño y construcción de un equipo de extracción por arrastre de vapor semiautomático para la obtención de aceite esencial de eucalipto [Tesis de ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Institucional, Riobamba, Chimborazo, Ecuador.

**CORDERO VINTIMILLA, D.** Diseño y Construcción de Alambique para la Obtención de Aguardiente a 60° y Alcohol Etilico 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>

**CSI SPAIN.** SAP 2000. Obtenido de CSI SPAIN: <https://www.csiespana.com/software-versions/2/sap2000>

**DÍAZ, D.** Análisis de la producción de aceites esenciales en el Ecuador. *Información Tecnológica*, 5, 19-28.

**EGGLESTON, S., BUENDIA, L., MIWA, K., NGARA, T., & TANABE, K.** Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero [Versión Pdf]. Obtenido de UNEP: <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg01027.pdf>

**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.

**FALCÓ ROJAS, A.** Obtenido de DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN CALIDAD (QFD) [Versión Pdf]: <https://web.cortland.edu/matresearch/qfd.pdf>

**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, Mexico. Obtenido de <https://comimsa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1022/190/1/MONO-ETSI-FLORES.RAMIREZ%20%281%29.pdf>

**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)

**GB ADVISORS.** Tech-Blog. Obtenido de gb advisors: <https://www.gb-advisors.com/es/automatizacion-de-procesos/>

**GOICOCHEA, M.** SCRIB. Obtenido de Tipos de Alambiques: <https://es.scribd.com/document/96898729/Tipos-de-Alambiques-Word>

**GÓMEZ-MEJÍA, E.** Avances en la extracción de aceites esenciales por destilación. *Revista mexicana de ingeniería química*, 15(2), 551-562.

**GUTIÉRREZ, M., & ITURRALDE, S.** *Fundamentos Básicos de Instrumentación y Control [Versión Pdf]*. Obtenido de Universidad Estatal Península de Santa Elena: <https://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Fundamentos+b%C3%A1sico+de+instrumentaci%C3%B3n+y+control.pdf/df746edc-8bd8-2191-2218-4acf36957671>

**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>

**LÓPEZ, C. J., JIMÉNEZ LÓPEZ, J., ORTEGA CEJAS, V., & PÉREZ BUSTAMANTE, J.** *Producción de aceites esenciales*.

**MCCORMAC, J., & CSERNAK, S.** *Diseño de Estructuras de Acero* (Vol. Quinta Edición). Mexico: Alfaomega. 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)

**MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO.** *Compuestos Orgánicos Volátiles*. Obtenido de [https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/act-emis/compuestos\\_organicos\\_volatiles.aspx](https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/act-emis/compuestos_organicos_volatiles.aspx)

**OMEGA.** *Manómetro de presión*. Obtenido de <https://es.omega.com/prodinfo/galgas-de-presion.html#:~:text=Un%20man%C3%B3metro%20de%20presi%C3%B3n%20es,estado%20en%20uso%20durante%20d%C3%A9cadas.>

**ONDARSE ÁLVAREZ, D.** *Destilación*. Obtenido de Concepto: <https://concepto.de/destilacion/>

**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>

**PAREDES PUNINA , D. O., & QUINATOA 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.

**RAMÍREZ, E.** *Alambiques: descripción y tipos.* Obtenido de TODOBODEGA: <http://www.alambiques.com/alambiques.htm>

**RIBA ROMEVA, C.** *Diseño concurrente.* Catalunya: upc@upc.es. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36754/9788498800746.pdf?sequence=1&i>

**SHENLIN, X.** *Controlador De Temperatura Rex-C100.* Obtenido de OmCH: <https://www.omch.co/es/rex-c100-temperature-controller/>

**SMITH, R.** *The history of chemistry. . New Holland Publishers.*

**SUÁREZ, M.** *Termocupla.* Obtenido de martersi: <https://www.mastersi.com.pe/mastersi/blog/69-que-es-una-termocupla>

**ZAMORANO , V.** *Diferentes Tipos De Alambiques.* Obtenido de Mi CMS: <http://gintonicpack.com/blog/diferentes-tipos-de-alambiques/>

## ANEXOS

### ANEXO A: MANUAL DE USUARIO

	<b>DESTILADOR DE ACEITES ESENCIALES</b>	
	DATOS TÉCNICOS – COMPONENTES PRINCIPALES	
	MANUAL DE USUARIO	

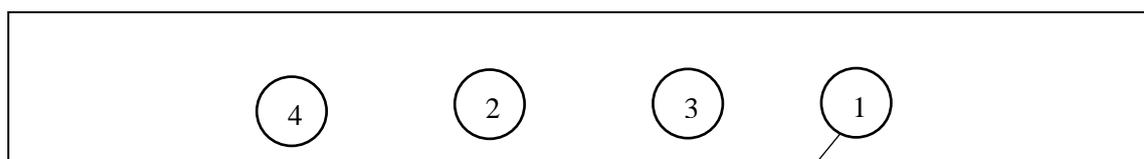
#	Nombre	Características o subelementos	Equipo
1	Termocupla	Se encarga de transformar la señal análoga de temperatura en una señal digital misma que pueda ser comprendida con el controlador. Modelo: Tipo K industrial Rango de temperatura: -40 a 375 °C Tolerancia: +-1.5 °C	

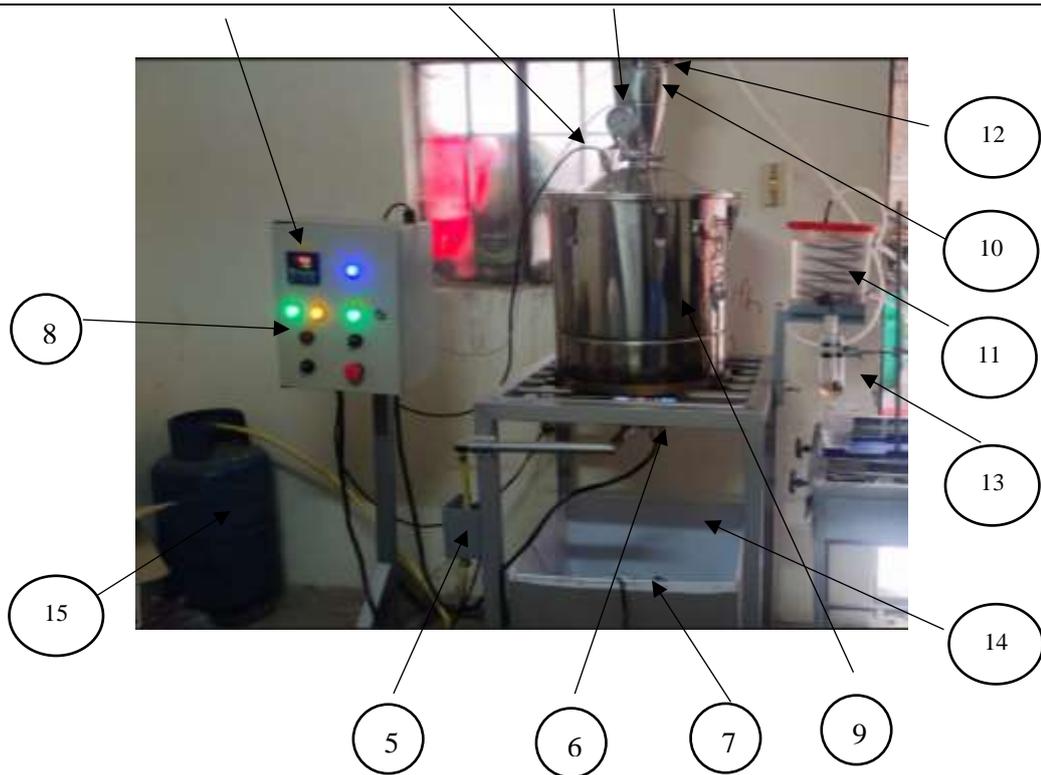
		Material: Cromo (+), Aluminio (-)	
2	Sensor de nivel	<p>Es un dispositivo que se encarga de convertir una señal de líquido.</p> <p>Se utiliza para controlar el nivel de agua en el recipiente.</p> <p>Modelo: Water supply C-AFR1 Camsco</p> <p>Voltaje: 110 V</p> <p>Dimensiones: 61x49x70 mm</p> <p>Tipo de enchufe: PS-08PF-083A</p> <p>Tiempo de respuesta: 80-160 milisegundos</p> <p>Cable: resistentes a altas temperaturas</p>	
3	Manómetro de vapor	<p>Se encarga de medir la presión interna del fluido (vapor) de forma análoga.</p> <p>Tiene una escala de 0 a 10 bar o de 0 a 150 psi.</p> <p>Material: Acero inoxidable</p> <p>Conexión: Roscada BCP</p> <p>Tipo: tubo bourbon</p> <p>Normativa: DIN 16005</p>	
4	Controlador de temperatura REX C-700	<p>Se utiliza para controlar la temperatura interna del recipiente que va conectado a una termocupla.</p> <p>Es un termostato industrial PID</p> <p>Dimensiones: 68 x 68 x 110 mm</p> <p>Voltaje: 110 v / 220 v</p> <p>Peso: 250 gramos</p>	
5	Electroválvula	<p>Se encarga de permitir el paso del GLP desde la bombona de gas hasta nuestra hornilla.</p> <p>Modelo: Tian Gong</p> <p>Voltaje: 110 v, 220 v</p> <p>Frecuencia: 50-60 Hz</p> <p>Diámetro de entrada y salida: 0,5 in</p> <p>Orificio: 16</p>	
6	Chispero	<p>Es un dispositivo para encender un quemador, está formado por 2 termopares y un común que generan 16000 voltios entre sus extremos.</p>	
7	Bomba sumergible	<p>Es un dispositivo encargado de suministrar agua desde un tanque de almacenamiento hasta el condensador con la finalidad de enfriar el vapor saturado y convertirlo en líquido.</p> <p>Modelo: AC-707</p>	

		<p>Voltaje: 110v – 120 V</p> <p>Hmax: 1.87 m</p> <p>Tmax: 40 °C</p> <p>Tipo: Sumergible</p>	
9	Botonera	<p>Son los distintos pulsadores que se encargan de realizar una acción dentro de nuestro circuito.</p> <p>Material: Aleación de latón</p>	
10	Recipiente a presión	<p>Es una caldera que se divide en 2 zonas, la inferior para el almacenamiento de agua y la superior para la ubicación de la materia prima a extraer.</p> <p>Material: Acero inoxidable AISI 304 grado alimenticio</p> <p>Capacidad: 70 litros</p>	
11	Columna de destilación	<p>Es un dispositivo de paso o transición del vapor saturado hacia el condensador o intercambiador de calor.</p> <p>Material: Acero inoxidable AISI 304 grado alimenticio</p> <p>Tipo de rosca: Métrica</p>	
12	Intercambiador de calor	<p>Es un dispositivo diseñado para transferir temperatura entre 2 fluidos, en este caso para enfriar en vapor saturado y convertirlo de nuevo en líquido.</p> <p>Material: Plástico</p> <p>Serpentín: Cobre</p> <p>Manguera: Plástico</p>	
13	Termómetro auxiliar	<p>Se encarga de medir la temperatura de entrada al intercambiador de calor, este se ubica en la columna de destilación.</p> <p>Material: Acero inoxidable</p> <p>Rango de medición: 0-150 °C</p> <p>Tolerancia: 1.5 °C</p>	
14	Sistema de destilación	<p>Es equipo el cual utiliza el método de decantación para separar el agua y el aceite mediante la diferencia de densidades.</p> <p>Material: base de acero inoxidable</p> <p>Vaso de decantación: vidrio</p> <p>Envases: vidrio oscuro</p>	

15	Recipiente de almacenamiento de agua	<p>Es un depósito que utiliza el agua como refrigerante para utilizarlo en el intercambiador de calor, en la cual se utiliza una bomba sumergible conectada a 2 mangueras para la succión y descarga de agua.</p> <p>Material: Acero</p> <p>Dimensiones: 1x1x1 m<sup>3</sup></p>	
16	Tanque de gas (GLP)	<p>Es el combustible o energía utilizado para destilar aceites esenciales.</p> <p>Utiliza una válvula y manguera industrial que se conectan directamente con la electroválvula.</p>	

#### REPRESENTACIÓN DE LAS PARTES DEL DESTILADOR DE ACEITES ESENCIALES

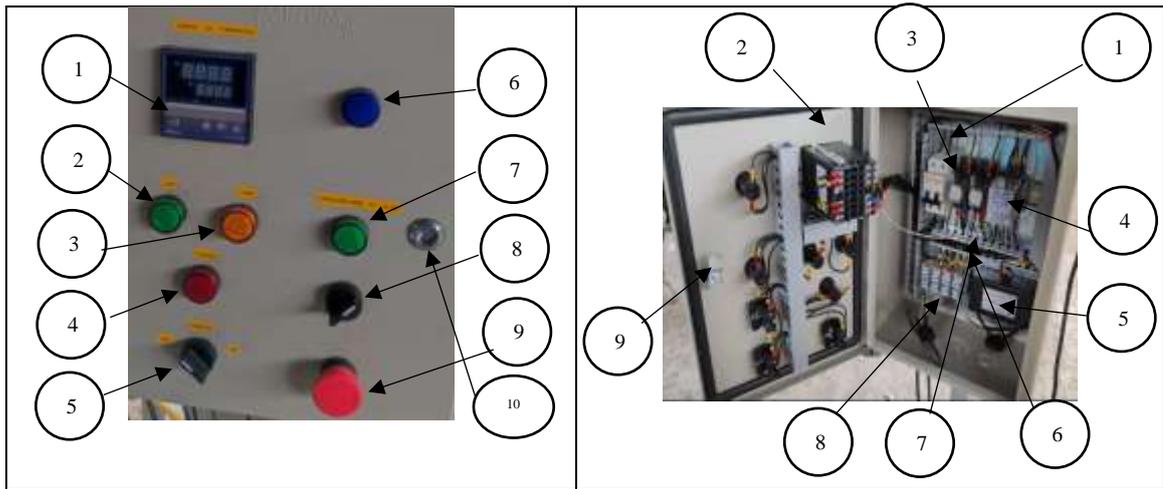




PARTES PRINCIPALES

<p>1.- Termocupla          2.-Sensor de nivel          3.-Manómetro de vapor          4.-Controlador de temperatura REX C-700          5.-Electroválvula          6.-Chispero          7.-Bomba sumergible          8.- Botonera</p>	<p>9.-Recipiente a presión          10.-Columna de destilación          11.-Intercambiador de calor          12.-Termómetro auxiliar          13.-Sistema de destilación          14.-Recipiente almacenamiento de agua          15.-Tanque de gas (GLP)</p>
--	--

TABLERO DE CONTROL	SISTEMA ELÉCTRICO
--------------------	-------------------



Partes Constitutivas

<p>1.- Pantalla digital de temperatura (controlador Rex C-700)</p> <p>2.- Luz piloto indicador de GLP</p> <p>3.- Luz piloto indicador de llama</p> <p>4.- Luz piloto de alarma que indica fallo en el sistema.</p> <p>5.- Perilla ON/OFF para encendido del tablero de control.</p> <p>6.- Luz piloto indicador de nivel de liquido</p> <p>7.- Luz piloto indicador de encendido-apagado del intercambiador de calor</p> <p>8.- Perilla ON/OFF del intercambiador de calor</p> <p>9.- Paro de emergencia</p> <p>10.- Seguro de la caja</p>	<p>1.- Breaker de 110 v ON/OFF encargado de energizar todo el panel de control</p> <p>2.- Controlador Rex C-700</p> <p>3.- Relés</p> <p>4.- Controlador del sensor de Nivel</p> <p>5.- Controlador del sistema de chispero</p> <p>6.- Canaletas</p> <p>7.- Cableado</p> <p>8.- Terminales de conexión finales</p> <p>9.- Seguro del tablero de control</p>
--	--

--	--	--

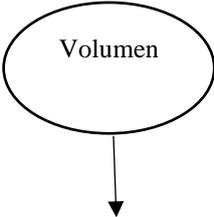
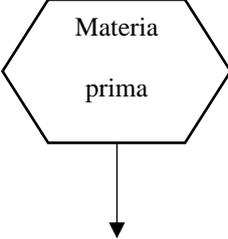
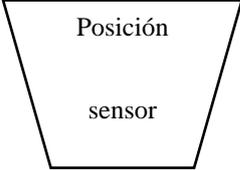
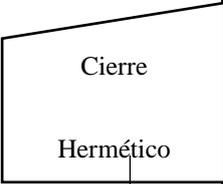


## DESTILADOR DE ACEITES ESENCIALES

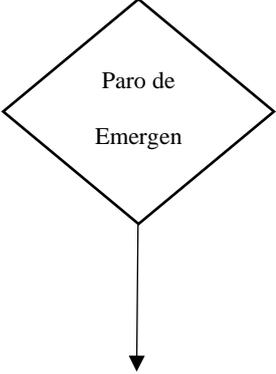
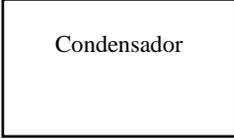
### DATOS TÉCNICOS – COMPONENTES PRINCIPALES



### Diagrama de Procesos

#	Proceso	Descripción
1	 	Colocar el volumen de agua determinado en el recipiente, luego ubicar el platillo separador para finalmente colocar la materia prima encima de éste.
2	 	Seleccionar la materia prima limpia de eucalipto o ciprés a temperatura ambiente, pesarla y colocarla encima del platillo separador, al mismo tiempo colocar el cable del sensor de nivel.
3	 	Verificar que el sensor de nivel este ubicado en el centro inferior del platillo separador llegando a la base del recipiente.
4	 	Colocar la tapa o cabezal, columna y condensador asegurándolos con las abrazaderas tri-clamp a lo largo de la misma.

5	 <div data-bbox="799 248 1023 421" style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> Suministro eléctrico, GLP y </div>	Conectar el suministro del GLP y el enchufe del tablero de control a 110 v de energía eléctrica. Así mismo verificar el almacenamiento de agua para el Condensador en la parte inferior y la bomba se encuentre sumergida.
6	 <div data-bbox="759 600 1007 1014" style="text-align: center;"> ↓  <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Pre-encendido</div> ↓ </div>	Abrir el tablero de control con la llave y alzar el breaker para energizar todo el sistema.
7	 <div data-bbox="751 1115 1007 1272" style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> Encender el equipo y definir la temperatura </div> <div data-bbox="884 1317 906 1462" style="text-align: center;"> ↓ </div>	Encender el equipo con la perilla de encendido y establecer la temperatura deseada en el control Rex C-700
8	 <div data-bbox="767 1592 1015 1749" style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 10px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> Observar cualquier anomalía </div> <div data-bbox="884 1749 906 1895" style="text-align: center;"> ↓ </div>	En el tablero de control se encienden las luces piloto de GLP (verde) y llama(tomate), si en cierto caso se prende la roja(alarma)que indica falla o anomalía se debe revisar el suministro de GLP y si están conectados los cables del chispero o limpiar la hornilla.

9			<p>En caso de haber anomalías graves (como fugas de gas) pulsar o aplastar el botón de emergencia y el proceso se detiene totalmente, caso contrario se continúa normalmente.</p>
10			<p>En caso de no haber anomalías, el proceso continúa y se espera el tiempo adecuado que va desde los 20 a 30 minutos para encender la bomba del intercambiador de calor</p>



## DESTILADOR DE ACEITES ESENCIALES



### DATOS TÉCNICOS – COMPONENTES PRINCIPALES MANUAL DE MANTENIMIENTO

Se detalla todos los componentes que necesitan mantenimiento y revisión periódica. Si existe anomalías en el alambique se detallan primero los componentes críticos luego los secundarios.

#	Nombre	Descripción	Equipo
1	<p>Electroválvula</p>  <p>Nota: como se mencionó en el manual de usuario antes de conectar el tablero de control al suministro eléctrico y encender el equipo debe estar conectada la manguera a la bombona de gas y abierta.</p>	<p>Es un dispositivo que permite el paso de GLP hacia la hornilla tiene una flecha marcada en la misma que indica el sentido de flujo, tiene una vida útil de 5 a 10 años, en caso de falla esta no permitirá el paso de GLP hacia la hornilla, se debe apagar el equipo y volver a encenderlo.</p> <p>En caso de presentar fugas, apagar el equipo y revisar las abrazaderas de conexión si es el caso reemplazarlas.</p> <p>Si se nota que no hay paso de GLP hacia la hornilla se debe reemplazar el equipo, por ello muy importante leer las instrucciones.</p>	 
2	<p>Chispero eléctrico</p>	<p>Es un dispositivo que se encarga de encender la flama en la hornilla. En caso de falla primero se debe revisar si los</p>	

		<p>cables se encuentran bien conectados a sus 3 pines.</p> <p>Revisar periódicamente si el aislante eléctrico está en buen estado, caso contrario reemplazarlo.</p> <p>Su controlador genera 16000 voltios por ello se debe utilizar guantes dieléctricos en caso de estar en operación, si no realizar cualquier cambio con el equipo apagado.</p>	
<p>3</p>	<p>Relé térmico 110 VAC Camsco (8 pines)</p> 	<p>Son los encargados de proteger nuestro sistema cuando exista una sobrecarga brusca de temperatura.</p> <p>Generalmente los relés fallan por: Sobrecalentamiento, parada de emergencia no funcional, Inactividad del sistema.</p> <p>En caso de falla al activar el breaker y el sistema no enciende, se los debe reemplazar.</p>	
<p>4</p>	<p>Sensor de Nivel Camsco Floatless Relay C-AFR-1</p> 	<p>Generalmente fallan por sobrecalentamiento y el nivel bajo de líquido que dan una señal errónea que daña el equipo.</p> <p>En caso de no encender la luz piloto color azul se debe retirar de su base y reemplazarlo.</p>	

5	<p>Limpieza del Alambique</p> 	<p>Una vez realizada una tandada se debe extraer la materia prima y el agua residual del recipiente, se la debe lavar con acción para un nuevo destilado, la columna y condensador no es necesario lavarlos por la presencia de instrumentos además se ha observado que no acumulan muchos residuos.</p>	
---	---	--	---

	<p><b>DESTILADOR DE ACEITES ESENCIALES</b></p> <hr/> <p>DATOS TÉCNICOS – COMPONENTES PRINCIPALES</p> <p>MANUAL DE SEGURIDAD</p>	
--	---	--

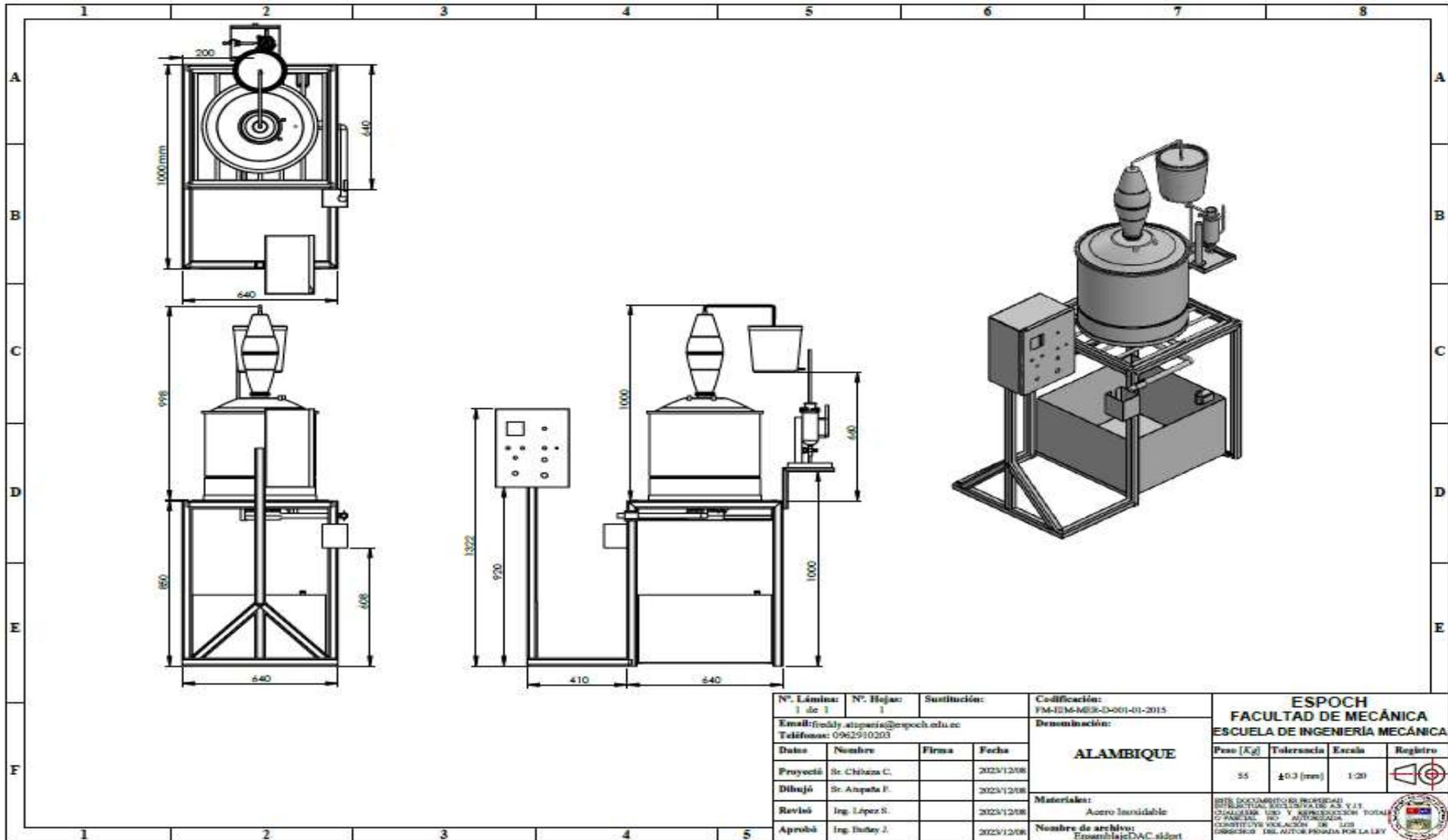
Se detalla puntos importantes que se tienen que tomar en cuenta en la utilización del equipo en operación y mantenimiento.

#	Nombre	Características o subelementos	Imagen
1	Equipo de protección personal	<p>Utilizar EPP en el proceso de destilación ya que se está expuesto a altas temperaturas y vapor de aceite esencial en el medio ambiente, se recomienda utilizar:</p> <p>Mandil</p> <p>Mascarilla</p> <p>Gafas transparentes</p> <p>Guantes de protección térmica</p>	
2	Fuente de alimentación eléctrica	<p>Verificar que el cable de alimentación a la toma de 110 v este bien conectado, además que no esté cerca de la flama que emite la hornilla o en contacto con el agua del tanque de alimentación.</p>	

3	Combustible GLP	<p>Verificar que el cilindro se encuentre a 1 metro de la caja de control, además que la válvula industrial este bien conectada a la bombona de gas, en caso de fugas utilice mascarilla para desconectar y conectar nuevamente verificando que no haya fugas.</p>	
4	Chispero eléctrico	<p>Antes de encender la perilla ON/OFF (arrancar el sistema) verificar si los cables de alimentación estén bien conectados a los 3 pines del sistema, ya que éstos al momento de encender generan 16000 voltios que están aislados de la estructura metálica con placas de asbesto (aislante eléctrico). Se recomienda usar guantes para conectar los cables a los pines.</p>	
5	Electroválvula	<p>En caso de realizar tareas de mantenimiento (reemplazar las abrazaderas, manguera o la misma electroválvula), por seguridad se la debe realizar en un ambiente abierto con todos los equipos desconectados.</p>	
7	Tablero de control	<p>Se debe tener precaución durante el proceso de destilado, la caja de control debe estar cerrada y con seguro, no se la debe abrir por ningún motivo ya que esta energizada y en contacto resulta perjudicial. Nota: si existe alguna falla o problema grave se recomienda pulsar el paro de</p>	

		emergencia el cuál apaga el equipo de inmediato y el proceso se detiene.	
8	Precaución a altas temperaturas	Se debe tener precaución durante el proceso de destilado, no se debe tocar el recipiente a presión, la columna de vapor e intercambiador de calor ya que están expuestas a altas temperaturas que producen quemaduras superficiales, de igual manera las mangueras de conexión y el tanque de almacenamiento.	
9	Sistema de destilación	Por seguridad no se debe mover el vaso de decantación durante el proceso ya que es de vidrio y al realizar movimientos bruscos puede fragilizarse y romperse.	

## ANEXO B: PLANOS DE UN ALAMBIQUE SEMIAUTOMÁTICO





epoch

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 08 / 01 / 2024

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Christian Omar Chiluiza Saquina Freddy Rodrigo Atupaña Bacuy
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Mecánica
<b>Carrera:</b> Mecánica
<b>Título a optar:</b> Ingeniero mecánico
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo 2164-DBRA-UPT-2023

