



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“DESARROLLO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE ACEITES
ESENCIALES”**

Diego Orlando Paredes Punina

Fabián Danilo Quinatoa Chicaiza

TESIS DE GRADO

PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

Riobamba – Ecuador

2010

EsPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Julio, 07 del 2010

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

DIEGO ORLANDO PAREDES PUNINA

Titulada:

**“DESARROLLO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE ACEITES
ESENCIALES”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Gilberto Zabala N.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Ramiro Valenzuela S.
ASESOR DE TESIS

EsPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Julio, 07 del 2010

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

FABIÁN DANILO QUINATO CHICAIZA

Titulada:

**“DESARROLLO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE ACEITES
ESENCIALES”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Gilberto Zabala
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Ramiro Valenzuela S.
ASESOR DE TESIS

Espoch

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: DIEGO ORLANDO PAREDES PUNINA

TÍTULO DE LA TESIS: “DESARROLLO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES”

Fecha de Examinación: Julio 07 del 2010.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. EDUARDO VÁSQUEZ.			
ING. GILBERTO ZABALA N.			
ING. RAMIRO VALENZUELA S.			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

EsPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: FABIÁN DANILO QUINATOA CHICAIZA

TÍTULO DE LA TESIS: “DESARROLLO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES”

Fecha de Examinación: Julio 07 del 2010.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. EDUARDO VÁSQUEZ.			
ING. GILBERTO ZABALA			
ING. RAMIRO VALENZUELA S.			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Diego Orlando Paredes Punina.

Fabián Danilo Quinatoa Chicaiza.

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento muy especial a las dos personas más importantes en mi vida, mis padres Gabriel Paredes y Orfelina Punina, quienes me enseñaron a luchar en la vida y a esforzarme hasta alcanzar mis objetivos, que a pesar de todas las adversidades, siempre estuvieron presentes para apoyarme en los momentos alegres de mi vida y aun mas en los momentos difíciles.

Además, un agradecimiento a mis hermanos, Fanny, Oswaldo, Aníbal, Wilson, Miriam y Milton, quienes siempre me dieron su apoyo moral y me impulsaron a seguir una carrera universitaria y a obtener una profesión, no puedo dejar de mencionar a Elizabeth, la madre de hijo Mateo, quien me dio una nueva visión de la vida, y me dio un propósito mas por alcanzar mis metas y sueños.

A la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por abrir las puertas para que personas deseosas de aprender puedan formarse una carrera que les será útil para desenvolverse en una sociedad cada vez más exigente.

Diego Paredes P.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por haberme dado la vida, a mis padres José Quinatoa y Fabiola Chicaiza que con su esfuerzo me han guiado por el camino del bien, por su apoyo inigualable y por la confianza que siempre depositaron en mi, a mis hermanas Paola y Tania que me acompañaron en los buenos y malos momentos de mi etapa universitaria y a toda mi familia que en cada momento me apoyaron moralmente.

También quiero agradecer a la ESPOCH por haberme dado la oportunidad de formarme profesionalmente con la ayuda de todos los docentes y amigos de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

Fabián D. Quinatoa Ch.

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada a mi padre Gabriel Paredes y en especial a mí querida madre Orfelina Punina, que aunque Dios la llamo a su paraíso antes de graduarme, siempre estará en mi corazón y mente, dándome su fortaleza y bendiciones. También a mi hijo Mateo, hermanos y demás familiares, que siempre me brindaron su apoyo, afecto y optimismo.

Del mismo modo quiero dedicarlo a mis grandes maestros, amigos y amigas con los que he tenido la suerte de encontrarme a lo largo de mi vida, especialmente aquellos que los hice en la etapa universitaria.

Diego Paredes P.

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mis queridos padres José Quinatoa y Fabiola Chicaiza, a mis hermanas y a todas las personas que confiaron en mis capacidades y que nunca me dieron las espaldas.

Fabián D. Quinatoa Ch.

SUMARIO

La presente tesis consiste en el diseño de un sistema de extracción de aceites esenciales, donde se investiga, propiedades, aplicaciones y análisis de los diferentes métodos de extracción, con el fin de seleccionar el más adecuado.

De acuerdo a la técnica que brinda mayores ventajas, se selecciona el método de extracción por arrastre con vapor, el mismo que consta de un generador de vapor pirotubular, el extractor, un intercambiador de doble tubo y el vaso separador, mismos que se seleccionan y diseñan con normas estandarizadas y conceptos de Ingeniería Mecánica, con lo cual se elabora los planos de construcción.

A continuación se construye cada uno de los elementos, para posteriormente ensamblar el sistema y realizar las respectivas pruebas de funcionamiento del equipo.

Se prueba el equipo con eucalipto, ciprés y menta, donde se obtiene el volumen de aceite extraído en función de la materia prima procesada. Para saber la calidad de los aceites extraídos se desarrolla la caracterización (índice de refracción, PH y densidad).

Finalmente se desarrolla el análisis económico del sistema con el objetivo de ver la rentabilidad del proyecto.

SUMMARY

The present work consists in designing a system of extraction of essential oils, for which properties, applications and analysis of the different extraction methods are researched in order to select the most appropriate method.

According to the method that provides major advantages, the extraction method is selected by steam that consists of a steam generator pirotubular extractor, a double tube heat exchanger and the separator vessel, which is designed with standardized rules and concepts of mechanical engineering, which the construction plans, is prepared.

Then each of the elements is constructed and later assembles the system and performs the respective tests of equipment operation.

Equipment is tested with eucalyptus, cypress and mint, where you get the volume of oil extracted in terms of raw material processed. To determine the quality of oil extracted a characterization is developed (refractive index, Ph and density)

Finally the economic analysis of the system is developed with the objective to see the project's profitability.



TABLA DE CONTENIDOS

<u>CAPÍTULO</u>	<u>PÁGINA</u>
1. INTRODUCCIÓN, JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Introducción	4
1.3 Justificación técnico económica	4
1.4 Objetivos	5
1.4.1 General	5
1.4.2 Específicos	6
 <u>CAPÍTULO</u>	
2. IDENTIFICACIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES.	
2.1 Definición.....	7
2.1.1 Aceite esencial	7
2.1.2 Material vegetal	8
2.1.2.1 Toronjil.....	8
2.1.2.2 Hierbabuena	8
2.1.2.3 Menta	9
2.1.2.4 Manzanilla	10
2.1.2.5 Eucalipto	11
2.1.2.6 Ciprés	12
2.2 Propiedades de algunos aceites esenciales	13
2.3 Aplicación de los aceites esenciales	16
2.4 Principales métodos de obtención de esencias vegetales	19
2.5 Características organolépticas de los aceites esenciales	20
2.6 Densidad de los aceites esenciales	22
2.7 Rendimiento de los aceites esenciales	22
2.8 Índice de refracción	23
2.9 Métodos de extracción	24
 <u>CAPÍTULO</u>	

3. ANÁLISIS DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE EXTRACCIÓN Y SELECCIÓN DEL MÁS ADECUADO.

3.1	Análisis de los diferentes métodos de extracción	25
3.1.1	Enfleurage	25
3.1.2	Extracción con solventes	26
3.1.3	Extracción por prensado	26
3.1.4	Extracción con fluidos supercríticos	27
3.1.5	Hidrodestilación	30
3.1.6	Extracción por arrastre con vapor	31
3.2	Ventajas	33
3.3	Desventajas	35
3.4	Selección del método de extracción de aceite esencial	37

CAPÍTULO

4. DISEÑO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN SELECCIONADO.

4.1	Elementos que componen el sistema	38
4.1.1	Caldero ó generador de vapor	38
4.1.1.1	Tipos de caldera	38
4.1.1.2	Elementos, términos y componentes de una caldera	39
4.1.2	Extractor	41
4.1.3	Condensador o intercambiador de calor	42
4.1.4	El vaso separador	43
4.1.5	El Recolector	43
4.1.6	Tuberías	44
4.2	Identificación de variables	45
4.2.1	Caldero ó generador de vapor	45
4.2.2	Extractor	45
4.2.3	Condensador	46
4.2.4	Vaso separador	47
5.3	Diseño de partes constitutivas	47
4.3.1	Diseño del sistema de extracción de aceite esencial	47
4.3.1.1	Diseño del extractor	49
4.3.1.2	Selección del generador de vapor	53
4.3.1.3	Diseño del intercambiador de calor de doble tubo	56
4.3.1.4	Selección de la bomba	73

4.4	Diseño de planos de construcción	80
4.5	Elaboración de una guía de laboratorio, para uso del equipo	81

CAPÍTULO

5. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

5.1	Construcción de partes constitutivas	84
5.1.1	Máquinas, herramientas y accesorios utilizados para la construcción del sistema	84
5.1.2	Descripción del proceso de construcción	85
5.1.2.1	Generador de vapor	85
5.1.2.2	Extractor	88
5.1.2.3	Condensador o intercambiador de calor	93
5.1.2.4	Soporte del condensador o intercambiador de calor	94
5.1.2.5	Soporte del vaso separador	95
5.1.2.6	Vaso separador	96
5.2	Ensamble del sistema	96
5.3	Pruebas de funcionamiento	99
5.3.1	Desarrollo de la las pruebas de funcionamiento	99
5.4	Caracterización de los aceites esenciales extraídos	125
5.4.1	Índice de refracción (η_d).....	125
5.4.2	PH	126
5.4.3	Densidad	128
5.4.3.1	Cálculo de la densidad	131
5.4.4	Rendimiento	134
5.5	Caracterización de aceites esenciales obtenidos del mercado	135

CAPÍTULO

6. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL SISTEMA.

6.1	Costos	139
6.1.1	Costos directos	139
6.1.1.1	Materiales y accesorios	139
6.1.1.2	Análisis de costos por maquinaria y equipos utilizados	144
6.1.1.3	Costos por mano de obra	144
6.1.1.4	Costos por transporte	144

6.1.2	Costos indirectos	145
6.1.3	Costos totales	146
6.1.4	Análisis de costos por operación y mantenimiento	146
6.1.5	Otros	147
6.1.6	Análisis del punto de equilibrio	153

CAPÍTULO

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1	Conclusiones	155
7.2	Recomendaciones	157

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 158

BIBLIOGRAFÍA.

LINKOGRAFÍA.

ANEXOS.

PLANOS.

LISTA DE TABLAS

TABLA		PÁGINA
2.1.	Algunos métodos de obtención de esencias vegetales.....	19
2.2.	Características organolépticas de los aceites esenciales.....	21
2.3.	Densidad de los aceites esenciales	22
2.4.	Rendimiento de los aceites esenciales	23
2.5.	Índice de refracción.....	24
3.1.	Ventajas de los métodos de extracción.....	33
3.2.	Desventajas de los métodos de extracción.....	35
4.1.	Pérdidas por accesorios en la succión.....	75
4.2.	Pérdidas por accesorios en la descarga.....	77
5.1.	Datos de la extracción de aceite esencial de eucalipto.....	110
5.2.	Datos de la extracción de aceite esencial de menta.....	117
5.3.	Datos de la extracción de aceite esencial de ciprés.....	123
5.4.	Datos del picnómetro con aceite esencial de eucalipto.....	131
5.5.	Caracterización de muestra de eucalipto	132
5.6.	Datos del picnómetro con aceite esencial de menta.....	132
5.7.	Caracterización de muestra de menta	133
5.8.	Datos del picnómetro con aceite esencial de ciprés.....	133
5.9	Caracterización de muestra del ciprés	134
5.10	Datos del picnómetro con aceite esencial de eucalipto (mercado)..	136

5.11.	Caracterización de muestra del eucalipto (mercado).....	137
5.12.	Datos del picnómetro con aceite esencial de menta.....	137
5.13.	Caracterización de muestra de menta (mercado).....	138
6.1.	Costos de materiales del generador de vapor.....	139
6.2.	Costos de materiales del extractor.....	141
6.3.	Costos de materiales del intercambiador de calor.....	142
6.4.	Costos de materiales del vaso separador.....	143
6.5.	Costo total por materiales.....	143
6.6.	Costos por maquinaria y equipos utilizados.....	144
6.7.	Costos por mano de obra	144
6.8.	Costos por transporte	145
6.9.	Valor total costos directos.....	145
6.10.	Costos indirectos.....	145
6.11.	Costos totales.....	146
6.12.	Costos por operación y mantenimiento.....	147
6.13.	Depreciación anual del sistema de extracción de aceites esenciales	150
6.14.	Producción mínima mensual.....	151
6.15.	Flujo de caja.....	151
6.16.	Costos fijos y costos variables de funcionamiento anuales.....	153

LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>	<u>PÁGINA</u>
2.1 Planta de toronjil	8
2.2. Planta de hierbabuena.	8
2.3. Planta de menta	9
2.4. Planta de manzanilla	10
2.5. Planta de eucaliptus	11
2.6. Planta de ciprés	12
3.1. Diagrama P-T.....	29
3.2. Diagrama equipo de extracción supercrítica.....	30
3.3. Diagrama planta; 1) hogar. 2) hervidor. 3) extractor. 4) condensador. 5) separador (florentino).....	32
4.1. Intercambiador de calor en contracorriente.....	56
4.2. Variación de temperatura en el condensador.....	59
5.1. Carcasa del generador de vapor.....	85
5.2. Cámara de combustión.....	86
5.3. Ensamble de piezas del generador de vapor.....	87
5.4. Entradas y salidas del generador de vapor.....	87
5.5. Generador de vapor.....	88
5.6. Bridas con pernos de ajuste del extractor.....	90
5.7. Brida de la tapa cónica	90
5.8. Tapa cónica.....	91

5.9.	Distribuidor de salida del vapor	91
5.10.	Tamiz.....	92
5.11.	Extractor.....	93
5.12..	Entrada de refrigerante (a), salida de refrigerante (b).....	94
5.13	Soporte del condensador	95
5.14.	Soporte del vaso separador	95
5.15.	Vaso separador.....	96
5.16.	Ensamble del sistema	98
5.17.	Proceso de extracción de los aceites esenciales	99
5.18.	Conexión de la bomba.....	100
5.19.	Medidor de nivel.....	100
5.20.	Válvula de seguridad y manómetro.....	101
5.21.	Quemador.....	101
5.22.	Manómetro.....	102
5.23.	Ensamble del tamiz sobre el distribuidor	103
5.24.	Colocación de la materia prima (eucalipto).....	103
5.25.	Ensamble de las mariposas en la tapa cónica	104
5.26.	Peso del eucalipto.....	105
5.27.	Hojas de eucalipto dentro del extractor.....	106
5.28.	Ajuste de pernos	106
5.29.	Ensamble del condensador	106

5.30.	Ensamble del vaso separador	107
5.31.	Aceite esencial de eucalipto en el vaso separador.....	107
5.32.	Diferencia entre el antes y el después de la extracción.....	108
5.33.	Purgado del agua aromatizada	109
5.34.	Curva de extracción del eucalipto	111
5.35.	Preparación de la menta.....	112
5.36	Menta picada para colocar en el extractor	113
5.37.	Ajuste de pernos	113
5.38	Ensamble condensador.....	113
5.39	Ensamble vaso separador.....	114
5.40.	Aceite esencial de menta en el vaso separador.....	114
5.41.	Diferencias, antes y después de la extracción.....	115
5.42.	Curva de extracción de la menta	118
5.43	Muestra de ciprés	119
5.44.	Colocación del ciprés en el extractor.....	120
5.45	Ajuste de pernos	120
5.46.	Ensamble del condensador	120
5.47.	Ensamble del vaso separador	121
5.48.	Aceite esencial de ciprés en el vaso separador.....	121
5.49.	Diferencias, antes y después de la extracción.....	122
5.50.	Curva de extracción del ciprés	124

5.51.	Refractómetro.....	126
5.52.	Peachímetro.....	127
5.53.	Lectura de la muestra	127
5.54.	Picnómetro.....	128
5.55.	Horno eléctrico.....	129
5.56.	Colocación de picnómetros en el desecador.....	129
5.57.	Balanza digital.....	130
5.58.	Muestras de aceites esenciales	130
5.59.	Muestras de menta y eucalipto del mercado	136
6.1.	Diagrama de evaluación financiera	151

LISTA DE ABREVIACIONES

RBD	Refinada, Blanqueada, Desodorizada
ASME	American Society of Mechanical Engineers
BHP	Boiler Horse Power
GLP	Gas Licuado de Petróleo
LMTD	Diferencia de Temperatura Media Logarítmica
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
U	Coefficiente Global de Transferencia de Calor

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO A: Tablas de vapor.
- ANEXO B: Dimensiones de tubos de acero.
- ANEXO C: Propiedades termo-físicas de agua saturada
- ANEXO D: Propiedades del agua (líquido saturado).
- ANEXO E: Coeficientes para pérdidas en accesorios y codos.
- ANEXO F: Rugosidad absoluta para diferentes materiales utilizados en la fabricación de tuberías.
- ANEXO G: Factores de fricción para cualquier tipo de tubería comercial
- ANEXO H: Velocidades de flujo recomendadas en sistemas de potencia de fluido.
- ANEXO I: Flujo de efectivo discreto: Factores de interés compuesto.

LISTA DE SÍMBOLOS

SÍMBOLO

D	[m]	Diámetro
r	[m]	Radio
h	[m]	Altura
η	[%]	Rendimiento
δ	[g/ml]	Densidad
m	[Kg]	Masa
v	[ml]	Volumen
P_{man}	[psig]	Presión manométrica
σ_y	[MPa]	Límite de fluencia
P_{trab}	[psig]	Presión de trabajo
$P_{diseño}$	$\left[\frac{Kg}{m^2} \right]$	Presión de diseño
t	[m]	Espesor mínimo
P	$\left[\frac{Kg}{m^2} \right]$	Presión interna de diseño
S	$\left[\frac{Kg}{m^2} \right]$	Esfuerzo disponible máximo del material
E		Eficiencia de la junta, para juntas soldadas
σ_r	$\left[\frac{Kg}{m^2} \right]$	Esfuerzo radial
σ_t	$\left[\frac{Kg}{m^2} \right]$	Esfuerzo tangencial
σ_L	$\left[\frac{Kg}{m^2} \right]$	Esfuerzo axial
σ_{eq}	$\left[\frac{Kg}{m^2} \right]$	Esfuerzo equivalente
n		Coefficiente de seguridad

Q_s	$\left[\frac{KJ}{h} \right]$	Calor sensible
\dot{m}	$\left[\frac{Kg}{h} \right]$	Flujo másico
C_p	$\left[\frac{KJ}{Kg^{\circ}C} \right]$	Calor específico
ΔT	$[^{\circ}C]$	Variación de temperatura
T_2	$[^{\circ}C]$	Temperatura de salida
T_1	$[^{\circ}C]$	Temperatura de entrada
P_{atm}	[psi]	Presión atmosférica
T_{sat}	$[^{\circ}C]$	Temperatura de saturación
Q_L	$\left[\frac{KJ}{h} \right]$	Calor latente
h_{fg}	$\left[\frac{KJ}{Kg} \right]$	Entalpía
Q_T	$\left[\frac{KJ}{h} \right]$	Calor total
$Q_{diseño}$	$\left[\frac{KJ}{h} \right]$	Calor de diseño
T_{ia}	$[^{\circ}C]$	Temperatura de ingreso del agua
T_{sa}	$[^{\circ}C]$	Temperatura de salida del agua
T_e	$[^{\circ}C]$	Temperatura de entrada del vapor
T_s	$[^{\circ}C]$	Temperatura de salida del vapor
m_v	$\left[\frac{Kg}{h} \right]$	Masa de vapor
m_a	$\left[\frac{Kg}{h} \right]$	Masa de agua
ϕ_i	[mm]	Diámetro interno
ϕ_{ext}	[mm]	Diámetro externo
A_i	$[m^2]$	Área interior
A_{ext}	$[m^2]$	Área exterior

h_i	$[W/m^2\text{°}K]$	Coefficiente convectivo, condensación en película
T_b	$[^{\circ}C]$	Temperatura promedio del fluido
T_f	$[^{\circ}C]$	Temperatura fílmica
T_w	$[^{\circ}C]$	Temperatura de pared
g	$[m/s^2]$	Gravedad
δ_L	$[Kg/m^3]$	Densidad del líquido
K_L	$[W/m\text{°}K]$	Conductividad térmica
μ_L	$[Ns/m^2]$	Viscosidad dinámica
C_{PL}	$[KJ/Kg\text{°}K]$	Calor específico
δ_V	$[Kg/m^3]$	Densidad del vapor
L	$[m]$	Longitud
h_e	$[W/m^2\text{°}K]$	Coefficiente convectivo por subenfriamiento
Pr		Número de Prandtl
Gr		Número de Grashof
Ra		Número de Rayleigh
Nu		Nusselt
L_c	$[m]$	Longitud característica
h_o	$[W/m^2\text{°}K]$	Coefficiente convectivo del agua
μ_s	$[Ns/m^2]$	Viscosidad dinámica a temperatura de pared
G	$[Kg/h]$	Flujo másico
D_e	$[m]$	Diámetro hidráulico
U_c	$[W/m^2\text{°}C]$	Coefficiente global de transferencia de calor por condensación.
U_e	$[W/m^2\text{°}C]$	Coefficiente global de transferencia de calor por subenfriamiento.

A_c	$[m^2]$	Área de transferencia de calor para condensación
A_e	$[m^2]$	Área de transferencia de calor para subenfriamiento
A_T	$[m^2]$	Área total
Q_{max}	$[lt/min]$	Caudal máximo
A_s	$[m^2]$	Área de succión
V_s	$[m/s]$	Velocidad de succión
D_s	$[m]$	Diámetro de succión
K_m		Pérdida por accesorio
A_d	$[m^2]$	Área de descarga
V_d	$[m/s]$	Velocidad de descarga
D_d	$[m]$	Diámetro de descarga

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN, JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Antecedentes.

El uso de los aromas y los aceites vegetales data de por lo menos 3500 años antes de Cristo y fueron utilizados sobre el cuerpo como elementos curativos, cicatrizantes, protectores de malos espíritus, y en los distintos rituales que se llevaban a cabo. Por ejemplo, era muy común que antes de una contienda los guerreros limpiaran y protegieran sus cuerpos de pequeños golpes, utilizando ramas de albahaca, con el fin de alejar los malos espíritus que creían que depositaban sus contrincantes en ellos.

Los egipcios, griegos, romanos y chinos han tenido una gran incidencia en el desarrollo de la aromaterapia en el mundo, y se han destacado grandes investigadores como Teofrasto, considerado uno de los precursores en el uso terapéutico de los aceites. En casi todos los antiguos cultos, desde el comienzo de los tiempos los seres humanos se han sentido atraídos por los fascinantes aromas de la naturaleza que, sabia como siempre, les ha indicado a través del olfato los benéficos aportes para la curación de enfermedades del cuerpo y del alma.

El hombre primitivo tuvo que desarrollar sus poderes sensorio-intuitivos para lograr la supervivencia. Es así como aparecen las hierbas, frutos y raíces comestibles, a los que muy pronto les descubren poderes medicinales y mágicos.

También advirtieron que algunos aromas causaban euforia o excitación, y otros podían inducirlos al sueño o a la meditación.

Se puede considerar a los egipcios como los descubridores de la aromaterapia, pues según Jean Valnet, utilizaron una forma primitiva de destilación para extraer los aceites esenciales de las plantas, calentándolos en ollas de arcilla cuya boca era recubierta con filtros de lino; al subir, el vapor traía consigo los aceites esenciales y éstos quedaban impregnados en el filtro, el cual era estrujado para obtener el aceite esencial que era utilizado en medicina y para todo tipo de rito religioso. Registros arqueológicos documentan haber encontrado ollas de destilación que se remontan a 3500 años a. C.

Los árabes, en el siglo XI, perfeccionaron el arte de la destilación para aislar los principios activos de los aceites de las plantas, método que se atribuye al famoso Avicena (médico, astrónomo, matemático y filósofo árabe), quien introdujo el sistema de refrigeración en el proceso de destilación. Esto hizo que el proceso de extracción de aceites esenciales tuviera menos desperdicios y mayor pureza.

La aromaterapia hace su inicio en el mundo moderno cuando, en el siglo XX, René Maurice Gatefosse (químico francés), llamado "el padre de la aromaterapia moderna", la incorpora a la medicina natural. También en la aromaterapia moderna, en Milán (Italia), el Dr. Paolo Rovesti aliviaba la depresión y estados de ansiedad haciendo oler a sus pacientes trocitos de algodón embebidos en aceite esencial, estimulando su sistema límbico y liberando así situaciones traumáticas.

El médico y cirujano Jean Valnet aportó la mayor contribución a la aromaterapia para ser valorada y reconocida como medicina capaz de curar. Utilizaba aceites esenciales para las heridas y quemaduras de los soldados en la Segunda Guerra Mundial, logrando con ello aliviar tanto problemas físicos como mentales en pocos días, corroborando así la rapidez con que actúan los aceites en el organismo.

En cuanto a la aromaterapia holística, es pionera la bioquímica francesa Margueritte Maury (austríaca de nacimiento), a quien no convencía suministrar los aceites por vía oral; y basándose en las distintas formas de incorporarlos al organismo, desarrolló una técnica de masaje aplicando aceite en los centros nerviosos de la columna vertebral y en el rostro.

Ella introdujo la proporción de la fórmula específica de los aceites en cada cliente que visitaba su gabinete para embellecerse y rejuvenecer; pudo comprobar así que en muchos de ellos habían desaparecido dolores crónicos de cabeza, dolores reumáticos y estados de insomnio, y que los efectos eran prolongados.

En 1962 y 1967, Margueritte Maury fue premiada internacionalmente por sus investigaciones sobre los aceites esenciales y la cosmetología al servicio de la salud [13].

1.2 Introducción

La extracción por arrastre de vapor de agua es uno de los principales procesos utilizados para la extracción de aceites esenciales.

Los aceites esenciales están constituidos químicamente por terpenoides (monoterpenos, sesquiterpenos, diterpenos, etc.) Y fenilpropanoides, compuestos que son volátiles y por lo tanto arrastrables por vapor de agua. Las esencias hallan aplicación en numerosísimas industrias, algunos ejemplos son los siguientes:

- Industria cosmética y farmacéutica: como perfumes, conservantes, saborizantes, principios activos, etc.
- Industrias alimenticias y derivadas: como saborizantes para todo tipo de bebidas, helados, galletitas, golosinas, productos lácteos, etc.
- Industria de productos de limpieza: como fragancias para jabones, detergentes, desinfectantes, productos de uso hospitalario, etc.
- Industria de plaguicidas: como agentes pulverizantes, atrayentes y repelentes de insectos, etc. [14].

1.3 Justificación técnico económica

La iniciativa de realizar un extractor de aceites esenciales nace de la necesidad de ampliar los conocimientos adquiridos durante la carrera, utilizando para ello los principios básicos de la Energía, así como los demás conocimientos de la Ingeniería Mecánica.

Esta idea surge además, del hecho de que en la sociedad actual, el uso de este tipo de aceites esenciales aromatizantes, se han convertido en más que una vanidad, una necesidad de desarrollar ambientes agradables, obteniendo condiciones de confort adecuadas para un mejor desempeño de las actividades diarias.

Otra de las razones para desarrollar este sistema es por la ubicación geográfica en que se halla el Ecuador, la cual brinda la facilidad de adquirir materias primas como manzanilla, eucalipto, cedrón, pino, ciprés, menta, romero, naranja, rosas, etc., necesarias para obtener diferentes tipos de aceites esenciales.

Además el desarrollo de este sistema va enfocado a obtener aceites esenciales a un menor costo, debido a que los precios de este tipo de productos en el mercado nacional tienen un costo elevado.

Finalmente con este proyecto de tesis se pretende desarrollar una Microempresa, y dejar de ser aspirantes a un trabajo burocrático.

1.4 Objetivos:

1.4.1 General:

- Desarrollar un sistema para extraer aceites esenciales.

1.4.2 Específicos:

- Identificar los diferentes métodos de extracción de aceites esenciales.
- Analizar los diferentes métodos de extracción y seleccionar el más adecuado.
- Diseñar el sistema de extracción seleccionado.
- Construir el sistema y probar su funcionamiento.
- Realizar el análisis económico del sistema.

CAPÍTULO II

2. IDENTIFICACIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES.

2.1 Definición.

2.1.1 Aceite Esencial.

El aceite esencial es una mezcla de componentes volátiles, producto del metabolismo secundario de las plantas. Se forman en las partes verdes del vegetal y al crecer la planta son transportadas a otros tejidos, en concreto a los brotes en flor [15].

Estos aceites esenciales nos brindan inspiración y motivación para vivir. Los aceites esenciales ionizan nuestro aire y mejoran nuestro medio ambiente. Armonizan, equilibran y purifican generando una atmósfera clara y fresca. Sus aromas son vigorizantes tanto para el cuerpo como para la mente, complacen los sentidos y nos traen en contacto con la naturaleza, no solamente nos traen salud, belleza y un aroma delicioso, sino también regulan y regeneran el balance de nuestras funciones mentales y orgánicas, renovando, recuperando y manteniendo nuestra salud espiritual, física y mental.

Es uno de los ingredientes básicos en la industria de los perfumes, alimenticia y en medicina [16].

2.1.2 Material Vegetal

8.1.2.1. Toronjil. (*Melissa officinalis* L.)



Figura 2.1. Planta de toronjil

Familia: Labiatae.

Nombres comunes: Toronjil, melisa, cedrón, limonera.

Procedente del Mediterráneo, ésta planta es vivaz y fragante, de la misma familia de las mentas; alcanza los 30 cm a 70 cm de altura. Su tallo es vertical, cuadrado, ramificado, con hojas opuestas, pecioladas, rugosas, ásperas, cubiertas de una fina pelusilla; sus flores labiadas son de color amarillento o muy blanco dispuestas en las axilas de las hojas superiores; florecen entre julio y agosto [17].

8.1.2.2. Hierbabuena. (*Mentha Sativa* L.)



Figura 2.2. Planta de hierbabuena.

Sinónimos: *Mentha aquatica* L, *Mentha spicata*, *Mentha arvensis* var. *Piperascens* Mal.

Familia: Labiatae.

Nombres comunes: Hierbabuena, menta, yerbabuena.

Originaria de Europa; desde la antigüedad se conocen sus propiedades farmacológicas y como especia.

Esta hierba es frondosa, vivaz, con tallos de aproximadamente 50 cm de alto, hojas ovaladas y lanceoladas, aserradas en los bordes, vellosas y muy aromáticas. Sus flores son pequeñas, en espigas, de color púrpura; toda la planta expele un agradable y suave olor característico. Puede confundirse con la *Mentha piperita*, pero ésta se caracteriza por tener más mentol, lo que le da un sabor y olor más fuertes.

8.1.2.3. **Menta** (*Mentha piperita* L.)



Figura 2.3. Planta de menta.

Sinónimos: M. piperita Skoker, M. viridis L.

Familia: Labiatae.

Nombres comunes: menta, hierbabuena, hierbabuena.

Originaria de Europa, esta planta es perenne (anual), producto de una hibridación hecha en Inglaterra, en 1966, por lo que sólo se encuentra cultivada, nunca silvestre. Alcanzada de 30 cm a 60 cm de altura; posee estolones largos; los tallos son largos, rojizos o morados, cuadrados, inicialmente sencillos y luego ramificados; las hojas son oblongas u oblongo lanceoladas, alargadas y dentadas o aserradas. Sus flores son pequeñas, dispuestas en espigas, de color lila o púrpura, aunque rara vez florece en el trópico, quizá por efecto de la poda, el clima o la forma de recolección [18].

8.1.2.4. **Manzanilla** (*Matricaria chamomilla* L.)



Figura 2.4. Planta de manzanilla.

Sinónimos: Chamaemelum nobile (mácela glabra, larrambrillo, manzanilla buena, manzanilla doble, manzanilla fina, manzanilla de París); Anthemis nobilis (manzanilla romana).

Familia: Compositae.

Nombres comunes: manzanilla, camomilla, manzanilla común, manzanilla de Aragón, manzanilla dulce, manzanilla inglesa, manzanilla húngara.

Es una hierba anual, originaria de Europa y Asia, es posible encontrarla silvestre, de color verde y olor característico. Su tallo mide de 25 cm a 50 cm y es delgado, con muchas ramificaciones laterales; las hojas son bilobuladas o trilobuladas, alargadas, plumosas y muy finas; sus flores, que florecen de mayo a junio, son pequeñas, de pétalos blancos, centro amarillo y tallo hueco; aisladas, dispuestas en los extremos ramificados de la planta [19].

8.1.2.5. Eucalipto



Figura 2.5. Planta de eucaliptus

Familia: Mirtáceas

Árbol verde todo el año que puede superar los 100 m de altura, tronco liso y de color ceniciento, con tallo grueso y ramas potentes. Hoja perenne y con formas diferentes según la edad del árbol, cuya corteza al envejecer se desprende en grandes tiras longitudinales y en placas. Flores grandes y solitarias o en grupos de 2 o 3, recubiertas de una capa cerosa y de consistencia leñosa. El fruto es algo mayor

que la flor, leñoso, plano por un lado y puede abrirse por 4 o 5 dientes. Las hojas, los tallos y las flores saben a esencia, y recuerdan el arrayán, que pertenece a la misma familia. Florece en otoño e invierno. Crece mejor con agua abundante, en terrenos húmedos y pantanosos, y en suelos silíceos, y soporta mal el frío invernal [20].

Partes utilizadas: Las hojas adultas y los frutos, y el carbón de su madera.

Propiedades: El aceite esencial, en uso interno o por inhalación, tiene una importante acción antiséptica de las vías respiratorias y es una de las plantas más efectivas para las afecciones bronquiales y pulmonares. Antihelmíntico y astringente, desodorante, balsámico y broncodilatador, expectorante y febrífugo, hipoglucemiante, mucolítico y sudorífico. En uso externo es antiinflamatorio, antiséptico y cicatrizante [21].

8.1.2.6. Ciprés



Figura 2.6. Planta de ciprés.

Familia: Cupresáceas; **clase:** Coníferas

El ciprés, nombre común del género Cupressus, es un árbol de zonas cálidas o templadas, de crecimiento rápido, que puede alcanzar los 20 m de altura con un diámetro aproximado de unos 60 cm.

Es una conífera de hojas perennes, de la familia de las Cupresáceas y pertenece al grupo de las gimnospermas.

De forma piramidal, su crecimiento es rápido en los primeros años de vida, ralentizándose después y pudiendo alcanzar los 300 años de vida. Posee un tronco recto y de corteza delgada en la que se forman fisuras longitudinales. Las hojas son muy pequeñas (2-6 mm de longitud) con forma de escama, alineadas en parejas opuestas y decusadas. Florece a finales del invierno y en un mismo ejemplar se producen flores masculinas y femeninas; las masculinas forman conos ovales de color verdoso que cuelgan de las puntas de las ramas. Los femeninos son ligeramente esféricos, se componen de alrededor de 12 escamas y al desarrollarse se convierten en una gálbula globular de 3x4 cm, de color verde al principio tornándose a rojizo y marrón al alcanzar la madurez [22].

2.2 Propiedades de algunos aceites esenciales.

Canela: Estimulante, antiséptico, excelente para la prevención de gripes y resfríos.

Cedrón: Calmante, armonizante, tónico respiratorio. Se usa como complemento para el tratamiento de caída del cabello y caspa. Beneficioso para el cuidado de pieles grasas y manchadas.

Ciprés: Antiséptico, antiespasmódico, diurético, antirreumático. Útil para el tratamiento del asma, bronquitis, tos convulsa y enfisema.

Eucaliptus: Potente antiséptico y descongestionante. Utilizar en el hornillo donde hay enfermos.

Enebro: Desintoxicante. Restaura el equilibrio psíquico. Ideal para baños y masajes para la celulitis. Propiedades diuréticas.

Geranio: Equilibrante mental, físico y emocional. Ayuda a regular las funciones hormonales. Es diurético y astringente. Masajear en las zonas con celulitis.

Incienso: Calmante. Ayuda a la meditación. A nivel piel se incluye en cremas rejuvenecedoras. Previene las estrías.

Jazmín: Relajante. Ideal para el cuidado de la piel, en especial las pieles secas. Propiedades sensuales.

Lavanda: Es un limpiador. Liberador de tensiones, reparador excelente para los músculos cansados, cicatrizante, ideal para quemaduras.

Limón: Purificante. Refrescante. Estimulante del sistema linfático. Astringente. Antiácido, antiséptico. Es ideal para dar un toque fresco a las composiciones de fórmulas aromaterapéuticas.

Manzanilla: Relajante, efectos calmantes sobre la mente y el cuerpo. Se aplica para dolores e inflamaciones y para los estados de enojo y humor colérico. Ideal para proteger pieles secas. Reparador del sueño.

Melisa: Calmante. Su aroma es suave y exquisito. Ideal para proteger la piel del frío.

Menta: Estimulante, refrescante. Excelente para despejar la cabeza. Despierta, alivia el síndrome del viajero.

Naranja: Angustia, depresión, insomnio.

Romero: Tonifica y levanta. Tónico estimulante a nivel cardíaco, hepático y biliar. Se usa para el cabello agregando unas gotas en el champú.

Rosa: Propiedades femeninas. Calmante. Tonificante. Excelente para pieles secas, maduras o envejecidas. Propiedades sensuales.

Salvia: Calmante, relajante, antidepresivo, para todo tipo de stress y tensión. Es útil en el tratamiento del asma, infecciones de la garganta y cuidado de la piel. Agregar unas gotas en el enjuague después del champú para cabellos grasos y caspa.

Sándalo: Relajante, armonizador, ayuda a la meditación. Excelente para pieles secas.

Tea: (Árbol de té) Potente antiséptico. Excelente para el tratamiento de todas las afecciones de la piel por sus propiedades antisépticas, antivirales, antimicóticas, antiinflamatorias y cicatrizantes.

Tomillo: Preventivo de infecciones en general, reforzando el sistema inmunológico. Purificador pulmonar, estimulante de la circulación sanguínea.

Además estos aceites esenciales tienen propiedades físicas como son líquidos a temperatura ambiente, muy raramente tienen color y su densidad es inferior a la del agua (la esencia de safrán o de clavo constituyen excepciones). Casi siempre dotadas de poder rotatorio, tienen un índice de refracción elevado. Solubles en alcoholes y en disolventes orgánicos habituales, son liposolubles y muy poco solubles en agua, son arrastrables por el vapor de agua [23].

2.3 Aplicación de los aceites esenciales.

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

Adhesivos: Gomas, pastas, pegamentos, cintas, vendas quirúrgicas.

Industria del motor: Pulimentos, limpiadores, pinturas, muebles.

Farmacéutica: Pasta de dientes, preparaciones dentales, medicinas patentadas, preparaciones medicadas para el cabello, aplicaciones para el cuerpo, productos hierbales, etc.

Polímeros y pinturas: Pinturas para la casa, barnices, plásticos y juguetes, utilidades de la casa.

Insecticidas y repelentes: Sprays, eliminadores de olor, desinfectantes, preparaciones repelentes.

Cuero: Desodorantes y fragancias.

Papel, impresión y empaquetado: Papelería especial, tintas, materiales de envoltura, materiales de embalaje, cintas adhesivas, etc.

Petróleo: Cremas desodorantes, solventes de la nafta, aceites lubricantes, destilados especiales del petróleo, ceras.

Bebidas: Bebidas carbonatadas, licores, concentrados, esencias.

Veterinario: Alimentos de animales, sprays y desodorantes, medicamentos y preparaciones antiparasitarias.

Género de la casa: Utensilios de cocina, detergentes, jabones, preparaciones de limpieza.

Caucho: Guantes, género quirúrgico, juguetes.

Textiles: Desodorantes, materiales de tapicería, tintes y preparaciones de pigmentos.

Artículos de baño: Perfumes, fragancias, shampoos, colonias, aceites, cremas, utilización general del baño, talcos, etc. [24].

2.4 Principales métodos de obtención de esencias vegetales.

TABLA 2.1. ALGUNOS MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE ESENCIAS VEGETALES.

ESPECIE UTILIZADA Y DESIGNACIÓN COMÚN DE LA ESENCIA	PARTE APROVECHADA	MÉTODO DE OBTENCIÓN	PRINCIPALES ZONAS DE PROCEDENCIA
<i>Amygdalus communis</i> (almendro amargo)	Semillas	maceración y destilación	Europa, Asia y África
<i>Andropogon nardus</i> (citronela)	Hierba	extracción con vapor de agua	Ceilán, Jaba y América Central
<i>Anethum Graveolens</i> (eneldo)	Frutos	extracción con vapor de agua	URSS, Noruega, Alemania y EE:UU
<i>Artemisia absinthium</i> (ajeno)	planta florida	extracción con vapor de agua	España, Francia, América y Argelia
<i>Cinnamomun zeylanicum</i> (canela)	Corteza	extracción con vapor de agua	Ceilán y China
<i>Citrus aurantium amara</i> (naranja agrio)	Hojas	extracción con vapor de agua	Francia e Italia
<i>Citáis limonum</i> (limonero)	corteza de fruto	estrujamiento a alta presión	Sicilia
<i>Citrus nobilis</i> (mandarino)	corteza de fruto	estrujamiento a alta presión	China, Japón, España, Norte de África, Italia y Brasil
<i>Citrus sinensis</i> (naranja dulce)	corteza de fruto	estrujamiento	California y países mediterráneos
<i>Eucalytus globulus</i> (eucalipto)	hojas	extracción con vapor de agua	Australia, Argelia y Provenza
<i>Foeniculum vulgare</i> (hinojo)	frutos	extracción con vapor de agua	Francia, Alemania, Italia y España
<i>Hibiscus abelmoschus</i> (abelmosco)	semillas	extracción con vapor de agua	Madagascar, Ecuador y Colombia
<i>Illicium revum</i> (badiana o anís estrellado)	frutos	extracción con vapor de agua	China y sudeste asiático
<i>Jasminun grandiflorum</i> (jazmín)	flores	extracción con grasas	Francia
<i>Juniperus communis</i> (enebro)	frutos	extracción con vapor de agua	Provenza e Italia
<i>Juniperus viginiana</i> (cedro rojo de Virginia; cedro)	tronco	extracción con vapor de agua	América del norte
<i>Lavandula spica</i> (espliego)	planta completa	extracción con vapor de agua	Francia. España, Italia y Dalmacia
<i>Lavandula vera</i> (var. Espliego; Lavanda)	planta completa	extracción con vapor de agua	Gran Bretaña, y Francia meridional

Mentha piperita (menta)	planta completa	extracción con vapor de agua	Francia, Italia, Japón y América
Ocimum (ocimum) basilicum (albahaca)	planta completa	extracción con vapor de agua	India, España y Provenza
pinlinella anisum (anís o matalahúga)	frutos	extracción con vapor de agua	URSS y Europa central
Pinus et al. Coniferae (pinos y otras coníferas; trementina)	resina	extracción con vapor de agua	Europa; América y Asia
Prunus laurocerasus (laurel cerezo)	hojas	maceración y destilación	Francia; Italia y Turquía
Rosa alba, R. damascena y R. gallica (rosas)	flores	extracción con vapor de agua	Francia; Bulgaria y Turquía
Rosmarinus officinalis (romero)	hojas	extracción con vapor de agua	Francia, Italia, España y Grecia
Salvia officinalis (salvia común)	hojas	extracción con vapor de agua	Países mediterráneos
Thymus vu(garis) (tomillo)	planta completa	extracción con vapor de agua	Francia, Argelia y España
Vainilla planifolia (vainilla)	frutos	estrujamiento	América central Jaba, Ceilán y Madagascar

2.5. Características organolépticas de los aceites esenciales.

Las características o propiedades organolépticas de un cuerpo son todas aquellas que pueden percibirse de forma directa por los sentidos (todos ellos, no sólo la vista), sin utilizar aparatos o instrumentos de estudio. Serán por tanto los primeros datos que obtengamos de los ejemplares que estudiamos, aunque estos datos puedan variar con el tiempo o el origen de los ejemplares.

Por otro lado, algunos rasgos como el tamaño de las esporas, son fácilmente comprobables una y otra vez, al ser datos objetivos y más o menos constantes. Pero

otros, como el olor o los tonos de un cierto color varían enormemente, no sólo por la época u origen del ejemplar, si no por la apreciación subjetiva del observador.

Por esta razón a la hora de definir el olor, color o sabor, se recurre a ciertas comparaciones con alimentos o sustancias de características comúnmente conocidas, que pueden no resultar correctas para todo el mundo.

TABLA 2.2. CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS DE LOS ACEITES ESENCIALES [25].

VEGETAL	COLOR	OLOR
Mentha piperita	Verde-claro	Fuerte-característico
Mentha spicata (N)	Verde-amarillo	Picante-agradable
Mentha spicata (EESC)	Café-verdoso	Picante-agradable
Matricaria chamomilla	Celeste, verde, marrón (añejo)	Dulce y frutal
Melisa Officinalis	Amarillo	Alimonado y floral
Eucaliptus globulus	Café amarillento claro	Fuerte-característico

2.6 Densidad de los aceites esenciales.

La densidad es una propiedad característica, significa que es específica de cada material y depende de sus características internas y no de la cantidad de ella; lo cual permite diferenciar a un material de otro con la ayuda de otras propiedades.

De hecho, la densidad permite diferenciar un mineral o piedra preciosa de un simple vidrio.

La densidad de una sustancia es una medida que nos dice cuánta materia hay de esa sustancia en cierto espacio. Para averiguar la densidad de una sustancia o de un objeto se divide la masa entre el volumen o espacio que ocupa esa sustancia u objeto. Usualmente se usan las unidades de g/cm^3 .

TABLA 2.3. DENSIDAD DE LOS ACEITES ESENCIALES [26].

VEGETAL	NOMBRE CIENTÍFICO	DENSIDAD (g/mL)
Menta	Mentha piperita (EESC)	0,908
Hierba buena	Mentha spicata (N)	0,8907
Hierba buena	Mentha spicata (EESC)	0,9190
Manzanilla	Matricaria Chamomilla	0,9018
Eucalipto	<u>Eucaliptus globulus</u>	0,921
Ciprés	Oleuni cupressi	0,871
Toronjil	Melisa Officinalis	0,8800

2.7 Rendimiento de los aceites esenciales.

Es la cantidad de producto obtenido en una reacción química. El rendimiento absoluto puede ser dado como la masa en gramos o en moles (rendimiento molar). El rendimiento fraccional o rendimiento relativo o rendimiento porcentual, que sirve para medir la efectividad de un procedimiento de síntesis, es calculado al dividir la cantidad de producto obtenido en moles por el rendimiento teórico en moles.

El rendimiento de esencia obtenido de una planta varía de unas cuantas milésimas por ciento de peso vegetal hasta 1-3 %. La composición de una esencia puede cambiar con la época de la recolección, el lugar geográfico o pequeños cambios genéticos.

TABLA 2.4. RENDIMIENTO DE LOS ACEITES ESENCIALES [27].

NOMBRE CIENTÍFICO DEL VEGETAL	PARTE DEL VEGETAL UTILIZADA	RENDIMIENTO ESENCIA (%)
Mentha piperita (EESC)	Planta	0,51
Mentha piperita	Planta	0,3
Mentha spicata (N)	Planta	0,32
Mentha spicata (EESC)	Planta	0,2
Matricaria chamomilla	Planta	0,6
Eucalipto	Hojas	0,8
Ciprés	Ramas	0,2

2.8 Índice de refracción [28].

El índice de refracción en un aceite guarda una relación directa con su viscosidad, o sea, qué tan "espeso" se siente el aceite. Parte del control de calidad durante la producción de aceites es asegurar una viscosidad constante.

Medir la viscosidad directamente implica tomar una muestra del aceite, mientras que medir el índice de refracción es más rápido y se hace usando métodos ópticos sin siquiera tocar el aceite.

TABLA 2.5. ÍNDICE DE REFRACCIÓN.

VEGETAL	ÍNDICE DE REFRACCIÓN
Limón	a 20°C: 1.4740 a 1.4780
Menta	a 20°C: 1.459 a 1.471.
Hierba buena	1 ,4638
Toronjil	1,6434
Eucalipto	a 20°C: 1.458 a 1.470
Jengibre	a 20°C: 1.4880 a 1.4940

2.9 Métodos de extracción:

Son varios los métodos de extracción existentes, dependiendo de la planta. Los industriales son bastante sofisticados, sin embargo, existen diversos métodos de extracción caseros que permiten obtener estas esencias.

- Enfleurage.
- Extracción con solventes.
- Extracción por prensado.
- Extracción con fluidos supercríticos.
- Hidrodestilación.
- Extracción por arrastre con vapor.

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE EXTRACCIÓN Y SELECCIÓN DEL MÁS ADECUADO

3.1 Análisis de los diferentes métodos de extracción

3.1.1 Enfleurage

Para esto se utilizan grasas naturales con puntos de ablandamiento alrededor de 40 °C, normalmente manteca de cerdo RBD (Refinada, Blanqueada, Desodorizada). Se extiende en bandejas ó “chasis” en profundidad no mayor a 5 mm y sobre ella se colocan los pétalos de flores ó el material vegetal, desde donde se van a extraer los principios odoríficos, el contacto puede durar de 3 a 5 días. Luego el material vegetal es removido y reemplazado por material fresco, esta operación se repite buscando la saturación de la grasa. Posteriormente la grasa impregnada del principio activo, “le pomade”, se lava con alcohol libre de congéneres (alcohol de perfumería), relación 1/1 dos veces consecutivas. El alcohol se filtra y se destila a vacío (21 in Hg, T 30 °C) hasta recuperar un 80 % del volumen de alcohol, como mínimo, en el fondo queda un residuo llamado “absolute”.

3.1.2 Extracción con solventes

El material previamente debe de ser molido, macerado ó picado, para permitir mayor área de contacto entre el sólido y el solvente. El proceso ha de buscar que el

sólido, ó el líquido, ó ambos, estén en movimiento continuo (agitación), para lograr mejor eficiencia en la operación. Se realiza preferiblemente a temperatura y presión ambientes. El proceso puede ejecutarse por batch (por lotes ó cochadas) ó en forma continua (percolación, lixiviación, extracción tipo soxhlet). Los solventes más empleados son: Etanol, metanol, isopropano, hexano, ciclohexano, tolueno, xileno, ligroína, éter etílico, éter isopropílico, acetato de etilo, acetona, cloroformo; no se usan clorados ni benceno por su peligrosidad a la salud. Los solventes se recuperan por destilación y pueden ser reutilizados.

El solvente adicionalmente extrae otros componentes como colorantes, gomas, mucílagos, ceras, grasas, proteínas, carbohidratos. En la etapa de recuperación de los solventes (atmosférica ó al vacío), después de los condensadores ha de disponerse de una unidad de enfriamiento, para la menor pérdida del solvente. El material residual en la marmita de destilación, contiene concentrados las materias odoríficas y se le conoce como “concrete”.

En caso de emplear glicoles, aceites vegetales, aceites minerales, como solventes extractores, los componentes odoríficos son imposibles de recuperara desde allí y el producto se comercializa como un todo, conocido como “extractos”.

3.1.3 Extracción por prensado

También se le conoce como “expresión”. El material vegetal es sometido a presión, bien sea en prensas tipo batch ó en forma continua, dentro de éstos se tienen los equipos: Tornillo sin fin de alta ó de baja presión, extractor expeller,

extractor centrífugo, extractor decanter y rodillos de prensa. Para los cítricos antiguamente se empleó el método manual de la esponja, especialmente en Italia, que consiste en exprimir manualmente las cáscaras con una esponja hasta que se empapa de aceite, se exprime entonces la esponja y se libera el aceite esencial.

Otros métodos corresponden a raspado, como el del estilete ó “ ecuelle”, donde la fruta se pone a girar en un torno y con un estilete se raspa la corteza únicamente; permanentemente cae un rocío de agua que arrastra los detritos y el aceite liberado. Otro proceso emplea una máquina de abrasión similar a una peladora de papas, la “pellatrice” y también hace uso del rocío de agua. En estos procesos la mezcla detritos-agua-aceite se centrifuga a 5000 rpm durante 40 minutos y el aceite esencial recuperado se coloca en una nevera a 3°C durante 4 horas, para solidificar gomas y ceras que se localizan en la superficie. El aceite esencial se guarda en recipientes oscuros a 12 °C. Los aceites obtenidos por prensado y/o raspado, se les comercializa como “expresión en frío” y cumplen la funciones de odorizantes (smell oils) y saborizantes (taste oils).

3.1.4 Extracción con fluidos supercríticos

Punto crítico corresponde a las condiciones de temperatura y presión, para un gas ó un vapor, por encima de las cuales la sustancia ya no puede ser “licuada” por incremento de presión. Adicionalmente las propiedades de la fase líquida y/o vapor son las mismas, es decir no hay diferenciación visible ni medible entre gas y líquido. Se habla así de P_c , T_c , V_c , D_c .

La sustancia mas empleada es el CO_2 , que en estas condiciones presenta baja viscosidad, baja tensión superficial, alto coeficiente de difusión (10 veces más que un líquido normal), que conlleva a un alto contacto con la superficie del material y puede penetrar a pequeños poros y rendijas del mismo lo que asegura una buena eficiencia en la extracción en un corto tiempo. En la parte final del proceso hay una remoción total del solvente y se realiza a una temperatura baja, se disminuye la pérdida de sustancias volátiles y se evita la formación de sabores y olores extraños “a cocido”.

El CO_2 no es tóxico, ni explosivo, ni incendiario, es bacteriostático y es clasificado por la FDA como GRAS (Generally Recognized As Safe). La temperatura y presión críticas para el CO_2 son P_c 73 bar y T_c 31°C.

La inversión inicial para estos procesos es alta, aún para equipos en pequeña escala, debido a la tecnología involucrada, a los costos de materiales y de construcción.

Los equipos se construyen en acero inoxidable tipo 316, deben soportar altas presiones en su operación y deben de ofrecer un manejo seguro. Por efecto mismo de la escala, para equipos más grandes, mayor debe de ser la capacidad de la bomba de compresión; mayor el espesor de las paredes, de las bridas en los mismos, de los cierres y sellamientos muy herméticos.

Puede tenerse la siguiente solubilidad en CO_2 supercríticos:

Solubles: Hidrocarburos, éteres, esteres, cetonas, lactosas, alcoholes, aldehídos, mono y sesquiterpenos.

Ligeramente solubles: Grasas, resinas, esteroides, alcaloides, carotenos. Oligómeros.

Insolubles: Azúcares, glucósidos, aminoácidos, plásticos, proteínas, polisacáridos.

Se puede trabajar con CO₂ de alta ó de baja densidad: (1 bar = 1 atm). Baja densidad P 90 bar; T 30°C. Alta densidad P 150 bar; T 50°C.

En el diagrama P- T, puede verse la operación del equipo.

Figura 3.1. Diagrama P-T

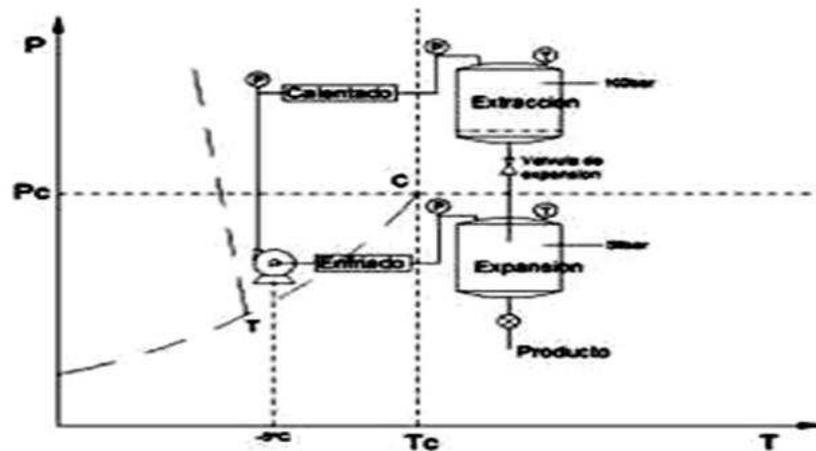


Figura 3.2. Diagrama equipo de extracción supercrítica

Después de la extracción el CO_2 debe de ser enfriado por debajo de $5^\circ C$, para que la bomba pueda tomarlo liquido y bombearlo.

3.1.5 Hidrodestilación

En este proceso en la parte inferior del tanque extractor, el cual es normalmente basculante, se coloca agua, luego viene encima una parrilla que soporta el material que va a ser extraído. La salida de vapores, puede ser lateral al tanque o ubicarse en la tapa, pasa a un serpentín ó espiral enfriado por agua y posteriormente el vapor condensado y el aceite esencial se recolectan en un separador de fases ó florentino, el cual debe de tener la suficiente altura y diámetro para evitar la pérdida de aceite y además permita la recolección fácil del mismo. El tanque extractor es calentado con fuego directo en su parte inferior (el fondo y hasta $1/3$ de la parte inferior del tanque se construye en alfajor de $1/8$ in, material que resiste bien el calor y la oxidación), el vapor producido allí causa el arrastre del aceite esencial.

Cuando se emplea hidrodestilación no se requiere de un calderín generador de vapor. Estos sistemas son muy utilizados en el campo, son fáciles de instalar, se pueden llevar de un sitio a otro, “transhumantes”, son baratos, seguros, fáciles de operar y presentan un consumo energético bajo. Los aceites producidos son más coloreados, que los obtenidos por arrastre con vapor propiamente dicho, y tienden a presentar un cierto olor a quemado: Eucalipto, citronella, limonaria. Por lo anterior estos aceites siempre van a requerir una etapa posterior de refinación.

3.1.6 Extracción por arrastre con vapor

Es un método de destilación en el cual se coloca la planta recomendablemente seca (por lo general depende del tipo de planta), pues fresca contiene mucílagos que enturbian el aceite y disminuyen su calidad, o parte que contenga el principio aromático en la caldera de un alambique de hierro, acero inoxidable, cobre o vidrio, y se cubre con agua. Al calentar la caldera se evapora el agua y el aceite volátil, que se condensa en el refrigerante, recogién dose con el agua en el colector, de la cual se separa al cabo de cierto tiempo por diferencia de densidades, y finalmente se aísla con un embudo provisto de un grifo en la parte más estrecha.

En el arrastre de vapor se debe tomar en cuenta la calidad de vapor: la presión de vapor, por experimentación se conoce que la presión en la cual se obtiene mayor rendimiento es a 40 psi, la temperatura de vapor; el área de la columna de destilación, la cantidad de material vegetal que se va a alimentar; las condiciones de condensación, la temperatura de condensación debe estar alrededor de los 40°C, para

una mejor separación del condensado: el flujo del agua de refrigeración; las condiciones de separación: diseño del vaso florentino, la temperatura del destilado.

Fundamento:

Por efecto de la temperatura del vapor (100 °C) en un cierto tiempo, el tejido vegetal se rompe liberando el aceite esencial, el cual presenta a estas condiciones una presión de vapor:

$$P_T = P_v + P_a.$$

Adicionalmente el aceite esencial debe de ser insoluble en agua, ya que después del condensador, en el separador (Florentino) debe de formarse dos fases: una de aceite esencial y otra de agua. Si el aceite esencial presenta componentes solubles en agua estos quedarán en la fase acuosa que puede comercializarse como tal: agua de rosas. [29].

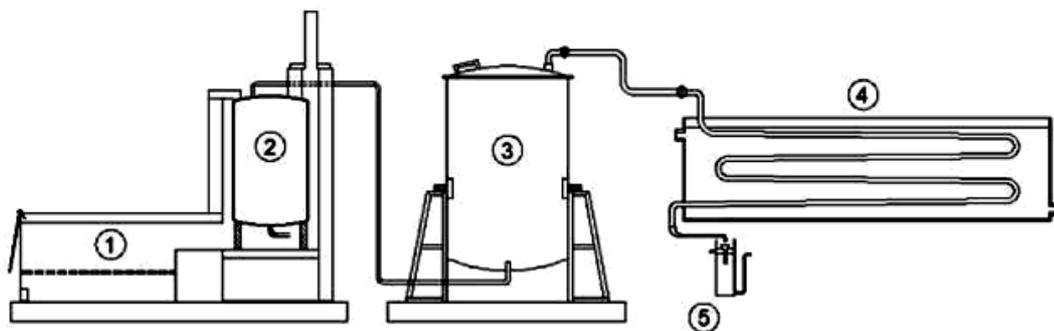


Figura 3.3. Diagrama planta; 1) hogar. 2) hervidor. 3) extractor. 4) condensador. 5) separador (Florentino).

3.2 Ventajas.

TABLA 3.1. VENTAJAS DE LOS MÉTODOS DE EXTRACCIÓN

MÉTODOS DE EXTRACCIÓN	VENTAJAS
ENFLEURAGE	<ul style="list-style-type: none"> • Gran calidad del aceite esencial obtenido.
EXTRACCIÓN CON SOLVENTES	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de temperaturas bajas. • Posibilidad de separación de componentes individuales.
EXTRACCIÓN POR PRENSADO	<ul style="list-style-type: none"> • Es una tecnología bien conocida hace años pero todavía tiene sus detalles y secretos.
EXTRACCIÓN CON FLUIDOS SUPERCRÍTICOS	<ul style="list-style-type: none"> • Alto rendimiento. • Ecológicamente limpio. • Fácil retiro y reciclaje del solvente. • Bajas temperaturas de extracción. • No hay alteración química del aceite. • Cambiando parámetros operacionales se puede cambiar la composición del aceite extraído.

<p>HIDRODESTILACIÓN</p>	<ul style="list-style-type: none"> • No se requiere de un calderín generador de vapor. • Son muy utilizados en el campo. • Son fáciles de instalar, se pueden llevar de un sitio a otro. • Son baratos. • Seguros, fáciles de operar y presentan un consumo energético bajo.
<p>EXTRACCIÓN POR ARRASTRE CON VAPOR</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La extracción por arrastre de vapor es un proceso de extracción muy limpio que asegura un producto de buena calidad. • Se requiere de instalaciones básicas de herrería para la construcción y mantenimiento del equipo. • Método industrial y de laboratorio. • Buenos rendimientos en aceite extraído. • Obtención del aceite puro, libre de solvente. • Bajo costo. • Tecnología no sofisticada. • Aplicación de principios de ingeniería Mecánica y Química.

3.3 Desventajas:

TABLA 3.2. DESVENTAJAS DE LOS MÉTODOS DE EXTRACCIÓN

MÉTODOS DE EXTRACCIÓN	DESVENTAJAS
ENFLEURAGE	<ul style="list-style-type: none"> • Es un método antiguo que ya no se emplea. • Es un método muy laborioso. • Requiere mucha mano de obra. • Esta ampliamente superado técnicamente por otros métodos alternativos.
EXTRACCIÓN CON SOLVENTES	<ul style="list-style-type: none"> • Costoso. • Contaminante del ambiente. • Riesgo de incendio y explosión. • Difícil de separar completamente el solvente sin alterar la composición del aceite. • Co-extracción de ácidos grasos, ceras y pigmentos.
EXTRACCIÓN POR	<ul style="list-style-type: none"> • Cuando el aceite sale de la prensada todavía tiene muchas impurezas que

PRENSADO	<p>deben ser eliminadas</p> <ul style="list-style-type: none"> • La mezcla detritos-agua-aceite se centrifuga a 5000 rpm durante 40 minutos y el aceite esencial recuperado se coloca en una nevera a 3°C durante 4 horas, para solidificar gomas y ceras que se localizan en la superficie. • El aceite esencial se debe guardar en recipientes oscuros a 12 °C.
EXTRACCIÓN CON FLUIDOS SUPERCRÍTICOS	<ul style="list-style-type: none"> • Ácidos grasos, pigmentos y ceras también pueden ser extraídos junto con el aceite esencial. • Alta inversión inicial.
HIDRODESTILACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Los aceites producidos son más coloreados. • Tienden a presentar un cierto olor a quemado • Siempre van a requerir una etapa posterior de refinación.
EXTRACCIÓN POR ARRASTRE CON VAPOR	<ul style="list-style-type: none"> • Su principal inconveniente es la alta temperatura de operación, que lo hace inapropiado para aquellos aceites esenciales con componentes sensibles al calor.

	<ul style="list-style-type: none">• Una operación incorrecta de este método puede producir un aceite esencial de baja calidad y con evidente aroma a tostado.
--	---

3.4 Selección del método de extracción de aceite esencial.

Para la selección del método de extracción de aceites esenciales, se considera principalmente el método en el cual se aplique de mejor manera los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Mecánica, además por las ventajas que muestre.

El método seleccionado para la extracción de aceites esenciales basados en los criterios descritos anteriormente es “**EXTRACCIÓN POR ARRASTRE CON VAPOR**”, el mismo que consta de elementos y equipos tales como: generador de vapor, extractor, condensador y separador, los cuales se diseñan y seleccionan con criterios y fundamentos de Ingeniería Mecánica.

CAPÍTULO IV

4. DISEÑO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN SELECCIONADO.

4.1 Elementos que componen el sistema.

5.1.1 Caldero o generador de vapor.

La definición de caldera industrial señala que son dispositivos empleados para calentar agua o generar vapor a una presión muy superior a la atmosférica; las calderas industriales cuentan con un compartimiento en donde el combustible se consume, mientras que en otro compartimiento se coloca el agua que luego se convertirá en vapor.

5.1.1.1 Tipos de caldera

- a) Acuotubulares:** son aquellas calderas en las que el fluido de trabajo se desplaza a través de tubos durante su calentamiento. Son las más utilizadas en las centrales termoeléctricas, ya que permiten altas presiones a su salida, y gran capacidad de generación.

b) Pirotubulares: en este tipo el fluido en estado líquido se encuentra en un recipiente, y es atravesado por tubos por los cuales circula gases a alta temperatura producto de un proceso de combustión.

5.1.1.2 Elementos, términos y componentes de una caldera.

- **Agua de alimentación:** Es el agua de entrada que alimenta el sistema, generalmente agua de pozo o agua de red con algún tratamiento químico como la desmineralización.
- **Agua de condensado:** Es el agua que proviene del estanque condensador y que representa la calidad del vapor.
- **Vapor seco:** Vapor de óptimas condiciones.
- **Vapor húmedo:** Vapor con arrastre de espuma proveniente de una agua de alcalinidad elevada.
- **Condensador:** Sistema que permite condensar el vapor.
- **Estanque de acumulación:** Es el estanque de acumulación y distribución de vapor.
- **Desaireador:** es el sistema que expulsa los gases a la atmósfera.

- **Purga de fondo:** Evacuación de lodos y concentrado del fondo de la caldera.
- **Purga de superficie:** Evacuación de sólidos disueltos desde el nivel de agua de la caldera.
- **Fogón:** Alma de combustión del sistema.
- **Combustible:** Comburente que se transforma en energía calórica que permite la vaporización.
- **Agua de calderas:** Agua de circuito interior de la caldera cuyas características dependen de los ciclos y del agua de entrada.
- **Ciclos de concentración:** Número de veces que se concentra el agua de caldera respecto del agua de alimentación.
- **Alcalinidad:** Nivel de salinidad expresada en ppm de CaCO_3 que confiere una concentración de iones carbonatos e hidróxilos que determina el valor de pH de funcionamiento de una caldera, generalmente desde 10,5 a 11,5.
- **Desoxigenación:** Tratamiento químico que elimina el oxígeno del agua de calderas.

- **Incrustación:** Sedimentación de sólidos con formación de núcleos cristalinos o amorfos de sulfatos, carbonatos o silicatos de magnesio que merman la eficiencia de funcionamiento de la caldera.
- **Dispersante:** Sistema químico que mantiene los sólidos descohesionados ante un evento de incrustación.
- **Antiincrustante:** Sistema químico que permite permanecer a los sólidos incrustantes en solución.
- **Anticorrosivo:** Sistema químico que brinda protección por formación de films protectivos ante iones corrosivos presentes en el agua.
- **Índice de vapor/combustible:** Índice de eficiencia de producción de vapor de la caldera.

Las calderas industriales son ampliamente utilizadas en plantas que realizan calentamiento de fluidos y aire, vaporización, deaireación del agua, trazado de vapor, generadores de vacío y mantenimiento de otros equipos. Una caldera industrial básica se compone de: un hogar el cual se encuentra en contacto directo con la flama y quemadores en donde se lleva a cabo la combustión. Los combustibles que se emplean pueden ser de tipo líquido, sólido o gaseoso; también poseen tubos, atemperadores y bancos generadores [30].

5.1.2 Extractor

Está representado por el aparato de extracción propiamente dicho. Generalmente, este recipiente esta hecho de acero inoxidable y posee un fondo falso compuesto por una lamina perforada de acero inoxidable en la cual se deposita el material vegetal para ser extraído.

Frecuentemente para facilitar las operaciones de carga y descarga el material vegetal se introduce en el recipiente dentro de una cesta perforada, apoyada en el fondo falso en las proyecciones dispuestas para sostenerlo. En este caso, el propio fundo perforado de la cesta constituye el fondo falso. El sistema distribuidor de vapor se localiza debajo del fondo falso. En el fondo, posee un grifo de desagüe, para permitir la salida de vapor de agua condensado. En la parte superior posee una tapa con un cierre hermético. La tapa está conectada al condensador por medio de un tubo, también de acero inoxidable.

5.1.3 Condensador o intercambiador de calor

Es el lugar donde los vapores de aceites y de agua pasan a la fase líquida, posibilitando la separación de dos líquidos no miscibles.

Como hemos mencionado, un intercambiador de calor es un componente que permite la transferencia de calor de un fluido (líquido o gas) a otro fluido. Entre las principales razones por las que se utilizan los intercambiadores de calor se encuentran las siguientes:

- Calentar un fluido frío mediante un fluido con mayor temperatura.
- Reducir la temperatura de un fluido mediante un fluido con menor temperatura.

- Llevar al punto de ebullición a un fluido mediante un fluido con mayor temperatura.
- Condensar un fluido en estado gaseoso por medio de un fluido frío.
- Llevar al punto de ebullición a un fluido mientras se condensa un fluido gaseoso con mayor temperatura.

Debe quedar claro que la función de los intercambiadores de calor es la transferencia de calor, donde los fluidos involucrados deben estar a temperaturas diferentes. Se debe tener en mente que el calor sólo se transfiere en una sola dirección, del fluido con mayor temperatura hacia el fluido de menor temperatura. En los intercambiadores de calor los fluidos utilizados no están en contacto entre ellos, el calor es transferido del fluido con mayor temperatura hacia el de menor temperatura al encontrarse ambos fluidos en contacto térmico con las paredes metálicas que los separan.

5.1.4 El vaso separador.

Es el recipiente donde se realiza la decantación debe ser rápida y completa. El volumen de agua condensada siempre es mayor que la cantidad de aceite, por esta razón, el agua debe ser eliminada continuamente. Los separadores son de dos tipos:

1. Separadores para aceites más livianos que el agua
2. Separadores para aceites más pesados que el agua

5.1.5 El Recolector

Es un recipiente, de forma y volumen apropiado, destinado a recoger el aceite esencial, una vez separado el agua. Los recolectores deben ser de material resistentes a la acción corrosiva de los componentes de los aceites esenciales. Los tambores recubiertos internamente con resina de tipo epoxi son de gran utilidad para la recolección y almacenamiento de aceites [30].

5.1.6 Tuberías.

Un sistema de distribución de vapor es equivalente a un sistema de vías de transporte de energía que une los puntos de producción y de utilización, a través del cual se produce un flujo de vapor debido a una diferencia de temperaturas se provoca un flujo de energía entre un punto de temperatura elevado hacia otro de temperatura más baja.

El transporte de energía almacenada en el vapor debido a la fricción del mismo con las paredes del tubo da como resultado una pérdida de carga, así como también una diferencial de temperaturas que se produce por la transformación de calor hacia el medio ambiente por más aislada que se encuentre la tubería.

Consecuentemente para que un sistema de tuberías pueda funcionar correctamente es necesario que las pérdidas de carga así como las pérdidas de calor por transferencia sean mínimas, de manera que podamos obtener las presiones y temperaturas deseadas en el punto utilizado.

Las condiciones óptimas de elevada eficiencia de las tuberías y mínimas pérdidas de carga, se obtiene a través de un adecuado diseño de tuberías. Un sistema subdiseñado trabajará con velocidades muy altas, ocasionando pérdidas de carga muy grande y en algunos casos críticos, la falta de vapor en el punto de consumo; además de otros problemas como son la erosión de la tubería y su desgaste prematuro. A su vez una tubería sobrediseñada no tendrá problemas de pérdida de carga y suministrara la cantidad de vapor requerida, teniendo como inconvenientes que una área mayor de la necesaria, transferiría más cantidad de calor al ambiente y para eliminar este problema, se requerirá más y mejor aislamiento, lo cual junto con el precio de una tubería más grande, encarecen notablemente el sistema de transporte de vapor [1].

4.2 Identificación de variables.

4.2.1 Caldero o generador de vapor.

Para el diseño y selección del generador de vapor se considera lo siguiente:

- Capacidad y presión requerida
- Durabilidad
- Accesibilidad para la inspección y limpieza
- Facilidad para desempeñar el trabajo
- Seguridad industrial
- La caldera debe ser la adecuada para las condiciones existentes.

4.2.2 Extractor

Para el diseño del extractor se considera las siguientes variables:

- Presión manométrica del extractor (P_{man})
- Dimensiones en función de la materia prima de acuerdo al volumen de aceite esencial requerido.
 - Diámetro (D)
 - Radio (r)
 - Altura (h)
- Material del equipo en función de las condiciones de trabajo.

4.2.3 Condensador

Para el diseño del Condensador se considera las siguientes variables:

Variables del vapor (vapor de agua mas vapor de aceite esencial)

- ✓ Masa total de vapor
- ✓ Presion absoluta del vapor al ingreso del condensador
- ✓ T emperatura del vapor al ingreso del condensador
- ✓ T emperatura del vapor a la salida del condensador
- ✓ Diametro de la tuberia

Variables del refrigerante (agua).

- ✓ Temperatura de ingreso del agua
- ✓ Temperatura de salida del agua
- ✓ Flujo de agua
- ✓ Diametro de la tuberia

4.2.4 Vaso separador

En este caso no se efectúa el diseño de este equipo, más bien se procede a la compra del vaso separador, por ser un elemento con características específicas de laboratorio, material de construcción, el sistema de medida, sus accesorios y por la facilidad del mismo de encontrar en el mercado.

4.3 Diseño de partes constitutivas

Una vez identificado las variables el siguiente paso a seguir es el diseño de sus elementos constitutivos.

Debido a que se trata de diseño y construcción, se deberá asumir consideraciones propias, principalmente el volumen de aceite esencial que se requiere obtener, considerando el tipo de materia prima, sus rendimientos y propiedades mencionadas en los capítulos anteriores.

4.3.1 Diseño del sistema de extracción de aceite esencial

Se parte con la cantidad de producto de aceite esencial que se quiere obtener, para ello se considera el rendimiento teórico de una planta en común, que sea factible extraer aceite esencial por arrastre de vapor.

El material vegetal elegido para el análisis, es el eucalipto glóbulos, por su alto rendimiento en el proceso de extracción.

Ahora, debido a que el contenido de aceites en las plantas es bajo, por ello hace falta destilar abundante cantidad de hierbas para obtener un volumen que justifique el gasto de destilación, esto nos solo obliga a optimizar la destilación, sino a contar con abundante hierba a destilar.

El volumen asumido a obtener es 40 ml de aceite esencial de eucalipto. Utilizando el rendimiento teórico de la planta, se determina la cantidad de materia vegetal que se tendrá que destilar para obtener dicho volumen.

Material eucalipto (*Eucalyptus globulus*).

$$\eta = 0.8 \%$$

$$\delta = 0.921 \frac{g}{ml}$$

Conociendo que:

$$\delta = \frac{m}{v} \tag{4.1}$$

Utilizando una regla de tres simple utilizaremos el rendimiento de la planta para determinar la masa de hierba que necesitamos para obtener una masa de aceite [32].

Si conocemos que

$$X_{\text{gramos}_{\text{hierba}}} \rightarrow Y_{\text{gramos}_{\text{aceite}}} = m$$

$$100_{\text{gramos}_{\text{hierba}}} \rightarrow Z_{\text{gramos}_{\text{aceite}}} = \eta$$

Entonces:

$$Y_{\text{gramos}_{\text{aceite}}} = \frac{\eta * X_{\text{gramos}_{\text{hierba}}}}{100}$$

$$Y_{\text{gramos}_{\text{aceite}}} = \frac{0.8 \% * X_{\text{gramos}_{\text{hierba}}}}{100} = 0.008 * X_{\text{gramos}_{\text{hierba}}} \quad (4.2)$$

Despejando la masa de la ecuación (4.1)

$$m = \delta * v$$

$$0.008 * X_{\text{gramos}_{\text{hierba}}} = 0.921 \frac{g}{ml} * 40 ml$$

$$X_{\text{gramos}_{\text{hierba}}} = \frac{0.921 \frac{g}{ml} * 40 ml}{0.008}$$

$$X_{\text{gramos}_{\text{hierba}}} = 4605 g$$

Redondeando a un valor exacto, se trabajará con una masa de 5000 g ó 5 Kg de planta de eucalipto glóbulos.

Con este dato se procede al diseño de las partes constitutivas.

4.3.1.1 Diseño del extractor.

- Dimensiones en función de la masa de materia prima eucalipto ($m = 5\text{Kg}$)

Diámetro (D) = 0.41 m (asumidos)

Radio (r) = 0.205 m

Altura (h) = 0.5 m

- Presión manométrica:

$P_{man} = 40 \text{ psig}$

- Material:

Acero inoxidable **A240/A480 TP 304 [31]**

Limite de fluencia $\sigma_y = 310 \text{ MPa}$

$$P_{trab} = 40 \frac{lb}{plg^2} * \frac{1 \text{ Kg}}{2.205 \text{ Lb}} * \frac{(1 \text{ plg})^2}{(0.0254 \text{ m})^2} = 28117.97 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

$$P_{diseño} = P_{trab} + (10 - 20)\% \quad (4.3)$$

Se asume un 20%, entonces:

$$P_{diseño} = 1.2 P_{trab}$$

$$P_{diseño} = 1.2 (28117.97)$$

$$P_{diseño} = 33741.6 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

Para el espesor mínimo del extractor, se calcula con la expresión encontrada en el código ASME sección VIII, División 1. [2]

$$t = \frac{P * R}{S * E - 0.6 * P} \quad (4.4)$$

Donde:

t= espesor mínimo

P = presión interna de diseño

r = radio interior del cuerpo

S = Esfuerzo disponible máximo del material

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

Reemplazando tenemos:

$$t = \frac{33741.6 \text{ Kg}/m^2 * 0.0205 \text{ m}}{(310 * 10^6 \text{ N}/m^2 * 0.85) - 0.6 * 33741.6 \text{ Kg}/m^2}$$

$$t = 0.000257 \text{ m}$$

Entonces, el espesor de la plancha de acero inoxidable calculado, que se necesita para construir el extractor es de $t = 0.000257 \text{ m}$, pero por facilidad de trabajo en la construcción se elije un espesor mayor, el cual corresponde a $t = 3\text{mm}$, de material acero inoxidable **A240/A480 TP 304**

Esfuerzos mecánicos [3]:

Esfuerzo radial: $\sigma_r = 0$

Esfuerzo tangencial:

$$\sigma_t = \frac{P * r}{t} \quad (4.5)$$

Esfuerzo axial:

$$\sigma_L = \frac{P * r}{2t} \quad (4.6)$$

Reemplazando:

$$\sigma_t = \frac{P * r}{t} = \frac{33741.6 \text{ Kg/m}^2 (0.205 \text{ m})}{0.003 \text{ m}} = 2305676 \text{ Kg/m}^2$$

$$\sigma_L = \frac{P * r}{2t} = \frac{33741.6 \text{ Kg/m}^2 (0.205 \text{ m})}{2(0.003 \text{ m})} = 1152838 \text{ Kg/m}^2$$

Se determina el factor de seguridad, mediante los 2 esfuerzos el tangencial y axial

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_t^2 - \sigma_t \sigma_L + \sigma_L^2} = \frac{S_y}{n} \quad (4.7)$$

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

$$n = \frac{310 * 10^6 N/m^2 * 1Kg/9.8N}{\sqrt{(2305676)^2 - (2305676)(1152838) + (1152838)^2 Kg^2/m^2}}$$

$$n = 15.84$$

Con lo que se garantiza que el extractor, resiste con un coeficiente de seguridad de 15.84.

4.3.1.2 Selección del generador de vapor

Para la selección del generador de vapor, se debe determina el calor que entrega el combustible al agua para transformarlo de estado líquido a vapor, pasando primeramente por el calentamiento y luego a la evaporación, teniendo en cuenta que el calor total es igual a la suma del calor sensible y el calor latente, y cuyo calor total servirá para determinar los BHP requeridos para el sistema de extracción de aceites esenciales.

Calculo del calor sensible [4]

$$Q_s = \dot{m} * C_p * \Delta T \quad (4.8)$$

Para lo cual primeramente determinamos el flujo másico del fluido.

Para conocer la cantidad de agua que se necesita para procesar 5 Kg de aceite esencial se usara experiencias anteriores de personas que ya han trabajado en extracciones con eucalipto [5].

1 Kg vegetal

3 Kg agua por hora

Entonces para:

5 Kg vegetal

15 Kg Agua por hora

$$v = \frac{m}{\delta} \quad (4.9)$$

$$v = \frac{15 \text{ Kg}}{998.6 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} = 0.015 \text{ m}^3$$

$$v = 15 \text{ Lts.}$$

Con el cual se tiene un flujo másico de:

$$\dot{m} = \frac{m}{t} = \frac{15 \text{ Kg}}{1 \text{ h}} = 15 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 \quad (4.10)$$

Donde $T_1 = 18^\circ\text{C}$ temperatura del fluido en el ambiente

De acuerdo a la teoría descrita en capítulos anteriores tenemos que la presión de trabajo es de:

$$P_{trab} = 40 \text{ psig}$$

$$P_{atm} = 10.25 \text{ psi}, \text{ presión atmosférica en Riobamba.}$$

Con la presión atmosférica y la presión de trabajo, se determina la presión absoluta.

$$P_{abs} = P_{trab} + P_{atm} \quad (4.11)$$

$$P_{abs} = 40 \text{ psig} + 10.25 \text{ psi}$$

$$P_{abs} = 50.25 \text{ psi}$$

Con la $P_{abs} = 50.25 \text{ psi}$, encontramos $T_{sat} = T_2 = 138.5$ (Anexo A).

$$Q_s = 15 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} * 4.186 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} * (138.5 - 18)^\circ\text{C}$$

$$Q_s = 7566.2 \text{ KJ/h}$$

Calculo del calor latente [4]

$$Q_L = \dot{m} * h_{fg} \quad (4.12)$$

Con la P_{abs} , encontramos $h_{fg} = 923.5 \text{ BTU/lb} = 2148.15 \text{ KJ/Kg}$ (Anexo A).

$$Q_L = 15 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} * 2148.15 \text{ KJ/Kg}$$

$$Q_L = 32222.3 \text{ KJ/h}$$

Calor total

$$Q_T = Q_s + Q_L \quad (4.13)$$

$$Q_T = 7566.2 + 32222.3$$

$$Q_T = 39788.5 \text{ KJ/h}$$

Al calor total hay que considerar un factor de seguridad en un porcentaje del (10 al 20) %

Se asume para nuestro caso un porcentaje del 10%

$$Q_{diseño} = 1.1Q_T \quad (4.14)$$

$$Q_{diseño} = 1.1(39788.5 \text{ KJ}/h)$$

$$Q_{diseño} = 43767.3 \text{ KJ}/h = 41485.6 \frac{\text{Btu}}{h}$$

Los BHP que debe proporcionar el caldero es:

Como un BHP es una cantidad definida que representa la transferencia de $33475 \frac{\text{Btu}}{h}$ de calor, entonces:

$$41485.6 \frac{\text{Btu}}{h} \times \frac{1 \text{ BHP}}{33475 \frac{\text{Btu}}{h}} = 1.23 \text{ BHP}$$

4.3.1.3. Diseño del intercambiador de calor de doble tubo.

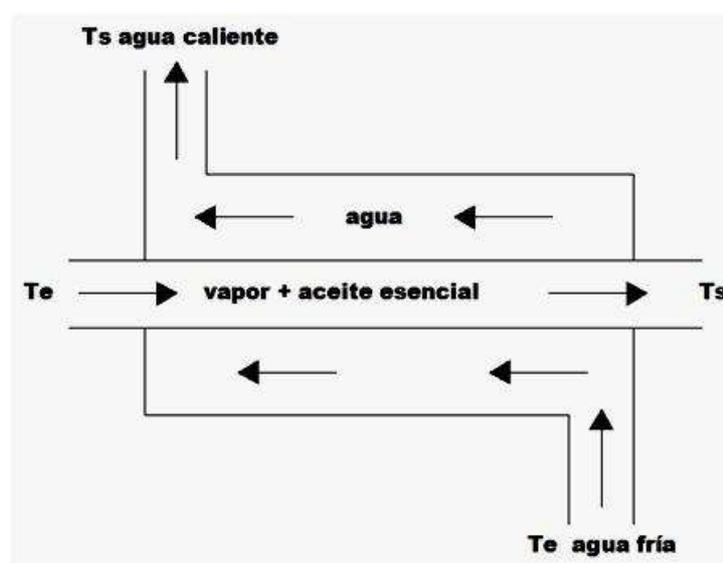


Figure 4.1. Intercambiador de calor en contracorriente.

Datos del refrigerante (agua)

$$T_{ia} = 18^{\circ}\text{C}$$

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

Datos del vapor

$$T_e = 89^{\circ}\text{C}$$

$$T_s = 40^{\circ}\text{C}$$

$$m_v = 15 \text{ kg/h}$$

Como la masa de vapor con relación a la del aceite esencial es superior, todos los cálculos se realizan como si se tratara vapor de agua, entonces el Calor a quitarse del vapor de agua para que se condense es:

Calor latente [4]

$$q_L = m_v h_{fg} \quad (4.79)$$

Con $T_{sat} = 89.7^{\circ}\text{C} = 362^{\circ}\text{K}$ (Anexo A).

Encontramos $h_{fg} = 982.2 \text{ BTu/lb} = 2285 \text{ KJ/Kg}$

Reemplazando:

$$q_L = 15 \text{ Kg/h} (2285 \text{ KJ/Kg})$$

$$q_L = 34275 \text{ KJ/h}$$

Calor sensible: [4]

$$q_s = m C_p \Delta T \quad (4.80)$$

$$C_{p_{agua}} = 4.186 \frac{KJ}{kg^{\circ}C}$$

$$\Delta T = T_{sat} - T_{final} \quad (4.81)$$

Reemplazando:

$$q_s = 15 \frac{kg}{h} (4.186 \frac{KJ}{kg^{\circ}C}) (89.7 - 40)^{\circ}C$$

$$q_s = 3076.71 \frac{KJ}{h}$$

Calor total:

$$q_T = q_L + q_s \quad (4.82)$$

$$q_T = (34275 + 3076.71) \frac{KJ}{h}$$

$$q_T = 37351.7 \frac{KJ}{h} = 10493.7 W$$

Asumiendo un factor de seguridad del 10% tenemos el calor de diseño:

$$q_{diseño} = 1.1 * q_T$$

$$q_{diseño} = 1.1(37351.7 \frac{KJ}{h}) = 41086.9 \frac{KJ}{h}$$

Calculo del caudal másico del agua requerido [4]

$$q_{perdido}(mezcla\ vapor+aceite\ esencial) = q_{ganado\ agua} \quad (4.83)$$

$$41086.9 \frac{KJ}{h} = m_a C p_a \Delta T$$

Despejando m_a , se tiene la siguiente expresión.

$$m_a = \frac{\left(41086.9 \frac{KJ}{h}\right)}{4.186 \frac{KJ}{kg^{\circ}C} (35 - 18)^{\circ}C}$$

$$m_a = 577.371 \frac{kg}{h}$$

Asumimos el tubo de acero AISI 304 con las siguientes dimensiones, por donde va a circular la mezcla de vapor de agua y aceite esencial (Anexo B)

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

$$\phi_i = 9.2 \text{ mm}$$

$$\phi_{ext} = 13.7 \text{ mm}$$

$$A_i = 6.717 \times 10^{-5} m^2$$

$$A_{ext} = A_o = \frac{\pi(0.0137m)^2}{4} = 1.47 * 10^{-4} m^2$$

Calculo de la Diferencia de Temperatura Media Logarítmica (LMTD) [8]

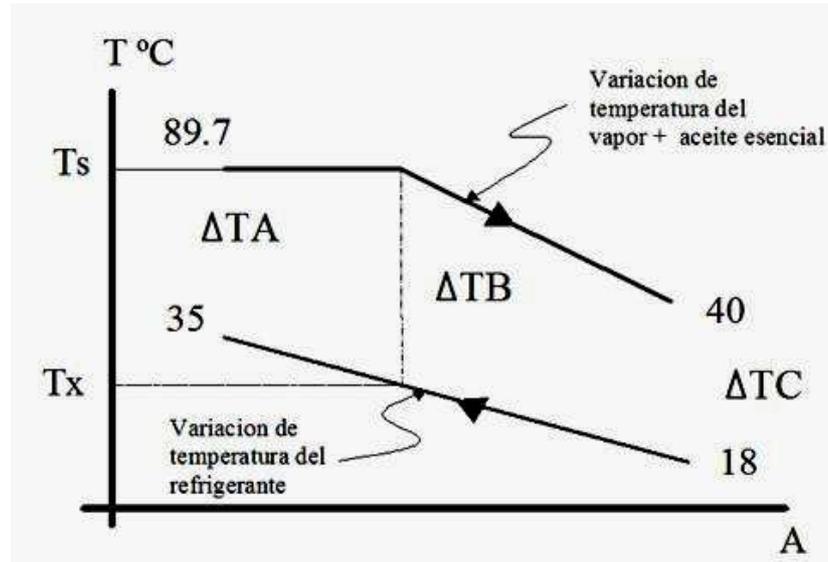


Figura 4.2. Variación de temperatura en el condensador

Calculo de la temperatura [4]

)

— —

Calculo del LMTD para condensación

—
—

—————
—————

$$LMTD_c = 61.52^\circ\text{C}$$

Cálculo del LMTD para enfriamiento:

$$LMTD_e = \frac{\Delta T_C - \Delta T_B}{\ln \frac{\Delta T_C}{\Delta T_B}} \quad (4.86)$$

$$LMTD_e = \frac{(40 - 18) - (89.7 - 20.82)}{\ln \frac{(40 - 18)}{(89.7 - 20.82)}}$$

$$LMTD_e = 41.075^\circ\text{C}$$

Cálculo de los coeficientes convectivos [4]:

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

$$h_i = 0.555 \left[\frac{g \delta_L (\delta_L - \delta_V) K l^3 h_{fg}}{\mu_l (T_{sat} - T_s) D} \right] \quad (4.87)$$

Para determinar las propiedades, se establece la temperatura fílmica.

$$T_f = \frac{T_{sat} + T_w}{2} \quad (4.88)$$

Se asume: $T_w = 85^\circ\text{C}$

$$T_f = \frac{89.7 + 85}{2} = 87.35^\circ\text{C}$$

Primera iteración:

Propiedades del agua a $T_f = 87.35^\circ\text{C} = 360.35^\circ\text{K}$ (Anexo C)

$$\delta_L = 966.7 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$K_L = 674 \times 10^{-3} \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$$

$$\mu_L = 324 \times 10^{-6} \text{ Ns}/\text{m}^2$$

$$C_{pL} = 4.203 \text{ KJ}/\text{Kg}^\circ\text{K}$$

$$h_{fg} = 2291 \text{ KJ}/\text{Kg}$$

$$\delta_V = 0.378 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$h'_{fg} = h_{fg} + \frac{3}{8} C_{pL} (T_{sat} - T_w) \quad (4.89)$$

$$h'_{fg} = 2291 \text{ KJ}/\text{Kg} + \frac{3}{8} (4.203 \text{ KJ}/\text{Kg}^\circ\text{K}) (89.7 - 85)^\circ\text{C}$$

$$h'_{fg} = 2.298 * 10^6 \text{ J}/\text{Kg}$$

Reemplazando en (4.87) se tiene:

$$h_i = 0.555 \left[\frac{9.8(966.7)(966.7 - 0.378)(674 \times 10^{-3})^3 (2.298 * 10^6)}{(324 \times 10^{-6})(89.7 - 85)(0.0092)} \right]^{1/4}$$

$$h_i = 14452.6 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$$

Calculo de la temperatura real de la pared del condensador:

$$q_T = h_i * D * L * \pi \left(T_w - \frac{T_e + T_s}{2} \right) \quad (4.90)$$

$$10493.7 \text{ W} = (14452.6 \text{ W/m}^2\text{°K})(0.0092\text{m})(2.50\text{m})\pi \left(T_w - \frac{89.7 + 40}{2} \right) \text{°C}$$

$$T_w = 74.55\text{°C}$$

Como $T_w = 74.55\text{°C} \neq T_{\text{asumido}} = 85\text{°C}$, entonces se realiza otra iteración.

Segunda iteración:

Con $T_w = 74.55\text{°C}$

$$T_f = \frac{89.7 + 74.55}{2} = 82.125\text{°C} = 355.125\text{°K}$$

Propiedades del agua a $T_f = 82.125\text{°C} = 355.125\text{°K}$ (Anexo C).

$$\delta_L = 970.877 \text{ Kg/m}^3$$

$$K_L = 671 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2\text{°K}$$

$$\mu_L = 343 \times 10^{-6} \text{ Ns/m}^2$$

$$C_{PL} = 4.199 \text{ KJ/Kg}^{\circ}\text{K}$$

$$h_{fg} = 2304 \text{ KJ/Kg}$$

$$\delta_V = 0.3144 \text{ Kg/m}^3$$

$$h_{fg} = 2304 \text{ KJ/Kg} + \frac{3}{8} (4.199 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}) (89.7 - 74.55)^\circ\text{C}$$

$$h_{fg} = 2.33 * 10^6 \text{ J/Kg}$$

Reemplazando:

$$h_i = 0.555 \left[\frac{9.8(970.877)(970.877 - 0.314)(671 \times 10^{-3})^3 (2.33 * 10^6)}{(343 \times 10^{-6})(89.7 - 74.55)(0.0092)} \right]^{1/4}$$

$$h_i = 10561.4 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Calculo de la temperatura real de la pared del condensador:

$$q_T = h_i * D * L * \pi \left(T_w - \frac{T_e + T_s}{2} \right)$$

$$10493.7 \text{ W} = 10561.4 \text{ W/m}^2\text{K} (0.0092\text{m})(2.50\text{m})\pi \left(T_w - \frac{89.7 + 40}{2} \right)^\circ\text{C}$$

$$T_w = 78.25^\circ\text{C}$$

Como $T_w = 78.25^\circ\text{C} \neq T_{\text{asumido}} = 74.55^\circ\text{C}$, entonces se realiza otra iteración.

Tercera iteración:

Con $T_w = 78.25^\circ\text{C}$

$$T_f = \frac{89.7 + 78.25}{2} = 83.97^\circ\text{C} = 356.98^\circ\text{K}$$

Propiedades del agua a $T_f = 87.35^\circ\text{C} = 360.35^\circ\text{K}$ (Anexo C)

$$\delta_L = 969.38 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$K_L = 672 \times 10^{-3} \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$$

$$\mu_L = 335.48 \times 10^{-6} \text{ Ns}/\text{m}^2$$

$$C_{PL} = 4.2 \text{ KJ}/\text{Kg}^\circ\text{K}$$

$$h_{fg} = 2298 \text{ KJ}/\text{Kg}$$

$$\delta_V = 0.337 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$h'_{fg} = 2298 \text{ KJ}/\text{Kg} + \frac{3}{8} (4.2 \text{ KJ}/\text{Kg}^\circ\text{K}) (89.7 - 78.25)^\circ\text{C}$$

$$h'_{fg} = 2.32 * 10^6 \text{ J}/\text{Kg}$$

Reemplazando:

$$h_i = 0.555 \left[\frac{9.8(969.38)(969.38 - 0.337)(672 \times 10^{-3})^3 (2.32 * 10^6)}{(335.48 \times 10^{-6})(89.7 - 78.25)(0.0092)} \right]^{1/4}$$

$$h_i = 11485.3 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$$

Calculo de la temperatura real de la pared del condensador:

$$q_T = h_i * D * L * \pi \left(T_w - \frac{T_e + T_s}{2} \right)$$

$$10493.7 \text{ W} = 11485.3 \text{ W}/\text{m}^2\text{K} (0.0092\text{m})(2.50\text{m})\pi \left(T_w - \frac{89.7 + 40}{2} \right)^\circ\text{C}$$

$$T_w = 78.14^\circ\text{C} \cong 78.25^\circ\text{C}$$

Luego de realizar varias iteraciones se logra determinar que T_w calculado es aproximadamente igual a T_w asumido, por lo que las propiedades del fluido anteriormente obtenidas serán utilizadas en el proceso de cálculo.

Cálculo del coeficiente convectivo de transferencia de calor por subenfriamiento (he), convección natural en superficies interiores. [4]

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

$$T_b = \frac{T_1 + T_2}{2} \quad (4.91)$$

$$T_b = \frac{89.7 + 40}{2} = 64.85^\circ\text{C}$$

$$T_f = \frac{T_b + T_w}{2} \quad (4.92)$$

$$T_f = \frac{64.85 + 78.14}{2} = 71.49^\circ\text{C} = 344.49^\circ\text{K}$$

Propiedades del fluido a temperatura filmica (Anexo C)

$$\delta_L = 977.3 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$K_L = 0.665 \text{ W}/\text{m}^\circ\text{K}$$

$$\mu_L = 4.01 \times 10^{-4} \text{ Ns}/\text{m}^2$$

$$Pr = 2.53$$

Cálculo del número de Grashof [4].

$$Gr = \frac{\delta^2 g \beta}{\mu^2} (T_w - T_b) L c^3 \quad (4.93)$$

$$\beta = 595.4 * 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}K}$$

$$Gr = \frac{(977.3 \text{ Kg}/\text{m}^3)^2 * 9.8 \text{ m}/\text{s}^2 * 595.4 * 10^{-6}}{(4.01 * 10^{-4} \text{ Ns}/\text{m}^2)^2} (78.14 - 64.85)^{\circ}\text{C} * (0.0092)^3$$

$$Gr = 358666.17$$

$$Ra = Gr * Pr \quad (4.94)$$

$$Ra = 358666.17 * 2.53$$

$$Ra = 907425.4$$

Entonces:

$$Nu = 0.36 + \frac{0.518 Ra^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} \quad (4.95)$$

$$Nu = 0.36 + \frac{0.518 (907425.4)^{0.25}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{2.53}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}}$$

$$Nu = 14.007$$

Utilizando Nu, encontramos h_e .

$$Nu = \frac{h_e * Lc}{K} \quad (4.96)$$

$$h_e = \frac{Nu * K}{Lc} = \frac{14.007 * 0.665 \text{ W/m}^2\text{K}}{0.0092\text{m}}$$

$$h_e = 1012.49 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Cálculo de h_o del refrigerante (agua), convección forzada en superficies interiores. [4]

$$T_b = \frac{T_1 + T_2}{2} \quad (4.97)$$

$$T_b = \frac{18 + 35}{2} = 26.5^\circ\text{C}$$

$$T_f = \frac{T_b + T_w}{2} \quad (4.98)$$

$$T_f = \frac{26.5 + 78.14}{2} = 52.32^\circ\text{C}$$

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

$$\delta_L = 985.7 \text{ Kg/m}^3$$

$$K_L = 0.649 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\mu_L = 5.1310^{-4} \text{ Ns/m}^2$$

$$C_{p_i} = 4.179 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K} = 4179 \text{ Ws/Kg}^\circ\text{K}$$

$$Pr = 3.30$$

Asumimos las dimensiones del tubo de acero AISI 304, por donde va a circular el refrigerante (agua) (Anexo B)

Tubo exterior: $\frac{3}{4}$ plg

$$\phi_i = 20.9 \text{ mm}$$

$$\phi_{ext} = 26.7 \text{ mm}$$

$$A_i = 3.437 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{ext} = A_o = \frac{\pi(0.0209\text{m})^2}{4} = 3.43 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Área de circulación del refrigerante:

$$A_{circ} = A_{iref} - A_{evap} \quad (4.99)$$

$$A_{circ} = (3.437 \times 10^{-4} - 1.47 \times 10^{-4}) \text{ m}^2$$

$$A_{circ} = 1.96 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\dot{m} = A * \delta * V \quad (4.100)$$

$$V = \frac{\dot{m}}{A * \delta} = \frac{405.591 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{1.96 \times 10^{-4} \text{ m}^2 (985.7 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3})}$$

$$V = 2099.36 \text{ m/h} = 0.58 \text{ m/s}$$

Debido a que el refrigerante circula a través de tubos concéntricos, se utiliza la expresión siguiente [10]

$$\frac{h}{C_p G} \left(\frac{C_p \mu}{K} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\mu_s}{\mu} \right)^{0.14} = \frac{0.023}{\left(\frac{D_e G}{\mu} \right)^{0.2}} \quad (4.101)$$

Donde:

h : Coeficiente convectivo de transferencia de calor

C_p : Calor específico

μ : Viscosidad dinámica

μ_s : Viscosidad dinámica a temperatura de pared

G : Flujo másico

K : Conductividad térmica

D_e : Diámetro hidráulico

Con $T_w = 78.14^\circ\text{C}$, encontramos: $\mu_s = 3.71 * 10^{-4} \text{Ns}/\text{m}^2$

El diámetro hidráulico se determina con la siguiente expresión:

$$D_h = D_2 - D_1 \quad (4.102)$$

$$D_h = (20.9 - 13.7)\text{mm}$$

$$D_h = 7.2 \text{ mm} = 0.0072 \text{ m}$$

El flujo másico se determina mediante:

$$G = \delta * V \quad (4.103)$$

$$G = 985.7 \text{ Kg}/\text{m}^3 * 0.58 \text{ m}/\text{s}$$

$$G = 571.7 \text{ Kg}/\text{m}^2\text{s}$$

$$\frac{0.023}{\left(\frac{D_e G}{\mu}\right)^{0.2}} = \frac{0.023}{\left(\frac{0.0072 \text{ m} * (571.7 \text{ Kg}/\text{m}^2\text{s})}{5.1310^{-4} \text{ Kg}/\text{ms}}\right)^{0.2}} = 0.0038$$

Reemplazando en (4.101)

$$\frac{h}{C_p G} \left(\frac{C_p \mu}{K}\right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\mu_s}{\mu}\right)^{0.14} = 0.0038$$

$$h = \frac{0.0038 C_p G}{\left(\frac{C_p \mu}{K}\right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\mu_s}{\mu}\right)^{0.14}}$$

$$h = \frac{0.0038 (4179 \text{ W}^s/\text{Kg}^\circ\text{K}) (571.7 \text{ Kg}/\text{m}^2\text{s})}{\left(\frac{4179 \text{ W}^s/\text{Kg}^\circ\text{K} * 5.1310^{-4} \text{ Kg}/\text{ms}}{0.649 \text{ W}/\text{m}^\circ\text{K}}\right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{3.71 * 10^{-4} \text{ N}^s/\text{m}^2}{5.1310^{-4} \text{ N}^s/\text{m}^2}\right)^{0.14}}$$

$$h = 4283.17 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$$

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor U [9]

Coeficiente global de transferencia de calor por condensación.

$$U_c = \frac{h_c * h_o}{h_c + h_o} \quad (4.104)$$

$$U_c = \frac{(11485.3 * 4283.17) \left(\frac{W}{m^2 \circ C} \right)^2}{(11485.3 + 4283.17) \frac{W}{m^2 \circ C}}$$

$$U_c = 3119.74 \frac{W}{m^2 \circ C} = 11234 \frac{KJ}{m^2 h \circ C}$$

Coeficiente global de transferencia de calor por subenfriamiento.

$$U_e = \frac{h_e * h_o}{h_e + h_o} \quad (4.105)$$

$$U_e = \frac{(1012.49 * 4283.17) \left(\frac{W}{m^2 \circ C} \right)^2}{(1012.49 + 4283.17) \frac{W}{m^2 \circ C}}$$

$$U_e = 818.91 \frac{W}{m^2 \circ C} = 2948.07 \frac{KJ}{m^2 h \circ C}$$

Áreas de transferencia de calor

Área de transferencia de calor para condensación

$$A_c = \frac{q_l}{U_c * LMTDc * F} \quad (4.106)$$

$$A_c = \frac{34275 \frac{KJ}{h}}{11234 \frac{KJ}{m^2 h \circ C} * 61.52 \circ C * 1}$$

$$A_c = 0.04959 m^2$$

Área de transferencia de calor para subenfriamiento

$$A_e = \frac{q_s}{U_e * LMTDe * F} \quad (4.107)$$

$$A_e = \frac{3076.71) \text{ KJ}/_h}{2948.07 \text{ KJ}/_{m^2 h^\circ C} * 41.075^\circ C * 1}$$

$$A_e = 0.02541 m^2$$

Área total

$$A_T = A_c + A_e \quad (4.108)$$

$$A_T = (0.04959 + 0.02541) m^2$$

$$A_T = 0.075002 m^2$$

Cálculo de la longitud del condensador

$$A_T = \pi * D_{ext} * L \quad (4.109)$$

$$L = \frac{A_T}{\pi * D_{ext}} = \frac{0.075002 m^2}{\pi * 0.0137 m}$$

$$L = 1.94 m \cong 2.10 m$$

Entonces el intercambiador de calor o condensador que se construirá tendrá la longitud de 2.10 m, con una tubería interior de ¼ plg, y una tubería exterior de ¾ plg.

En material de acero inoxidable AISI 304.

4.3.1.4. Selección de la bomba [11]

1) Naturaleza del líquido a bombearse: Agua en las siguientes condiciones

Temperatura del agua: 18°C

Flujo másico de agua: $m_a = 405.591 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$

Propiedades del agua a 18°C

$$\delta = 998.8 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$V = 1.072 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

2) Caudal requerido:

$$V = \frac{m}{\delta} \quad (4.110)$$

$$V = \frac{405.591 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{998.8 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} = 0.41 \text{ m}^3/\text{h} = 6.73 \text{ lt}/\text{min}$$

Para que el sistema funcione correctamente, se requiere una bomba con un caudal de $6.73 \text{ lt}/\text{min}$, pero como en el mercado no existe se selecciona una bomba con un rango de caudal de (0 a 40) lt/min.

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

$$6.73 \text{ lt}/\text{min} = 6.7 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

3) 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.

$$A_s = \frac{Q_{max}}{V_s} \quad (4.111)$$

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

$$V_s = (0.6 - 2.2)m/s$$

Para nuestro sistema se selecciona una velocidad de 1.6 m/s

$$A_s = \frac{6.7 * 10^{-4} m^3/s}{1.6 m/s} = 4.16 * 10^{-4} m^2$$

$$A_s = \frac{\pi D_s^2}{4} \quad (4.112)$$

$$D_s = \sqrt{\frac{4A_s}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(4.16 * 10^{-4} m^2)}{\pi}}$$

$$D_s = 0.023 m = 23 mm \approx 1 plg$$

Entonces las dimensiones de la tubería de succión son:

$$L = 10 \text{ cm}$$

$$D = 1 \text{ plg}$$

TABLA 4.1. PÉRDIDAS POR ACCESORIOS EN SUCCIÓN (ANEXO E)

Accesorios	Km
Unión	0,3
Universal	0,3
ΣKm	0,6

Cabeza estática de succión:

$$h_s = -h_{es} + h_{vs} + H_{rs} + h_{pms} \quad (4.113)$$

Donde:

$h_{es} = 80 \text{ cm} = 0.8 \text{ m}$ Altura del nivel del líquido en el tanque de alimentación

$$h_{vs} = \frac{Vsuc^2}{2 * g} \quad (4.114)$$

$$h_{vs} = \frac{(1.6\text{m/s})^2}{2 * 9.8 \text{ m/s}} = 0.1306 \text{ m}$$

$$H_{rs} = h_p + h_s \quad (4.115)$$

$$H_{rs} = \left(\tau \frac{L}{D} + \Sigma Km \right) \frac{Vsuc^2}{2 * g} \quad 4.116$$

Cálculo del número de Reynolds

$$Re = \frac{V * D}{\nu} \quad (4.117)$$

$$Re = \frac{1.6\text{m/s}(0.0254 \text{ m})}{1.072 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re = 37910.4$$

$K = 0.0015$ para PVC (Anexo F)

$$\frac{K}{D} = \frac{0.0015}{25.4} = 0.000059$$

En el diagrama de Moody encontramos el coeficiente de rozamiento $\tau = 0.022$
(Anexo G)

Reemplazando se tiene.

$$H_{rs} = \left(0.022 \frac{0.1}{0.0254} + 0.6\right) \frac{(1.6 \text{ m/s})^2}{2 * 9.8 \text{ m/s}}$$

$$H_{rs} = 0.089 \text{ m}$$

$h_{pms} = 0$ Debido a que el tanque de alimentación se encuentra sometido a presión atmosférica.

$$h_s = -0.8 \text{ m} + 0.1306 \text{ m} + 0.089 \text{ m} + 0$$

$$h_s = -0.58 \text{ m}$$

4) Condiciones de descarga

$$A_d = \frac{Q_{max}}{V_d} \quad (4.118)$$

La velocidad recomendada en la tubería de succión del fluido es (Anexo H):

$$V_s = (2.4 - 7.5) \text{ m/s}$$

Para nuestro sistema se selecciona una velocidad de 1.6 m/s

$$A_d = \frac{6.7 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{4 \text{ m/s}} = 1.67 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_d = \frac{\pi D d^2}{4} \quad (4.119)$$

$$D_d = \sqrt{\frac{4A_d}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(1.67 * 10^{-4} \text{ m}^2)}{\pi}}$$

$$D_d = 0.014 \text{ m} = 14 \text{ mm} \approx 1/2 \text{ plg}$$

Entonces las dimensiones de la tubería de descarga son:

$$L = 5.35 \text{ cm}$$

$$D = 1/2 \text{ plg}$$

TABLA 4.2. PÉRDIDAS POR ACCESORIOS EN LA DESCARGA (ANEXO E)

Accesorio	Km
Reducción de (1 a ½)plg	0,3
Codo a 90°	0,8
Universal	0,3
Válvula check	2,5
Válvula de globo	10
Te	1,8
Acople	0,3
ΣKm	16

Cabeza estática de descarga:

$$h_d = -h_{ed} + h_{vd} + H_{rd} + h_{pmd} \quad (4.120)$$

Donde:

$h_{es} = 80 \text{ cm} = 0.8 \text{ m}$ Altura del nivel del líquido en el tanque de alimentación

$$h_{vd} = \frac{V_{desc}^2}{2 * g} \quad (4.121)$$

$$h_{vd} = \frac{(4 \text{ m/s})^2}{2 * 9.8 \text{ m/s}} = 0.1306 \text{ m}$$

$$H_{rd} = h_p + h_d \quad (4.122)$$

$$H_{rd} = \left(\tau \frac{L}{D} + \Sigma Km \right) \frac{V_{suc}^2}{2 * g} \quad (4.123)$$

Calculo del número de Reynolds

$$Re = \frac{V * D}{\nu} \quad (4.124)$$

$$Re = \frac{4m/s(0.0254 m)}{1.072 * 10^{-6} m^2/s}$$

$$Re = 37910.4$$

K = 0.0015 para PVC (Anexo F)

$$\frac{K}{D} = \frac{0.0015}{12.7} = 0.000118$$

En el diagrama de Moody encontramos el coeficiente de rozamiento $\tau = 0.02$
(Anexo G)

Reemplazando se tiene:

$$H_{rd} = \left(0.02 \frac{5.35}{0.0127} + 16\right) \frac{(4m/s)^2}{2 * 9.8 m/s}$$

$$H_{rd} = 19.94 m$$

$h_{pmd} = 0$ Debido a que el tanque de alimentación se encuentra sometido a presión atmosférica.

Reemplazando en (4.120)

$$h_d = 0.8m + 1.27 m + 19.94 m + 0$$

$$h_d = 22 m$$

5) Columna total H o altura efectiva

$$h_T = h_s + h_d \quad (4.125)$$

$$h_T = -0.58 + 22$$

$$h_T = 21.43 m$$

6) Tipo de servicio: Servicio intermitente

7) Calculo del NPSH)d

$$NPSH)_d = \frac{P_b}{\gamma} + h_{es} - H_{rs} - \frac{P_v}{\gamma} \quad (4.126)$$

$$P_b = 10.25 \text{ lb/plg}^2 = 1476 \text{ lb/ft}^2$$

Con T = 18 °C (Anexo A)

$$P_v = 0.30554 \text{ lb/plg}^2 = 43.99 \text{ lb/ft}^2$$

$$\gamma = 9.8 \text{ KN/m}^3 = 62.38 \text{ lb/ft}^3$$

Reemplazando en (4.126).

$$NPSH)_d = \frac{1476 \text{ lb/ft}^2}{62.38 \text{ lb/ft}^3} * \frac{1m}{3.28 \text{ ft}} + 0.8 - 0.089 - \frac{43.99 \text{ lb/ft}^2}{62.38 \text{ lb/ft}^3} * \frac{1m}{3.28 \text{ ft}}$$

$$NPSH)_d = 7.70 \text{ m}$$

Entonces se escoge una bomba PAOLO modelo PKM60-1, Capacidad máxima 40 (L/min), Cabezal máx. 40 m, Altura máx. De succión 9 m, Potencia 0,5 (HP).

4.4 Diseño de planos de construcción.

Los planos se realizan con ayuda del programa SolidWork 2009, con los formatos y codificaciones establecidos por la Facultad de Mecánica.

4.5 Elaboración de una guía de laboratorio, para uso del equipo.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA

GUÍA DE LABORATORIO

PRÁCTICA No.

EQUIPOS E INSTRUMENTOS DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES

1. DATOS GENERALES:

NOMBRE:

CÓDIGO:

GRUPO No.

FECHA DE REALIZACIÓN:

FECHA DE ENTREGA:

2. GUÍA DE LABORATORIO UTILIZANDO EL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES.

INTRODUCCIÓN.

La presente guía pretende ser una ayuda al estudiante de Ingeniería Mecánica, mediante la utilización del sistema de extracción de aceites esenciales por arrastre de vapor, para que aborde con solvencia los diversos cálculos y se tenga un mejor entendimiento de las instalaciones térmicas, en donde exista el transporte de agua caliente y vapor, teniendo siempre en cuenta la eficiencia energética como herramienta fundamental para contribuir a un mayor control de la contaminación ambiental procurando un menor consumo de combustibles.

Los temas abordan situaciones prácticas que cubren conocimientos que el estudiante de Ingeniería Mecánica recibe durante la carrera.

3. OBJETIVOS:

2.1 OBJETIVO GENERAL:

- Inducir al estudiante de Ingeniería Mecánica a la aplicación práctica de sus conocimientos teóricos adquiridos en el Área de Energía, vinculándole con el sector industrial y la práctica del ejercicio profesional.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Identificar los elementos y accesorios que componen el sistema de extracción de aceites esenciales.
- Verificar su principio de funcionamiento.
- Determinar la cantidad de aceite extraído, en función de la masa de materia prima utilizada.
- Determinar las propiedades del aceite extraído como por ejemplo color, olor, densidad.

4. EQUIPOS Y MATERIALES:

5. MARCO TEÓRICO:

Definir los equipos e instrumentos del sistema de extracción de aceites esenciales.

6. PROCEDIMIENTO:

1. Reconocimiento visual de los instrumentos y equipos
2. Toma de datos técnicos y dimensiones de equipos
3. Observación del funcionamiento

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

8. BIBLIOGRAFÍA:

CAPÍTULO V

5. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

5.1 Construcción de partes constitutivas.

5.1.1 Máquinas, herramientas y accesorios utilizados para la construcción del sistema.

Durante el proceso de construcción y montaje del sistema, se utilizan las siguientes máquinas, herramientas y accesorios.

MH1. Soldadora de arco eléctrico.

- MH2. Cortadora de plasma y compresor.
- MH3. Taladro de pedestal.
- MH4. Taladro de mano.
- MH5. Envaroladora.
- MH6. Esmeril.
- MH7. Amoladora.
- MH8. Pulidora.
- MH9. Entenalla.
- MH10. Arco de sierra.
- MH11. Tijeras.
- MH12. Brocas y escariadores.
- MH13. Tarrajas y machuelos
- MH14. Martillos, playos, playos de presión, destornilladores, flexómetros, escuadra, limas, nivel, llaves de tubo, de pico y llaves en general.

5.1.2 Descripción del proceso de construcción.

5.1.2.1 Generador de Vapor

El proceso inicia con el corte de la plancha de acero (dimensiones 120x240 cm), con ayuda del plasma de corte se obtiene una pieza de las dimensiones requeridas, que servirá como carcasa del caldero.

El siguiente paso consiste en llevar la plancha cortada hasta la envaroladora, hasta darle la forma de un cilindro de diámetro y altura conocidos.



Figura 5.1. Carcasa del generador de vapor

Una vez obtenido en las dimensiones requeridas usando la soldadora de arco eléctrico se realiza el cordón de soldadura a lo largo del cilindro, hay que indicar que en un inicio se utiliza un electrodo E6011, para realizar un punteo de referencia, para luego realizar un cordón final con el uso de un electrodo E7018.

A continuación se corta de la misma plancha 2 circunferencias que serán utilizados como espejos del caldero, donde se alojarán los tubos que realizan la transferencia de calor.

Utilizando el plasma y la envaroladora se construye la cámara de combustión, que consiste en un cilindro de dimensiones inferiores que la carcasa.



Figura 5.2. Cámara de combustión

En los espejos con la ayuda del taladro manual y el plasma, se realiza 21 perforaciones en una disposición tres bolillos, donde se va a ubicar los tubos.

Para la transferencia de calor del combustible hacia el agua del caldero se corta 21 tubos de $\frac{1}{2}$ " que se soldara en los espejos.

Con todos los elementos descritos se realiza el ensamble del caldero, soldando a la carcasa la cámara de combustión, los espejos y los tubos.



Figura 5.3. Ensamble de piezas del generador de vapor

Una vez ensamblado las piezas el caldero ha tomado forma, y el siguiente paso es realizar las perforaciones y la soldadura de los neplós para colocar los

accesorios de entrada de agua, salida de vapor, control de nivel, manómetro, válvula de seguridad y la válvula de purga.

Para colocar el quemador de gas se suelda en la parte inferior del caldero cuatro patas de tubo de acero.



Figura 5.4. Entradas y salidas del generador de vapor

Para la salida de los gases de combustión se construye la chimenea utilizando la plancha de acero y tol galvanizado, de las dimensiones descritas en los planos

Para evitar la corrosión de caldero y las zonas soldadas se realiza un fondeo con pintura resistente al calor.

Construida la estructura principal del caldero, se coloca en la parte exterior una lámina de lana de vidrio recubierto de una plancha de tol galvanizado.

Finalmente se coloca los accesorios como son: válvula de entrada de agua, válvula de salida de vapor, válvula de purga, válvulas de control de nivel, manómetro y válvula de seguridad, y se le da un acabado de igual forma con pintura especial resistente al calor, quedando el caldero como se muestra en la figura.



Figura 5.5. Generador de vapor

5.1.2.2 Extractor.

Debido a que el objetivo es obtener un aceite esencial de alta calidad, utilizando plantas de diferentes características que van a estar en contacto directo con el material, se selecciona planchas de acero inoxidable de la serie AISI 304, para la construcción del mismo.

La construcción del extractor empieza a partir del corte de la plancha de acero inoxidable dimensiones (120*240) cm, que será la parte externa del extractor.

Cortada la plancha, el paso siguiente consiste en llevar a la envaroladora, hasta darle la forma de un cilindro de diámetro y altura conocidos.

Una vez obtenido en las dimensiones requeridas usando la soldadora de arco eléctrico se realiza el cordón de soldadura a lo largo del cilindro, realizando un cordón de soldadura con electrodo E318

A continuación se corta de la misma plancha 2 circunferencias, donde la una circunferencia tendrá el diámetro del cilindro que servirá como la tapa inferior del extractor y la otra circunferencia de diámetro conocido se le dará la forma cónica para lograr que el vapor se dirija al mismo punto de salida.

Con el arco de cierra, el siguiente paso consiste en cortar dos pedazos de platina, para luego golpearlos hasta dales la forma de una brida, que servirán para la unión del extractor con la tapa cónica.

Mediante el taladro manual se procede a realizar perforaciones en las 2 bridas, para después soldar pernos de diámetro conocido en la brida del extractor, para en el momento de su funcionamiento tener un ajuste adecuado y evitar fugas de vapor, además de esto se fabrica un empaque de caucho para obtener hermeticidad en el extractor.



Figura 5.6. Bridas con pernos de ajuste del extractor

Seguidamente se procede a soldar la tapa inferior del cilindro y las bridas tanto en el extractor como en la tapa cónica.



Figura 5.7. Brida de la tapa cónica

Luego se corta un tubo de acero inoxidable de longitud pequeña el mismo que se soldara a la tapa cónica, seguidamente en el extremo del tubo se realiza una reducción del diámetro con el fin de poder adaptar una válvula de globo



Figura 5.8. Tapa cónica

Para una distribución equivalente del vapor en el extractor se construye un distribuidor de la forma que se indica en la figura con sus respectivas perforaciones para la salida uniforme del vapor, el mismo que se coloca en la parte inferior del extractor, cabe destacar que el material del distribuidor es de acero inoxidable.



Figura 5.9. Distribuidor de salida del vapor

Para evitar que el condensado salga con suciedad y que el material vegetal tenga contacto con el distribuidor, se construye un tamiz, utilizando un pedazo de plancha de acero inoxidable, el mismo que consta de tres patas y una oreja para poder sacar, después de la extracción de la planta.



Figura 5.10. Tamiz

Construidas las partes principales del extractor, se procede a realizar las perforaciones para instalar instrumentos de medida como son el manómetro y el

termómetro, para la entrada del vapor y salida para la limpieza del mismo, soldando neoplos estandarizados que facilitaran su acople.

Una vez terminado el extractor se procede a cortar 3 tubos de sección cuadrada, que servirán de soporte del extractor, quedando como se muestra en la figura.



Figura 5.11. Extractor

5.1.2.3 Condensador o intercambiador de calor.

Se inicia a partir del corte de dos tubos de acero inoxidable de diámetros diferentes pero longitudes iguales, con la ayuda del arco de cierra, donde por el tubo de menor diámetro fluirá el vapor de agua y aceite, mientras que por el tubo de mayor diámetro fluirá el refrigerante (agua).

Luego se ubica el tubo de menor diámetro dentro del tubo de mayor diámetro, para después utilizando la soldadora tapar los extremos del anular, dejando abiertos los extremos del tubo por donde circula el vapor.

A continuación se corta 2 pedazos pequeños de tubo de igual diámetro del tubo interno, que después se les dará una curvatura para poder acoplar al extractor y al embudo separador.

Para la entrada del refrigerante se perforara en el extremo inicial parte inferior, mientras que para la salida se realiza en el otro extremo parte superior debido a que el agua caliente es menos densa que la fría, en dichas perforaciones se suelda neplos para poder acoplar las respectivas mangueras.



(a)



(b)

Figura 5.12. Entrada de refrigerante (a), salida de refrigerante (b)

5.1.2.4 Soporte del condensador o intercambiador de calor.

Como necesidad del sistema se construye los soportes del intercambiador, donde se corta 2 tubos de hierro galvanizado, 4 pequeños pedazos y 2 pedazos rectangulares de plancha de acero que servirá como base.

Una vez cortado se procede a soldar dichas partes y por consiguiente a darle la forma requerida.

Para poder asegurar el intercambiador con el soporte se fabrica abrazaderas de platina de fácil manejo para su desmontaje como se indica en la figura.



Figura 5.13. Soporte del condensador

5.1.2.5 Soporte del vaso separador.

Para ubicar el vaso separador se procede a cortar 2 pedazos de platina, el mismo que tendrá sus dobles respectivos para poder sujetar mediante tornillos al soporte del intercambiador, a continuación se corta 2 pedazos rectangulares de tol dando la forma más adecuada para poder sujetar al vaso, el mismo que ira unido al soporte del intercambiador de calor.



Figura 5.14. Soporte del vaso separador

5.1.2.6 Vaso separador.

Como se indico anteriormente, el vaso separador no se construye, simplemente se selecciona del mercado y el modelo seleccionado es el que se muestra en la figura.



Figura 5.15. Vaso separador

5.2 Ensamble del sistema.

El ensamble del sistema de extracción se realiza a través de accesorios los cuales se irán describiendo poco a poco durante el desarrollo del ensamble.

El ensamble inicia desde el tanque de suministro de agua, el cual mediante una universal se acopla a la bomba, quien es la que alimenta al caldero y mantiene

el flujo constante del refrigerante por el intercambiador de calor, dicha bomba se conecta a una universal, una válvula check y una tee, donde una salida se dirige a la válvula de globo la cual controla la entrada de agua al caldero, mientras que la otra salida también se conecta con una válvula de globo que regula el fluido del intercambiador de calor.

El ensamble continua en el acople del caldero con el extractor, a través de la válvula de salida del vapor que se une a la tubería hasta llegar a la Tee, donde en una de las salidas se encuentra un manómetro que indica la presión de entrada del vapor al extractor y en la otra salida esta la tubería que acopla a la universal el cual será el accesorio que dividirá al caldero con el extractor.

A partir de la universal sigue la tubería hasta llegar a un codo de 90° el cual se une con una válvula de globo, la misma que servirá como apoyo para regular el flujo del vapor hacia el extractor el mismo que será distribuido por el distribuidor.

Ya en el extractor se coloca el tamiz sobre el distribuidor, que servirá como base para colocar la materia vegetal a extraerse.

En la parte superior del extractor se coloca el empaque de caucho para evitar fugas de vapor, sobre este se coloca la tapa cónica, la misma que será inmovilizada con los pernos y mariposas, de la parte superior de la tapa se encuentra una válvula de globo que ayudara a ganar presión dentro del extractor y además para realizar el vaciado del condensado, esta válvula está unida a una universal, que de manera similar servirá como división entre el extractor y el condensador.

Después de la universal se ensambla el intercambiador de calor, el mismo que se aloja en sus soportes y en el cual se encuentra la entrada y salida del

refrigerante, en dichas entradas y salidas se coloca manguera flexible de agua por donde circula el fluido, cabe recordar que la entrada del refrigerante viene desde la misma bomba que alimenta al caldero y que la salida se dirige hasta el tanque de suministro de agua, con lo cual se obtiene un ciclo cerrado del refrigerante.

Salido del intercambiador de calor, se tiene el vaso separador, donde llega la mezcla de agua y aceite esencial en cual se realiza la separación de la mezcla y se logra obtener el producto deseado.

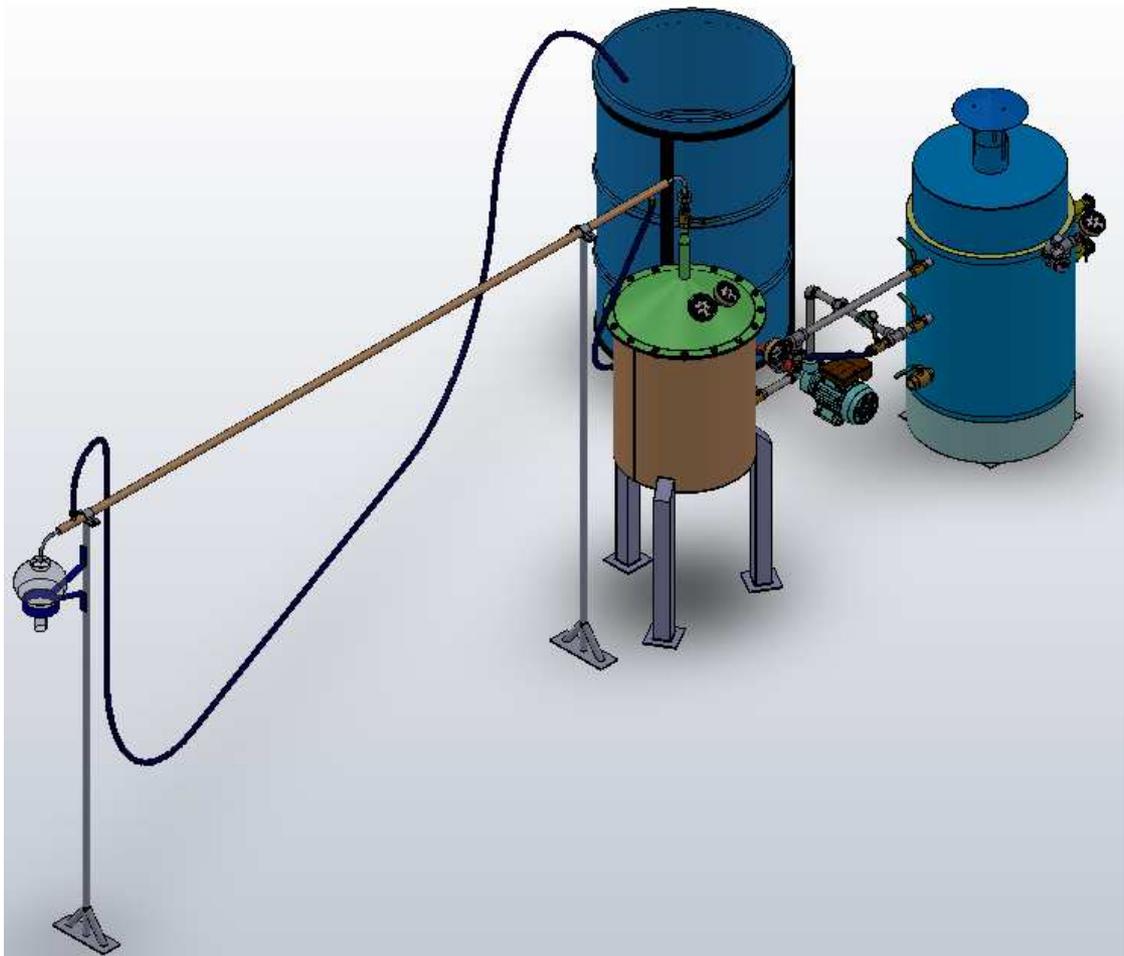


Figura 5.16. Ensamble del sistema

5.3 Pruebas de funcionamiento.

Para realizar las pruebas de funcionamiento, hay que recordar el proceso de extracción de los aceites esenciales, el mismo que se detalla en el diagrama [7].

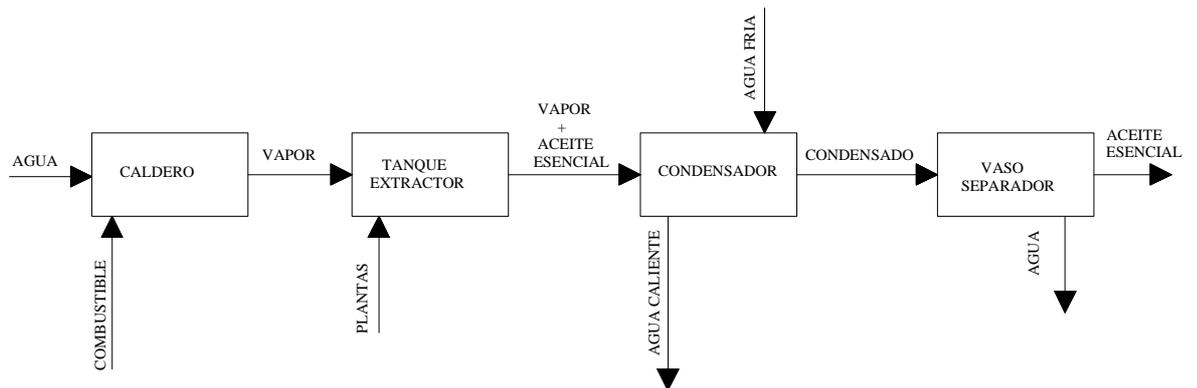


Figura 5.17. Proceso de extracción de los aceites esenciales

Ahora, para poner el conjunto en funcionamiento, se debe tomar en consideración varios aspectos, tales como, los accesorios del equipo se encuentren en buen estado y calibrados, luego que los componentes principales se encuentren a nuestro alcance, como: combustible, agua, energía eléctrica y materia prima (eucalipto, menta, pino, ciprés, etc.).

5.3.1. Desarrollo de la las pruebas de funcionamiento.

a) Preparación del caldero

El proceso de pruebas de extracción de aceites esenciales, empieza con la alimentación de agua al caldero, usando para ello la bomba, abriendo la válvula de entrada de agua, observando que el agua sea limpia y sin ningún tipo de impurezas, una válvula check instalado a la salida de la bomba evita el retorno del agua del caldero.



Figura 5.18. Conexión de la bomba

El caldero se llena hasta obtener unas $\frac{3}{4}$ partes de su capacidad, esto se controla observando en el medidor de nivel instalado en un costado del mismo



Figura 5.19. Medidor de nivel

Antes de encender el quemador, hay que observar que la válvula de purga y la válvula de salida del vapor, se encuentren cerradas, para que en el momento que se encienda el quemador se logre generar el vapor a la presión que se requiera, además hay que regular la válvula de seguridad, a un valor de presión de trabajo requerido.



Figura 5.20. Válvula de seguridad y manómetro

Se enciende el quemador, el mismo que es regulado a una llama apropiada, obteniendo una combustión óptima y completa, para finalmente ser colocado en el hogar, en la parte central del mismo.



Figura 5.21. Quemador

Encendido el quemador hay que esperar unos minutos, hasta observar que el manómetro empieza a marcar un valor de presión, como se explicó en los capítulos anteriores se debe ingresar el vapor al extractor a una presión alrededor de los 40 psig para extraer la mayor parte del aceite esencial contenido en la planta y lograr un buen rendimiento del sistema.



Figura 5.22. Manómetro

b) Preparación de la materia prima y el extractor.

Para colocar la materia prima, se debe primero seleccionar el tipo de planta y la parte de la misma que servirá para la destilación.

Seleccionado una planta fresca, libre de impurezas y suciedades, la cual para ser colocada en el extractor debe ser primero pesada con la ayuda de una balanza.

La colocación en el extractor debe ser de una manera compacta, acomodando de la mejor manera el vegetal, para que el flujo del vapor sea uniforme y pueda arrastrar la mayor cantidad de aceite esencial, se utiliza para ello el distribuidor y el tamiz.



Figura 5.23. Ensamble del tamiz sobre el distribuidor.

La cantidad de materia prima que se coloque en el extractor, dependerá del tipo de vegetal, su peso, parte de la planta en ser aprovechada y principalmente de la capacidad del extractor.

Como el extractor se diseñó en base al cálculo para eucalipto, la capacidad aproximada del extractor es de 5 Kg de eucalipto, variando para otra clase de materia prima.



Figura 5.24. Colocación de la materia prima (eucalipto)

Ubicado la materia prima se coloca la tapa cónica en el extractor y se aprieta con los pernos y mariposas ubicados en el borde del extractor, además se debe

cerrar la válvula de purga y limpieza ubicada en la parte inferior del extractor, evitando fugas de vapor.



Figura 5.25. Ensamble de las mariposas en la tapa cónica.

c) Condensación y separación.

Una vez colocado la materia prima, en el extractor y abierto la válvula de salida de vapor del tal forma que la salida del vapor sea uniforme y constante, empieza el proceso de extracción de aceites esenciales, el vapor es expulsado a través del distribuidor, pasa por el tamiz y atraviesa por la materia vegetal arrastrando los aceites esenciales contenidos en las plantas.

La mezcla de vapor y aceites esenciales es conducido hacia la parte superior del extractor y es desalojado por la tapa cónica, acarreándolo hasta el intercambiador de calor, donde la mezcla se condensa por acción del refrigerante (agua) y se conduce hasta el vaso separador, en el cual el aceite esencial se separa del agua, por diferencia de densidades y donde se puede extraer en recipientes adecuados para aceites esenciales.

Este proceso de extracción dura alrededor de una hora y media, 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 nuestra tesis.

PRUEBAS CON EUCALIPTO

Condiciones iniciales:

- Materia prima (eucalipto): 5 kg.
- Temperatura del extractor: 15°C
- Temperatura del refrigerante: 18°C
- Presión del caldero: 40 psi.

Para las pruebas con eucalipto se realiza el procedimiento descrito anteriormente:

- 1) Preparar el caldero.
- 2) Pesar la materia prima (eucalipto).



Figura 5.26. Peso del eucalipto

- 3) Colocar el eucalipto en el extractor.



Figura 5.27. Hojas de eucalipto dentro del extractor

- 4) Colocar la tapa cónica del extractor y realizar el ajuste de los pernos.



Figura 5.28. Ajuste de pernos

- 5) Acoplar el condensador a la tapa.



Figura 5.29. Ensamble del condensador

6) Colocar el vaso separador.



Figura 5.30. Ensamble del vaso separador

RESULTADOS.

Durante el proceso de extracción, alrededor de 20 minutos se logra claramente visualizar el inicio de la producción de aceite en el vaso separador.



Figura 5.31. Aceite esencial de eucalipto en el vaso separador.

Luego de aproximadamente una hora y media, se observa que el nivel de aceite esencial ya no sube con lo cual se determina que se logra extraer la mayor cantidad de aceite contenido en la planta.

Con lo que se da por terminado el proceso, se cierra el flujo de vapor y se apaga el caldero.

Se retira la tapa cónica del extractor y se observa cómo cambian las características de la planta luego de la extracción.

Como se observa en las fotografías las diferencias de coloración son evidentes y al palpar y oler las hojas también se nota que ha perdido la mayor concentración de olor característico del eucalipto y por ende la cantidad de aceite esencial contenido en la misma.



Figura 5.32. Diferencia entre el antes y el después de la extracción.

Al retirar la materia prima aprovechada, se observa en el fondo del extractor existe una agua residual que se produjo durante el proceso, la misma que se

denomina “agua aromatizada”, que también puede ser aprovechada para varios usos.



Figura 5.33. Purgado del agua aromatizada.

Finalizado todo el proceso, se obtiene los siguientes resultados.

TABLA 5.1. DATOS DE LA EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE EUCALIPTO.

Tiempo (minutos)	Aceite (ml)	Volumen de Emulsión (ml)	Temperatura del Extractor (°C)	Temperatura Condensado (°C)
0	0	0	15	0
5	0	0	18	0
10	0	50	20	23
15	2	200	30	26
20	4	600	45	30
25	15	1050	70	32
30	20	1300	80	37
35	25	1600	87	39
40	30	1950	87	41
45	32	2300	87	41
50	33	2500	87	40
55	34	2700	87	39
60	35	2850	87	38
65	35	3000	87	37
70	36	3100	87	38
75	36	3250	87	38
80	37	3550	87	40
85	37	3850	87	41
90	37	4000	87	40

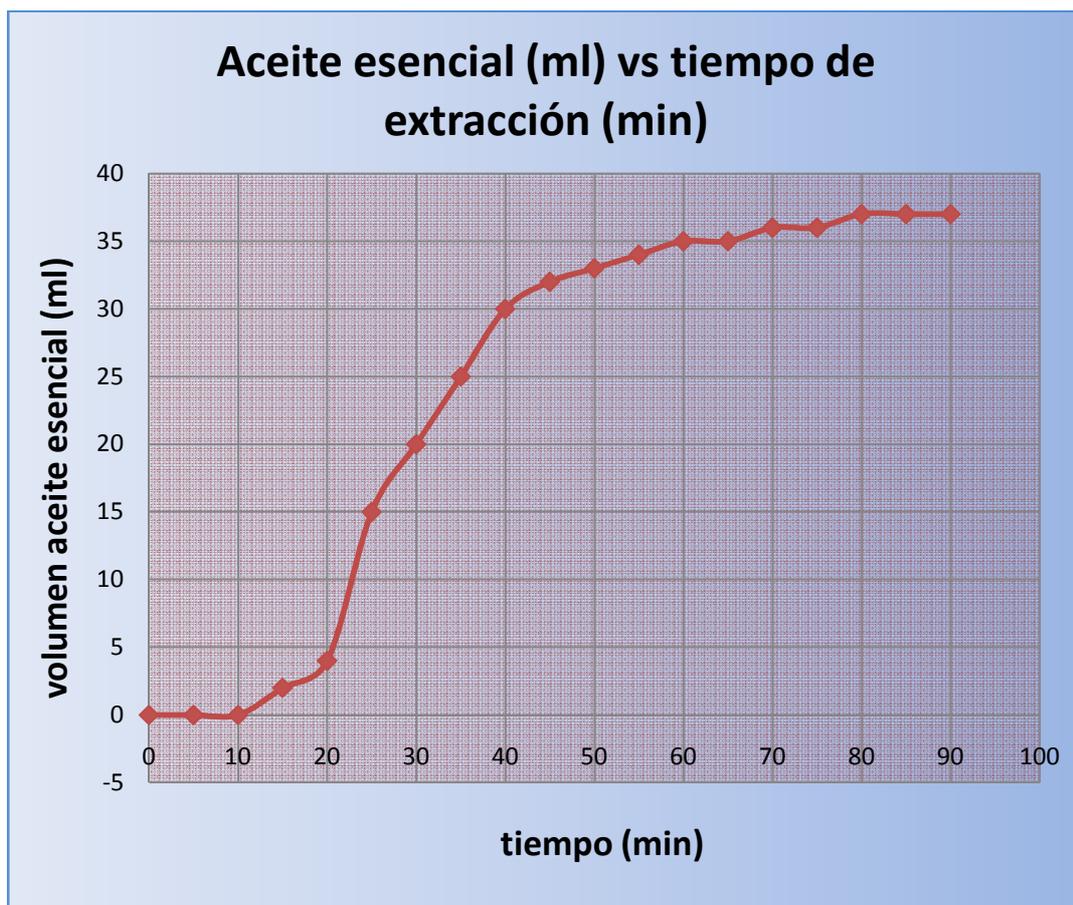


Figura 5.34. Curva de extracción del eucalipto

De la figura 5.34, en donde se expone la relación entre el volumen de aceite esencial extraído por el tiempo, de la cual se anota lo siguiente: Existe un tiempo muerto de extracción de 10 minutos que corresponde al tiempo transcurrido desde la inyección del vapor hasta la aparición del primer condensado de aceite esencial.

En la curva se observa que la extracción del aceite es rápida a partir del tiempo muerto hasta los 50 minutos donde se extrae alrededor del 89% del aceite.

El tiempo óptimo de extracción esta alrededor de los 50 minutos; sin embargo, todas las pruebas efectuadas se hicieron por un tiempo de 90 minutos con el fin extraer la mayor cantidad de aceite.

PRUEBAS CON MENTA

Condiciones iniciales:

- Materia prima (menta): 5 kg.
- Temperatura del extractor: 18°C
- Temperatura del refrigerante: 18°C
- Presión del caldero: 40 psi.

Para las pruebas con menta se realiza el procedimiento descrito previamente:

- 1) Preparar el caldero.
- 2) Pesar la materia prima (menta).



Figura 5.35. Preparación de la menta.

- 3) Colocar la menta en el extractor, cabe mencionar que para obtener una mejor extracción de esta planta se debe ubicar en pequeños trozos.



Figura 5.36. Menta picada para colocar en el extractor.

- 4) Colocar la tapa cónica del extractor y realizar el ajuste de los pernos.



Figura 5.37. Ajuste de pernos.

- 5) Acoplar el condensador a la tapa.



Figura 5.38. Ensamble condensador

6) Colocar el vaso separador.



Figura 5.39. Ensamble vaso separador.

RESULTADOS

Durante el proceso de extracción, alrededor de 30 minutos se logra claramente visualizar el inicio de la producción de aceite en el vaso separador.



Figura 5.40. Aceite esencial de menta en el vaso separador.

De igual manera que en las pruebas con eucalipto, luego de aproximadamente 90 minutos, se observa que el nivel de aceite esencial ya no sube con lo cual se determina que se logra extraer la mayor cantidad de aceite contenido en la planta.

Con lo que se da por terminado el proceso, se cierra el flujo de vapor y se apaga el caldero.

Se retira la tapa cónica del extractor y se observa cómo cambian las características de la planta luego de la extracción.

Como se observa en las fotografías las diferencias de coloración son evidentes y al palpar y oler las hojas también se nota que ha perdido la mayor concentración de olor característico de la menta y por ende la cantidad de aceite esencial contenido en la misma.



Figura 5.41. Diferencias, antes y después de la extracción.

Al retirar la materia prima aprovechada, se observa en el fondo del extractor existe una agua residual que se produjo durante el proceso, la misma que se denomina “agua aromatizada”, que también puede ser aprovechada para varios usos.

Finalizado todo el proceso, se obtiene los siguientes resultados.

TABLA 5.2. DATOS DE LA EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE MENTA.

TIEMPO (minutos)	Aceite (ml)	Volumen de Emulsión (ml)	Temperatura del Extractor (°C)	Temperatura Condensado (°C)
0	0	0	18	0
5	0	0	23	0
10	0,5	100	60	22
15	1	250	80	25
20	2	600	87	27
25	3	1000	87	30
30	4	1500	87	35
35	5,5	2200	87	40
40	8	2500	87	41
45	9	2750	87	40
50	10	3100	87	39
55	11	3450	87	38
60	11	3600	87	38
65	11	3850	87	39
70	11,5	4000	87	40
75	12	4150	87	40
80	12	4250	87	41
85	12	4400	87	40
90	12	4500	87	41

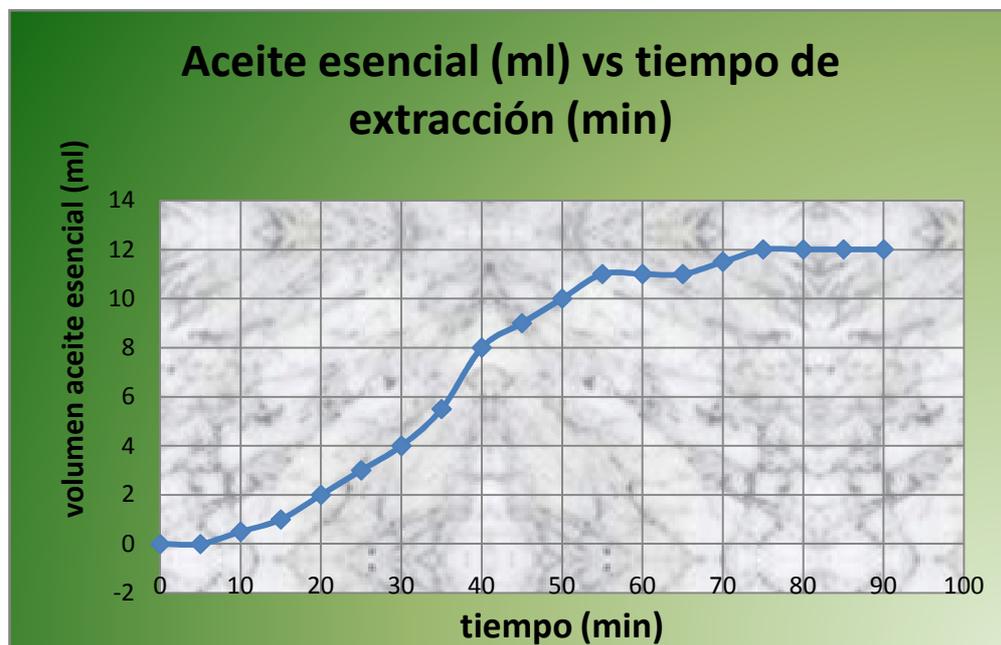


Figura 5.42. Curva de extracción de la menta

De la figura 5.42, en donde se expone la relación entre el volumen de aceite esencial extraído por el tiempo, de la cual se anota lo siguiente: Existe un tiempo muerto de extracción, alrededor de los 10 minutos que corresponde al tiempo transcurrido desde la inyección del vapor hasta la aparición del primer condensado de aceite esencial.

En la curva se observa que la extracción del aceite es rápida a partir del tiempo muerto hasta los 60 minutos donde se extrae alrededor del 91.6% del total de aceite esencial extraído.

PRUEBAS CON CIPRÉS.

Condiciones iniciales:

- Materia prima (ciprés): 5 kg.
- Temperatura del extractor: 17°C
- Temperatura del refrigerante: 18°C
- Presión del caldero: 40 psi.

Para las pruebas con ciprés se realiza el procedimiento descrito previamente:

- 1) Preparar el caldero.
- 2) Pesar la materia prima (ciprés).



Figura 5.43. Muestra de ciprés.

- 3) Colocar el ciprés en el extractor.



Figura 5.44. Colocación del ciprés en el extractor.

- 4) Colocar la tapa cónica del extractor y realizar el ajuste de los pernos.



Figura 5.45. Ajuste de pernos.

- 5) Acoplar el condensador a la tapa.



Figura 5.46. Ensamble del condensador.

6) Colocar el vaso separador.



Figura 5.47. Ensamble del vaso separador.

RESULTADOS.

Durante el proceso de extracción, alrededor de los 25 minutos se logra visualizar el inicio de la producción de aceite en el vaso separador.



Figura 5.48. Aceite esencial de ciprés en el vaso separador.

De igual manera que en las pruebas con eucalipto y menta, luego de aproximadamente 90 minutos, se observa que el nivel de aceite esencial ya no sube con lo cual se determina que se logra extraer la mayor cantidad de aceite contenido en la planta.

Con lo que se da por terminado el proceso, se cierra el flujo de vapor y se apaga el caldero.

Se retira la tapa cónica del extractor y se observa cómo cambian las características de la planta luego de la extracción.

Como se observa en las fotografías las diferencias de coloración son evidentes y al palpar y oler las ramas también se nota que ha perdido la mayor concentración de olor característico del ciprés y por ende la cantidad de aceite esencial contenido en la misma.



Figura 5.49. Diferencias, antes y después de la extracción.

Al retirar la materia prima aprovechada, se observa en el fondo del extractor existe una agua residual que se produjo durante el proceso, la misma que se denomina “agua aromatizada”, que también puede ser aprovechada para varios usos.

Finalizado todo el proceso, se obtiene los siguientes resultados.

TABLA 5.3. DATOS DE LA EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE CIPRÉS.

TIEMPO (minutos)	Aceite (ml)	Volumen de Emulsión (ml)	Temperatura del Extractor (°C)	Temperatura Condensado (°C)
0	0	0	17	0
5	0	0	25	0
10	0	40	50	25
15	0,5	150	75	28
20	1	450	87	30
25	2	850	87	32
30	3	1200	87	37
35	4	1400	87	39
40	4	1750	87	40
45	5	2100	87	41
50	5	2450	87	42
55	6	2650	87	40
60	6	2850	87	40
65	7	3000	87	39

70	7	3100	87	40
75	7	3250	87	41
80	8	3650	87	40
85	8	3900	87	41
90	8	4300	87	40

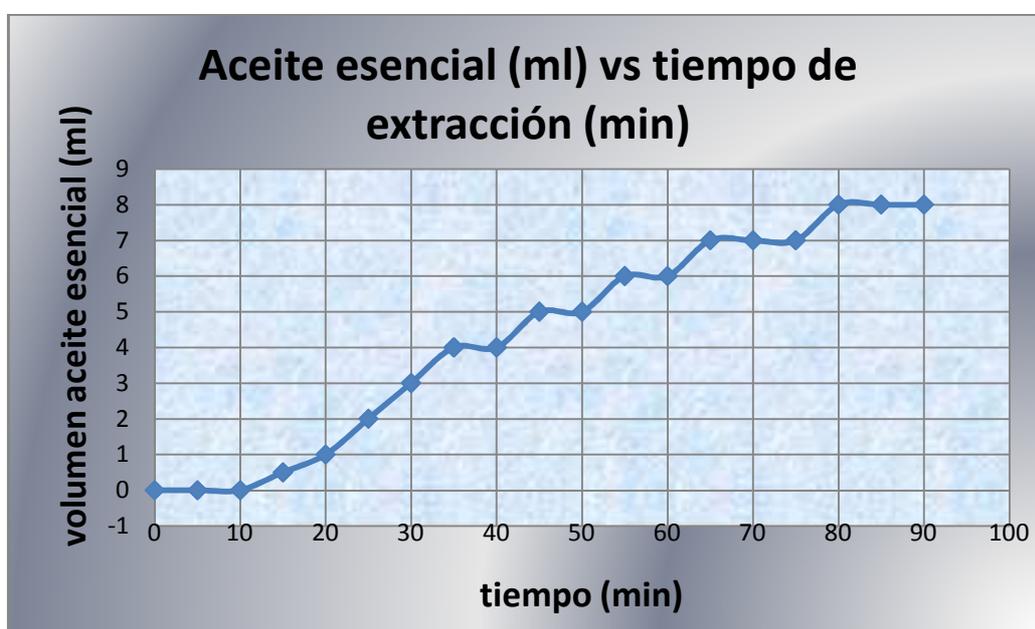


Figura 5.50. Curva de extracción del ciprés

De la figura 5.50, en donde se expone la relación entre el volumen de aceite esencial extraído por el tiempo, de la cual se anota lo siguiente: Existe un tiempo muerto de extracción, alrededor de los 15 minutos que corresponde al tiempo transcurrido desde la inyección del vapor hasta la aparición del primer condensado de aceite esencial.

En la curva se observa que la extracción del aceite es rápida a partir del tiempo muerto hasta los 60 minutos donde se extrae alrededor del 75% del total de aceite esencial extraído.

5.4 Caracterización de los aceites esenciales extraídos

Para la caracterización de las muestras de aceites esenciales extraídas, se hace uso del laboratorio de Ing. Química de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, las mismas que se realizan siguiendo métodos estandarizados para este tipo de productos, las medidas se realizan por triplicado para dar mayor confiabilidad a las lecturas, las propiedades y el procedimiento que se siguió se describe a continuación:

5.4.1 Índice de refracción (n_d).

Para determinar el índice de refracción se utiliza el Refractómetro, el mismo que debe ser colocado sobre una superficie limpia y plana, a través de los siguientes pasos:

- Abrir y limpiar con agua el porta muestras.
- Colocar la muestra de aceite esencial sobre el cristal del porta muestras (pequeñas gotas), formando una pequeña película de aceite.
- Cerrar el porta muestras y abrir el conducto de entrada de luz, para visualizar mejor.

- Calibrar el refractómetro con ayuda de las perillas.
- Lectura de datos, además del índice de refracción el refractómetro nos indica el porcentaje azúcar (% Wag), cuyo dato no es necesariamente relevante para la caracterización de aceites esenciales.



Figura 5.51. Refractómetro.

5.4.2 PH

A mas de tomar el índice de refracción se mide el PH con el Peachímetro, donde hay que tomar en cuenta los pasos siguientes para su utilización.

- Conectar el equipo a una red eléctrica.
- Calibrar el Peachímetro, en donde se debe verificar que dicho equipo arroje un ph neutro, es decir que oscile entre 6 y 7, para lo cual se lava el electrodo de medida con un liquido neutro (agua destilada)



Figura 5.52. Peachímetro.

- Ubicar el electrodo de medida en la muestra, hay que tener precaución, en el momento de la medición el electrodo no debe topar las paredes ni el fondo del recipiente, con el fin de obtener un resultado confiable.
- Lectura de datos.



Figura 5.53. Lectura de la muestra

5.4.3 Densidad.

Los elementos que se utilizan para tomar datos y poder calcular la densidad son:

- El Picnómetro, aparato que se utiliza para determinar las densidades de distintas sustancias. También se conoce como frasco de densidades. Consiste en un pequeño frasco de vidrio de cuello estrecho, cerrado con un tapón esmerilado, hueco y que termina por su parte superior en un tubo capilar con graduaciones, en el cual se va a ubicar la muestra, para lo cual inicialmente hay que lavar y desinfectar, para después llevar al horno eléctrico, la capacidad del picnómetro es de 10 ml.



Figura 5.54. Picnómetro.

- Horno eléctrico o estufa, el mismo que nos ayuda en el secado de los Picnómetros, elevando la temperatura hasta unos 105 °C, con el objeto de eliminar toda la humedad de dichos elementos.



Figura 5.55. Horno eléctrico

- A continuación se lleva los Picnómetros al desecador, el cual posee una tapa la misma que se debe zarandear en movimientos circulares, durante varios segundos para que la silica pueda extraer los gases y humedad.



Figura 5.56. Colocación de picnómetros en el desecador.

- Terminado el proceso, se procede a tomar la masa de los picnómetros (vacíos) con ayuda de una balanza.



Figura 5.57. Balanza digital.

- Finalmente se ubica las muestras de aceites esenciales, dentro de ellos, con el objetivo de tomar su respectiva masa (picnómetro + muestra).



Figura 5.58. Muestras de aceites esenciales.

5.4.3.1 Cálculo de la Densidad.

$$\delta = \frac{M_2 - M_1}{V} \quad (5.1)$$

Donde,

δ : Densidad.

M_1 : Masa del recipiente (picnómetro) vacío.

M_2 : Masa del recipiente (picnómetro) + muestra (aceite esencial).

V : Volumen de aceite esencial.

Densidad del Eucalipto

TABLA 5.4 DATOS DEL PICNÓMETRO CON ACEITE ESENCIAL DE EUCALIPTO.

	Peso picnómetro	M (g)
M1	Recipiente vacío	13,3747
M2	Aceite + recipiente	22,3705

$$\delta = \frac{M_2 - M_1}{V}$$

$$\delta = \frac{22.3705 - 13.3747}{10}$$

$$\delta = 0.89958 \text{ g/ml}$$

TABLA 5.5. CARACTERIZACIÓN DE MUESTRA DE EUCALIPTO

Medición	ÍNDICE DE REFRACCIÓN (nd) Temperatura (18 °C)	% Wag	PH Temperatura (19 °C)	DENSIDAD (g/ml) Muestra extraída	DENSIDAD (g/ml) teórico
1	1,464	69,5	4,82	0,8995	0,921
2	1,462	69			
3	1,462	69			
Promedio	1,4626	69,1666			

Densidad de la Menta

TABLA 5.6. DATOS DEL PICNÓMETRO CON ACEITE ESENCIAL DE MENTA.

	Peso picnómetro	M (g)
M1	Vacio	12,2541
M2	Aceite + recipiente	21,7938

Utilizando la ecuación (5.1)

$$\delta = \frac{M_2 - M_1}{V}$$

$$\delta = \frac{21.7938 - 12.2541}{10}$$

$$\delta = 0.95397 \text{ g/ml}$$

TABLA 5.7. CARACTERIZACIÓN DE MUESTRA DE MENTA.

Medición	ÍNDICE DE REFRACCIÓN (η_d) Temperatura (18 °C)	% Wag	PH Temperatura (19 °C)	DENSIDAD (g/ml) muestra extraída	DENSIDAD (g/ml) teórico
1	1,47	72	4,04	0,9539	0,908
2	1,469	71,5			
3	1,468	71,5			
Promedio	1,469	71,6666			

Densidad del Ciprés

TABLA 5.8. DATOS DEL PICNÓMETRO CON ACEITE ESENCIAL DE CIPRÉS.

	Peso picnómetro	M (g)
M1	Vacio	18,3858
M2	Aceite + recipiente	27,3477

Utilizando la ecuación (5.1)

$$\delta = \frac{M_2 - M_1}{V}$$

$$\delta = \frac{27.3477 - 18.3858}{10}$$

$$\delta = 0.89619 \text{ g/ml}$$

TABLA 5.9. CARACTERIZACIÓN DE MUESTRA DEL CIPRÉS.

Medición	ÍNDICE DE REFRACCIÓN (η_d) Temperatura (18 °C)	% Wag	PH Temperatura (19 °C)	DENSIDAD (g/ml) muestra extraída	DENSIDAD (g/ml) teórico
1	1,474	73,5	5,43	0,8962	0,871
2	1,474	74			
3	1,473	73,5			
Promedio	1,4737	73,6667			

5.4.4 Rendimiento

Para determinar el rendimiento, se considera el rendimiento que se obtenga de la materia prima extraída comparándolo con el rendimiento teórico, como todo el diseño está basado en la extracción de aceite esencial de eucalipto, se comparara con este rendimiento.

Entonces, si se conoce que se procesa para destilar 5000 gramos de hierba de eucalipto y se conoce el volumen extraído 37 ml, con ayuda de la densidad obtenido en laboratorio de dicho aceite, se obtiene la masa de este aceite

$$m = \delta \times v \quad (5.2)$$

$$m = 0,8995 \frac{g}{ml} \times 37ml$$

$$m = 33,28 g$$

Se ha convertido ese volumen a masa, lo que permite relacionarlo con la masa de la hierba usada al destilar, según el siguiente razonamiento:

Si destilando **X** gramos de hierba, he obtenido **Y** gramos de aceite, al destilar 100 gramos de hierba obtendré **Z** gramos de aceite esencial.

Z es el porcentaje de rendimiento para esa hierba, en este caso eucalipto.

$$\begin{array}{rcl} 5000 \text{ g} & \rightarrow & 33,28 \text{ g} \\ 100 \text{ g} & \rightarrow & 0,67 \text{ g} \end{array}$$

0,67% es el porcentaje de rendimiento para el eucalipto en nuestro sistema.

Comparado con el rendimiento teórico 0,8%, se observa que la diferencia nos es significativa.

5.5 Caracterización de aceites esenciales obtenidos del mercado

Para tener una referencia de los resultados obtenidos de nuestras muestras, se realiza, las mismas pruebas con muestras de aceites esenciales obtenidas en el mercado, obteniendo los siguientes resultados:



Figura 5.36. Muestras de menta y eucalipto del mercado.

Densidad del Eucalipto

TABLA 5.10. DATOS DEL PICNÓMETRO CON ACEITE ESENCIAL DE EUCALIPTO (MERCADO).

	Peso picnómetro	M (g)
M1	Vacio	13.3747
M2	Aceite + recipiente	20,9598

Utilizando la ecuación (5.1)

$$\delta = \frac{M_2 - M_1}{V}$$

$$\delta = \frac{20.9598 - 13.3747}{10}$$

$$\delta = 0,7585 \text{ g/ml}$$

TABLA 5.11. CARACTERIZACIÓN DE MUESTRA DEL EUCALIPTO (MERCADO).

Medición	ÍNDICE DE REFRACCIÓN (nd) Temperatura (18 °C)	% Wag	PH Temperatura (19 °C)	DENSIDAD (g/ml) muestra mercado	DENSIDAD (g/ml) teórico
1	1,459	67,5	5,04	0,7585	0,921
2	1,46	67,4			
3	1,46	67,5			
Promedio	1,4597	67,4667			

Densidad de la Menta

TABLA 5.12 DATOS DEL PICNÓMETRO CON ACEITE ESENCIAL DE MENTA.

	Peso picnómetro	M (g)
M1	Vacio	12,2541
M2	Aceite + recipiente	21,9152

Utilizando la ecuación (5.1)

$$\delta = \frac{M_2 - M_1}{V}$$

$$\delta = \frac{21,9152 - 12,2541}{10}$$

$$\delta = 0,9661 \text{ g/ml}$$

TABLA 5.13. CARACTERIZACIÓN DE MUESTRA DE MENTA (MERCADO).

Medición	ÍNDICE DE REFRACCIÓN (ηd) Temperatura (18 °C)	% Wag	PH Temperatura (19 °C)	DENSIDAD (g/ml) muestra mercado	DENSIDAD (g/ml) teórico
1	1.443	60,5	4,87	0,9661	0,908
2	1.441	60			
3	1.443	60			
Promedio	1442,3333	60,1667			

Como se puede apreciar, los resultados obtenidos en el laboratorio para las muestras extraídas por el sistema de extracción, son similares a los obtenidos en el mercado y a los existentes en teoría de aceites esenciales.

CAPÍTULO VI

6. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL SISTEMA.

6.1 Costos [12]

Al analizar los costos de los equipos para la extracción de aceites esenciales, se debe tomar en cuenta los costos directos; costos de mano de obra; costos de utilización de maquinaria.

A continuación se detallan los costos de:

6.1.1 Costos directos.

6.1.1.1 Materiales y accesorios

Costos de materiales del generador de vapor

TABLA 6.1. COSTOS DE MATERIALES DEL GENERADOR DE VAPOR.

Cantidad	Denominación	Características	Costo Unitario (medidas estándar)	Costo total (\$)
1	Planchas de acero naval ASTM 131- grado A	(150x60x0,5)cm	135	42,19
1	Planchas de acero naval ASTM 131- grado A	(120x25x0,5)cm	135	14,06
1	Planchas de acero naval ASTM 131- grado A	(150x16x0,5)cm	135	11,25
1	Planchas de acero naval ASTM 131- grado A	(35x10x0,2)cm	85	1,03
1	Planchas de acero Galvanizado	(160x60x0,1)cm	26	8,67
1	Planchas de acero Galvanizado	(30x30x0,1)cm	26	0,81
1	Espejo de acero naval ASTM 131- grado A	diam 44x0,5 cm	135	7,13
1	Espejo de acero naval ASTM 131- grado A	diam 38x0,5 cm	135	5,32

1	Espejo de acero naval ASTM 131- grado A	diam 47x0,5 cm	135	8,13
2	Anillo de acero naval ASTM 131- grado A	diam ext 44, diam int 38x0,5 cm	135	7,13
750 cm	Platina ASTM 36	3/4" x 1/8"	6	7,50
70 cm	Platina ASTM 36	3/4" x 1/8"	6	0,7
462 cm	Tubo acero Galvanizado	diam 1/2"	18	13,86
26	Remaches	1/8" x 1/2"	0,02	0,52
11	Neplos perdidos	1/2"	0,25	2,75
3	Neplos largos	1/2" x 3"	0,45	1,35
1	Neplo	1"	0,6	0,6
1	Bushing	reduc 1/2" a 1/4"	0,7	0,7
3	Uniones	1/2"	0,55	1,65
4	Codos 90°	1/2"	0,45	1,8
3	Tee	1/2"	0,6	1,8
1	Manómetro	rango (0 a 200 psi)	20	20
1	Válvula de globo	DN15 1" PN30	8	8
2	Válvula de globo	DN15 1/2" PN30	3,5	7
1	Válvula de seguridad	150 psi	15	15
1	Válvula check	1/2"- 125S- 200W00	13	13
1	Manómetro	rango (0 a 100 psi)	20	20
1	Juego de nivel		88	88
1	Universal	1/2"	1	1
2 Kg	Lana de vidrio	Espesor 1 plg.	4	8
1	Tanque de gas	15 Kg	100	100
2 m	Manguera industrial para gas	3/8"	3	6
1	Válvula industrial	para gas	6	6
1	Abrazadera	3/8"	0,3	0,3
1	Quemador para gas	3 segmentos-190 agujeros Ø=1/8	60	60
1	Tanque plástico	200 L	30	30
1	Adaptador Polimex	1"	4,5	4,5
2	Neplos Polimex	1"	2,5	5
1	Universal plástica polimex	1"	3	3
1	Bomba	1/2 HP	45	45
1	Bushing	reduc 1" a 1/2"	0,85	0,85
90 cm	Tubo acero Galvanizado	1/2"	18	2,70
1	Breaker	110 V 10A	6,5	6,5
1	Contactador	110 V 10A	12	12
1	Luz piloto	color verde	3	3
1	Luz piloto	color rojo	3	3
1	Selector	3 posiciones	3,5	4
1	Bornera		0,5	0,5

4m	Cable concéntrico	AWG 2x14	\$2,80/metro	11,2
1	Caja eléctrica	(16x16)cm	25	25
10 Kg	Electrodos	6011	\$70/20Kg	35
10 Kg	Electrodos	7018	\$85/20Kg	42,5
1 Litro	Pintura anticorrosiva de calor	color azul	3,5/Litr.	3,5
1/2 Litro	Tiñer		3/Litr.	1,5
TOTAL				729,50

Costos de materiales del extractor

TABLA 6.2. COSTOS DE MATERIALES DEL EXTRACTOR.

Cantidad	Denominación	Características	Costo Unitario (medidas estándar)	Costo total (\$)
1	Plancha de acero AISI 304	(130x50x0,2)cm	325	73,35
1	Plancha de acero AISI 304	(60x60x0,2)cm	325	40,63
1	Espejo de acero AISI 304	diam 41x0,2 cm	325	14,90
1	Espejo de acero AISI 304	diam 39x0,1 cm	325	13,48
2	Anillos acero AISI 304	diam ext 47, diam int 41x 0,3 cm	325	19,58
20 cm	Tubo de acero AISI 304	diam 3/4"	120	4,00
38 cm	Tubo de acero AISI 304	diam 3/4"	120	7,60
80 cm	Tubo de acero AISI 304	diam 3/8"	60	8
16	Pernos	5/16"	0,15	2,4
16	Mariposas	5/16"	0,1	1,6
1	Empaque de caucho	diam ext 47, diam int 41	10	10
165 cm	Tubo Estructural ASTM A-500	(50x50) mm	25	6,875
1	Universal de acero AISI 304	diam 1/2"	2,5	2,5
5	Neplos	diam 1/2"	1,5	7,5
1	Neplo	diam 3/8"	0,95	0,95
1	Codo 90°	diam 1/2"	1,35	1,35
2	Uniones de acero AISI 304	diam 1/2"	3	6
1	Válvula de Globo de AISI 304	diam 1/2"	12	12
1	Válvula de Globo de bronce	diam 1/2"	3,5	3,5
1	Bushing de acero AISI 304	diam 1/2" a 3/8"	2,50	2,50

1	Bushing de acero AISI 304	diam 1/2" a 5/16"	2	2
1	Manómetro	Rango: (0 - 100) psi	20	20
16 cm	Tubo acero Galvanizado	1/2"	18	0,48
1	Termómetro	Rango: (10 - 150) °C	45	45
2 Kg	Electrodos	3/32 - 308 ESAB	\$34,65/1Kg	69,3
1/2 Litro	Pintura resistente al calor	color plata	\$20/Litr.	10
TOTAL				385,49

Costos de materiales del intercambiador de calor

TABLA 6.3. COSTOS DE MATERIALES DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR.

Cantidad	Denominación	Características	Costo Unitario (medidas estándar)	Costo total (\$)
256 cm	Tubo de acero AISI 304	diam 3/4"	120	51,2
256 cm	Tubo de acero AISI 304	diam 1/4"	80	34,13
46 cm	Tubo de acero AISI 304	diam 3/8"	60	4,60
382 cm	Tubo de acero galvanizado	diam 1/2"	18	11,46
2	Planchas	(25x10x0,03) cm	85	0,74
2	Bisagras		0,3	0,6
50cm	Platina	3/4" x 1/8"	6	0,50
1	Válvula de globo	diam 1/2"	3,5	3,5
1	Neplo perdido	diam 1/2"	0,25	0,25
1	Acople para manguera	diam 1/2"	1,5	1,5
2	Acople para manguera	diam 3/8"	1,25	2,5
10 m	Manguera de presión	diam 1/2"		10
3	Abrazaderas	diam 3/8"	0,3	0,9
1/2 Kg	Electrodos	3/32 - 308 ESAB	\$34,63/1Kg	17,6
1/4 Litro	Pintura resistente al calor	color plata	\$20/Litr	5
TOTAL				144,48

Costos de materiales del vaso separador

TABLA 6.4. COSTOS DE MATERIALES DEL VASO SEPARADOR.

Cantidad	Denominación	Características	Costo Unitario (medidas estándar)	Costo total (\$)
1	Vaso separador	Capacidad 500 ml/cc	66,1	66,1
1	Probeta de vidrio	Capacidad 25 ml/cc	4	4
48 cm	Platina de acero AISI 304	3/4" x 1/8"	10	0,8
33 cm	Platina de acero AISI 304	3/4" x 1/8"	10	0,55
2	Bisagras		0,3	0,6
1	Perno	5/16"	0,05	0,05
1	Tuerca	diam 3/4"	0,05	0,05
2	Tornillos	diam 3/4"	0,05	0,1
1/2 Kg	Electrodos	3/32 - 308 ESAB	\$34,63/1Kg	17,6
1/4 Litro	Pintura resistente al calor	color plata	\$20/Litr.	5
TOTAL				94,85

El costo total por materiales para el sistema de extracción de aceites esenciales será:

TABLA 6.5. COSTO TOTAL POR MATERIALES.

EQUIPO	VALOR (USD)
Generador de vapor	729,50
Extractor	385,49
Intercambiador de calor	144,48
Vaso separador	94,85
TOTAL	1354,32

6.1.1.2 Análisis de costos por maquinaria y equipos utilizados.

TABLA 6.6. COSTOS POR MAQUINARIA Y EQUIPOS UTILIZADOS.

Nº	MÁQUINA HERRAMIENTA	TIEMPO (h)	TARIFA (\$./ h)	COSTO TOTAL (\$)
1	Varolado	4	15	60
2	Soldadora Eléctrica	27	10	270
3	Soldadura MIG	3	12	36
4	Cortadora por plasma	11	10	110
5	Taladro de pedestal	6	10	60
6	Taladro de mano	8	5	40
7	Dobladora	1	10	10
8	Esmeril	3	5	15
9	Pulidora/Amoladora	6	5	30
10	Compresor	3	10	30
11	Escariado	3	3	9
12	Otros Equipos	3	10	30
TOTAL:		78		700

6.1.1.3 Costos por mano de obra.**TABLA 6.7. COSTOS POR MANO DE OBRA.**

Trabajador	N. de horas	Costo usd / hora	Total (usd)
Maestro mecánico	78	2	156
Ayudante mecánico	78	1	78
TOTAL			234

6.1.1.4 Costos por transporte:

TABLA 6.8. COSTOS POR TRANSPORTE.

Operaciones	Cantidad	Unidad	Precio Unit.	Total (usd)
Transporte de materiales al taller	10	hora	1,25	12,5
Transporte de la máquina a la planta	5	hora	1,25	6,25
Otros	5	hora	1,25	6,25
SUBTOTAL				25

El valor total por costos directos es:

TABLA 6.9. VALOR TOTAL COSTOS DIRECTOS

COSTOS POR	VALOR (USD)
Materiales y accesorios	1354,315255
Maquinaria y equipo utilizado	700
Mano de obra	234
Transporte	25
TOTAL COSTOS DIRECTOS	2313,315255

6.1.2 Costos indirectos.

TABLA 6.10. COSTOS INDIRECTOS.

DETALLE	CANTIDAD (% CD)	VALOR (USD)
Ingenieriles (Diseño y supervisión)	10%	231,33
Imprevistos	5%	115,66
Utilidad	0	0
TOTAL COSTOS INDIRECTOS		346,99

6.1.3 Costos totales.

Los costos totales equivalen a la suma de los costos directos más los costos indirectos. Sumados nos arrojan como resultado un valor de **2660,30usd** (dos mil seis cientos sesenta y treinta centavos).

TABLA 6.11. COSTOS TOTALES.

COSTOS	TOTAL (USD)
COSTOS DIRECTOS	2313,31
COSTOS INDIRECTOS.	346,99
TOTAL:	2660,30

6.1.4 Análisis de costos por operación y mantenimiento.

De acuerdo al diseño realizado para la extracción de aceites esenciales, se puede hallar un valor aproximado en cuanto se refiere a costos por operación y mantenimiento, cabe indicar, que un verdadero análisis solo se podrá obtener mediante datos estadísticos tomados en un rango de tiempo considerable de funcionamiento del sistema.

Se considera un período de trabajo de la máquina al día de 8 horas. También se considera como días laborables en un mes un valor de 22 días. Los datos por operación y mantenimiento se describen a continuación:

TABLA 6.12. COSTOS POR OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.

Detalle	Unidad	Costo Unitario (USD)	Consumo diario (8 horas)	Costo Total Diario (USD)	Costo Total Mensual (USD)
Materia prima	Kg	0,25	20	5	110
Consumo agua	Metro cúbico	0,32	0,8	0,25	5,63
Consumo energía eléctrica	Kw/h	0,12	2,96	0,35	7,81
Combustible (GLP)	Kg	0,11	6	0,66	14,52
Operario	USD	11	11	11	242
Materiales para limpieza	USD	0,23	0,23	0,23	5,06
Total				17,50	385,03

Por lo tanto se tendrá un costo mensual por operación y mantenimiento de **385,03 USD**

El costo para producir un ml de aceite esencial sin ningún tipo de utilidad, será:

$$\text{Costo de un ml de aceite esencial} = \frac{\text{Costo total diario(USD)}}{\text{Produccion diaria (ml)}} \quad (6.1)$$

$$\text{Costo de un ml de aceite esencial} = \frac{17,50(\text{USD})}{148 (\text{ml})}$$

$$\text{Costo de un ml de aceite esencial} = 0.12 \frac{(\text{USD})}{(\text{ml})}$$

6.1.5 Otros.

Salvamento de la máquina:

Para efectos de cálculos de rentabilidad, se hace necesaria la estimación de un valor de salvamento del sistema de extracción de aceites esenciales, al momento en el que haya terminado su vida legal contable.

Se estima un valor de salvamento del 10% del costo de inversión en función de que los elementos constitutivos del sistema de extracción de aceites esenciales, sigan funcionando al término de su vida útil contable. Se tiene:

Inversión: $P = 2660,30$ usd

Salvamento de la máquina:

$$S = 10\% \times P \quad (6.2)$$

$$S = 0,10 * 2660,30 \text{ usd}$$

$$S = 266.03 \text{ usd.}$$

Depreciación de la máquina:

La depreciación es la pérdida de valor contable que sufren los activos fijos por el uso a que se les somete y su función productora de renta. En la medida en que avance el tiempo de servicio, decrece el valor contable de dichos activos.

La vida contable de un activo fijo depreciable comienza desde la fecha en que la empresa lo compra y lo empieza a explotar económicamente hasta la fecha en que se cumple su depreciación total.

Las leyes tributarias de nuestro país determinan una vida legal para maquinaria y equipos de 10 años.

El método de depreciación en línea recta es el método más utilizado y con este se supone que los activos se usan más o menos con la misma intensidad año por año, a lo largo de su vida útil; por tanto, la depreciación periódica debe ser del mismo monto.

Aplicando este método al sistema de extracción de aceites esenciales se tiene una depreciación anual de:

Inversión: $P = 2660,30$ usd

Salvamento: $S = 266.03$ usd

Vida útil contable: $n = 10$ años

Depreciación anual:

$$Da = \frac{P - S}{n} \quad (6.3)$$

$$Da = \frac{2660,30 - 266.03}{10}$$

$$Da = 239.43 \text{ usd}$$

La depreciación anual, la depreciación acumulada y el valor en libros del sistema de extracción de aceites esenciales al final de cada uno de los años de vida útil, se pueden apreciar en la siguiente tabla:

TABLA 6.13. DEPRECIACIÓN ANUAL DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES.

Año	Depr. Anual (usd)	Depr. Acumulada (usd)	Valor en libros (usd)
0	0	0	2660,3
1	239,43	239,43	2420,87
2	239,43	478,86	2181,44
3	239,43	718,29	1942,01
4	239,43	957,72	1702,58
5	239,43	1197,15	1463,15
6	239,43	1436,58	1223,72
7	239,43	1676,01	984,29
8	239,43	1915,44	744,86
9	239,43	2154,87	505,43
10	239,43	2394,3	266

Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR).

La tasa interna de retorno es un método para la evaluación financiera de proyectos que iguala el valor presente de los flujos de caja esperados con la inversión inicial.

Cuando la TIR es mayor que la tasa de interés de referencia, el rendimiento que obtendría el inversionista realizando la inversión es positivo, por lo tanto, conviene realizar la inversión. Caso contrario el proyecto debe rechazarse.

Para realizar una evaluación de la TIR para el sistema de extracción de aceites esenciales se toma como referencia una tasa de interés de 9,02% que es la tasa neta promedio anual a la que los bancos manejan los depósitos a plazo fijo. Se consideran los siguientes datos [33]:

TABLA 6.14. PRODUCCIÓN MÍNIMA MENSUAL

Producción mínima mensual de extracción de aceite esencial de eucalipto	
Extracciones por día	4
Producción (ml/extracción)	37
Días laborables (mes)	22
Producción mensual (ml/mes)	3256
Ingreso anual de la planta piloto	
Costo por ml de aceite esencial de eucalipto con utilidad de 0,03(USD)	0,15
Ingreso mensual (USD)	488,4
Ingreso anual (USD)	5860,8

TABLA 6.15. FLUJO DE CAJA

	símbolo	valor
Costo de inversión	P	2660,3
Ingreso anual	Ia	5860,8
Egreso anual	Ea	4620,36
Valor de salvamento a 5 años	Vs	1463,15
Depreciación anual	Da	239,43
Tiempo a evaluar el proyecto (años)		5

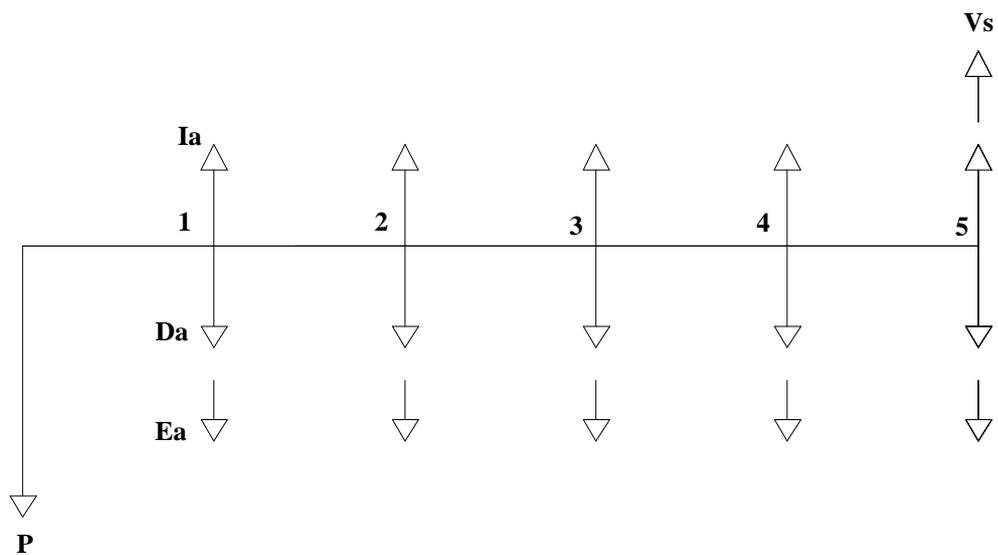


Figura 6.1. Diagrama de evaluación financiera.

Se calcula el valor presente neto (VAN) necesario para el cálculo de la (TIR) (Anexo

I)

$$VAN = VAI - VAE \quad (6.4)$$

$$VAN = Ia*(P/A, i \%, n) + Vs*(P/F, i \%, n) - P - Da*(P/A, i \%, n) - Ea*(P/A, i \%, n)$$

$$VAN = (Ia - Da - Ea)*(P/A, i \%, n) + Vs*(P/F, i \%, n) - P$$

$$VAN = 1001,01 (P/A, i \%, 5) + 1463,15 (P/F, i \%, 5) - 2660,30$$

Para $i = 30\%$

$$VAN = (1001,01) (2,4356) + 1463,15 (0,2693) - 2660,30$$

$$VAN = 171,7863 \text{ usd}$$

Para $i = 40\%$

$$VAN = (1001,01) (2,0352) + 1463,15 (0,1859) - 2660,30$$

$$VAN = -351,0449 \text{ usd}$$

Aplicando la ecuación para determinar la TIR se obtiene:

$$TIR = i\% + \frac{VAN(+)}{VAN(+) + VAN(-)} * \Delta\% \quad (6.5)$$

$$TIR = 30\% + \frac{171,7863}{171,7863 + 351,0449} * 10\%$$

$$TIR = 33,29 \%$$

El valor para la TIR de 33,29 % es bastante mayor al 9,02 % exigido, por lo tanto el proyecto es aceptable.

13.1.6. Análisis del punto de equilibrio

El análisis del punto de equilibrio tiene como propósito el de determinar el valor de una variable o un parámetro de un proyecto o alternativa que iguala dos elementos que pueden ser los ingresos y los costos.

Los estudios de los puntos de equilibrio se valen de estimaciones que se consideran ciertas, es decir, si se espera que los valores estimados varíen lo suficiente como para que influyan en el resultado, se requiriera otro análisis del punto de equilibrio con diferentes cálculos.

TABLA 6.16. COSTOS FIJOS Y COSTOS VARIABLES DE FUNCIONAMIENTO ANUALES.

Concepto	Costos fijos	Costos variables
Consumo eléctrico		93,77
Operario	2904	
Depreciación	239,43	
Materiales para limpieza		60,72
TOTAL	3143,43	154,49

Ingreso anual: $I_a = 5860,8$ USD

Entonces el punto de equilibrio se lo obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$PE = \frac{\text{Costo fijo}}{1 - \frac{\text{Costo variable}}{\text{Costo total de volumen extraído}}} \quad (6.6)$$

$$PE = \frac{3143,43}{1 - \frac{154,49}{5860,8}} = 3228,53 \text{ USD}$$

Como el ingreso se calcula a razón de 0.15 USD por ml de aceite esencial de eucalipto extraído, la cantidad del producto final que se requiere procesar para llegar al punto de equilibrio es:

$$\text{Volumen de aceite esencial de eucalipto} = \frac{PE}{0.15 \frac{\text{USD}}{\text{ml}}} \quad (6.7)$$

$$\text{Volumen de aceite esencial de eucalipto} = \frac{3228,53 \text{ USD}}{0.15 \text{ USD/ml}} = 21523,6 \text{ [ml]}$$

Con una producción de cuatro extracciones por día, a un ritmo de trabajo de 8 horas diarias se obtendrá 148 ml, del sistema de extracción de aceites esenciales, entonces se requerirían 145,43 días de trabajo; por 22 días laborables en el mes, se necesitara un tiempo de 6,61 meses para llegar al punto de equilibrio.

CAPÍTULO VII

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- El aceite esencial es una mezcla de componentes volátiles, en donde la extracción por arrastre de vapor de agua es uno de los principales procesos utilizados para la extracción de los mismos.
- Existen diferentes métodos de extracción, dependiendo de la planta y para su selección se debe tomar en cuenta factores como la calidad de aceite que produce cada uno de los métodos, la mano de obra utilizada para el procesamiento, costos de construcción producción.
- Los elementos que conforman el sistema de extracción de aceites esenciales en cuanto a su diseño mecánico están sobredimensionados. Esto se debe a que en el momento de su construcción se tiene problemas con espesores pequeños de las planchas especialmente en el proceso de soldadura.
- Los elementos que se utilizan en el proceso de extracción (extractor, intercambiador de calor) se construyen a partir de Acero Inoxidable de la serie 304, asegurando que el aceite esencial no tenga contaminación por agentes corrosivos.
- El diseño térmico de los intercambiadores de calor, es un área en donde tienen numerosas aplicaciones los principios de transferencia de calor y depende mucho de las condiciones iniciales y finales de los fluidos.

- El diseño real de un intercambiador de calor es un problema mucho más complicado que el análisis de la transferencia de calor porque en la selección del diseño final juegan un papel muy importante los costos, el peso, el tamaño y las condiciones económicas.
- La cantidad de aceite esencial extraída es muy poca, en relación a la materia prima procesada razón por la cual el extractor debe ser de dimensiones significativas.
- Las variables que se manejan durante la extracción de aceites esenciales son la presión en el caldero 40 psig, temperatura en el extractor alrededor de 89 °C, y la temperatura del condensado que debe estar próximo a los 40°C para que la separación del aceite con el agua sea óptima.
- La extracción del aceite es rápida a partir del tiempo muerto hasta los 50 minutos donde se extrae alrededor del 89% del aceite, y en los 40 minutos restantes de la extracción se produce el 100% del aceite.
- Se realiza pruebas con 3 productos diferentes (eucalipto, menta, ciprés) en donde el volumen de aceite extraído es de 37, 12 y 8 ml respectivamente, en el que se determina que el eucalipto es el que más volumen produce, además con las cantidades de aceites extraído se calcula el rendimiento del eucalipto, comprobando que su valor es aproximadamente igual al existente en teoría.
- El rendimiento obtenido en el sistema diseñado para el eucalipto es del 92.5 %, hay que tomar en cuenta que este valor depende mucho de la calidad de la materia prima y de la temporada de cosecha.
- Para la caracterización de los aceites esenciales extraídos de eucalipto, menta y ciprés se determina el índice de refracción, PH y densidad, donde se

compara dichos resultados con los existentes en teoría y se obtienen valores aproximadamente similares.

- Los análisis de rentabilidad realizados para una producción de 148 ml/día nos arrojan resultados satisfactorios, por ello se concluye que la instalación de este proyecto sería una alternativa de trabajo, ya que la extracción de este producto es rentable.

7.2 Recomendaciones

- La selección y tratamiento de la materia prima es importante antes de la extracción, ya que en el proceso, el vapor de agua puede arrastrar impurezas dando como resultado un aceite esencial sucio.
- Se debe tener cuidado con la presión y el nivel del agua del caldero, durante la extracción ya que si se incrementa la presión puede ocasionar problemas en la válvula de seguridad.
- Antes de iniciar el proceso de extracción se debe calentar previamente el sistema con vapor de agua, para después introducir la materia prima a extraerse, con el fin de mejorar los tiempos de extracción.
- El flujo de vapor debe ser mínimo con el fin de no quemar a la planta y lograr que el vapor se distribuya uniformemente por todo el extractor, además de esto pueda arrastrar la mayor cantidad de aceite de la planta.
- Con el fin de optimizar el sistema, se recomienda automatizar el caldero, y reducir el espacio que ocupa el condensador.

- Finalmente se recomienda realizar un análisis físico-químico al condensado producto de la separación del aceite esencial, con el fin de determinar que tipo de utilidad y usos se pueden realizar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DÍAZ, R. Plantas de Vapor. Ecuador: Riobamba. 1997. pp. 51, 52, 53.
- [2] ASME. Códigos y Normas de Calderas y Recipientes a Presión. Sección VIII. EE.UU: New York: Editorial. 1995. pp. 116.
- [3] SHIGLEY, J. Diseño en Ingeniería Mecánica, 5ta. ed. México: Ofgloma. 2001. pp. 67, 68.
- [4] INCROPERA, F. Fundamentos de Transferencia de Calor. 4ta. Ed. México: Prentice Hall. 2008. pp. 455, 487, 567, 568,
- [5] TESIS ESPOCH. Extracción de Aceites Esenciales. Ecuador: Riobamba. 2008. pp. 43
- [6] ZABALA, G. Apuntes de Combustión. Ecuador: Riobamba. 2002. pp. 78, 79, 80,81.
- [7] TESIS ESPOCH. Reconstrucción y Rediseño de un equipo para extracción de esencias aromáticas vegetales. Ecuador: Riobamba. 1998. pp. 76,77.
- [8] VALENZUELA, R. Apuntes de Transferencia de Calor. Ecuador: Riobamba. 2003. pp. 82, 83, 84, 85, 157.
- [9] KERN, D. Procesos de Transferencia de Calor. México: Prentice Hall. 1997. pp. 84, 85, 86
- [10] ASHRAE. Transferencia de Calor. EE.UU: New York. American Society of Heating, Inc. 1977. pp. 125,126
- [11] MOOT, R. Mecánica de Fluidos Aplicada. 4ta. ed. México: Prentice Hall. 1996. pp. 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438.
- [12] BLANK, L. Ingeniería Económica. 5ta. ed. México: McGraw-Hill. 2004. pp. 330, 331, 332, 334.

- [13] Introducción aceites esenciales. www.grupos.emagister.com. (2009-04-25).
- [14] Extracción de aceites esenciales. www.rincondelvago.com/extraccion-de-aceites-esenciales.html. (2009-04-27).
- [15] Aceites esenciales. www.monografias.com. (2009-05-03)
- [16] Material vegetal. www.plantasyhogar.com. (2009-05-18).
- [17] Manzanilla. www.lindisima.com/ayurveda/manzanilla.htm. (2009-06-04).
- [18] Eucalipto. www.lindisima.com/ayurveda/eucaliptus.htm. (2009-07-11).
- [19] Eucalipto. www.wikipedia.org/wiki/Eucalyptus. (2009-07-11).
- [20] Ciprés. www.lindisima.com/ayurveda/cipres.htm. (2009-08-25).
- [21] Propiedades aceites esenciales. www.gruposemagister.com. (2009-08-27).
- [22] Destilación aceites esenciales. www.google.com. (2009-09-07).
- [23] Aplicación aceites esenciales. www.aromaterapia-qi.com/aceitesprecios.html. (2009-10-04).
- [24] Propiedades aceites esenciales. www.propiedadesdelaceite.jaimaalkauzar.es. (2009-11-06).
- [25] Propiedades aceites esenciales. www.propiedadesdelaceite.jaimaalkauzar.es. (2009-11-06).
- [26] Aplicación en la industria cosmética de los aceites esenciales. www.herbotecnia.com. (2009-11-06).
- [27] Aplicación en la industria cosmética de los aceites esenciales. www.foro.deperfumes.com. (2009-12-02)
- [28] Calderas. www.elprisma.com. (2009-12-15).
- [29] Tipos de calderas. www.wikipedia.org. (2009-12-15)
- [30] Rendimiento de los aceites esenciales. www.wikipedia.org. (2009-12-15)
- [31] Acero inoxidable tipo 304. www.sumiteccr.com. (2009-12-16)
- [32] Aromas de los aceites esenciales. www.members.tripod.com. (2010-02-15)
- [33] Tasa de interés activa. www.bce.intere-tasa-activa.org. (2010-01-25).

BIBLIOGRAFÍA

- ASHRAE. Transferencia de Calor. EE.UU: New York. American Society of Heating, Inc. 1977.
- ASME. Códigos y Normas de Calderas y Recipientes a Presión. Sección VIII. EE.UU: New York: Editorial. 1995.
- BLANK, L. Ingeniería Económica. 5ta. ed. México: McGraw-Hill. 2004.
- DÍAZ, R. Plantas de Vapor. Ecuador: Riobamba. 1997.
- INCROPERA, F. Fundamentos de transferencia de calor. 4ta. Ed. México: Prentice Hall. 2008.
- KERN, D. Procesos de Transferencia de Calor. México: Prentice Hall. 1997.
- MOOT, R. Mecánica de Fluidos Aplicada. 4ta. ed. México: Prentice Hall. 1996.
- SHIGLEY, J. Diseño en Ingeniería Mecánica, 5ta. ed. México: Ofgloma. 2001.
- TESIS ESPOCH. Extracción de aceites esenciales. Ecuador: Riobamba. 2008.
- TESIS ESPOCH. Reconstrucción y Rediseño de un equipo para extracción de esencias aromáticas vegetales. Ecuador: Riobamba. 1998.
- VALENZUELA, R. Apuntes de Transferencia de Calor. Ecuador: Riobamba. 2003.
- ZABALA, G. Apuntes de Combustión. Ecuador: Riobamba. 2002.

LINKOGRAFÍA

Introducción aceites esenciales.

www.grupos.emagister.com.
(2009-04-25).

Extracción de aceites esenciales.

www.rincondelvago.com/extraccion-de-aceites-esenciales.html.
(2009-04-27).

Aceites esenciales

www.monografias.com.
(2009-05-03).

Material vegetal

www.plantasyhogar.com.
(2009-05-18).

Manzanilla

www.lindisima.com/ayurveda/manzanilla.htm.
(2009-06-04).

Eucalipto

www.lindisima.com/ayurveda/eucaliptus.htm.
(2009-07-11).

Eucalipto

www.wikipedia.org/wiki/Eucalyptus.
(2009-07-11).

Ciprés

www.lindisima.com/ayurveda/cipres.htm.

(2009-08-25).

Propiedades aceites esenciales

www.gruposemagister.com.

(2009-08-27).

Destilación aceites esenciales

www.google.com.

(2009-09-07).

Aplicación aceites esenciales

www.aromaterapia-qi.com/aceitesprecios.html.

(2009-10-04).

Propiedades aceites esenciales

www.propiedadesdelaceite.jaimaalkauzar.es.

(2009-11-06).

Propiedades aceites esenciales

www.propiedadesdelaceite.jaimaalkauzar.es.

(2009-11-06).

Aplicación en la industria cosmética de los aceites esenciales

www.herbotecnia.com.

(2009-11-06).

Aplicación en la industria cosmética de los aceites esenciales

www.foro.deperfumes.com.

(2009-12-02).

Calderas

www.elprisma.com.

(2009-12-15).

Tipos de calderas

www.wikipedia.org.

(2009-12-15).

Rendimiento de los aceites esenciales

www.wikipedia.org.
(2009-12-15).

Acero inoxidable tipo 304

www.sumiteccr.com.
(2009-12-16).

Aromas de los aceites esenciales

www.members.tripod.com.
(2010-02-15).

Tasa de interés activa

www.bce.intere-tasa-activa.org.
(2010-01-25).