



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO EXTRACTOR DE ACEITES  
ESENCIALES POR ARRASTRE DE VAPOR PARA BERRO, ESPINACA,  
ZANAHORIA”**

**TESIS DE GRADO**

**Previo a la Obtención del Título de:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTADO POR:**

**ACÁN ASITIMBAY FAUSTO FABIAN**

**PILATAXI CHUQUI JOSÉ LUIS**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2014**

## **AGRADECIMIENTO**

En el presente trabajo de tesis queremos agradecer primeramente a DIOS por bendecirnos y guiarnos durante toda nuestra etapa formativa, hasta llegar a culminar hoy, una etapa más de nuestras vidas, también queremos hacer extensivo el agradecimiento a nuestros padres por todo su apoyo brindado a lo largo de nuestra carrera.

Agradecemos de manera especial y sincera al Ing. Hannibal Brito e Ing. Mabel Parada por su importante aporte y participación activa en el desarrollo de esta tesis. Por la confianza que tuvieron en nosotros de poder realizar este trabajo y su capacidad para poder guiar nuestras ideas, en el desarrollo de esta tesis, y en nuestra formación como profesionales.

Expresamos nuestra gratitud a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química por darnos la oportunidad de estudiar y ser profesionales, del mismo modo a cada uno de nuestros profesores a quienes debemos gran parte de nuestros conocimientos.

Agradecemos también a cada una de las personas que de una u otra manera han contribuido para la realización de este trabajo de tesis.

## DEDICATORIA

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

A mi esposa Deysi por su apoyo y comprensión en este arduo camino. A mi hermana Luz, por su apoyo moral y ejemplo de lucha.

A mis padres políticos, Santiago y María por todo su apoyo y confianza en mí depositadas.

Fausto Fabián Acán Asitimbay

Dedico este trabajo a mis padres, José y María, por ser el pilar más importante en mi vida, porque creyeron en mí y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación, ya que siempre estuvieron en los momentos difíciles de mi carrera.

A mi esposa Isabel por su comprensión y apoyo incondicional en esta etapa de mi vida.

A mis hermanos, David, Kleber y Samuel, por su apoyo moral, y por estar siempre conmigo.

José Luis Pilataxi Chuqui

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

**HOJA DE FIRMAS**

El tribunal de tesis certifica que: El trabajo de investigación "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO EXTRACTOR DE ACEITES ESENCIALES POR ARRASTRE DE VAPOR PARA BERRO, ESPINACA, ZANAHORIA", de responsabilidad de los señores Fausto Fabián Acán Asitimbay y José Luis Pilataxi Chuqui ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizado su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Cesar Avalos I. DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS	.....	.....
Ing. Mario Villacrés A. DIRECTOR DE LA ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA	.....	.....
Ing. Hanníbal Brito M. PhD. DIRECTOR DE TESIS	.....	.....
Ing. Mabel Parada MIEMBRO DEL TRIBUNAL	.....	.....
COORDINADOR SISBIB ESPOCH	.....	.....
Nota de Tesis Escrita	.....	

## HOJA DE RESPONSABILIDAD

“Nosotros, FAUSTO FABIAN ACAN ASITIMBAY Y JOSE LUIS PILATAXI CHUQUI, somos responsables de las ideas expuestas y propuestas en el presente trabajo de investigación y el patrimonio intelectual de la Memoria de Grado pertenece a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**”

Fausto Fabián Acán Asitimbay

José Luis Pilataxi Chuqui

## INDICE DE ANEXOS

**ANEXO**

PP:

I TABLAS DE VAPOR SATURADO .....	- 111 -
II PROPIEDADES DEL AGUA A DIFERENTE TEMPERATURA .....	- 112 -
III TABLA DE CONSTANTES DE PÉRDIDAS POR ACCESORIOS .....	- 113 -
IV TABLA DE COEFICIENTE K PARA TUBERIA PVC .....	- 114 -
V DIAGRAMA DE MOODY .....	- 115 -
VI ESQUEMA DEL EQUIPO DE EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES.-	116 -
VII PLANO DEL RECIPIENTE EXTRACTOR .....	- 117 -
VIII PLANO DEL CONDENSADOR .....	- 118 -
IX PLANO DEL SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE REFRIGERANTE.....	- 119 -
X MANUAL DE PROCEDIMIENTOS .....	- 120 -

## INDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN	PP:
1 BALANCE DE MASA .....	- 30 -
2 BALANCE DE ENERGÍA .....	- 30 -
3 VOLUMEN DE RECIPIENTES CILÍNDRICOS .....	- 31 -
4 CALOR TOTAL DE VAPORIZACIÓN DEL AGUA .....	- 31 -
5 CALOR SENSIBLE .....	- 32 -
6 CALOR LATENTE.....	- 32 -
7 CÁLCULO DE ÁREA DE TUBERÍAS .....	- 33 -
8 TEMPERATURA DE EBULLICIÓN DEL AGUA .....	- 33 -
9 MEDIA LOGARÍTMICA DE TEMPERATURA (MLDT).....	- 34 -
10 COEFICIENTE DE CONDENSACIÓN EN PELÍCULA INTERNA .....	- 34 -
11 TEMPERATURA FÍLMICA $\kappa$ .....	- 35 -
12 ENTALPÍA DE VAPORIZACIÓN .....	- 35 -
13 TEMPERATURA DE LA PARED DEL CONDENSADOR.....	- 36 -
14 NÚMERO DE GRASHOFT .....	- 37 -
15 NÚMERO DE RAYLEIGH.....	- 37 -
16 NUSSELT .....	- 38 -
17 COEFICIENTE DE CONDENSACIÓN EL PELÍCULA EXTERNA .....	- 38 -
18 COEFICIENTE DE CONVECCIÓN FORZADA.....	- 39 -
19 VELOCIDAD DEL FLUIDO EN EL INTERIOR DEL CONDENSADOR.....	- 39 -
20 COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR CONDENSACIÓN... .....	- 40 -
21 COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR ENFRIAMIENTO .....	- 40 -
22 ÁREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR CONDENSACIÓN .....	- 41 -
23 ÁREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR ENFRIAMIENTO .....	- 42 -
24 ÁREA TOTAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	- 42 -

<b>ECUACIÓN</b>	<b>PP:</b>
25 LONGITUD DEL CONDENSADOR .....	- 43 -
26 VOLUMEN DEL REFRIGERANTE REQUERIDO.....	- 43 -
27 ÁREA DE SUCCIÓN .....	- 44 -
28 DIÁMETRO DE SUCCIÓN .....	- 44 -
29 CABEZA ESTÁTICA DE SUCCIÓN .....	- 45 -
30 PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN LA SUCCIÓN .....	- 45 -
31 PÉRDIDAS POR ACCESORIOS EN LA SUCCIÓN .....	- 46 -
32 REYNOLDS.....	- 46 -
33 RUGOSIDAD RELATIVA .....	- 47 -
34 ÁREA DE DESCARGA .....	- 47 -
35 VELOCIDAD DE DESCARGA .....	- 48 -
36 DIÁMETRO DE DESCARGA .....	- 48 -
37 CABEZA ESTÁTICA DE DESCARGA .....	- 48 -
38 ALTURA EFECTIVA O COLUMNA TOTAL .....	- 49 -
39 CÁLCULO DE NPSH.....	- 49 -
40 RENDIMIENTO DE MATERIAS PRIMAS .....	- 50 -
41 EFICIENCIA DEL EQUIPO .....	- 50 -

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA	pp:
1 ACEITES ESENCIALES .....	- 1 -
2 HOJAS DE BERRO .....	- 5 -
3 HOJAS DE ESPINACA .....	- 9 -
4 SEMILLAS DE ZANAHORIA.....	- 12 -
5 MÉTODO DE EXTRACCIÓN ENFLEURAGE .....	- 16 -
6 MÉTODO DE EXTRACCIÓN CON SOLVENTES .....	- 17 -
7 MÉTODO DE EXTRACCIÓN POR PRENSADO .....	- 18 -
8 MÉTODO DE EXTRACCIÓN CON FLUIDOS SUPERCRÍTICOS.....	- 19 -
9 MÉTODO DE EXTRACCIÓN POR HIDRODESTILACIÓN .....	- 21 -
10 MÉTODO DE EXTRACCIÓN POR ARRASTRE DE VAPOR.....	- 22 -
11 RECIPIENTE EXTRACTOR .....	- 24 -
12 RECIPIENTES DE CARGA DE MATERIA PRIMA.....	- 24 -
13 TAPA DEL EXTRACTOR .....	- 25 -
14 QUEMADOR INDUSTRIAL .....	- 25 -
15 CONDENSADOR CONTRA CORRIENTE .....	- 26 -
16 RECIPIENTE RECOLECTOR DE ACEITE ESENCIAL-AGUA.....	- 27 -
17 TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA Y BOMBA.....	- 28 -
18 DIAGRAMA DE TEMPERATURA DE LOS FLUIDOS DEL CONDENSADOR.....	- 67 -
19 VOLUMEN DE ACEITE DE ZANAHORIA VS TIEMPO.....	- 94 -
20 VOLUMEN DE ACEITE DE BERRO VS TIEMPO.....	- 95 -
21 VOLUMEN DE ACEITE DE ESPINACA VS TIEMPO.....	- 96 -

## INDICE DE TABLAS

### TABLA

PP:

1 APOORTE NUTRICIONAL DEL BERRO .....	- 6 -
2 APOORTE NITRACIONAL DE LA ESPINACA (100 g) .....	- 11 -
3 APOORTE NUTRICIONAL DE LA ZANAHORIA (100g).....	- 13 -
4 CONDICIONES DE FLUIDOS SUPERCRITICOS .....	- 20 -
5 TÉCNICA PARA EL CÁLCULO DEL RENDIMIENTO DE ACEITES ESENCIALES .....	- 55 -
6 TÉCNICA PARA EL CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE LOS ACEITES .....	- 56 -
7 DATOS DE LA ZANAHORIA .....	- 57 -
8 DATOS DEL BERRO.....	- 58 -
9 DATOS DE LA ESPINACA .....	- 58 -
10 DATOS TIEMPO VS TEMPERATURA DEL CONDENSADO .....	- 59 -
11 DATOS TIEMPO VS TEMPERATURA DEL REFRIGERANTE.....	- 60 -
12 DISEÑO DEL EXTRACTOR DE ACEITES ESENCIALES .....	- 60 -
13 PÉRDIDAS POR ACCESORIOS EN SUCCIÓN VER ANEXO III.....	- 85 -
14 CONSTANTES DE PÉRDIDAS POR ACCESORIOS EN LA DESCARGA (VER ANEXO III) .....	- 88 -
15 RESULTADOS DEL ACEITE DE ZANAHORIA .....	- 94 -
16 RESULTADOS DEL ACEITE DE BERRO .....	- 95 -
17 RESULTADOS DEL ACEITE DE LA ESPINACA.....	- 96 -
18 DIMENSIONAMIENTO DEL EXTRACTOR DE ACEITES ESENCIALES POR ARRASTRE DE VAPOR .....	- 97 -
19 RECURSOS MATERIALES.....	- 99 -
20 RECURSOS HUMANOS .....	- 99 -
21 COSTOS DE PRODUCCIÓN .....	- 100 -
22 RECURSOS TOTALES .....	- 100 -

## ABREVIATURAS

SÍMBOLOS	UNIDAD	SIGNIFICADO
D	[m]	Diámetro
r	[m]	Radio
h	[m]	Altura
V	[m <sup>3</sup> ]	Volumen
m	[Kg]	Masa
Cp	$\left[\frac{KJ}{Kg^{\circ}C}\right]$	Calor Específico
T <sub>i</sub>	[°C]	Temperatura inicial del agua a evaporar
T <sub>f</sub>	[°C]	Temperatura final del vapor
Q <sub>s</sub>	$\left[\frac{KJ}{h}\right]$	Calor sensible
δ	$\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$	Densidad
ΔT	[°C]	Variación de Temperatura
Q <sub>L</sub>	$\left[\frac{KJ}{h}\right]$	Calor Latente
h <sub>fg</sub>	$\left[\frac{KJ}{Kg}\right]$	Entalpía
Q <sub>T</sub>	$\left[\frac{KJ}{h}\right]$	Calor total
T <sub>ir</sub>	[°C]	Temperatura de ingreso del refrigerante
T <sub>sr</sub>	[°C]	Temperatura de salida del refrigerante
T <sub>iv</sub>	[°C]	Temperatura inicial del vapor

<b>SÍMBOLOS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
$T_{sc}$	$[^{\circ}C]$	Temperatura de salida del condensado
$T_{sat}$	$[^{\circ}C]$	Temperatura de saturación
$m_{ar}$	$[Kg]$	Masa de agua de refrigeración
$\phi_i$	$[m]$	Diámetro Interno
$\phi_e$	$[m]$	Diámetro Externo
$A_i$	$[m^2]$	Área interna
$A_e$	$[m^2]$	Área Externa
$K_{sy}$		Constante de Sídney-Young
$P_x$	$[mmHg]$	Presión atmosférica local
$P_{abs}$	$[psi]$	Presión absoluta
$T_{eb}$	$[^{\circ}C]$	Temperatura de ebullición
$T_{ebPx}$	$[^{\circ}C]$	Temperatura de ebullición a la presión local
$h_i$	$[W/m^2 \cdot K]$	Coefficiente convectivo, condensación en película
$T_b$	$[^{\circ}C]$	Temperatura de promedio del fluido
$T_f$	$[^{\circ}C]$	Temperatura filmica
$T_w$	$[^{\circ}C]$	Temperatura de pared del condensador
$g$	$[m/s^2]$	Gravedad
$\delta_L$	$[Kg/m^3]$	Densidad del líquido
$\delta_v$	$[Kg/m^3]$	Densidad del vapor

<b>SÍMBOLOS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
$K_L$	$[W/m^{\circ}K]$	Conductividad térmica
$\mu_L$	$[Ns/m^2]$	Viscosidad dinámica
$C_{pL}$	$[\frac{KJ}{Kg^{\circ}C}]$	Calor Específico del líquido
$L$	$[m]$	Longitud
$h_e$	$[W/m^2^{\circ}K]$	Coefficiente convectivo, por subenfriamiento
$Pr$		Número de Prandtl
$Gr$		Número de Grashof
$Ra$		Número de Rayleigh
$Nu$		Nusselt
$L_c$	$[m]$	Longitud característica
$h_o$	$[W/m^2^{\circ}K]$	Coefficiente convectivo, del agua
$\mu_s$	$[Ns/m^2]$	Viscosidad dinámica a temperatura de pared
$G$	$[Kg/h]$	Flujo másico
$D_h$	$[m]$	Diámetro hidráulico
$U_c$	$[W/m^2^{\circ}C]$	Coefficiente global de transferencia de calor por Condensación.
$U_e$	$[W/m^2^{\circ}C]$	Coefficiente global de transferencia de calor por Subenfriamiento.

<b>SÍMBOLOS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
$A_c$	$[m^2]$	Área de transferencia de calor por condensación.
$A_e$	$[m^2]$	Área de transferencia de calor para enfriamiento.
$A_T$	$[m^2]$	Área total.
$Q$	$[L/min]$	Caudal
$Q_{max}$	$[L/min]$	Caudal máximo
$\nu$	$[m^2/s]$	Viscosidad cinemática del agua
$A_s$	$[m^2]$	Área de succión
$V_s$	$[m/s]$	Velocidad de succión
$D_s$	$[m]$	Diámetro de succión
$h_s$	$[m]$	Altura de succión
$K_m$		Pérdidas por accesorios
$A_d$	$[m^2]$	Área de descarga
$V_d$	$[m/s]$	Velocidad de descarga
$D_d$	$[m]$	Diámetro de descarga
$h_d$	$[m]$	Altura de descarga
$Re$		Reynolds
$NPSH$	$[m]$	Cabeza neta se succión positiva
$E_{extr}$	$[\%]$	Eficiencia del extractor

## INDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDO	pp:
RESUMEN	I
SUMARY	li
INTRODUCCIÓN	lii
ANTECEDENTES	v
JUSTIFICACIÓN	vi
OBJETIVOS	vii
CAPITULO I .....	- 1 -
1. MARCO TEÓRICO .....	- 1 -
1.1. Aceites Esenciales.....	- 1 -
1.1.1. <i>Generalidades</i> .....	- 1 -
1.1.2. <i>Clasificación</i> .....	- 2 -
1.1.3. <i>Aplicación de los aceites esenciales</i> .....	- 3 -
1.1.4. <i>Características organolépticas de los aceites esenciales</i> .....	- 4 -
1.2. Plantas y partes de plantas que se someterán al proceso de extracción de aceites esenciales.....	- 5 -
1.2.1. <i>Berro</i> .....	- 5 -
1.2.2. <i>Espinaca</i> .....	- 9 -
1.2.3. <i>Zanahoria</i> .....	- 12 -
1.3. Proceso de extracción de aceites esenciales .....	- 14 -
1.3.1. <i>Extracción</i> .....	- 14 -
1.3.2. <i>Factores más importantes que influyen sobre la velocidad de extracción</i> .....	- 15 -
1.3.3. <i>Métodos de extracción</i> .....	- 16 -
1.3.3.1. <i>Enfleurage</i> .....	- 16 -

1.3.3.2. <i>Extracción Con Solventes</i> .....	- 17 -
1.3.3.3. <i>Extracción Por Prensado</i> .....	- 18 -
1.3.3.4. <i>Extracción con fluidos supercríticos</i> .....	- 19 -
1.3.3.5. <i>Hidrodestilación</i> .....	- 21 -
1.3.3.6. <i>Extracción Por Arrastre Con Vapor</i> .....	- 22 -
<b>1.3.4. Partes constitutivas del Equipo Extractor</b> .....	<b>- 24 -</b>
1.3.4.1. <i>Extractor</i> .....	- 24 -
1.3.4.2. <i>Recipientes de carga de materia prima</i> .....	- 24 -
1.3.4.3. <i>Tapa del extractor</i> .....	- 25 -
1.3.4.4. <i>Quemador</i> .....	- 25 -
1.3.4.5. <i>Condensador o intercambiador de calor</i> .....	- 26 -
1.3.4.6. <i>Embudo de separación y recipiente recolector</i> .....	- 27 -
1.3.4.7. <i>Sistema de recirculación de agua para el condensador</i> .....	- 28 -
<b>1.3.5. Identificación de variables</b> .....	<b>- 28 -</b>
1.3.5.1. <i>Extractor</i> .....	- 28 -
1.3.5.2. <i>Condensador</i> .....	- 29 -
<b>1.4. Diseño del Equipo Extractor</b> .....	<b>- 29 -</b>
<b>1.4.4. Balance de masa</b> .....	<b>- 30 -</b>
<b>1.4.5. Balance de Energía</b> .....	<b>- 30 -</b>
<b>1.4.6. Volumen en recipientes cilíndricos</b> .....	<b>- 31 -</b>
<b>1.4.7. Calor total de evaporación del agua</b> .....	<b>- 31 -</b>
<b>1.4.8. Calor sensible</b> .....	<b>- 32 -</b>
<b>1.4.9. Calor latente</b> .....	<b>- 32 -</b>
<b>1.4.10. Cálculo de área de tuberías</b> .....	<b>- 33 -</b>
<b>1.4.11. Temperatura de ebullición del agua a distinta presión atmosférica</b> .....	<b>- 33 -</b>
<b>1.4.12. Media Logarítmica de Temperatura MLDT</b> .....	<b>- 34 -</b>
<b>1.4.13. Coeficiente de condensación en la película en el interior de la tubería</b> .....	<b>- 34 -</b>

1.4.14. Cálculo de la temperatura fílmica .....	- 35 -
1.4.15. Entalpia de vaporización $h'_{fg}$ .....	- 35 -
1.4.16. Temperatura real de la pared del condensador .....	- 36 -
1.4.17. Número Grashof .....	- 37 -
1.4.18. Número de Rayleigh.....	- 37 -
1.4.19. Cálculo de Nusselt .....	- 38 -
1.4.20. Coeficiente de condensación en película externa.....	- 38 -
1.4.21. Coeficiente de convección forzada en superficies interiores .....	- 39 -
1.4.22. Velocidad de un fluido en el interior del condensador .....	- 39 -
1.4.23. Coeficiente global de transferencia de calor por condensación....	- 40 -
1.4.24. Coeficiente global de transferencia de calor por subenfriamiento	- 40 -
1.4.25. Área de transferencia de calor para condensación.....	- 41 -
1.4.26. Área de transferencia de calor para enfriamiento .....	- 42 -
1.4.27. Área total de transferencia de Calor .....	- 42 -
1.4.28. Cálculo de la longitud del condensador.....	- 43 -
1.4.29. Cálculo del volumen del refrigerante requerido en el proceso .....	- 43 -
1.4.30. Cálculo del área de succión .....	- 44 -
1.4.31. Cálculo del diámetro de succión.....	- 44 -
1.4.32. Cabeza estática de succión.....	- 45 -
1.4.33. Cálculo del $h_f$ pérdidas por fricción en la succión.....	- 45 -
1.4.34. Cálculo del $h_a$ pérdidas por accesorios en la succión .....	- 46 -
1.4.35. Cálculo del número de Reynolds en la succión .....	- 46 -
1.4.36. Cálculo de la rugosidad relativa en la succión.....	- 47 -
1.4.37. Cálculo del área de descarga .....	- 47 -
1.4.38. Cálculo de la velocidad de descarga.....	- 48 -
1.4.39. Cálculo del diámetro de descarga .....	- 48 -
1.4.40. Cabeza estática de descarga.....	- 48 -
1.4.41. Columna total $H$ o altura efectiva.....	- 49 -
1.4.42. Cálculo del NPSH .....	- 49 -
1.4.43. Rendimiento de las materias primas .....	- 50 -

1.4.44. <i>Eficiencia del equipo extractor</i> .....	- 50 -
<b>CAPITULO II</b> .....	- 52 -
<b>2. PARTE EXPERIMENTAL</b> .....	- 52 -
2.1. <b>Muestreo</b> .....	- 52 -
2.2. <b>Metodología</b> .....	- 52 -
2.2.1. <b>Métodos y Técnicas</b> .....	- 52 -
2.2.1.1. <i>Métodos</i> .....	- 52 -
2.2.1.2. <i>Técnicas</i> .....	- 54 -
2.3. <b>Datos experimentales</b> .....	- 57 -
2.3.1. <b>Diagnóstico</b> .....	- 57 -
2.3.2. <b>Datos</b> .....	- 57 -
2.3.2.1. <i>Datos Experimentales</i> .....	- 57 -
2.3.2.1.1. <i>Zanahoria</i> .....	- 57 -
2.3.2.1.2. <i>Berro</i> .....	- 58 -
2.3.2.1.3. <i>Espinaca</i> .....	- 58 -
2.3.2.1.4. <i>Temperatura del condensado</i> .....	- 59 -
2.3.2.1.5. <i>Temperatura del refrigerante</i> .....	- 60 -
2.3.2.1.6. <i>Datos Adicionales</i> .....	- 60 -
<b>CAPITULO III</b> .....	- 61 -
<b>3. DISEÑO</b> .....	- 61 -
3.1. <b>Cálculos</b> .....	- 61 -
3.1.1. <b>Cálculo del volumen del recipiente extractor</b> .....	- 61 -
3.1.2. <b>Cálculo de los volúmenes de los recipientes de carga de material vegetal</b> .....	- 61 -
3.1.3. <b>Volumen total dispuesto para carga de materia prima</b> .....	- 62 -
3.1.4. <b>Cálculo de calor sensible <math>Q_s</math></b> .....	- 62 -
3.1.5. <b>Cálculo del calor latente <math>Q_L</math></b> .....	- 62 -
3.1.6. <b>Calor total requerido para la vaporización del agua</b> .....	- 63 -

<b>3.1.7. Diseño del intercambiador de calor .....</b>	<b>- 63 -</b>
3.1.7.1. Cálculo de calor latente .....	- 64 -
3.1.7.2. Cálculo del calor sensible.....	- 64 -
3.1.7.3. Calor total.....	- 64 -
3.1.7.4. Cálculo de la cantidad de agua de refrigeración .....	- 64 -
3.1.7.5. Cálculo de área interna del tubo interior del condensador .....	- 65 -
3.1.7.6. Cálculo de área externa del tubo interior de condensador .....	- 65 -
3.1.7.7. Cálculo de la temperatura de ebullición del agua de extracción.....	- 66 -
3.1.7.8. Cálculo de MLTD para la condensación.....	- 67 -
3.1.7.9. Cálculo de MLDT para el enfriamiento .....	- 68 -
3.1.7.10. Cálculo de los coeficientes convectivos .....	- 68 -
3.1.7.10.1. Cálculo de $(h_i)$ condensación en la película en el interior de la tubería.....	- 68 -
3.1.7.10.2. Cálculo de la temperatura fílmica.....	- 68 -
3.1.7.10.3. Cálculo de la temperatura real de la pared del condensador .....	- 70 -
3.1.7.10.4. Cálculo de la temperatura fílmica.....	- 70 -
3.1.7.10.5. Cálculo de la temperatura real de la pared del condensador .....	- 71 -
3.1.7.10.6. Cálculo de la temperatura fílmica.....	- 72 -
3.1.7.10.7. Cálculo de la temperatura real de la pared del condensador.....	- 73 -
3.1.7.10.8. Cálculo de la temperatura fílmica.....	- 73 -
3.1.7.10.9. Cálculo de la temperatura real de la pared del condensador.....	- 74 -
3.1.7.10.10. Cálculo de la temperatura fílmica.....	- 75 -
3.1.7.10.11. Cálculo de la temperatura real de la pared del condensador .....	- 76 -
3.1.7.11. Cálculo del número Grashof.....	- 77 -
3.1.7.12. Cálculo de Nusselt .....	- 77 -
3.1.7.13. Cálculo de $h_o$ del refrigerante en convección forzada en superficies interiores.....	- 78 -
3.1.7.14. Área de circulación del refrigerante.....	- 79 -
3.1.7.15. Cálculo del diámetro hidráulico .....	- 80 -
3.1.7.16. Cálculo global de transferencia de calor por condensación .....	- 81 -

pp:

3.1.7.17.	<i>Coeficiente global de transferencia de calor por subenfriamiento .</i>	- 82 -
3.1.7.18.	<i>Área de transferencia de calor para condensación .....</i>	- 82 -
3.1.7.19.	<i>Área de transferencia de calor por subenfriamiento.....</i>	- 82 -
3.1.7.20.	<i>Cálculo del área total de transferencia de calor .....</i>	- 83 -
3.1.7.21.	<i>Cálculo de la longitud del condensador.....</i>	- 83 -
<b>3.1.8.</b>	<b><i>Selección de la Bomba.....</i></b>	<b>- 83 -</b>
3.1.8.1.	<i>Naturaleza del líquido a bombearse .....</i>	- 83 -
3.1.8.2.	<i>Cálculo del caudal requerido .....</i>	- 84 -
3.1.8.3.	<i>Condiciones de Succión .....</i>	- 84 -
3.1.8.4.	<i>Cabeza estática de succión.....</i>	- 85 -
3.1.8.5.	<i>Cálculo de pérdidas por fricción en la cabeza de succión.....</i>	- 85 -
3.1.8.6.	<i>Cálculo del número de Reynolds en la cabeza de succión .....</i>	- 86 -
3.1.8.7.	<i>Cálculo de Factor de Fricción en la cabeza de succión.....</i>	- 86 -
3.1.8.8.	<i>Cálculo de pérdidas por accesorios en la succión.....</i>	- 86 -
3.1.8.9.	<i>Condiciones de descarga .....</i>	- 87 -
3.1.8.10.	<i>Cabeza estática de descarga .....</i>	- 89 -
3.1.8.11.	<i>Cálculo de pérdidas por fricción en la cabeza de descarga: .....</i>	- 89 -
3.1.8.12.	<i>Cálculo del número de Reynolds.....</i>	- 89 -
3.1.8.13.	<i>Cálculo de factor de fricción en la cabeza de descarga .....</i>	- 89 -
3.1.8.14.	<i>Cálculo de pérdidas por accesorios en la descarga .....</i>	- 90 -
3.1.8.15.	<i>Columna total H o altura efectiva .....</i>	- 90 -
3.1.8.16.	<i>Cálculo del NPSH.....</i>	- 91 -
<b>3.1.9.</b>	<b><i>Cálculo de la eficiencia del sistema de extracción.....</i></b>	<b>- 91 -</b>
3.1.9.1.	<i>Cálculo de la eficiencia del equipo de extracción .....</i>	- 91 -
<b>3.1.10.</b>	<b><i>Balance de masa.....</i></b>	<b>- 92 -</b>
3.1.10.1.	<i>Balance de masa para el agua.....</i>	- 92 -
3.1.10.2.	<i>Balance de masa para el aceite obtenido .....</i>	- 92 -
<b>3.1.11.</b>	<b><i>Cálculo del rendimiento de los aceites esenciales extraídos .....</i></b>	<b>- 93 -</b>
3.1.11.1.	<i>Aceite esencial de zanahoria.....</i>	- 93 -

	pp:
3.1.11.2. <i>Aceite esencial de Berro</i> .....	- 93 -
3.1.11.3. <i>Aceite esencial de Espinaca</i> .....	- 94 -
<b>3.2. Resultados</b> .....	<b>- 94 -</b>
<b>3.2.1. <i>Aceite esencial de zanahoria</i></b> .....	<b>- 94 -</b>
<b>3.2.2. <i>Aceite esencial de Berro</i></b> .....	<b>- 95 -</b>
<b>3.2.3. <i>Aceite esencial de Espinaca</i></b> .....	<b>- 96 -</b>
<b>3.3. Propuesta de Diseño</b> .....	<b>- 97 -</b>
<b>3.5.1. <i>Esquema del equipo extractor</i></b> .....	<b>- 98 -</b>
<b>3.5.2. <i>Análisis de Costos</i></b> .....	<b>- 99 -</b>
3.5.2.1. <i>Costos de Inversión</i> .....	- 99 -
3.5.2.1.1. <i>Recursos materiales</i> .....	- 99 -
3.5.2.1.2. <i>Recursos Humanos</i> .....	- 99 -
3.5.2.1.3. <i>Costos de Producción</i> .....	- 100 -
3.5.2.1.4. <i>Recursos Totales</i> .....	- 100 -
<b>3.6. Análisis y Discusión de Resultados</b> .....	<b>- 101 -</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>- 103 -</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>- 104 -</b>
<b>BIBLOGRAFIA</b> .....	<b>- 106 -</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>- 111-</b>

## RESUMEN

El diseño y construcción de un equipo extractor de aceites esenciales por arrastre de vapor para la obtención de aceite esencial de berro, espinaca y zanahoria con el fin de aprovechar al máximo las propiedades que presentan dichas plantas. El equipo en mención funcionará como material didáctico y educativo en el Laboratorio de Procesos Industriales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Para el diseño se realizó cálculos de ingeniería como balances de masa, energía, transferencia de calor, transporte de fluidos, así como también ensayos de laboratorio a distintos tiempos de extracción estas son 60, 70, 80 90 minutos; Para lo cual el equipo cuenta con un recipiente extractor de 100 L de volumen, tres recipientes de carga de materia prima con una capacidad total de 15 Kg, un condensador a contracorriente de 60 cm de longitud y de 12 cm de diámetro, un quemador industrial y un sistema de recirculación de agua (tanque de alimentación de 210 L y un bomba de 0,5 HP). El presente equipo trabaja a una temperatura de 92 °C produciendo de esta forma el vapor de agua necesario para arrastrar el aceite esencial contenido en la materia prima, posteriormente esta mezcla pasa de vapor a estado líquido en el condensador y se separan con la ayuda de un embudo de separación por diferencia de densidades.

Como resultado se obtuvo un extractor de aceites esenciales con una eficiencia de 93,8% con un rendimiento medio para las materias primas utilizadas de 0,17% en un tiempo de extracción de 90 minutos.

Se recomienda utilizar el extractor de aceites esenciales por arrastre de vapor dentro del laboratorio para la obtención de aceites esenciales de nuevas plantas y futuras investigaciones a cerca del proceso de extracción.

## SUMMARY

The design and construction of an essential oil extractor equipment by steam to obtain essential oil watercress, spinach and carrots in order to maximize the properties that have such facilities. The equipment in question will function as training and educational material for the Industrial Process Laboratory at Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

For the design were made engineering calculations and mass balances, energy, heat transfer, fluid transport, as well as laboratory tests at different extraction times these are 60, 70, 80, 90; For which the equipment has an extractor container with a volume of 100 L, three containers of batch material with a total capacity of 15 Kg, a capacitor counter to 60 cm in length and 12 cm in diameter, an industrial burner and water recirculation system (feed tank and 210 L of 0.5 HP pump). This device operates at a temperature of 92 ° C thus producing water vapor necessary to drag the essential oil contained in the raw material, subsequently this mixture passes from vapor to liquid state in the condenser and separated with the help of a separatory funnel by density difference.

As a result has obtained, efficiency of 93.8% with an average yield for raw materials of 0.17% in an extraction time of 90 minutes.

We recommend using the extractor of essential oils by steam in the laboratory to obtain new plant essential oils and future research about the extraction.

## INTRODUCCIÓN

El proceso de extracción es una Operación Unitaria que permite la separación de uno o varios constituyentes solubles presentes en un sólido inerte que por lo general son plantas o partes de ellas, lo cual se logra con la utilización de un disolvente adecuado, y es muy utilizada a nivel industrial con el objetivo de separar y aprovechar ciertos componentes de varias plantas para diversas aplicaciones industriales. Es así como parte del proceso de desarrollo de nuevos productos, como de aplicaciones para estos aceites esenciales, es factible el diseño y construcción de un extractor de aceites esenciales para berro, espinaca, zanahoria y toda materia prima del cual se pueda obtener aceite esencial de tipo natural.

El presente proyecto se fundamenta en un equipo extractor por arrastre de vapor, que utiliza un quemador a gas para efectuar la vaporización del agua, el cual arrastra el aceite esencial consiguiendo su separación del sólido inerte. Su diseño está basado en el estudio de la propiedades que poseen diferentes plantas para así escoger el grupo que presente las características que se buscan y empezar una línea de producción que inicia por la operación del secado, molienda, extracción y mezclado. Los datos que se obtuvieron se generaron en la realización de pruebas de extracción en equipo de extracción de aceites esenciales por arrastre de vapor a nivel de laboratorio, posterior a ello se efectuaron los respectivos cálculos de ingeniería para el dimensionamiento correcto del equipo extractor de aceites esenciales.

El equipo brindará un soporte académico-práctico al laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias donde los estudiantes de las diferentes carreras podrán realizar prácticas e investigaciones aplicando los conocimientos adquiridos en las aulas.

## ANTECEDENTES

“Los aceites esenciales han sido usados a través de la historia para una gran variedad de aplicaciones del bienestar. Los egipcios fueron algunos de las primeras personas en usar aceites esenciales aromáticos ampliamente en la práctica médica, tratamientos de belleza, preparación de alimentos y en ceremonias religiosas.

Los romanos también usaron aceites aromáticos para promover la salud e higiene personal. Influenciados por el uso de hierbas aromáticas de los Griegos y Romanos, así como también los Chinos y los Hindus Ayurvedas, los Persas comenzaron a perfeccionar los métodos de destilación para extraer los aceites esenciales de plantas aromáticas. Los extractos de aceites esenciales fueron usados a través de la era del Oscurantismo en Europa por sus propiedades anti-bacteriales y fragantes.”<sup>1</sup>

“El aparecimiento de los aceites esenciales data de hace muchos años atrás y fueron obtenidos alrededor del mundo con la finalidad de aprovechar los beneficios nutricionales que presentaban las semillas oleaginosas, tallos y hojas, el hombre descubrió que los componentes presentes en dichas semillas, tallos y hojas podían ser separados de su fuente en forma mecánica, es decir, mediante prensado.

Sin embargo el prensado no era un método eficiente, por lo que se buscaba una manera más rápida y efectiva para extraer los aceites, es así que se revela el método químico, según el cual es necesario la utilización de un disolvente químico, convirtiéndose en un método más rápido y barato además de dar mejor rendimiento. El solvente más usado desde ese entonces fue el agua.

Hoy en día a nivel mundial se pretende extraer aceites esenciales de las hojas, tallos y semillas, ya que poseen diversas aplicaciones industriales. En el Ecuador existen pequeñas industrias que han realizado el estudio sobre la extracción de aceite de estas especies, tal caso es el de la empresa Isabrubotanik S. A. de la ciudad de Ambato; estos estudios se basan en la extracción de dichos aceites

---

<sup>1</sup> HISTORIA DE ACEITES ESENCIALES, <http://www.doterra.com/sp/spessentialHistory.php>

mediante un equipo de extracción por arrastre de vapor fundamentado en el método químico, es decir, con el uso de un solvente.”<sup>2</sup>

A partir del 2010 en la carrera de ingeniería mecánica se “Desarrollo un sistema de extracción de aceites esenciales” por los Sres. Diego Orlando Paredes Punina y Fabián Danilo Quinatoa Chicaiza, 2012 en la carrera de ingeniería química se “Diseño y Construcción de un Extractor Sólido-Líquido para la Obtención de Aceite de Semillas de Sambo y Zapallo” por las Srtas. Diana Maribel González Chavarrea y Yazmín Mikol Yáñez Andrade.

El presente trabajo de investigación será el punto de partida para llevar a cabo una posible utilización de aceites esenciales en diversas aplicaciones, mediante el diseño y construcción de equipos que facilitaran esta actividad, de esta manera ampliar las líneas de investigación y desarrollo práctico y científico del intelecto de los alumnos de Ingeniería Química y de toda la facultad en sus respectivas áreas de estudio.

---

<sup>2</sup> PRODUCCION DE ACEITES ESENCIALES, [http://isabru.com/aceites\\_esenciales.html](http://isabru.com/aceites_esenciales.html)

## **JUSTIFICACIÓN**

El cambio de la matriz productiva que experimenta nuestro país actualmente exige el planteamiento de un nuevo enfoque investigativo orientado a la producción de nuevos productos para de esta manera dejar al un lado una economía basada en la explotación de recursos no renovables y materias primas.

La zanahoria y la espinaca son utilizadas en la industria alimenticia como materia prima para la elaboración de conservas, enlatados, entre otros. Mientras que el berro tiene usos culinarios.

Gracias a las características nutricionales que tiene el berro, espinaca y zanahoria, mismos que pueden ser aprovechados al extraer su correspondiente aceite esencial podrán ser utilizados para la elaboración de un gel de protección solar, complementando de esta manera una línea de producción en el Laboratorio de Procesos Industriales con lo cuál se promoverá el desarrollo científico del intelecto de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Química y de la Facultad de Ciencias.

El diseño y construcción del equipo permitirá la extracción de aceites esenciales a nivel de laboratorio, siendo de gran importancia la extracción en los procesos productivos de la industria. Además el equipo construido debido a sus características incentiva y facilita posteriores investigaciones acerca de los aceites esenciales y sus posibles nuevas aplicaciones ya que el mismo estará a disposición de todos los estudiantes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

## **OBJETIVOS:**

### **General**

Realizar el diseño y construcción de un Equipo Extractor de Aceites Esenciales por arrastre de vapor para berro, espinaca y zanahoria.

### **Específicos**

- Identificar las variables a controlar durante proceso de extracción de aceite esencial.
- Efectuar los cálculos de ingeniería para el diseño y construcción del equipo de extracción de aceites esenciales por arrastre de vapor.
- Determinar el rendimiento de cada vegetal empleado.
- Realizar las pruebas de validación del equipo.

# CAPITULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. Aceites Esenciales

#### 1.1.1. Generalidades

**FIGURA 1: ACEITES ESENCIALES**



Fuente: ACEITES ESENCIALES: <http://www.elbosquedelasbrujas.com/aceitesprop.html>

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

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.

Los aceites esenciales generalmente son mezclas complejas de hasta más de 100 componentes que pueden ser:

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

En su gran mayoría son de olor agradable, aunque existen algunos de olor relativamente desagradable como por ejemplo los del ajo y la cebolla, los cuales contienen compuestos azufrados.

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.

### **1.1.2. Clasificación**

Los aceites esenciales se clasifican con base en diferentes criterios: consistencia, origen y naturaleza química de los componentes mayoritarios.

De acuerdo con su consistencia los aceites esenciales se clasifican en esencias fluidas, bálsamos y oleorresinas.

Las Esencias fluidas son líquidos volátiles a temperatura ambiente.

Los Bálsamos son de consistencia más espesa, son poco volátiles y propensos a sufrir reacciones de polimerización, son ejemplos el bálsamo de copaiba, el bálsamo del Perú, Benjuí, bálsamo de Tolú, Estoraque, etc.

Las Oleorresinas tienen el aroma de las plantas en forma concentrada y son típicamente líquidos muy viscosos o sustancias semisólidas (caucho, gutapercha, chicle, balata, oleorresina de paprika, de pimienta negra, de clavel, etc.).

De acuerdo a su origen los aceites esenciales se clasifican como naturales, artificiales y sintéticos. Los naturales se obtienen directamente de la planta y no sufren modificaciones físicas ni químicas posteriores, debido a su rendimiento tan bajo son muy costosas. Los artificiales se obtienen a través de procesos de enriquecimiento de la misma esencia con uno o varios de sus componentes, por ejemplo, la mezcla de esencias de rosa, geranio y jazmín enriquecidas con linalool, o la esencia de anís enriquecida con anetol. Los aceites esenciales sintéticos como su nombre lo indica son los producidos por la combinación de sus componentes los cuales son la mayoría de las veces producidos por procesos de síntesis química. Estos son más económicos y por lo tanto son mucho más utilizados como aromatizantes y saborizantes (esencias de vainilla, limón, fresa, etc.).

### **1.1.3. Aplicación de los aceites esenciales<sup>3</sup>**

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.

---

<sup>3</sup> ACEITES ESENCIALES, <http://www.enbuenasmanos.com/articulos/muestra.asp?art=107>

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: detergentes, jabones, preparaciones de limpieza.

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

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

#### **1.1.4. Características organolépticas de los aceites esenciales<sup>4</sup>**

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

---

<sup>4</sup>ACEITES ESENCIALES, <http://www.slideshare.net/profegildi/analisis-y-control-de-aceites-esenciales>

sólo por la época u origen del ejemplar, sino 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.

## **1.2. Plantas y partes de plantas que se someterán al proceso de extracción de aceites esenciales**

Las plantas que se someterán al proceso de extracción se han considerado por ser poco utilizadas para este proceso y se desean obtener aceites esenciales de las mismas debido a las bondades que estas plantas presentan.

### **1.2.1. Berro**

**FIGURA 2: HOJAS DE BERRO**



Fuente: BERRO: <http://www.saluddiaria.com/4071/propiedades-medicinales-nutricionales-del-berro/>

“El berro constituye en nuestra dieta un alimento de origen vegetal, de la familia brassicaceae, género nasturtium y especie officinale. En lo que se refiere al tipo de alimento, pertenece al grupo verduras/hortalizas, y por sus características lo enmarcamos dentro de la rama hojas.

En cuanto al aspecto nutricional, es un alimento con un significativo aporte de carotenoides, vitamina C, vitamina B9, vitamina A, calcio, agua, hierro, yodo y vitamina E. El resto de nutrientes presentes en este alimento, ordenados por relevancia de su presencia, son: vitamina B6, magnesio, potasio, vitamina B2, vitamina B, fibra, cinc, fósforo, hidratos de carbono, vitamina B3, proteínas, calorías, selenio, ácidos grasos poliinsaturados, sodio, grasa, ácidos grasos saturados y ácidos grasos monoinsaturados.

**TABLA 1: APOORTE NUTRICIONAL DEL BERRO**

VITAMINAS		COMPONENTES		COMPONENTES PRINCIPAL	
Característica	G	Característica	g	Característica	g
<b>A</b>	0,0008166	Potasio	0,276	Proteínas	1,60
<b>B1</b>	0,00009	Fosforo	0,064	Hidratos	2,03
<b>B2</b>	0,00017	Fibra	1,47	Agua	94,60
<b>B3</b>	0,00073	Grasa	0,30	Calcio	0,180
<b>B6</b>	0,00023	AGS	0,08	Hierro	0,00310
<b>B9</b>	0,000214	AGM	0,02	Zinc	0,0070
<b>C</b>	0,096	AGP	0,11	Magnesio	0,034
<b>E</b>	0,00000014	Carotenoides	0,0049	Sodio	0,012

Fuente: APOORTE NUTRICIONAL DEL BERRO: <http://www.saludybuenosalimentos.es/alimentos/index.php?s1=s1&s2=s2&>

Debido a la elevada concentración de carotenoides, el berro actúa como antioxidante previniendo el envejecimiento celular y protegiendo el organismo frente a los radicales libres y la aparición de cáncer, a la vez que se aumenta la eficiencia del sistema inmunitario y se reducen las probabilidades de ataques cardíacos. Los carotenos son también requeridos por nuestro organismo para la formación de la vitamina A.

Por la concentración de vitamina C, el berro presenta propiedades antioxidantes que ayudan a neutralizar los radicales libres y a eliminar determinadas sustancias tóxicas, reduciendo la probabilidad de desarrollar cáncer. La vitamina C inhibe

además el crecimiento de bacterias dañinas para el organismo, favorece el sistema inmunitario, previene enfermedades vasculares al reducir la tensión arterial, y es empleada en tratamientos contra alergias como el asma o la sinusitis. En cuanto al desarrollo del organismo, esta vitamina tiene un destacado papel en el mantenimiento de cartílagos, huesos y dientes, ayuda a la absorción del hierro no hémico, y es imprescindible en la formación de colágeno, por lo que previene contra afecciones de la piel y contribuye a la cicatrización de heridas y quemaduras. También se sabe que mejora la visión y reduce la posibilidad de aparición de glaucoma y cataratas, además de combatir el estreñimiento por sus propiedades laxantes.

Gracias al contenido de vitamina B9, el berro contribuye a la formación de células sanguíneas y glóbulos rojos, ayudando a prevenir la anemia y a mantener sana la piel. Además de ser indispensable para la correcta división y crecimiento celular -fundamental durante el embarazo y la infancia-, la vitamina B9 -o ácido fólico- interviene en el metabolismo de proteínas, ADN y ARN, reduciendo el riesgo de aparición de deficiencias en el tubo neural del feto (estructura que dará lugar al sistema nervioso central). Esta vitamina además, disminuye la posibilidad de presentar enfermedades cardiovasculares, previene algunos tipos de cáncer como la leucemia, estimula la formación de ácidos digestivos y ayuda a mejorar el apetito.

Como consecuencia de los niveles de calcio que presenta, el berro contribuye al fortalecimiento de huesos, dientes y encías, y favorece la adecuada coagulación de la sangre, previniendo enfermedades cardiovasculares, ya que el calcio ayuda a disminuir los niveles de colesterol en sangre. Este nutriente ayuda también en la regularidad de la frecuencia cardíaca y en la transmisión de impulsos nerviosos, contribuyendo a reducir la tensión arterial en personas con hipertensión. El calcio además, mantiene la permeabilidad de las membranas celulares, e interviene en el proceso de la actividad neuromuscular, entre otras funciones.

El berro contiene un 94,60% de agua, y por lo tanto favorece la hidratación de nuestro organismo, al que debemos abastecer, incluyendo el consumo a través de los alimentos, con una cantidad de agua que oscila entre los 2,7 y los 3,7 litros, dependiendo de cada constitución, de la actividad física desarrollada, o de estados como el embarazo, la lactancia, enfermedad o exposición a fuentes de calor, circunstancias estas últimas donde las necesidades de consumo aumentan.

Por ser un alimento rico en hierro (necesario para la síntesis de hemoglobina), el berro colabora en la renovación de las células sanguíneas, posibilitando el transporte de oxígeno desde los pulmones hacia los diferentes órganos, como los músculos, el hígado, el corazón o el cerebro, siendo el hierro indispensable en determinadas funciones de este último, como la capacidad de aprendizaje. El hierro también incrementa la resistencia ante enfermedades reforzando las defensas frente a los microorganismos, previene estados de fatiga o anemia, y sin él no podrían funcionar el sistema nervioso central, el control de la temperatura corporal o la glándula tiroides, siendo además saludable para la piel, el cabello y las uñas. Este alimento resulta muy beneficioso para el organismo en situaciones de carencia de hierro, ya sean como consecuencia de hábitos alimenticios inadecuados, durante la menstruación o el embarazo, o tras accidentes u operaciones médicas donde se ha perdido sangre.

Por la presencia de yodo entre sus nutrientes, el berro favorece el funcionamiento de los tejidos nerviosos y musculares, así como el sistema circulatorio. Además, el yodo, colabora en el metabolismo de otros nutrientes, y juega un papel esencial en el adecuado desarrollo de la glándula tiroidea.

La presencia de vitamina E confiere al berro propiedades antioxidantes que ayudan a mantener la integridad de la membrana celular, protegiendo las células y aumentando la respuesta defensiva de éstas ante la presencia de sustancias tóxicas derivadas del metabolismo del organismo o del ingreso de compuestos por vías respiratorias o bucales. Las propiedades antioxidantes de la vitamina E protegen, además de al sistema inmune, al sistema nervioso con el mantenimiento

de la membrana neuronal y al sistema cardiovascular evitando la destrucción de glóbulos rojos y la formación de trombos. Asimismo, esta vitamina protege al organismo frente a la destrucción de ácidos grasos, vitamina A, vitamina C y selenio, y frente al envejecimiento causado por la degeneración de tejidos que trae consecuencias como la falta de memoria, siendo importante en la formación y renovación de fibras elásticas y colágenos del tejido conjuntivo.”

### 1.2.2. *Espinaca*

**FIGURA 3: HOJAS DE ESPINACA**



Fuente: ESPINACA: <http://empacadora-hill-brothers.squarespace.com/espinaca/>

La espinaca es un alimento del reino vegetal dentro de la dieta del hombre, de la familia amaranthaceae, género spinacia y especie oleracea. En lo que se refiere al tipo de alimento, pertenece al grupo verduras/hortalizas, y por sus características lo enmarcamos dentro de la rama hojas.

Las espinacas son una fuente muy importante de sustancias de acción antioxidante. Los antioxidantes bloquean el efecto dañino de los radicales libres. La respiración en presencia de oxígeno es esencial en la vida celular de nuestro organismo, pero como consecuencia de la misma se producen unas moléculas, los radicales libres, que ocasionan efectos negativos para la salud por su capacidad de alterar el ADN (los genes), las proteínas y los lípidos o grasas. Existen situaciones que aumentan la producción de radicales libres, como el ejercicio físico intenso, la contaminación ambiental, el tabaquismo, las infecciones, el estrés, dietas ricas en grasas y la sobre exposición al sol.

Las espinacas están compuestas en su mayoría por agua. Su contenido de hidratos de carbono y grasas es muy bajo. Aunque tampoco tiene una cantidad muy alta de proteínas, es uno de los vegetales más ricos en este nutriente. Su contenido en fibra, al igual que ocurre con la gran mayoría de las verduras, es considerable, lo que resulta beneficioso para la salud. Se destacan sobre todo por una riqueza en vitaminas y minerales que sobrepasa a la de la mayoría.

En relación con su riqueza vitamínica, las espinacas presentan cantidades elevadas de provitamina A y de vitaminas C y E, todas ellas de acción antioxidante. Asimismo es muy buena fuente de vitaminas del grupo B como folatos, B2, B6 y, en menor proporción, también se encuentran B3 y B1.

La provitamina A se transforma en vitamina A conforme el cuerpo la necesita. Dicha vitamina es esencial para la visión, el buen estado de la piel, el cabello, las mucosas, los huesos y para el buen funcionamiento del sistema inmunológico.

De su contenido de sustancias antioxidantes, además de la provitamina A y de las vitaminas C y E, las espinacas son ricas en glutatión, ácido ferúlico, ácido cafeico, ácido beta-cumárico y carotenoides como la luteína y la zeaxantina.

La vitamina C interviene en la formación de colágeno, glóbulos rojos, huesos y dientes, al tiempo que favorece la absorción del hierro de los alimentos y aumenta la resistencia frente a las infecciones. La vitamina E interviene en la estabilidad de las células sanguíneas y en la fertilidad. Los folatos colaboran en la producción de glóbulos rojos y blancos, en la síntesis de material genético y en la formación de anticuerpos del sistema inmunológico.

La vitamina B2 o Riboflavina se relaciona con la producción de anticuerpos y de glóbulos rojos, interviene en procesos de obtención de energía y en el mantenimiento del tejido epitelial de las mucosas.

En cuanto a su contenido en minerales, las espinacas son ricas en calcio, hierro, magnesio, potasio, sodio, además de presentar también buenas cantidades de fósforo y yodo. Lo que ocurre es que el calcio es de peor aprovechamiento que el

que procede de los lácteos u otros alimentos que son fuente importante de este mineral. Algo similar ocurre con el hierro, cuya absorción es mucho mayor cuando procede de alimentos de origen animal.

El magnesio se relaciona con el funcionamiento de intestino, nervios y músculos. Además, forma parte de huesos y dientes, mejora la inmunidad y posee un suave efecto laxante.

El potasio, al igual que el sodio, es un mineral necesario para la transmisión y generación del impulso nervioso y para la actividad muscular normal. Regula también el equilibrio de agua dentro y fuera de la célula.

El fósforo tiene una importante función estructural. Forma parte de huesos y dientes y colabora en los procesos de obtención de energía.

El yodo es indispensable para el buen funcionamiento de la glándula tiroidea, que regula el metabolismo.

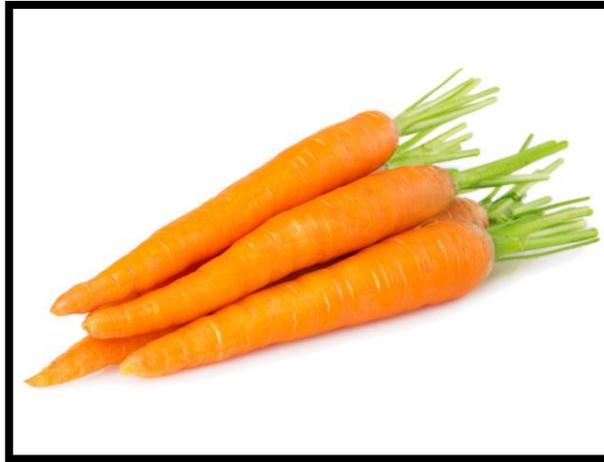
**TABLA 2: APOORTE NITRICIAL DE LA ESPINACA (100 g)**

VITAMINAS		COMPONENTES		COMPONENTES PRINCIPAL	
Característica	G	Característica	g	Característica	g
<b>A</b>	0,000439	Potasio	0,369	Proteínas	2,96
<b>B1</b>	0,00006	Fosforo	0,0413	Hidratos	0,79
<b>B2</b>	0,00014	Fibra	2,33	Agua	93,97
<b>B3</b>	0,000177	Grasa	0,57	Calcio	0,14782
<b>B6</b>	0,00070	AGS	0,14	Hierro	0,00255
<b>B9</b>	0,000110	AGM	0,04	Zinc	0,00055
<b>C</b>	0,01937	AGP	0,22	Magnesio	0,055
<b>E</b>	0,00000658	Carotenoides	0,0263	Sodio	0,085

**Fuente:** APOORTE NUTRICIAL DE LA ESPINACA: <http://www.saludybuenosalimentos.es/alime>

### 1.2.3. Zanahoria

**FIGURA 4: SEMILLAS DE ZANAHORIA**



**Fuente:**ZANAHORIA: [http://www.muyecologico.es/product\\_info.php?products\\_id=158&osCsid=527b0ed850c256d32de8](http://www.muyecologico.es/product_info.php?products_id=158&osCsid=527b0ed850c256d32de8)

La zanahoria constituye un alimento de procedencia vegetal que forma parte de la dieta del hombre, de la familia apiaceae, género daucus y especie carota. En lo que se refiere al tipo de alimento, pertenece al grupo verduras/hortalizas, y por sus características lo enmarcamos dentro de la rama raíces.

En cuanto al aspecto nutricional, es un alimento que destaca por su significativo aporte de carotenoides, vitamina A y agua. El resto de nutrientes presentes en este alimento, ordenados por relevancia de su presencia, son: potasio, vitamina B6, yodo, fibra, hidratos de carbono, vitamina C, vitamina B, vitamina E, calcio, sodio, magnesio, vitamina B2, vitamina B9, fósforo, hierro, calorías, vitamina B3, cinc, proteínas, selenio, ácidos grasos poliinsaturados, grasa, ácidos grasos saturados y ácidos grasos monoinsaturados.

**TABLA 3: APORTE NUTRICIONAL DE LA ZANAHORIA (100g)**

VITAMINAS		COMPONENTES		COMPONENTES PRINCIPAL	
Característica	G	Característica	g	Característica	g
<b>A</b>	0,00000703	Potasio	0,2347	Proteínas	0,83
<b>B1</b>	0,00007	Fosforo	0,0315	Hidratos	5,16
<b>B2</b>	0.00005	Fibra	1,62	Agua	92,25
<b>B3</b>	0,00057	Grasa	0,16	Calcio	0,02781
<b>B6</b>	0,000015	AGS	0,03	Hierro	0,0043
<b>B9</b>	0,00000748	AGM	0,01	Zinc	0,0019
<b>C</b>	0,00432	AGP	0,08	Magnesio	0,00959
<b>E</b>	0.0000058	Carotenoides	0,0356	Sodio	0,05175

Fuente: APORTE NUTRICIONAL DE LA ZANAHORIA: <http://www.saludybuenosalimentos.es/alimentos/index.php?s1=s1&s>

Debido a la elevada concentración de carotenoides, la zanahoria actúa como antioxidante previniendo el envejecimiento celular y protegiendo el organismo frente a los radicales libres y la aparición de cáncer, a la vez que se aumenta la eficiencia del sistema inmunitario y se reducen las probabilidades de ataques cardíacos. Los carotenos son también requeridos por nuestro organismo para la formación de la vitamina A.

Por su composición, rica en vitamina A, la zanahoria colabora en las funciones de crecimiento, mantenimiento y reparación del sistema óseo, a la vez que contribuye al desarrollo celular relacionado con la vista, mucosas, epitelios, piel, uñas, cabello y esmalte de dientes. La vitamina A cumple además un rol determinante en la función reproductiva, contribuyendo tanto en la producción de espermatozoides como en el ciclo reproductivo femenino, y favoreciendo el normal desarrollo de células y tejidos del feto durante el embarazo.

La zanahoria contiene un 92,25% de agua, y por lo tanto favorece la hidratación de nuestro organismo, al que debemos abastecer, incluyendo el consumo a través de los alimentos, con una cantidad de agua que oscila entre los 2,7 y los 3,7 litros, dependiendo de cada constitución, de la actividad física desarrollada, o de estados como el embarazo, la lactancia, enfermedad o exposición a fuentes de calor, circunstancias estas últimas donde las necesidades de consumo aumentan.

Exteriormente puede utilizarse para curar los problemas de la piel como eczemas, heridas o quemaduras, incluidas las producidas por el sol. Es muy útil para paliar la acción destructiva de los rayos ultravioletas, motivo por el cual forma parte de la composición de muchos filtros solares. Una mascarilla de pulpa de zanahoria durante media hora favorece además la tersura de la piel, eliminando las arrugas o evitando que aparezcan.

En cosmética, las zanahorias se pueden utilizar para confeccionar mascarillas o cremas limpiadoras para el cuidado del cutis. Su capacidad para nutrir la piel y absorber las impurezas acumuladas sobre el cutis, la hace muy adecuada para la confección de mascarillas para el acné.

Las propiedades de las zanahorias para la piel no solamente se limitan a la belleza exterior, sino que su cuidado también incluye la piel "interior", es decir, de las paredes del estómago y el intestino. Por este motivo, el licuado de zanahoria es muy recomendable cuando hay irritación del esófago (hernia de hiato), vómitos, gastritis o úlceras digestivas.

### **1.3. Proceso de extracción de aceites esenciales**

#### **1.3.1. Extracción**

En el proceso industrial de extracción pueden considerarse las siguientes etapas:

Disolución de los constituyentes solubles y separación del sólido inerte.

Recuperación del disolvente, si es económicamente viable.

Lavado del sólido inerte para recuperar mayor cantidad de soluto.

La extracción sólido-líquido es una operación básica o unitaria mediante la cual se separa uno o varios constituyentes solubles contenidos en un sólido inerte mediante la utilización de un disolvente adecuado.

En un proceso de extracción sólido-líquido las operaciones implicadas son:

- ✓ Cambio de fase del soluto. Esta etapa se considera prácticamente instantánea.
- ✓ Difusión del soluto a través del disolvente contenido en los poros del sólido inerte.
- ✓ Transferencia del soluto desde las inmediaciones de la inter fase S/L hasta el seno de la masa principal de disolvente.

### **1.3.2. Factores más importantes que influyen sobre la velocidad de extracción**

#### *1.3.2.1. Tamaño de las partículas sólidas*

Evidentemente cuanto más pequeñas sean, mayor es la superficie inter facial y más corta la longitud de los poros. Por tanto, mayor es la velocidad de transferencia. Sin embargo, tamaños excesivamente pequeños pueden hacer que las partículas se apelmacen dificultando la extracción.

#### *1.3.2.2. Tipo de disolvente*

El disolvente debe ser lo más selectivo posible y se recomienda de baja viscosidad.

#### *1.3.2.3. Temperatura*

Un aumento de la temperatura favorece la solubilidad y aumentan los coeficientes de transferencia de materia. El límite superior se fija atendiendo a criterios de calidad del producto, criterios económicos y de seguridad con respecto al disolvente.

### **1.3.3. 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.

#### **1.3.3.1. Enfleurage**

**FIGURA 5: MÉTODO DE EXTRACCIÓN ENFLEURAGE**



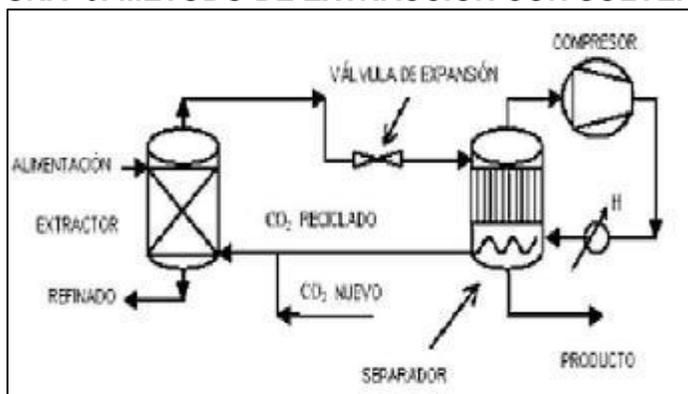
Fuente: ENFLUORAGE: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/401552/Capitulo\\_4/44enfleurage.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/401552/Capitulo_4/44enfleurage.html)

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 o “chasis” en profundidad no mayor a 5 mm y sobre ella se colocan los pétalos de flores o 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”.

### 1.3.3.2. Extracción Con Solventes

**FIGURA 6: MÉTODO DE EXTRACCIÓN CON SOLVENTES**



Fuente: EXTRACCIÓN CON SOLVENTES: [http://procesosbio.wikispaces.com/Supercritical+Fluid+Extraction+%28SFE%](http://procesosbio.wikispaces.com/Supercritical+Fluid+Extraction+%28SFE%29)

El material previamente debe de ser molido, macerado o picado, para permitir mayor área de contacto entre el sólido y el solvente. El proceso ha de buscar que el sólido, o el líquido, o 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 o cochadas) o en forma continua (percolación, lixiviación, extracción tipo soxhlet). Los

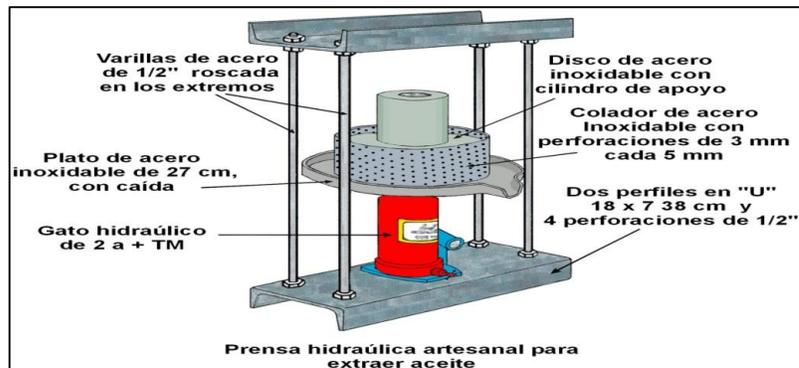
solventes más empleados son: Etanol, metanol, isopropano, hexano, ciclohexano, tolueno, xileno, ligroína, éter etílico, éter isopropílico, acetato de etilo, acetona, cloroformo; no se usan clorados ni benceno por su peligrosidad a la salud. Los solventes se recuperan por destilación y pueden ser reutilizados.

El solvente adicionalmente extrae otros componentes como colorantes, gomas, mucílagos, ceras, grasas, proteínas, carbohidratos. En la etapa de recuperación de los solventes (atmosférica o 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 recuperar desde allí y el producto se comercializa como un todo, conocido como “extractos”.

### 1.3.3.3. Extracción Por Prensado

**FIGURA 7: MÉTODO DE EXTRACCIÓN POR PRENSADO**



Fuente: PRENSADO: [http://www.itacab.org/adminpub/web/index.php?mod=ficha&ficha\\_id=37](http://www.itacab.org/adminpub/web/index.php?mod=ficha&ficha_id=37)

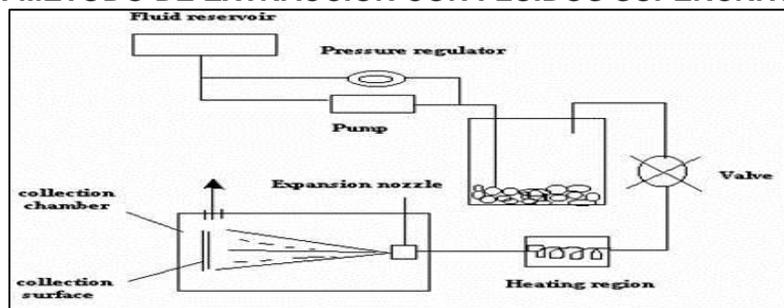
También se le conoce como “expresión”. El material vegetal es sometido a presión, bien sea en prensas tipo batch o en forma continua, dentro de éstos se tienen los equipos: Tornillo sin fin de alta o de baja presión, extractor expeller,

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 o “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 desodorizantes (smell oils) y saborizantes (taste oils).

#### 1.3.3.4. Extracción con fluidos supercríticos

**FIGURA 8: MÉTODO DE EXTRACCIÓN CON FLUIDOS SUPERCRÍTICOS**



Fuente:EXTRACCIÓN CON FLUIDOS SUPERCRÍTICOS: <http://datateca.unad.edu.co/contenidos/45>

Se puede definir como fluido supercríticos a una sustancia que se encuentra a condiciones de presión y temperatura más altas que su punto crítico. En esta región no existe una interacción entre fases sino solo existe una fase, que exhibe

propiedades tanto de gas como de líquido. Una de las características más deseadas que exhiben los fluidos supercríticos es su alto poder de solvatación, con lo cual puede interactuar con una gran cantidad de solutos, y como otras propiedades de estos, es fácilmente ajustable cambiando ligeramente la temperatura y presión. Como en el caso de los gases, los fluidos supercríticos no tienen tensión superficial, con lo cual la transferencia de masa no se ve limitada por este. Todas estas propiedades hacen que los fluidos supercríticos sean firmes candidatos a remplazar a los solventes en distintas aplicaciones como extracción, medio de reacción o secado.

**TABLA 4: CONDICIONES DE FLUIDOS SUPERCRITICOS**

Solvente	peso molecular	temperatura crítica	presión crítica	densidad crítica
	g/mol	K	MPa (atm)	g/cm <sup>3</sup>
Dióxido de carbono(CO <sub>2</sub> )	44,01	304,1	7,38 (72,8)	0,469
Agua(H <sub>2</sub> O)	18,015	647,096	22,064 (217,755)	0,322
Metano (CH <sub>4</sub> )	16,04	190,4	4,60 (45,4)	0,162
Etano (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	30,07	305,3	4,87 (48,1)	0,203
Propano (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	44,09	369,8	4,25 (41,9)	0,217
Etileno(C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	28,05	282,4	5,04 (49,7)	0,215
Propileno (C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> )	42,08	364,9	4,60 (45,4)	0,232
Metanol (CH <sub>3</sub> OH)	32,04	512,6	8,09 (79,8)	0,272
Etanol (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)	46,07	513,9	6,14 (60,6)	0,276
Acetona (C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O)	58,08	508,1	4,70 (46,4)	0,278

Fuente: CONDICIONES DE FLUIDOS SUPERCRITICOS: [http://datateca.unad.edu.ve/extraccin\\_con\\_fluidos\\_supercriticos.html](http://datateca.unad.edu.ve/extraccin_con_fluidos_supercriticos.html)

Una de las sustancias más ampliamente estudiadas como fluidos supercríticos es el dióxido de carbono, que tiene las ventajas de tener una temperatura crítica relativamente baja (cerca de 30 °C), su baja toxicidad y alta disponibilidad.

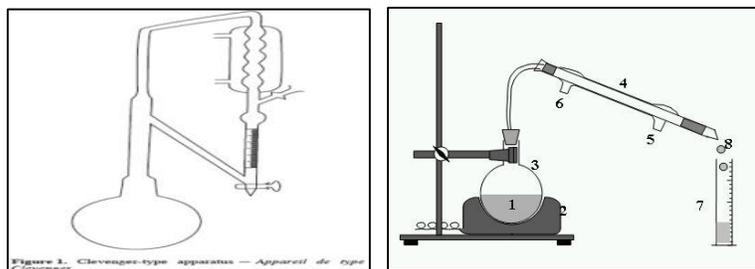
Este método de extracción tiene ventajas frente a otras técnicas gracias a la posibilidad de modificar las propiedades del fluido de modo casi ilimitado, con lo cual se puede focalizar en extraer una serie de compuestos sin afectar a los demás. Además después de realizar la extracción el fluido se descomprime, haciendo que las sustancias extraídas queden libres para su uso, sin necesidad de una posterior purificación y/o recuperación del solvente.

La principal limitación que poseen los procesos basados en fluidos supercríticos es el costo. Como las presiones a manejar son altas, los equipos involucrados deben tener la suficiente resistencia mecánica para poder soportar tales presiones y en caso de reacciones oxidativas en medio supercríticos, también es necesario que resistan un alto poder corrosivo que exhiben este tipo de reacciones.

- Ventajas: variedad de condiciones de operación, amplias posibilidades de uso
- Desventajas: alto costo en equipos

#### 1.3.3.5. Hidrodestilación

**FIGURA 9: MÉTODO DE EXTRACCIÓN POR HIDRODESTILACIÓN**



Fuente: HIDRODESTILACIÓN: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/401552/Capitulo\\_4/42hidrodestilacin.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/401552/Capitulo_4/42hidrodestilacin.html)

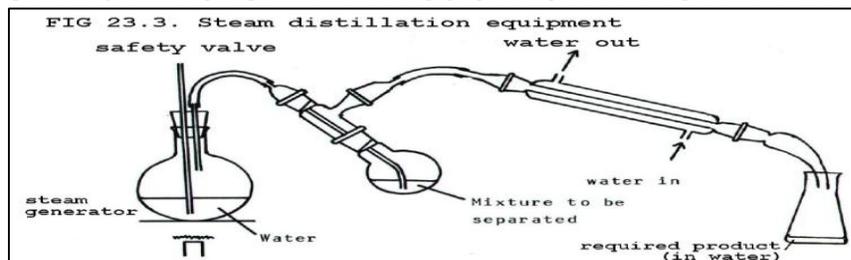
En este proceso en la parte inferior del tanque extractor, el cual es normalmente basculante, se coloca agua, luego viene encima una parrilla que soporta el material que va a ser extraído. La salida de vapores, puede ser lateral al tanque o ubicarse en la tapa, pasa a un serpentín o espiral enfriado por agua y posteriormente el vapor condensado y el aceite esencial se recolectan en un separador de fases o 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.

#### 1.3.3.6. Extracción Por Arrastre Con Vapor

**FIGURA 10: MÉTODO DE EXTRACCIÓN POR ARRASTRE DE VAPOR**



Fuente: EXTRACCIÓN POR ARRASTRE DE VAPOR: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/401arrastre\\_con\\_vapor.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/401arrastre_con_vapor.html)

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, recogándose 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 de separación: diseño del vaso florentino, la temperatura del destilado.

#### *1.3.3.6.1. Ventajas de la extracción por arrastre de vapor*

- La extracción por arrastre de vapor es un proceso muy limpio que asegura un producto de buena calidad.
- Requiere de instalaciones básicas de herrería para su construcción.
- Es un método utilizado a nivel industrial y en laboratorio.
- Buen rendimiento en aceite extraído.
- Obtención de aceite libre de solvente.
- Bajo costo.
- Aplicación de principios de Ingeniería Química.

#### *1.3.3.6.2. Desventajas de la extracción por arrastre de vapor*

- La operación incorrecta de este método puede dar lugar a un aceite de baja calidad y con aroma a quemado.
- Puede requerir de una etapa posterior de refinación.

### 1.3.4. Partes constitutivas del Equipo Extractor

#### 1.3.4.1. Extractor

**FIGURA 11: RECIPIENTE EXTRACTOR**



Fuente: ACAN F. / PILATAXI J., Laboratorio Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

No es más que un recipiente cilíndrico, el cual constituye el equipo de extracción propiamente dicho. Este recipiente está hecho de acero inoxidable y posee el volumen necesario para albergar unos recipientes de acero inoxidable en los cuales se depositará el material vegetal del cual se realizará la extracción de aceite esencial.

En el fondo, del recipiente extractor hay un grifo de desagüe, para permitir la salida de agua no evaporada y vapor condensado. Además cuenta con un medidor de nivel el mismo que nos indica la cantidad de agua en el interior del extractor.

#### 1.3.4.2. Recipientes de carga de materia prima

**FIGURA 12: RECIPIENTES DE CARGA DE MATERIA PRIMA**



Fuente: ACAN F. / PILATAXI J., Laboratorio Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

Para facilitar la operación de carga y descarga de materia prima, el sistema cuenta con tres recipientes de carga los mismos que contienen una serie de orificios con el fin de conseguir un mayor contacto entre el vapor y la superficie del vegetal sometido a extracción, estos recipientes se ubicaran en el interior del extractor.

#### 1.3.4.3. Tapa del extractor

**FIGURA 13: TAPA DEL EXTRACTOR**



Fuente: ACAN F. / PILATAXI J., Laboratorio Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

Mientras que 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, en esta tapa lleva incorporada un termómetro por medio del cual facilita al operador visualizar la temperatura en que se está dando la extracción.

#### 1.3.4.4. Quemador

**FIGURA 14: QUEMADOR INDUSTRIAL**



Fuente: ACAN F. / PILATAXI J., Laboratorio Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

El vapor que tendrá contacto con el material vegetal se producirá en el mismo recipiente extractor, para lo cual antes de introducir el material vegetal se deberá alimentar también un volumen específico de agua, la cual será calentada y evaporada gracias a un quemador semi-industrial que proveerá el calor necesario para conseguir dicha evaporación haciendo posible la extracción.

#### 1.3.4.5. Condensador o intercambiador de calor

**FIGURA 15: CONDENSADOR CONTRA CORRIENTE**



Fuente: ACAN F. / PILATAXI J., Laboratorio Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

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

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 cuenta 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.

#### 1.3.4.6. *Embudo de separación y recipiente recolector*

**FIGURA 16: RECIPIENTE RECOLECTOR DE ACEITE ESENCIAL-AGUA**



Fuente: ACAN F. / PILATAXI J., Laboratorio Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

La mezcla condensada de aceite esencial y agua caerán directamente al embudo de separación colocada debajo del tubo de salida para su efecto se deberá ir continuamente eliminando el líquido que se encuentre en la parte inferior del embudo ya que se tratara de una agua de rosas el cual caerá al recipiente recolector ya que dicha agua de rosas puede tener otras aplicaciones por tanto también puede ser utilizada, mientras que en la parte superior del embudo se observara que se va acumulando el aceite esencial extraído. En este caso el recipiente recolector sirve también como medida para la adición de agua apropiada al extractor antes de empezar el proceso de extracción, el mismo también se encuentra elaborado en acero inoxidable y consta además de una tapa en caso de que se decida almacenar el agua de rosas proveniente de la extracción del aceite.

#### 1.3.4.7. Sistema de recirculación de agua para el condensador

**FIGURA 17: TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA Y BOMBA**



Fuente: ACAN F. / PILATAXI J., Laboratorio Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

Se diseñó un sistema de recirculación de agua para el condensador con el fin promover el ahorrar del líquido vital, para lo cual se utilizó un recipiente de plástico que contenga el volumen necesario de agua para condensar el vapor, una bomba para impulsar el agua desde el tanque recipiente hacia el condensador y posterior retorno al mismo recipiente, tuberías y accesorios necesarios para lograr recircular el agua.

#### 1.3.5. Identificación de variables

##### 1.3.5.1. Extractor

Para el diseño del extractor se considera las siguientes variables:

- Temperatura del vapor en el extractor.
- Material del equipo en función de las condiciones de trabajo.
- Dimensiones en función de la materia prima.
  - ✓ Diámetro (D)
  - ✓ Radio (r)
  - ✓ Altura (h)

### 1.3.5.2. Condensador

Para el diseño del Condensador se considera las siguientes variables:

#### 1.3.5.2.1. Variables del vapor (vapor de agua más vapor de aceite esencial)

- Masa total de vapor
- Temperatura del vapor al ingreso del condensador
- Temperatura del vapor a la salida del condensador

#### 1.3.5.2.2. Variables del sistema de refrigeración

- Temperatura de ingreso del agua
- Temperatura de salida del agua
- Flujo de agua
- Diámetro de la tubería

## 1.4. Diseño del Equipo Extractor

A continuación, se hace un breve estudio de las operaciones y los respectivos cálculos y ecuaciones que se emplearan en el diseño y construcción del sistema de extracción de aceites esenciales.

Los problemas de extracción y destilación por arrastre de vapor pueden resolverse por aplicación de balances de masa y energía.

#### **1.4.4. Balance de masa**

Es una ecuación o igualdad por medio del cual podemos confirmar la ley de la conservación de la materia para un determinado sistema

$$E = S + A$$

**Ecuación 1**

Dónde:

E: Flujo de entrada de la materia

S: flujo de salida del producto

A: acumulación de la materia

El balance de masa se lo puede aplicar en todos los procesos en los cuáles se trabaje con flujos de materia como proyectar plantas industriales, comprobación y funcionamiento de procesos.

#### **1.4.5. Balance de Energía**

Por medio de la presente ecuación podemos calcular la cantidad de energía que intervienen en un determinado proceso:

$$E_s = E_u + E_p$$

**Ecuación 2**

Dónde:

Es: Energía que se suministra al proceso

Eu: Energía que se utiliza en el proceso

Ep: Energía que se pierde

Los balances de energía tienen gran importancia y muy amplia utilización en procesos industriales donde es preciso calentar, enfriar o aislar térmicamente.

#### **1.4.6. Volumen en recipientes cilíndricos**

La presente ecuación relaciona el radio de un recipiente y su altura para calcular el volumen del mismo.

$$V_e = \pi r^2 h$$

**Ecuación 3**

Dónde:

Ve: Volumen del recipiente (m<sup>3</sup>)

r: radio del recipiente (m)

h: altura del recipiente (m)

Se utiliza en el dimensionamiento de recipientes de almacenamiento para la industria.

#### **1.4.7. Calor total de evaporación del agua**

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

$$Q_T = Q_s + Q_L$$

**Ecuación 4**

Dónde:

QT: calor total para evaporación del agua (KJ)

Qs: Calor sensible (KJ)

$Q_L$ : Calor latente (KJ)

Se aplica en procesos industriales de alimentos donde se trabaja con agua caliente o vapor de agua, en los procesos de escaldado

#### **1.4.8. Calor sensible**

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

$$Q_s = mC_p\Delta T$$

**Ecuación 5**

Dónde:

$Q_s$ : Calor sensible (KJ)

$m$ : masa de agua (Kg)

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

$\Delta T$ : Variación de temperatura

#### **1.4.9. Calor latente**

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

$$Q_L = mh_{fg}$$

**Ecuación 6**

Dónde:

$Q_L$ : Calor latente de vaporización (KJ)

$m$ : Masa de agua (Kg)

hfg: Entalpía de vaporización (KJ/Kg)

#### **1.4.10. Cálculo de área de tuberías**

$$A = \frac{\pi\phi^2}{4}$$

**Ecuación 7**

Dónde:

A: área de la tubería (m<sup>2</sup>)

φ: Diámetro de la tubería (m)

Se aplica en el dimensionamiento de un sistema de bombeo, en la mayoría de las industrias donde es necesario transportar fluidos.

#### **1.4.11. Temperatura de ebullición del agua a distinta presión atmosférica**

$$T_{ebPx} = \frac{T_{eb760} - 273,15K_{sy}(760 - P_x)}{1 + K_{sy}(760 - P_x)}$$

**Ecuación 8**

Dónde:

$T_{ebPx}$ : Temperatura de ebullición del agua a una presión dada

$T_{eb760}$ : Temperatura de ebullición del agua a 760 mmHg

$K_{sy}$ : Constante de Sidney Young para el agua (0.00012)

$P_x$ : Presión local a la cual se desea calcular la temperatura de ebullición

#### **1.4.12. Media Logarítmica de Temperatura MLDT**

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

$$MLDT = \frac{\Delta T_B - \Delta T_A}{\ln \frac{\Delta T_B}{\Delta T_A}}$$

**Ecuación 9**

Dónde:

MLDT: Media Logarítmica de temperatura

$\Delta T_A$ : Variación de temperatura en el Extremo A

$\Delta T_B$ : Variación de temperatura en el Extremo B

#### **1.4.13. Coeficiente de condensación en la película en el interior de la tubería**

La presente ecuación calcula el coeficiente de transferencia de calor en película la cual depende de la temperatura de los fluidos que ingresan al intercambiador de calor.

$$h_i = 0,555 \left[ \frac{g \delta_L (\delta_L - \delta_V) K l^3 h_{f,g}}{\mu_L (T_{sat} - T_s) D} \right]^{1/4}$$

**Ecuación 10**

Dónde:

g: gravedad (m/s<sup>2</sup>)

$\delta_L$ : Densidad de líquido (Kg/m<sup>3</sup>)

$\delta_V$ : Densidad de vapor (Kg/m<sup>3</sup>)

Kl: Constante de conductividad térmica (w/m°K)

$\mu_L$ : Viscosidad dinámica del líquido (Ns/m<sup>2</sup>)

h<sub>fg</sub>: Entalpía de vaporización (KJ/Kg)

h'<sub>fg</sub>: Entalpía de vaporización corregida (KJ/Kg)

D: diámetro de la tubería interna (m)

#### **1.4.14. Cálculo de la temperatura fílmica**

Es la media entre la temperatura de saturación del vapor y la temperatura de la pared del condensador

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

**Ecuación 11**

Dónde:

T<sub>f</sub>: Temperatura fílmica (°C)

T<sub>sat</sub>: Temperatura de saturación del agua (°C)

T<sub>w</sub>: Temperatura de la pared del condensador (°C)

#### **1.4.15. Entalpía de vaporización h'<sub>fg</sub>**

Como las entalpías dependen directamente de la temperatura se cácula con las temperaturas de los fluidos que ingresan al condensador.

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

**Ecuación 12**

Dónde:

$h'_{fg}$ : Entalpía de vaporización corregida (KJ/Kg)

$h_{fg}$ : Entalpía de vaporización encontrado en tablas (KJ/Kg)

$C_{pL}$ : Capacidad calorífica del líquido (KJ/Kg°C)

$T_{sat}$ : Temperatura de saturación del agua (°C)

$T_w$ : Temperatura de la pared del condensador (°C)

#### **1.4.16. Temperatura real de la pared del condensador**

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

**Ecuación 13**

La presente fórmula se emplea con el fin de calcular la temperatura real de la pared interna del condensador, con lo cual posteriormente se calculará el area de transferencia de calor.

Dónde:

$q_T$ : calor total del vapor (w)

$h_i$ : coeficiente de condensación en película (w/m<sup>2</sup>K)

$D$ : Diámetro de tubería (m)

$L$ : Longitud de tubería (m)

$T_e$ : Temperatura de entrada de refrigerante (°C)

$T_s$ : Temperatura de salida de refrigerante (°C)

$T_w$ : Temperatura de la pared del condensador (°C)

#### **1.4.17. Número Grashof**

Se define como el cociente entre las fuerzas de flotación y las fuerzas viscosas que actúan en un fluido.

$$Gr = \frac{\delta^2 g \beta}{\mu^2} (T_w - T_b) L_c^3$$

**Ecuación 14**

Dónde:

$$\beta = 595,4 \times 10^{-6} \frac{1}{^\circ K} \text{ cte}$$

g: gravedad (m/s<sup>2</sup>)

$\delta$ : Densidad del líquido (Kg/m<sup>3</sup>)

$\mu$ : viscosidad dinámica (Ns/m<sup>2</sup>)

$T_w$ : temperatura de la pared del condensador (°C)

Se aplica para cálculos de transferencia de calor por convección natural en industrias.

#### **1.4.18. Número de Rayleigh**

El número de Rayleigh hace referencia a la transferencia de calor en el interior de un fluido y define si la transferencia se da por conducción o por radiación.

$$Ra = Gr * Pr$$

**Ecuación 15**

Dónde:

Ra: Número de Rayleigh

Gr: Número de Grashof

Pr: Número de Prandt

#### **1.4.19. Cálculo de Nusselt**

Es un número adimensional el cual compara la transferencia de calor si ésta ocurriera solo por conducción.

$$Nu = 0,36 + \frac{0,518 Ra^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{4/9}}$$

**Ecuación 16**

Dónde:

Nu: Nusselt

Ra: Número de Rayleigh

Pr: Número de Prandt

#### **1.4.20. Coeficiente de condensación en película externa**

La presente ecuación relaciona la conductividad térmica del fluido a condensarse, Nusselt y el diámetro de la tubería para determinar el coeficiente de condensación.

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

**Ecuación 17**

Dónde:

he: coeficiente de condensación en película externa (w/m<sup>2</sup>K)

Nu: Nusselt

K: Conductividad térmica del líquido (w/mK)

Lc: Diámetro de la tubería (m)

#### **1.4.21. Coeficiente de convección forzada en superficies interiores**

La siguiente ecuación se utiliza generalmente en tuberías donde se da la transferencia de calor con convección forzada, es decir con la ayuda de un medio de impulsión o bomba.

$$\frac{h}{C_p G} \left( \frac{C_p \mu}{K} \right)^{\frac{2}{3}} \left( \frac{\mu_s}{\mu} \right)^{0,14} = \frac{0,023}{\left( \frac{D_e G}{\mu} \right)^{0,2}}$$

**Ecuación 18**

Dónde:

h: Coeficiente convectivo de transferencia de calor (w/m<sup>2</sup>K)

Cp: calor específico (KJ/Kg °C)

μ: Viscosidad dinámica (Ns/m<sup>2</sup>)

G: Flujo másico (Kg/h)

K: conductividad térmica (w/mK)

De: diámetro hidráulico (m)

#### **1.4.22. Velocidad de un fluido en el interior del condensador**

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

**Ecuación 19**

Dónde:

V: velocidad del fluido (m/s)

m: flujo másico (Kg/s)

A: área de la tubería (m<sup>2</sup>)

δ: Densidad del fluido (Kg/m<sup>3</sup>)

Es la relación entre el flujo másico del fluido, su densidad y el área de la tubería por donde circula.

#### **1.4.23. Coeficiente global de transferencia de calor por condensación**

Es una magnitud que mide la cantidad total de calor que se transfiere de un fluido a otro al condensarse.

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

**Ecuación 20**

Dónde:

U<sub>c</sub>: Coeficiente global de transferencia de calor por condensación (w/m<sup>2</sup>°C)

h<sub>c</sub>: coeficiente de condensación en película (w/m<sup>2</sup>°C)

h<sub>o</sub>: coeficiente convectivo de transferencia de calor (w/m<sup>2</sup>°C)

#### **1.4.24. Coeficiente global de transferencia de calor por subenfriamiento**

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

**Ecuación 21**

Dónde:

Ue: Coeficiente global de transferencia de calor por enfriamiento (w/m<sup>2</sup>°C)

he: coeficiente de transferencia de calor por convección para enfriamiento (w/m<sup>2</sup>°C)

ho: coeficiente convectivo de transferencia de calor (w/m<sup>2</sup>°C)

Es un magnitud que mide la cantidad total de calor que se transfiere de un fluido a otro al enfriarse.

#### ***1.4.25. Área de transferencia de calor para condensación***

Esta ecuación nos sirve para calcular el área o parte del condensador en el cual tendrá lugar la condensación del vapor.

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

**Ecuación 22**

Dónde:

Ac: Área de transferencia de calor para condensación (m<sup>2</sup>)

Uc: Coeficiente global de transferencia de calor por condensación (KJ/m<sup>2</sup>°C)

ql: Calor latente del vapor (KJ)

MLDTc: Media logarítmica de Temperatura para la condensación (°C)

#### **1.4.26. Área de transferencia de calor para enfriamiento**

Esta ecuación nos sirve para calcular el área o parte del condensador en el cual tendrá lugar el enfriamiento del condensado.

$$A_e = \frac{q_s}{U_e * MLDT_e * F}$$

**Ecuación 23**

Dónde:

A<sub>e</sub>: Área de transferencia de calor para enfriamiento (m<sup>2</sup>)

U<sub>e</sub>: Coeficiente global de transferencia de calor por condensación (KJ/m<sup>2</sup>°C)

q<sub>s</sub>: Calor sensible del fluido (KJ)

MLDT<sub>e</sub>: Media logarítmica de Temperatura para el enfriamiento (°C)

#### **1.4.27. Área total de transferencia de Calor**

Es la suma entre el área de transferencia por condensación y el área de transferencia por enfriamiento.

$$A_T = A_c + A_e$$

**Ecuación 24**

Dónde:

A<sub>T</sub>: Área total del condensador (m<sup>2</sup>)

A<sub>c</sub>: Área para condensación (m<sup>2</sup>)

A<sub>e</sub>: Área para enfriamiento (m<sup>2</sup>)

#### **1.4.28. Cálculo de la longitud del condensador**

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

$$A_T = \pi * D_{ext} * L$$
$$L = \frac{A_T}{\pi D_{ext}}$$

**Ecuación 25**

Dónde:

L: Longitud del condensador (m)

A<sub>T</sub>: Área total del condensador (m<sup>2</sup>)

D<sub>ext</sub>: Diámetro externo del condensador (m)

#### **1.4.29. Cálculo del volumen del refrigerante requerido en el proceso**

El volumen se define como el cociente entre la masa y la densidad de sustancia.

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

**Ecuación 26**

Dónde:

V: Volumen del agua (m<sup>3</sup>)

m: masa del agua (Kg)

δ: Densidad del agua (Kg/m<sup>3</sup>)

Se utiliza en la industria, en el control de calidad de ciertas sustancias así como también se aplica en cálculos de ingeniería al trabajar con fluidos.

### **1.4.30. Cálculo del área de succión**

Se lo define como la medida de la extensión de una determinada superficie.

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

**Ecuación 27**

Dónde:

As: Área de succión (m<sup>2</sup>)

Qmax: caudal máximo (m<sup>3</sup>/s)

Vs: velocidad de succión (m/s)

Tiene múltiples aplicaciones y en todas las áreas del conocimiento como ingeniería civil, arquitectura, química, etc.

### **1.4.31. Cálculo del diámetro de succión**

Se define como la longitud de que atraviesa dos extremos opuestos de una circunferencia.

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

**Ecuación 28**

Dónde:

Ds: Diámetro de succión (m)

As: Área de succión (m<sup>2</sup>)

### **1.4.32. Cabeza estática de succión**

La presente ecuación nos ayuda a definir la longitud máxima de succión a la cual se puede colocar la bomba.

$$h_s = -h_{es} + h_f + h_a + h_{pms}$$

**Ecuación 29**

Dónde:

hs: cabeza estática de succión (m)

hes: altura del nivel de fluido con respecto a la bomba (m)

hf: pérdidas por fricción (m)

ha: pérdidas por accesorios (m)

hpms: presión superficial del fluido (m)

### **1.4.33. Cálculo del hf pérdidas por fricción en la succión**

Se define como la pérdida de presión que tiene el fluido debido a la rugosidad del material utilizado para su transporte.

$$h_f = \zeta \left( \frac{L}{D} \right) \frac{V_{suc}^2}{2 * g}$$

**Ecuación 30**

Dónde:

hf: pérdidas por fricción (m)

$\zeta$ : Factor de fricción

L: longitud de succión (m)

D: diámetro de succión (m)

V<sub>suc</sub>: Velocidad de succión (m/s)

g: gravedad (m/s<sup>2</sup>)

#### **1.4.34. Cálculo del $h_a$ pérdidas por accesorios en la succión**

Se define como la pérdida de presión que tiene el fluido debido forma de los accesorios utilizados para su transporte.

$$h_a = \Sigma K \frac{V_{suc}^2}{2 * g}$$

**Ecuación 31**

Dónde:

$h_a$ : Pérdidas por accesorios (m)

K: Constante característica de cada accesorio

V<sub>suc</sub>: Velocidad de succión (m/s)

g: gravedad (m/s<sup>2</sup>)

Se aplica en los cálculos de fenómenos de transporte de fluidos en el dimensionamiento de sistemas de bombeo en la industria alimenticia, petróleo, etc.

#### **1.4.35. Cálculo del número de Reynolds en la succión**

$$Re = \frac{V * D}{\nu}$$

**Ecuación 32**

Dónde:

Re: Reynolds

V: Velocidad del fluido (m/s)

D: Diámetro de la tubería de succión (m)

V: Viscosidad cinemática del fluido (m<sup>2</sup>/s)

Se aplica en cálculo de transporte de fluidos.

Número adimensional que relaciona la velocidad de un fluido con el diámetro de la tubería y su viscosidad con el fin de determinar el régimen en el que se encuentra transportando el fluido.

#### **1.4.36. Cálculo de la rugosidad relativa en la succión**

$$\text{rugosidad relativa} = \frac{\varepsilon}{D}$$

**Ecuación 33**

Dónde:

$\varepsilon$ : Rugosidad absoluta del material

D: Diámetro de la tubería

Es la relación entre la rugosidad absoluta del material y el diámetro de la tubería de succión.

#### **1.4.37. Cálculo del área de descarga**

$$A_d = \frac{Q_{max}}{V_d}$$

**Ecuación 34**

Se lo define como la medida de la extensión de una determinada superficie.

#### **1.4.38. Cálculo de la velocidad de descarga**

$$v = \frac{4Q}{\pi * \phi^2}$$

**Ecuación 35**

Dónde:

v: Velocidad de descarga del fluido (m/s)

Q: caudal de descarga (m<sup>3</sup>/s)

∅: Diámetro de la tubería de descarga (m)

#### **1.4.39. Cálculo del diámetro de descarga**

Se define como la longitud de que atraviesa dos extremos opuestos de una circunferencia.

$$D_d = \sqrt{\frac{4A_d}{\pi}}$$

**Ecuación 36**

#### **1.4.40. Cabeza estática de descarga**

$$h_d = -h_{ed} + hf + ha + h_{pmd}$$

**Ecuación 37**

Define la altura que alcanzará el fluido con las pérdidas primarias y secundarias definidas para la descarga.

#### **1.4.41. Columna total H o altura efectiva**

Indica la altura total que puede alcanzar la bomba con las pérdidas primarias y secundarias tanto de succión como de descarga definidas para el sistema.

$$h_T = h_s + h_d$$

**Ecuación 38**

Dónde:

$h_T$ : Altura total o efectiva (m)

$h_s$ : Altura o cabeza de succión (m)

$h_d$ : Altura o cabeza de descarga (m)

#### **1.4.42. Cálculo del NPSH**

Indica la capacidad de la bomba requerida para el sistema de recirculación.

$$NPSH = \frac{P_b}{\gamma} + h_{es} - h_{asuc} - \frac{P_v}{\gamma}$$

**Ecuación 39**

Dónde:

NPSH: Altura Neta de Succión Positiva (m)

$P_b$ : Presión en el nivel de succión

$h_{es}$ : Altura de nivel del líquido en la succión (m)

$h_a$ : Perdidas por accesorios en la succión (m)

Pv: Presión del vapor del líquido a la temperatura de bombeo

$\gamma$ : Peso específico del líquido

#### **1.4.43. Rendimiento de las materias primas**

Hace referencia a la cantidad de producto obtenido a partir de una determinada cantidad de materia prima que se somete a un proceso.

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

**Ecuación 40**

Dónde:

%R: Rendimiento de la planta

$m_{ae}$ : Masa de aceite esencial extraído (g)

$m_{mpu}$ : Masa de materia prima utilizada (g)

#### **1.4.44. Eficiencia del equipo extractor**

Nos indica el desempeño del equipo en cuanto al aprovechamiento del calor suministrado al sistema.

$$\varepsilon = \frac{Q_{requerido}}{Q_{sum} - Q_p} \times 100$$

**Ecuación 41**

Dónde:

E: eficiencia del equipo extractor (%)

$Q_{sum}$ : calor suministrado al sistema (Kcal)

Qp: Calor que se pierde (Kcal)

Q: Calor requerido (Kcal)

## **CAPITULO II**

### **2. PARTE EXPERIMENTAL**

#### **2.1. Muestreo**

Para llevar a cabo el proceso de extracción en el extractor de aceites esenciales por arrastre de vapor se realizó la colecta de las muestras de materia prima en distintos mercados de la ciudad de Riobamba: Mercado de Productores Mayorista, La Condamine, San Alfonso y Dávalos.

Para la toma de muestras se consideró ciertas características organolépticas como textura, olor, y sabor.

El muestreo se efectuó por un método aleatorio con frecuencia de una vez por día por cada materia prima, por un lapso de tres días con un total de tres ensayos.

#### **2.2. Metodología**

##### **2.2.1. Métodos y Técnicas**

###### **2.2.1.1. Métodos**

En el presente proyecto se utilizó métodos inductivos y deductivos para determinar variables de operación, que permiten el funcionamiento a una temperatura adecuada en un tiempo determinado con un porcentaje de rendimiento aceptable

para el berro, espinaca y zanahoria. De esta manera se logra operar de manera más eficiente

- **INDUCTIVO**

A partir del muestreo en los diferentes mercados de la ciudad de Riobamba, su posterior lavado y picado de vegetales, además secado hasta la humedad del 10%; se obtuvo el rendimiento en aceite esencial, con la temperatura necesaria y el tiempo requerido se obtendrá las diferentes variables de proceso y de ingeniería, los cuales se convierten en nuestros datos de partida para el dimensionamiento del equipo extractor de aceites esenciales para berro, espinaca y zanahoria.

- **DEDUCTIVO**

Para el debido dimensionamiento del equipo extractor de aceites esenciales debemos conocer en primer lugar todas sus características de manera general, con lo cual, de esta manera se realizó los respectivos cálculos de ingeniería cuya aplicación permitirá a establecer las condiciones adecuadas para la extracción de las muestras que se recolectaron en los diferentes mercados.

- **DESCRIPTIVO**

Una vez validado la maquina en el Laboratorio de Procesos Industriales mediante técnicas de laboratorio, el equipo extrae aceite esencial tanto del berro, espinaca y

zanahoria, para así el mismo ser utilizado en una siguiente fase de proceso de una línea de producción de un gel de protección solar.

Para realizar los diferentes cálculos y dimensionamiento del equipo es necesario la recopilación de datos los cuales son tomados de las diferentes técnicas o ensayos que se realizan anticipadamente para su cálculo.

#### *2.2.1.2. Técnicas*

Las técnicas que se utilizaron para el presente proyecto se basa en el porcentaje de rendimiento de cada uno de los vegetales empleados para lo cual es necesario determinar la densidad de los mismos; Estas técnicas facilitaron su desarrollo y el cumplimiento de nuestro objetivo.

**TABLA 5: TÉCNICA PARA EL CÁLCULO DEL RENDIMIENTO DE ACEITES ESENCIALES**

Fundamento	Materiales	Procedimiento	Cálculos
<p>Es la cantidad de producto total extraído que se obtuvo luego de la operación Unitaria de extracción.</p>	<p>Extractor de aceites esenciales por arrastre de vapor. Balanza Cronómetro Solvente Berro Espinaca Zanahoria</p>	<p>Tomar y pesar la materia prima secada y triturada de los procesos anteriores. Colocar la materia prima en el interior del recipiente. Adicionar la cantidad de agua necesaria para el proceso. Asegurar la tapa del recipiente. Encender la calefacción. Mantener la temperatura en un rango de 95-100 °C . Hacer el mismo procedimiento con todas las materias primas. Separar el aceite extraído del agua. Envasado y almacenamiento del aceite.</p>	<p><b>Cálculo de la masa del aceite esencial</b></p> $m = \rho * V$ <p>Dónde: <math>\rho</math>:Densidad del aceite esencial V: Volumen del aceite esencial</p> <p><b>Cálculo de Rendimiento del vegetal</b></p> $\% R = \frac{m_{ae}}{m_{mpu}} * 100$ <p>Dónde: %R: Porcentaje de rendimiento <math>m_{ae}</math>: Masa del aceite esencial extraído <math>m_{mpu}</math>: Masa de materia prima utilizada</p>

Fuente: BRITO, H., Técnica Laboratorio de Procesos Industriales. /ESPOCH /2014

**TABLA 6: TÉCNICA PARA EL CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE LOS ACEITES**

Fundamento	Materiales	Procedimiento	Cálculos
<p>El picnómetro es un instrumento sencillo utilizado para determinar con precisión la densidad de líquido. La densidad de un cuerpo es la relación entre la masa y el volumen.</p>	<p>Picnómetro Balanza Pipeta Aceite Esencial</p>	<p>Secar el picnómetro. Pesar el picnómetro vacío. Llenar de aceite hasta el nivel de aforación utilizando una pipeta. Medir la masa del picnómetro lleno de aceite.</p>	<p><b>Cálculo de la densidad del aceite esencial</b></p> $\delta = \frac{m_{picn+aceite} - m_{picn\ seco}}{V}$ <p>Dónde:</p> <p><math>\delta</math>: densidad del aceite</p> <p><math>m_{picn+aceite}</math>: Peso del picnómetro con aceite.</p> <p><math>m_{picn\ seco}</math>: Peso del picnómetro seco.</p>

Fuente: BRITO, H., Técnica Laboratorio de Procesos Industriales. /ESPOCH /2014

## 2.3. Datos experimentales

### 2.3.1. Diagnóstico

El abastecimiento de la materia prima utilizada en el presente estudio tiene un tiempo de vida aproximado de dos semanas para el caso de la zanahoria, mientras que para la espinaca cinco días y el berro de dos días, considerando que pasado este lapso de tiempo pierden su frescura y los compuestos de interés pueden empezar el proceso de descomposición quedando indispuestos para el proceso de extracción.

Los ensayos realizados proporcionan datos como temperaturas, peso, tiempo de extracción, volumen de aceite obtenido con el fin de determinar las condiciones más óptimas durante el proceso de extracción. La línea en el proceso de producción inicia con el secado, molienda, extracción y mezclado que tiene como finalidad obtener una crema de protección solar.

### 2.3.2. Datos

#### 2.3.2.1. Datos Experimentales

##### 2.3.2.1.1. Zanahoria

**TABLA 7: DATOS DE LA ZANAHORIA**

N° Muestra	Tiempo extracción (min)	Masa de Zanahoria (g)	Volumen de aceite (ml)	%R
1	60	500	0,9	0,16
2	70	500	1,0	0,17
3	80	500	1,1	0,19
4	90	500	1,15	0,20

Fuente: ACAN F. / PILATAXI J., Laboratorio Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

### 2.3.2.1.2. Berro

**TABLA 8: DATOS DEL BERRO**

N° Muestra	Tiempo extracción (min)	Masa de Berro (g)	Volumen de aceite (ml)	%R
1	60	500	0,7	0,13
2	70	500	0,85	0,15
3	80	500	0,9	0,16
4	90	500	1,0	0,18

Fuente: ACAN F. / PILATAXI J., Laboratorio Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

### 2.3.2.1.3. Espinaca

**TABLA 9: DATOS DE LA ESPINACA**

N° Muestra	Tiempo extracción (min)	Masa de Espinaca (g)	Volumen de aceite (ml)	%R
1	60	500	0,7	0,13
2	70	500	0,8	0,15
3	80	500	0,85	0,15
4	90	500	0,9	0,16

Fuente: ACAN F. / PILATAXI J., Laboratorio Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

#### 2.3.2.1.4. Temperatura del condensado

**TABLA 10: DATOS TIEMPO VS TEMPERATURA DEL CONDENSADO**

CONDENSADO	
t (min)	T (°C)
0	90
5	22
10	24
15	25
20	28
25	28
30	29
35	29
40	29
45	33
50	33
55	33,5
60	33,5
65	35
70	35,5
75	37
80	38
85	40
90	40

Fuente: ACAN F. / PILATAXI J., Laboratorio Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

### 2.3.2.1.5. Temperatura del refrigerante

**TABLA 11: DATOS TIEMPO VS TEMPERATURA DEL REFRIGERANTE**

REFRIGERACION	
t (min)	T (°C)
0	13
5	13
10	15
15	20
20	22
25	24
30	26
35	27,5
40	28
45	29
50	31
55	32
60	33
65	33,5
70	34,5
75	35
80	35,5
85	36
90	36

Fuente: ACAN F. / PILATAXI J., Laboratorio Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

### 2.3.2.1.6. Datos Adicionales

**TABLA 12: DISEÑO DEL EXTRACTOR DE ACEITES ESENCIALES**

PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR
Presión atmosférica	mmHg	556
Temperatura ambiente	°C	20
Poder calórico del GLP	Kcal/Kg	6830

Fuente: PODER CALORICO GLP: [www.minetur.gob.es/energia/GLP](http://www.minetur.gob.es/energia/GLP)

## CAPITULO III

### 3. DISEÑO

#### 3.1. Cálculos

##### ***3.1.1. Cálculo del volumen del recipiente extractor***

Diámetro ( $D_e$ ) = 0,56 m (asumidos)

Radio ( $r_e$ ) = 0,23 m

Altura ( $h_e$ ) = 0,6 m

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

$$V_e = \pi r^2 h$$

$$V_e = \pi(0,23)^2(0,6)$$

$$V_e = 0,0997m^3$$

$$V_e = 99,7 L$$

##### ***3.1.2. Cálculo de los volúmenes de los recipientes de carga de material vegetal***

Diámetro ( $D_{rec}$ ) = 0,36 m (asumidos)

Radio ( $r_{rec}$ ) = 0,18 m

Altura ( $h_{rec}$ ) = 0,11 m

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

$$V_{rec} = \pi r^2 h$$

$$V_{rec} = \pi(0,18m)^2(0,11m)$$

$$V_{rec} = 0,0112m^3$$

$$V_{rec} = 11,2 L$$

### 3.1.3. Volumen total dispuesto para carga de materia prima

$$V_{total\ c} = volumen_{rec} * \#de\ recipientes\ de\ carga$$

$$V_{total\ c} = 11,2\ lt * 3$$

$$V_{total\ c} = 33,6 L$$

### 3.1.4. Cálculo de calor sensible $Q_s$

Datos: (Ver ANEXO II)

$$m_a = 20Kg$$

$$Cp_a = 4,1813\ KJ / Kg^{\circ}C$$

$$T_i = 18^{\circ}C$$

$$T_f = 92^{\circ}C$$

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

$$Q_s = m_a Cp_a \Delta T$$

$$Q_s = m_a Cp_a (T_f - T_i)$$

$$Q_s = 20(4,1813)(92 - 18)$$

$$Q_s = 6188,32KJ$$

### 3.1.5. Cálculo del calo

$$Q_L = m_a h_{fg} \quad \text{Siendo} \quad h_{fg} = h_f - h_g$$

Con la presión absoluta de 556 mmHg o de 10,75 psi en tablas encontramos

$$h_{fg} = 2279,61 \text{ KJ/Kg} \quad (\text{Ver ANEXO I})$$

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

$$Q_L = 20 * (2279,61)$$

$$Q_L = 45592,24 \text{ KJ}$$

### **3.1.6. Calor total requerido para la vaporización del agua**

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

$$Q_T = Q_s + Q_L$$

$$Q_T = 6188,32 + 45592,24$$

$$Q_T = 51780,6 \text{ KJ}$$

Como siempre se debe trabajar con un margen del 10% tendremos

$$Q_T = 51780,6 * 1,1$$

$$Q_T = 56958,6 \text{ KJ}$$

### **3.1.7. Diseño del intercambiador de calor**

Datos del agua de refrigeración

$$T_{ir} = 18^{\circ}C$$

$$T_{sr} = 40^{\circ}C$$

Datos del vapor

$$T_{iv} = 92^{\circ}C$$

$$T_{sc} = 35^{\circ}C$$

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.

Con la presión absoluta de 10,75 psi encontramos en tablas

$$T_{sat} = 91^{\circ}C$$

### 3.1.7.1. Cálculo de calor latente

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

$$h_{fg} = 2279,61 \text{ KJ/Kg (Ver ANEXO I)}$$

$$Q_L = 10 * (2279,61)$$

$$\mathbf{Q_L = 22796,10 KJ/h}$$

### 3.1.7.2. Cálculo del calor sensible

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

$$Q_s = 10(4,1813)(91 - 35)$$

$$\mathbf{Q_s = 2341,5KJ/h}$$

### 3.1.7.3. Calor total

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

$$Q_T = Q_s + Q_L$$

$$Q_T = 22796,1 + 2341,5$$

$$\mathbf{Q_T = 25137,63 KJ/h}$$

Como de igual manera se considerara un margen de seguridad del 10% tendremos:

$$Q_T = 25137,63 * 1,1$$

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

$$\mathbf{Q_T = 7680,94 w}$$

Entonces el calor que se deberá quitar al vapor para condensarlo será de 27651,4 KJ/h, para lo cual se calculará la cantidad de agua de refrigeración que se deberá emplear para conseguir dicha condensación.

### 3.1.7.4. Cálculo de la cantidad de agua de refrigeración

$$Q_{\text{pierde (vapor+aceite esencial)}} = Q_{\text{gana agua de refrigeración}}$$

$$Q_{\text{gana agua de refrigeración}} = 27651,4 \text{ KJ/h}$$

$$Q_{\text{gana agua de refrigeración}} = m_{ar} * C_{p_a} * \Delta T \quad \text{Despejando tenemos}$$

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

$$m_{ar} = \frac{(27651,4)}{(4.1813) * (35 - 18)}$$

$$m_{ar} = 389 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} = 390 \text{ L/h}$$

Entonces el volumen de agua de refrigeración necesaria para lograr condensar el vapor será de 390 L/h

Para el condensador se utilizó un tubo interior de 2 pul. de diámetro y de 50 cm de longitud.

### 3.1.7.5. Cálculo de área interna del tubo interior del condensador

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

$$\phi_i = 50,4 \text{ mm} = 0,0504 \text{ m}^2$$

$$A_i = \frac{\pi \phi_i^2}{4}$$

$$A_i = \frac{\pi (0,0504)^2}{4}$$

$$A_i = 1,99 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

### 3.1.7.6. Cálculo de área externa del tubo interior de condensador

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

$$\phi_e = 50,8\text{mm} = 0,0508\text{m}^2$$

$$A_e = \frac{\pi(0,0508)^2}{4}$$

$$A_e = 2,207 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

### 3.1.7.7. Cálculo de la temperatura de ebullición del agua de extracción

Datos:

$K_{sy}$ =cte de Sidney-young para el agua =0,00012

$P_x$ = 556 mmHg

$T_{eb}$  a 760 mmHg=100 °C

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

$$\Delta T_{eb} = K_{sy}(760 - P_x)(273,15 + T_{ebPx})$$

Como  $\Delta T_{eb} = T_{eb760} - T_{ebPx}$  tenemos

$T_{eb760} - T_{ebPx} = K_{sy}(760 - P_x)(273,15 + T_{ebPx})$  Despejando tenemos

$$T_{ebPx} = \frac{T_{eb760} - 273,15K_{sy}(760 - P_x)}{1 + K_{sy}(760 - P_x)}$$

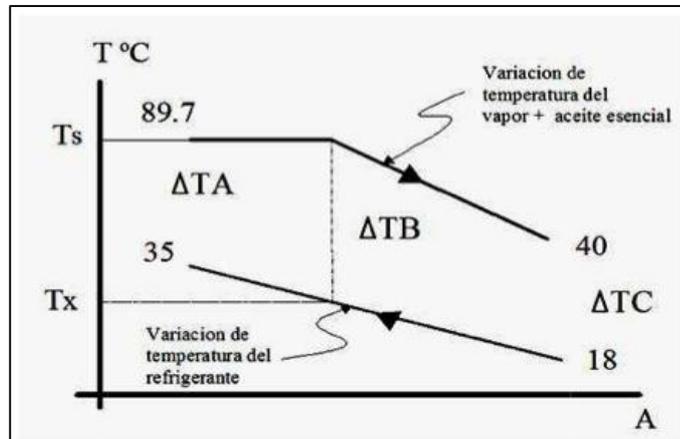
Reemplazando datos tenemos

$$T_{ebPx} = \frac{100 - 273,15(0,00012)(760 - 556)}{1 + (0,00012)(760 - 556)}$$

$$T_{ebPx} = 89,7^\circ\text{C}$$

3.1.7.8. Cálculo de MLTD para la condensación

**FIGURA 18 DIAGRAMA DE TEMPERATURA DE LOS FLUIDOS DEL CONDENSADOR**



Fuente: DIAGRAMA DE TEMPERATURA DE FLUIDOS: <http://dSPACE.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456/15T00453.pdf>

Datos:

$$T_{A1} = 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{A2} = 91,44 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{B1} = 20,82 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{B2} = 89,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_A = (T_{A2} - T_{A1})$$

$$\Delta T_B = (T_{B2} - T_{B1})$$

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

$$MLDT = \frac{\Delta T_B - \Delta T_A}{\ln \frac{\Delta T_B}{\Delta T_A}}$$

$$MLDT = \frac{(89,7 - 20,82) - (91,44 - 35)}{\ln \frac{(89,7 - 20,82)}{(91,44 - 35)}}$$

$$MLDT = 62,75^{\circ}\text{C}$$

### 3.1.7.9. Cálculo de MLDT para el enfriamiento

$$T_{B1} = 20,82 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{B2} = 89,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{C1} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{C2} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_C = (T_{C2} - T_{C1})$$

$$\Delta T_B = (T_{B2} - T_{B1})$$

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

$$MLDT = \frac{\Delta T_C - \Delta T_B}{\ln \frac{\Delta T_C}{\Delta T_B}}$$

$$MLDT = \frac{(40 - 18) - (89,7 - 20,82)}{\ln \frac{(40 - 18)}{(89,7 - 20,82)}}$$

$$MLDT = 41,075^{\circ}\text{C}$$

### 3.1.7.10. Cálculo de los coeficientes convectivos

#### 3.1.7.10.1. Cálculo de $(h_i)$ condensación en la película en el interior de la tubería

$$h_i = 0,555 \left[ \frac{g \delta_L (\delta_L - \delta_V) K l^3 h_{fg}}{\mu_L (T_{sat} - T_s) D} \right]^{1/4}$$

#### 3.1.7.10.2. Cálculo de la temperatura fílmica

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

### PRIMERA ITERACION

Asumiendo  $T_w = 85 \text{ }^\circ\text{C}$

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

$$T_f = \frac{89,7 + 85}{2}$$

$$T_f = 87,35 \text{ }^\circ\text{C}$$

Propiedades del agua a  $T_f = 87,35 \text{ }^\circ\text{C} = 360,35 \text{ }^\circ\text{K}$  (Ver ANEXO II)

$$\rho_L = 996,7 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

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

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

$$C_{pL} = 4,203 \text{ KJ}/\text{Kg}^\circ\text{K}$$

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

$$\rho_V = 0,378 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

En la Ec. 12 se reemplazan los datos y se tiene

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

$$h'_{fg} = 2291 + \frac{3}{8} (4,203) (89,7 - 85)$$

$$h'_{fg} = 2298,41 \text{ KJ}/\text{Kg}$$

$$h'_{fg} = 2,298 \times 10^6 \text{ J}/\text{Kg}$$

Reemplazando

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

$$h_i = 0,555 \left[ \frac{9,8(966,7)(966,7 - 0,378)(674 \times 10^{-3})^3 (2,298 \times 10^6)}{(324 \times 10^{-6})(89,7 - 85)(0,0508)} \right]^{1/4}$$

$$h_i = 9427,8 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$$

3.1.7.10.3. *Cálculo de la temperatura real de la pared del condensador*

En la Ec.13 se reemplazan los datos y se tiene

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

$$7680,94 = (9427,8)(0,0508 \text{ m}) * (0,5) * \pi \left( T_w - \frac{89,7 + 40}{2} \right)$$

$$T_w = 75,06^\circ\text{C}$$

como  $T_w = 75,06^\circ\text{C} \neq a T_{wasumido} = 85^\circ\text{C}$  Realizamos otra iteración

## SEGUNDA ITERACIÓN

Con  $T_w = 75,06^\circ\text{C}$

3.1.7.10.4. *Cálculo de la temperatura fílmica*

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

Asumiendo  $T_w = 75,06^\circ\text{C}$

$$T_f = \frac{89,7 + 75,06}{2}$$

$$T_f = 82,38^\circ\text{C}$$

Propiedades del agua a  $T_f = 82,38 \text{ }^\circ\text{C}$  (Ver ANEXO II)

$$\delta_L = 970,3 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

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

$$\mu_L = 347,5 \times 10^{-6} \text{ Ns}/\text{m}^2$$

$$C_{PL} = 4,196 \text{ KJ}/\text{Kg}^\circ\text{K}$$

$$h_{fg} = 2302,04 \text{ KJ}/\text{Kg}$$

$$\delta_V = 0,321 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

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

$$h'_{fg} = 2302,04 + \frac{3}{8} (4,196) (89,7 - 75,06)$$

$$h'_{fg} = 2313,6 \text{ KJ}/\text{Kg}$$

$$h'_{fg} = 2,313 \times 10^6 \text{ J}/\text{Kg}$$

Reemplazando

$$h_i = 0,555 \left[ \frac{9,8(970,3)(970,3 - 0,321)(674 \times 10^{-3})^3 (2,325 \times 10^6)}{(347,5 \times 10^{-6})(89,7 - 75,06)(0,0508)} \right]^{1/4}$$

$$h_i = 7006,9 \text{ W}/\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$$

3.1.7.10.5. Cálculo de la temperatura real de la pared del condensador

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

$$7680,94 = (7006,9)(0,0508) * (0,5) * \pi \left( T_w - \frac{89,7 + 40}{2} \right) \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_w = 78,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

### TERCERA ITERACIÓN

Con  $T_w = 78,6^\circ\text{C}$

3.1.7.10.6. Cálculo de la temperatura fílmica

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

Asumiendo  $T_w = 78,6^\circ\text{C}$

$$T_f = \frac{89,7 + 78,6}{2}$$

$$T_f = 84,15^\circ\text{C}$$

Propiedades del agua a  $T_f = 84,15^\circ\text{C}$  (Ver ANEXO II)

$$\delta_L = 969,1 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$K_L = 674,9 \times 10^{-3} \text{ W}/\text{m}^\circ\text{K}$$

$$\mu_L = 340,4 \times 10^{-6} \text{ Ns}/\text{m}^2$$

$$C_{pL} = 4,1975 \text{ KJ}/\text{Kg}^\circ\text{K}$$

$$h_{fg} = 2297,6 \text{ KJ}/\text{Kg}$$

$$\delta_V = 0,343 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

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

$$h'_{fg} = 2297,6 + \frac{3}{8}(4,1975)(89,7 - 78,6)$$

$$h'_{fg} = 2315,1 \text{ KJ}/\text{Kg}$$

$$h'_{fg} = 2,315 \times 10^6 \text{ J}/\text{Kg}$$

Reemplazando

$$h_i = 0,555 \left[ \frac{9,8(969,1)(969,1 - 0,343)(674,9 \times 10^{-3})^3 (2,315 \times 10^6)}{(340,4 \times 10^{-6})(89,7 - 78,6)(0,0508)} \right]^{1/4}$$

$$h_i = 7542,6 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$$

3.1.7.10.7. Cálculo de la temperatura real de la pared del condensador

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

$$7680,94 = (7542,6)(0,0508) * (0,5) * \pi \left( T_w - \frac{89,7 + 40}{2} \right) ^\circ\text{C}$$

$$T_w = 77,6^\circ\text{C}$$

#### CUARTA ITERACIÓN

Con  $T_w = 77,6^\circ\text{C}$

3.1.7.10.8. Cálculo de la temperatura fílmica

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

Asumiendo  $T_w = 78,6^\circ\text{C}$

$$T_f = \frac{89,7 + 77,6}{2}$$

$$T_f = 83,65^\circ\text{C}$$

Propiedades del agua a  $T_f = 83,65^\circ\text{C}$  (Ver ANEXO II)

$$\delta_L = 969,4 \text{ Kg/m}^3$$

$$K_L = 674,6 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$\mu_L = 342,4 \times 10^{-6} \text{ Ns/m}^2$$

$$C_{PL} = 4,1971 \text{ KJ/Kg}^{\circ}\text{K}$$

$$h_{fg} = 2298,8 \text{ KJ/Kg}$$

$$\delta_V = 0,337 \text{ Kg/m}^3$$

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

$$h'_{fg} = 2298,8 + \frac{3}{8} (4,1971) (89,7 - 77,6)$$

$$h'_{fg} = 2318,1 \text{ KJ/Kg}$$

$$h'_{fg} = 2,318 \times 10^6 \text{ J/Kg}$$

Reemplazando

$$h_i = 0,555 \left[ \frac{9,8(969,4)(969,4 - 0,343)(674,6 \times 10^{-3})^3 (2,318 \times 10^6)}{(342,4 \times 10^{-6})(89,7 - 77,6)(0,0508)} \right]^{1/4}$$

$$h_i = 7372 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$$

3.1.7.10.9. Cálculo de la temperatura real de la pared del condensador

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

$$7680,94 = (7372)(0,0508) * (0,5) * \pi \left( T_w - \frac{89,7 + 40}{2} \right) ^\circ\text{C}$$

$$T_w = 77,90^\circ\text{C}$$

## QUINTA ITERACIÓN

Con  $T_w = 77,9^\circ\text{C}$

3.1.7.10.10. Cálculo de la temperatura fílmica

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

Asumiendo  $T_w = 77,9^\circ\text{C}$

$$T_f = \frac{89,7 + 77,9}{2}$$

$$T_f = 83,8^\circ\text{C}$$

Propiedades del agua a  $T_f = 83,65^\circ\text{C}$  (Ver ANEXO II)

$$\rho_L = 969,3 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$K_L = 674,7 \times 10^{-3} \text{ W}/\text{m}^\circ\text{K}$$

$$\mu_L = 341,8 \times 10^{-6} \text{ Ns}/\text{m}^2$$

$$C_{pL} = 4,1972 \text{ KJ}/\text{Kg}^\circ\text{K}$$

$$h_{fg} = 2298,4 \text{ KJ}/\text{Kg}$$

$$\rho_V = 0,338 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

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

$$h'_{fg} = 2298,4 + \frac{3}{8} (4,1972) (89,7 - 77,9)$$

$$h'_{fg} = 2320 \text{ KJ}/\text{Kg}$$

$$h'_{fg} = 2,32 \times 10^6 \text{ J}/\text{Kg}$$

Reemplazando

$$h_i = 0,555 \left[ \frac{9,8(969,3)(969,3 - 0,338)(674,7 \times 10^{-3})^3 (2,32 \times 10^6)}{(341,8 \times 10^{-6})(89,7 - 77,9)(0,0508)} \right]^{1/4}$$

$$h_i = 7423,6 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$$

3.1.7.10.11. Cálculo de la temperatura real de la pared del condensador

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

$$7680,94 = (7423,6)(0,0508) * (0,5) * \pi \left( T_w - \frac{89,7 + 40}{2} \right) ^\circ\text{C}$$

$$T_w = 77,82^\circ\text{C} \approx 77,90$$

Luego de cinco iteraciones se calcula que  $T_w = 77,82^\circ\text{C}$  es igual a la asumida.

Temperatura promedio del fluido para el enfriamiento.

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

$$T_b = \frac{89,7 + 40}{2} = 64,85^\circ\text{C}$$

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

$$T_f = \frac{64,85 + 77,82}{2} = 71,33^\circ\text{C}$$

Con  $T_f = 71,33^\circ\text{C}$  encontramos las propiedades del fluido a temperatura filmica  
(Ver ANEXO II)

$$\delta_L = 977 \text{ Kg/m}^3$$

$$K_L = 666,5 \times 10^{-3} \text{ W/m}^0\text{K}$$

$$\mu_L = 400,4 \times 10^{-6} \text{ Ns/m}^2$$

$$P_r = 2,48$$

### 3.1.7.11. Cálculo del número Grashof

En la Ec.14 se reemplazan los datos y se tiene:

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

$$\beta = 595,4 \times 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}K}$$

$$Gr = \frac{(977)^2 \cdot 9,8 \cdot 595,4 \times 10^{-6}}{(400,4 \times 10^{-6})^2} (77,82 - 64,85) (0,0508)^3$$

$$\mathbf{Gr = 59069302}$$

$$Ra = Gr * Pr$$

$$\mathbf{Ra = 146491869}$$

### 3.1.7.12. Cálculo de Nusselt

En la Ec.15 se reemplazan los datos y se tiene:

$$Nu = 0,36 + \frac{0,518 Ra^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{4/9}}$$

$$Nu = 0,36 + \frac{0,518 (146491869)^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{2,48}\right)^{9/16}\right]^{4/9}}$$

$$\mathbf{Nu = 48,93}$$

Utilizando Nu encontramos  $h_e$  En la Ec.17 se reemplazan los datos y se tiene:

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

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

$$h_e = \frac{(48,93) * (0,663)}{(0,0508)} = 638,7 \text{ W/m}^2\text{K}$$

3.1.7.13. *Cálculo de  $h_o$  del refrigerante en convección torzada en superficies interiores*

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

$$T_b = \frac{18 + 35}{2} = 26,5^\circ\text{C}$$

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

$$T_f = \frac{26,5 + 77,82}{2} = 52,16^\circ\text{C}$$

Con  $T_f = 52,16^\circ\text{C}$  encontramos las propiedades del fluido a temperatura filmica (Ver ANEXO II)

$$\delta_L = 987,04 \text{ Kg/m}^3$$

$$K_L = 648,2 \times 10^{-3} \text{ W/m}^0\text{K}$$

$$\mu_L = 531,94 \times 10^{-6} \text{ Ns/m}^2$$

$$C_{PL} = 4,180 \text{ KJ/Kg}^0\text{K}$$

$$Pr = 3,43$$

Asumimos el diámetro de la tubería exterior por donde va a circular el refrigerante

Tubo exterior de 4 pul.

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

$$\phi_i = 101,6mm$$

$$\phi_{ext} = 106,8mm$$

$$A_{ext} = \frac{\pi(0,1068)^2}{4} = \mathbf{8,96 \times 10^{-3} m^2}$$

#### 3.1.7.14. Área de circulación del refrigerante

$$A_{circ} = A_{iref} - A_{evap}$$

$$A_{circ} = (8,96 \times 10^{-3} - 2,4 \times 10^{-3})$$

$$\mathbf{A_{circ} = 6,56 \times 10^{-3} m^2}$$

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

En la Ec.19 se reemplazan los datos y se tiene:

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

$$V = \frac{389}{6,56 \times 10^{-4} * 987,4}$$

$$V = 64,79 m/h$$

$$\mathbf{V = 0,017 m/s}$$

Pero como para nuestro sistema de recirculación de agua utilizaremos una bomba la velocidad será:

$$V = \frac{2400}{6,56 \times 10^{-4} * 987,4}$$

$$V = 0,12 \text{ m/s}$$

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

$$\frac{h}{C_p G} \left( \frac{C_p \mu}{K} \right)^{\frac{2}{3}} \left( \frac{\mu_s}{\mu} \right)^{0,14} = \frac{0,023}{\left( \frac{D_e G}{\mu} \right)^{0,2}}$$

Con  $T_w = 77,82^\circ C$  encontramos el valor de  $\mu_s = 3,68 \times 10^{-4} \text{ N s/m}^2$

### 3.1.7.15. Cálculo del diámetro hidráulico

$$D_h = D_2 - D_1$$

$$D_h = (106,8 - 55,6)$$

$$D_h = 51,2 \text{ mm} = 0,0512 \text{ m}$$

El flujo másico se determina mediante

$$G = \delta * V$$

$$G = 987,4 (0,12)$$

$$G = 118,5 \text{ Kg/m}^2 \text{ s}$$

En la Ec.18 se reemplazan los datos y se tiene

$$\frac{0,023}{\left( \frac{D_e G}{\mu} \right)^{0,2}} = \frac{0,023}{\left( \frac{0,0508 * 118,5}{5,319 \times 10^{-4}} \right)^{0,2}} = 0,0035$$

Reemplazando en la Ec tenemos:

$$\frac{h}{C_p G} \left( \frac{C_p \mu}{K} \right)^{\frac{2}{3}} \left( \frac{\mu_s}{\mu} \right)^{0,14} = 0,0035$$

$$h = \frac{0,0035 C_p G}{\left( \frac{C_p \mu}{K} \right)^{\frac{2}{3}} \left( \frac{\mu_s}{\mu} \right)^{0,14}}$$

$$h = \frac{0,0035(4179) (118,5 )}{\left( \frac{4179 * 5,319 \times 10^{-4}}{0,648} \right)^{\frac{2}{3}} \left( \frac{3,68 \times 10^{-4}}{5,319 \times 10^{-4}} \right)^{0,14}}$$

$$h = \mathbf{804,1 \text{ W}/m^2 \text{ } ^\circ K}$$

### 3.1.7.16. Cálculo global de transferencia de calor por condensación

En la Ec.20 se reemplazan los datos y se tiene

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

$$U_c = \frac{(7372 * 804,1)}{(7372 + 804,1)}$$

$$U_c = 725,02 \text{ W}/m^2 \text{ } ^\circ C = \mathbf{2610,07 \text{ KJ}/m^2 \text{ h } ^\circ C}$$

### 3.1.7.17. Coeficiente global de transferencia de calor por subenfriamiento

En la Ec. 21 se reemplazan los datos y se tiene

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

$$U_e = \frac{(638,7 * 804,1)}{(638,7 + 804,1)}$$

$$U_e = 356 \text{ W/m}^2\text{°C} = \mathbf{1281,5 \text{ KJ/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}}$$

### 3.1.7.18. Área de transferencia de calor para condensación

En la Ec. 22 se reemplazan los datos y se tiene

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

$$A_c = \frac{22796,1}{(2610,07 * 62,75 * 1)}$$

$$\mathbf{A_c = 0,0139 \text{ m}^2}$$

### 3.1.7.19. Área de transferencia de calor por subenfriamiento

En la Ec.23 se reemplazan los datos y se tiene

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

$$A_e = \frac{2341,5}{(1281,45 * 41,075 * 1)}$$

$$\mathbf{A_e = 0,044 \text{ m}^2}$$

### 3.1.7.20. Cálculo del área total de transferencia de calor

En la Ec.24 se reemplazan los datos y se tiene

$$A_T = A_c + A_e$$

$$A_T = (0,0139 + 0,044)$$

$$\mathbf{A_T = 0,183m^2}$$

### 3.1.7.21. Cálculo de la longitud del condensador

En la Ec. 25 se reemplazan los datos y se tiene

$$A_T = \pi * D_{ext} * L$$

$$L = \frac{A_T}{\pi D_{ext}}$$

$$L = \frac{0,183}{\pi(0,1016)}$$

$$\mathbf{L = 0,57 m \cong 0,6m}$$

## 3.1.8. Selección de la Bomba

### 3.1.8.1. Naturaleza del líquido a bombearse

Agua en las siguientes condiciones:

Temperatura del agua: 18 °C

Flujo másico del agua:  $m_a = 1677,98 \text{ Kg/h}$

Propiedades del agua a 18°C

$$\delta = 998,8 \text{ Kg/m}^3$$

$$V = 1,072 * 10^{-6} m^2/s$$

### 3.1.8.2. Cálculo del caudal requerido

En la Ec.26 se reemplazan los datos y se tiene

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

$$V = \frac{389}{998,8} = 0,389 \frac{m^3}{h} = \mathbf{6,48 L/min}$$

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

$$6,48 L/min = 6,7 * 10^{-4} m^3/s$$

### 3.1.8.3. Condiciones de Succión

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

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

$$V_s = (0,6 - 2,2) m/s$$

Para nuestro sistema se selecciona una velocidad de 1,6 m/s

En la Ec. 27 se reemplazan los datos y se tiene

$$A_s = \frac{6,7 * 10^{-4}}{1,6} = \mathbf{4,187 * 10^{-4} m^2}$$

$$A_s = \frac{\pi D_s^2}{4}$$

En la Ec. 28 se reemplazan los datos y se tiene

$$D_s = \sqrt{\frac{4A_s}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(4,187 * 10^{-4})}{\pi}}$$

$$D_s = 0,023 \text{ m} = 23\text{mm} \approx 1 \text{ pul.}$$

Entonces las dimensiones de la tubería de succión son:

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

$$D_s = 1 \text{ pul.}$$

**TABLA 13: PÉRDIDAS POR ACCESORIOS EN SUCCIÓN Ver ANEXO III**

N°	Accesorios	Cantidad	Km
1	Acople	1	0,3
2	Unión	1	0,3
ΣKm			0,6

Fuente: ACAN F. / PILATAXI J., Laboratorio Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

#### 3.1.8.4. Cabeza estática de succión

$$h_s = -h_{es} + h_f + h_a + h_{pms}$$

Dónde:

$h_{es} = 90 \text{ cm} = 0.9 \text{ m}$  Altura del nivel del líquido en el tanque de alimentación

#### 3.1.8.5. Cálculo de pérdidas por fricción en la cabeza de succión

$$h_f = \zeta \left( \frac{L}{\phi_s} \right) \frac{V_s^2}{2 * g}$$

### 3.1.8.6. Cálculo del número de Reynolds en la cabeza de succión

$$Re = \frac{V * \phi}{\nu}$$

$$Re = \frac{1,6(0,0254)}{1,072 * 10^{-6}}$$

$$\mathbf{Re = 37910,45}$$

### 3.1.8.7. Cálculo de Factor de Fricción en la cabeza de succión

$$\zeta \left\{ \begin{array}{l} \frac{\varepsilon}{\phi_s} ; \text{ Re encontramos en el diagrama de Moody (Ver ANEXO V)} \\ \varepsilon = 0,0015 \text{ para PVC (Ver ANEXO IV)} \end{array} \right.$$

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\phi_s} = \frac{0,0015}{25,4} = \mathbf{0,000059}$$

En el diagrama de Moody encontramos el coeficiente de rozamiento  $\zeta = 0,022$

En la Ec.30 se reemplazan los datos y se tiene:

$$hf = 0,022 \left( \frac{0,1}{0,0254} \right) \frac{(1,6)^2}{2 * 9,8}$$

$$\mathbf{hf = 0,011 m}$$

### 3.1.8.8. Cálculo de pérdidas por accesorios en la succión

En la Ec. 31 se reemplazan los datos y se tiene

$$ha = \sum K \frac{V_s^2}{2 * g}$$

$$h_a = 0,6 \frac{(1,6)^2}{2 * 9,8}$$

$$h_a = 0,078 \text{ m}$$

En la Ec. 29 se reemplazan los datos y se tiene:

$$h_s = -0,9 + 0,011 + 0,078$$

$$h_s = -0,811 \text{ m}$$

### 3.1.8.9. Condiciones de descarga

$$A_d = \frac{Q_{max}}{V_d}$$

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

$$V_d = (2,4 - 7,5) \text{ m/s}$$

Por lo tanto la velocidad del fluido de descarga es:

En la Ec. 35 se reemplazan los datos y se tiene

$$Q = v * A$$

$$A = \frac{\pi * \phi^2}{4}$$

$$Q = v * \frac{\pi * \phi^2}{4}$$

Despejando la velocidad se tiene:

$$v = \frac{4Q}{\pi * \phi^2}$$

$$v = \frac{4(6,7 * 10^{-4})}{\pi(0,0127)^2}$$

$$v = 5,29 \frac{m}{s}$$

Para nuestro sistema se selecciona una velocidad de 4,5 m/s

En la Ec. 27 se reemplazan los datos y se tiene

$$A_d = \frac{6,7 * 10^{-4}}{4,5} = 1,488 * 10^{-4} m^2$$

$$A_d = \frac{\pi D d^2}{4}$$

En la Ec.28 se reemplazan los datos y se tiene

$$D_d = \sqrt{\frac{4A_d}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(1,488 * 10^{-4})}{\pi}}$$

$$D_d = 0,0137 m = 13,7 mm \approx 1/2 pul.$$

Entonces las dimensiones de la tubería de descarga son:

$$L = 3,54 \text{ cm}$$

$$D = 1/2 \text{ pul.}$$

**TABLA 14 CONSTANTES DE PÉRDIDAS POR ACCESORIOS EN LA DESCARGA  
(Ver ANEXO III)**

N°	Accesorios	Cantidad	Km
1	Reducción de (1 a 1/2)pulg	1	0,3
2	Codo a 90 °	4	0,7
3	Universal	1	0,3
$\Sigma Km$			3,4

Fuente: ACAN F. / PILATAXI J., Laboratorio Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

### 3.1.8.10. Cabeza estática de descarga

$$h_d = -h_{ed} + hf + ha + h_{pmd}$$

$h_{ed} = 1,2$  m Altura del nivel del líquido en el tanque de alimentación

### 3.1.8.11. Cálculo de pérdidas por fricción en la cabeza de descarga:

$$hf = \zeta \left( \frac{L}{\phi_d} \right) \frac{V_d^2}{2 * g}$$

### 3.1.8.12. Cálculo del número de Reynolds

En la Ec.32 se reemplazan los datos y se tiene

$$Re = \frac{V * D}{\nu}$$

$$Re = \frac{4,5(0,0127)}{1,072 * 10^{-6}}$$

$$Re = 53311,56$$

### 3.1.8.13. Cálculo de factor de fricción en la cabeza de descarga

$$\zeta \left\{ \begin{array}{l} \frac{\varepsilon}{\phi_s} \\ \text{Re encontramos en el diagrama de Moody (Ver ANEXO V)} \end{array} \right.$$

$\varepsilon = 0,0015$  para PVC (Ver ANEXO IV)

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\phi_s} = \frac{0,0015}{12,7} = 0,000118$$

En el diagrama de Moody encontrar el coeficiente de rozamiento  $\zeta = 0,022$

En la Ec.30 se reemplazan los datos y se tiene

$$hf = 0,023 \left( \frac{3,54}{0,0127} \right) \frac{(4,5)^2}{2 * 9,8}$$

$$**hf = 0,66 m**$$

#### 3.1.8.14. Cálculo de pérdidas por accesorios en la descarga

En la Ec.31 se reemplazan los datos y se tiene

$$ha = \sum K \frac{V_s^2}{2 * g}$$

$$ha = 2,7 \frac{(4,5)^2}{2 * 9,8}$$

$$**ha = 2,789 m**$$

Reemplazando en la ecuación de cabeza estática de descarga en la Ec.37 se tiene:

$$hs = 1,2 + 0,66 + 2,789$$

$$**hs = 4,649m**$$

#### 3.1.8.15. Columna total H o altura efectiva

En la Ec.38 se reemplazan los datos y se tiene

$$h_T = h_s + h_d$$

$$h_T = -0,811 + 4,649$$

$$**h_T = 3,84 m**$$

### 3.1.8.16. Cálculo del NPSH

$$NPSH = \frac{P_b}{\gamma} + h_{es} - H_{rs} - \frac{P_v}{\gamma}$$

$$P_b = 10,25 \text{ lb/pul}^2 = 1476 \text{ lb/ft}^2$$

Con T = 18 ° C

$$P_v = 0,30554 \text{ lb/pul.}^2 = 43,99 \text{ lb/ft}^2$$

$$\gamma = 9,8 \text{ KN/m}^3 = 62,38 \text{ lb/ft}^3$$

En la Ec.39 se reemplazan los datos y se tiene

$$NPSH = \frac{1476}{62,38} * \frac{1}{3,28} + 0,9 - 0,0896 - \frac{43,99}{62,38} * \frac{1}{3,28}$$

$$NPSH = 7,81 \text{ m}$$

### 3.1.9. Cálculo de la eficiencia del sistema de extracción

#### 3.1.9.1. Cálculo de la eficiencia del equipo de extracción

En la Ec. 41 se reemplazan los datos y se tiene

$$\varepsilon = \frac{Q_{requerido}}{Q_{sum} - Q_p} \times 100$$

$$Q_{sum} = m_{gas-consumido} * Pc$$

$$Q_{sum} = 2.15 * 6830$$

$$Q_{sum} = 14635 \text{ Kcal/h}$$

Para el sistema se considera una pérdida del 10 % por lo tanto

$$Q_p = 0.1Q_{sum}$$

$$Q_p = 0.1 (14635 \text{ Kcal/h})$$

$$Q_p = 1463.6 \text{ Kcal/h}$$

$$\varepsilon = \frac{12367}{(14635 - 1463)} \times 100$$

$$\varepsilon = 93.8\%$$

### 3.1.10. Balance de masa

#### 3.1.10.1. Balance de masa para el agua

$$M_{H_2O \text{ alim}} = M_{H_2O \text{ conden}} + M_{H_2O \text{ residual}} + M_{H_2O \text{ gana MP}}$$

$$M_{H_2O \text{ gana MP}} = 9000 - (7630 + 560)$$

$$M_{H_2O \text{ gana MP}} = 790 \text{ g}$$

#### 3.1.10.2. Balance de masa para el aceite obtenido

$$F_{XF} = R_{XR} + D_{XD}$$

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

$$F_{XF} = D_{XD}$$

Despejando tenemos

$$XF = \frac{D_{XD}}{F}$$

$$XF = \frac{9,6 * (1)}{5000}$$

$$XF = 1.92 \times 10^{-3}$$

### 3.1.11. Cálculo del rendimiento de los aceites esenciales extraídos

#### 3.1.11.1. Aceite esencial de zanahoria

En la Ec. 40 se reemplazan los datos y se tiene

$$\% R = \frac{m_{\text{aciete extraído}}}{m_{\text{materia prima utilizada}}} * 100$$

$$m = \rho * V$$

$$m = 0,879 * 11$$

$$m = 9,6 \text{ g}$$

$$\%R = \frac{9,6}{5000} * 100$$

$$\%R = \mathbf{0,19\%}$$

#### 3.1.11.2. Aceite esencial de Berro

$$\% R = \frac{m_{\text{aciete extraído}}}{m_{\text{materia prima utilizada}}} * 100$$

$$m = \rho * V$$

$$m = 0,905 * 9$$

$$m = 8,14 \text{ g}$$

$$\%R = \frac{8,14}{5000} * 100$$

$$R = \mathbf{0,16\%}$$

### 3.1.11.3. Aceite esencial de Espinaca

$$m = \rho * V$$

$$m = 0,911 * 8,5$$

$$m = 7,74g$$

$$\%R = \frac{7,74}{5000} * 100$$

$$R = 0,15\%$$

## 3.2. Resultados

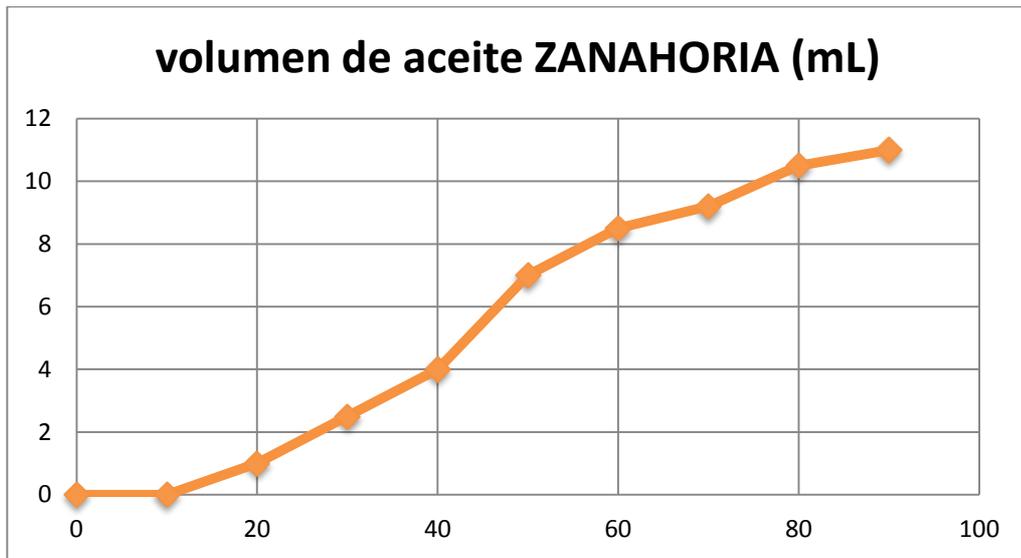
### 3.2.1. Aceite esencial de zanahoria

**TABLA 15: RESULTADOS DEL ACEITE DE ZANAHORIA**

ACEITE ESENCIAL DE ZANAHORIA		
t(min)	volumen condensado (mL)	volumen de aceite ZANAHORIA (mL)
0	0	0
10	80	0
20	1200	1
30	3700	2,5
40	4800	4
50	6050	7
60	7150	8,5
70	9375	9,2
80	11280	10,5
90	13650	11

Fuente: ACAN F. / PILATAXI J., Laboratorio Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

**FIGURA 19: VOLUMEN DE ACEITE DE ZANAHORIA VS TIEMPO**



Fuente: ACAN F. / PILATAXI J., Laboratorio Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

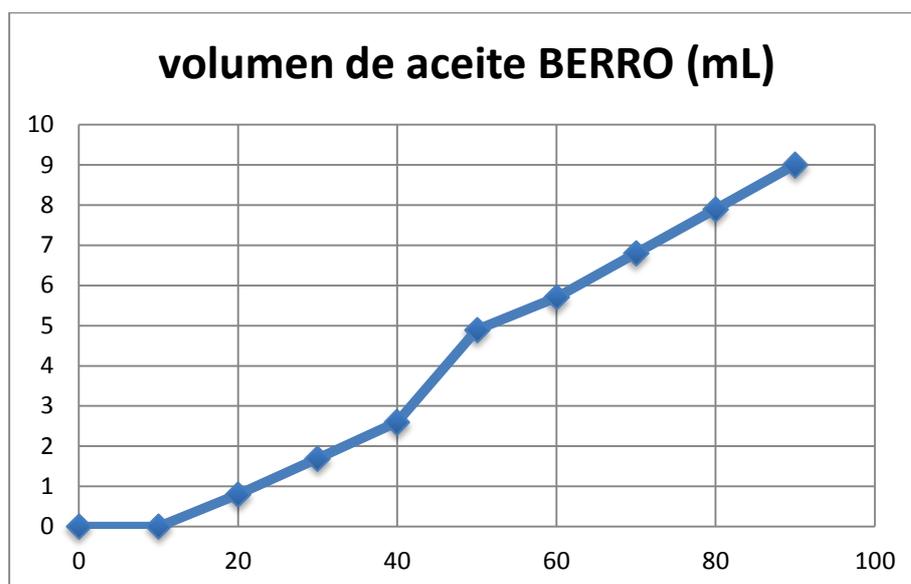
### 3.2.2. Aceite esencial de Berro

**TABLA 16: RESULTADOS DEL ACEITE DE BERRO**

BERRO		
t(min)	volumen condensado (mL)	volumen de aceite BERRO (mL)
0	0	0
10	90	0
20	1350	0,8
30	3900	1,7
40	5000	2,6
50	6850	4,9
60	7500	5,7
70	9650	6,8
80	11630	7,9
90	13750	9

Fuente: ACAN F. / PILATAXI J., Laboratorio Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

**FIGURA 20: VOLUMEN DE ACEITE DE BERRO VS TIEMPO**



Fuente: ACAN F. / PILATAXI J., Laboratorio Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

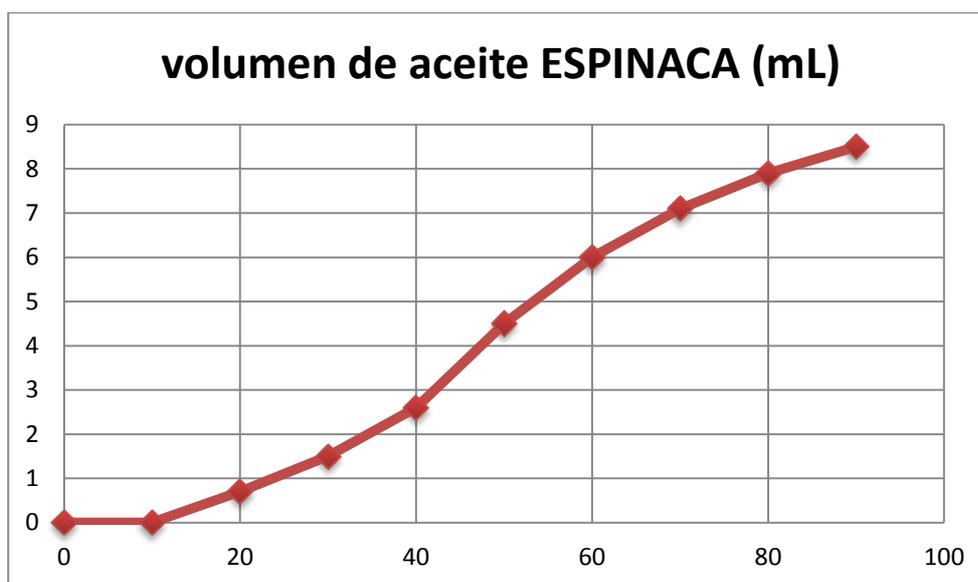
### 3.2.3. Aceite esencial de Espinaca

**TABLA 17: RESULTADOS DEL ACEITE DE LA ESPINACA**

ESPINACA		
t(min)	volumen condensado (mL)	volumen de aceite ESPINACA (mL)
0	0	0
10	85	0
20	1280	0,7
30	3760	1,5
40	5100	2,6
50	6570	4,5
60	7480	6
70	9700	7,1
80	11540	7,9
90	13580	8,5

Fuente: ACAN F. / PILATAXI J., Laboratorio Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

**FIGURA 21: VOLUMEN DE ACEITE DE ESPINACA VS TIEMPO**



Fuente: ACAN F. / PILATAXI J., LABORATORIO PROCESOS INDUSTRIALES./ ESPOCH/2014

### 3.3. Propuesta de Diseño

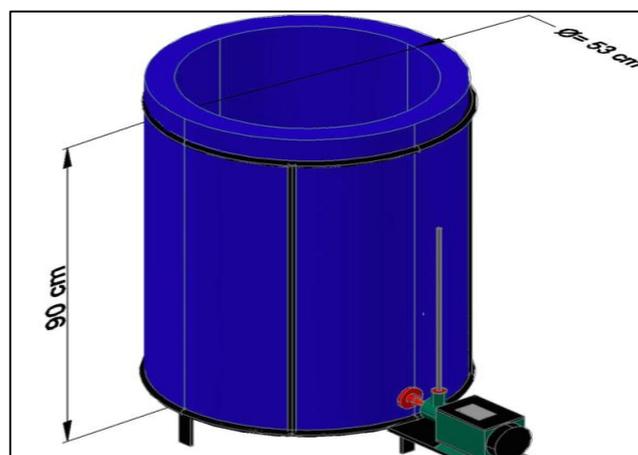
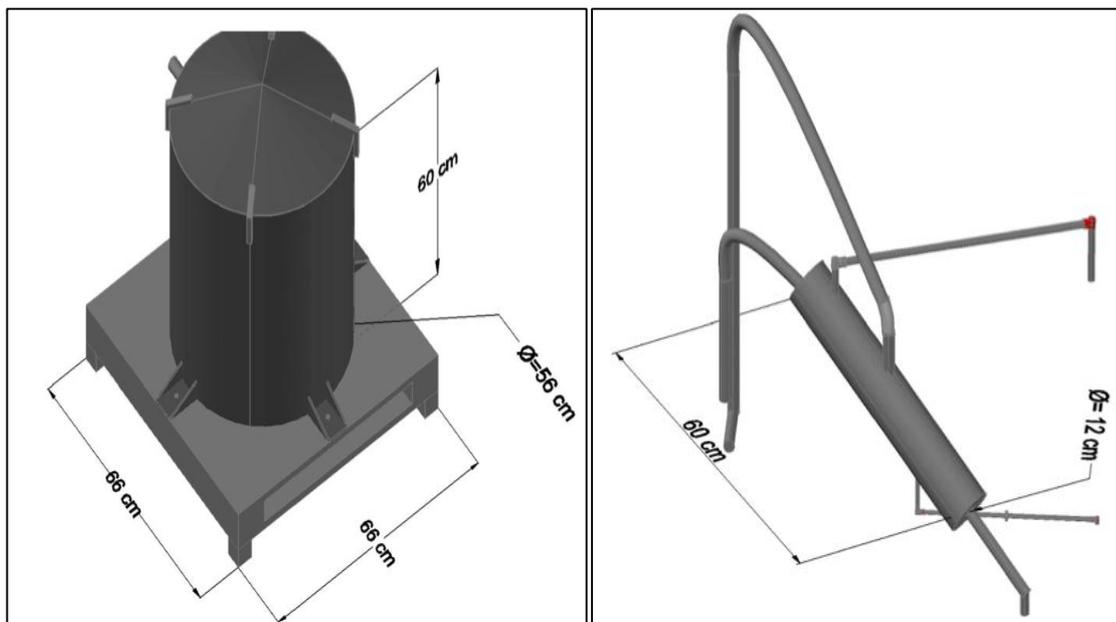
**TABLA 18: DIMENSIONAMIENTO DEL EXTRATOR DE ACEITES ESENCIALES POR ARRASTRE DE VAPOR**

<b>NÚMERO DE RECIPIENTES DE CARGA</b>	<b>3</b>		
<b>CAPACIDAD POR RECIPIENTE DE CARGA</b>	<b>5Kg</b>		
<b>CAPACIDAD TOTAL</b>	<b>15Kg</b>		
<b>MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN</b>	<b>ACERO INOXIDABLE AISI 304</b>		
<b>DIMENSIONES</b>			
<b>ELEMENTOS DIMENSIONES</b>	<b>DIÁMETRO (cm)</b>	<b>ALTURA (cm)</b>	<b>VOLUMEN (L)</b>
<b>CÁMARA EXTRACTOR</b>	<b>56</b>	<b>60</b>	<b>100</b>
<b>CONDENSADOR</b>	<b>12</b>	<b>60</b>	<b>-</b>
<b>RECIPIENTES DE CARGA</b>	<b>36</b>	<b>11</b>	<b>11.2</b>
<b>TANQUE ALMACENAMIENTO AGUA</b>	<b>53</b>	<b>90</b>	<b>210</b>

<b>VISUALIZADOR DE TEMPERATURA</b>
Termómetro ubicado en la tapa del extractor con un rango de medida de 10a 250 °C y 56 a 500 °F
<b>FUENTE DE CALOR</b>
Quemador industrial a gas
<b>FUENTE DE IMPULSIÓN</b>
Una bomba de impulsión de 0.5 HP. Con una Hmax de 40 m y un Qmax de 0-40 (L/min) y fuente de corriente de 110V

Fuente: ACAN F. / PILATAXI J., Laboratorio Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

### 3.5.1. Esquema del equipo extractor



Fuente: ACAN F. / PILATAXI J., Laboratorio Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

### 3.5.2. Análisis de Costos

#### 3.5.2.1. Costos de Inversión

##### 3.5.2.1.1. Recursos materiales

**TABLA 19: RECURSOS MATERIALES**

<b>DENOMINACIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>TOTAL (\$)</b>
Plancha de Acero Inoxidable AISI 304	4	250,00	1000,00
Quemador Industrial	1	80,00	80,00
Cilindro de gas	1	60,00	60,00
Bomba de impulsión	1	75,00	75,00
Tanque de almacenamiento de agua	1	30,00	30,00
Break de encendido bomba	1	25,00	25,00
Tubería PVC	1	15,00	15,00
Accesorios	8	1,50	12,00
Pernos y tuercas	8	0,50	4,00
Lija	5	0,90	4,50
Tubo de acero inoxidable	1	75,00	75,00
Termómetro	1	90,00	90,00
<b>TOTAL</b>			<b>1470,50</b>

Fuente: ACAN F. / PILATAXI J., Laboratorio Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

##### 3.5.2.1.2. Recursos Humanos

**TABLA 20: RECURSOS HUMANOS**

<b>DENOMINACIÓN</b>	<b>COSTO (\$)</b>
Mano de obra para la construcción del equipo	520,00
Mano de obra de instalación de bomba	40,00
Mano de obra de instalación de termómetro	35,00
<b>TOTAL</b>	<b>595,00</b>

Fuente: ACAN F. / PILATAXI J., Laboratorio Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

### 3.5.2.1.3. Costos de Producción

**TABLA 21: COSTOS DE PRODUCCIÓN**

DENOMINACIÓN	CANTIDAD (kg)	VALOR UNITARIO	LIMPIEZA	EXTRACCIÓN	TOTAL (\$)
Berro (Kg)	15	0,50	3,50	4,50	15,50
Espinaca (Kg)	15	0,60	2,25	4,50	15,75
Zanahoria (Kg)	15	0,40	1,50	4,50	12,00
GLP(kg)	6	0,12	-	-	0,72
Electricidad bomba (Kw)	2,4	0,20	-	-	0,48
<b>TOTAL</b>					<b>126,20</b>
DENOMINACION			COSTO DE PRODUCCION / LITRO		PVP(\$)
Berro			250,00		350,00
Espinaca			363,00		470,00
Zanahoria			192,00		265,00

Fuente: ACAN F. / PILATAXI J., Laboratorio Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

### 3.5.2.1.4. Recursos Totales

**TABLA 22: RECURSOS TOTALES**

ACTIVIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL(\$)
Transporte	-	-	70,00
Impresiones y copias	1200	0,05	60,00
Empastado	4	6,00	24,00
Anillados	6	1,50	9,00
Internet/día	60	0,80	48,00
Recursos materiales	-	-	1470,50
Recursos Humanos	-	-	595,00
Costos de Producción	-	-	9,45
<b>TOTAL</b>			<b>2285,95</b>

Fuente: ACAN F. / PILATAXI J., Laboratorio Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

### **3.6. Análisis y Discusión de Resultados**

Se realizó las pruebas de extracción a 92 °C, con berro obteniendo como resultado, volumen de 9 mL y un rendimiento del 0,16% en un tiempo extracción de 90 minutos, lo cual, se debe a que esta planta tiene baja concentración de aceites esenciales en su composición.

Se realizó las pruebas de extracción a 92 °C, con espinaca teniendo como resultado, volumen de 8,5 mL y un rendimiento del 0,15% en un tiempo extracción de 90 minutos, lo cual, se debe a que esta planta tiene baja concentración de aceites esenciales además se puede atribuir a las características de las plantas, como su grado de maduración, zona de producción.

Al realizar la extracción a 92 °C, de la zanahoria se tuvo como resultado, volumen de 11mL y un rendimiento del 0,19% en un tiempo extracción de 90 minutos, por lo que, se considera también que la planta tiene una baja concentración de aceite esencial.

Para la producción de vapor se utilizó un quemador industrial a gas debido a su alto poder calórico de 6830 Kcal/Kg, ya que si se utiliza como fuente de energía la electricidad el tiempo de extracción sería mayor debido al bajo poder calórico que éste presenta de 860 Kcal/Kwh.

Se determinó la eficiencia del equipo de 93,8% el mismo que no tiene un valor mayor, debido a que, el sistema no cuenta con aislantes termicos que reduzcan las pérdidas de calor y con ello se eleve la eficiencia.

## CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó un equipo extractor con diámetro 0,56 m y altura 0,6 m.
- El equipo está construido con Acero Inoxidable AISI 304
- Se concluyó que la capacidad máxima del equipo es de 15Kg distribuidos en 3 recipientes de 5Kg cada una.
- El sistema de recirculación de agua consta de un tanque de almacenamiento de 210 L una bomba de impulsión de 0.5Hp.
- Se determinó que el tiempo óptimo de extracción es de 90 minutos
- Se concluye que con el presente equipo se tendrá una utilidad del 40% por cada litro de aceite producido.
- Finalmente se validó el equipo extractor con una eficiencia del 93,8%
- Para producir 1 L de aceite esencial de berro, espinaca y zanahoria; se gasta \$250, \$363 y \$192 respectivamente.

## RECOMENDACIONES

- Realizar el respectivo chequeo del extractor, todos sus componentes y partes que forme este, como la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de la bomba, las válvulas de purga tanto del extractor y recirculación deben estar cerradas durante todo el proceso de extracción, para de esta manera garantizar un buen funcionamiento y arranque del equipo.
- Encender con debida precaución el quemador semi – industrial regulando manualmente la válvula de paso del gas.
- Las materias primas que van a ingresar al sistema de extracción, debe ser reducido de tamaño hasta 1cm<sup>2</sup>, de lo contrario se va apelmazar y no podrá hacer contacto con el vapor de agua.
- El proceso debe hacerse con estrictas condiciones de higiene y seguridad, para obtener limpio y el lugar donde se ubique el extractor debe ser en un área amplia para el buen desenvolvimiento de la persona a cargo del proceso.
- Separar de la mezcla de aceite-agua del embudo de decantación el agua de rosas, de modo que no sobrepase del nivel y de esta manera visibilizar cada vez mejor la recolección del aceite esencial.
- Se debe realizar la limpieza antes y después de su uso, es necesario lavar el extractor con agua caliente, ya que esta es una forma más factible en la que puede ser removida cualquier residuo grasoso y viscoso.
- Se recomienda usar también como fuente energética alternativa resistencias electricas para la producción de vapor de forma mas limpia y amigable con el ambiente.

- Se recomienda lavar las hojas de materia prima con el fin de eliminar pigmentos que pueden afectar la calidad del aceite esencial.

## **BIBLOGRAFIA**

### **APORTE NUTRICIONAL DEL BERRO. Salud y buenos alimentos. 2011**

<http://www.saludybuenosalimentos.es/alimentos/index.php?s1=s1&s2=s2&s3=Berro>

2014-02-23

### **APORTE NUTRICIONAL DE LA ESPINACA. Salud y buenos alimentos. 2011**

<http://www.saludybuenosalimentos.es/alimentos/index.php?s1=s1&s2=s2&s3=Espinaca>

2014-02-23

### **APORTE NUTRICIONAL DE LA ZANAHORIA. Salud y buenos alimentos. 2011**

<http://www.saludybuenosalimentos.es/alimentos/index.php?s1=s1&s2=s2&s3=Zanahoria>

2014-02-23

**Brown, G.** Operaciones Básicas de la Ingeniería Química. 3<sup>ra</sup> ed. Londres-Inglaterra., Marín., 1965. pp. 263-295

### **CALCULOS DE LA MEDIA LOGARITMICA DE TEMPERATURA Y DISEÑO DE UN CONDENSADOR. Memorias del XV congreso Internacional. 2011**

[https://alojamientos.uva.es/guia\\_docente/uploads/2011/447/42501/1/Documento15.pdf](https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2011/447/42501/1/Documento15.pdf)

[http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2009/pdfs/A5/A5\\_64.pdf](http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2009/pdfs/A5/A5_64.pdf)  
2014-10-02

**CARACTERISTICAS DEL BERRO. Givology. 2011**

<http://www.saludybuenosalimentos.es/alimentos/index.php?s1=s1&s2=s2&s3=Berro>

2014-03-18

**CARACTERISTICAS DE LA ESPINACA. Givology. 2011**

<http://verduras.consumer.es/documentos/hortalizas/espinacas/salud.php>

2014-03-19

**CARACTERISTICAS DE LA ZANAHORIA. Givology. 2011**

<http://www.saludybuenosalimentos.es/alimentos/index.php?s1=s1&s2=s2&s3=Zanahoria>

<http://botanical-online.com/espinacas.htm>

2014- 03-20

**EXTRACCION Y CARACTERIZACION DEL ACEITE ESENCIAL. Carolina Navarrete. 2009**

<http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v77n162/a10v77n162.pdf>

2014-08-23

**McCabe, W.; Smith, J. Harriot, P.** Operaciones Unitarias de la Industria Química., 4<sup>ta</sup> ed. México DF-México., Reverte., 1968. pp. 35-276

**MÉTODOS DE EXTRACCIÓN. Aromaterapia I. 2010**

<http://new.aulafacil.com/curso-gratis-de-aromaterapia-i,principales-metodos-de-extraccion-de-aceites-esenciales,41,232>

<http://www.plantas-medicinal-farmacognosia.com/temas/m%C3%A9todos-de-extracci%C3%B3n/>

2014-04-11

**OCÓN, TOJO.** Problemas de Ingeniería Química., Tomo II. 2<sup>da</sup> ed. Santiago – Chile., 1967. pp. 208-213

**PLANTAS QUE CONTIENEN ACEITES ESENCIALES. Carlos García. 2009**

<http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v77n162/a10v77n162.pdf>

2014-09-12

**Perry, R; Chilton, C.** Manual del Ingeniero Químico., Tomo IV., 7<sup>ta</sup> ed. México DF-México., McGraw-Hill., 2001. pp. 205-219

**QUE SON LOS ACEITES ESENCIALES. Eva Obregón Domínguez. 2012**

<http://www.monografias.com/trabajos97/aceites-esenciales/aceites-esenciales.shtml>

2014-03-28

**CORREDOR, Ángela M., GUERRERO, Diana C.** Montaje, puesta en marcha y mejoramiento del equipo propuesto por la OMS (1992) para la extracción de aceites esenciales por arrastre de vapor. (Tesis) (Ing. AgroInd.), Universidad de la Sabana, Facultad de Ingeniería. Chía-Cundinamarca-Colombia. Junio del 2004, pp.177.

<http://intellectum.unisabana.edu.co:8080/jspui/bitstream/10818/4983/1/130118.pdf>

2014-08-22

**PAREDES, Diego O., QUINATOA, Fabián D.** Desarrollo de un sistema de extracción de aceites esenciales. (Tesis) (Ing. Mec.), Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica, Riobamba-Ecuador. Julio del 2010, pp191.

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1710/1/15T00453.pdf>

2014-07-01

**TIPOS DE EXTRACTORES.** Oscar Figueroa. 2010

<https://www.google.com.ec/#q=tipos+de+extractores+de+aceites+esenciales>

2014-03-26

<http://iqtma.uva.es/separacion/archivos/arrastrevapor.pdf>

2014-03-28

**Treybal, R.** Principios de Operaciones Unitarias. 2<sup>da</sup> ed., Madrid-España. 1986.  
pp. 529-601

**Welty, J. Wicks, C. Wilson R.** Fundamentos de la transferencia de momento,  
calor y masa., México DF-México. Limusa. 1993, Pp. 269-286

## ANEXO I TABLAS DE VAPOR SATURADO

Presión	Temperatura de saturación	Volumen específico		Densidad vapor saturado y seco	Entalpía del líquido	Entalpía del vapor saturado y seco	Calor latente de vaporización
		Líquido	Vapor saturado				
Kg/cm <sup>2</sup>	°C	Litro/kg	m <sup>3</sup> /kg	kg/m <sup>3</sup>	kcal/kg	kcal/kg	kcal/kg
0,010	6,7	1,000	131,6	0,007599	6,73	600,2	593,5
0,020	17,2	1,001	68,25	0,01465	17,25	604,9	587,6
0,030	23,7	1,003	46,52	0,02150	23,81	607,8	584,0
0,035	26,4	1,003	40,22	0,02486	26,39	608,9	582,5
0,040	28,6	1,004	35,46	0,02820	28,67	609,8	581,1
0,050	32,6	1,005	28,72	0,03482	32,57	611,5	578,9
0,075	40,0	1,008	19,69	0,05105	39,96	614,7	574,7
0,10	45,5	1,010	14,95	0,06689	45,45	617,0	571,6
0,15	53,6	1,014	10,20	0,09804	53,59	620,5	566,9
0,20	59,7	1,017	7,789	0,1284	59,65	623,1	563,4
0,25	64,6	1,020	6,318	0,1583	64,54	625,0	560,5
0,30	68,7	1,022	5,324	0,1878	68,66	626,8	558,1
0,40	75,4	1,026	4,066	0,2459	75,41	629,5	554,1
0,60	85,4	1,033	2,782	0,3595	85,47	633,5	548,0
0,80	93,0	1,038	2,125	0,4706	93,05	636,4	543,3
1,00	99,1	1,043	1,725	0,5797	99,19	638,8	539,6

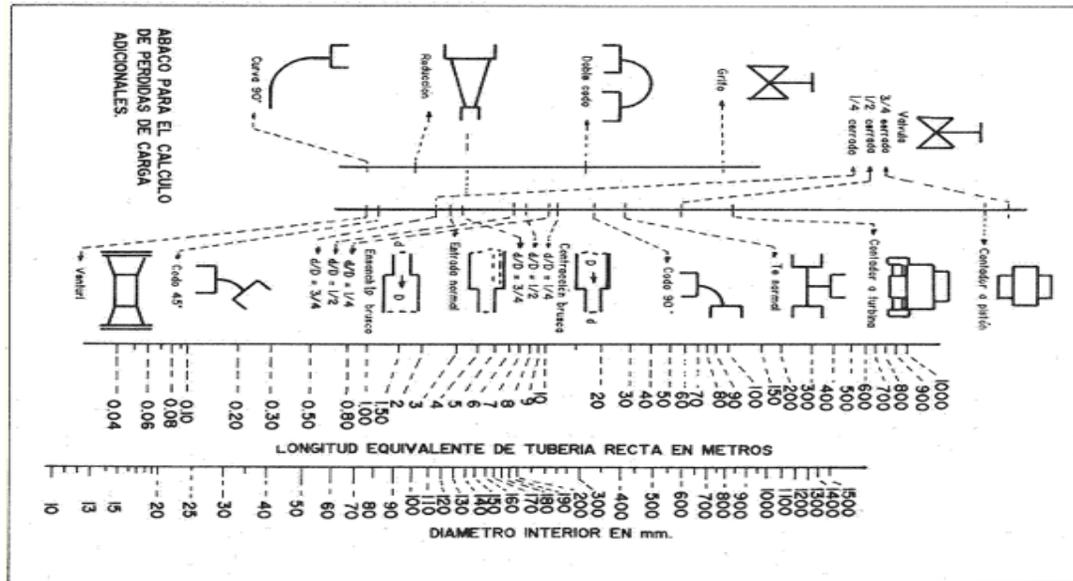
NOTAS		CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	TABLAS DE VAPOR SATURADO		
TABLAS DE VAPOR SATURADO				<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA FAUSTO ACÁN JOSÉ PILATAXI	Lámina
		1	A4			11/11/2014

## ANEXO II PROPIEDADES DEL AGUA A DIFERENTE TEMPERATURA

Temperatura (°C)	Densidad $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Calor Específico $c_p$ (J/kg°C)	Conductiv. térmica $k$ (W/m°C)	Visc. dinám. $\eta \cdot 10^6$ (N.seg/m <sup>2</sup> )	Visc. cinem. $\nu \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /seg)
0	999,9	4226	0,558	1794	1,789
20	998,2	4182	0,597	1004	1,006
40	992,3	4178	0,633	653,0	0,658
60	983,2	4181	0,658	470,0	0,478
80	971,8	4194	0,673	353,7	0,364
100	958,4	4211	0,682	281,0	0,294
140	926,1	4279	0,687	198,2	0,214
180	887,0	4413	0,678	153,5	0,173
220	840,5	4606	0,656	126,0	0,150
260	784,0	4944	0,614	107,5	0,137
300	712,5	6594	0,543	94,1	0,132

NOTAS		ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA FAUSTO ACÁN JOSÉ PILATAXI	PROPIEDADES DEL AGUA A DIFERENTE TEMPERATURA		
<b>PROPIEDADES DEL AGUA A DIFERENTE TEMPERATURA</b>	CATEGORIA DEL DIAGRAMA		Lámina	Esc:	Fecha
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para Información	2	A4	11/11/2014	

### ANEXO III TABLA DE CONSTANTES DE PÉRDIDAS POR ACCESORIOS



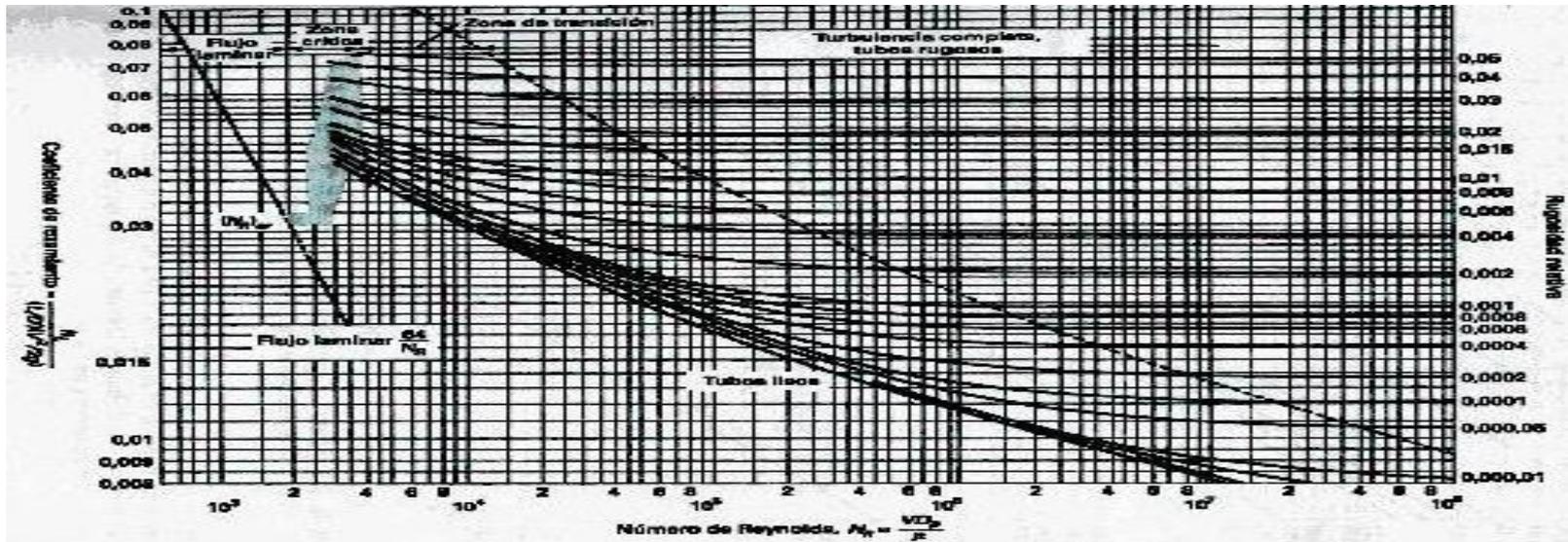
NOTAS		CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	TABLA DE CONSTANTES DE PÉRDIDAS POR ACCESORIOS			DE DE POR
TABLA DE CONSTANTES DE PÉRDIDAS POR ACCESORIOS	<input type="checkbox"/> Certificado			<input type="checkbox"/> Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA  FAUSTO ACÁN  JOSÉ PILATAXI	Lámina	
	<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Por Aprobar	3	A4		11/11/2014	
	<input type="checkbox"/> Por calificar	<input type="checkbox"/> Para Información					

**ANEXO IV TABLA DE COEFICIENTE K PARA TUBERIA PVC**

<b>Material</b>	<b>Rugosidad absoluta <math>\epsilon</math> (mm)</b>
Acero bridado	0,9
Acero comercial	0,45
Acero galvanizado	0,15
Concreto	0,3
Concreto bituminoso	0,25
CCP	0,12
Hierro Forjado	0,06
Hierro fundido	0,15
Hierro dúctil	0,25
Hierro galvanizado	0,15
Hierro dulce asfalto-	0,12
GRP	0,03
Polietileno	0,007
PVC	0,0015

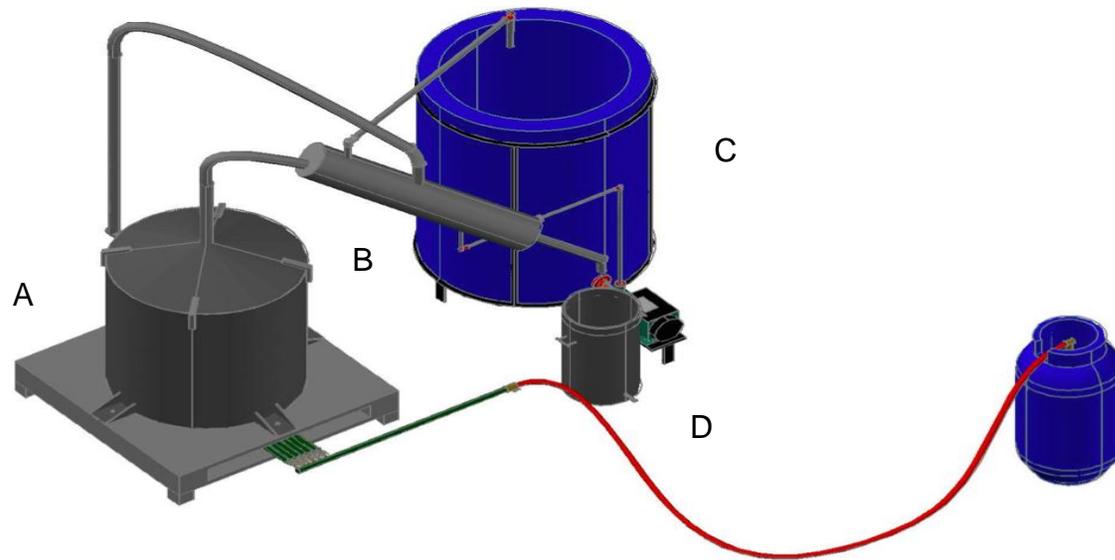
NOTAS		ESPOCH	<b>TABLA DE COEFICIENTE K PARA TUBERIA PVC</b>		
<b>TABLA DE COEFICIENTE K PARA TUBERIA PVC</b>	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b>	FACULTAD DE CIENCIAS	Lámina	Esc:	Fecha
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para Información	ESCUELA DE ING. QUÍMICA			
		FAUSTO ACÁN JOSÉ PILATAXI	4	A4	11/11/2014

### ANEXO V DIAGRAMA DE MOODY



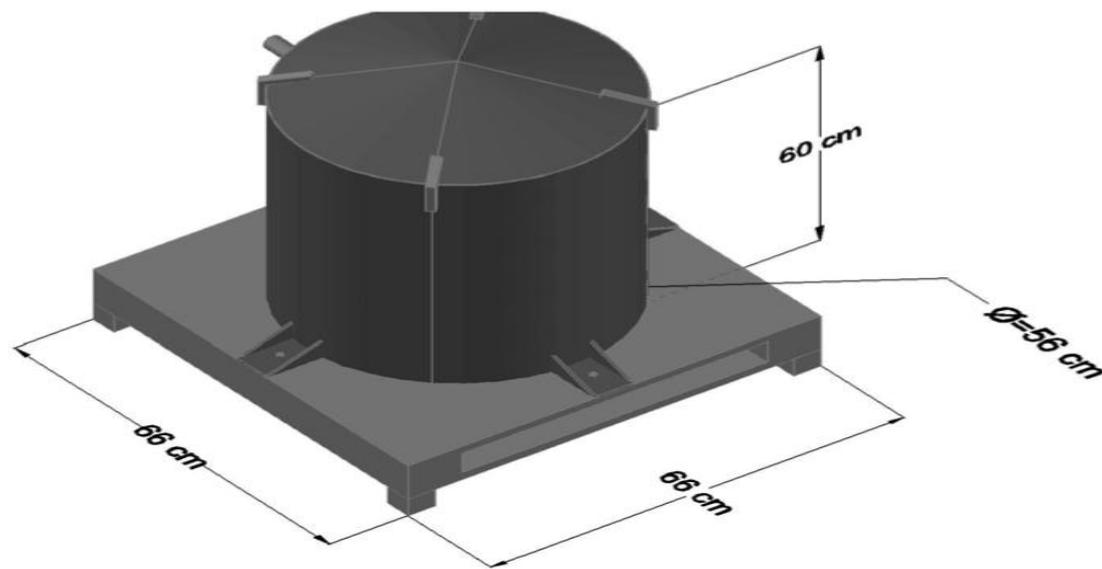
NOTAS		ESPOCH			
<b>DIAGRAMA DE MOODY</b>	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	FACULTAD DE CIENCIAS	<b>DIAGRAMA DE MOODY</b>		
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para Información	ESCUELA DE ING. QUÍMICA	Lámina	Esc:	Fecha
		FAUSTO ACÁN JOSÉ PILATAXI	5	A4	11/11/2014

### ANEXO VI ESQUEMA DEL EQUIPO DE EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES



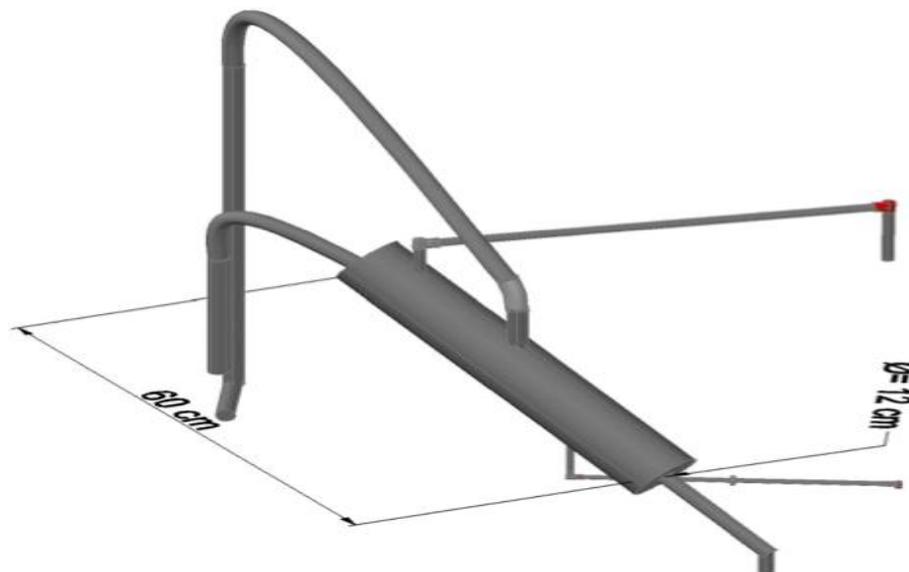
NOTAS		ESPOCH		EQUIPO DE EXTRACCIÓN		
A. Recipiente extractor B. Condensador C. Tanque de almacenamiento del agua D. Recipiente separador	CATEGORIA DEL DIAGRAMA		FACULTAD DE CIENCIAS	Lámina	Esc:	Fecha
	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por eliminar	ESCUELA DE ING. QUÍMICA			
	<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Por Aprobar	FAUSTO ACÁN			
	<input type="checkbox"/> Por calificar	<input type="checkbox"/> Para Información	JOSÉ PILATAXI	6	A4	11/11/2014

### ANEXO VII PLANO DEL RECIPIENTE EXTRACTOR



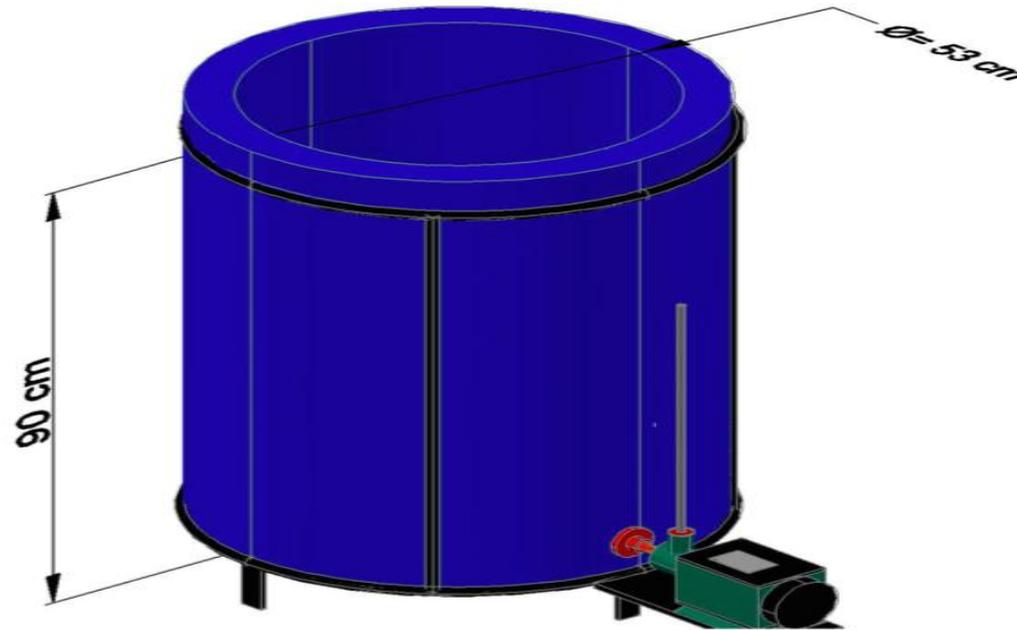
NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	RECIPIENTE EXTRACTOR		
PLANO DEL RECIPIENTE EXTRACTOR	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS	Lámina	Esc:	Fecha
	<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar	ESCUELA DE ING. QUÍMICA			
	<input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para Información	FAUSTO ACÁN JOSÉ PILATAXI	7	A4	11/11/2014

### ANEXO VIII PLANO DEL CONDENSADOR



NOTAS		CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	CONDENSADOR		
PLANO DEL CONDENSADOR				<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA FAUSTO ACÁN JOSÉ PILATAXI	Lámina
		8	A4			11/11/2014

### ANEXO IX PLANO DEL SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE REFRIGERANTE



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE REFRIGERANTE		
PLANO DEL SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE REFRIGERANTE	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS	Lámina	Esc:	Fecha
	<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar	ESCUELA DE ING. QUÍMICA			
	<input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para Información	FAUSTO ACÁN JOSÉ PILATAXI	9	A4	11/11/2014

## ANEXO X MANUAL DE PROCEDIMIENTOS

### EQUIPO EXTRACTOR DE ACEITES ESENCIALES POR ARRASTRE DE VAPOR

**1. Objeto:**

Este equipo tiene por objeto la extracción de aceites esenciales por arrastre de vapor.

**2. Alcance:**

Extracción de aceites esenciales de todo tipo de plantas

**3. Referencias:**

**4. Definiciones:**

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE EXTRACTOR		
MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE EXTRACTOR DE ACEITES ESENCIALES	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA	Lámina	Esc:	Fecha
	<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar	FAUSTO ACÁN JOSÉ PILATAXI	10	A4	11/11/2014
	<input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para Información				

## ANEXO MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE EXTRACTOR DE ACEITES ESENCIALES

Normalmente son líquidos a temperatura ambiente, y por su volatilidad, son extraíbles por destilación en corriente de vapor de agua, aunque existen otros métodos. En general son los responsables del olor de las plantas que dan el aroma característico a algunas flores, árboles, frutos semillas, corteza de los vegetales y a ciertos extractos de origen animal (almizcle, civeta, ámbar gris). Por ejemplo: el aceite de naranja, de un fruto.

Son intensamente aromáticos, no grasos (por lo que no se enrancian), volátiles (se evaporan rápidamente) y livianos (poco densos). Son insolubles en agua, levemente solubles en vinagre, y solubles en alcohol, grasas, ceras y aceites vegetales. Se oxidan por exposición al aire. El principal método de aplicación de los aceites esenciales es a través de una dilución en agua caliente, para que así el vapor del agua mezclado con las esencias se absorban por medio del aparato respiratorio.

Se han extraído más de 150 tipos, cada uno con su aroma propio y virtudes curativas únicas. Proceden de plantas tan comunes como el perejil y tan exquisitas como el jazmín. Para que den lo mejor de sí, deben proceder de ingredientes naturales brutos y quedar lo más puro posible.

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE EXTRACTOR		
MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE EXTRACTOR DE ACEITES ESENCIALES	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA	Lámina	Esc:	Fecha
	<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar	FAUSTO ACÁN JOSÉ PILATAXI	11	A4	11/11/2014
	<input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para Información				

## ANEXO MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE EXTRACTOR DE ACEITES ESENCIALES

### 4.1. Aplicaciones y usos

La producción de **aceites esenciales** es uno de los principales procesos donde se aplica la destilación por arrastre de vapor de agua. 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 son utilizadas en las industrias químicas, alimenticias, farmacéuticas y de fragancias. Algunos ejemplos son los siguientes:

- Industria cosmética y farmacéutica:** como perfumes, conservantes, saborizantes, principios activos, etc.
- Industria alimenticia y derivados:** como saborizantes para todo tipo de bebidas, helados, galletitas, golosinas, productos lácteos, etc.

NOTAS		CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE EXTRACTOR		
MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE EXTRACTOR DE ACEITES ESENCIALES	DE	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS	Lámina	Esc:	Fecha
	DE	<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar	ESCUELA DE ING. QUÍMICA			
	ACEITES	<input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para Información	FAUSTO ACÁN	12	A4	11/11/2014
	ESENCIALES		JOSÉ PILATAXI			

## ANEXO MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE EXTRACTOR DE ACEITES ESENCIALES

### 5. Responsabilidades:

El Jefe del Laboratorio y Asistente de Cátedra son los responsables de:

- ♣ Planificar las prácticas de laboratorio de acuerdo a las carreras y materias.
- ♣ Efectuar una correcta gestión de los recursos, superando oportunamente los problemas que pueda enfrentar en el Laboratorio de Procesos Industriales.

### 6. Desarrollo:

#### 6.1. Descripción del equipo

El equipo de extracción está constituido por las siguientes partes :

- Extractor
- Condensador
- Embudo de separación
- Sistema de recirculación de refrigerante para el condensador
- Recipientes de carga de material vegetal
- Quemador
- Cilindro de gas

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE EXTRACTOR		
MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE EXTRACTOR DE ACEITES ESENCIALES	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA  FAUSTO ACÁN  JOSÉ PILATAXI	Lámina	Esc:	Fecha
	<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar		13	A4	11/11/2014
	<input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para Información				

## ANEXO MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE EXTRACTOR DE ACEITES ESENCIALES

### 6.2. Procedimiento

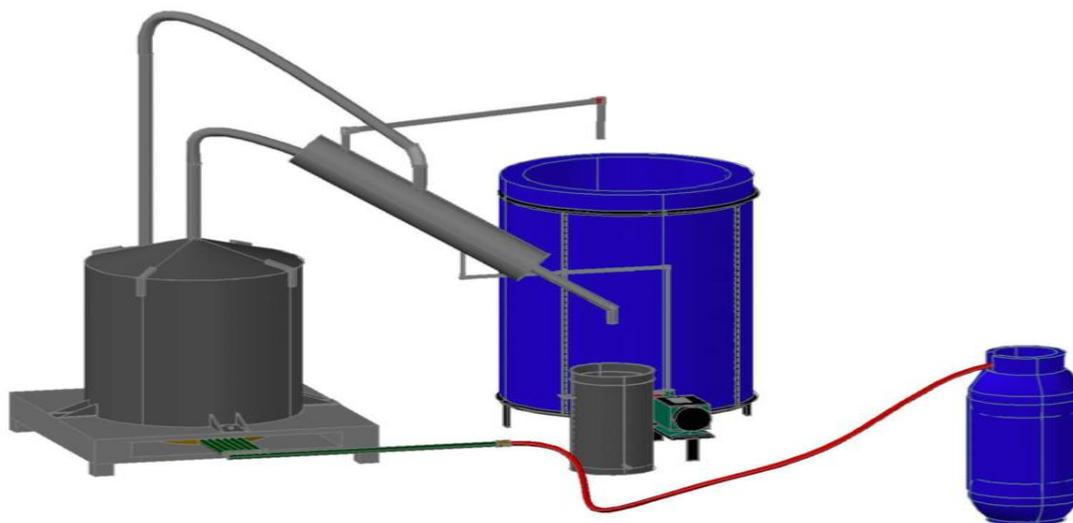
- Lavar las hojas o parte de la planta que se someterá a extracción dejar secar al ambiente por unos 10 minutos en caso de ser necesario (si hay presencia de impurezas)
- Picar las partes de la planta de acuerdo a la cantidad indicada por el asistente
- Pesarse el vegetal picado y luego ir colocando en cada uno de los recipientes de carga destinado para aquello
- Colocar los recipientes con vegetal en el interior del recipiente extractor
- Verificar que la llave de purga del extractor se encuentre cerrada
- Alimentar al extractor 1.5 Kg de agua por cada Kg de vegetal dispuesto a extracción
- Asegurar herméticamente la tapa con sus respectivos seguros para evitar que exista fuga de vapor
- Acoplar el condensador a la tapa del extractor y asegurarla herméticamente
- Acoplar la tubería del sistema de recirculación del refrigerante por medio de una unión universal
- Verificar que esté cerrado la llave de desfogue del tanque de recirculación
- Conectar la bomba a una fuente de 110 V
- Abrir la válvula de gas y encender el quemador
- Encender la bomba cuando se aprecie las primeras gotas de condensado
- Recoger el condensado en un embudo de separación
- Separar el aceite esencial recogido a medida que se llene el embudo y guardarlo en un recipiente de color oscuro de preferencia
- Apagar el quipo

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE EXTRACTOR		
MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE EXTRACTOR DE ACEITES ESENCIALES	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA  FAUSTO ACÁN  JOSÉ PILATAXI	MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE EXTRACTOR		
	<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar		Lámina	Esc:	Fecha
	<input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para Información		14	A4	11/11/2014

## ANEXO MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE EXTRACTOR DE ACEITES ESENCIALES

### 7. Anexos

#### 7.1. ESQUEMA DEL EQUIPO EXTRACTOR



NOTAS		CATEGORIA DEL DIAGRAMA		ESPOCH		MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE EXTRACTOR		
MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE EXTRACTOR DE ACEITES ESENCIALES	DE DE	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS	ESCUELA DE ING. QUÍMICA	Lámina	Esc:	Fecha
		<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Por Aprobar					
		<input type="checkbox"/> Por calificar	<input type="checkbox"/> Para Información			15	A4	11/11/2014
				FAUSTO ACÁN				
				JOSÉ PILATAXI				

## ANEXO FICHA TECNICA DE GLP



**HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD GAS LICUADO DEL PETROLEO**

**SECCIÓN 1: IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DEL PROVEEDOR.**

Nombre del producto : Gas Licuado de Petróleo.  
 Proveedor : EMPRESAS LIPIGAS S.A.  
 Fono Emergencia : 600 600 9200 – 02 24871313 - Celular 63093587

**SECCIÓN 2: COMPOSICIÓN / INGREDIENTES.**

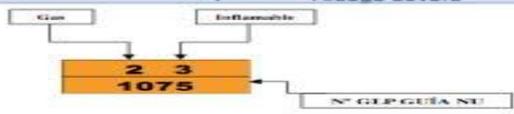
Nombre químico : Propano Comercial - Butano Comercial.  
 Fórmula química : C<sub>3</sub> H<sub>8</sub> - C<sub>4</sub> H<sub>10</sub>  
 Sinónimos : Gas Licuado de Petróleo - GLP ó LPG  
 N° NU : 1075  
 N° C.A.S. : 68476-85-7

**SECCIÓN 3: IDENTIFICACIÓN DE LOS RIESGOS (ROTULACIÓN).**




NCH-1411/4

CÓDIGO COLORES	CATEGORIA RIESGOS
Azul	Riesgos Salud 0 Riesgo mínimo, sin efectos
Rojo	Riesgos Inflamabilidad 1 Riesgo Ligero
Amarillo	Riesgos de Reactividad con otros productos 2 Riesgo moderado
Verde	Riesgos de Toxicidad 3 Riesgo Alto
Blanco	Riesgos Especiales 4 Riesgo severo



Hoja de Datos de Seguridad de Gas Licuado del Petróleo  
Documento Revisado 23/09/2013

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE EXTRACTOR		
FICHA TECNICA DE GLP	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA FAUSTO ACÁN JOSÉ PILATAXI	Lámina	Esc:	Fecha
	16	A4	11/11/2014		

## ANEXO FICHA TENCICA DE GLP



<b>Clasificación de riesgos del producto químico:</b> Gas inflamable, asfixiante simple.	
a).- Peligros para la salud de las personas:	
Efectos de una sobreexposición aguda (por una vez):	En estado líquido; quemadura por frío.
Inhalación	En estado gaseoso; sofocamiento.
Contacto con la piel	En estado líquido; quemadura por frío.
Contacto con los ojos	En estado líquido; quemadura por frío.
Ingestión	En estado líquido; quemadura por frío.
Efectos de una sobreexposición crónica (largo plazo)	Asfixia - adormecimiento.
Condiciones médicas que se verán agravadas con la exposición al producto	Personas con afecciones respiratorias.
b).- Peligros para el medio ambiente:	No es contaminante.
c).- Peligros especiales del producto	Inflamable en espacios abiertos. Inflamable en espacios confinados, liberando gran cantidad de energía.

**SECCIÓN 4: MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS.**

Contacto con el producto por inhalación	Retirar a la persona del lugar, proporcionar respiración artificial.
Contacto con la piel, ojos o ingestión	Atención médica inmediata proteger parte afectada en caso de contacto directo con piel.

Notas para el médico tratante:  
El GLP es un asfixiante simple, puede producir quemaduras por frío en contacto directo en fase líquida de GLP.

**SECCIÓN 5: MEDIDAS PARA LUCHA CONTRA EL FUEGO.**

Agentes de extinción	Agua pulverizada, polvo químico seco, ABC o BC (90% Monofostato Amonio)
Procedimientos especiales para combatir fuegos	No apagar fuego, hasta haber eliminado fuente de gas. Enfriar el recipiente y los adyacentes con bastante agua.
Equipos de protección personal para el combate de fuego	Equipo de Bombero. (Casco, guantes, chaqueta y pantalón protectores, botas de protección)

**SECCIÓN 6: MEDIDAS PARA CONTROLAR DERRAMES O FUGAS.**

Medidas de emergencia a tomar si hay derrame del material	Aislar sector de fuentes de ignición a 300 metros a la redonda evitando que el gas penetre en las alcantarillas y / o sótanos.
Equipo de protección personal para atacar emergencias	Equipo normal de bombero. <b>No usar ropa con fibras acrílicas y similares.</b>

2

NOTAS											
FICHA TENCICA DE GLP	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b>  <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar  <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar  <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para Información	<b>ESPOCH</b>  FACULTAD DE CIENCIAS  ESCUELA DE ING. QUÍMICA  FAUSTO ACÁN  JOSÉ PILATAXI	<b>MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE EXTRACTOR</b>  <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Lámina</td> <td style="width: 33%;">Esc:</td> <td style="width: 33%;">Fecha</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">17</td> <td style="text-align: center;">A4</td> <td style="text-align: center;">11/11/2014</td> </tr> </table>			Lámina	Esc:	Fecha	17	A4	11/11/2014
Lámina	Esc:	Fecha									
17	A4	11/11/2014									

## ANEXO FICHA TENCICA DE GLP



Precauciones a tomar para evitar daños al ambiente	No requiere.
Métodos de limpieza	No requiere.
Método de eliminación de desechos	No requiere.

**SECCIÓN 7: MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO.**

Recomendaciones técnicas	Evitar fugas, enfriar recipiente.
Precauciones a tomar en caso de fugas	Aislar recipiente en lugar ventilado, eliminar fuentes de ignición cercanas, aplicar cortina protectora de agua.
Recomendaciones sobre manipulación segura, específicas y/o emergencias	Llamar teléfono emergencias <b>6066009200</b> <b>02- 24871313 Celular 63093587</b>
Condiciones de almacenamiento	Lugares apartados, ventilados, libres de fuentes de ignición, señalizados.
Embalaje recomendados y no adecuados	Cilindros y tanques de almacenamiento conforme a normas y disposiciones legales vigentes.

**SECCIÓN 8: CONTROL DE EXPOSICIÓN/ PROTECCIÓN ESPECIAL**

Medidas para reducir la posibilidad de exposición	Controles de ingeniería en los equipos válvulas de control de flujo, controles en la descarga, reinspección de los equipos. Además de cumplir con medidas de seguridad establecidas.
Límites permisibles ponderado (LPP) y Absoluto (LPA)	LPP: 800 ppm - 1400 mg/m <sup>3</sup>
Protección respiratoria	Solo en casos de emergencias con espacios confinados para Bomberos y/o personal capacitado y entrenado.
Protección para la vista	Lentes de Seguridad en operaciones de transferencia y llenado de cilindros.
Otros equipos de protección.	Ropa no acrílica, evitar electricidad estática.
Ventilación	Si, natural o forzada, la mayor posible. Si utiliza equipos eléctricos deben ser intrínsecamente seguros.

**SECCIÓN 9: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS.**

PROPIEDADES y CARACTERÍSTICAS	PROPANO	BUTANO
Fórmula química	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>
Densidad del gas relativa al aire (aire = 1)	1,522	2,006
Densidad del líquido relativa al agua (agua = 1)	0,508	0,584
Poder calorífico superior en Kcal/Kg	11,900	12,100
Punto de ebullición en °C	-42,1	-0,5
Vol. de 1 Kg de gas en m <sup>3</sup> (1 atmósfera y 15°C)	0,538	0,408
Vol. de aire en m <sup>3</sup> para quemar 1 m <sup>3</sup> de gas (1 atm. y 15°C)	23,87	31,03
Límite inferior de inflamación, % de gas en aire	2,4	1,9

Forma de Datos de Seguridad de Gas Licuado del Petróleo  
Documento Revisado 23/09/2013

<p>NOTAS</p>	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</p> <p><input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar</p> <p><input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para Información</p>	<p>ESPOCH</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA DE ING. QUÍMICA</p> <p>FAUSTO ACÁN</p> <p>JOSÉ PILATAXI</p>	<p>MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE EXTRACTOR</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Lámina</td> <td style="width: 33%;">Esc:</td> <td style="width: 33%;">Fecha</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">18</td> <td style="text-align: center;">A4</td> <td style="text-align: center;">11/11/2014</td> </tr> </table>	Lámina	Esc:	Fecha	18	A4	11/11/2014
Lámina	Esc:	Fecha							
18	A4	11/11/2014							
<p>FICHA TENCICA DE GLP</p>									

