

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**INGENIERIA QUIMICA**



**PROYECTO DE GRADO PRESENTADO POR:**

**PINTO ALCON OMAR BENJAMIN**

**PARA OPTAR AL TITULO DE: INGENIERO QUIMICO**

**TITULO DEL PROYECTO:**

**OBTENCION DE ACEITE ESENCIAL A PARTIR DE CASCARAS DE LIMON PARA LA INDUSTRIA COSMETICA A NIVEL BENCH SCALE**

**TUTOR:**

**ING. ARMENIO SILVA MANZANEDA**

**LA PAZ – BOLIVIA**

**2020**



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE INGENIERIA**



**LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.**

**LICENCIA DE USO**

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

**TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.**

### **DEDICATORIA**

*A Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto, por darme buena salud para lograr mis objetivos*

*A mi esposa, Daniela, por su inmenso amor, y apoyo en los momentos malos y buenos, por su comprensión y perseverancia*

*A mis Padres, Moisés y Catalina, Por todo el apoyo, consejos y valores que me dieron ya que todo lo que soy se lo debo a ustedes*

*A mis hermanos, Ferdin, Fernando y Moisés por ser ejemplo de perseverancia y constancia*

**Omar Benjamín Pinto Alcon**

### **AGRADECIMIENTOS**

*A Dios, por los dones de sabiduría, perdón, fortaleza, entendimiento y paciencia que me ha brindado*

*A mi esposa por su amor, paciencia, apoyo y comprensión en todo momento.*

*A mis padres, quienes con su infinito amor, apoyo incondicional y paciencia han hecho de mí la persona que soy hoy en día.*

*A mi tutor Armenio Silva, Ingeniero Químico, por los conocimientos transmitidos y dedicación en este trabajo.*

*A mi tribunal, los Ingenieros Jorge Vásquez y William Cusi, por darme conocimientos y trayectoria para culminar este Proyecto de Grado*

***A todos ustedes..... Muchas Gracias***

***Omar Benjamín Pinto Alcon***

## RESUMEN

En el presente proyecto de grado se estudió el proceso de extracción del aceite esencial de limón, mediante la destilación por arrastre de vapor en un destilador FIGMAY a escala laboratorio. Para este fin se utilizó materia vegetal proveniente del municipio de Alto Beni, provincia Caranavi del departamento de La Paz.

La cascara de limón fue sometida a un estudio de caracterización previo a la extracción, dando como resultados 74,28% humedad, 3,87% cenizas y densidad real  $0,842 \text{ g/m}^3$ , densidad aparente  $0,0917 \text{ g/m}^3$  y fracción de vacío 0,0995.

Mediante el uso del programa Desing Expert 7.0 se llevó adelante el diseño experimental, se seleccionó el diseño factorial con 2 variables de estudio, 12 experimentos con 3 réplicas de cada uno respectivamente, donde se logró identificar las variables de mayor influencia en el proceso de extracción, las cuales son el tamaño de partícula, tiempo de extracción. A través del ANOVA y la gráfica de superficie de respuesta que las mejores condiciones del proceso corresponden a un tamaño de partícula de 16 (cm), tiempo de extracción de 2,46 horas condiciones bajo las cuales el modelo predice un rendimiento del aceite esencial teórico de 0,2623%. Al realizar la destilación en las condiciones adecuadas se obtiene un rendimiento real de 0.2601%.

Asimismo la evaluación de las propiedades físicas del aceite esencial reportaron valores de 0.8566 de densidad relativa y 1,467 de índice de refracción respectivamente. En cuanto a las propiedades químicas la cromatografía gaseosa y la espectrofotometría de masas identificaron la presencia de dos importantes principios activos como ser el limoneno (54,64%) y el terpireno (13,96%) ambos en proporciones considerables en el aceite de limón.

Se dimensiono un extractor a escala Bench, el equipo consta de una columna de extracción de 31,6 litros, un generador de vapor, un distribuidor de vapor, un condensador de 0,46 m con un paso de carcasa y dos pasos tubos y una bomba que requiere un caudal de 15 [l/min] de 0,8 [HP] de potencia.

Finalmente Se determina que el costo de producción para 100ml de aceite de limón, se necesitan 2419 limones y el costo es de 1036,8 bs, entonces el costo de 1 ml de aceite esencial de limón a 10,4 bs. Lo cual es factible ya que en el mercado internacional oscila entre 37 bs a 46 Bs por 1ml.

## Abstract

In this degree project, the process of extracting lemon essential oil was studied, by steam distillation in a laboratory scale FIGMAY distiller. For this purpose, plant material from the municipality of Alto Beni, Caranavi province of the department of La Paz was used.

The lemon peel was subjected to a characterization study prior to extraction, resulting in 74.28% humidity, 3.87% ash and actual density 0.842 g / m<sup>3</sup>, apparent density 0.0917 g / m<sup>3</sup> and vacuum fraction 0.0995.

Through the use of the Desing Expert 7.0 program, the experimental design was carried out, the factorial design was selected with 2 study variables, 12 experiments with 3 replicates of each respectively, where the variables with the greatest influence on the extraction process were identified , which are the particle size, extraction time. Through the ANOVA and the response surface plot, the best process conditions correspond to a particle size of 16 (cm), extraction time of 2.46 hours, conditions under which the model predicts a theoretical essential oil yield of 0.2623%. When performing distillation under the right conditions, a real yield of 0.2601% is obtained.

Likewise, the evaluation of the physical properties of the essential oil reported values of 0.8566 relative density and 1,467 refractive index respectively. Regarding the chemical properties, gas chromatography and mass spectrophotometry identified the presence of two important active ingredients such as limonene (54.64%) and terpirene (13.96%) both in considerable proportions in lemon oil .

A Bench scale extractor was sized, the equipment consists of a 31.6 liter extraction column, a steam generator, a steam distributor, a 0.46 m condenser with a housing passage and two pipe passages and a pump that requires a flow of 15 [l / min] of 0.8 [HP] of power.

Finally, it is determined that the production cost for 100ml of lemon oil, 2419 lemons are needed and the cost is 1036.8 bs, then the cost of 1 ml of lemon essential oil to 10.4 bs. Which is feasible since in the international market it ranges from 37 bs to 46 Bs per 1ml.

## INDICE DE CONTENIDO

CAPITULO I.....	1
1. INTRODUCCION.....	1
1.1. Antecedente en el mundo.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. JUSTIFICACION DEL PROYECTO.....	3
1.4.1. Justificación técnica.....	3
1.4.2. Justificación económica.....	3
1.4.3. Justificación Social.....	4
1.4.4. Justificación Académica.....	4
CAPITULO II.....	5
2. MARCO TEORICO.....	5
2.1. Aceites Esenciales.....	5
2.1.1. Definición.....	5
2.1.2. Fuentes.....	5
2.2. Clasificación.....	6
2.3. METODOS DE EXTRACCION DE LOS ACEITES ESENCIALES.....	7
2.3.1. Clasificación de los aceites esenciales.....	7
2.3.2. Extracción con solventes.....	7
2.3.3. Extracción por prensado.....	8
2.3.4. Extracción con fluidos supercríticos.....	8
2.3.5. Hidrodestilacion.....	9
2.3.6. Extracción por arrastre de vapor.....	10
2.4. PRETRATAMIENTO DEL MATERIAL VEGETAL.....	11
2.4.1. Selección del limón.....	11
2.4.2. Cortado de las cascaras.....	11
2.5. FACTORES QUE AFECTAN EL RENDIMIENTO.....	11
2.5.1. Tipo de materia prima.....	11
2.5.2. Tamaño de partícula.....	12
2.5.3. Tiempo de extracción.....	12
2.5.4. Método de extracción.....	12

2.5.5. Presión de vapor.....	12
2.6. METODOS DE CUANTIFICACION DE LOS ACEITES ESENCIALES.....	12
2.6.1. Propiedades organolépticas.....	13
2.6.2. Propiedades Físicas.....	13
2.6.2.1. Índice de refracción.....	14
2.6.2.2. Densidad relativa.....	14
2.6.3. Propiedades Químicas.....	14
2.7. METODOS INSTRUMENTALES.....	15
2.7.1. Análisis Gravimétrico y Cromatografico.....	15
2.8. USOS DE LOS ACEITES ESENCIALES.....	16
2.8.1. Industria Alimentaria.....	16
2.8.2. Industria Farmacéutica.....	16
2.8.3. Desodorantes Industriales.....	17
2.8.4. Industria tabacalera.....	17
2.9. DIFERENCIA ENTRE ACEITES ESENCIALES Y ESENCIAS.....	17
2.9.1. Industria Cosmética.....	18
2.9.1.1. Aceite esencial de Limón.....	19
2.10. ACEITE ESENCIAL DE LIMON.....	19
2.10.1. Limón en Bolivia.....	19
2.10.2. Limón Citrus.....	20
2.10.3. El Fruto.....	21
2.10.4. Descripción.....	22
2.10.5. Suelo.....	22
2.10.6. Ecofisiología.....	22
2.10.7. Rendimiento.....	22
2.10.8. Cosecha.....	23
2.10.9. Condiciones de almacenamiento.....	23
2.1.1. USOS DEL ACEITE ESENCIAL EN BOLIVIA.....	23
2.1.2. ESCALA LABORATORIO.....	24
2.12.1. EQUIPAMIENTO DEL EXTRACTOR DE ACEITES.....	24
2.12.2. Datos Técnicos.....	25
2.13. EQUIPO A ESCALA BENCH.....	26
2.14. EQUIPO A ESCALA PILOTO.....	26
2.15. EQUIPO A ESCALA INDUSTRIAL.....	27
2.16. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	27



2.16.1. Metodología Superficie de Respuesta.....	27
2.16.2. Función de respuesta.....	28
2.16.3. Función de respuesta predicha.....	28
2.16.4. Superficie de respuesta.....	29
2.16.5. Región experimental.....	29
2.16.6. Diseños experimentales para ajustar Superficies de Respuesta.....	30
2.16.7. Diseños para ajustar modelos de primer orden.....	30
2.16.8. Diseños para ajustar modelos de segundo orden.....	30
2.16.9. Diseño central compuesto (DCCR).....	30
CAPITULO III.....	32
METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....	32
3. CARACTERIZACION DE LA CASCARA DE LIMON.....	32
3.1. Muestreo y reducción de la muestra.....	32
3.2. PROPIEDADES FISICAS.....	32
3.2.1 Espesor.....	32
3.2.2. Densidad real.....	33
3.2.3. Densidad aparente.....	33
3.3. Fracción de vacío.....	34
3.4. PROPIEDADES QUIMICAS.....	34
3.4.1. Humedad.....	34
3.4.2. Ceniza.....	34
3.5. DETERMINACION DE LAS VARIABLES DEL PROCESO.....	35
3.5.1. Tamaño de partícula.....	35
3.5.2. Tiempo de extracción.....	36
3.5.3. Presión de vapor.....	36
3.5.4. Obtención y preparación de la muestra.....	36
3.5.5. Procedimiento.....	36
3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	37
3.6.1. Diseño experimental $2^k$ .....	37
3.6.2. Metodología de superficie de respuesta.....	38
3.6.3. Optimización.....	38
3.7. CARACTERIZACION DEL PRODUCTO.....	39
3.7.1. Determinación de pruebas Organolépticas.....	39
3.7.2. Determinación de la Densidad.....	40
3.7.3. Determinación del índice de refracción.....	40
3.7.4. Cromatografía de Gases GC – EM.....	41

CAPITULO IV.....	42
CALCULOS Y RESULTADOS.....	42
4.1. RECEPCION DE LA MATERIA PRIMA.....	42
4.2. CARACTERIZACION DE LA MATERIA PRIMA.....	42
4.2.1. Determinación del espesor de la cascara de limón.....	42
4.2.2. Determinación de la densidad real.....	43
4.2.3. Determinación de la densidad aparente.....	44
4.2.4. Calculo de la fracción al vacío.....	45
4.2.5. Determinación de la humedad de la cascara de limón.....	45
4.2.6. Determinación de ceniza.....	46
4.3. DETERMINACION DE LAS VARIABLES DEL PROCESO.....	47
4.3.1. Análisis del Proceso de destilación.....	47
4.3.2. Factores de estudio.....	48
4.3.3. Tiempo de extracción.....	48
4.3.4. Presión.....	49
4.3.5. Tamaño de partícula.....	50
4.4. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	51
4.4.1 Diseño 2 <sup>k</sup> .....	51
4.4.1.1 Pruebas Experimentales.....	51
4.4.2. Análisis de efectos.....	52
4.4.3. Análisis de Anova.....	53
4.4.4. Verificación de los supuestos del modelo.....	54
4.4.5. Representación de los efectos principales y la iteración.....	55
4.4.6. Superficie respuesta.....	56
4.4.7. Soluciones sugeridas por el Software.....	56
4.4.8. Obtención de aceite esencial de limón con las condiciones de operación.....	57
4.5. CARACTERIZACION DEL ACEITE ESENCIAL DE LIMON.....	57
4.5.1. Características Organolépticas.....	57
4.5.2. Determinación de la Densidad relativa.....	58
4.5.3. Índice de refracción.....	59
4.5.4 Cromatografía de Gas GLC.....	60
CAPITULO V.....	62
DISEÑO DEL EQUIPO.....	62
5.1 DISEÑO DE LA COLUMNA DE DESTILACION.....	62
5.2 CALCULO DEL FLUJO MASICO.....	64

5.3. SELECCIÓN DEL GENERADOR DE VAPOR.....	65
5.4. DISEÑO DEL DISTRIBUIDOR DE VAPOR.....	66
5.5. DISEÑO DEL CONDENSADOR.....	67
5.6. SELECCIÓN DE LA BOMBA.....	79
CAPITULO VI.....	81
ANALISIS DE COSTOS.....	81
6.1. COSTO DE MATERIA PRIMA.....	81
6.2. COSTO DEL EQUIPO.....	82
6.3 COSTO DE PRODUCCION.....	83
6.3.1. Agua.....	83
6.3.2. Luz.....	83
6.4 COSTO DE ACEITE DE LIMON EN EL MERCADO NACIONAL E INTERNACIONAL.....	84
CAPITULO VII.....	86
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	86
BIBLIOGRAFIA.....	89
ANEXOS.....	91

## INDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1 Esquema de extracción con fluidos supercríticos.....	9
Figura N° 2.2 Destilación por arrastre de vapor.....	10
Figura N° 2.3 Cortador de cascara de cítricos.....	11
Figura N° 2.4 Cromatografo de Gases.....	15
Figura N° 2.5 Espectrofotometria de masa.....	16
Figura N° 2.6 Clasificación de la Industria Cosmética.....	18
Figura N° 2.7 Limón.....	20
Figura N° 2.8. Partes del Limón.....	21
Figura N° 2.9 Ubicación Alto Beni.....	21
Figura N° 2.10 Aceite de Limón.....	23
Figura N° 2.11 Equipo de destilación por arrastre con vapor de agua a escala laboratorio.....	24
Figura N° 2.12 Extractor de aceites esenciales por arrastre de vapor.....	25
Figura N° 2.13 Superficie en tres dimensiones.....	29
Figura N° 3.1 Procedimiento de selección de la materia prima.....	32
Figura N° 3.2 El procedimiento se muestra en la siguiente.....	33
Figura N° 3.3 El procedimiento se muestra para la densidad real.....	33
Figura N° 3.4 Procedimiento para la densidad aparente.....	34
Figura N° 3.5 Procedimiento para le medición de la humedad.....	34
Figura N° 3.6 Procedimiento para medir el porcentaje de cenizas.....	35
La figura N° 3.7 Muestra los pasos para desarrollar las pruebas preliminares de destilación.....	36
Figura N° 3.8 Procedimiento para la determinación de la densidad relativa.....	40
Figura N° 3.9 Procedimiento para la determinación del Índice de Refracción.....	40
Figura N° 3.10 Equipo GC – MS.....	41
Figura N° 3.11 Procedimiento para el análisis cuantitativo GC-MS.....	41
Figura N° 4.1 Preparado de materia Prima.....	42
Figura N° 4.2 Equipo cortador de cascara de Limón.....	42
Figura N° 4.3 Balanza de Humedad.....	45
Figura N° 4.4 Extractor de FIGMAY de aceites esenciales.....	47
Figura N° 4.5 Rendimiento Vs tiempo de extracción.....	49
Figura N° 4.6 Tamaño de partícula y el rendimiento.....	50
Figura N° 4.7 Datos de las variables dependientes y variable respuesta – Pruebas Experimentales.....	51
Figura N° 4.8 Grafica Media Normal.....	52

Figura N° 4.9 Diagrama de Pareto de Efectos.....	52
Figura N° 4.10 Diagrama de ANOVA.....	53
Figura N° 4.11 Ecuación Propuesta para el programa.....	53
Figura N° 4.12 Probabilidad Normal.....	54
Figura N° 4.13 Varianza constante.....	54
Figura N° 4.14 Independencia de los supuestos.....	55
Figura N° 4.15 Efecto de interacción A – B.....	55
Figura N° 4.16 Superficie Respuesta Plantaeada por el Programa.....	56
Figura N° 4.17 Solución Propuesta para el Programa.....	56
Figura N° 4.18 Determinación del peso del picnómetro.....	58
Figura N° 4.19 Cronograma del aceite esencial de Limón.....	60
Figura N° 5.1 Geometría del distribuidor de vapor.....	66
Figura N° 5.2 Intercambiador de calor con tubos concéntricos.....	68
Figura N° 5.3 Perfil de temperaturas en el condensador.....	76
Figura N° 5.4 Condensador de flujo a contracorriente.....	78
Figura N° 5.5 Diagrama para la corrección de longitud del condensador.....	79
Figura N° 6.1 Costo de unidad de limón Vs Mes.....	81
Figura N° 6.2 Destilador por arrastre de vapor.....	83

## INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1.1 Comportamiento de la producción mundial de limones 2015.....	1
Tabla N° 1.2 Mayores Productores de limón en el mundo 2015.....	1
Tabla N° 1.3 Principales exportadores de limones y limas en el mundo 2015.....	2
Tabla N° 1.4 Principales importadores de limones y limas en el mundo 2015.....	2
Tabla N° 2.1 Diferencias entre aceites esenciales y esencias.....	18
Tabla N° 2.2 Hectáreas y Toneladas por cada Departamento.....	19
Tabla N° 2.3 PRODUCCION DE LIMON EN LA PAZ (ANUAL).....	20
Tabla N° 2.4 Descripción del Limón.....	20
Tabla N° 2.5 Datos técnicos del Equipo Figmay nivel Laboratorio.....	25
Tabla N° 3.1 Variables Independientes.....	37
Tabla N° 3.2 Variable respuesta.....	37
Tabla N° 3.3 Criterios de deseabilidad.....	38
Tabla N° 3.4 Parámetros para la Optimización.....	38
Tabla N° 3.5 Rango de Optimización del CV.....	39
Tabla N° 3.6 Parámetros organolépticos del aceite esencial de limón.....	39
Tabla N° 4.1 Espesor correspondiente de cascara de limón.....	43
Tabla N° 4.2 Espesor promedio de cascara de limón.....	43
Tabla N° 4.3 Datos recolectados para la densidad real.....	43
Tabla N° 4.4 Densidad real.....	43
Tabla N° 4.5 Densidad real y desviación estándar.....	44
Tabla N° 4.6 Densidad corregida.....	44
Tabla N° 4.7 Datos recolectados para la densidad real.....	44
Tabla N° 4.8 Densidad aparente.....	44
Tabla N° 4.9 Densidad aparente y desviación estándar.....	45
Tabla N° 4.10 Datos recolectados para la determinación de la humedad.....	45
Tabla N° 4.11 Humedad.....	46
Tabla N° 4.12 Densidad real y desviación estándar.....	46
Tabla N° 4.13 Datos recolectados para la determinación de la ceniza.....	46
Tabla N° 4.14 Ceniza.....	46
Tabla N° 4.15 Ceniza y desviación estándar.....	47
Tabla N° 4.16 Datos preliminares de destilación.....	48
Tabla N° 4.17 Rendimientos obtenidos.....	48
Tabla N° 4.18 Datos obtenidos del tiempo y el rendimiento.....	49
Tabla N° 4.19 Datos obtenidos del tiempo y el rendimiento.....	50

Tabla N° 4.20 Variables que se consideraran en el proceso.....	51
Tabla N° 4.21 Mejores Condiciones de Operación.....	57
Tabla N° 4.22 Condiciones de operación en Laboratorio.....	57
Tabla N° 4.23 Características organolépticas.....	58
Tabla N° 4.24 Datos obtenidos en laboratorio.....	58
Tabla N° 4.25 Densidad obtenida de laboratorio.....	59
Tabla N° 4.26 Densidad promedio del aceite esencial de limón.....	59
Tabla N° 4.27 Datos obtenidos en laboratorio.....	59
Tabla N° 4.28 Densidad obtenida de laboratorio.....	59
Tabla N° 4.29 Índice de refracción promedio del aceite esencial de limón.....	60
Tabla N° 4.30 Compuestos y porcentajes reconocidos por el MS.....	61
Tabla N° 5.1 Características de la tubería.....	67
Tabla N° 5.2 Características de las tuberías de acero inoxidable.....	69
Tabla N° 5.3 Determinación Iterativa de $T_w$ .....	72
Tabla N° 6.1 Costos del limón en el mercado boliviano.....	81
Tabla N° 6.2 Costo de la cascara de limón.....	82
Tabla N° 6.3 Costos del Equipo Diseñado.....	82
Tabla N° 6.4 Costo de producción para 100ml.....	84
Tabla N° 6.5 Costos del aceite de limón.....	84
Tabla N° 6.6 Cantidad de Producción de los Municipios más Productores.....	85
Tabla N° 6.7 Costos por hectárea a nivel Internacional.....	85

## CAPITULO I

### 1. INTRODUCCION

#### 1.1. Antecedente en el mundo

El limón es originario del sureste asiático donde le llaman el fruto de la felicidad e incluso le rinden culto, actualmente se produce en todas las áreas tropicales y templadas del globo. El principal país productor es Israel seguido de Turquía, mientras que España es el primer país exportador de limones. Se cultiva en Asia desde hace más de 2.500 años. Una vez extendido el cultivo por la China llegó a la zona del actual Irán. Fueron los árabes a partir del siglo X quienes lo difundieron por la cuenca mediterránea, por el este hacia Grecia y por el oeste hacia España. Según FAOSTAT en el año 2015, la producción mundial de limones y limas alcanza alrededor de 15.118.462 toneladas. La siguiente tabla muestra la producción por continentes.<sup>1</sup>

**Tabla N° 1.1**  
**Comportamiento de la producción mundial de limones 2015. (Anual)**

Contienete	Porcentaje	Tonelada/año
América	41,6	6.289.280,20
Asia	43,8	6.621.886,40
Europa	6,9	1.043.173,90
Oceanía	0,2	30.236,90
África	7,4	1.118.766,20

Fuente: FAOSTAT (2015)

**Tabla N° 1.2**  
**Mayores Productores de limón en el mundo 2015.**

País	Area - Hectareas	Rendimiento
Israel	1.900	36,12
Turquía	21.290	35,68
Estados Unidos	22.258	34,64
Argentina	43.500	29,89
Líbano	3.000	27,33

Fuente: FAOSTAT (2015)

<sup>1</sup> FAOSTAT Estadística de la Organización para la Alimentación y la Agricultura (2015)



**Tabla N° 1.3**  
**Principales exportadores de limones y limas en el mundo 2015.**

Pais	Toneladas / Año
España	537.830
México	531.543
Turquía	410.328
Argentina	282.797

**Fuente: Trade Map(2015)**

**Tabla N° 1.4**  
**Principales importadores de limones y limas en el mundo 2015.**

Pais	Toneladas	% Importaciones del mundo
Estados Unidos	486.652	19
Rusia	209.793	8
Holanda	180.441	7
Alemania	151.759	6
Francia	134.601	5
Resto del Mundo	1.451.753	56
TOTAL	2.614.999	100

**Fuente: Trade Map (2015)**

El limón tiene un mercado grande en el mundo, por todas sus importaciones y exportaciones el movimiento económico que genera, en los últimos años la producción de limón fue creciendo sobretodo en Sudamérica por principal productor de limón que es la Argentina.<sup>2</sup>

## 1.2. Planteamiento del problema

Por lo expuesto anteriormente, el limón internacionalmente es producido en todo el mundo, por lo que tiene un alto mercado. En el presente proyecto se desea aprovechar los residuos generados por el consumo de limón (cascaras) a través del proyecto titulado "OBTENCION DE ACEITE ESENCIAL A PARTIR DE LAS CASCARAS DE LIMON PARA LA INDUSTRIA COSMETICA A NIVEL BENCH SCALE"

<sup>2</sup> Trade Map, Estadística de comercio para el desarrollo Internacional de las Empresas (2015)

### 1.3. OBJETIVOS

#### 1.3.1. Objetivo general

- Obtener aceite esencial a partir de la cascara de limón del municipio de Alto Beni provincia Caranavi para la Industria de Cosméticos.

#### 1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar la caracterización de la materia prima
- Identificar variables más influyentes del proceso utilizando como herramienta un diseño experimental
- Caracterizar el Aceite en bruto
- Diseñar el equipo a nivel Bench Scale
- Realizar Análisis de Costos

### 1.4. JUSTIFICACION DEL PROYECTO

#### 1.4.1. Justificación Ambiental

La extracción del aceite esencial del limón nos permite obtener un compuesto aromatizante no toxico al medio ambiente, ya que proviene de origen natural, y fomenta la plantación de árboles limoneros los cuales aportan bien estar al medio ambiente.

#### 1.4.2. Justificación económica

Este proyecto pretende aprovechar los recursos naturales con los que cuenta nuestro país, de esta forma incentivar la producción Agropecuaria que genera recursos económicos para los productores, además de utilizar el desecho de costo adquisitivo muy bajo para obtener un aceite esencial que tiene costos altos, incentivando a la Industria Nacional.

### 1.4.3. Justificación Social

El presente proyecto pretende favorecer a las zonas productoras del limón, incentivando al cultivo del limón, ya que tendrían un mercado asegurado para poder comercializar su producto, de esta forma mejorar las condiciones de vida de los productores.

### 1.4.4. Justificación Académica

Es necesario poner en práctica todos los conocimientos adquiridos, durante nuestra formación académica en la carrera de ingeniería química, puesta que en este proyecto se aplicará diversas operaciones unitarias, además de otros conocimientos de Transferencia de calor, Química Analítica Cuantitativa, Química Básica, Ética y Metodología de la Investigación, Análisis y Programación Numérica para la complementación del proyecto.



## CAPITULO II

### 2. MARCO TEORICO

#### 2.1. ACEITES ESENCIALES

##### 2.1.1. Definición

Las plantas aromáticas se definen como aquéllas que pueden generar por algún proceso fisicoquímico un producto aromático, entendiéndose por productos aromáticos a los que tienen un olor o un sabor determinado, sin evaluar su calidad comercial o estética.

Los aceites esenciales son mezclas complejas de compuestos volátiles producidos por organismos vivos y aislados por medios físicos (presión y destilación) a partir de una planta aromática entera o parte de ella. Estas mezclas son las responsables del aroma de las plantas y tienen diversas funciones biológicas como ser: mensajeros internos, sustancias de defensa contra los herbívoros o también atraer a los insectos polinizadores para su multiplicación. En general, los aceites esenciales tienen un olor agradable, es por eso que se los utiliza en diferentes industrias especialmente en los perfumes como fragancias y lociones, en los productos alimenticios como aromatizantes y conservantes y en la farmacéutica como principios terapéuticos.<sup>3</sup>

##### 2.1.2. Fuentes

Los aceites esenciales proceden de las flores, frutos, hojas, raíces, semillas y corteza de los vegetales. Los aceites esenciales se forman en las partes verdes con clorofila del vegetal y al crecer la planta son transportadas a los tejidos de la planta. Se desconoce la función exacta de un aceite esencial en un vegetal, puede ser para atraer insectos para la polinización o para repeler los insectos nocivos, o simplemente es un producto metabólico intermedio.<sup>4</sup>

<sup>3</sup> “Esencias Naturales”, GARCIA, H., España (1953) Pag 3

<sup>4</sup> Cortez – Sillerico “Estudio del proceso de obtención del aceite esencial de coca” 2017, Pag 2

## 2.2. Clasificación

Los aceites esenciales cuentan con dos tipos de clasificaciones, la más común es la que utiliza las partes de las plantas de las que se extraen. Estas partes con más aceites esenciales son las raíces, la madera, la resina, las hojas, las flores, las frutas o las bayas.

La otra clasificación, es la que hace referencia a si los aceites han sido procesados o como han sido elaborados, esta clasificación es la que se utiliza una vez los aceites han sido comercializados. A continuación veamos más desarrollada esta tipología:

- **Aceites esenciales adulterados:** estos aceites han sido adulterados con sustancias naturales de otras plantas, también podrían haber sido adulterados con químicos.
- **Aceites esenciales absolutos:** son los procedentes de flores y plantas que producen poca esencia en sus órganos reproductores, y por tanto, se obtienen purificando con alcohol fuerte.
- **Aceites esenciales concretos:** son las sustancias procedentes de flores destiladas con disolventes. Es lo que se utiliza para crear productos de perfumería
- **Aceites esenciales naturales:** aceites esenciales que se obtienen de plantas de cultivo tradicional en los que pueden haberse utilizado químicos.
- **Aceites esenciales quimiotipados:** esta es una forma de clasificación química de los aceites esenciales que designa la molécula con mayor presencia en el aceite esencial.
- **Aceites esenciales resinoides:** se refiere a los aceites esenciales que se obtienen diluyendo en alcohol las resinas y gomas de los árboles.
- **Aceites esenciales salvajes:** son los aceites extraídos de plantas en plena naturaleza, las plantas no sufren ningún tipo de manipulación.
- **Aceites esenciales sintéticos:** son químicos que imitan los olores de las esencias naturales, son los utilizados como aromatizantes, no se recomienda usarlos en cosmética.
- **Aceites esenciales reconstituidos:** Se refiere a aquellos aromas que no se pueden obtener en la naturaleza, se fabrican con componentes naturales o químicos imitando la composición original.<sup>5</sup>

## 2.3. METODOS DE EXTRACCION DE LOS ACEITES ESENCIALES.

### 2.3.1. Clasificación de los aceites esenciales

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

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

### 2.3.2. Extracción con solventes

El material previamente debe de ser molido, macerado oh picado, para permitir mayor área de contacto entre el sólido y el solvente. El proceso ha de buscar que el sólido, líquido, oh 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 oh cochadas), 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.<sup>6</sup>

<sup>5</sup> Aceites Esencial de limón producido en España, Albaladejo Meroño, 1999, Pag 5

<sup>6</sup> Obtención de aceite de citronela” Universidad Tecnologica Nacional, García Roció, 2014, Pag 9

### 2.3.3. Extracción por prensado

El prensado en frío se efectúa a una temperatura máxima de 45°C; a continuación, se decanta y se filtra antes de ser embotellado en botellas opacas. Los aceites prensados en frío no pasan por un refinado adicional. Cabe destacar que la denominación "prensado en frío" no se ajusta a ningún precepto legal, por lo que los aceites así comercializados pueden no haber sido sometidos a este proceso.

### 2.3.4. Extracción con fluidos supercríticos

Punto crítico corresponde a las condiciones de temperatura y presión, para un gas ó un vapor, por encima de las cuales la sustancia ya no puede ser "licuada" por incremento de presión. Adicionalmente las propiedades de la fase líquida y/o vapor son las mismas, es decir no hay diferenciación visible ni medible entre gas y líquido. Se habla así de  $P_c$ ,  $T_c$ ,  $V_c$ . La sustancia más empleada es el  $CO_2$ , que en estas condiciones presenta baja viscosidad, baja tensión superficial, alto coeficiente de difusión (10 veces más que un líquido normal), que conlleva a un alto contacto con la superficie del material y puede penetrar a pequeños poros y rendijas del mismo lo que asegura una buena eficiencia en la extracción en un corto tiempo. En la parte final del proceso hay una remoción total del solvente y se realiza a una temperatura baja, se disminuye la pérdida de sustancias volátiles y se evita la formación de sabores y olores extraños "a cocido".

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

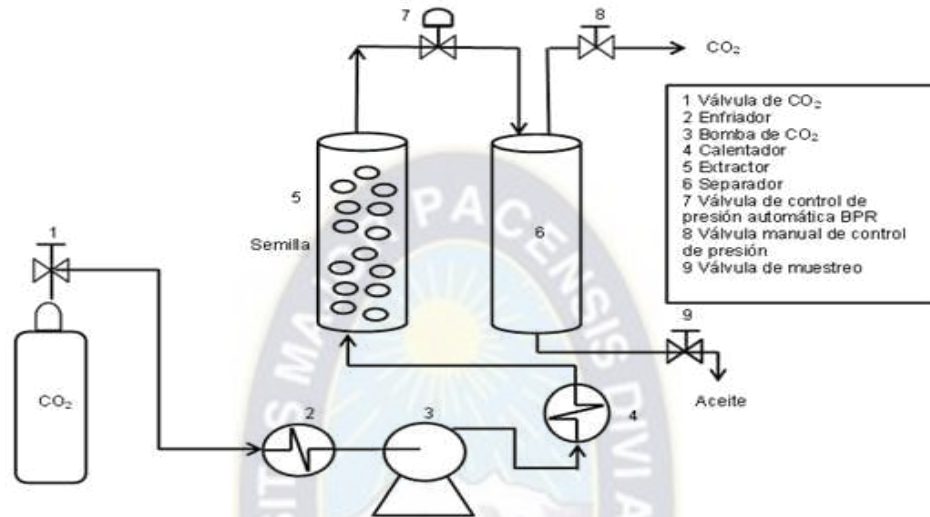
La inversión inicial para estos procesos es alta, aún para equipos en pequeña escala, debido a la tecnología involucrada, a los costos de materiales y de construcción.

Puede tenerse la siguiente solubilidad en  $CO_2$  supercríticos:

- **Solubles:** Hidrocarburos, éteres, esteres, cetonas, lactosas, alcoholes, aldehídos, mono y sesquiterpenos.
- **Ligeramente solubles:** Grasas, resinas, esteroides, alcaloides, carotenos. Oligómeros.
- **Insolubles:** Azúcares, glucósidos, aminoácidos, plásticos, proteínas, polisacáridos.

Se puede trabajar con CO<sub>2</sub> de alta ó de baja densidad: (1 bar = 1 atm). Baja densidad P 90 bar; T 30°C. Alta densidad P 150 bar; T 50°C. Después de la extracción el CO<sub>2</sub> debe de ser enfriado por debajo de 5°C, para que la bomba pueda tomarlo líquido y bombearlo

**Figura N° 2.1**  
**Esquema de extracción con fluidos supercríticos**



**Fuente: Miranda “Extracción de aceite esencial de Eucalipto”**

### 2.3.5. Hidrodestilacion.

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 oh espiral enfriado por agua y posteriormente el vapor condensado y el aceite esencial se recolectan en un separador de fases oh 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 14 obtenidos por arrastre



con vapor propiamente dicho, y tienden a presentar un cierto olor a quemado: Eucalipto, citronella, otros.

### 2.3.6. Extracción por arrastre de vapor.

Es un método de destilación en el cual se coloca la planta, hojas cascara, 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, recogiéndose 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, la temperatura de vapor; el área de la columna de destilación, la cantidad de material vegetal que se va a alimentar; las condiciones de condensación, la temperatura de condensación debe estar alrededor de los 40°C, para una mejor separación del condensado: el flujo del agua de refrigeración; las condiciones de separación: diseño del vaso florentino, la temperatura del destilado.<sup>7</sup>

**Figura N° 2.2**  
**Destilación por arrastre de vapor**



**Fuente: Stashenko E. Aceites Esenciales, 2009.**

<sup>7</sup> Estudio y Obtención de Aceite Esencial de Albahaca, Encinas Riveros UMSA, 2017, Pag 10

## 2.4 PRETRATAMIENTO DEL MATERIAL VEGETAL

La materia prima de cualquier vegetal oh fruta se obtiene dependiendo de cada aceite esencial, en algunos se necesita las hojas, cascara y fruto. Mayor mente se selecciona las muestras por él, método del cuarteo.

### 2.4.1. Seleccionado del limón

En el caso de que un aceite esencial requiere la cascara de limón, estas se selecciona de acuerdo a su color para luego el cortado de la cascara de limón.

### 2.4.2. Cortado de las cascara

Figura N° 2.3  
Cortador de cascara de cítricos



Fuente: Google - Internet

## 2.5. FACTORES QUE AFECTAN EL RENDIMIENTO DE LOS ACEITES ESENCIALES

Entre los factores que intervienen directamente en el rendimiento de la producción de aceites esenciales se pueden enumerar los siguientes:

### 2.5.1. Tipo de materia prima

Se refiere a las características genéticas de la planta, ya que existe diferencia, aun dentro de la variedad de familias; además la materia prima también está influida por el lugar y la época de producción, por la maduración o edad de la planta, de las hojas y por la limpieza en el corte, enfermedades de la planta, entre otros.

### 2.5.2. Tamaño de partícula

El área de transferencia y la cantidad de compartimientos abiertos dependen del tamaño de partícula, así como el flujo de vapor en los métodos que emplean arrastre con vapor.

Los aceites esenciales son frecuentemente rectificadas para remover los constituyentes indeseables. Para evitar la degradación del aceite esencial crudo se destila al vacío. Los tres principales peligros a que están sometidos los aceites esenciales crudos son: el aire, la luz y el calor.

### 2.5.3. Tiempo de extracción

Se refiere al tiempo del proceso de extracción, en el cual el aceite de la planta es extraído gradualmente desde la primera gota de condensado.

### 2.5.4. Método de extracción

Se refiere al tipo de método utilizado como hidrodestilación, destilación por arrastre de vapor, por prensado, entre otros.

### 2.5.5. Presión de vapor.

La presión de vapor ejerce efectos favorables, mejorando la extracción ya que hidrata la cascara de limón y rompe los tejidos vegetales permitiendo la liberación del aceite, además de, en virtud de su caudal, recoger el producto volatilizado. Por otro lado al aumentar la presión de vapor también se incrementa la temperatura de éste lo que podría descomponer el aceite esencial o descomponer otros compuestos presentes en las hojas y arrastrarlos contaminando el producto

## 2.6. METODOS DE IDENTIFICACION Y CUANTIFICACION DE LOS ACEITES ESENCIALES

Para identificar un aceite esencial, se deben tomar en cuenta los parámetros físico-químicos, al mismo tiempo estos permiten realizar una prueba de control de calidad a los aceites esenciales y detectar impurezas.

### 2.6.1. Propiedades organolépticas

Las características o propiedades organolépticas de un aceite esencial 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.

El color de los aceites esenciales recién destilados es incoloro o ligeramente amarillo. Presentan olores aromáticos, penetrantes, irritantes; en algunos casos el olor inicial se pierde y es rápidamente sustituido por un olor pesado a alcanfor que es persistente y tenaz. La consistencia o aspecto de los aceites esenciales está en función de su fluidez que oscila de un líquido móvil a uno viscoso.

Por otro lado, algunos rasgos, son fácilmente comprobables una y otra vez, al ser datos objetivos y más o menos constantes. Pero otros, como el olor o los tonos de un cierto color varían enormemente, no sólo por la época u origen del ejemplar, 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.

### 2.6.2. Propiedades Físicas

Los aceites esenciales son volátiles y se encuentran en fase líquida a temperatura ambiente. Su densidad es inferior a la del agua, aunque se tienen algunas excepciones como la esencia de safrán o de clavo. Presentan un índice de refracción elevado. Son solubles en alcoholes y en disolventes orgánicos comunes como: éter, hexano, diclorometano o cloroformo. Son muy poco solubles en agua, pero son arrastrados por el vapor de agua lo que facilita su extracción mediante la técnica de destilación por arrastre de vapor.<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> Obtención de aceite esencial de eucalipto por arrastre de vapor, Miranda UMSA, 2015, Pag 12

Determinando la densidad e índice de refracción del aceite esencial se pueden hacer deducciones sobre los componentes presentes. Por lo que densidades menores de 0,9 e índices de refracción menores de 1,47 sugieren un alto porcentaje de hidrocarburos terpénicos o compuestos alifáticos. Si la densidad es mayor es posible la presencia de compuestos oxigenados alifáticos.

El índice de refracción es una medida que determina la reducción de la velocidad de la luz al propagarse por un medio homogéneo y es una propiedad específica de cada interface y varía con la temperatura y con la longitud de onda de la luz considerada. Los índices de refracción se reportan a una temperatura de 20°C.

#### **2.6.2.1. Índice de refracción**

El índice de refracción de una sustancia dada es la relación entre la velocidad de un rayo de luz en el vacío y la velocidad de la luz a través de la sustancia. Por conveniencia práctica se refiere a la relación aire sustancia. Es igualmente la relación del seno del ángulo de incidencia al seno del ángulo de refracción.

#### **2.6.2.2. Densidad relativa**

El principio en que se basa es en la determinación de la masa de la unidad de volumen, expresada en g/mL, a una temperatura dada (15°C). Se utiliza un picnómetro normal, o con el termómetro acoplado. El picnómetro ha de estar a la temperatura ambiente. Se llena el picnómetro hasta el borde superior del tubo capilar y se introduce el termómetro, se pesa y se anota la Tª de la determinación.<sup>9</sup>

#### **2.6.3. Propiedades Químicas**

Los componentes de los aceites esenciales son variados y cada aceite presenta un conjunto característico de grupos funcionales que permiten medir los índices químicos (acidez, de éster, de acetilo, de fenoles, etc.) propios de cada aceite. Antes del desarrollo de los métodos instrumentales, la determinación de la composición química de los aceites esenciales se limitaba a la medición de dichos índices.

---

<sup>9</sup> Extracción de aceite esencial crudo de hierbabuena ,. De León, T. Universidad De San Carlos De Guatemala (2005). Pag 18

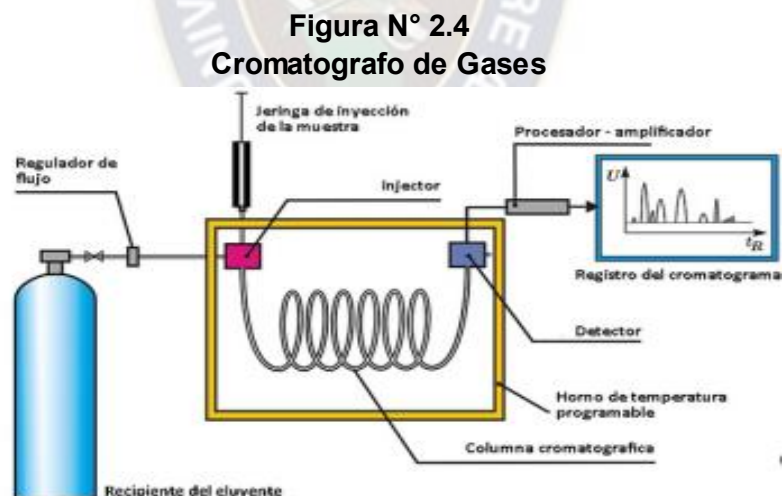
## 2.7. METODOS INSTRUMENTALES

### 2.7.1. Análisis Gravimétrico y Cromatografico

Los aceites esenciales tienen una inmensa gama de compuestos que los forman, por lo tanto es indispensable determinar la composición de los mismos y la proporción en que estos compuestos se encuentran en los aceites. Para ello se necesita aislar y purificar los compuestos mediante la cromatografía.

La cromatografía consiste en separar las moléculas de un soluto de una fase móvil debido a la afinidad que presentan con una fase estacionaria, cuanto mayor sea la afinidad por la fase estacionaria mayor será el tiempo en que la molécula sera retenida, en la cromatografía de gases la fase móvil es un gas.

Existen varios tipos de fases estacionarias disponibles para la cromatografía de gases, la fase estacionaria retiene mejor los solutos de su misma clase. Los cromatógrafos de acoplados a espectrómetros de masa han permitido hacer una identificación y cuantificación de los picos casi completa.<sup>10</sup>



Métodos acoplados: CG – espectrometría de masas (GC/MS)

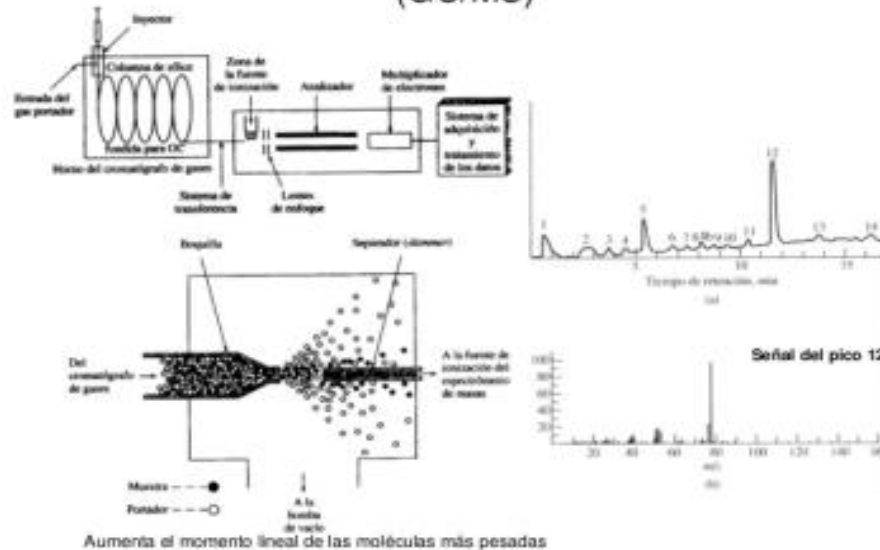
Fuente: Extracción de materias vegetales, aspectos tecnológicos

<sup>10</sup> Extracción de materias primas vegetales. Aspectos tecnológicos. Valverde Macedo Do Santos Elizabeth. Brasil: s.e., 1996, Pag 21

## Espectrofotometria de masas

Figura N° 2.5  
Espectrofotometria de masa

Métodos acoplados: CG – espectrometría de masas  
(GC/MS)



Fuente: R.A. Hites, Gas chromatography with mass spectrometer

## 2.8. USOS DE LOS ACEITES ESENCIALES

### 2.8.1. Industria Alimentaria

Se emplean para condimentar carnes preparadas, embutidos, sopas, helados, queso, etc. Los aceites más empleados por esta industria son el Cilantro, Naranja y Menta, entre otros. También son utilizados en la preparación de bebidas alcohólicas y no alcohólicas, especialmente refrescos. Con respecto a esta utilidad podemos citar las esencias extraídas del naranjo, limón, mentas e hinojo, entre otros. Estas esencias también se emplean en la producción de caramelos, chocolates y otras golosinas.

### 2.8.2. Industria Farmacéutica

Se usan en cremas dentales (aceite de menta e hinojo), analgésicos e inhalantes para descongestionar las vías respiratorias (eucalipto). El eucaliptol es muy empleado en odontología. Son utilizados en la fabricación de neutralizantes de sabor desagradable de muchos medicamentos (naranjas y menta, entre otros).

### 2.8.3. Desodorantes Industriales

Actualmente se ha desarrollado el uso de esencias para disimular el olor desagradable de algunos productos industriales como el caucho, los plásticos y las pinturas. La industria de las pinturas emplea limoneno como disolvente biodegradable. También se imparte olor a juguetes. En textiles, como enmascaradores de olores en tratamientos con mordientes antes y después del teñido. En papelería, para impregnar de fragancias cuadernos, tarjetas, papel higiénico, toallas faciales.

### 2.8.4. Industria tabacalera

Demanda mentol para los cigarrillos mentolados. Biocidas e insecticidas Existen esencias con propiedades bactericidas, como el tomillo, clavo, salvia, mentas, orégano, pino, etc. Otras son insecticidas: <sup>11</sup>

- Contra hormigas: *Mentha spicata* (spearmint), Tanacetum y poleo.
- Contra áfidos: ajo, otros *Allium*, coriandro, anís, albahaca.
- Contra pulgas: lavanda, mentas, lemongrass, etc.
- Contra moscas: ruda, citronela, menta, etc.
- Contra piojos: *Mentha spicata*, albahaca, ruda, etc.
- Contra polilla: mentas, Hisopo, romero, eneldo, etc.
- Contra coleópteros: Tanacetum, comino, ajeno y tomillo, etc.
- Contra cucarachas: menta, ajeno, eucalipto, laurel, etc.

## 2.9. DIFERENCIA ENTRE ACEITES ESENCIALES Y ESENCIAS

Al inicio de la Aromaterapia a todo se denominaba Esencias, pero con el tiempo se realizó esta clara separación entre Esencias y Aceites Esenciales, Una Esencia proviene principalmente de la síntesis de productos químicos, y es de mucha utilidad para aromatizar ambientes, y son muy utilizadas en la perfumería.

En el mercado hay muchas esencias que mal denominan Aceites Esenciales. Estas esencias son sintetizadas en un laboratorio, contienen productos químicos y no tienen las características reales terapéuticas y de Aromaterapia que poseen los Aceites Esenciales, el Aceite Esencial es calificado desde su origen, su cultivo y su ecosistema, producción, cosecha, extracción de los principios activos (moléculas aromáticas) por medio de la destilación del vapor de agua.



**Tabla N° 2.1**  
**Diferencias entre aceites esenciales y esencias**

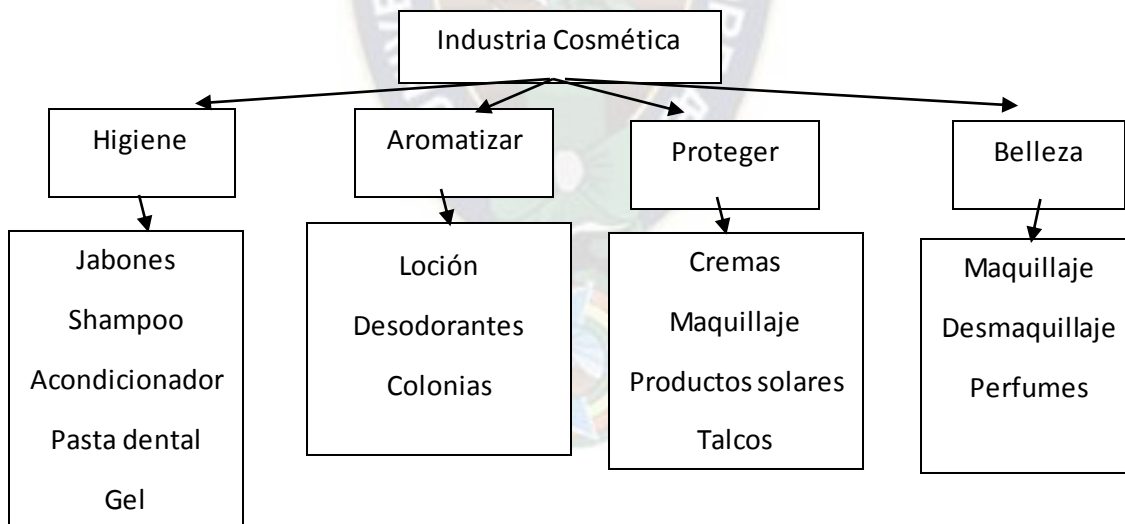
<b>Esencias</b>	<b>Aceite Esencial</b>
Proviene de síntesis de productos Químicos	Proviene de origen natural
No tienen Valor Terapéutico	Tienen valor terapéutico
Contacto con la piel puede causar irritabilidad a la piel	Al ser de origen natural, no es toxico al contacto con la piel humana

**Fuente: Esencias y Aceites esenciales aplicaciones**

### 2.9.1. Industria Cosmética

La industria cosmética se encarga de producir productos que se utilizan para la higiene corporal oh mejorar la apariencia, esta industria emplea los aceites esenciales en la producción de cosméticos, jabones, shampoo, colonias, perfumes y maquillaje. En este campo se pueden citar lo aceites de geranio, lavanda, rosas.

**Figura N° 2.6**  
**Clasificación de la industria Cosmética**



**Fuente: Industrialización del Limón**

<sup>11</sup> Industrialización del Limón, Carvajal D. William UMSA, 1999, Pag 32

<sup>12</sup> Diferencia-entre-esencias-sinteticas-y-aceites-esenciales,Jabonnatural, 2009

### 2.9.1.1. Aceite esencial de Limón

La industria cosmética es grade por este motivo el aceite que se obtiene en este presente proyecto va dirigido una parte de la industria cosmética ya que procede la fabricación con jabones, shampoos, acondicionador, pasta dental, talcos, gel.

## 2.10. ACEITE ESENCIAL DE LIMON

### 2.10.1. Limón en Bolivia

En Bolivia la producción de limón es el 6,5% de hectáreas de cultivo total de cítricos que representa el 1.187 hectáreas, contabilizadas 280.174 árboles de limón, donde el Chapare es el principal productor de árboles de limones, con 360 hectáreas de cultivos; le sigue Santa Cruz, con 296 hectáreas, luego La Paz, con 153 hectáreas, después Chuquisaca, a continuación se muestra la producción de limón por Departamento.

**Tabla N° 2.2**  
**Hectáreas y Toneladas por cada Departamento**

Departamento	Hectareas	Toneladas/año
La Paz	214,17	279,97
Cochabamba	360	3.075
Santa Cruz	296	2.841
Chuquisaca	95	784
Potosí	4	20
Tarija	169	1.170
Beni	65	553
Pando	45	419

**Fuente: Instituto Nacional de Estadística INE (2013)**

**La Paz.-** Las zonas más productoras de limón en La Paz son las provincias de Sud Yungas, Nor Yungas, Inquisivi, a continuación se muestra la producción de limón por provincia.<sup>13</sup>

<sup>13</sup> Instituto Nacional de Estadística (INE) 2015

**Tabla N° 2.3**  
**PRODUCCION DE LIMON EN LA PAZ (ANUAL)**

PROVINCIA	CULTIVO	SUPERFICIE (Hectáreas)	PRODUCCION (Tonelada)	RENDIMIENTO (Tonelada/Hectárea)
TOTAL		217,27	279,97	1,289
Abel Iturralde	Limón	2,50	2,39	0,958
Caranavi	Limón	44,26	52,72	1,191
Franz Tamayo	Limón	2,50	0,59	0,235
Inquisivi	Limón	50,48	94,94	1,881
Larecaja	Limón	38,28	29,19	0,763
Loayza	Limón	7,91	8,56	1,082
Muñecas	Limón	0,25	0,02	0,99
Murillo	Limón	2,20	5,04	2,290
Nor Yungas	Limón	2,84	0,98	0,343
Sud Yungas	Limón	66,06	85,54	1,295

Fuente: Instituto Nacional de Estadística INE (2013)

### 2.10.2. Limón Citrus

Citrus limón es un híbrido, que existe normalmente en Sudamérica, es de origen chino.

**Figura N° 2.7**  
**Limón**



**Tabla N° 2.4**  
**Descripción del Limón**

Fuente: Estudio del Limón

Taxonomía	
Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
<b>Subclase:</b>	Rosidae
Orden:	Sapindales
Familia:	Rutaceae
<b>Subfamilia:</b>	Citroideae
Tribu:	Citreae
Género:	Citrus

Fuente: Industrialización del Limón

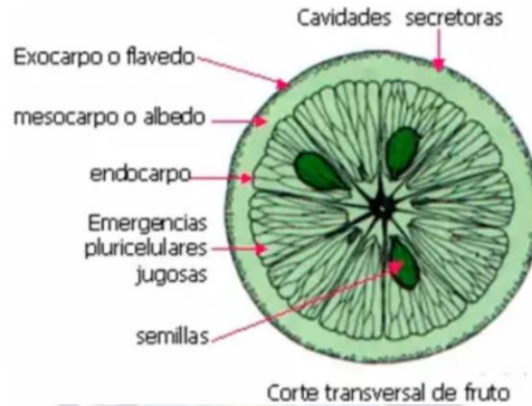
Se utiliza el limón de la provincia Caranavi del municipio de Alto Beni, la provincia Caranavi e Inquisivi son las zonas más productoras según la tabla 2.3<sup>14</sup>

<sup>14</sup> Instituto Nacional de Estadística (INE) 2015

### 2.10.3. El Fruto

El fruto consta de las siguientes partes:

**Figura N° 2.8.**  
**Partes del Limón**



**Fuente: Aceite Esencial de limón Universidad de España**

En las partes de flavedo y mesocarpo es donde hay más aceite esencial de limón.<sup>15</sup>

**Figura N° 2.9**  
**Ubicación Alto Beni**



**Fuente: Google Map**

<sup>15</sup> Aceite Esencial de limón producido en España” Universidad de España, Albaladejo Meroño, 1999, Pag 7

#### 2.10.4. Descripción

Citrus limón tiene un diámetro de 4 a 7 cm con un pezón de mediana altura, no tiene pepa y su color más característico es verde oscuro, cuando empieza a madurar cambia a color verde claro, es sensible a los choques fuertes ya que con un choque con el tiempo se vuelve de color mostaza en la parte afectada.

#### 2.10.5. Suelo

La textura de los suelos para el cultivo del limón debe ser liviana, franca, franca-arenosa o franca-arcillosa, ya que en estas se presenta un mejor crecimiento y desarrollo del sistema radical; también deben ser bien drenados.

#### 2.10.6. Ecofisiología.

Los factores medioambientales de mayor importancia para el desarrollo y producción del limón son:

- Clima: templado-cálido, (no resiste heladas ni temperaturas inferiores a 0°C).
- Temperaturas entre 21-23°C durante el día y 13-16°C durante la noche,
- Temperaturas mayores causan estrés y pueden causar marchitamiento durante la parte más caliente del día.
- Altitud: 0-5000 msnm. El limón producido bajo invernadero posee hojas más pequeñas y de color más intenso.
- Precipitación: amplia y regular precipitación durante el periodo de crecimiento y poca lluvia durante el periodo de cosecha.
- Humedad relativa (HR): media (50-60 %).

#### 2.10.7. Rendimiento

En promedio cada hectárea de limón produce 1191 kg de limón durante su ciclo de producción. Los rendimientos son de 1,191 ton/ha en fresco, en un tiempo comprendido entre 12 y 16 semanas, se puede obtener 4 kg/ha de aceite esencial.

### 2.10.8. Cosecha

El limón es una planta reflorable, se cosecha en todo el año, pero el 85% del volumen de la producción se obtiene desde octubre hasta junio. Se debe de cortar solo fruta con madurez de corte, la cual tiene buen tamaño, cáscara verde claro de textura lisa y brillante y con un 45% mínimo de jugo. El corte se debe de hacer cuando las hojas y la fruta hayan perdido la humedad por lluvias o rocío. Para evitar daños en la cáscara del fruto en la cosecha y en el transporte, no cortar la fruta antes de las 9 de la mañana en el invierno o en huertos recién regados.<sup>16</sup>

### 2.10.9. Condiciones de almacenamiento

- Temperatura de almacenamiento: 10 – 12oC.
- Humedad relativa: 85 - 90%. Para evitar la desecacion
- Almacenamiento de atmósfera controlada: 5,0% O2 / 5,0% CO2 / 90% N2
- Vida de almacenamiento aproximado: 1 – 6 meses para el furto
- Vida de almacenamiento 2 – 4 semanas para la cascara.

### 2.11. USOS DEL ACEITE ESENCIAL EN BOLIVIA

Es utilizado en la industria para productos de limpieza del hogar de los que puedo resaltar champoos, jabones, jaboncillos y limpia pisos. En la industria alimentaria se utiliza como aromatizante y saborizante por su aroma agradable.<sup>17</sup>

**Figura N° 2.10**  
**Aceite de Limón**



**Fuente: Aceites Esenciales**

<sup>16</sup> Industrialización del Limón, Carvajal D. William UMSA, 1999, Pag 40

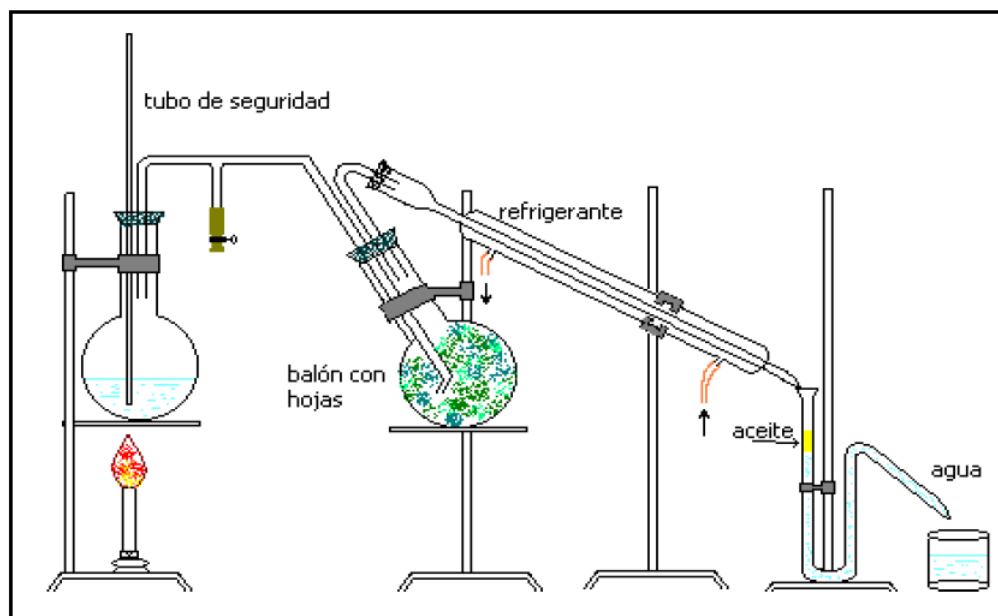
<sup>17</sup> Fuente propia

## 2.12. ESCALA LABORATORIO.

Los equipos a esta escala son una miniaturización de los equipos piloto, donde el material vegetal forma un lecho fijo y el vapor de agua es alimentado continuamente desde un balón con agua a ebullición, que funciona como un generador de vapor. Estos equipos poseen la ventaja adicional de trabajar en un modo similar al de los equipos mayores. Sus limitaciones son la capacidad del balón y la dependencia del flujo de vapor generado con la potencia de la fuente de energía, lo que le resta flexibilidad en el control de este parámetro.

**Figura N° 2.11**

**Equipo de destilación por arrastre con vapor de agua a escala laboratorio**



**Fuente: Obtención de aceite esencial de citronela - Universidad Tecnológicas Nacional**

### 2.12.1. EQUIPAMIENTO DEL EXTRACTOR DE ACEITES.

- ✓ Cámara de Extracción De vidrio borosilicato marca Schott Duran. Resistente a la corrosión química.
- ✓ Condensador de alto rendimiento De vidrio borosilicato.
- ✓ Sistema de calefacción por velas de cuarzo.
- ✓ Sistema de seguridad de nivel constante El cual evita el funcionamiento del equipo en condiciones dañinas y alerta al operador.
- ✓ Tablero electrónico de comando
- ✓ Con capacidad de regular la presión a través de la tensión eléctrica desde 0.86 – 2 atm

- ✓ Canastos de acero inoxidable para colocar la materia prima.
- ✓ Válvula de descarga con llaves selectoras de vidrio borosilicato marca Schott Duran y PTFE.

### 2.12.2. Datos Técnicos.

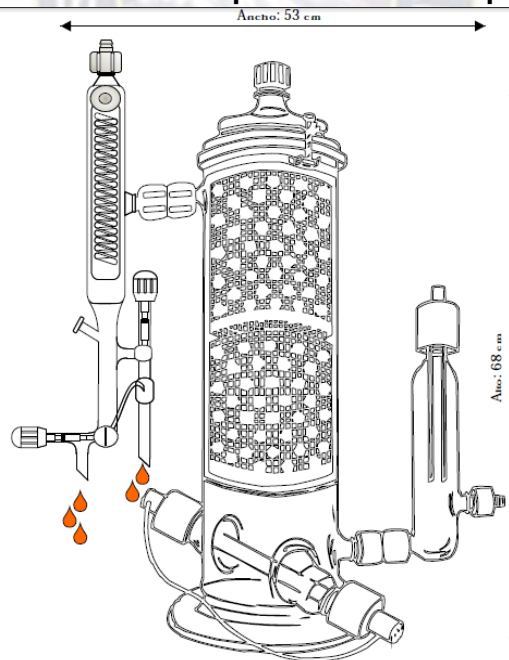
En esta sección se detallan los datos técnicos del Equipo. Se aclara que estos corresponden al diseño base.

**Tabla N° 2.5**  
**Datos técnicos del Equipo Figmay nivel Laboratorio**

Características	Unidades
Ancho	53 cm
Alto	68 cm
Largo	57 cm
Alimentación del equipo	220 Volt.
Volumen de la cámara	5,12 litros
Peso del Equipo	6 Kg

Fuente: Figmay S.R.L

**Figura N° 2.12**  
**Extractor de aceites esenciales por arrastre de vapor – Vista Principal**



Fuente: Fimay S.R.L.



### 2.13. EQUIPO A ESCALA BENCH.

Es un equipo de escala intermedia. Existen numerosos y variados modelos de este tipo. La mayoría de ellos poseen capacidades entre 5 a 60 litros. Son construidos en vidrio Pyrex, acero inoxidable o cobre. Están conformados de un hidrodestilador-generator, es decir el vapor de agua se genera en el mismo recipiente donde se almacena la materia vegetal, separados por medio de una rejilla o cesta. Se carga el equipo con el material vegetal, cuando el agua alcanza una temperatura cercana a la de ebullición. El vapor generado calienta la planta aromática y arrastra el aceite vaporizado. La tapa suele ser del tipo “cuello de cisne” o plana. Aunque se prefiere el primero, para favorecer el tiro del vapor. Los condensadores son de doble tubo o de serpentín sumergido en un tanque o con alimentación constante, a contracorriente, de agua fría. El aceite esencial es obtenido en un florentino, a la salida del condensador. El agua floral puede ser reciclada, si el florentino es adaptable para que su brazo lateral se conecte con la sección de generación del vapor del equipo.

Las ventajas son su movilidad; maniobrabilidad; la posibilidad de ser aislados fácilmente; su capacidad de ser instrumentados, para seguir el proceso internamente; la implementación de un control automático; y la confiabilidad y reproducibilidad de los datos experimentales generados, para ajustarlos a modelados fenomenológicos. Ya que en el desarrollo del presente proyecto se considera el requerimiento de material vegetal seleccionado, debido a que el rendimiento es sensible de las características físicas de material (tamaño de partícula) considerado en el diseño experimental, además del tiempo de extracción.

### 2.14. EQUIPO A ESCALA PILOTO.

Estos equipos poseen mayor capacidad. Son construidos en acero comercial, inoxidable o cobre. Pueden ser de dos tipos: con generador externo o acoplado al hidrodestilador. Están conformados de un hidrodestilador cilíndrico donde el vapor de agua es inyectado por la parte inferior del generador o generado en esa sección. La materia prima suele estar compactada y almacenada en una cesta para su mejor carga y descarga. Los condensadores pueden ser de distintos tipos (coraza y varios tubos internos, serpentín, etc . El aceite esencial es recogido en un vaso florentino.

Las ventajas son la mayor confiabilidad en los datos experimentales generados, con respecto a los obtenidos a menores escalas, y que se esperan conseguir en una planta industrial.

Además son procesos por lotes los cuales son flexibles, versátiles y permiten operar con pequeños volúmenes, realizando pruebas antes de su transformación a gran escala.

## **2.15. EQUIPO A ESCALA INDUSTRIAL.**

Estos equipos poseen capacidad mayor a 10 litros. Están contruidos en acero inoxidable de fácil limpieza. Pueden ser de dos tipos: móviles (remolques-alambiques) o estáticos (hidrodestiladores verticales). Los de remolques, más usados en EUA y Europa, responden a la mecanización de la agricultura y a la gran producción de algunos aceites, así como la búsqueda de minimizar costos de operación y aumentar la eficiencia de la obtención. El uso de equipos verticales responde a otras necesidades, cosecha atomizada en varias regiones cercanas, mayor mano de obra disponible, menores niveles de producción y el interés en agotar completamente el aceite contenido en la planta, estos equipos suelen encontrarse en Asia, África y Latinoamérica.<sup>18</sup>

## **2.16. DISEÑO EXPERIMENTAL**

### **2.16.1. Metodología Superficie de Respuesta**

La tendencia mundial, hacia la opción de una economía de libre mercado, ha incrementado la competitividad en las industrias en general, el mismo que ha obligado a las empresas incrementar su eficiencia, mediante la optimización del proceso de fabricación, desarrollo de nuevos procesos y productos. Generalmente para conseguir estos objetivos, se utiliza (conciente o inconcientemente) de un método de experimentación, desde la experimentación intuitiva pasando por los diseños experimentales tradicionales hasta los diseños robustos de Taguchix.

---

<sup>18</sup> Obtención de aceite de citronela” Universidad Tecnologica Nacional, García Roció, 2014, Pag 13

Si bien el uso de las técnicas de los diseños experimentales es amplio, el objetivo es su aplicación en la optimización de procesos.

La Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) es un conjunto de técnicas matemáticas y estadísticas para modelar y analizar problemas en los que una variable de interés es influenciada por otras. Mayormente el objetivo es optimizar la variable de interés. Esto se logra al determinar las condiciones óptimas de operación del sistema.

La superficie de respuesta se define como la representación geométrica de la función objetivo (relación entre la variable dependiente y las independientes consideradas en la investigación) o más propiamente dicho del modelo matemático obtenido.

A continuación se definen algunos términos que ayudan a comprender mejor esta metodología:

- Factores: Son las condiciones del proceso que influyen la variable de respuesta. Estas pueden ser cuantitativas o cualitativas.
- Respuesta: Es una cantidad medible cuyo valor se ve afectado al cambiar los niveles de los factores. El interés principal es optimizar dicho valor.

### **2.16.2. Función de respuesta**

Al decir que un valor de respuesta  $Y$  depende de los niveles  $x_1, x_2, \dots, x_n$  de  $k$  factores, estamos diciendo que existe una función matemática de  $x_1, x_2, \dots, x_n$  cuyo valor para una combinación dada de los niveles de los factores corresponde a  $Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ .

### **2.16.3. Función de respuesta predicha**

La función de respuesta se puede representar con una ecuación polinomial. El éxito de una investigación de una superficie de respuesta depende de que la respuesta se pueda ajustar a un polinomio de primer o segundo orden.

Supongamos que la función de respuesta para los niveles de dos factores se puede expresar utilizando un polinomio de primer grado:  $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2$

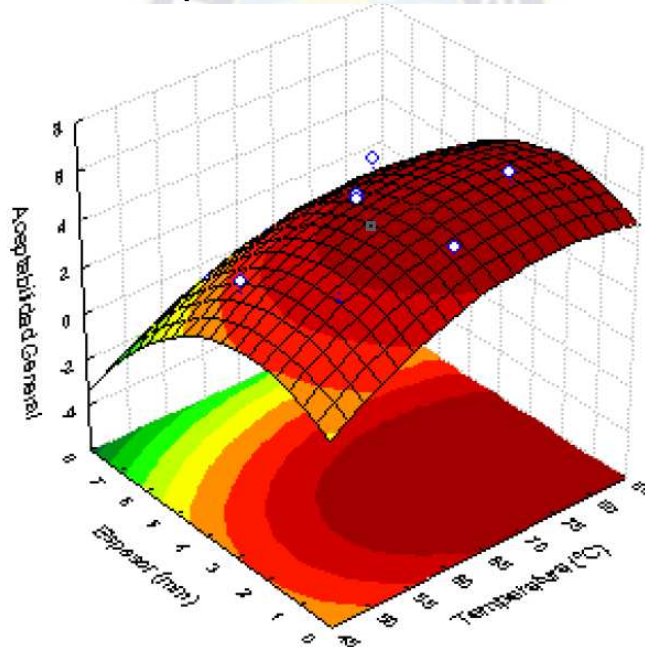
Donde  $\beta_0, \beta_1, \beta_2$  son los coeficientes de regresión a estimar  $x_1, x_2$  representan los niveles de  $\xi_1, \xi_2$  respectivamente. Suponiendo que se recolectan  $n \geq 3$  valores de respuesta ( $Y$ ), con

los estimadores  $b_0$ ,  $b_1$  y  $b_2$  se obtienen  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ , y  $\beta_2$  respectivamente. Al reemplazar los coeficientes de regresión por sus estimadores obtenemos:  $\hat{y} = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2$   
Donde:  $\hat{y}$  denota el valor estimado de Y dado por  $X_1$  y  $X_2$

#### 2.16.4. Superficie de respuesta

La relación  $Y = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$  entre Y y los niveles de los k factores  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k$  representa una superficie. Con k factores la superficie está en k=1 dimensiones. Por ejemplo cuando se tiene  $Y=f(x_1)$  la superficie está en dos dimensiones como se muestra en la Figura: 2,22 mientras que si tenemos  $Y = f(x_1, x_2)$  la superficie está en tres dimensiones esto se observa en la Figura: 2.13.

**Figura N° 2.13**  
**Superficie en tres dimensiones**



Fuente: Manual Estadística (2008)

#### 2.16.5. Región experimental

La región experimental especifica la región de valores para los niveles de los factores. Esto se puede hacer empleando los niveles actuales de operación para cada factor; si se desea explorar el vecindario se incrementa y decremento el valor del nivel en una cantidad determinada.

### 2.16.6. Diseños experimentales para ajustar Superficies de Respuesta

El ajuste y análisis de una superficie de repuesta se facilita con la elección apropiada de un diseño experimental. Un diseño es el conjunto específico de combinaciones de los niveles de las  $k$  variables que se utilizará al llevar cabo el experimento.

### 2.16.7. Diseños para ajustar modelos de primer orden

Una clase de diseños que minimizan la varianza de los coeficientes de regresión ( $\beta$ ) son los diseños ortogonales de primer orden. Por ortogonal se entiende que los elementos fuera de la diagonal de la matriz  $(x^T x)$  son iguales a cero, lo cual implica que los productos cruzados de las columnas de la matriz  $x$  es igual a cero.

En esta clase de diseños ortogonales se incluyen diseños factoriales, fracciones de serie, simples y de Plackett - Burman.

### 2.16.8. Diseños para ajustar modelos de segundo orden

Un diseño experimental para ajustar un modelo de segundo orden debe tener tres niveles de cada factor  $(-1, 0, +1)$ . Así como en el diseño de primer orden se desea la ortogonalidad, en éste se desea que sea un diseño rotatable. Se dice que un diseño es rotatable cuando la varianza de la respuesta predicha en algún punto es función sólo de la distancia del punto al centro y no es una función de la dirección.

La rotabilidad es una propiedad importante, dado que la finalidad de la Metodología de Superficie de Respuesta es optimizar y desconocemos la localización del óptimo, tiene sentido utilizar un diseño que proporcione estimaciones precisas en todas direcciones.

Dentro de los diseños rotables de segundo orden se incluyen los Diseños Central Compuesto, Equirradial, Box-Behnken.

### 2.16.9. Diseño central compuesto (DCCR)

Este diseño central compuesto rotacional consiste en un factorial o factorial fraccionado  $2^k$ , donde los factores son codificados de tal manera que el centro sea  $(0, 0, \dots, 0)$ , aumentado por  $2^k$  puntos axiales  $(\pm a, 0, \dots, 0)$ ,  $(0, \pm a, 0, \dots, 0)$ ,  $(0, 0, \pm a, \dots, 0)$ ,  $(0, 0, 0, \dots, \pm a)$ , y  $n$  puntos centrales  $(0, 0, \dots, 0)$ , según Montgomery (1991) este diseño es el más usado.

Este diseño se convierte en rotatable mediante la elección de  $\alpha$ , ésta se calcula de la siguiente manera:

$$\alpha = (nf)^{1/4}$$

Dónde: f es el número de puntos en la porción factorial del diseño.

Otra propiedad útil del diseño es que puede “crecer” a partir de un diseño  $2k$  de primer orden, agregando puntos axiales y quizá algunos puntos centrales. Con la elección del número de puntos centrales (n), el diseño puede hacerse ortogonal o se puede transformar en uno de precisión uniforme.<sup>19</sup>



<sup>19</sup> Montgomery “Diseño y Análisis de Experimentos”, Capítulo II

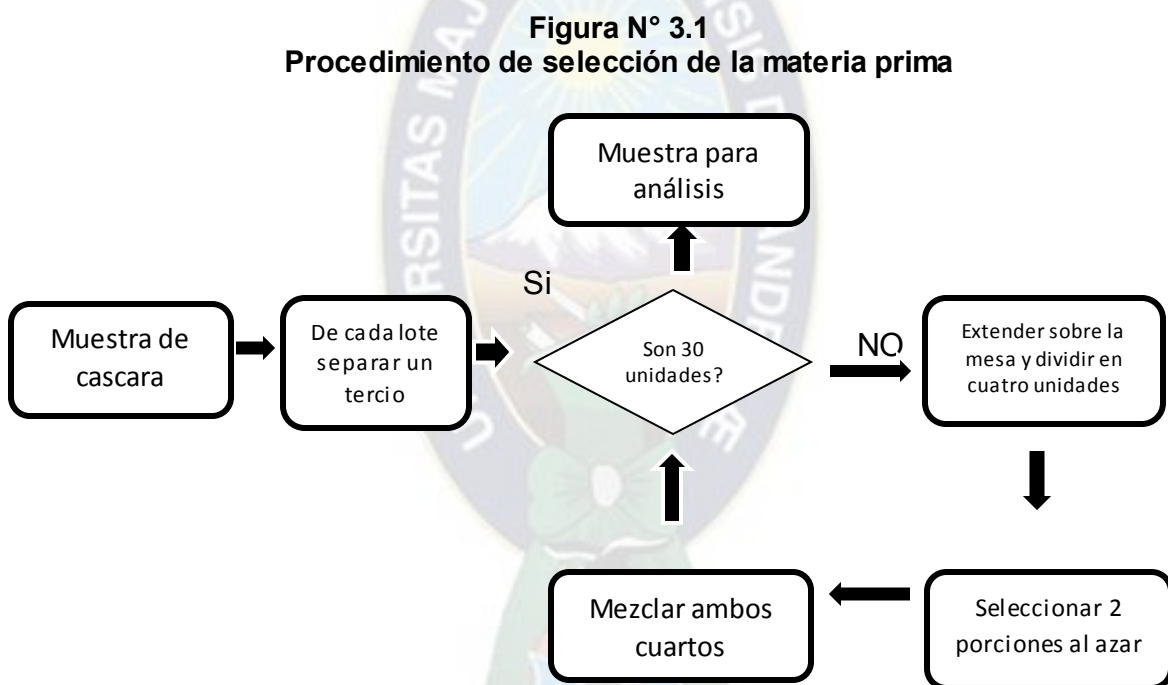
## CAPITULO III METODOLOGIA EXPERIMENTAL

### 3. CARACTERIZACION DE LA CASCARA DE LIMON

La cantidad de pruebas depende en gran medida un rendimiento óptimo, algo particularmente difícil para productos naturales cuyas propiedades se derivan de múltiples factores ambientales.

#### 3.1. Muestreo y reducción de la muestra

El método para obtener la muestra se basa en el procedimiento de muestreo para materiales a granel en el cual se recogen muestras aleatorias.



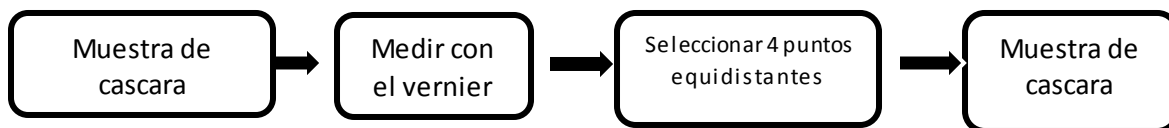
Fuente: Casuriaga “Extracción de Aceite esencial de Naranja”

### 3.2. PROPIEDADES FISICAS

#### 3.2.1 Espesor

Es uno de los parámetros que se toma en cuenta para determinar la calidad del fruto, ya que existe una correlación entre este parámetro y los factores como la nutrición que recibió el árbol, el tamaño de los frutos y la calidad.

**Figura N° 3.2**  
El procedimiento se muestra en la siguiente



Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.2. Densidad real

La medición de la densidad real constituye una prueba rápida y simple para determinar la característica de la materia prima, de acuerdo al procedimiento mostrado en el siguiente figura 3.3

**Figura N° 3.3**  
El procedimiento se muestra para la densidad real



Fuente: Extracción de aceite Esencial de Naranja a nivel Bench Scale

Se encontrara la densidad con la siguiente ecuación

$$\rho_{muestra} = \frac{m_{aire}}{m_{agua}} * \rho_{agua} \quad (3.1)$$

La cascara de limón absorbe el agua, por este motivo se tiene que corregir esta densidad con la siguiente formula:

$$\rho_{corregida} = \frac{\rho_{agua} * V_{agua} + m_{cascara}}{V_{agua} + V_{cascara}} \quad (3.2)$$

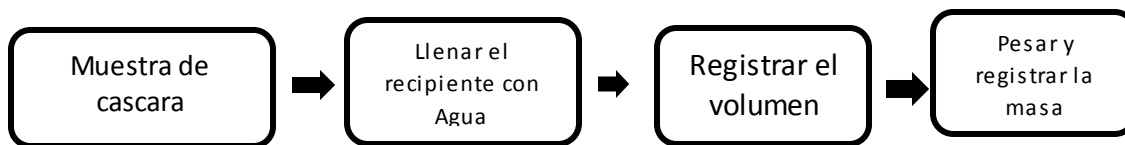
### 3.2.3. Densidad aparente

El valor de la densidad aparente permite transformar a masa el volumen de matriz herbácea que contiene el destilador relacionando la densidad aparente con la densidad real es posible



conocer el grado de compactado que posee la carga del destilador. Tomando en cuenta la nueva densidad de la cascara por absorber el agua.

**Figura N° 3.4**  
**Procedimiento para la densidad aparente**



**Fuente: Extracción de aceite Esencial de Naranja a nivel Bench Scale**

Se encontrara la densidad con la siguiente ecuación

$$\rho_{Muestra} = \frac{m}{V_{ap}} \quad (3.3)$$

### 3.3. Fracción de vacío

La fracción de vacío expresa una medida de los espacios vacíos de un material, una relación entre el volumen vacío y el volumen total en tanto por uno o tanto por ciento. La cuantificación de esta propiedad es realizada de forma indirecta a partir de la densidad real y la densidad aparente.

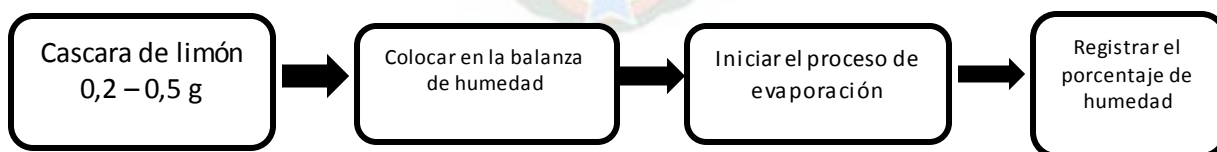
$$\varepsilon = \frac{\rho(\text{aparente})}{\rho(\text{real})} \quad (3.4)$$

## 3.4. PROPIEDADES QUIMICAS

### 3.4.1. Humedad

Para determinar la humedad de la materia prima se utiliza la balanza de humedad, con el procedimiento que se muestra en la figura 3.5

**Figura N° 3.5**  
**Procedimiento para le medición de la humedad**



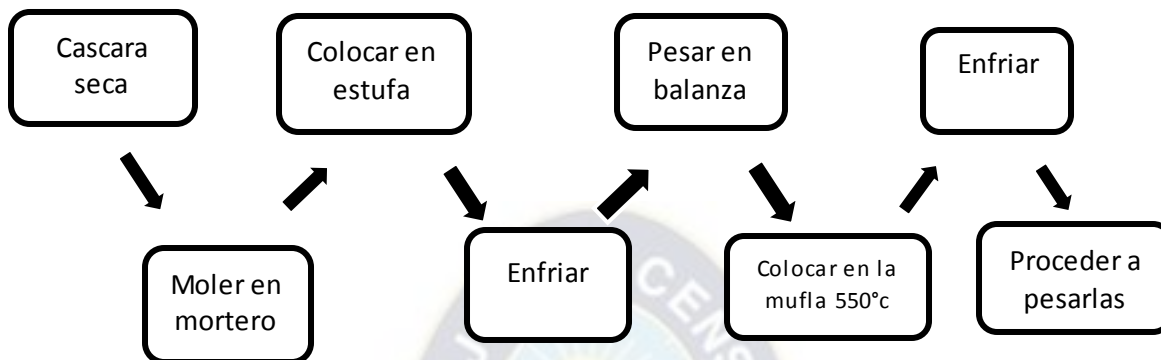
**Fuente: Instituto de Procesos Químicos IIDEPROQ - UMSA**

### 3.4.2. Ceniza

Las cenizas de los productos vegetales están constituidos por el residuo inorgánico que queda después de que la materia orgánica que es quemada, es una medida de la composición mineral presente en la materia vegetal original, el valor de las cenizas se considera como una

medida general de calidad ya que los niveles permanecen así constantes para cada especie vegetal.

**Figura N° 3.6**  
**Procedimiento para medir el porcentaje de cenizas**



**Fuente: Instituto de Procesos Químicos IIDEPROQ – UMSA**

Se determina las cenizas con la ecuación 3.5

$$\%cenizas = \frac{(m_c - m_{rv})}{(m_M - m_{rv})} \times 100\% \quad (3.5)$$

Donde

$m_M$  = Masa del recipiente y muestra (g)

$m_{rv}$  = Masa del recipiente vacío (g)

$m_c$  = Masa del recipiente y muestra calcinada (g)

### 3.5. DETERMINACION DE LAS VARIABLES DEL PROCESO

Se busca el número de variables con mayor importancia en el proceso las cuales serán usadas como factores durante el diseño experimental y los niveles de estudio para cada uno de estos factores. Se realiza varias pruebas en un destilador marca FIGMAY perteneciente al laboratorio de la carrera de Química en la facultad de Ciencias Puras y Naturales de la UMSA, Constituido enteramente en vidrio boro silicatado, diseñado para obtener aceites esenciales de alta pureza a partir de diferentes matrices herbáceas.

#### 3.5.1. Tamaño de partícula.

El objeto principal de reducir el tamaño de la de la cascara de limón es de aumentar el área superficial de contacto entre el material vegetal y el vapor de agua para facilitar la mejor y mayor disolución de principios activos.

### 3.5.2. Tiempo de extracción.

El proceso de destilación da comienzo en el momento en que el vapor empieza a condensar en el separador y dura hasta que se agote el aceite esencial contenido en las hojas de limón. Determinar el tiempo óptimo de duración es crucial para la viabilidad del proceso ya que define la cantidad de aceite que se espera recuperar y la energía que se invierte para ello.

### 3.5.3. Presión de vapor.

La presión de vapor ejerce efectos favorables y desfavorables sobre el proceso, mientras más elevada es la presión de vapor mayor es la velocidad de éste mejorando la extracción ya que hidrata la cascara de limón, y rompe los tejidos vegetales permitiendo la liberación del aceite.

Por otro lado puede aumentar la presión de vapor también incrementa la temperatura de este lo que podría descomponer el aceite esencial o descomponer otros compuestos presentes en la cascara.

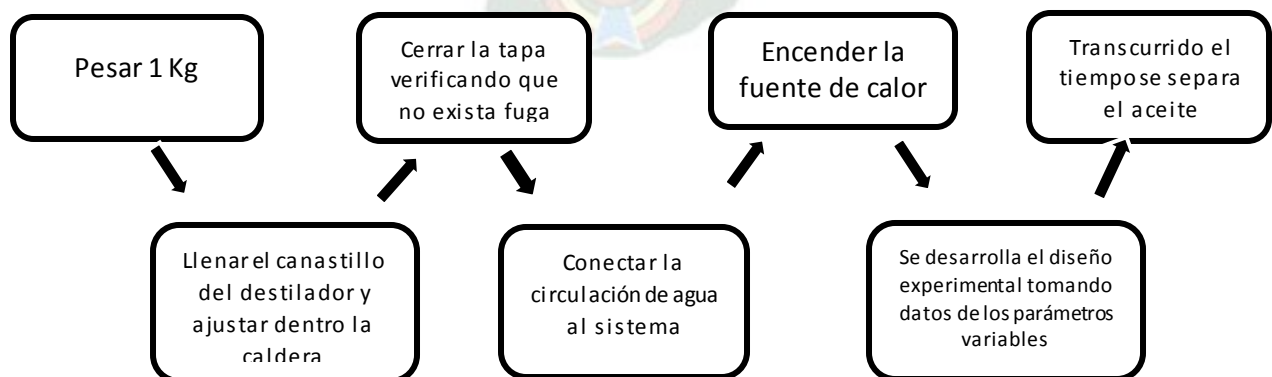
### 3.5.4. Obtención y preparación de la muestra

La cascara de limón proviene de la región los Yungas dejando la pulpa para cualquier uso, y luego llevadas a destilación por arrastre de vapor dentro de las siguientes 24 horas, de tal forma que evite la perdida excesiva de humedad y aceites esenciales.

### 3.5.5. Procedimiento.

El procedimiento es realizado en ciudad de La Paz, con una presión de 495 mmHg y temperatura ambiente 15°C la cascara seleccionada se introduce en las canastas de carga del destilador.

**La figura N° 3.7**  
**Muestra los pasos para desarrollar las pruebas preliminares de destilación**



Fuente: Elaboración Propia

### 3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

#### 3.6.1. Diseño experimental 2<sup>k</sup>

Es el tipo de diseño de mayor empleo debido a su gran flexibilidad, provee mejores ajustes a superficies y es el más adecuado para procesos de optimización con 2 niveles alto y bajo.

##### Variables independientes

Las variables independientes se muestran en la siguiente tabla

**Tabla N° 3.1**  
**Variables Independientes**

Factor	Variable	Unidad
X1	Tamaño de partícula	cm
X2	Tiempo	min
X3	Presión	atm

**Fuente: Elaboración Propia**

##### Variables respuesta

Las variables respuesta se muestran en la tabla

**Tabla N° 3.2**  
**Variable respuesta**

Factor	Variable	Unidad
Y1	Rendimiento	%

**Fuente: Elaboración Propia**

El rendimiento se calcula por la relación:

$$\% = \frac{m_{aceite}}{m_{cascara}} \times 100\% \quad (3.5)$$

Donde

$m_{ac}$  = masa de aceite obtenido (g)

$m_c$  = masa cascara (g)

El diseño está compuesto por una porción factorial 2<sup>k</sup>. no puntos centrales y puntos sobre cada eje a una distancia  $\alpha$  del origen llamada porción axial 2<sup>k</sup>, lo que nos da el número total de tratamientos N , de no dar el diseño 2<sup>k</sup> Se toma en cuenta otros diseños factoriales.

$$N=2^k + 2k+n_0 \quad (3.6)$$

### 3.6.2. Metodología de superficie de respuesta

Los valores óptimos de las variables se hallan mediante

$$D = (\prod_{i=1}^n d_i^{r_i})^{\frac{1}{\sum r_i}} \quad (3.7)$$

Donde

D = deseabilidad global

d<sub>i</sub> = deseabilidad de cada factor

r<sub>i</sub> = importancia

n = número de respuestas

Fijando los criterios de deseabilidad

**Tabla N° 3.3**  
**Criterios de deseabilidad**

Respuesta	Variable	Deseabilidad	Criterio
Y1	Rendimiento	1	Se espera obtener mayor cantidad de aceite

**Fuente: Elaboración Propia**

### 3.6.3. Optimización

Para la optimización se verifica con el programa Desing Expert y se identifica los puntos que no sean óptimos en los distintos gráficos como ser diagrama de Pareto y otros gráficos, algunos parámetros que determina dicho programa.

**Tabla N° 3.4**  
**Parámetros para la Optimización**

N	Parámetro
1	CV
2	Std

**Fuente: Montgomery – Diseño Experimental**

Para optimizar el diseño nuestros parámetros deben estar en el rango óptimo por ejemplo en el caso de CV

**Tabla N° 3.5**  
**Rango de Optimización del CV**

N	Rango	Observación
1	1 – 10 %	Excelente
2	10 – 15 %	Muy bueno
3	16 – 20 %	Bueno
4	21 – 25 %	Regular
5	26 – 31 %	Malo
6	>31%	Muy malo

**Fuente: Montgomery – Diseño Experimental**

Una vez realizado el diseño verificar que los parámetros de optimización entren en el rango de cada parámetro, en caso de no validar corregir los datos oh volver a realizar las pruebas.

### 3.7. CARACTERIZACION DEL PRODUCTO

El producto obtenido de las pruebas de destilación será sometido a pruebas organolépticas del aceite obtenido que son las siguientes.

#### 3.7.1. Determinación de pruebas Organolépticas

Las características organolépticas son muy importantes que define cualitativamente al aceite de limón de acuerdo a la Norma Boliviana descrita en el anexo.

**Tabla N° 3.6**  
**Parámetros organolépticos del aceite esencial de limón**

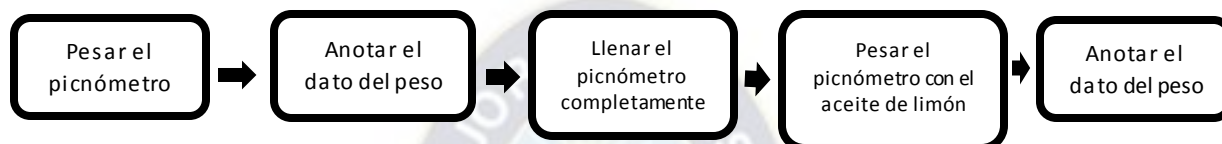
Parámetro
Color
Olor
Sabor
Textura

**Fuente: NB 34046 Determinaciones Organolépticas**

### 3.7.2. Determinación de la Densidad

Se medirá la densidad del aceite obtenido ya que es un parámetro muy importante, tomado en cuenta ya que se divide en dos fases una vez destilado su densidad relativa tiene que ser menor a 1. Se determinara la densidad del aceite obtenido como se muestra en la siguiente figura.

**Figura N° 3.8**  
**Procedimiento para la determinación de la densidad relativa**



**Fuente: NB 164. Determinación de la densidad relativa. IBNORCA**

Con la siguiente formula se obtendrá la densidad del aceite esencial de limón

$$\rho_{ac} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \quad (3.8)$$

Donde:

$m_2$  = Masa del picnómetro más el aceite esencial (g)

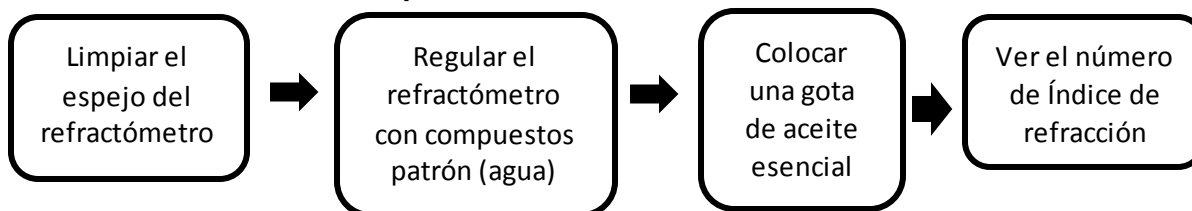
$m_0$  = Masa del picnómetro vacío (g)

$m_1$  = Masa del picnómetro con agua (g)

### 3.7.3. Determinación del índice de refracción

La relación entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción cuando un rayo luminoso de longitud de onda determinada, pasa del aire al aceite esencial manteniendo una temperatura constante.

**Figura N° 3.9**  
**Procedimiento para la determinación del Índice de Refracción**



**Fuente: NB 75007 Determinación del Índice de refracción**

Con ayuda de la ecuación

$$n = n_d + 0.0004 * (t^\circ - t) \quad (3.9)$$

Donde

$n_d$  : Lectura del refractómetro

$t^\circ$  : Temperatura de trabajo ( $^\circ\text{C}$ )

$t$  : Temperatura patrón  $20^\circ\text{C}$

### 3.7.4. Cromatografía de Gases GC – EM

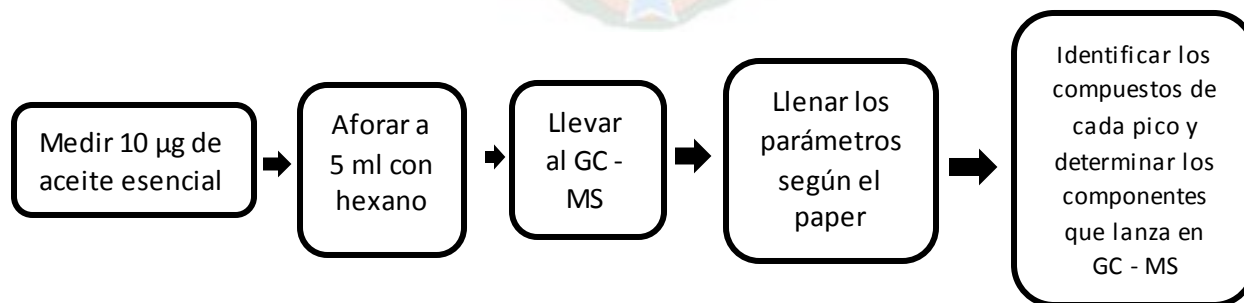
Se realiza previa preparación de la muestra según la norma específica de los aceites esenciales que se encuentra detallada en el anexo.

**Figura N° 3.10**  
**Equipo GC – MS**



Fuente: GC – MS de la Carrera de Química – Ciencias Químicas – UMSA

**Figura N° 3.11**  
**Procedimiento para el análisis cuantitativo GC-MS**



Fuente: Instituto de Ciencias Químicas – UMSA (Descrito en el anexo)



## CAPITULO IV CALCULOS Y RESULTADOS

### 4.1. RECEPCION DE LA MATERIA PRIMA

Se recolecta aproximadamente 100 limones provenientes de la localidad de alto Beni provincia Caranavi, los Yungas del departamento de La Paz.

**Figura N° 4.1  
Preparado de materia Prima**



**Fuente: Elaboración Propia**

### 4.2. CARACTERIZACION DE LA MATERIA PRIMA

#### 4.2.1. Determinación del espesor de la cascara de limón

Se cortara las cascara de limón con el equipo de la figura 4.2

**Figura N° 4.2  
Equipo cortador de cascara de Limón**



**Fuente: Elaboración Propia**

La siguiente tabla nos muestra los datos recolectados

**Tabla N° 4.1**  
**Espesor correspondiente de cascara de limón**

N	(mm)	N	e (mm)
1	2,6	6	2,1
2	2,5	7	2,5
3	2,8	8	1,9
4	2,2	9	2,1
5	2,6	10	2,7

**Fuente: Elaboración propia**

Calculando el promedio y la desviación estándar

**Tabla N° 4.2**  
**Espesor promedio de cascara de limón**

Espesor Promedio (mm)	Desviación estándar
2,4	0,302

**Fuente: Elaboración Propia**

#### 4.2.2. Determinación de la densidad real

Los datos recolectados se muestran en la siguiente tabla

**Tabla N° 4.3**  
**Datos recolectados para la densidad real**

N	Masa de aire (g)	Masa de Agua (g)
1	0,470	0,558
2	0,299	0,356
3	0,363	0,432
4	0,574	0,678
5	0,546	0,648

**Fuente: Elaboración Propia**

Obteniendo el valor de la densidad

**Tabla N° 4.4**  
**Densidad real**

N	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
1	0,843
2	0,841
3	0,839
4	0,846
5	0,842

**Fuente: Elaboración Propia**

Calculando el promedio general y su desviación estándar

**Tabla N° 4.5**  
**Densidad real y desviación estándar**

Densidad promedio (g/cm <sup>3</sup> )	Desviación Estándar (g/cm <sup>3</sup> )
0,842	0,0026

Fuente: Elaboración Propia

Densidad corregida con la ecuación 3.2

**Tabla N° 4.6**  
**Densidad corregida**

Densidad corregida (g/cm <sup>3</sup> )
0,921

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.3. Determinación de la densidad aparente

El volumen del recipiente se mantiene constante en un valor de 2500 ml por lo tanto los datos son resumidos de la siguiente manera

**Tabla N° 4.7**  
**Datos recolectados para la densidad real**

N	Masa de aire (g)	Volumen de Agua (ml)
1	237,2	2500
2	236,2	2500
3	231,3	2500
4	236,7	2500
5	244,5	2500

Fuente: Elaboración Propia

Obteniendo el valor de la densidad aparente

**Tabla N° 4.8**  
**Densidad aparente**

N	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )
1	0,092
2	0,091
3	0,090
4	0,092
5	0,095

Fuente: Elaboración Propia

Calculando el promedio general y su desviación estándar

**Tabla N° 4.9**  
**Densidad aparente y desviación estándar**

Densidad promedio (g/cm <sup>3</sup> )	Desviación Estándar (g/cm <sup>3</sup> )
0,0917	0,0018

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.4. Calculo de la fracción al vacío

Los resultados obtenidos en 4.1.2 y 4.1.3 reemplazamos en la relación

Se obtiene:

$$\varepsilon = 0,0995$$

#### 4.2.5. Determinación de la humedad de la cascara de limón

Se determina la humedad con el siguiente equipo.

**Figura N° 4.3**  
**Balanza de Humedad**



Fuente: IDEPROQ – Facultad de Ingeniería - UMSA

Los datos de las mediciones se resumen en la siguiente tabla

**Tabla N° 4.10**  
**Datos recolectados para la determinación de la humedad**

Muestra	Masa inicial (g)	Masa seca (g)
1	0,866	0,642
2	0,452	0,336
3	1,027	0,761
4	1,246	0,927
5	0,787	0,586

Fuente: Elaboración Propia

Obteniendo el valor de la humedad

**Tabla N° 4.11**  
**Humedad**

N	Humedad %
1	74,23
2	74,36
3	74,21
4	74,25
5	74,36

**Fuente: Elaboración Propia**

Calculando el promedio general y su desviación estándar

**Tabla N° 4.12**  
**Densidad real y desviación estándar**

Humedad promedio (g/cm <sup>3</sup> )	Desviación Estándar (g/cm <sup>3</sup> )
74,282	0,073

**Fuente: Elaboración Propia**

#### 4.2.6. Determinación de ceniza

Los datos de las mediciones se resumen en la siguiente tabla

**Tabla N° 4.13**  
**Datos recolectados para la determinación de la ceniza**

Muestra	Masa recipiente vacío (g)	Masa recipiente y muestra (g)	Masa recipiente calcinada (g)
1	32,543	35,346	32,652
2	32,522	36,423	36,854
3	32,534	33,321	32,604
4	32,565	35,312	32,671
5	32,512	37,534	32,707

**Fuente: Elaboración Propia**

Obteniendo el valor de ceniza

**Tabla N° 4.14**  
**Ceniza**

N	Ceniza %
1	3,87
2	3,85
3	3,89
4	3,86
5	3,88

**Fuente: Elaboración Propia**

Calculando el promedio general y su desviación estándar

**Tabla N° 4.15**  
**Ceniza y desviación estándar**

Ceniza promedio (g/cm <sup>3</sup> )	Desviación Estándar (g/cm <sup>3</sup> )
3,87	0,014

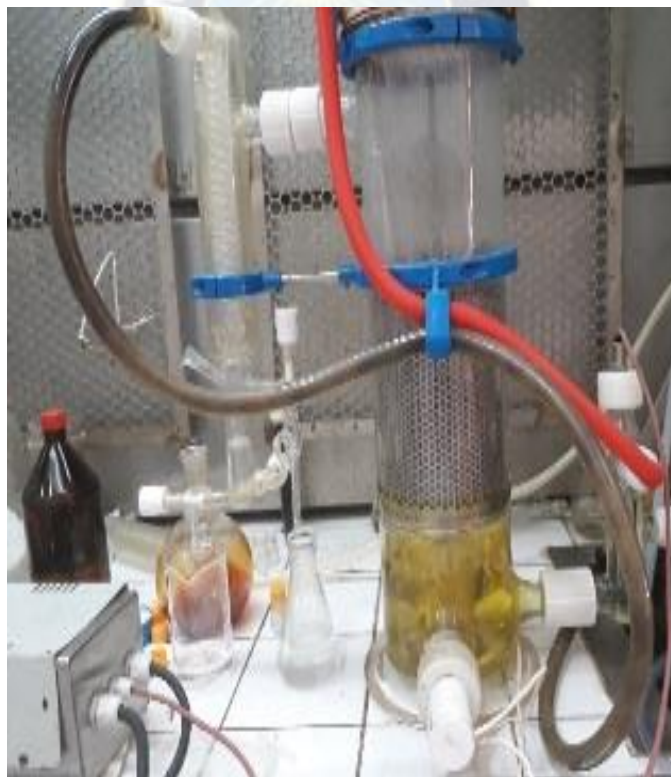
Fuente: Elaboración Propia

### 4.3. DETERMINACION DE LAS VARIABLES DEL PROCESO

#### 4.3.1. Análisis del Proceso de destilación a presión atmosférica

Se realiza las destilaciones por el arrastre de vapor con el equipo que se muestra en la siguiente figura.

**Figura N° 4.4**  
**Extractor de FIGMAY de aceites esenciales**



Fuente: Destilador de la Carrera de Química – Ciencias Químicas - UMSA

Las condiciones de cada ensayo se muestran en la siguiente tabla

**Tabla N° 4.16**  
**Datos preliminares de destilación**

N	Masa de cascara (kg)	Tiempo de destilación (min)	Masa de aceite (g)	Tamaño de partícula (cm)	Temperatura (°C)	Presión (atm)
1	1,2	60	1,848	40	87,6	0,651
2	1,2	80	2,331	10	87,6	0,651
3	1,2	90	1,435	30	87,7	0,651
4	1,2	180	2,31	20	87,7	0,651
5	1,2	300	2,808	1	87,6	0,651

**Fuente: Elaboración Propia**

El cálculo del rendimiento se realiza a través de la siguiente ecuación

$$\% = \frac{m_{aceite}}{m_{cascara}} \times 100\%$$

Que aplicada a los datos mostrados en la tabla 4.14 da los siguientes resultados

**Tabla N° 4.17**  
**Rendimientos obtenidos**

N	Masa de cascara (kg)	Masa aceite (g)	$\mu$ (%)
1	1,2	1,848	0,154
2	0,9	2,331	0,259
3	0,7	1,435	0,205
4	1	2,31	0,231
5	0,9	2,808	0,332

**Fuente: Elaboración Propia**

#### 4.3.2. Factores de estudio

Para determinar los factores de estudio se hace un análisis de los gráficos del rendimiento con distintos factores para ver su comportamiento.

#### 4.3.3. Tiempo de extracción

Para el tiempo de extracción es constante la masa de 1kg, y variando para cada distinto tiempo

**Tabla N° 4.18**  
**Datos obtenidos del tiempo y el rendimiento**

Tiempo (min)	Rendimiento (%)
45	0,152
60	0,154
90	0,188
120	0,226
150	0,267
180	0,298
210	0,311
240	0,312

Fuente: Elaboración Propia

**Figura N° 4.5**  
**Rendimiento Vs tiempo de extracción**



Fuente: Elaboración Propia

**Interpretación.** Se puede notar una fuerte dependencia del rendimiento del aceite con el tiempo de extracción ya que para 60 min para adelante empieza a subir el rendimiento, y se mantiene constante a partir de tres horas por este motivo este será un factor de estudio.

#### 4.3.4. Presión

El nivel inferior viene fijado por la presión normal de ebullición en la ciudad de La Paz o sea de 495mmhg o 0 atm manométricas, que es el lugar donde se realiza las pruebas. Por lo que se mantendrá Constante. Para el valor de diseño definimos 2 atm manométricas. Que es la presión de trabajo para un caldero de pequeña escala<sup>20</sup>



#### 4.3.5. Tamaño de partícula

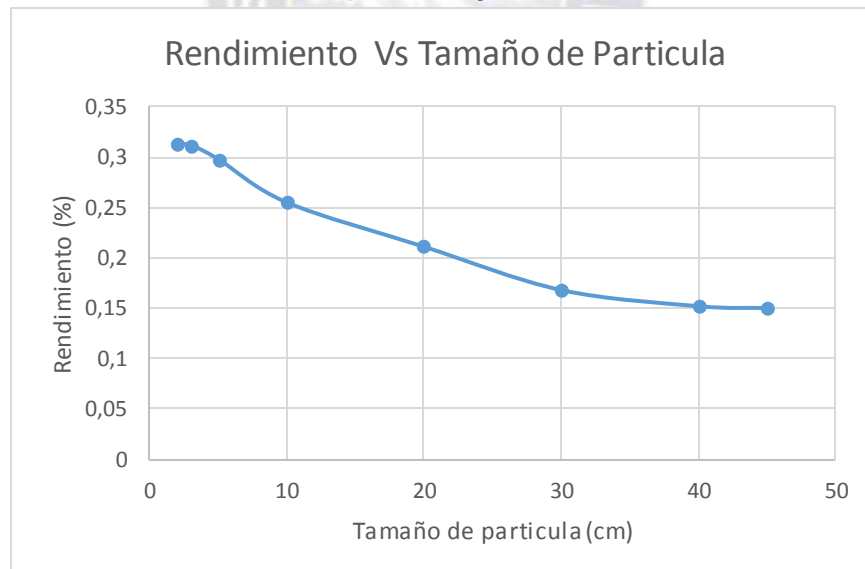
Las pruebas se hacen con 1kg de materia prima y tiempo constante de 120min con el equipo de la figura 4.19

**Tabla N° 4.19**  
**Datos obtenidos del tiempo y el rendimiento**

Tamaño de Partícula (cm)	Rendimiento (%)
1	0,312
2	0,3119
5	0,298
10	0,255
20	0,211
30	0,168
40	0,152
45	0,1501

Fuente: Elaboración Propia

**Figura N° 4.6**  
**Tamaño de partícula y el rendimiento**



Fuente: Elaboración Propia

**Interpretación.** Según el gráfico se evidencia dependencia del rendimiento del aceite con el tamaño de partícula, ya que empieza a bajar el rendimiento desde 1 cm y es constante desde los 35 cm. Por este motivo este será un factor de estudio.

<sup>20</sup> Código ASME Sección VIII. Diseño, construcción e inspección de tanques y recipientes a presión.

#### 4.4. DISEÑO EXPERIMENTAL

##### 4.4.1 Diseño 2<sup>k</sup>

De acuerdo a las pruebas preliminares realizadas, se procede a seleccionar los paramaros más importantes en la extracción por arrastre de vapor, previo a llevar a cabo el diseño experimental, tomando en cuenta los limites superiores e inferiores en cada uno de los parámetros

**Tabla N° 4.20**  
**Variables que se consideraran en el proceso**

Factor	Variable	Unidad	Límite Inferior	Limite Superior
X <sub>1</sub>	Tamaño de partícula	cm	2	30
X <sub>2</sub>	Tiempo de extracción	minutos	60	180

**Fuente: Elaboración Propia**

Para el análisis del proceso de extracción se procede a trabajar mediante el diseño experimental aplicando el software Desing – Expert 7.0. El análisis del proceso requiere ingresar los parámetros físicos que rigen el tratamiento establecido así como los rangos superiores e inferiores de cada variable, estos rangos son establecidos a las pruebas preliminares que se obtienen en experimentación Para el presente proyecto se llevara a cabo 2<sup>k</sup> con dos réplicas de cada uno, y con dos variables del proceso.

A continuación se detalla el inicio del proceso de simulación del software, mostrando los factores previamente mencionados.

##### 4.4.1.1 Pruebas Experimentales

**Figura N° 4.7**  
**Datos de las variables dependientes y variable respuesta**

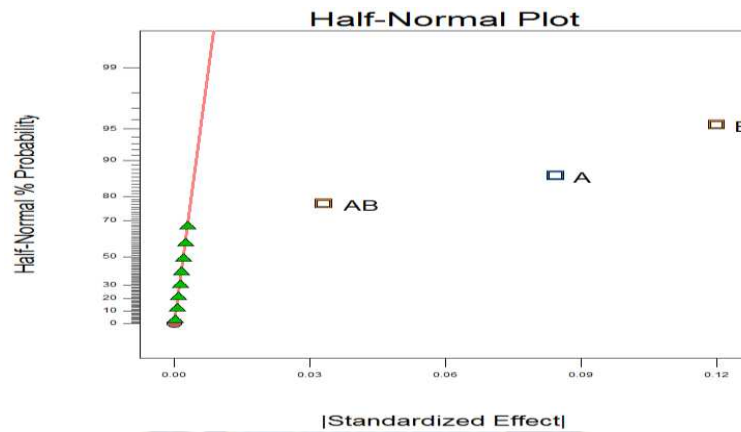
	Std	Run	Block	Factor 1 A:Tamaño de P cm	Factor 2 B:Tiempo de E min	Response 1 R1 %
	2	1	Block 1	1.00	60.00	0.236
	12	2	Block 1	30.00	180.00	0.272
	11	3	Block 1	30.00	180.00	0.271
	5	4	Block 1	30.00	60.00	0.121
	8	5	Block 1	1.00	180.00	0.32
	6	6	Block 1	30.00	60.00	0.131
	1	7	Block 1	1.00	60.00	0.234
	3	8	Block 1	1.00	60.00	0.237
	7	9	Block 1	1.00	180.00	0.319
	10	10	Block 1	30.00	180.00	0.268
	9	11	Block 1	1.00	180.00	0.322
	4	12	Block 1	30.00	60.00	0.112

**Fuente: Elaboración Propia**

#### 4.4.2. Análisis de efectos

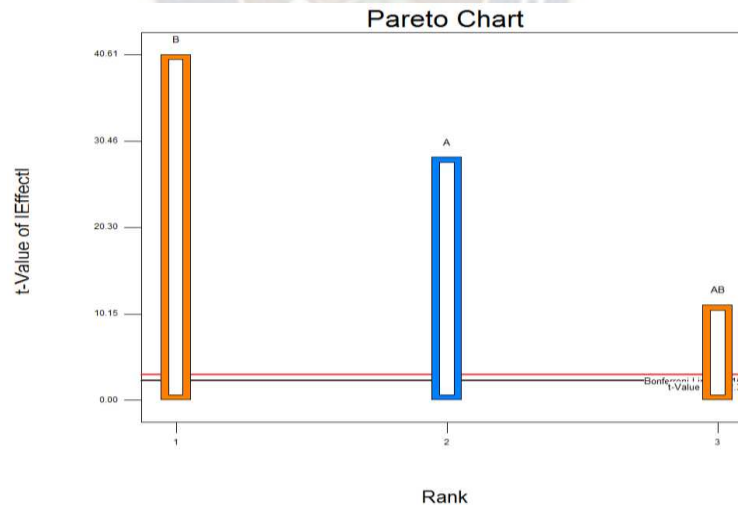
Es importante llevar a cabo un análisis de efectos de cada variable y sus comportamientos con otras variables, por lo tanto a continuación la gráfica media normal y el diagrama de Pareto de efectos.

**Figura N° 4.8**  
**Gráfica Media Normal**



Fuente: Elaboración Propia

**Figura N° 4.9**  
**Diagrama de Pareto de Efectos**



Fuente: Elaboración Propia

**Interpretación.** En la figura 4.8 se puede apreciar que los efectos de A, B, junto con su combinación AB son significativas, los efectos alejados que se puede apreciar en la figura 4.9 se alejan de la línea en el diagrama normal y es señal de que son efectos reales en el proceso. Los efectos alineados se deben al azar, por ello se pueden mandar error.

4.4.3. Análisis de Anova

Figura N° 4.10  
Diagrama de ANOVA

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value	Prob > F
Model	0.064	3	0.021	863.20	< 0.0001	significant
A-Tamaño de P	0.020	1	0.020	815.60	< 0.0001	
B-Tiempo de Ex	0.041	1	0.041	1649.00	< 0.0001	
AB	3.104E-003	1	3.104E-003	125.00	< 0.0001	
Pure Error	1.987E-004	8	2.483E-005			
Cor Total	0.065	11				

Fuente: Elaboración Propia

**Interpretación.** Con el análisis de la varianza de la figura 4.10 se confirma 3 efectos significativos (A, B, AB) ya que sus valores son menores a 0,05.

Figura N° 4.11  
Ecuación Propuesta para el programa

Final Equation in terms of coded Factors	Final Equation in term of Actual
Factors: $R_i =$	$R_1 =$
+0,24	+0,19839
-0,041 * A	-0,005051 * Tamaño de partícula
+0,058 * B	+0,000687 * Tiempo de extraccion
+0.016 * A * B	+0,0000184 * Tamaño de Partícula *
Tiempo de Extraccion	

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a la figura 4.11 la ecuación para el rendimiento es de la siguiente manera:

$$R = 0,198 - 5,051 * 10^{-3} * T_p + 6,87 * 10^{-4} * t_e + 1.84 * 10^{-5} * T_p * t_e$$

Donde

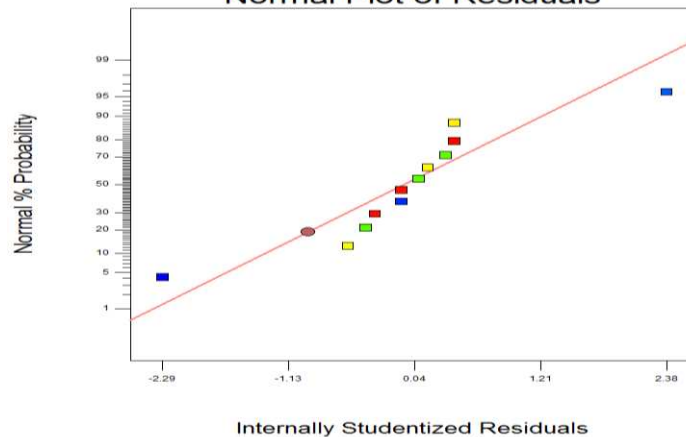
$T_p$  = Tamaño de partícula (cm)

$t_e$  = Tiempo de extracción (min)

#### 4.4.4. Verificación de los supuestos del modelo

A continuación se verifica los supuestos del modelo ANOVA, distribución normal, varianza constante e independencia de las respuestas.

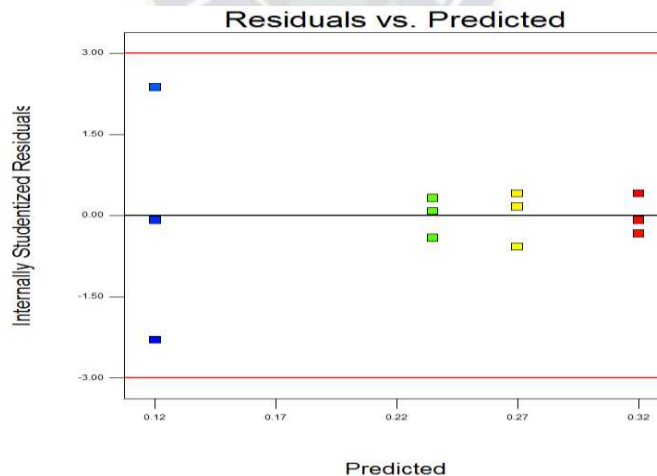
**Figura N° 4.12**  
**Probabilidad Normal**  
Normal Plot of Residuals



Fuente: Elaboración Propia

**Interpretación.** Como se puede apreciar en la figura el supuesto de normalidad se cumple al caer los puntos cerca la línea recta.

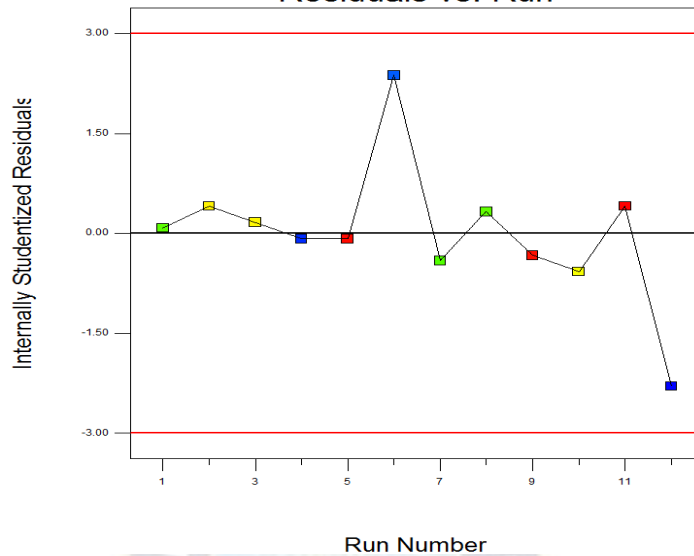
**Figura N° 4.13**  
**Varianza constante**  
Residuals vs. Predicted



Fuente: Elaboración Propia

**Interpretación.** Según el grafico también cumple el supuesto de varianza constante, en las que el residuo se ubica aleatoriamente dentro de una banda horizontal, su dispersión vertical es la misma a lo largo de los gráficos.

**Figura N° 4.14**  
Independencia de los supuestos  
Residuals vs. Run

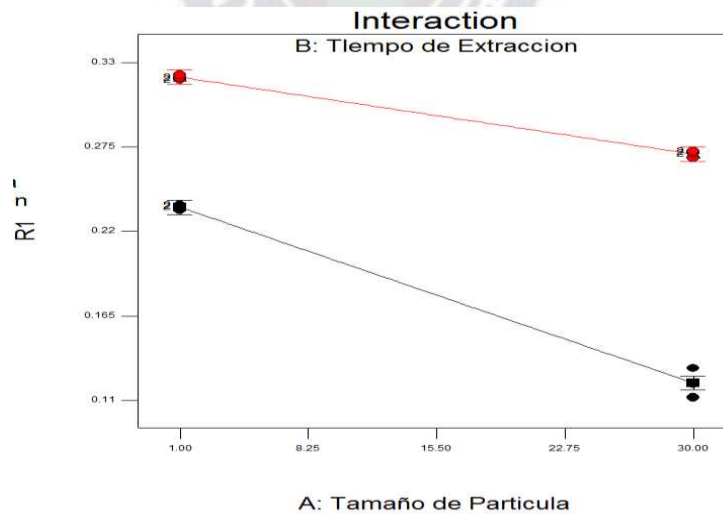


Fuente: Elaboración Propia

**Interpretación.** El supuesto de independencia se cumple ya que el comportamiento de los puntos es aleatorio dentro de una banda horizontal figura 4-14.

#### 4.4.5. Representación de los efectos principales y la iteración

**Figura N° 4.15**  
Efecto de interacción A - B

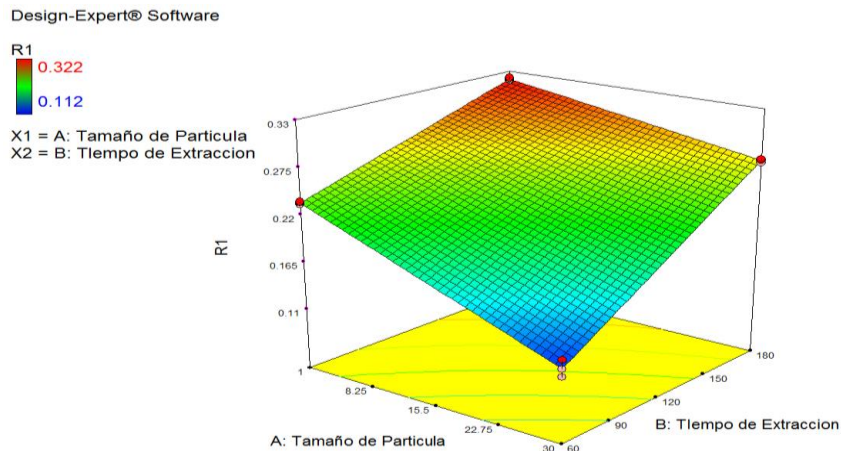


Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a la figura 4.15, se aprecia una interacción importante entre el tiempo de extracción y tamaño de partícula, se observa el impacto que tiene sobre el rendimiento.

4.4.6. Superficie respuesta

Figura N° 4.16  
Superficie Respuesta Plantaeada por el Programa



Fuente: Elaboración Propia

**Interpretación.** En la figura 4.16 se observa a los factores más influyentes del proceso que son el tamaño de partícula y el tiempo de extracción con relación al rendimiento, donde se puede observar el mayor rendimiento de 0,332 y un mínimo de 0,112.

4.4.7. Soluciones sugeridas por el Software

El programa determina las mejores condiciones de operación de las variables del proceso, donde los valores óptimos para cada variable según el software.

Figura N° 4.17  
Solución Propuesta para el Programa

Criteria		Solutions		Graphs		
olutions 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17						
<b>Constraints</b>						
Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Lower Weight	Upper Weight	Importance
Tamaño de Parti	is in range	1	30	1	1	3
Tiempo de Extra	is in range	60	180	1	1	3
R1	is in range	0.112	0.322	1	1	3
<b>Solutions</b>						
Number	Tamaño de Par	Tiempo de Exti	R1	Desirability		
1	16.32	148.04	0.262321	1.000	Selected	

Fuente: Elaboración Propia

**Interpretación.** Observando el resultado predicho por el programa es de 0.2623 y comparando con el valor experimental 0.332% de la figura 4.19, presentan una mínima varianza.

Entonces las condiciones de operación se detallan en la tabla 4.23

**Tabla N° 4.21**  
**Mejores Condiciones de Operación**

VARIABLES	Valor	Unidad
Tamaño de Partícula	0,16	m
Tiempo de extracción	148	min

**Fuente: Elaboración Propia**

Estos valores obtenidos a través del software son reemplazados en la ecuación para el rendimiento en términos de los valores actuales, para demostrar la validez del cálculo del rendimiento del aceite esencial de limon ofrecido por el programa:

$$R = 0,198 - 5,051 * 10^{-3} * T_p + 6,87 * 10^{-4} * t_e + 1.84 * 10^{-5} * T_p * t_e$$

Rendimiento propuesto por el programa

$$R = 0,2623\%$$

#### 4.4.8. Obtención de aceite esencial de limón con las condiciones de operación

Una vez encontrado las variables de operación que se detallan en la tabla 2.24, se realiza una prueba con el equipo de destilación de la figura 4.3

**Tabla N° 4.22**  
**Condiciones de operación en Laboratorio**

VARIABLES	Valor	Unidad
Tamaño de Partícula	0,16,	m
Tiempo de extracción	2,46	horas

**Fuente: Elaboración Propia**

**Rendimiento Obtenido en Laboratorio con las variables de operación.**

$$R = 0,2601\%$$

Como se puede observar existe una mínima varianza entre rendimiento predicho por el programa y el rendimiento real realizado en laboratorio.



## 4.5. CARACTERIZACION DEL ACEITE ESENCIAL DE LIMON

### 4.5.1. Características Organolépticas

Se determina las características organolépticas con ayuda del análisis sensorial para aceites esenciales y los datos obtenidos son:

**Tabla N° 4.23**  
**Características organolépticas**

Parámetro	Observación
Color	Transparente
Olor	Característico del limón
Sabor	Característico del limón
Textura	Aceitosa

**Fuente: Elaboración Propia**

### 4.5.2. Determinación de la Densidad relativa

Los datos obtenidos en laboratorio se muestran a continuación

**Figura N° 4.18**  
**Determinación del peso del picnómetro**



**Fuente: IDEPROQ – Facultad de Ingeniería – UMSA**

**Tabla N° 4.24**  
**Datos obtenidos en laboratorio**

N	m <sub>0</sub> (g)	m <sub>1</sub> (g)	m <sub>2</sub> (g)
1	18,9	33,541	31,449
2	18,9	33,551	31,452
3	18,9	33,512	31,416
4	18,9	33,556	31,456
5	18,9	33,584	31,424
6	18,9	33,521	31,467

**Fuente: Elaboración Propia**

Densidad obtenida de cada prueba obtenida en laboratorio y con la ecuación

$$\forall_{ac} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \quad (4.1)$$

**Tabla N° 4.25**  
**Densidad obtenida de laboratorio**

N	$\rho_{ac}$
1	0,857
2	0,857
3	0,856
4	0,856
5	0,852
6	0,859

**Fuente: Elaboración propia**

Densidad promedio con su desviación estándar

**Tabla N° 4.26**  
**Densidad promedio del aceite esencial de limón**

Densidad Promedio	Desviación estándar
0,8566	0,00217

**Fuente: Elaboración Propia**

#### 4.5.3. Índice de refracción

Según las normas bolivianas se obtuvieron los siguientes datos

**Tabla N° 4.27**  
**Datos obtenidos en laboratorio**

N	$n_d$	$t^\circ$ (°C)
1	1,474	16,5
2	1,469	15,9
3	1,457	16,0
4	1,462	16,1
5	1,476	16,2
6	1,475	15,8

**Fuente: Elaboración Propia**

Se corrige con la siguiente ecuación

$$n = n_d + 0.0004 * (t^\circ - t)$$

**Tabla N° 4.28**  
**Densidad obtenida de laboratorio**

N	N
1	1,473
2	1,467
3	1,455
4	1,460
5	1,474
6	1,473

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla N° 4.29**  
**Índice de refracción promedio del aceite esencial de limón**

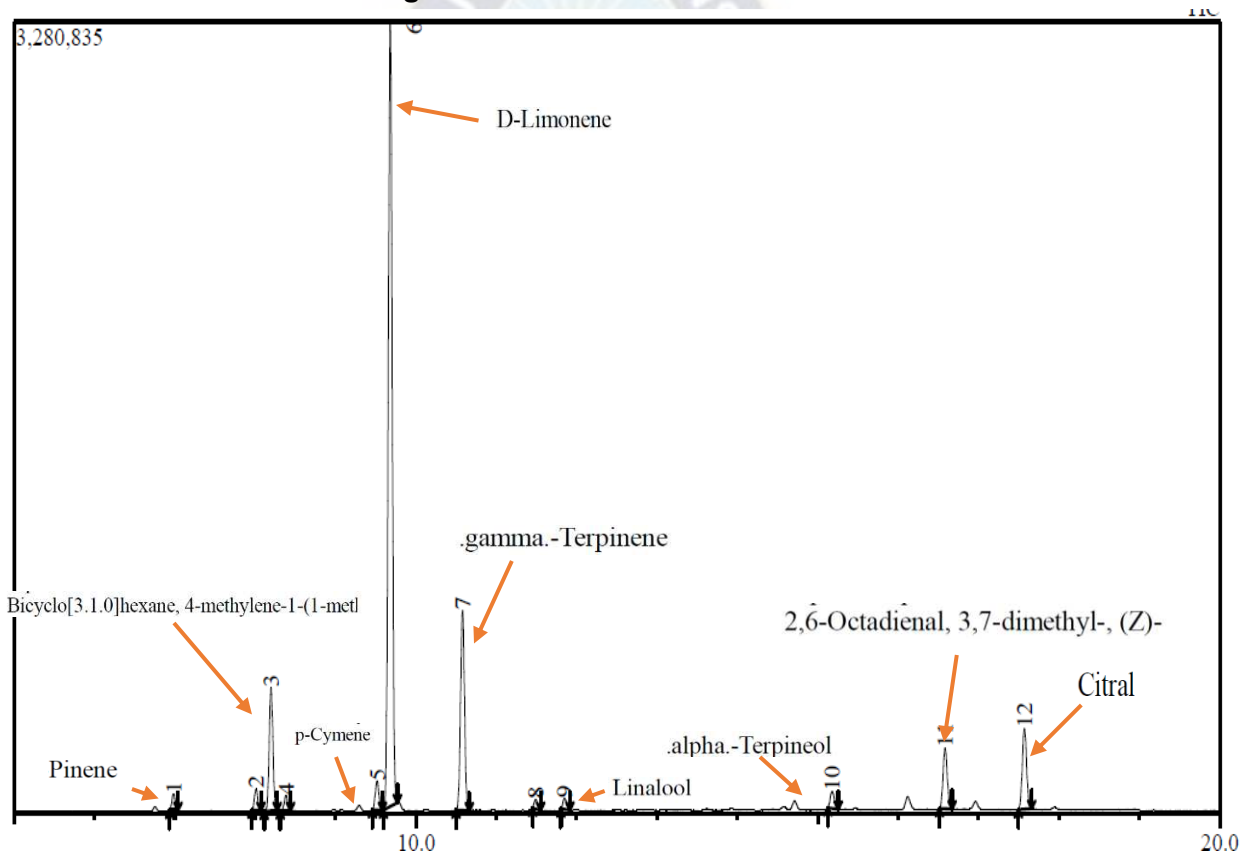
Índice de refracción Promedio	Desviación estándar
1,467	0,00792

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.5.4 Cromatografía de Gas GLC

La caracterización química del aceite esencial de limón es analizado en el Laboratorio de Investigación de Ciencias Químicas de la Universidad Mayor de San Andrés con un cromatografía GC –MS dispone de un cromatografía de gas, y también de un detector de espectrometría de masas

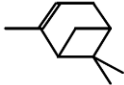
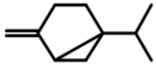
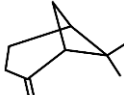
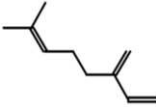
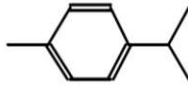
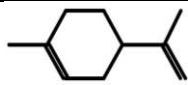
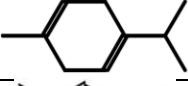

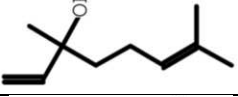

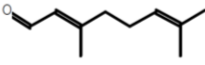
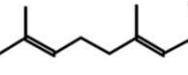
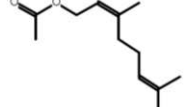
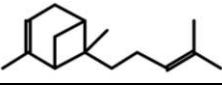
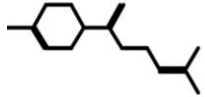
**Figura N° 4.19**  
**Cronograma del aceite esencial de Limón**



Fuente: Laboratorio de Ciencia Químicas – Ciencias Puras - UMSA

**Interpretación.** El cronograma identifica los principales componentes del aceite esencial de limón, en el cual resalta notablemente el limoneno con (54,64%) y el Terpireno (13,96%) además de otros componentes.

**Tabla N° 4.30**  
**Compuestos y porcentajes reconocidos por el MS**

N°	Nombre	Porcentaje (%)	Formula Reconocida por MS
1	Pineno	0,95	
2	Biciclo. Hexano,4 methylene – 1 metil	1,25	
3	Byciclo heptano 6,6 dimethyl 2-methyl	8,12	
4	Beta Mircene	0,92	
5	P – Cymene	1,88	
6	D – Limoneno	54,64	
7	Gama Terpireno	13,96	
8	2 – Carene	0,57	
9	Linalool	0,69	
10	Alpha – Terpineol	1,25	
11	Neral	4,46	
12	Citral	6,09	
13	2,6 Octadien-1-ol,3,7-dimethyl-acetate	2,18	
14	Tras-alpha- Bergamontene	1,23	
15	Beta – Bisabolene	1,80	

Fuente: Laboratorio de Ciencia Químicas – Ciencias Puras – UMSA

## CAPITULO V

## DISEÑO DEL EQUIPO

## 5.1 DISEÑO DE LA COLUMNA DE DESTILACION

El dimensionamiento de la columna de extracción está en función de la cantidad de aceite esencial que se desea obtener y de la materia prima que será procesada. Si se considera como base de cálculo 100 ml de aceite esencial de limón en función al rendimiento del aceite esencial obtenido en laboratorio y a las características mismas con la que se quiere diseñar el equipo, es posible calcular la cantidad de materia vegetal requerida en base a las propiedades del aceite ya determinadas.<sup>20</sup>

$$100ml \text{ aceite} * \frac{0,8566g \text{ aceite}}{1ml \text{ aceite}} * \frac{100g \text{ cascara}}{0.322g \text{ aceite}} = 26.602,48 g = 26,6 kg$$

Para poder conocer el volumen que ocupa esta masa de en el extractor, se debe considerar la densidad del lecho, este parámetro está en función de la porosidad y de la densidad de la cascara de limón.

$$\rho = (1 - \varepsilon) * \rho_{corregida} \quad (5.1)$$

Reemplazando tenemos

$$\rho = (1 - 0.0995) * 921 = 829,4 \frac{kg}{m^3}$$

El volumen requerido para la columna de extracción será:

$$V_{Extractor} = 26,6 kg_{cascara \text{ de limon}} * \frac{1m^3}{829,4 kg} = 0,032 = 31,6 \text{ litros}$$

Está en el rango de Bench Scale (ver Pag 26), se obtiene el volumen con:

$$V_{extractor} = \frac{\pi}{4} D^2 H \quad (5.2)$$

Para el tipo de contenedores la relación de diseño entre la altura y el diámetro está dada por<sup>(23)</sup>

$$0 \geq \frac{H}{D} \leq 0,8 \quad (5.3)$$

<sup>20</sup> Diseño de Destiladores a nivel Bench Scale - ASME

<sup>21</sup> Shygly, J. Diseño en Ingeniería Mecánica 5° Ed. Mexica: Ofgloma, 2001

Tomando límite superior y reemplazando en la ecuación las dimensiones serán

$$D = \sqrt[3]{\frac{4*V}{2*\Gamma}} = \sqrt[3]{\frac{4*0,032}{2*\Gamma}} = 0,273 \text{ m}$$

Por lo tanto H será:

$$H = 2* 0,273 = 0,546 \text{ m}$$

Se debe tomar en cuenta que a la altura determinada se le debe agregar una longitud adicional, ya que en la parte inferior del extractor se encuentra el distribuidor de vapor y en la parte superior se encuentra el cabezal o tapa de forma toroidal que sirve de compuerta para cargar el material vegetal y realizar la limpieza del equipo, además de conectar la columna de extracción con el intercambiador de calor.

El material adecuado para la construcción del extractor es acero inoxidable AISI 304 conforma a la vigente normativa para la construcción e inspección de tanques y recipientes a presión. También se debe con considerar que existe una rejilla al inicio de la columna de extracción (por encima del distribuidor de vapor) que evita que el material vegetal caiga, pero permite el flujo continuo del vapor hacia el lecho.

La presión de operación del sistema de extracción es la presión atmosférica de la ciudad de La Paz. El extractor se diseña como un recipiente a presión, de acuerdo a la norma ASME, define el destilador como U1, recipientes no mayores a 5 pies cúbicos y de 250 psi de presión máxima. 24 El recipiente debe soportar por los menos 20 PSI por encima de la presión de operación. Se determinó el espesor mínimo de la lámina requerido, este cálculo se hizo a partir de la ecuación.<sup>22</sup>

$$t = \frac{P*D}{0,4 S - 0,6 P} \quad (5.4)$$

Dónde:

P = Presión de diseño (202,6 KPa)

D = Diámetro exterior (m)

S = Esfuerzo permisible para el acero AISI 304 (106924 KPa)

Reemplazando los valores

$$t = \frac{202,1 * 273}{0,4 * 106924 - 0,6 * 202,1} = 1,29 \text{ mm}$$

Como valor estándar se toma una lámina de **1,3 mm** de espesor

<sup>22</sup> Código ASME Sección VIII. Diseño, construcción e inspección de tanques y recipientes a presión.

## 5.2 CALCULO DEL FLUJO MASICO

Procedemos a calcular el flujo másico de vapor a través de la siguiente formula haciendo un análisis previo en el intercambiador

$$\dot{m} = \frac{M_{H_2O} * Q_{Refrigeracion}}{\lambda_{vap}} \quad (5.5)$$

Donde

$m$  = Flujo másico de vapor (kg/h)

$M$  = Peso molecular del agua (Kg/Kmol)

$Q_{refrigeración}$  = Calor sensible de refrigeración (KJ/h)

$\lambda$  = Entalpia de vaporización del agua (KJ/Kmol)

Para el cálculo del calor de refrigeración tenemos

$$Q_{Refrigeracion} = -Q_{Perdido\ por\ Vapor} + Q_{Sencible\ del\ Vapor} \quad (5.6)$$

Considerando que el valor del calor sensible del vapor es notablemente menor al calor latente perdido por el vapor (5400 KJ/h). Y ya que el agua de refrigeración es tomada de la red municipal, debido a las variaciones de temperatura los cálculos se basan en el promedio de los registros de temperaturas y flujos de agua de los últimos cuatro años en La Paz<sup>23</sup>;  $T = 16^{\circ}\text{C}$ .

$$Q_{perdido\ de\ vapor} = -300 \frac{kg}{h} * 1 \frac{cal}{g * ^{\circ}C} * (40 - 16) = -7,2 * 10^6 \frac{cal}{h} = -30126,22 \frac{KJ}{h}$$

Reemplazando en la ecuación:

$$\dot{m} = \frac{18,015 \frac{Kg}{Kmol} \left( -30126,22 \frac{KJ}{h} \right)}{-5,2053 * 10^4 \frac{KJ}{mol}}$$

$$m = 10,43 \frac{kg}{h}$$

<sup>23</sup> SENAMHI - 2017

### 5.3. SELECCIÓN DEL GENERADOR DE VAPOR

Para la selección del generador de vapor se debe tomar en cuenta la cantidad de energía requerida por el agua, desde las condiciones de almacenamiento (temperatura ambiente) hasta su punto de ebullición. Por consiguiente la cantidad de calor necesaria será la suma de un calor sensible y un calor latente.

$$q_T = q_L + q_S \quad (5.7)$$

Entonces:

$$q_T = n \left[ \int_{T_o}^{T_{eb}} C_{p_{H_2O}} dT + \lambda_{vap} \right] \quad (5.8)$$

Donde

$n$  = Flujo molar de agua (mol/s)

$C_{p_{H_2O}}$  = Calor específico del agua líquida (J/mol-K)

$\lambda_{vap}$  = Entalpia de vaporización del agua (J/mol)

$T_{eb}$  = Temperatura de ebullición del agua (K)

$T_o$  = Temperatura inicial del agua (K)

Para el dimensionamiento del nuevo extractor se considera un flujo másico vapor igual de 7.4 Kg/h, valor calculado previamente.

El flujo molar requerido será:

$$n = 10,43 \frac{kg \text{ vapor}}{h} * \frac{1 \text{ kmol}}{18,015 \text{ kg vapor}} = 0,58 \frac{kmol}{h}$$

El calor específico del agua líquida está en función de la temperatura y está dada por la siguiente ecuación <sup>24</sup>

$$C_{p_{H_2O}} = 276360 - 2090,1T + 8,12T^2 - 0,01411T^3 + 9,3701 * 10^{-6}T^4 \quad (5.9)$$

Donde  $C_p$  H<sub>2</sub>O se expresa (J/Kmol-K) y la temperatura T está en (K)

La entalpia de evaporación del agua viene dada por la siguiente expresion

$$\lambda_{vap} = 5,2053 * 10^7 * \left(1 - \frac{T}{647,35}\right)^{0,3199 - 0,212\left(\frac{T}{647,35}\right) + \left(\frac{T}{647,35}\right)^2} \quad (5.10)$$

<sup>24</sup> Guarachi A. (2004). Operaciones unitarias de separación por lotes. La Paz Universidad Mayor de San Andrés



La temperatura inicial del agua es de 16 °C y 87°C (289K y 360K) respectivamente.

Resolviendo las ecuación

$$q_T = 0,58 \frac{Kmol}{h} * (0,533 * 10^7 + 3,44 * 10^7) \frac{J}{Kmol} = 2,3 * 10^7 \frac{J}{h} = 6,4Kw$$

Considerando que se debe añadir un exceso de energía, se recomienda que el porcentaje del excedente este comprendido entre el 10% y 20%.<sup>26</sup>

$$q_R = (1,1) * (6,4) = 7,04(Kw)$$

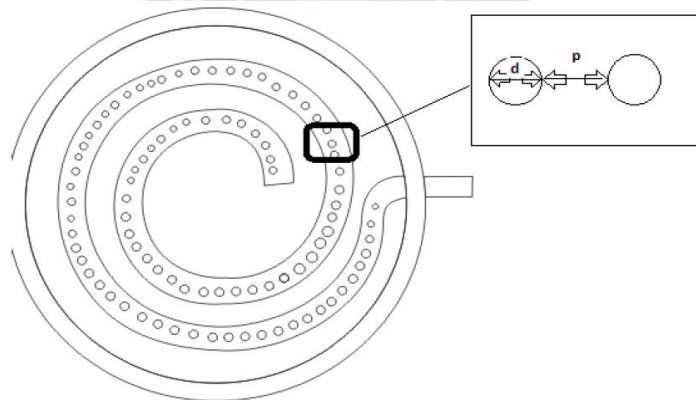
$$q_R = 9,44 (BPH)$$

El generador de vapor deberá tener una capacidad superior de 9,44 (BHP) caballo fuerza de caldera.

#### 5.4. DISEÑO DEL DISTRIBUIDOR DE VAPOR

Los sistemas de distribución de vapor conectan a las calderas que son las encargadas de generar el vapor con el equipo que en realidad utiliza vapor. El vapor proveniente del generador se distribuirá al interior de la columna de extracción mediante un distribuidor en forma circular como se aprecia en la Figura 5.1

**Figura N° 5.1**  
**Geometría del distribuidor de vapor**



**Fuente: Extracción de aceite de Albahaca**

Esta forma del permite una adecuada distribución del vapor al interior de la columna de extracción, además esta forma permite minimizar la condensación del vapor al interior del distribuidor.<sup>25</sup>

<sup>25</sup>Miranda, E. (2015). Extracción de aceite esencial de eucalipto. La Paz. UMSA

**Tabla N° 5.1**  
**Características de la tubería**

<b>Acero Inoxidable AISI 304 – 1</b>	
Diametro interior (mm)	25,10
Diametro exterior (mm)	28,40
Espesor (mm)	1,65

**Fuente: Ohnston Boiler Company**

La longitud “L” del tubo del distribuidor será de 300 mm (considerando que el diámetro interno del extractor es de 273 mm)<sup>26</sup>. El diámetro de cada orificio del distribuidor se calcula buscando que el área total de las perforaciones por donde va a salir el vapor sea equivalente al área transversal de la tubería con la que se construye el distribuidor, es decir:

$$\frac{\pi}{4} D^2 = N \frac{\pi}{4} d^2 \quad (5.11)$$

Considerando que el diámetro interior de la tubería es 30,10 mm y el número de orificios es 30 el diámetro de cada orificio será:

$$d = \sqrt{\frac{D^2}{N}} = 4,58 \text{ mm}$$

La separacion de los orificios vienen dados por<sup>28</sup>

$$p = \frac{L - N * d}{N + 1} \quad (5.12)$$

Reemplazando valores:

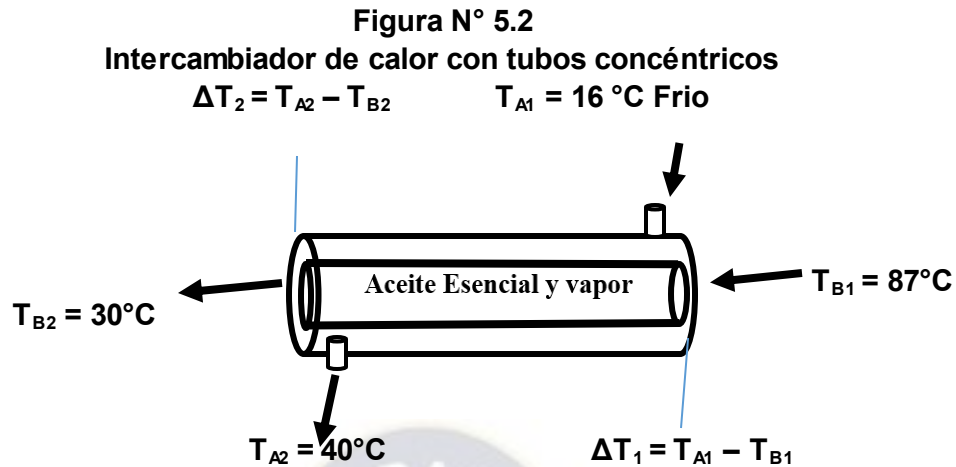
$$p = \frac{300 - 30 * 4,58}{30 + 1} = 5,32 \text{ mm}$$

## 5.5. DISEÑO DEL CONDENSADOR

El intercambiador de calor elegido para la condensación de la mezcla formada por el vapor y el aceite esencial es de tubos concéntricos a contraflujo como se aprecia en la siguiente figura 5.2

<sup>26</sup> Tubal Cain (2000) Building simple model steam, de la editorial inglesa Special Interests.

<sup>27</sup> Código ASME, Diseño, construcción e inspección de tanques y recipientes a presión



**Fuente: Elaboración Propia**

La masa de vapor respecto a la masa del aceite esencial a la salida de la columna de extracción es considerablemente mayor, por lo tanto se consideró al flujo de salida como si se tratara solo de vapor de agua.

Para calcular el flujo de agua de refrigeración se debe hacer un balance de energía:

$$q_{vapor+aceite} = n * \left( \int_{T_e}^{T_s} C_{p_{H2O}} dT + \lambda_{Condensacion} \right) \quad (5.13)$$

Donde

- n = Flujo molar de vapor de agua [mol/s]
- $C_{p_{H2O}}$  = Calor específico del agua líquida [J/mol-K]
- $\lambda_{condensación}$  = Entalpia de condensación del agua [J/mol]
- $T_e$  = Temperatura de ebullición del agua [K]
- $T_s$  = Temperatura de salida del condensador [K]

$$q_{refrigerante} = m_{H2O} * C_{p_{h2O}} * (T_2 - T_1)$$

Donde:

- m = Flujo másico del agua [Kg/s]
- $C_{p_{H2O}}$  = Calor específico del agua líquida [J/Kg-°C]
- $T_1$  = Temperatura de entrada al condensador del agua [°C]
- $T_2$  = Temperatura de salida del condensador del agua [°C]

Reemplazando valores y resolviendo la ecuación

$$q_{vapor+aceite} = 0,58 \frac{kmol}{h} * (-0,428 * 10^7 - 3,44 * 10^7) \frac{J}{Kmol} = -2,243 * 10^7 \frac{J}{h}$$

El intercambiador de calor de tubos concéntricos se construirá también con acero inoxidable AISI 304, las características de las tuberías se muestran a continuación:

**Tabla N° 5.2**  
**Características de las tuberías de acero inoxidable**

<b>Tubo interior AISI 304 – 2</b>	
Diámetro interior (mm)	50,40
Diámetro exterior (mm)	50,80
<b>Tubo exterior AISI 304 – 4</b>	
Diámetro interior (mm)	101,6
Diámetro exterior (mm)	114,30

**Fuente: JOHNSTON BOILER COMPANY**

Para la tubería interior el área interna es:

$$A_i = \frac{\pi}{4} d_i^2 = \frac{\pi}{4} (0,0504)^2 = 1,99 * 10^{-3} m^2$$

El área externa será:

$$A_e = \frac{\pi}{4} d_e^2 = \frac{\pi}{4} (0,0508)^2 = 2,207 * 10^{-3} m^2$$

Calculo del coeficiente de transferencia de calor por condensación al interior de la tubería

$$h_i = 0,555 * \left( \frac{g * \rho_L (\rho_L - \rho_V) * K_L^3 * h_{fg}}{\mu_L * (T_{sat} - T_S) * D} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (5.14)$$

Dónde:

g = Gravedad (m/s<sup>2</sup>)

$\rho_L$  = Densidad de líquido (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_V$  = Densidad de vapor (kg/m<sup>3</sup>)

$k_L$  = Constante de conductividad térmica (W/m – k)

$\mu_L$  = Viscosidad dinámica del líquido (N\*s/m<sup>2</sup>)

$h_{fg}$  = Entalpia de vaporización corregida (KJ/Kg)

D = Diametro de la tubería interna (m)

Para determinar las propiedades del fluido establecemos la temperatura fílmica (media entre la temperatura de saturación del vapor y la temperatura de la pared del condensador).

$$T_f = \frac{T_{sat} + T_w}{2} \quad (5.15)$$

Dónde:

$T_f$  = Temperatura Fílmica

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

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

La entalpia de vaporización corregida se calcula con:

$$h'_{fg} = h_{fg} + \frac{3}{8} * C_{pL} (T_{sat} - T_w) \quad (5.16)$$

Dónde:

$h'_{fg}$  = Entalpia de vaporización corregida (KJ/Kg)

$h_{fg}$  = Entalpia de vaporización encontrada en tablas (KJ/Kg)

$C_{pL}$  = Capacidad calorífica del liquido (KJ/Kg - °C)

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

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

La temperatura en la pared del condensador también se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$q_T = h_i * D * L * \pi * (T_w - \frac{T_e + T_s}{2}) \quad (5.17)$$

Donde:

$q_T$  = Calor total del valor

$h_L$  = Coeficiente de condensación en película

D = Diámetro de tubería

L = Longitud de tubería

$T_e$  = Temperatura de entrada de refrigerante

$T_s$  = Temperatura de salida de refrigerante

$T_w$  = Temperatura de la pared del condensador

La temperatura real de la pared interna del condensador se calcula mediante un proceso iterativo entre las ecuaciones

Primera iteración: ( $T_w = 77 \text{ }^\circ\text{C}$ )

$$T_f = \frac{87 + 77}{2} = 82 \text{ }^\circ\text{C}$$

A esta temperatura las propiedades del agua son:

$$\rho_L = 969,95(\text{kg/m}^3)$$

$$\rho_V = 0,3236(\text{kg/m}^3)$$

$$k_L = 0,672 (\text{W/m} - \text{k})$$

$$\mu_L = 0,344 \cdot 10^{-3} (\text{N} \cdot \text{s/m}^2)$$

$$h_{fg} = 2302,5(\text{KJ/Kg})$$

$$C_{pL} = 4,199(\text{KJ/Kg} - \text{ }^\circ\text{C})$$

Reemplazando en la ecuación 5.16

$$h'_{fg} = 2302,5 + \frac{3}{8} * 4,199(87 - 77) = 2,318 * 10^6 \frac{J}{Kg}$$

En la ecuación 5.14

$$h_i = 0,555 * \left( \frac{9,8 * 969,95 * (969,95 - 0,3236) * (0,672)^3 * 2,318 * 10^6}{0,344 * 10^{-3} * (87 - 77) * 0,0508} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$h_i = 0,555 * \left( \frac{g * \rho_L(\rho_L - \rho_V) * K_L^3 * h_{fg}}{\mu_L * (T_{sat} - T_S) * D} \right)^{\frac{1}{4}} \quad h_i = 7702,61 \frac{W}{m^2 - k}$$

Finalmente con la ecuación 5.17

$$6230,56 = 7702,61 * 0,0508 * 0,5 * \pi * (T_w - \frac{87 + 40}{2})$$

$$T_w = 73,64^\circ\text{C} \neq 77^\circ\text{C}$$

Como los valores de temperatura no coinciden, debe realizarse una nueva iteración, los resultados que se obtuvieron se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla N° 5.3**  
**Determinación Iterativa de  $T_w$**

Iteración	$T_w$ asumido	$T_w$ calculado
1	77	73,64
2	73	74,61
3	83	71,5
4	80	72,77
5	73,5	73,498

**Fuente: Elaboración Propia**

A la temperatura  $T_w = 73,5$  °C el valor calculado del coeficiente conectivo es

$$h_i = h_c = 7026,54 \frac{w}{m^2 - K}$$

### Calculo del coeficiente conectivo de transferencia de calor por sub-enfriamiento en las superficies interiores

Temperatura promedio de fluido para el enfriamiento

$$T_b = \frac{T_e + T_s}{2} = \frac{87 + 30}{2} = 58,5^\circ C$$

$$T_f = \frac{T_b + T_w}{2} = \frac{58,5 + 73,5}{2} = 66^\circ C$$

Las propiedades del fluido a la temperatura de película son:

$$\rho_L = 979,675 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$k_L = 0,66 \text{ (W/m - k)}$$

$$\mu_L = 0,426 \cdot 10^{-3} \text{ (N*s/m}^2\text{)}$$

$$Pr = 2,7$$

$$\beta = 0,555 \cdot 10^{-3} \text{ (K}^{-1}\text{)}$$

Con estos valores calculamos el número de Grashof y posteriormente el número de Rayleigh

$$Gr = \frac{\rho^2 * g * \beta}{\mu^2} * (T_w - T_b) * L_c^3 \quad (5.18)$$

$$Gr = \frac{978,95^2 * 9,8 * 0,555 * 10^{-3}}{(0,426 * 10^{-3})^2} * (73,5 - 66) * 0,0508^3 = 28240558,56$$

$$Ra = Gr * Pr \quad (5.19)$$

$$Ra = 51574783,98 * 2,7 = 76249508,11$$

Se calcula el número de Nusselt según los grupos adimensionales ya calculados y la siguiente expresión

$$Nu = 0,36 + \frac{0,518 * Ra^{\frac{1}{4}}}{(1 + (\frac{0,559}{Pr})^{\frac{9}{16}})} \quad (5.20)$$

$$Nu = 0,36 + \frac{0,518 * (76249508,11)^{\frac{1}{4}}}{\left(1 + \left(\frac{0,559}{2,7}\right)^{\frac{9}{16}}\right)^{\frac{4}{9}}} = 41,87$$

$$Nu = \frac{h_e * L_c}{k} \quad (5.21)$$

$$h_e = \frac{Nu * k}{L_c} = \frac{41,87 * 0,66 * \frac{W}{m * K}}{0,0508 m} = 544,1 \frac{W}{m^2 * K}$$

$$h_e = 544,1 \frac{W}{m^2 * K}$$

**Calculo del coeficiente conectivo de transferencia de calor del refrigerante**

$$T_b = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{16 + 40}{2} = 28 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$T_f = \frac{T_b + T_w}{2} = \frac{28 + 73,5}{2} = 50,75 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Las propiedades del fluido a la temperatura de película son:

$$\rho_L = 988,1 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$k_L = 0,644 \text{ (W/m - k)}$$

$$\mu_L = 0,547 * 10^{-3} \text{ (N*s/m}^2\text{)}$$

$$C_{pL} = 4181 \text{ (KJ/Kg - }^\circ\text{K)}$$

La tubería exterior por donde circula el refrigerante es de 4", las dimensiones figuran en la Tabla 4-13.

Para la tubería exterior el área interna es:

$$A_i = \frac{\pi}{4} d_i^2 = \frac{\pi}{4} * (0,1016 m)^2 = 8,10 * 10^{-3} m^2$$



El área externa es:

$$A_e = \frac{\pi}{4} d_e^2 = \frac{\pi}{4} * (0,1068 \text{ m})^2 = 8,96 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

El área de circulación del refrigerante será

$$A_{\text{circulacion}} = A_{\text{interna}}^{\text{refrigeracion}} - A_{\text{externa}}^{\text{evaporacion}} \quad (5.22)$$

$$A_{\text{circulacion}} = 8,96 * 10^{-3} - 8,10 * 10^{-3} = 0,86 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

La velocidad de circulación del refrigerante en el condensador es:

$$v = \frac{m_{H_2O}}{A_{\text{circulacion}} * \rho} \quad (5.23)$$

$$v = \frac{300 \left( \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right)}{0,86 * 10^{-3} * \left( 989,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)} = 352,68 \left( \frac{\text{m}}{\text{h}} \right) = 0,098 \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

Como el refrigerante circula a través de tubos concéntricos, es válido usar la siguiente expresión:

$$\frac{h}{C_p * G} \left( \frac{C_p * \mu}{k} \right)^{\frac{2}{3}} * \left( \frac{\mu_s}{\mu} \right)^{0,14} = \frac{0,023}{\left( \frac{D_h * G}{\mu} \right)^{0,2}} \quad (5.24)$$

Donde:

$\rho_L$  = Densidad de líquido (kg/m<sup>3</sup>)

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

$C_p$  = Capacidad calorífica del Fluido (KJ/Kg - °C)

$\mu$  = Viscosidad dinámica del fluido (N\*s/m<sup>2</sup>)

$\mu_s$  = Viscosidad dinámica del fluido a la temperatura de la pared (N\*s/m<sup>2</sup>)

k = Conductividad térmica del fluido [w/m-K]

$\mu$  = Viscosidad dinámica del líquido [N\*s/m<sup>2</sup>]

G = Flujo másico [Kg/m<sup>2</sup>-s]

$D_h$  = Diámetro hidráulico [m]

A  $T_w = 69^\circ\text{C}$  el valor de  $\mu_s$  es  $0,404 * 10^{-3}$  [N\*s/m<sup>2</sup>]

El flujo másico G se determina mediante la siguiente expresión

$$G = v * \rho \quad (5.25)$$

$$G = 0,098 \left(\frac{m}{s}\right) * 988,1 \left(\frac{kg}{m^3}\right) = 96,8 \frac{kg}{m^2 - s}$$

El diámetro hidráulico viene dado por:

$$D_h = D_2 - D_1 \quad (5.26)$$

Dónde:

$D_2$  = Diámetro interno del tubo exterior de 4" [m]

$D_1$  = Diámetro externo del tubo interior de 2" [m]

Reemplazando valores presentados en la Tabla 4-13.

$$D_h = 106,8 - 55,6 = 51,2 \text{ m}$$

Sustituyendo datos en la ecuación Ec. 4-22.  $\frac{h}{C_p * G} \left(\frac{C_p * \mu}{k}\right)^{\frac{2}{3}} * \left(\frac{\mu_s}{\mu}\right)^{0,14} = \frac{0,023}{\left(\frac{D_h * G}{\mu}\right)^{0,2}}$

$$\frac{h}{4181 * 126,47} \left(\frac{4181 * 0,547 * 10^{-3}}{0,644}\right)^{\frac{2}{3}} * \left(\frac{0,391 * 10^{-3}}{0,547 * 10^{-3}}\right)^{0,14} = \frac{0,023}{\left(\frac{0,0512 * 126,47}{0,547 * 10^{-3}}\right)^{0,2}}$$

$$h = h_o = 677,55 \frac{w}{m^2 - K}$$

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

Coeficiente global de transferencia de calor por condensación

$$U_c = \frac{h_c * h_o}{h_c + h_o} \quad (5.27)$$

$$U_c = \frac{7026,54 * 677,55}{7026,54 + 677,55} = 617,96 \left(\frac{w}{m^2 - K}\right)$$

Coeficiente global de transferencia de calor por subenfriamiento:

$$U_e = \frac{h_e * h_o}{h_e + h_o} \quad (5.28)$$

$$U_e = \frac{544,11 * 677,55}{544,11 + 677,55} = 301,77 \left(\frac{w}{m^2 - K}\right)$$

Después de un período de operación las superficies de transferencia de calor de un intercambiador de calor sufren un recubrimiento por depósitos presentes en las corrientes, o

las superficies pueden corroerse. Por lo tanto estas capas suponen una resistencia adicional al flujo de calor. El efecto global se representa generalmente mediante un factor de suciedad, o resistencia de suciedad  $R_f$  ( $0.00009 \text{ m}^2/\text{w-K}$  para el vapor de agua)<sup>28</sup>.

$$R_f = \frac{1}{U_{sucio}} - \frac{1}{U_{limpio}} \quad (5.29)$$

Tomando en cuenta el factor de suciedad para los coeficientes calculados se tiene:

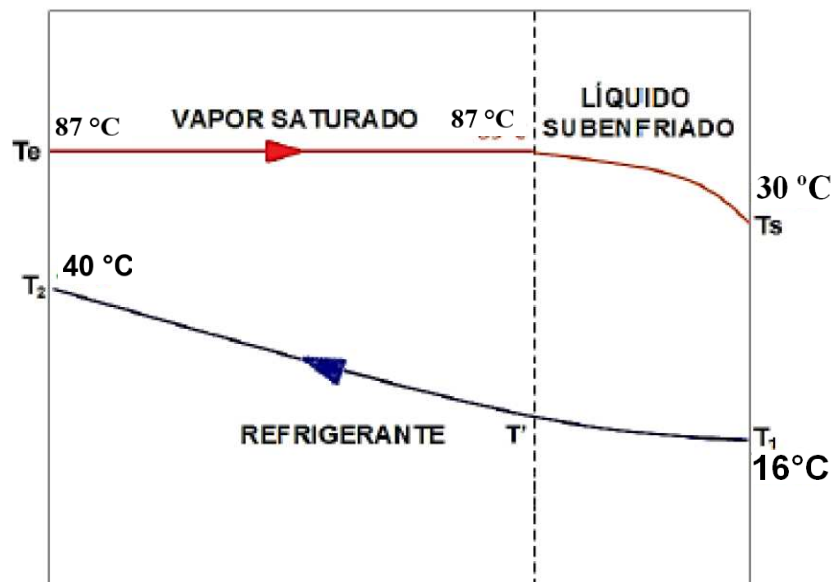
$$0,00009 = \frac{1}{U_{sucio}} - \frac{1}{749,62} \quad U_{c,sucio} = 638,61 \frac{\text{w}}{\text{m}^2 - \text{K}}$$

$$0,00009 = \frac{1}{U_{e,sucio}} - \frac{1}{330,1} \quad U_{e,sucio} = 293,79 \frac{\text{w}}{\text{m}^2 - \text{K}}$$

**Cálculo de la Diferencia de Temperatura Media Logarítmica (LMTD).**

**Figura N° 5.3**

**Perfil de temperaturas en el condensador**



**Fuente: Elaboración Propia**

<sup>28</sup> Holman, J. (1998) Transferencia de calor (Octava ed.) Madrid: McGraw Hill

Para poder calcular los valores de las diferencias de temperatura medias logarítmicas de condensación y sub-enfriamiento es necesario conocer la temperatura  $T^l$ , es posible estimar este mediante un balance de energía.

$$q_{refrigerante} = -q_{condensacion}$$

$$300 \left( \frac{kg}{h} \right) * 4184 \left( \frac{J}{Kg - ^\circ C} \right) * (T^l - T_1) = -0,58 \frac{Kmol}{h} (-3,44 * 10^7 \frac{J}{Kmol})$$

$$T^l - T_1 = 15,9^\circ C$$

$$T^l = 15,9^\circ C + 16^\circ C = 31,9^\circ C$$

Entonces:

$$LMDT_c = \frac{(87 - 31,9) - (87 - 40)}{\ln \frac{(87 - 31,9)}{(87 - 40)}} = 50,94 (^\circ C)$$

$$LMDT_e = \frac{(30 - 16) - (87 - 31,9)}{\ln \frac{(30 - 16)}{(87 - 31,9)}} = 30(^\circ C)$$

$$q_{vapor+aceite} = 0,58 \frac{kmol}{h} * (-0,428 * 10^7 - 3,44 * 10^7) \frac{J}{Kmol} = -2,243 * 10^7 \frac{J}{h}$$

**Cálculo de las áreas de transferencia de calor.**

$$A_c = \frac{q_s}{U_{c,sucio} * LMDT_c} = \frac{5542,22}{638,61 * 50,94} = 0,17(m^2)$$

$$A_e = \frac{q_l}{U_{e,sucio} * LMDT_e} = \frac{689,56}{293,79 * 30} = 0,078 (m^2)$$

$$A_T = A_c + A_e = 0,248 m^2$$

**Cálculo de la longitud del condensador**

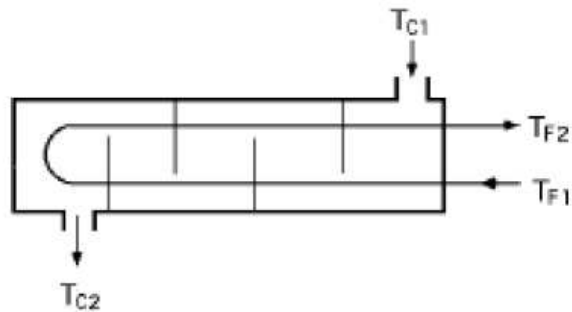
$$L = \frac{A_T}{\pi * D_e} \quad (5.29)$$

$$L = \frac{0,248}{\pi * 0,1016} = 0,78m$$

$$L = 0,78 m$$

Al ser nuestro intercambiador en contra corriente el factor de corrección F está en función de dos variables P y Z las cuales permiten obtener la diferencia media de la temperatura como una función de F (P,Z) y de la temperatura logarítmica media calculada para el caso de flujos en contracorriente ANEXO G.

**Figura N° 5.4**  
**Condensador de flujo a contracorriente**



**Fuente: Elaboración Propia**

Dónde:

Coeficiente de Efectividad

$$P = \frac{T_{F1} - T_{F2}}{T_{F1} - T_{C1}} \quad (5.30)$$

Relación de Capacidades Térmicas

$$Z = \frac{T_{C1} - T_{C2}}{T_{F2} - T_{F1}} \quad (5.31)$$

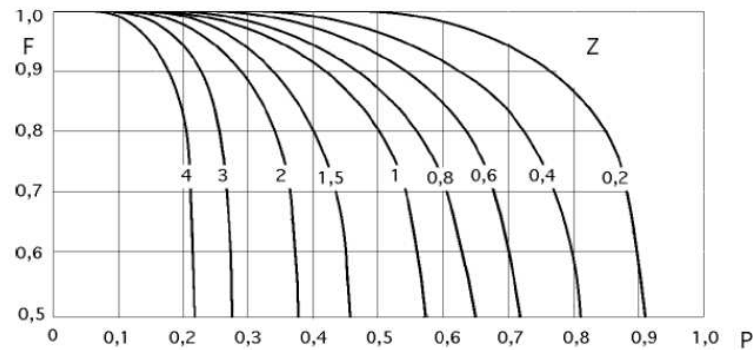
Reemplazando valores

$$P = \frac{30 - 87}{16 - 87} = 0,704$$

$$Z = \frac{T_{C1} - T_{C2}}{T_{F2} - T_{F1}} = 0,42$$

Mediante la gráfica representada en las Fig. 5.34 en las que el eje de abscisas es el valor de P y la ordenada en cada una de ellas es el factor de corrección F correspondiente a este caso estudiado, para distintos valores de Z. El coeficiente de efectividad P es un indicativo de la eficiencia del intercambio térmico.

**Figura N° 5.5**  
**Diagrama para la corrección de longitud del condensador**



**Fuente: Yunus Cenjel – Transferencia de Calor**

De modo que el factor de corrección es: **F = 0,81**

Entonces el cálculo de la nueva área será:

$$A_c = \frac{q_s}{U_{c,sucio} * LMDT_c} = \frac{5242,22}{638,61 * 0,81 * 50,94} = 0,199 (m^2)$$

$$A_e = \frac{q_l}{U_{e,sucio} * LMDT_e} = \frac{689,56}{293,79 * 0,81 * 30} = 0,096 (m^2)$$

$$A_T = A_c + A_e = 0,295$$

La longitud del condensador para un intercambiador en contracorriente con un paso de carcasa y dos pasos de tubos será:

$$L = \frac{0,295}{2 * \pi * 0,1016} = 0,46 \text{ m}$$

## 5.6. SELECCIÓN DE LA BOMBA

La selección de una bomba se cimienta principalmente en el requerimiento volumétrico y las condiciones del fluido a bombear. El agua requerida para la refrigeración se encuentra a 18°C.

$$m_{H_2O} = 300 \frac{Kg}{h}$$

Propiedades del agua a 16°C:

$$m_{H_2O} = 999 \frac{Kg}{m^3}$$

**Cálculo del caudal requerido.**

$$300 \frac{Kg}{h} * \frac{1m^3}{999,0 Kg} * \frac{1000 l}{1m^3} * \frac{1 h}{60 min} = 5,01 \frac{l}{min}$$

**Calculo de la carga de succión neta positiva (NPSH).**

$$NPSH = h_{SP} \pm h_s - h_f - h_v \quad (5.32)$$

Donde:

$h_{SP}$  = Carga de presión estática sobre el fluido en el almacenamiento [m]

$h_s$  = Diferencia de elevación desde el nivel del fluido a la línea central de la entrada de succión de la bomba [m].

$h_f$  = Perdida de carga en la tubería de succión, debido a la fricción y perdidas menores [m]

$h_v$  = Carga de presión de vapor de líquido a la temperatura de bombeo [m]

Se considera la presión atmosférica de diseño igual a la presión barométrica de La Paz.

$$h_{SP} = \frac{0,495 * 13,6}{0,999} = 6,73 (m)$$

La presión de vapor del agua a 18°C es 15,5 mmHg.

$$h_v = \frac{0,0155 * 13,6}{0,999} = 0,21 (m)$$

Finalmente la superficie del líquido en el tanque de almacenamiento respecto a la entrada de la línea de succión es de +0,9m. En este caso se desprecia las perdidas en la tubería de succión ya que estas pérdidas son menores comparados con los demás parámetros.

$$NPSH = 6,73 + 0,9 - 0 - 0,21 = 7,42 (m)$$

Para el adecuado funcionamiento del sistema, se requiere una bomba con un caudal de 5,01 [l/min], una altura máxima de succión 8 [m] y de potencia 0,8 [HP].

## CAPITULO VI

## ANALISIS DE COSTOS

## 6.1. COSTO DE MATERIA PRIMA

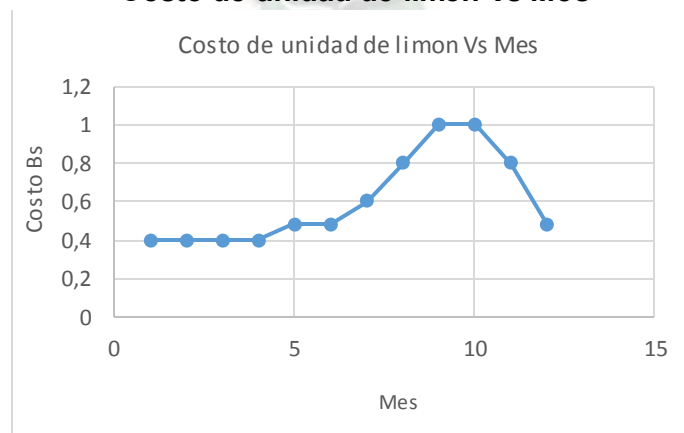
El citrus limón en el mercado boliviano varía con sus costos en algunos meses, sin embargo lo que hace factible este proyecto es que el limón tiene un árbol reflorescente en todo el año.

**Tabla N° 6.1**  
**Costos del limón en el mercado boliviano**

n	Mes	Costo por 1 limón en el mercado (Bs)	Costo por 1 limón del Proveedor (bs)
1	Enero	0,4	0,25
2	Febrero	0,4	0,25
3	Marzo	0,4	0,25
4	Abril	0,4	0,25
5	Mayo	0,48	0,33
6	Junio	0,48	0,33
7	Julio	0,6	0,45
8	Agosto	0,8	0,65
9	Septiembre	1	0,85
10	Octubre	1	0,85
11	Noviembre	0,8	0,65
12	Diciembre	0,48	0,33

Fuente: Elaboración Propia

**Figura N° 6.1**  
**Costo de unidad de limón Vs Mes**



Fuente: Elaboración Propia

**Interpretación.** Como se observa en el gráfico en el mes de agosto hasta el mes de noviembre el limón tiene un costo elevado, esto se debe a que en Bolivia es invierno.



Para el diseño del equipo se determinó 26,6 kg de cascara de limón. De 100 limones sale 1100 g de cascara de limón aproximadamente.<sup>28</sup>

$$26,6kg * \frac{1000gr}{1kg} * \frac{100 \text{ limones}}{1100g} = 2418,2\text{limones} \cong 2419 \text{ limones}$$

Se necesita 2419 limones para 26,6 kg de cascara de limón. En la siguiente tabla puede ver el incremento y decremento del precio en los meses para 26,6 kg.

**Tabla N° 6.2**  
**Costo de la cascara de limón**

n	Mes	Precio (Bs)
1	Enero	604,75
2	Febrero	604,75
3	Marzo	604,75
4	Abril	604,75
5	Mayo	798,27
6	Junio	798,27
7	Julio	1088,55
8	Agosto	1572,35
9	Septiembre	2056,15
10	Octubre	2056,15
11	Noviembre	1572,35
12	Diciembre	798,27

**Fuente: Elaboración Propia**

## 6.2. COSTO DEL EQUIPO

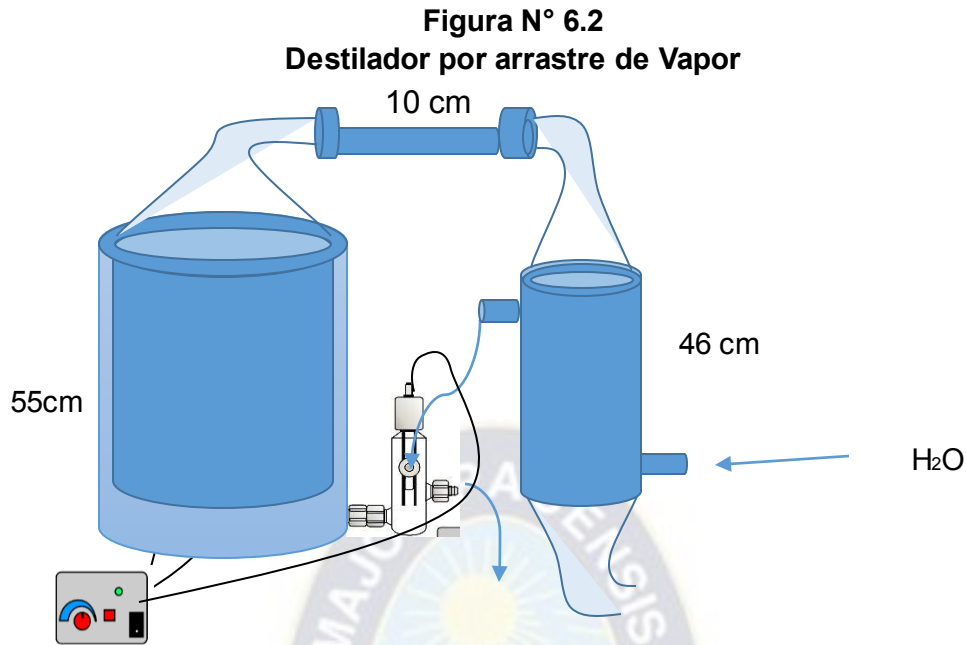
Extractor por arrastre de vapor, Bench scale compuesto de cámara de extracción de acero inoxidable de 31,6 litros de capacidad.<sup>29</sup>

**Tabla N° 6.3**  
**Costos del Equipo Diseñado**

Parte del Equipo	Costo (\$)
Cámara de extracción	1500
Condensador	1200
Fuente eléctrica	500
Florentino	300
Total	3500

**Fuente: Taller Simón Shendler**

<sup>29</sup> Laboratorio de Ciencias Químicas – UMSA



Fuente: Elaboración Propia

### 6.3 COSTO DE PRODUCCION

#### 6.3.1. Agua

El caudal másico del agua es de 300 (kg/h) y con el tiempo de operación de 2,46h obtenemos el volumen.<sup>30</sup>

$$300 \frac{kg}{h} * \frac{1m^3}{999kg} * 2,46h = 0,74m^3$$

El costo del agua es de 1 m<sup>3</sup> por 2,24 Bs<sup>(28)</sup>

$$0,74m^3 * \frac{2,24 Bs}{1m^3} = 1,65 Bs$$

#### 6.3.2. Luz

Según el diseño se necesita 11,08 kw de energía para el caldero y un tiempo de operación de 2,46h.<sup>31</sup>

$$11,08 kw * 2,46 h = 27,25Kw - h$$

El costo de la luz es de 1,23 Kw-h por 1bs<sup>(31)</sup>

$$27,25 Kw - h * \frac{1 Bs}{1,5 Kw - h} = 18,17 Bs$$

<sup>30 - 31</sup> EPSAS – Empresa encargad del suministro de agua en La Paz - DE LAPAZ

Una vez analizado se resume los costos en la siguiente tabla.

**Tabla N° 6.4**  
**Costo de producción para 100ml**

Ítem	Costo (Bs)
Agua	1,65
Energía Eléctrica	18,17
Materia Prima	1000
Envase	5
Total	1036,8

Fuente: Elaboración Propia

### 6.4 COSTO DE ACEITE DE LIMON EN EL MERCADO NACIONAL E INTERNACIONAL

El costo del aceite esencial de limón varía en distintos países

**Tabla N° 6.5**  
**Costos del aceite de limón**

Donde por 98\$ es 15ml CADA 1ml está a 45,3bs

**Argentina**



Donde por 95\$ es 15ml CADA 1ml está a 44,3bs

**Argentina - Buenos Aires**



Donde por 81\$ es 15ml CADA 1ml está a 37,8bs

**Bolivia - Cochabamba**



Donde por 175\$ es 10ml CADA 1ml está a 122,5bs



Donde por \$ es 15ml CADA 1ml está a 44,3bs

**Argentina - Buenos Aires**



Fuente: Internet Google – Facebook

### 6.5. Costo de Producción de Aceite de limón por hectáreas.

En la tabla 6.6 se puede apreciar los sectores más productores en la ciudad de La Paz.

**Tabla 6.6**  
**Cantidad de Producción de los municipios más productores de La Paz**

Sector de Producción	Hectáreas	Cantidad de Cosecha (Kg)	Arboles de Limón cosechados
Alto Beni	32,4	87220	1091
Apolo	2,5	1280	16
Caranavi	11,8	27380	343
Coroico	2,8	2120	27
Guanay	28,5	53480	669
La Asunta	8,9	23490	294
Teoponte	8,7	9660	121
Palos Blancos	49,5	127.210	1591

Fuente: Instituto Nacional de Estadística INE (2016)

El limón es una planta que se cosecha todo el año, se cosecha cada 4 meses, y por cada árbol de limón se obtiene 80 kg de una planta<sup>32</sup>

$$2692 \frac{Kg}{ha} * \frac{1 \text{ limon}}{0,07kg} * \frac{1100gr \text{ cascara}}{100 \text{ limones}} * \frac{0,332 \text{ gr aceite}}{100gr \text{ cascara}} * \frac{1 \text{ ml}}{0,857 \text{ gr aceite}} * \frac{1 \text{ litro}}{1000ml} = 1,64 \frac{\text{litros de ac}}{ha}$$

$$1,64 \frac{\text{litros}}{ha} * \frac{1000 \text{ ml aceite}}{1 \text{ litros}} * \frac{10,36 \text{ bs}}{1 \text{ ml}} = 16.990,4 \frac{Bs}{ha}$$

En el nivel internacional

**Tabla 6.7**  
**Costos por hectárea a nivel internacional**

Lugar	Costo por 1 ml de aceite	Costo por hectárea (Bs/Ha)
Argentina	45,3 Bs	79220,36
Argentina (Buenos Aires)	44,3 Bs	72581,94
Bolivia (Cochabamba)	37,8 Bs	61932,22
Facebook	122,5 Bs	200706,27
Facebook	44,3 Bs	72581,94

Fuente: Elaboración Propia

<sup>32</sup> Instituto Nacional de Estadística

## CAPITULO VII

### 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- **CONCLUSIONES.**

De los resultados obtenidos y posterior análisis se tiene las siguientes conclusiones:

- ✓ **DE LA CARACTERIZACION DE LA MATERIA PRIMA**

- Se realizó la caracterización de la cascara de limón con las Normas Bolivianas y procedimientos en distintos laboratorios, dando los resultados como resultados, 74,28% humedad, 3,87% cenizas y densidad real 0,842 g/m<sup>3</sup>, densidad aparente 0,0917 g/m<sup>3</sup> y fracción de vacío 0,0995.

- ✓ **DE LA IDENTIFICACION DE VARIABLES DEL PROCESO Y DISEÑO EXPERIMENTAL.**

- Se logró identificar las variables de mayor influencia en el proceso de extracción, las cuales son el tamaño de partícula (Li= 2cm, Ls=30 cm), tiempo de extracción (Li= 1h, Ls= 3h).
- Se seleccionó un diseño factorial 2<sup>k</sup> con 2 variables de estudio, 12 experimentos con 3 réplicas de cada uno respectivamente.
- Se identificó a través del ANOVA las interacciones más significativas correspondientes al tamaño de partícula (Tp), tiempo de extracción (Te), y la interacción entre el tamaño de partícula y el tiempo de extracción (Tp\*Te) con el diseño 2<sup>2</sup>, los cuales dieron una ecuación para el rendimiento en términos de valores actuales .
- Se determinó a través del diseño experimental y la gráfica de superficie de respuesta que las mejores condiciones del proceso corresponden a un tamaño de partícula de 16 cm y un ancho de 0,8 cm, tiempo de extracción de 2,46 horas, condiciones bajo las cuales el modelo predice un rendimiento del aceite esencial teórico de 0,310%.

- ✓ **DE LA CARACTERIZACION DEL ACEITE ESENCIAL DE LIMON.**

- Se calculó el rendimiento experimental del aceite esencial en las mejores condiciones de operación, el cual presentó un valor de 0.322%.

- Se determinó las propiedades físicas del aceite esencial, densidad relativa de 0.857 e índice de refracción de 1.47.
- Se identificó a través de la cromatografía gaseosa y la espectrofotometría de masas la presencia de dos principios activos como ser el Limoneno (54,64%) y el Terpireno (13,96%).

✓ **DEL DISEÑO DEL EQUIPO.**

- Se determinó que para obtener 100 ml de aceite esencial se necesita 26,6 Kg de material vegetal, en función al rendimiento del aceite esencial obtenido experimentalmente, realizando el diseño experimental previo, donde la columna de extracción cuenta con un volumen de 31,6 litros a nivel Bench Scale, una altura de 0,546 m y un diámetro de 0,273 m, diseñado de acuerdo a la norma ASME sección VIII.
- Se consideró el condensador de una sola fase ya que los rendimientos de aceite son bajos y existe más vapor de agua. Se calculó la longitud del condensador el cual obtuvo 0,46 (m) con un paso de carcasa y dos pasos de tubos.
- Se determinó que el sistema requiere una bomba con un caudal de 5,01 [l/min] de 0,8 [HP] de potencia.

✓ **ANALISIS DE COSTOS**

- Se determina que el costo de producción para 100ml de aceite de limón, se necesitan 2419 limones y el costo es de 1036,8 bs, entonces el costo de 1 ml de aceite esencial de limón a 10,4 bs. Lo cual es factible ya que en el mercado internacional oscila entre 37 bs a 46 Bs por 1ml
- Se determina el costo por la producción por hectárea 16.990,4 Bs/Ha y comparando con los costos de los otros países se nota un incremento alto.

➤ **RECOMENDACIONES.**

- Realizar estudios para el aprovechamiento de los residuos que presenta el presente proyecto (pulpa).

- Realizar estudios para la refinación del aceite esencial, de sus compuestos principales y su aplicación industrial.
- Estudiar la factibilidad del escalamiento y diseño de un equipo a nivel industrial para la extracción de aceites esenciales.
- Realizar estudios complementarios viendo la posibilidad de incrementar el rendimiento a través del monitoreo y control de la materia prima en diferentes temporadas de cosecha.



## BIBLIOGRAFIA

- FAOSTAT Estadística de la Organización para la Alimentación y la Agricultura (2015)
- Trade Map, Estadística de comercio para el desarrollo Internacional de las Empresas (2015)
- GARCIA, H., "Esencias Naturales", Ediciones Aguilar S.A. España (1953)
- Cortez – Sillerico "Estudio del proceso de obtención del aceite esencial de coca"
- García Roció "Obtención de aceite de citronela" Universidad Tecnológica Nacional
- Encinas Riveros "Estudio y Obtención de Aceite Esencial de Albahaca por arrastre de vapor" UMSA
- Miranda "Obtención de aceite esencial de eucalipto por arrastre de vapor" UMSA
- Carvajal D. William "Industrialización del Limón" Universidad Mayor de San Andrés
- Instituto Nacional de Estadística (INE) 2015
- Albaladejo Meroño "Aceite Esencial de limón producido en España" Universidad de España
- García Roció "Obtención de aceite esencial de citronela" Universidad Tecnológica Nacional
- Código ASME, Diseño, construcción e inspección de tanques y recipientes a presión
- IBNORCA. (2000). *NB 164. Determinación de la densidad relativa a 20°C*. La Paz.
- IBNORCA. (2012). *NB 75007. Determinación del índice de refracción*. La Paz.
- Aguirre, G. (2006). *Plantas medicinales utilizadas por los indígenas Moseten-Tsimane' de la comunidad de Asunción de Quiquibey, en la RB-TCO Pilon Lajas, Beni, Bolivia*. La Paz: Universidad Mayor de San Andrés.
- Alto, T. (2009). *Steam and Combustion – Common boiler Formulas*. Oslo: Editorial Steam and Combustion Technology Inc.
- Amadi, J. S. (2010). *Antifungal properties and phytochemical screening of extracts of Basil*. Agriculture and Biology Journal of North America.
- Bezdolny y Kostylev, C. (1995). *Agriculture and Biology Journal in South America*.
- Bozin, B. M.-D. (2006). *Characterization of the volatile composition of essential oils of some Lamiaceae spices and the antimicrobial and antioxidant activities of the entire oils*. Journal of Agriculture and Food Chem.
- Cengel, Y. G. (2011). *Transferencia de Calor y Masa*. Mexico DF: McGraw-Hill.
- De León, T. (2005). *Extracción de aceite esencial crudo de hierbabuena (mentha citrata ehrh.) con la aplicación del método de extracción por arrastre con vapor variando los tamaños de muestra y humedad a partir de pruebas a nivel laboratorio*. Guatemala.
- E. Carrilho, M. T. (2011). *Fluidos supercríticos em química analítica. Cromatografía com fluido Supercrítico*. Parana: Hoguera.
- Elizabeth, V. M. (2010). *Extracción de materias primas vegetales*. Brasilia: 1996.
- Enciso A, J. (2004). *Producción y comercialización de plantas aromáticas y especias*. Lima.
- Fundación Export . (2010). *base a datos de FAO y Tradstatrveb*. Bogota.
- GILG, E. S. (1950). *Botánica Aplicada a la Farmacia*. Ed. Naciona.



- Girault, L. (1987). *Kallawaya, Curanderos Itinerantes de los Andes*. UNICEF-OPS-OMS. La Paz.
- GIT . (2014). *FORESTRY CONSULTING*. 93
- Guarachi, A. (2004). *Operaciones de separacion por lotes*. La Paz: Universidad Mayor de San Andres.
- GUPTA, M. (1995). *270 Plantas Medicinales Iberoamericanas*. Bogota: Cytod-Secab.
- Hites, R. (2011). *Gas chromatography with mass spectrometer*. New York: Phonema.
- Holman, J. (1998). *Transferencia de calor*. Madrid: McGraw Hil.
- Incropera, F. &. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. Mexico DF: Prentice Hal.
- INE. ( 2013). *Censo Agropecuario*.
- KIRK, R. (2010). *Enciclopedia de Tecnología Química*. México DF: Ed. Hispano América S.A.
- Kreith F., B. M. (1986). *PRINCIPLES OF HEAT TRANSFER*. Mexico DF: Continental.
- Lawless, J. .. (1995). *Aceites esenciales para aromaterapia*. Susaeta Ediciones S.A.
- Marca, C. (2015). *Modelado y Simulación de La Extracción Del Aceite Esencial De Romero (Rosmarinus officinalis)*. La Paz: UMSA.
- Miranda, E. (2015). *Extracción de aceite esencial de eucalipto*. La Paz: UMSA.

## ANEXO A

### Lista de Símbolos

#### Símbolos

m	(g)	masa
v	[ml]	volumen
d	[g/ml]	densidad
T	[°C]	temperatura
Rend	[%]	rendimiento
t	[min]	tiempo
Q	[ml/s]	flujo de vapor
L	[cm]	longitud de la cascara de limón
H	[%]	humedad
Tc	[°K]	temperatura crítica
<i>m</i>	[Kg/h]	flujo másico del agua
Cp	[KJmol <sup>o</sup> C]	capacidad calorífica
<i>λTeb</i>	[KJmol ]	calor latente de ebullición
n	[Kmol/h]	flujo molar
Ti	[°K]	temperatura inicial del agua
Tf	[°K]	temperatura final de ebullición del agua
Tr		temperatura reducida adimensional
<i>QSENSIBLE</i>	[Jh]	Calor sensible
<i>QTOTAL</i>	[Jh]	Calor total requerido para la ebullición del agua
P	mm	Espesor de la lámina de acero INOX
H	[cm]	altura del caldero
D	[cm]	diámetro
[g]		masa de materia prima
[ml]		volumen de materia prima
<i>ρ</i>	[g/ml]	densidad aparente
<i>Vreal</i>	[m <sup>3</sup> ]	volumen real de la columna de extracción
<i>Vcilindro</i>	[m <sup>3</sup> ]	volumen del extractor
r	[cm]	radio del extractor
h	[cm]	altura del extractor
D	[cm]	diámetro del extractor
<i>θinterno camara</i>	[mm]	diámetro interno de la cámara del extractor
<i>ecamara espacio</i>	[mm]	espesor de la cámara de espacio del extractor
<i>Qutil</i>	[KJKg/]	calor contenido en el vapor
<i>Qsumministrado</i>	[KJKg/]	calor suministrado por la resistencia
<i>η</i>	[%]	rendimiento de la caldera
F	[g/s]	flujo másico
M	[gmol/]	peso molecular del agua
Uc	[Wm <sup>2</sup> °C]	coeficiente global de transferencia de calor limpio

## Símbolos

Ud	[Wm <sup>2</sup> °C]	coeficiente global de transferencia de calor sucio
Ts	[°C]	Temperatura de salida
t1	[°C]	Temperatura de entrada del agua al condensador
t2	[°C]	Temperatura de salida del condensador
ρ	[Kg/m <sup>3</sup> ]	Densidad del agua
V	[m <sup>2</sup> /s]	Viscosidad del agua
K	[W/m°C]	Coeficiente de conductividad
Pr		Numero de prand adimensional
U	[W/m <sup>2</sup> °C]	Coeficiente de transferencia de calor total
hi	[W/m <sup>2</sup> °C]	Coeficiente de transferencia de calor por convección
ho	[W/m <sup>2</sup> °C]	Coeficiente de transferencia de calor por convección
Dh	[m]	Diámetro hidráulico
t <sub>2</sub>	[°C]	temperatura de salida del condensador
ρ	[Kg/m <sup>3</sup> ]	Densidad del agua
v	[m <sup>2</sup> /s]	viscosidad del agua
k	[W/m °C]	coeficiente de conductividad térmica del agua
Pr		numero de prand adimensional
U	$\left[ \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$	Coeficiente de transferencia de calor total
h <sub>i</sub>	$\left[ \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$	coeficiente de transferencia de calor por convección interior
h <sub>o</sub>	$\left[ \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$	coeficiente de transferencia de calor por convección exterior
D <sub>h</sub>	[m]	Diámetro hidráulico
De	[m]	diámetro externo
D <sub>i</sub>	[m]	diámetro interno
V	[m/s]	velocidad media del agua en el tubo
Ac	[m <sup>2</sup> ]	área del condensador
Re		reynolds numero adimensional
Nu		nusselt , valor adimensional
h	$\left[ \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$	Coeficiente convectivo
ΔT <sub>1</sub>	[°C]	Variación de temperatura de los flujos de entrada al condensador
ΔT <sub>2</sub>	[°C]	Variación de temperatura de los flujos de salida al condensador
ΔT <sub>ml</sub>	[°C]	Diferencia media logarítmica
As	[m <sup>2</sup> ]	Área superficial del condensador
L	[cm]	Longitud del condensador

## Símbolos

Di	[cm]	diámetro interno del cilindro interno del florentino
Hi	[cm]	altura del cilindro interno del florentino
Ace	[cm <sup>2</sup> ]	área del cilindro externo del florentino
Db	[cm]	diámetro de la base del florentino
Hcono	[cm]	altura del cono formado en la parte superior del florentino
H cext	[cm]	altura del cilindro externo del florentino
t	[m]	espesor mínimo del material
R	[m]	radio interior del extractor
S	[N/m <sup>2</sup> ]	esfuerzo disponible máximo del material
$POT_{nominal-resistencia}$	[W]	potencia nominal del calentador de la resistencia
$q_{max}$	[W/m <sup>2</sup> ]	flujo máximo de calor
$C_{cr}$		constante adimensional depende de la configuración geométrica del calentador
$h_{fg}$	[J/Kg]	entalpía de vaporización
$\sigma$	[N/m]	tensión superficial de la interfase líquido-vapor
$g$	[m/s <sup>2</sup> ]	aceleración gravitacional
$\rho_v$	[Kg/m <sup>3</sup> ]	densidad del vapor agua a la temperatura de saturación
$\rho_l$	[Kg/m <sup>3</sup> ]	densidad del agua a la temperatura de saturación
$\mu_l$	[Kg/m.s]	viscosidad del agua a la temperatura de saturación
$Pr_l$		numero de prand del líquido a la temperatura de saturación
$C_{pl}$	[J/Kg.°C]	calor específico del agua a la temperatura de saturación
$C_{sf}$		constante adimensional de acuerdo a la combinación fluido-superficie de calentamiento
$n$		constante adimensional de acuerdo a la combinación fluido-superficie de calentamiento
L	[m]	dimensión característica del calentador
L*		parámetro adimensional
$K_1$		constante adimensional para determinar el valor $C_{cr}$
Pmax	[ $\frac{Lbf}{pulg^2}$ ]	presión máxima de operación
Tmax	[°C]	temperatura máxima de operación

## ANEXO B

### Glosario de Términos

- FAOSTAT = Estadística de la Organización para la Alimentación y la Agricultura
- Trade Map = Estadística de comercio para el desarrollo Internacional de las Empresas
- Costo = Cantidad de dinero que cuesta una cosa
- Lixiviación = Extracción de la materia soluble de una mezcla mediante la acción de un disolvente líquido
- Vaso Florentino = Objeto en el cual se separa dos fases y se puede apreciar
- Cuarteo = Método con el cual se prepara la materia prima antes de su proceso de extracción
- Organoléptica = Descripciones de las características físicas que tiene la materia en general, y se puede percibir con los sentidos.
- Flavedo = Parte externa de la cascara de los cítricos
- Albedo = Parte interna de color blanco de los cítricos
- Corrosión = Se define como el deterioro de un material a consecuencia de un ataque ambiental, o efectos externos
- Densidad = Es la relación de masa de cuerpo a su volumen
- Mufla = Equipo parecido a un horno, que trabaja con altas temperaturas
- CV = Coeficiente de Variación
- IBNORCA = Instituto Boliviano de Normalización y Calidad, inspección y capacitación.
- Índice de refracción = Valor numérico que expresa la relación entre los senos de los ángulos de incidencia y refracción.

- G C = Cromatografía de Gases
- M – S = Espectrofotómetro de masas
- Humedad = Cantidad de agua en determinado lugar
- Dependientes = Son variables que dependen de otro factor
- Independientes = Son variables que no depende de nadie
- Iteración = Proceso de búsqueda para determinar algún parámetro
- ANOVA = Análisis de varias variables en un proceso
- Desing Expert = Programa para el diseño y análisis de procesos
- Porosidad = Espacios vacíos que tiene un objeto oh varias cosas
- Flujo másico = Cantidad de agua que pasa en un determinado tiempo
- Vapor = Es un compuesto en estado gaseoso que produce humedad
- SENAMHI = Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
- ASME = American Society of Mechanical Engineers

## **Anexo C**

### **NORMAS BOLIVIANAS**

#### **DETERMINACION DE CENIZAS POR EL METODO GRAVIMETRICO.**

Norma de IDEPRO

El método está basado en la destrucción de la materia orgánica presente en la muestra por calcinación y determinación gravimétrica del residuo, donde se efectuó el análisis en duplicado y Pesa al 0.1 mg en una cápsula previamente calcinada y tarada ( $m_2$ ) 2 gramos de muestra homogeneizada ( $m_1$ ). Se precalcino previamente la muestra en una placa 100 calefactora, evitando que se inflame, luego se colocó en la mufla y paso a ser incinerada a 550 °C por 8 horas, hasta cenizas blancas o grisáceas. Finalmente se dejó enfriar en desecador y pesar ( $m_2$ ) para mezclar cuidadosamente y completamente la muestra con la arena, mediante la varilla de vidrio.

El cálculo de las cenizas se dio por el siguiente cálculo:

Dónde:

$$\%_{Ceniza} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0}$$

$m_2$  = masa en gramos de la cápsula con las cenizas

$m_1$  = masa en gramos de la cápsula con la muestra

$m_0$  = masa en gramos de la cápsula vacía

#### **Norma Boliviana 164 DETERMINACION DE LA DENSIDAD RELATIVA**

La densidad relativa de un aceite esencial se entiende como el cociente entre la densidad absoluta del aceite esencial y la densidad absoluta del agua, estos valores deben estar determinados a una temperatura específica, en el caso de aceites este parámetro se expresa 20°C. Este término se usa de manera equivalente con el término peso específico.

Para su determinación, inicialmente se pesó el picnómetro vacío y seco. Se llenó con agua destilada recién hervida y enfriada y se lo mantuvo en un baño de agua a 20°C

hasta que alcance esta temperatura. Se retira el picnómetro y se procede a secarlo exteriormente.

Finalmente se pesa el picnómetro y su contenido. Posteriormente se vació y se secó el picnómetro para llenarlo con el aceite del Limón. Nuevamente se mantiene el picnómetro a una temperatura cercana a los 20°C en un baño con agua atemperada. Se seca cuidadosamente y se pesa el picnómetro con el aceite esencial.

La densidad relativa de la muestra se calcula con la siguiente formula:

$$\rho = \frac{m_2}{m_1(1 + a(t - 20))} * 100\%$$

Dónde:

m<sub>2</sub>= Masa en gramos del aceite o grasa

m<sub>1</sub>= Masa en gramos del agua

t = Temperatura del baño de agua en °C

a = Coeficiente de dilatación para el vidrio (0,00001 para el borosilicato).

### **Norma Boliviana 75007 DETERMINACION DEL INDICE DE REFRACCION.**

Se utiliza un refractómetro tipo Abbé o de otro tipo y antes de realizar las lecturas y se verifica que los prismas estén limpios y secos.

Se vierte unas gotas del aceite de esencial en el prisma inferior del refractómetro y se ajusta el prisma superior de tal forma de que exista una capa de muestra libre de burbujas entre los prismas. Se deja la muestra 3 minutos hasta que la muestra alcance la temperatura deseada.

Se hace girar los prismas hasta que el campo visual del refractómetro se divide en dos porciones, una oscura y otra iluminada, procurando que en la separación de ambas porciones no aparezca una banda de dispersión sino una línea nítida. Se ajusta la posición de esta línea de modo que pase por el punto de intersección de los hilos del retículo de la muestra de ensayo.



Como la lectura usualmente no se hace exactamente a la temperatura de referencia, se corrige el valor determinado empleando la siguiente ecuación:

$$i_D^{20} = i_D^t + k(t - 20)$$

Dónde:

$i_D^{20}$  = Índice de refracción de la muestra a 20°C

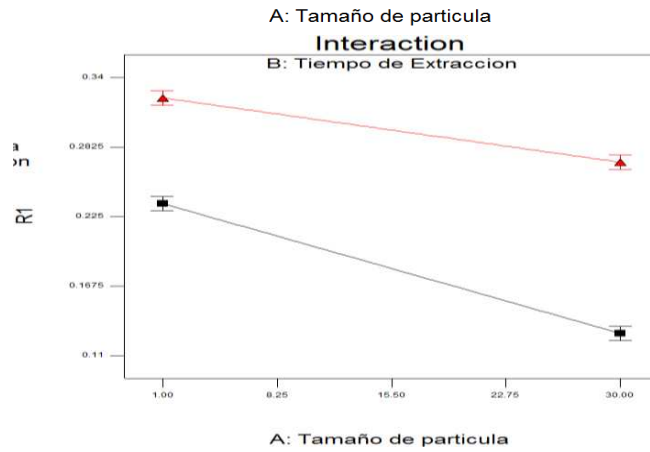
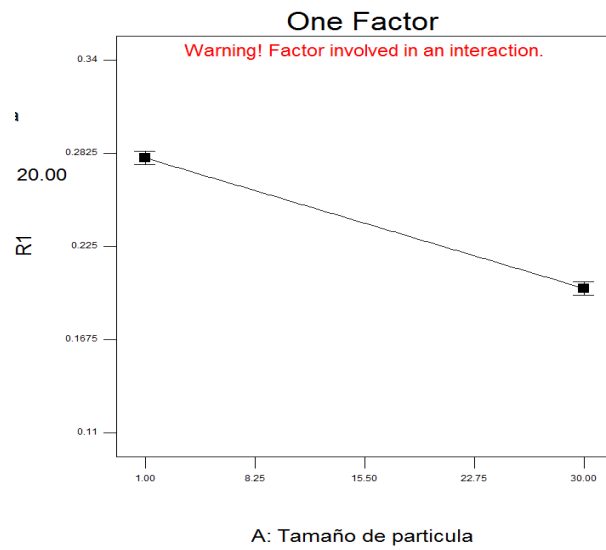
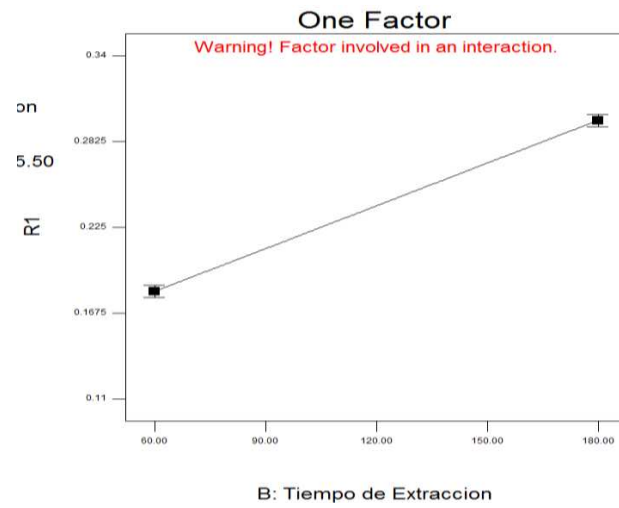
$i_D^t$  = Índice de refracción a la temperatura t

t = Temperatura real a la que fue hecha la lectura

K = Factor de corrección cuyo valor es de 0,000385 para los aceites.

# ANEXO D

## EFECTO DE LOS FACTORES A Y B EN EL PROGRAMA DESING EXPERT 7.0.



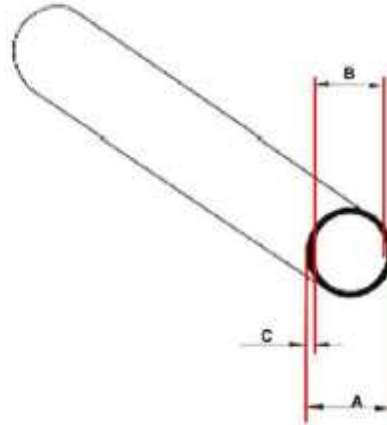
## ANEXO E TUBERIAS DE ACERO INOXIDABLE COMERCIAL

### SERIE INDUSTRIAL SCH. 5S / 10S

DIMENSIONES SEGUN ANSI-B 36.19  
ASTM A-269 / A-312

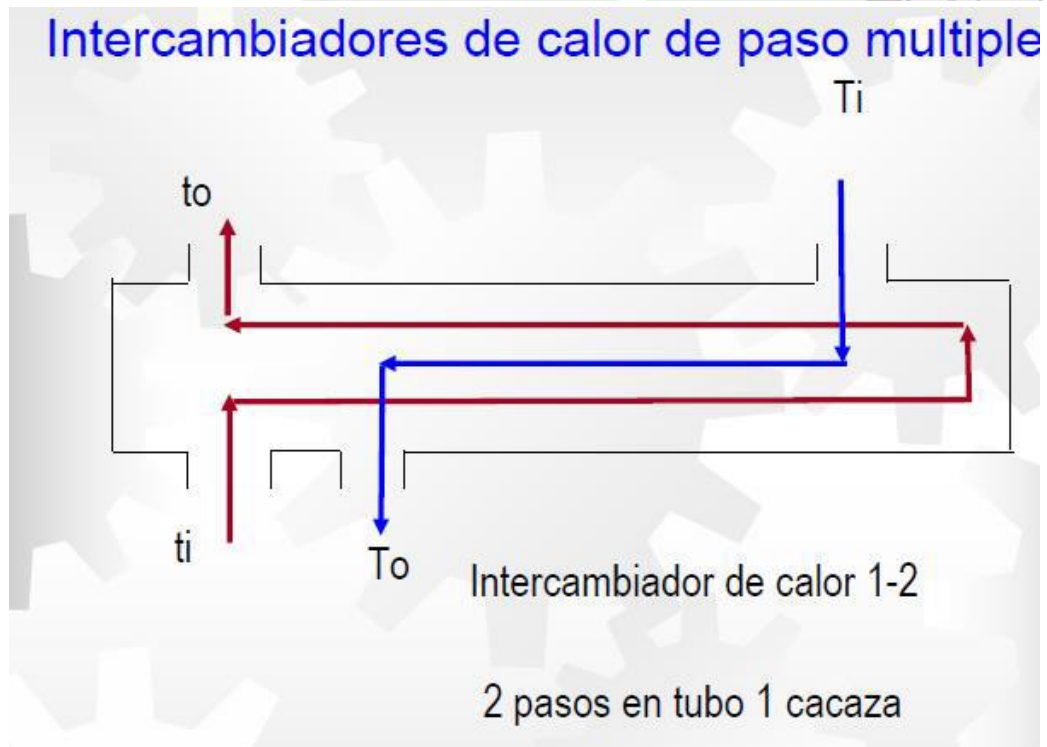
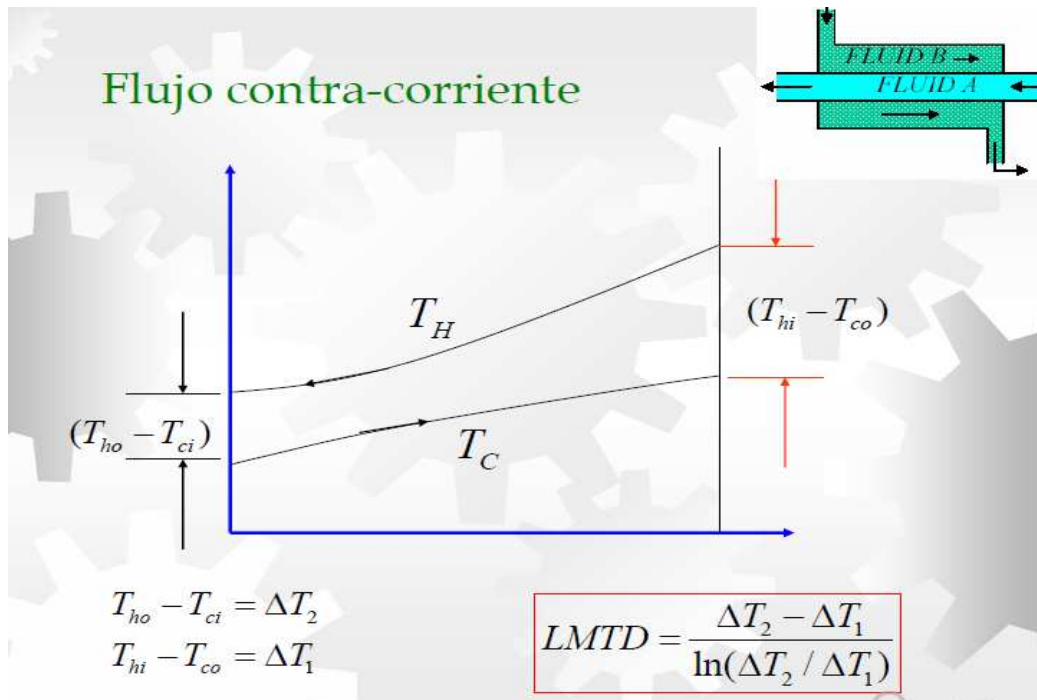
#### TUBOS CON COSTURA

- Acero inoxidable AISI 304
- Con costura
- Normas ASTM A-269 / A-312
- ANSI-B 36.19
- Acabamiento mate



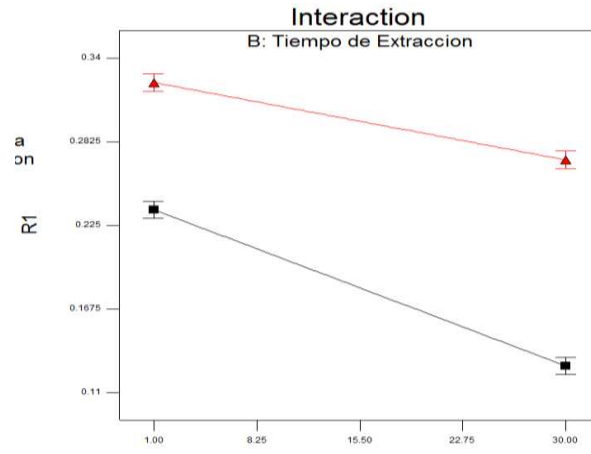
DN (Inch.)	SCHEDULE 5S				SCHEDULE 10S			
	Ø Ext. A (mm.)	Ø Int. B (mm.)	Espesor Pared C (mm.)	Kg. / Metro	Ø Ext. A (mm.)	Ø Int. B (mm.)	Espesor Pared C (mm.)	Peso Kg. / Metro
1/2"	21.30	18.03	1.65	0.80	21.30	17.12	2.11	1.00
3/4"	26.70	23.37	1.65	1.03	26.70	22.45	2.11	1.28
1"	33.40	30.10	1.65	1.30	33.40	27.86	2.77	2.08
1,1/2"	48.30	44.96	1.65	1.91	48.30	42.72	2.77	3.11
2"	60.30	57.02	1.65	2.40	60.30	54.78	2.77	3.93
3"	88.90	84.68	2.11	4.51	88.90	82.80	3.05	6.44
4"	114.30	110.08	2.11	5.83	114.30	108.20	3.05	8.32

**ANEXO F**  
**CONSIDERACIONES PARA EL CÁLCULO DEL CONDENSADOR 1 PASO DE**  
**CARCASA Y 2 PASOS DE TUBO**

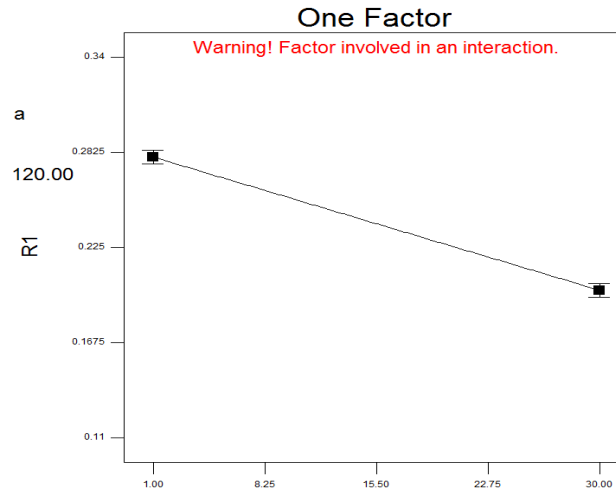


# ANEXO G

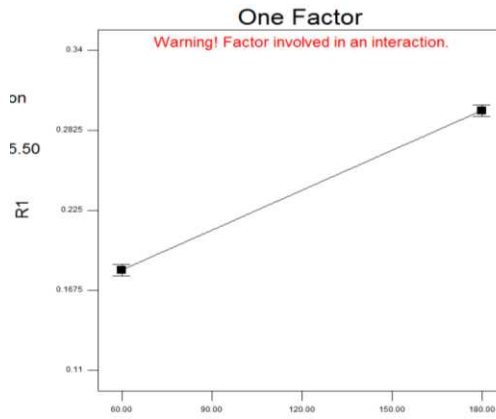
## GRAFICOS DE EFECTOS CON EL PROGRAMA DESING EXPERT



A: Tamaño de partícula



A: Tamaño de partícula



B: Tiempo de Extraccion

# ANEXOS H



Fabrica de Aparatos de Vidrio para Investigación Industrial Laboratorio y Medicina

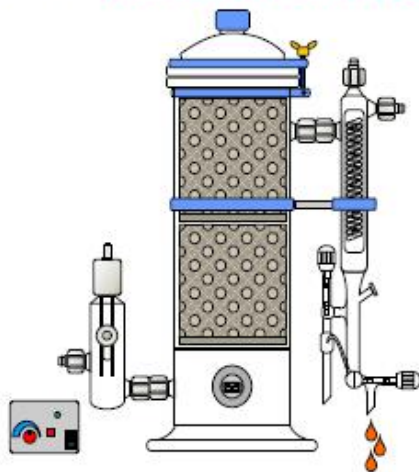


Extractor de **aceites esenciales** por arrastre por vapor.

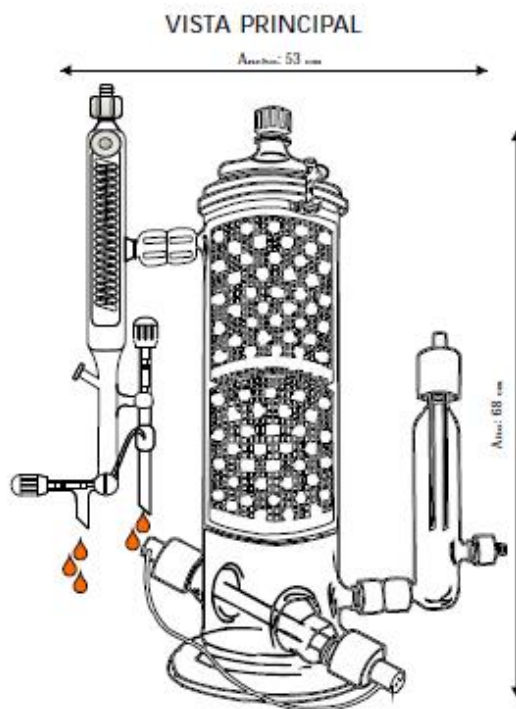
Escala Laboratorio.



Hecho en Argentina



## Extractor de aceites esenciales por arrastre por vapor. Escala Laboratorio.



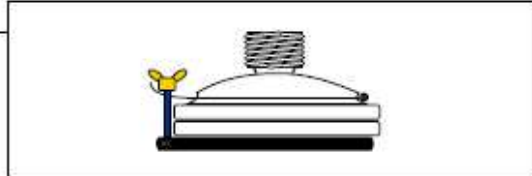
### Datos Técnicos

Medidas del Equipo	Ancho: 53 cm Alto: 68 cm Largo: 57 cm
Alimentación del Equipo	220 volt. 50 - 60 Hz
Consumo del Equipo	1500 watt
Consumo de Agua	40 litros /hora
Superficie de Evaporación	167 cm <sup>2</sup>
Volumen de la Cámara de Extracción	5119 cm <sup>3</sup>
Peso Completo del Equipo	6 Kg.

## Extractor de aceites esenciales por arrastre por vapor. Escala Laboratorio.

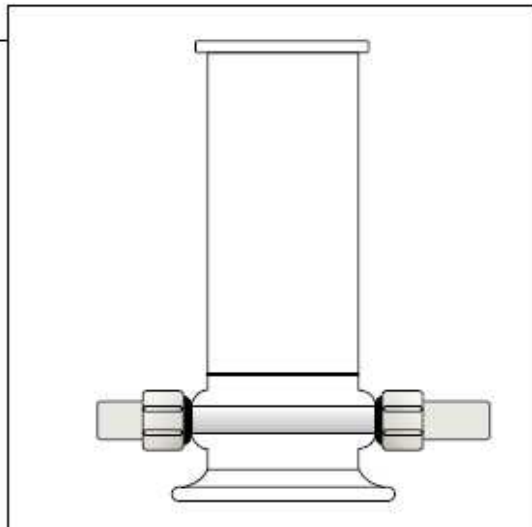
### AVP002 - TAPA Y BRIDA

Tapa de vidrio borosilicato con junta plana esmerilada, y brida de acero inoxidable para cierre.



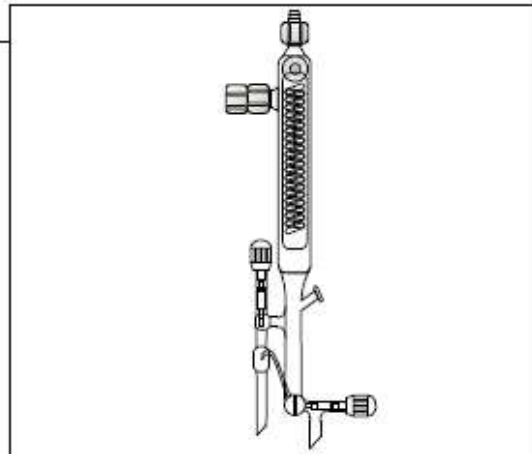
### AVP001 - CALDERA Y CALEFACTOR

Caldera de vidrio borosilicato de 4 litros de capacidad, con junta plana esmerilada, con vela calefactora de cuarzo de 1200 watt, montada sobre bujes y tuercas de teflon.



### AVP003 - CABEZAL DE DESTILACION

Cabezal de destilación, con refrigerante de doble efecto, con sistema colector tipo tramp, insertos de teflon para conexión con manguera, con conexión atmosférica y llaves cónicas de teflon.

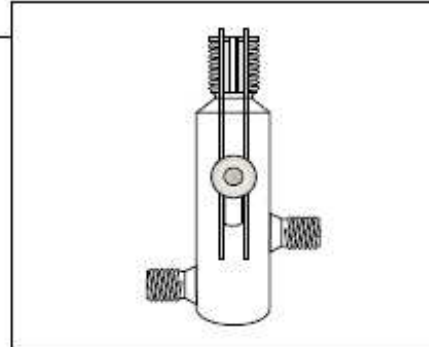




## Extractor de aceites esenciales por arrastre por vapor. Escala Laboratorio.

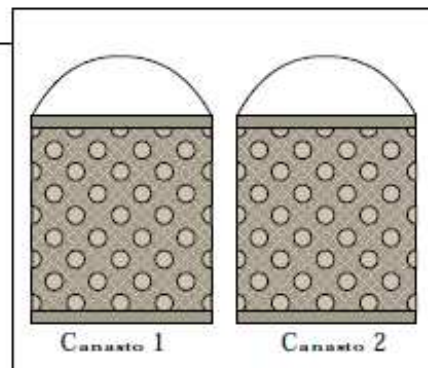
### AVP004 - NIVEL DE CALDERA

Nivel de vidrio borosilicato, con sistema de detección por electrodos de acero inoxidable, y sensor de temperatura, con tapa y buje de teflon.



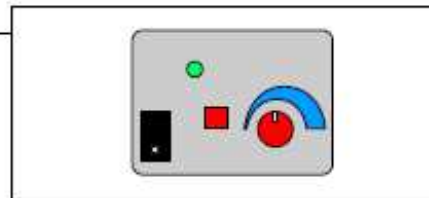
### AVP005 - CANASTO

Canastos de acero inoxidable con manija de extracción de capacidad máxima 1 kg.



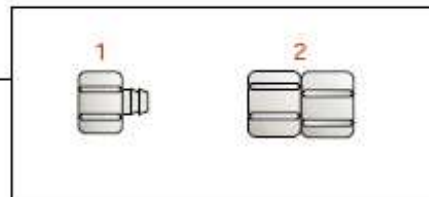
### AVP006 - TABLERO ELECTRONICO

Tablero electrónico, con sistema de detección de sobretemperatura y nivel de agua en caldera, control de potencia y llave de encendido.  
Pot max: 1200 watt, 220 volt, 50 - 60 Hz.



### AVP006 - RACOR DE TEFLON (1) AVP007 - UNION DOBLE (2)

1- Racor de teflon, con toma manguera.  
2- Unión doble de teflon para rosca de vidrio.



## Extractor de aceites esenciales por arrastre por vapor. Escala Laboratorio.

NOMBRE COMUN	ORIGEN BOTANICO	% DE RENDIMIENTO.	COMP. PRINCIPAL.
ANIS	<i>Pimpinella anisum</i> Frutos	1,5 - 4	Anetol
MELISA	<i>Melissa officinalis</i> Hojas	0,1 - 0,2	Geraniol, Citral
ALBAHACA	<i>Ocimum basilicum</i> Hojas	0,1 - 0,2	Metilchavicol, Linalol
BERGAMOTA	<i>Citrus bergamia</i> Cáscara del fruto	0,5 - 0,7	Linalil, Esteres
MANZANILLA	<i>Matricaria chamomilla</i> Flores	0,3 - 1	Azuleno, A-bisabol
CANANGA	<i>Cananga odorata</i> Flores	0,5 - 1	Alcoholes Sesquiterpenos
CARDAMOMO	<i>Elettaria cardamomum</i> Frutos	3,6	Cineol, Terpineoles
CASSIA	<i>Cinnamomum cassia</i> Corteza	0,3 - 0,5	Cinamaldehido
APIO	<i>Aptum graveolens</i> Frutos	1,5 - 2,5	Sedanolidos
CANELA	<i>Cinnamomum zeylanicum</i> Corteza	0,5 - 0,8	Cinamaldehido
PIMIENTA	<i>Piper sp.</i> Frutos secos	1 - 2,7	Monoterpeno
ROMERO	<i>Rosmarinus officinalis</i> Hojas	0,5 - 1,2	Cineol, Borneol
SANDALO	<i>Santalum album</i> Leño	4,5 - 6	Santaloles
MOLLE	<i>Schinus molle</i> Frutos secos	5 - 7	B-felandreno
MENTA AMERICANA	<i>Mentha spicata</i> Hojas	0,6 - 1	Carvona
TOMILLO	<i>Thymus sp.</i> Hojas	0,5 - 1,5	Timol
OREGANO	<i>Origanum sp.</i> Hojas	1 - 1,5	Carvacrol, Timol

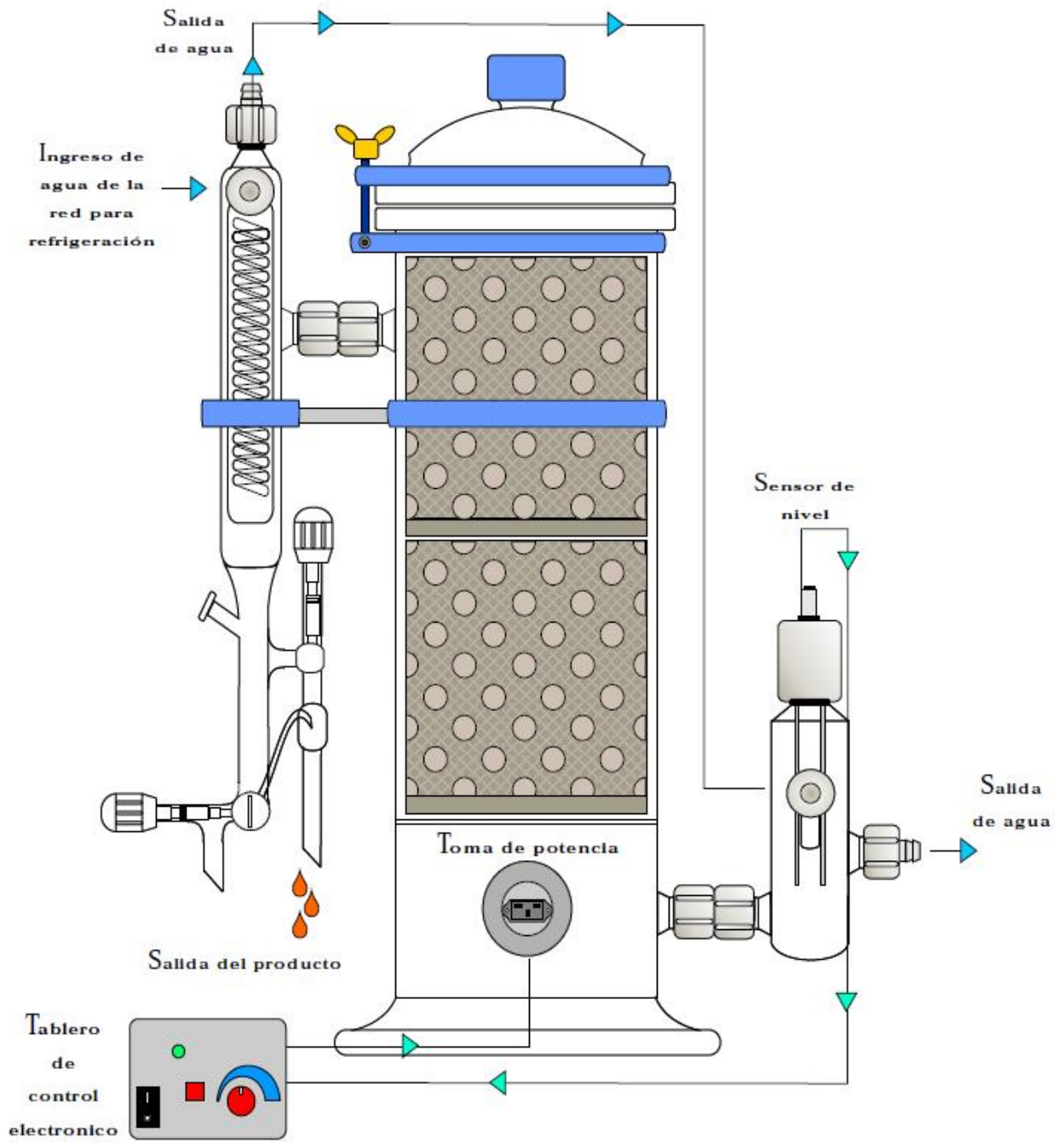
---

Extractor de aceites esenciales por arrastre por vapor. Escala Laboratorio.

---

NOMBRE COMUN	ORIGEN BOTANICO	% DE RDTO.	COMP. PRINCIPAL
CITRONELA	<i>Cymbopogon nardus</i> Hojas	0,5 - 0,7	Geraniol
CLAVO	<i>Syzygium aromaticum</i> Botones florales	14 - 21	Eugenol
CORIANDRO	<i>Coriandrum sativum</i> Frutos	0,1 - 1	Linatol
ESTRAGON	<i>Artemisia dracunculus</i> Hojas	0,3 - 1,5	Metaichavicol
HINOJO	<i>Foeniculum vulgare</i> Frutos	4 - 6	Anetol, Mettichavicol
AJO	<i>Allium sativum</i> Bulbos	0,1 - 0,24	Alisulfuros
JENJIBRE	<i>Zingiber officinale</i> Rizomas	0,2 - 1,2	Zingibereno, Citral
ENEBRO	<i>Juniperus communis</i> Bayas	0,5 - 2,5	A-pineno
LAVANDA	<i>Lavandula officinalis</i> Flores	0,5 - 1	Linatol, Linalil, acet.
LIMON	<i>Citrus limon</i> Cascara del fruto	3 - 4	Limoneno Citral
MENTA	<i>Mentha arvensis</i> Hojas	0,5 - 1	Mentol
NUEZ MOSCADA	<i>Myristica fragans</i> Frutos	6,5 - 13	Safrol, Miristicina
NARANJA AMARGA	<i>Citrus aurantium</i> Cascara	0,4 - 0,5	Linalil acet.
NARANJA DULCE	<i>Citrus sinensis</i> Cascara	0,4 - 0,5	Limoneno, Decilacetato
PALMARROSA	<i>Cymbopogon martinii</i> Hojas		Geraniol
PACHULI	<i>Pogostemon cablin</i> Hojas	1,5 - 3	Sesquiterpeno

Diagrama de Flujo



Extractor de aceites esenciales por arrastre por vapor. Escala Laboratorio.

---

Todos los materiales producidos por FIGMAY S.R.L son elaborados con Vidrio Borosilicato marca *Duran*, fabricados por *Schott - Rohrglas GmbH* - 95411 Bayreuth, Fabrica de Mitterteich Alemania.

Empresa esta que ha implementado y aplica un Sistema de Aseguramiento de la Calidad para las areas de Desarrollo, Producción, Venta de tubos de vidrio y de productos de tubos.

Mediante auditoria realizada con el N° de informe 3274, en el que se acredita el cumplimiento de las exigencias de la norma *DIN ISO 9001 / EN 29001* con validez hasta el 30 / 11 / 99, bajo el N° de registro del certificado 0911 3274 extendida por *TÜV CERT*, de *TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH*.

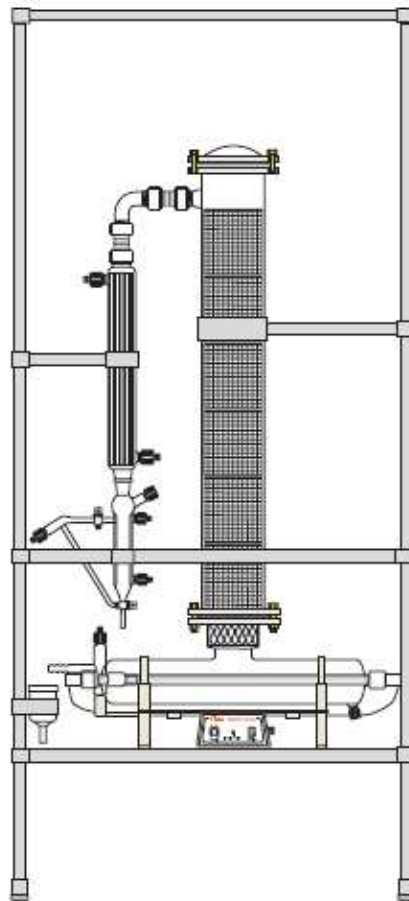
Lo cual garantiza para nuestros productos el maximo nivel de calidad.

# ANEXO I

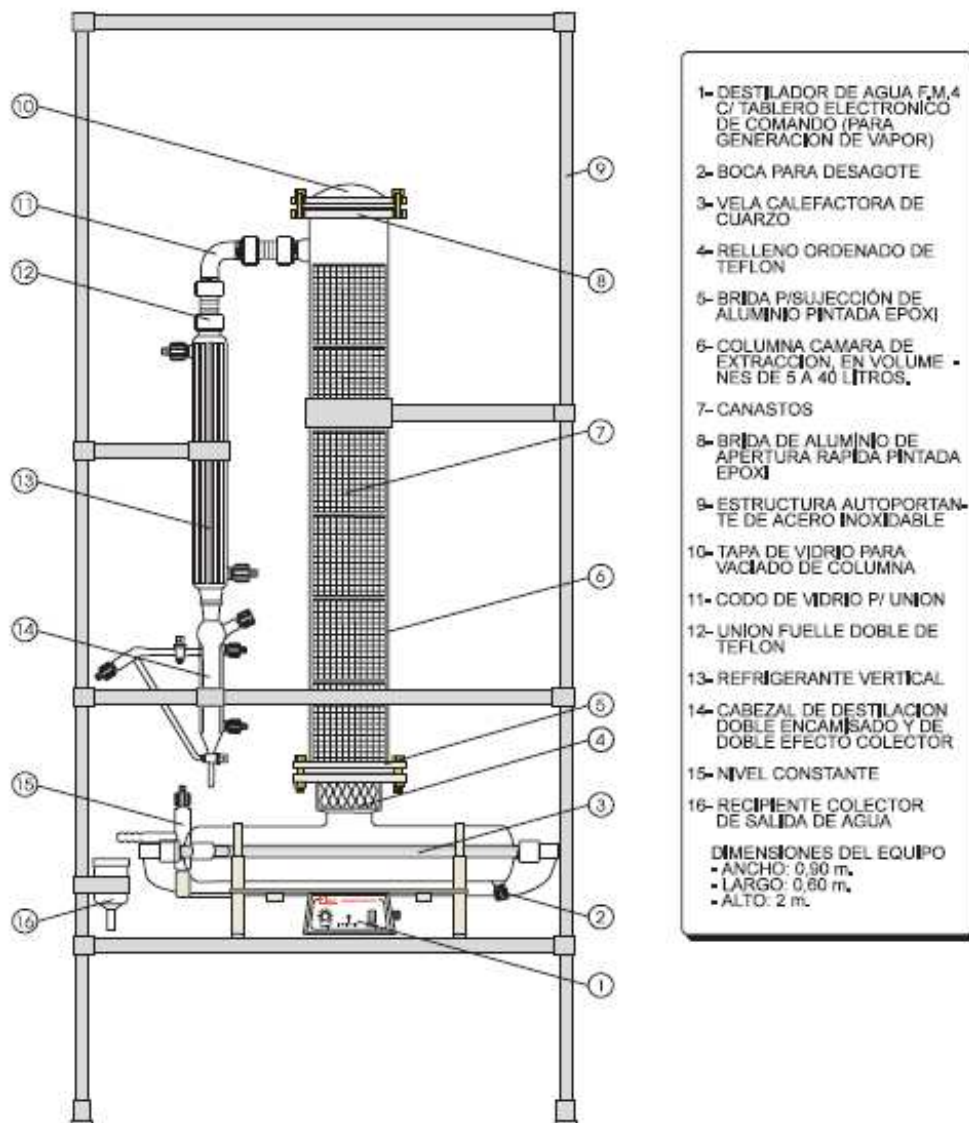


Fabrica de Aparatos de Vidrio para Investigación Industria Laboratorio y Medicina

## Extractor por Arrastre de Vapor Escala Industrial



## Extractor por Arrastre de Vapor Escala Industrial



---

## Extractor por Arrastre de Vapor Escala Industrial

---

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 especias hallan aplicación en numerosísimas industrias, algunos ejemplos son los siguientes:

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

### Datos Técnicos

#### Medidas del equipo completo:

Ancho: 0.9 m

Alto: 2 m

Largo: 0.6 m

Alimentación del equipo: Eléctrica, 220 V

Consumo: 3000 W/h

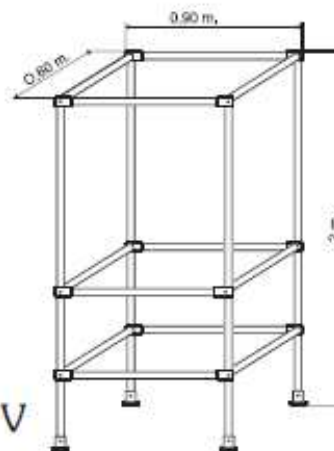
Consumo de agua de la red: 80 L/hora

Superficie de evaporación de la caldera: 400 cm<sup>2</sup>

Volumen de la cámara de extracción: 22, 32, 50 Litros.

(También volúmenes intermedios y mayores hasta 90 litros, según necesidades del cliente)

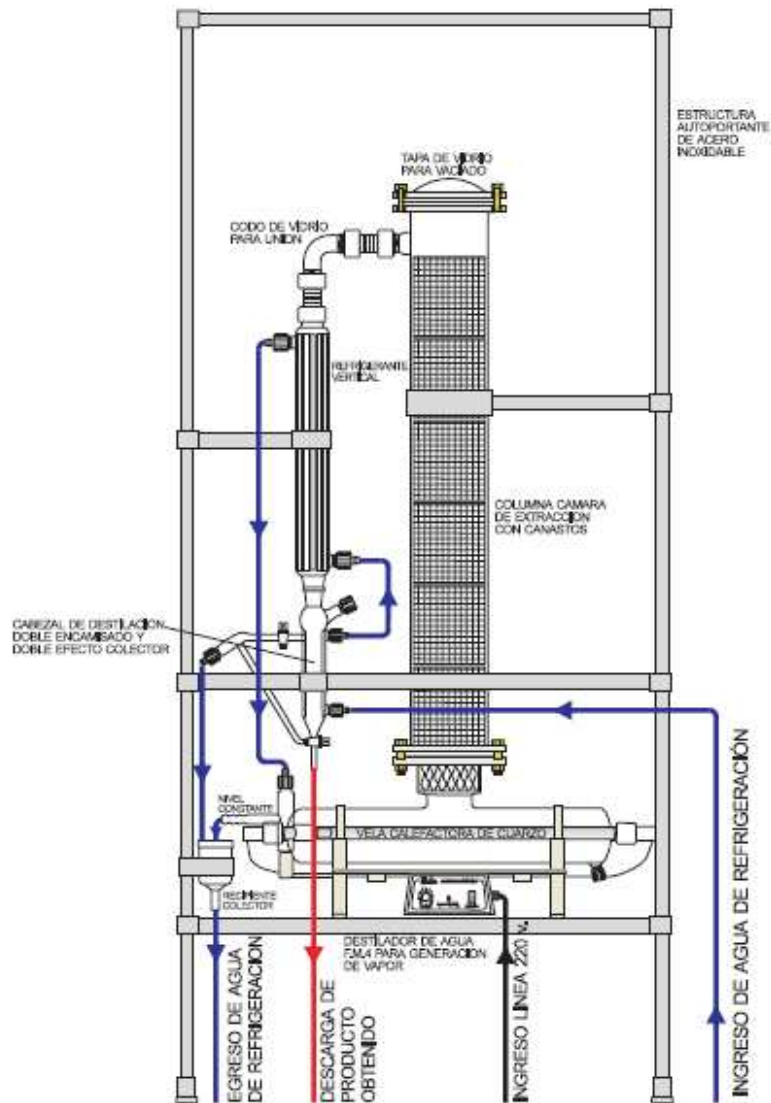
Peso completo del equipo: 32 Kg





## Extractor por Arrastre de Vapor Escala Industrial

Diagrama de Flujo



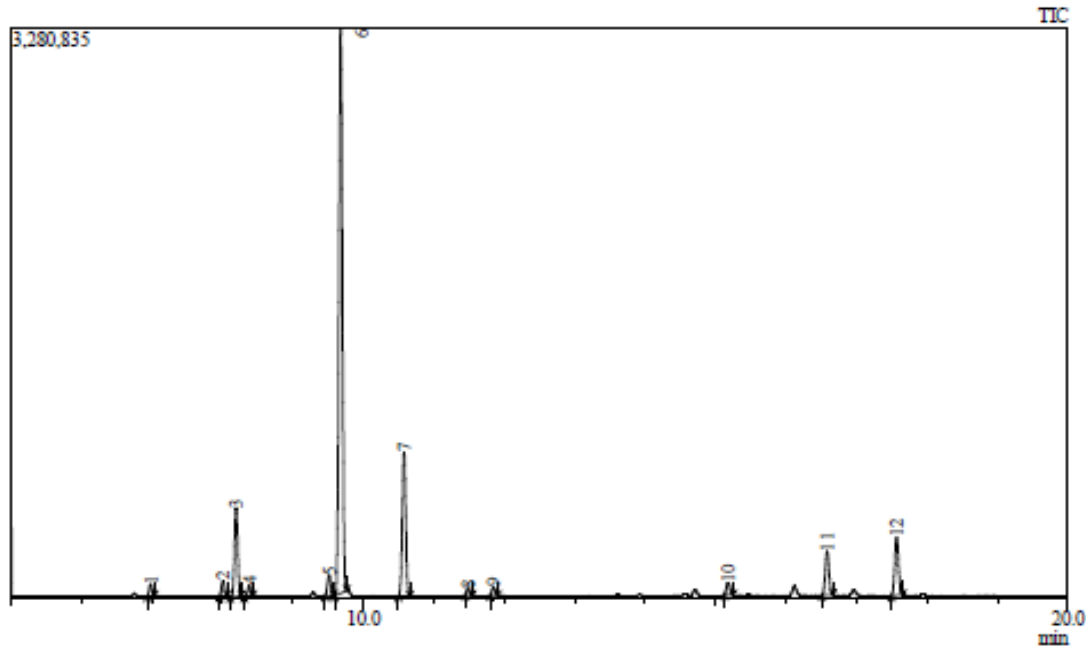
# ANEXO J

27/03/2018

## Qualitative Analysis Report

### Oil Citrus Lemon

Analyzed by : Lic. Santiago Tarqui Tarqui  
 Analyzed : 07/03/2018 11:10:40 a.m.  
 Sample Type : Aceite de Cascara de lemon  
 Sample Name : Aceite de citrus lemon  
 IS Amount : [1]=1  
 Sample Amount : 1  
 Dilution Factor : 1  
 Vial # : 1  
 Injection Volume : 1.00  
 Data File : C:\DATOS GCMS IIQ\Data File 2018\Datos citrus lemon 07032018.qgd  
 Org Data File : C:\DATOS GCMS IIQ\Data File 2018\Datos citrus lemon 07032018.qgd  
 Method File : C:\MetodosIIQ\Metodo Citrus limon L.qgm  
 Org Method File : C:\MetodosIIQ\Metodo Citrus limon L.qgm  
 Tuning File : C:\GCMSsolution\System\Tune1\Tuning 07032018.qgt  
 \$EndIf\$ Modified by : Admin  
 Modified : 09/03/2018 05:20:47 p.m.



### Peak Report TIC

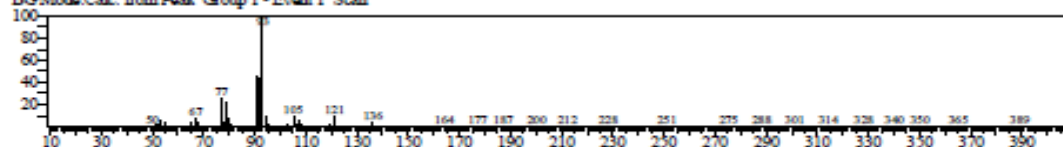
Peak#	R. Time	Area	Area%	Height	Name
1	6.985	192520	0.95	69367	alpha.-Pinene
2	8.011	252455	1.25	87737	Bicyclo[3.1.0]hexane, 4-methylene-1-(1-met
3	8.197	1638756	8.12	508701	Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methy
4	8.385	185951	0.92	63362	.beta.-Myrcene
5	9.518	380125	1.88	119814	p-Cymene
6	9.681	11027876	54.64	3249210	D-Limonene
7	10.580	2818566	13.96	827929	.gamma.-Terpinene
8	11.491	114363	0.57	40300	(+)-2-Carene
9	11.849	140101	0.69	45834	Linalool
10	15.178	252174	1.25	69767	alpha.-Terpineol
11	16.585	901048	4.46	251337	2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (Z)-
12	17.571	1228545	6.09	332835	Citral
13	20.574	439008	2.18	125408	2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, acetate, (Z)
14	23.146	249098	1.23	73306	trans.-alpha.-Bergamotene
15	25.449	362903	1.80	102577	.beta.-Bisabolene
		20183489	100.00	5967484	

## Qualitative Analysis Report

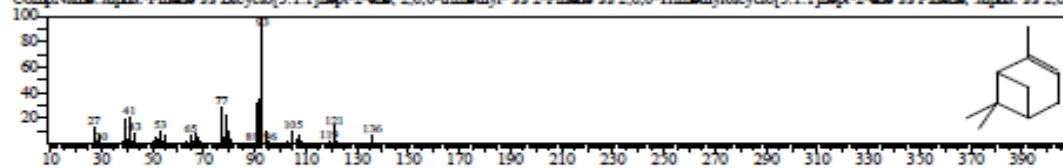
## Library

&lt;&lt; Target &gt;&gt;

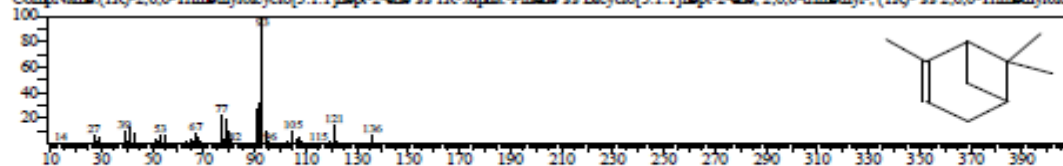
Line#1 R.Time:6.985(Scan#396) MassPeak:169  
 Run#Mode:Avraged 6.980-6.990(397-399) BasePeak:93.10(20612)  
 BG:Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan



Hint#1 Entry:6850 Library:NIST14a.Lib  
 SI:95 Formula:C10H16 CAS:80-56-8 MolWeight:136 RefIndex:948  
 CompName:alpha-*Pinene* SS Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene, 2,6,6-trimethyl- SS 2-*Pinene* SS 2,6,6-Trimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-ene SS *Pinene*, alpha SS 2,6,6



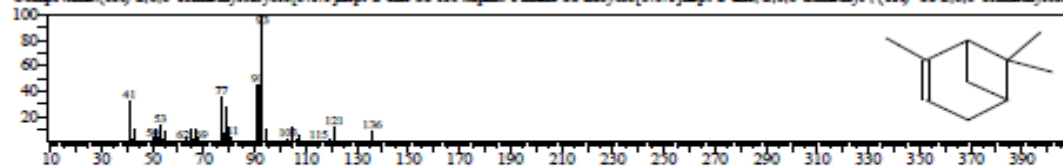
Hint#2 Entry:10022 Library:NIST14a.Lib  
 SI:95 Formula:C10H16 CAS:7785-70-8 MolWeight:136 RefIndex:948  
 CompName:(1*R*)-2,6,6-Trimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-ene SS 1*R*-alpha-*Pinene* SS Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene, 2,6,6-trimethyl-, (1*R*)- SS 2,6,6-Trimethylbicy



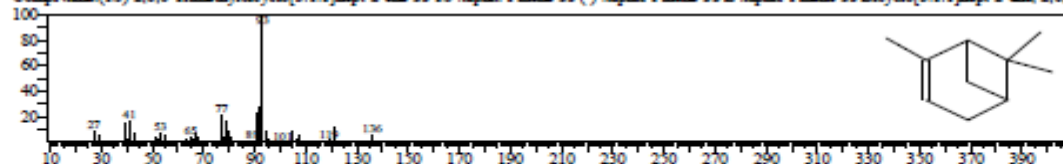
Hint#3 Entry:6848 Library:NIST14a.Lib  
 SI:94 Formula:C10H16 CAS:488-97-1 MolWeight:136 RefIndex:729  
 CompName:Tricyclo[2.2.1.0(2,6)]heptane, 1,3,3-trimethyl- SS Cyclofenchone SS Tricyclo[2.2.1.0(2,6)]heptane, 1,3,3-trimethyl- SS



Hint#4 Entry:6845 Library:NIST14a.Lib  
 SI:94 Formula:C10H16 CAS:7785-70-8 MolWeight:136 RefIndex:948  
 CompName:(1*R*)-2,6,6-Trimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-ene SS 1*R*-alpha-*Pinene* SS Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene, 2,6,6-trimethyl-, (1*R*)- SS 2,6,6-Trimethylbicy



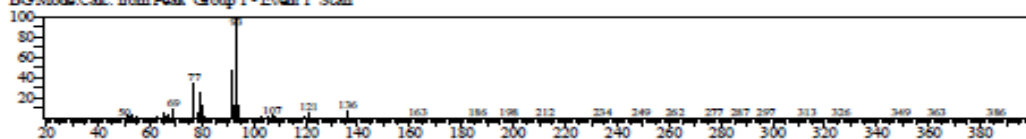
Hint#5 Entry:10021 Library:NIST14a.Lib  
 SI:94 Formula:C10H16 CAS:7785-26-4 MolWeight:136 RefIndex:948  
 CompName:(1*S*)-2,6,6-Trimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-ene SS 1*S*-alpha-*Pinene* SS (-)-alpha-*Pinene* SS L-alpha-*Pinene* SS Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene, 2,6,6



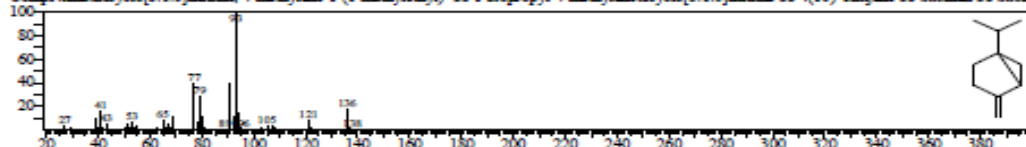
## Qualitative Analysis Report

&lt;&lt; Target &gt;&gt;

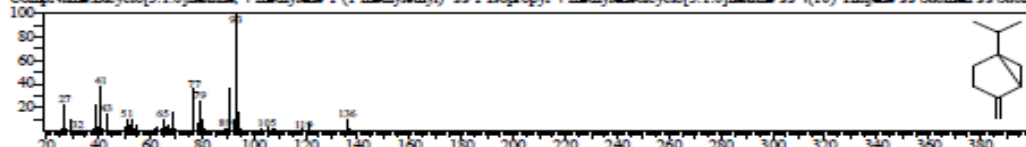
Line# 2 R Time: 8.010 (Scan# 603) MassPeak: 199  
 RunMode: Averaged 8.005-8.015 (602-604) BasePeak: 93.10 (27417)  
 BG Mode: Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan



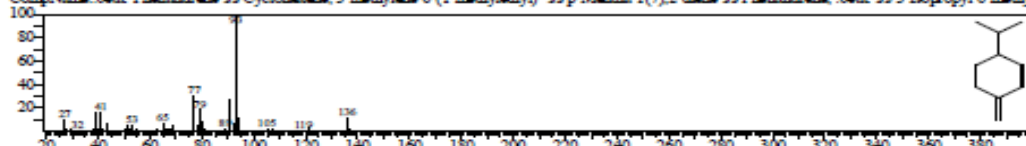
Hit# 1 Entry: 10011 Library: NIST14a.ltb  
 SI: 96 Formula: C<sub>10</sub>H<sub>16</sub> CAS: 3387-41-5 MolWeight: 136 RefIndex: 897  
 CompName: Bicyclo[3.1.0]hexane, 4-methylene-1-(1-methylethyl)- SS 1-Isopropyl-4-methylenobicyclo[3.1.0]hexane SS 4(10)-Thujone SS Sabinen SS Sabina



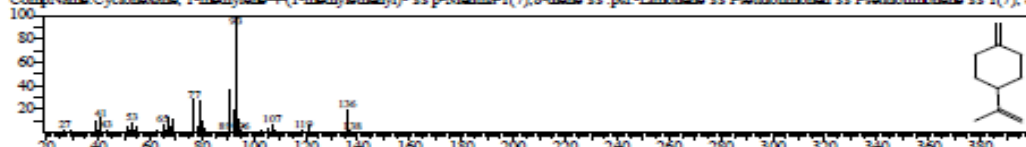
Hit# 2 Entry: 6817 Library: NIST14a.ltb  
 SI: 94 Formula: C<sub>10</sub>H<sub>16</sub> CAS: 3387-41-5 MolWeight: 136 RefIndex: 897  
 CompName: Bicyclo[3.1.0]hexane, 4-methylene-1-(1-methylethyl)- SS 1-Isopropyl-4-methylenobicyclo[3.1.0]hexane SS 4(10)-Thujone SS Sabinen SS Sabina



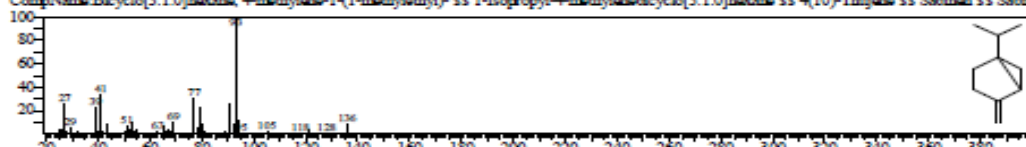
Hit# 3 Entry: 6822 Library: NIST14a.ltb  
 SI: 93 Formula: C<sub>10</sub>H<sub>16</sub> CAS: 555-10-2 MolWeight: 136 RefIndex: 964  
 CompName: beta-Phellandrene SS Cyclohexene, 3-methylene-6-(1-methylethyl)- SS p-Menth-1(7),2-diene SS Phellandrene, beta SS 3-Isopropyl-6-methyl



Hit# 4 Entry: 6833 Library: NIST14a.ltb  
 SI: 93 Formula: C<sub>10</sub>H<sub>16</sub> CAS: 499-97-8 MolWeight: 136 RefIndex: 1013  
 CompName: Cyclohexene, 1-methylene-4-(1-methylethyl)- SS p-Menth-1(7),8-diene SS psi-Limonene SS Pseudolimonen SS Pseudolimonene SS 1(7), 8



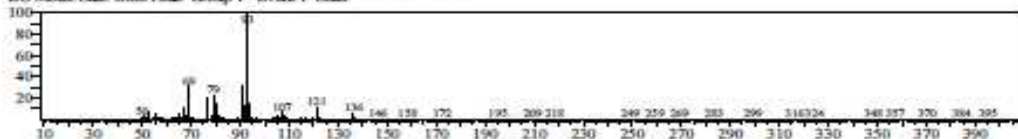
Hit# 5 Entry: 6812 Library: NIST14a.ltb  
 SI: 93 Formula: C<sub>10</sub>H<sub>16</sub> CAS: 3387-41-5 MolWeight: 136 RefIndex: 897  
 CompName: Bicyclo[3.1.0]hexane, 4-methylene-1-(1-methylethyl)- SS 1-Isopropyl-4-methylenobicyclo[3.1.0]hexane SS 4(10)-Thujone SS Sabinen SS Sabina



## Qualitative Analysis Report

&lt;&lt; Target &gt;&gt;

Lines: 3 R Time: 8.195 (Scan# 640) MassPeak: 195  
 RawMode: Averaged 8.190-8.200(639-641) BasePeak: 93.10(157318)  
 BG Mode: Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan



Hit# 1 Entry 6816 Library: NIST14a.lib

SI 95 Formula: C10H16 CAS: 18172-67-3 MolWeight: 136 RefIndex: 943

CompName: Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (1S)- SS 2(10)-Pinene, (1S,5S)-(-)- SS (-)-beta-Pinene SS (-)-2(10)-Pinene SS L-beta-Pinene



Hit# 2 Entry 6809 Library: NIST14a.lib

SI 95 Formula: C10H16 CAS: 127-91-3 MolWeight: 136 RefIndex: 943

CompName: beta-Pinene SS Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, SS 2(10)-Pinene SS Nopinene SS Nopinene SS Pseudopinene SS Pseudopinene



Hit# 3 Entry 9983 Library: NIST14a.lib

SI 95 Formula: C10H16 CAS: 18172-67-3 MolWeight: 136 RefIndex: 943

CompName: Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (1S)- SS 2(10)-Pinene, (1S,5S)-(-)- SS (-)-beta-Pinene SS (-)-2(10)-Pinene SS L-beta-Pinene



Hit# 4 Entry 9984 Library: NIST14a.lib

SI 95 Formula: C10H16 CAS: 127-91-3 MolWeight: 136 RefIndex: 943

CompName: beta-Pinene SS Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, SS 2(10)-Pinene SS Nopinene SS Nopinene SS Pseudopinene SS Pseudopinene



Hit# 5 Entry 6808 Library: NIST14a.lib

SI 94 Formula: C10H16 CAS: 127-91-3 MolWeight: 136 RefIndex: 943

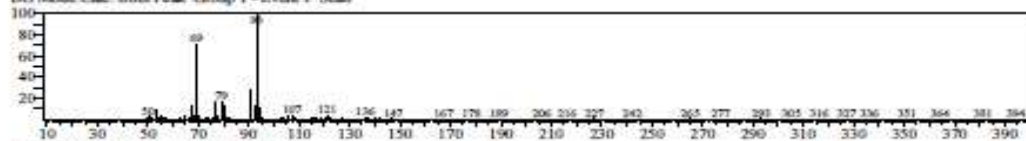
CompName: beta-Pinene SS Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, SS 2(10)-Pinene SS Nopinene SS Nopinene SS Pseudopinene SS Pseudopinene



## Qualitative Analysis Report

&lt;&lt; Target &gt;&gt;

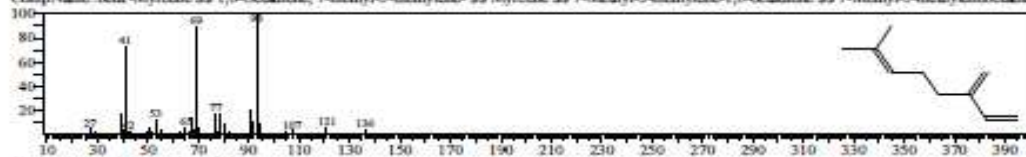
Line# 4 R\_Time: 8.385(Scan#: 678) MassPeak: 163  
 RawMode: Averaged 8.380-8.390(677-679) BasePeak: 93.10(18686)  
 BG Mode Calc: from Peak Group 1 - Event 1 Scan



Hit# 1 Entry: 6820 Library: NIST14a.lib

SI: 95 Formula: C10H16 CAS: 123-35-3 MolWeight: 136 RefIndex: 958

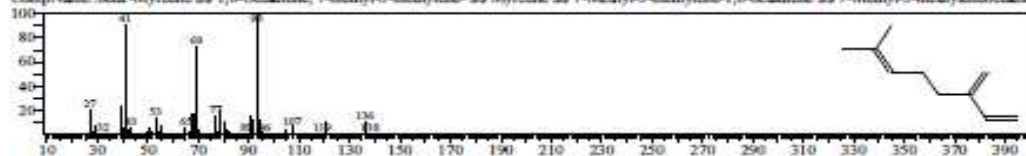
CompName: beta-Myrcene SS 1,6-Octadiene, 7-methyl-3-methylene- SS Myrcene SS 7-Methyl-3-methylene-1,6-octadiene SS 7-Methyl-3-methylnooctadiene



Hit# 2 Entry: 6810 Library: NIST14a.lib

SI: 94 Formula: C10H16 CAS: 123-35-3 MolWeight: 136 RefIndex: 958

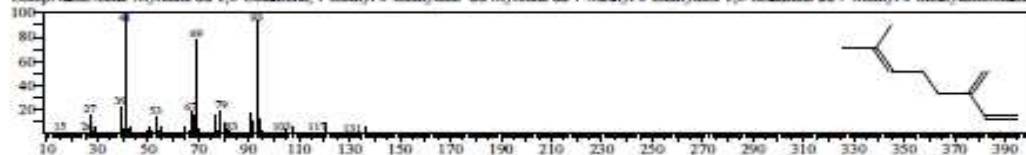
CompName: beta-Myrcene SS 1,6-Octadiene, 7-methyl-3-methylene- SS Myrcene SS 7-Methyl-3-methylene-1,6-octadiene SS 7-Methyl-3-methylnooctadiene



Hit# 3 Entry: 6778 Library: NIST14a.lib

SI: 93 Formula: C10H16 CAS: 123-35-3 MolWeight: 136 RefIndex: 958

CompName: beta-Myrcene SS 1,6-Octadiene, 7-methyl-3-methylene- SS Myrcene SS 7-Methyl-3-methylene-1,6-octadiene SS 7-Methyl-3-methylnooctadiene



Hit# 4 Entry: 9926 Library: NIST14a.lib

SI: 92 Formula: C10H16 CAS: 123-35-3 MolWeight: 136 RefIndex: 958

CompName: beta-Myrcene SS 1,6-Octadiene, 7-methyl-3-methylene- SS Myrcene SS 7-Methyl-3-methylene-1,6-octadiene SS 7-Methyl-3-methylnooctadiene



Hit# 5 Entry: 9983 Library: NIST14a.lib

SI: 92 Formula: C10H16 CAS: 18172-67-3 MolWeight: 136 RefIndex: 943

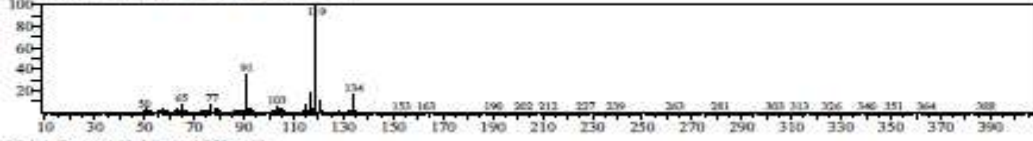
CompName: Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (1S)- SS 2(10)-Pinenene, (1S,5S)-(-)- SS (-)-beta-Pinenene SS (-)-2(10)-Pinenene SS L-beta-Pinenene



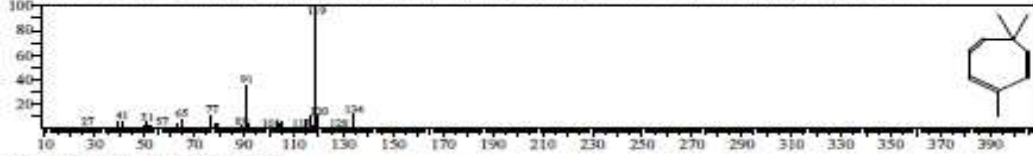
Qualitative Analysis Report

<< Target >>

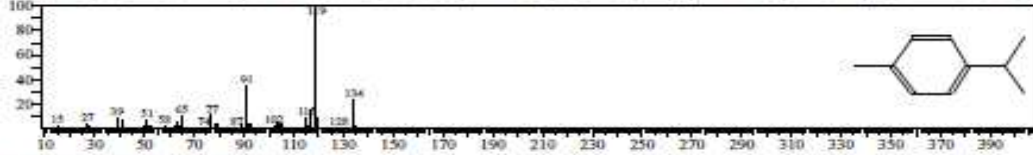
Line# 5 R-Time: 9.520(Scan# 905) MassPeaks: 229  
 RawMode: Averaged 9.515-9.525(904-906) BasePeak: 119.10(46593)  
 BG Mode Calc: from Peak Group 1 - Even 1 Scan



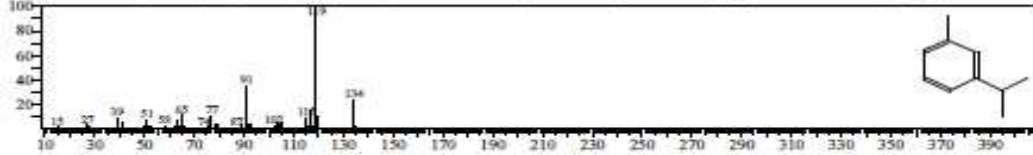
Hit# 1 Entry: 9307 Library: NIST14a.lib  
 SI: 95 Formula: C10H14 CAS: 3479-89-8 MolWeight: 134 RefIndex: 1010  
 CompName: 1,3,5-Cycloheptatriene, 3,7,7-trimethyl- SS 3,7,7-Trimethyl-1,3,5-cycloheptatriene # SS 3,7,7-Trimethylcyclohepta-1,3,5-triene SS



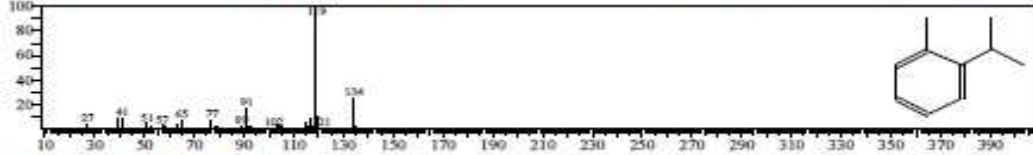
Hit# 2 Entry: 6359 Library: NIST14a.lib  
 SI: 94 Formula: C10H14 CAS: 99-87-6 MolWeight: 134 RefIndex: 1042  
 CompName: p-Cymene SS Benzene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)- SS p-Cimene SS p-Cymol SS p-Isopropyltoluene SS p-Methylisopropylbenzene SS Camphor



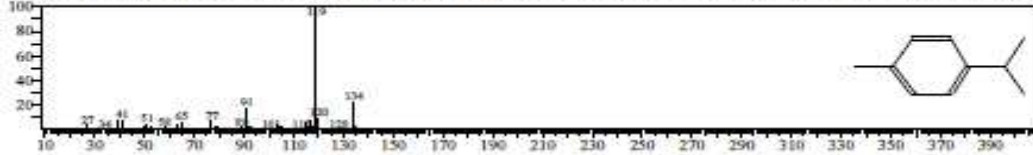
Hit# 3 Entry: 6363 Library: NIST14a.lib  
 SI: 94 Formula: C10H14 CAS: 535-77-3 MolWeight: 134 RefIndex: 1042  
 CompName: Benzene, 1-methyl-3-(1-methylethyl)- SS m-Cymene SS beta-Cymene SS m-Cymol SS m-Isopropyltoluene SS m-Methylisopropylbenzene SS 1-



Hit# 4 Entry: 6390 Library: NIST14a.lib  
 SI: 94 Formula: C10H14 CAS: 527-84-4 MolWeight: 134 RefIndex: 1042  
 CompName: o-Cymene SS Benzene, 1-methyl-2-(1-methylethyl)- SS o-Cymol SS o-Isopropyltoluene SS 1-Isopropyl-2-methylbenzene SS 1-Methyl-2-isopropyl-



Hit# 5 Entry: 6371 Library: NIST14a.lib  
 SI: 94 Formula: C10H14 CAS: 99-87-6 MolWeight: 134 RefIndex: 1042  
 CompName: p-Cymene SS Benzene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)- SS p-Cimene SS p-Cymol SS p-Isopropyltoluene SS p-Methylisopropylbenzene SS Camphor



## Qualitative Analysis Report

&lt;&lt; Target &gt;&gt;

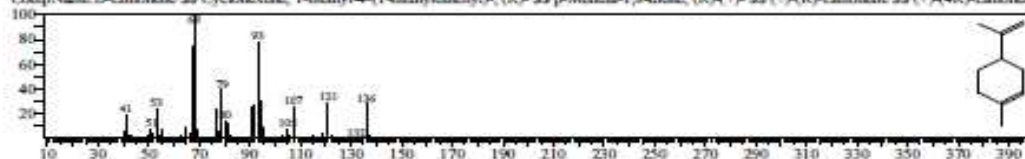
Line# 6 R\_Time: 9.680 (Scan# 937) MassPeaks: 172  
 RawMode: Averaged 9.675-9.685 (936-938) BasePeak: 68.05 (548285)  
 BG Mode Calc: from Peak Group 1 - Event 1 Scan



Hit# 1 Entry: 6793 Library: NIST14a.lib

SI: 96 Formula: C10H16 CAS: 5989-27-5 MolWeight: 136 RefIndex: 1018

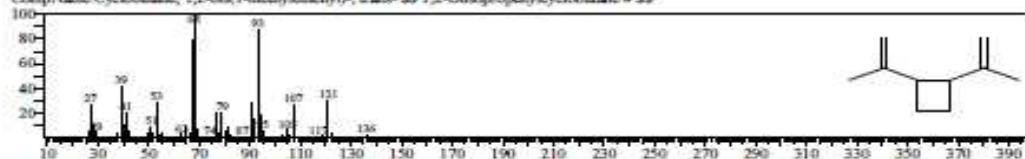
CompName: D-Limonene SS Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-, (R)- SS p-Menth-1,8-diene, (R)-(+)- SS (+)-(-)-Limonene SS (+)-(4R)-Limonene



Hit# 2 Entry: 9953 Library: NIST14.lib

SI: 93 Formula: C10H16 CAS: 19465-02-2 MolWeight: 136 RefIndex: 934

CompName: Cyclobutane, 1,2-bis(1-methylethenyl)-, trans- SS 1,2-Diisopropenylcyclobutane # SS



Hit# 3 Entry: 9955 Library: NIST14.lib

SI: 92 Formula: C10H16 CAS: 5989-27-5 MolWeight: 136 RefIndex: 1018

CompName: D-Limonene SS Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-, (R)- SS p-Menth-1,8-diene, (R)-(+)- SS (+)-(-)-Limonene SS (+)-(4R)-Limonene



Hit# 4 Entry: 6786 Library: NIST14a.lib

SI: 92 Formula: C10H16 CAS: 138-86-3 MolWeight: 136 RefIndex: 1018

CompName: Limonene SS Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methylethenyl)- SS p-Menth-1,8-diene SS alpha-Limonene SS Cajuputen SS Cajuputene SS Cineol S



Hit# 5 Entry: 17788 Library: NIST14a.lib

SI: 92 Formula: C12H20O2 CAS: 10198-23-9 MolWeight: 196 RefIndex: 1348

CompName: Cyclohexanone, 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-, acetate SS p-Menth-8-oxo-1-ol, acetate SS beta-Terpinyl acetate SS 4-Isopropenyl-1-methylcyclohexanone

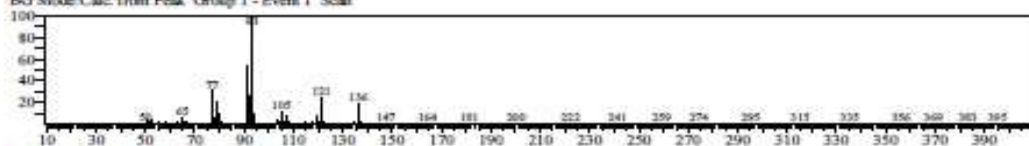




## Qualitative Analysis Report

&lt;&lt; Target &gt;&gt;

Line# 7 R.Time:10.580(Scan# 1117) MassPeak:205  
 RawMode: Averaged 10.575-10.585(1116-1118) BasePeak:93.10(217766)  
 BG Mode Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan



Hit# 1 Entry:10019 Library:NIST14c.lib

SI:95 Formula:C10H16 CAS:99-85-4 MolWeight:136 RetIndex:998

CompName: gamma-Terpinene SS 1,4-Cyclohexadiene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)- SS gamma-Terpinen SS p-Menthil-1,4-diene SS Citralene SS Moslen



Hit# 2 Entry:6836 Library:NIST14c.lib

SI:95 Formula:C10H16 CAS:99-85-4 MolWeight:136 RetIndex:998

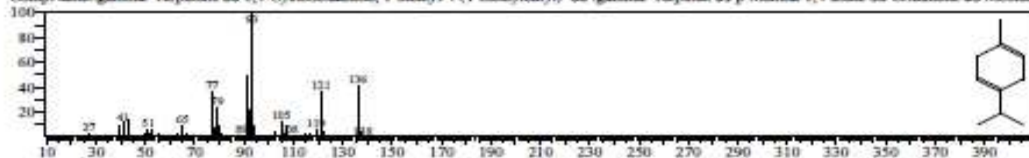
CompName: gamma-Terpinene SS 1,4-Cyclohexadiene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)- SS gamma-Terpinen SS p-Menthil-1,4-diene SS Citralene SS Moslen



Hit# 3 Entry:6846 Library:NIST14c.lib

SI:95 Formula:C10H16 CAS:99-85-4 MolWeight:136 RetIndex:998

CompName: gamma-Terpinene SS 1,4-Cyclohexadiene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)- SS gamma-Terpinen SS p-Menthil-1,4-diene SS Citralene SS Moslen



Hit# 4 Entry:10015 Library:NIST14c.lib

SI:95 Formula:C10H16 CAS:13466-78-9 MolWeight:136 RetIndex:948

CompName: 3-Carene SS Bicyclo[4.1.0]hept-3-ene, 3,7,7-trimethyl- SS delta-3-Carene SS 3,7,7-Trimethylbicyclo[4.1.0]hept-3-ene SS delta-3-carene SS 3,7



Hit# 5 Entry:6835 Library:NIST14c.lib

SI:94 Formula:C10H16 CAS:99-85-4 MolWeight:136 RetIndex:998

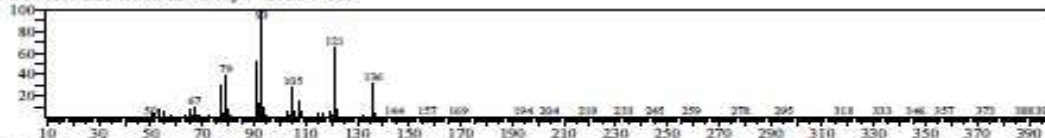
CompName: gamma-Terpinene SS 1,4-Cyclohexadiene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)- SS gamma-Terpinen SS p-Menthil-1,4-diene SS Citralene SS Moslen



## Qualitative Analysis Report

&lt;&lt; Target &gt;&gt;

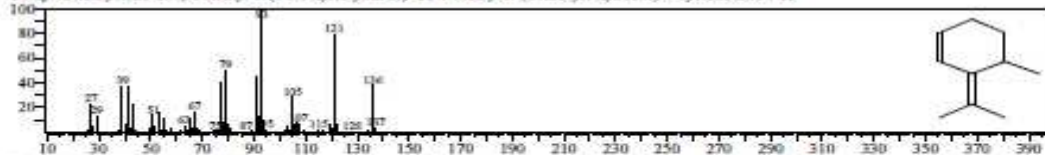
Line# 8 R.Time:11.490(Scan# 1299) MassPeak:242  
 RawMode: Averaged 11.485-11.495(1294-1300) BasePeak:93.10(7735)  
 BG Mode Calc: from Peak Group 1 - Event 1 Scan



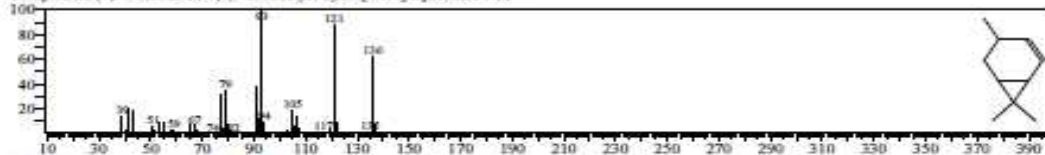
Hit# 1 Entry:10024 Library:NIST14.lib  
 SI:94 Formula:C10H16 CAS:0-00-0 MolWeight:136 RefIndex:948  
 CompName:(+)-2-Carene



Hit# 2 Entry:10030 Library:NIST14.lib  
 SI:94 Formula:C10H16 CAS:99805-90-0 MolWeight:136 RefIndex:1023  
 CompName:Cyclohexene, 4-methyl-3-(1-methylethylidene)- SS 4-Methyl-3-(1-methylethylidene)-1-cyclohexene # SS



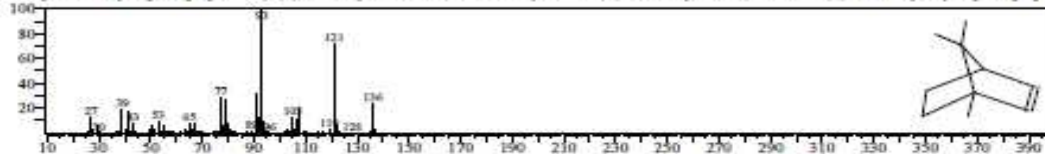
Hit# 3 Entry:10035 Library:NIST14.lib  
 SI:93 Formula:C10H16 CAS:29050-33-7 MolWeight:136 RefIndex:919  
 CompName:(+)-4-Carene SS 4,7,7-Trimethylbicyclo[4.1.0]hept-2-ene # SS



Hit# 4 Entry:10034 Library:NIST14.lib  
 SI:93 Formula:C10H16 CAS:554-61-0 MolWeight:136 RefIndex:948  
 CompName:2-Carene SS Bicyclo[4.1.0]hept-2-ene, 3,7,7-trimethyl- SS delta-2-Carene SS (+)-2-Carene SS 3,7,7-Trimethylbicyclo[4.1.0]hept-2-ene SS



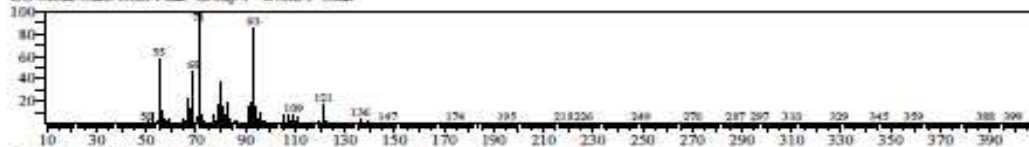
Hit# 5 Entry:6855 Library:NIST14c.lib  
 SI:93 Formula:C10H16 CAS:464-17-5 MolWeight:136 RefIndex:932  
 CompName:Bicyclo[2.2.1]hept-2-ene, 1,7,7-trimethyl- SS 2-Cyclohexene SS Bornylene SS 1,7,7-Trimethyl-2-cyclohexene SS 1,7,7-Trimethylbicyclo[2.2.1]hept-2



Qualitative Analysis Report

<< Target >>

Line# 9 R Time: 11.850 (Scan# 1371) MassPeak: 190  
 RawMode: Averaged 11.845-11.855 (1370-1372) BasePeak: 71.05(7521)  
 BG Mode: Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan



Hit# 1 Entry: 18069 Library: NIST14c.lib  
 SI: 96 Formula: C10H18O CAS: 78-70-6 MolWeight: 154 RefIndex: 1082  
 CompName: Linalool SS 1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl- SS beta-Linalool SS Linalol SS Linalyl alcohol SS 2,6-Dimethyl-2,7-octadien-6-ol SS allo-Ocimen



Hit# 2 Entry: 10359 Library: NIST14c.lib  
 SI: 94 Formula: C10H18O CAS: 78-70-6 MolWeight: 154 RefIndex: 1082  
 CompName: Linalool SS 1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl- SS beta-Linalool SS Linalol SS Linalyl alcohol SS 2,6-Dimethyl-2,7-octadien-6-ol SS allo-Ocimen



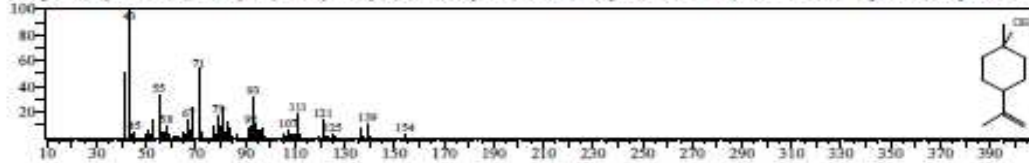
Hit# 3 Entry: 10360 Library: NIST14c.lib  
 SI: 94 Formula: C10H18O CAS: 78-70-6 MolWeight: 154 RefIndex: 1082  
 CompName: Linalool SS 1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl- SS beta-Linalool SS Linalol SS Linalyl alcohol SS 2,6-Dimethyl-2,7-octadien-6-ol SS allo-Ocimen



Hit# 4 Entry: 10353 Library: NIST14c.lib  
 SI: 93 Formula: C10H18O CAS: 78-70-6 MolWeight: 154 RefIndex: 1082  
 CompName: Linalool SS 1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl- SS beta-Linalool SS Linalol SS Linalyl alcohol SS 2,6-Dimethyl-2,7-octadien-6-ol SS allo-Ocimen



Hit# 5 Entry: 17968 Library: NIST14c.lib  
 SI: 87 Formula: C10H18O CAS: 7299-41-4 MolWeight: 154 RefIndex: 1158  
 CompName: Cyclohexanol, 1-methyl-4-(1-methylbutyl)-, cis- SS Terpinolol, cis-beta- SS p-Menth-8-en-1-ol, cis SS cis-beta-Terpinolol SS cis-p-Menth-8-en



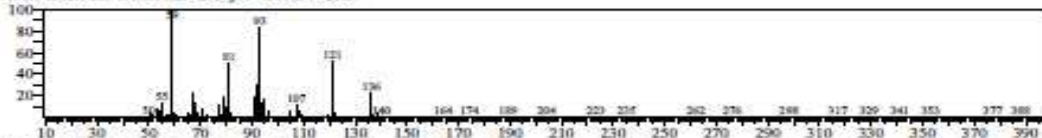
## Qualitative Analysis Report

&lt;&lt; Target &gt;&gt;

Line# 10 R.Time: 15.175(Scan# 2036) MassPeak: 169

RawMode: Averaged 15.170-15.180(2035-2037) BasePeak: 59.05(12271)

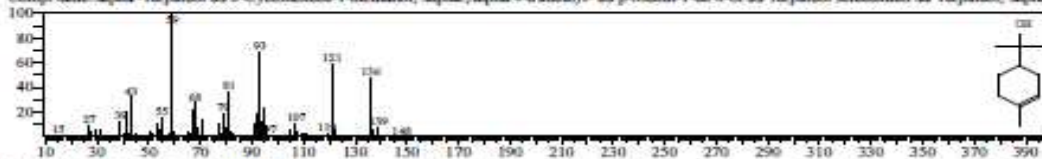
BG Mode: Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan



Hit# 1 Entry: 10328 Library: NIST14a.lh

SI: 93 Formula: C10H18O CAS: 98-55-5 MolWeight: 154 RefIndex: 1143

CompName: alpha-Terpinolol SS 3-Cyclohexeno-1-methanol, alpha, alpha-4-trimethyl- SS p-Menth-1-en-8-ol SS Terpinolol schloechthin SS Terpinolol, alpha



Hit# 2 Entry: 18021 Library: NIST14.lh

SI: 92 Formula: C10H18O CAS: 10482-56-1 MolWeight: 154 RefIndex: 1143

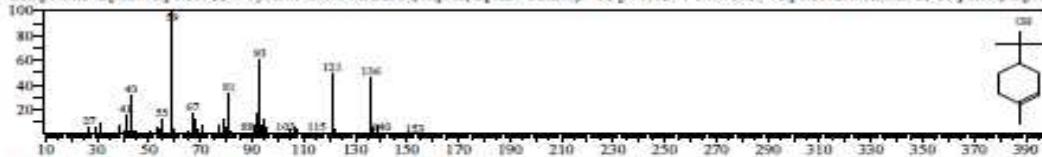
CompName: L-alpha-Terpinolol SS 3-Cyclohexeno-1-methanol, alpha, alpha-4-trimethyl-, (S)- SS p-Menth-1-en-8-ol, (S)-(-)- SS alpha-Terpinolol, (-)- SS (-)-



Hit# 3 Entry: 10327 Library: NIST14a.lh

SI: 92 Formula: C10H18O CAS: 98-55-5 MolWeight: 154 RefIndex: 1143

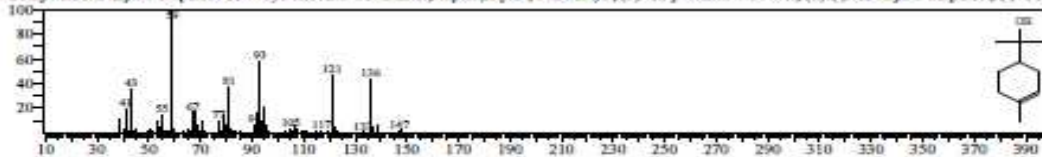
CompName: alpha-Terpinolol SS 3-Cyclohexeno-1-methanol, alpha, alpha-4-trimethyl- SS p-Menth-1-en-8-ol SS Terpinolol schloechthin SS Terpinolol, alpha



Hit# 4 Entry: 10326 Library: NIST14a.lh

SI: 92 Formula: C10H18O CAS: 10482-56-1 MolWeight: 154 RefIndex: 1143

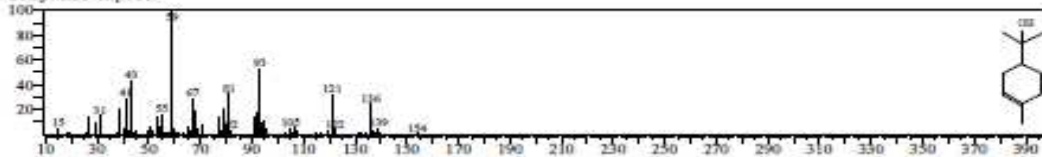
CompName: L-alpha-Terpinolol SS 3-Cyclohexeno-1-methanol, alpha, alpha-4-trimethyl-, (S)- SS p-Menth-1-en-8-ol, (S)-(-)- SS alpha-Terpinolol, (-)- SS (-)-



Hit# 5 Entry: 18020 Library: NIST14.lh

SI: 92 Formula: C10H18O CAS: 0-00-0 MolWeight: 154 RefIndex: 0

CompName: Terpinolol



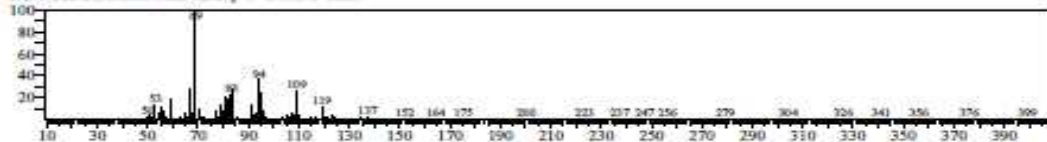
## Qualitative Analysis Report

&lt;&lt; Target &gt;&gt;

Line# 11 R. Time 16.585(Scan# 2318) MassPeak: 188

RawMode: Averaged 16.580-16.590(2317-2319) BasePeak: 69.05(49269)

BG Mode Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan



Hit# 1 Entry: 9786 Library: NIST14s.lib

SI: 96 Formula: C10H16O CAS: 106-26-3 MolWeight: 152 RefIndex: 1174

CompName: 2,6-Octadial, 3,7-dimethyl-, (Z)- SS beta-Citral SS cis-Citral SS cis-3,7-Dimethyl-2,6-octadial SS beta-Citral SS Nerol SS Z-Citral SS (Z)-3,



Hit# 2 Entry: 9827 Library: NIST14s.lib

SI: 92 Formula: C10H16O CAS: 106-26-3 MolWeight: 152 RefIndex: 1174

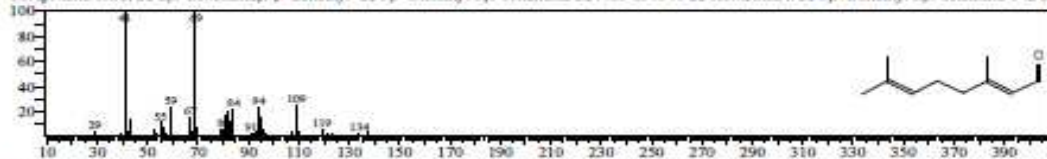
CompName: 2,6-Octadial, 3,7-dimethyl-, (Z)- SS beta-Citral SS cis-Citral SS cis-3,7-Dimethyl-2,6-octadial SS beta-Citral SS Nerol SS Z-Citral SS (Z)-3,



Hit# 3 Entry: 9789 Library: NIST14s.lib

SI: 91 Formula: C10H16O CAS: 5392-40-5 MolWeight: 152 RefIndex: 1174

CompName: Citral SS 2,6-Octadial, 3,7-dimethyl- SS 3,7-Dimethyl-2,6-octadial SS NCI-C56348 SS Lemarone n SS 3,7-Dimethyl-2,6-octadial-1-ol SS



Hit# 4 Entry: 9824 Library: NIST14s.lib

SI: 88 Formula: C10H16O CAS: 5392-40-5 MolWeight: 152 RefIndex: 1174

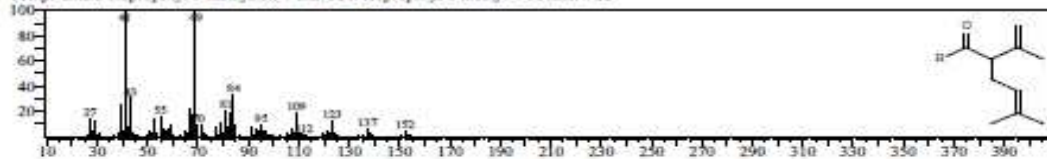
CompName: Citral SS 2,6-Octadial, 3,7-dimethyl- SS 3,7-Dimethyl-2,6-octadial SS NCI-C56348 SS Lemarone n SS 3,7-Dimethyl-2,6-octadial-1-ol SS



Hit# 5 Entry: 16751 Library: NIST14s.lib

SI: 87 Formula: C10H16O CAS: 75697-98-2 MolWeight: 152 RefIndex: 1092

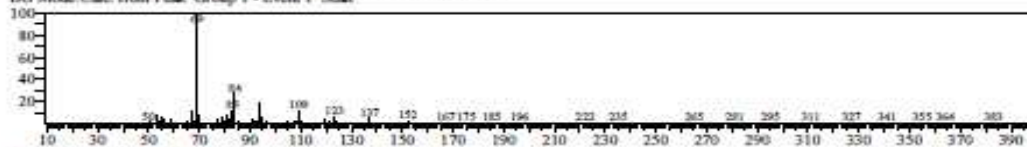
CompName: 2-Isopropenyl-5-methylhex-4-enal SS 2-Isopropenyl-5-methyl-4-hexenal # SS



## Qualitative Analysis Report

&lt;&lt; Target &gt;&gt;

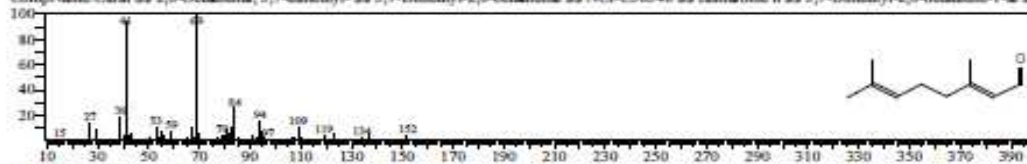
Line# 12 R-Time: 17.570 (Scan# 2515) MassPeak: 158  
 RawMode: Averaged 17.565-17.575 (2514-2516) BasePeak: 69.10 (115778)  
 BG Mode: Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan



Hit# 1 Entry: 9825 Library: NIST14s.lib

SI: 96 Formula: C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>O CAS: 5392-40-5 MolWeight: 152 RefIndex: 1174

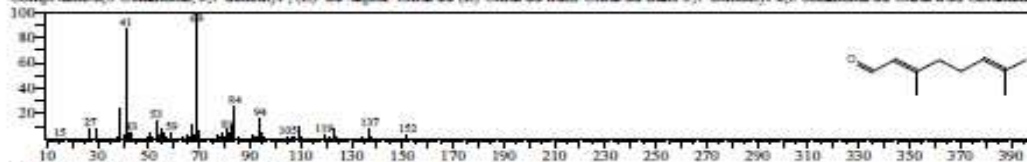
CompName: Citral SS 2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl- SS 3,7-Dimethyl-2,6-octadienal SS NCI-C56348 SS Lemnarmone n SS 3,7-Dimethyl-2,6-octadiene-1-al SS



Hit# 2 Entry: 9828 Library: NIST14s.lib

SI: 96 Formula: C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>O CAS: 141-27-5 MolWeight: 152 RefIndex: 1174

CompName: 2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (E)- SS alpha-Citral SS (E)-Citral SS trans-Citral SS trans-3,7-Dimethyl-2,6-octadienal SS Citral a SS Geranaldel



Hit# 3 Entry: 16750 Library: NIST14s.lib

SI: 95 Formula: C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>O CAS: 141-27-5 MolWeight: 152 RefIndex: 1174

CompName: 2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (E)- SS alpha-Citral SS (E)-Citral SS trans-Citral SS trans-3,7-Dimethyl-2,6-octadienal SS Citral a SS Geranaldel



Hit# 4 Entry: 9826 Library: NIST14s.lib

SI: 95 Formula: C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>O CAS: 5392-40-5 MolWeight: 152 RefIndex: 1174

CompName: Citral SS 2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl- SS 3,7-Dimethyl-2,6-octadienal SS NCI-C56348 SS Lemnarmone n SS 3,7-Dimethyl-2,6-octadiene-1-al SS



Hit# 5 Entry: 16749 Library: NIST14s.lib

SI: 94 Formula: C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>O CAS: 106-26-3 MolWeight: 152 RefIndex: 1174

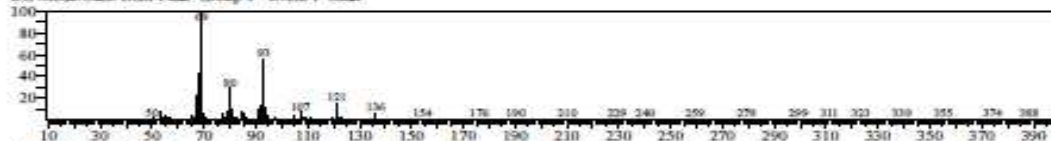
CompName: 2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (Z)- SS beta-Citral SS cis-Citral SS cis-3,7-Dimethyl-2,6-octadienal SS beta-Citral SS Nerol SS Z-Citral SS (Z)-3,



## Qualitative Analysis Report

&lt;&lt; Target &gt;&gt;

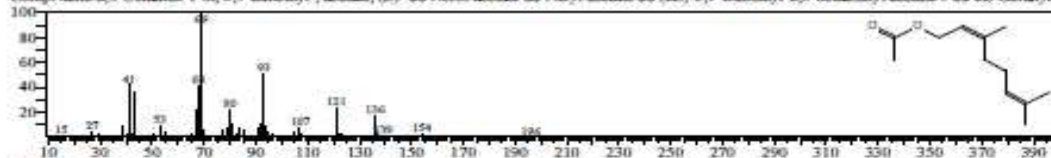
Line# 13 R.Time:20.575(Scan# 3116) MassPeaks:219  
 RawMode:Averaged 20.570-20.580(3115-3117) BasePeak:69.10(30404)  
 BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan



Hit# 1 Entry:44155 Library:NIST14.lib

SI:96 Formula:C12H20O2 CAS:141-12-8 MolWeight:196 RefIndex:1352

CompName:2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, acetate, (Z)- SS Nerol acetate SS Neryl acetate SS (2Z)-3,7-Dimethyl-2,6-octadienyl acetate # SS cis-Geranyl a



Hit# 2 Entry:17790 Library:NIST14s.lib

SI:93 Formula:C12H20O2 CAS:141-12-8 MolWeight:196 RefIndex:1352

CompName:2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, acetate, (Z)- SS Nerol acetate SS Neryl acetate SS (2Z)-3,7-Dimethyl-2,6-octadienyl acetate # SS cis-Geranyl a



Hit# 3 Entry:17796 Library:NIST14s.lib

SI:93 Formula:C12H20O2 CAS:25905-14-0 MolWeight:196 RefIndex:1270

CompName:4-Hexen-1-ol, 5-methyl-2-(1-methylethenyl)-, acetate SS 2-Isopropenyl-5-methyl-4-hexenyl acetate # SS (+/-)-Lavandulyl acetate SS Lavandulo



Hit# 4 Entry:44157 Library:NIST14.lib

SI:93 Formula:C12H20O2 CAS:25905-14-0 MolWeight:196 RefIndex:1270

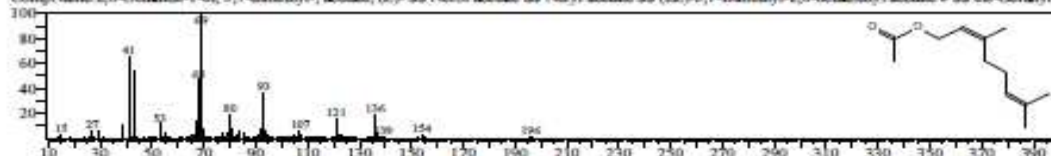
CompName:4-Hexen-1-ol, 5-methyl-2-(1-methylethenyl)-, acetate SS 2-Isopropenyl-5-methyl-4-hexenyl acetate # SS (+/-)-Lavandulyl acetate SS Lavandulo



Hit# 5 Entry:17789 Library:NIST14s.lib

SI:93 Formula:C12H20O2 CAS:141-12-8 MolWeight:196 RefIndex:1352

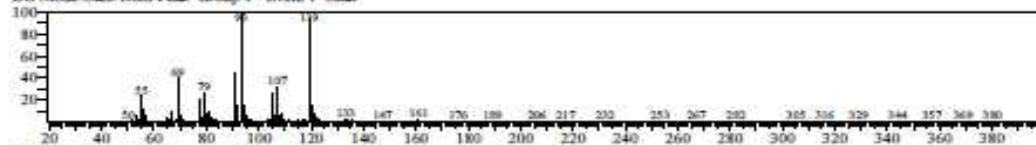
CompName:2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, acetate, (Z)- SS Nerol acetate SS Neryl acetate SS (2Z)-3,7-Dimethyl-2,6-octadienyl acetate # SS cis-Geranyl a



## Qualitative Analysis Report

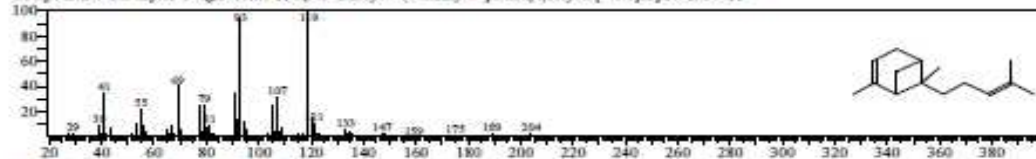
&lt;&lt; Target &gt;&gt;

Line# 14 R-Time: 23.145 (Scan# 3630) MassPeak: 229  
 RawMode: Averaged 23.140-23.150(3629-3631) BasePeak: 93.10(12256)  
 BG Mode Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan



Hit# 1 Entry: 49947 Library: NIST14.lib

SI: 95 Formula: C15H24 CAS: 13474-59-4 MolWeight: 204 RefIndex: 1430

CompName: trans- $\alpha$ -Bergamotene \$\$ 2,6-Dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)bicyclo[3.1.1]hept-2-ene # \$\$

Hit# 2 Entry: 49948 Library: NIST14.lib

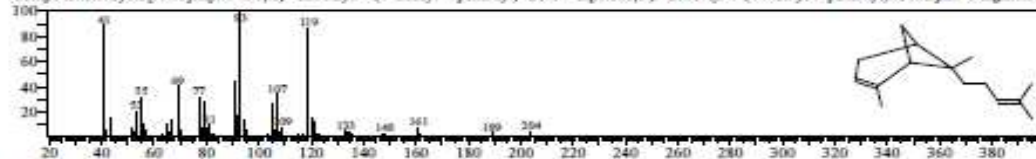
SI: 94 Formula: C15H24 CAS: 18252-46-5 MolWeight: 204 RefIndex: 0

CompName: cis- $\alpha$ -Bergamotene \$\$ (1R,5R,6R)-2,6-Dimethyl-6-(4-methylpent-3-en-1-yl)bicyclo[3.1.1]hept-2-ene \$\$ Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene, 2,6-dimethyl-

Hit# 3 Entry: 49872 Library: NIST14.lib

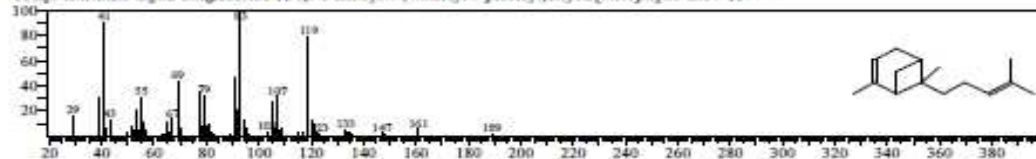
SI: 94 Formula: C15H24 CAS: 17699-05-7 MolWeight: 204 RefIndex: 1430

CompName: Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene, 2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)- \$\$ 2-Norpinene, 2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)- \$\$ alpha-Bergamotene



Hit# 4 Entry: 19084 Library: NIST14a.lib

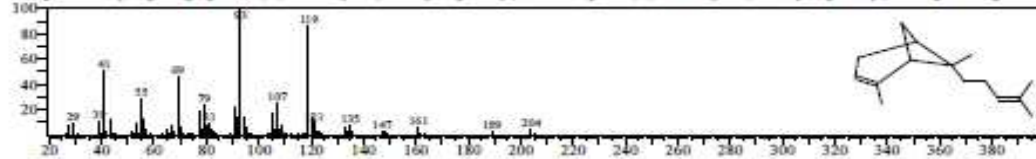
SI: 93 Formula: C15H24 CAS: 13474-59-4 MolWeight: 204 RefIndex: 1430

CompName: trans- $\alpha$ -Bergamotene \$\$ 2,6-Dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)bicyclo[3.1.1]hept-2-ene # \$\$

Hit# 5 Entry: 19091 Library: NIST14a.lib

SI: 93 Formula: C15H24 CAS: 17699-05-7 MolWeight: 204 RefIndex: 1430

CompName: Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene, 2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)- \$\$ 2-Norpinene, 2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)- \$\$ alpha-Bergamotene

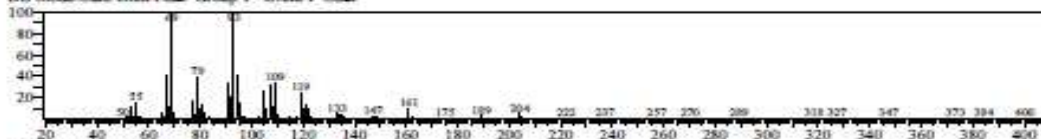




## Qualitative Analysis Report

&lt;&lt; Target &gt;&gt;

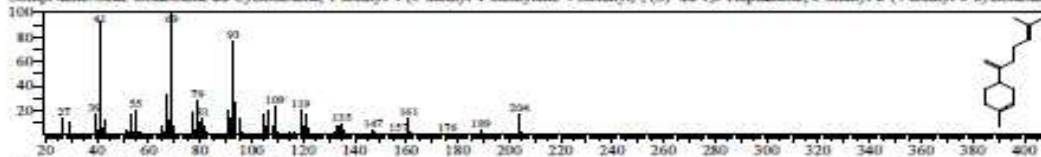
Line# 15 R.Time:25.450(Scan# 4091) MassPeaks:201  
 RawMode:Averaged 25.445-25.455(4090-4092) BasePeak:69.10(14236)  
 BG Mode Calc. from Peak Group 1 - Event 1 Scan



Hit# 1 Entry:19064 Library:NIST14s.lib

SI:92 Formula:C15H24 CAS:495-61-4 MolWeight:204 RefIndex:1500

CompName: beta-Bisabolene SS Cyclohexene, 1-methyl-4-(5-methyl-1-methylene-4-hexenyl)-, (S)- SS 1,5-Heptadiene, 6-methyl-2-(4-methyl-3-cyclohexen-



Hit# 2 Entry:19036 Library:NIST14s.lib

SI:92 Formula:C15H24 CAS:495-61-4 MolWeight:204 RefIndex:1500

CompName: beta-Bisabolene SS Cyclohexene, 1-methyl-4-(5-methyl-1-methylene-4-hexenyl)-, (S)- SS 1,5-Heptadiene, 6-methyl-2-(4-ethyl-3-cyclohexen-



Hit# 3 Entry:19065 Library:NIST14s.lib

SI:91 Formula:C15H24 CAS:495-61-4 MolWeight:204 RefIndex:1500

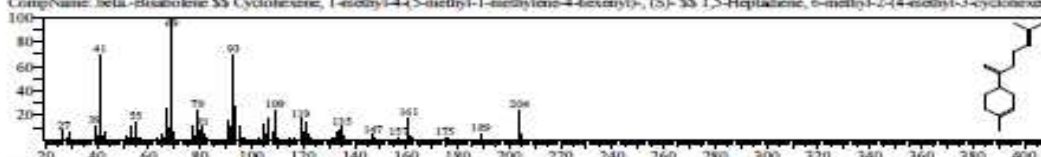
CompName: beta-Bisabolene SS Cyclohexene, 1-methyl-4-(5-methyl-1-methylene-4-hexenyl)-, (S)- SS 1,5-Heptadiene, 6-methyl-2-(4-ethyl-3-cyclohexen-



Hit# 4 Entry:49847 Library:NIST14s.lib

SI:90 Formula:C15H24 CAS:495-61-4 MolWeight:204 RefIndex:1500

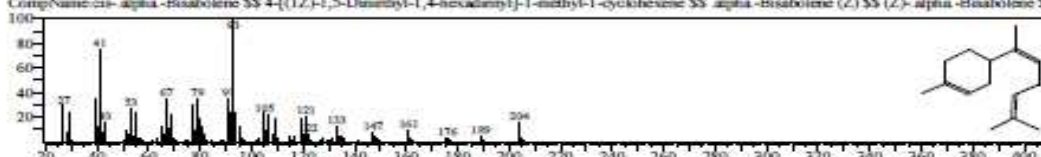
CompName: beta-Bisabolene SS Cyclohexene, 1-methyl-4-(5-methyl-1-methylene-4-hexenyl)-, (S)- SS 1,5-Heptadiene, 6-methyl-2-(4-ethyl-3-cyclohexen-



Hit# 5 Entry:49869 Library:NIST14s.lib

SI:88 Formula:C15H24 CAS:29837-07-8 MolWeight:204 RefIndex:1518

CompName: cis- alpha-Bisabolene SS 4-[(1Z)-1,5-Dimethyl-1,4-hexadienyl]-1-methyl-1-cyclohexene SS alpha-Bisabolene (Z) SS (Z)- alpha-Bisabolene SS



Correo Electrónico:

omar.net31@gmail.com

Teléfono:

72557257