

t  
660.2  
Ch18d

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUIMICA**



**“DISEÑO DEL EXTRACTOR MULTIFUNCIONAL PARA ACEITES  
ESENCIALES A NIVEL BANCO PARA FINES EXPERIMENTALES”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO QUÍMICO**

**WILLIAMS CHAMBI CANAHURI  
CARLA PAOLA NINATANTA ROMAN**

A handwritten signature in black ink, appearing to be "Williams Chambi Canahuri".

**Callao, Abril, 2014**

**PERÚ**

A handwritten signature in black ink, appearing to be "Carla Paola Ninatanta Roman".

Id. Exemplar: 39119

## DEDICATORIA

Dedicamos esta tesis a nuestros padres quienes nos han apoyado para poder llegar hasta este momento tan importante de nuestras vidas, ya que ellos siempre han estado presentes brindándonos sus consejos y alientos para llegar a esta meta.

## AGRADECIMIENTO

El agradecimiento de nuestra tesis es principalmente a Dios quien nos a guiado y nos a dado la fortaleza de seguir adelante.

A los catedráticos de la Facultad de Ingeniería Química de la UNAC por quienes hemos llegado a obtener los conocimientos necesarios para poder desarrollar la tesis de manera especial a nuestro asesor Ing. Alberto Panana Girio.

## **PRÓLOGO DEL JURADO**

La presente Tesis fue sustentada ante el JURADO DE SUSTENTACIÓN conformada por los siguientes Docentes Ordinarios:

<b>Ing. Luis Américo Carrasco Venegas</b>	<b>: Presidente</b>
<b>Ing. Leonardo Félix Machaca Gonzales</b>	<b>: Secretario</b>
<b>Ing. Leonardo Rufino Carlos Pereyra</b>	<b>: Vocal</b>
<b>Ing. Alberto Emilio Panana Girio</b>	<b>: Asesor</b>

Tal y como está asentado en el Libro de Actas de Sustentación de Tesis N°02, Folio N°57, Acta N°240, de fecha VEITINUEVE DE ABRIL DEL 2014, para optar por el Título Profesional De Ingeniero Químico en la modalidad de Titulación Con Sustentación De Tesis, de acuerdo a lo normado por el Reglamento De Grados Y Títulos aprobado por Resolución N°082 -2011-CU de fecha 29 de Abril del 2011.

## INDICE

	Página
RESUMEN	4
I. INTRODUCCION	5
1.1. Descripción General del Tema.	5
1.2. Marco Situacional	12
1.3. Enunciado del Problema	12
1.4. Fundamentación del Problema	13
1.5. Objetivos de la Investigación	15
1.6. Alcance, Meta, Importancia, y Justificación de la Investigación	16
1.7. Formulación de Hipótesis	18
II. MARCO TEORICO	19
2.1. Química de los Aceites Esenciales	19
2.1.1. Propiedades de los Aceites Esenciales	26
2.1.2. Propiedades Fisicoquímicas de los Aceites Esenciales	30
2.1.3. Composición Química de los Aceites esenciales	31
2.1.4. Aplicaciones	34
2.2. Proceso Difusional de los Aceites Esenciales	38
2.3. Análisis y Diseño de Extractores	58

III. MATERIALES Y METODOS (MODELOS Y METODOS DE DISEÑO DEL EXTRACTOR)	63
3.1. Fundamento de Diseño del Equipo de Extracción	63
3.2. Procedimiento de Diseño del Equipo de Extracción	69
3.2.1. Diseño del Hervidor	90
3.2.2. Diseño del Extractor	92
3.2.3. Diseño de la Cesta y Disco-Soporte de Distribución del Fluido (vapor).	94
3.2.4. Diseño del Condensador	94
3.2.5. Diseño del Colector de Productos	96
IV. RESULTADOS	97
V. DISCUSIÓN	100
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	104
VII. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	105
APÉNDICE	109
ANEXOS	116

## **RESUMEN.-**

Se ha diseñado el extractor multifuncional para aceites esenciales a nivel banco para el estudio de extracción de variedades de aceites esenciales, con fines experimentales.

Todo el conjunto de este extractor diseñado consta de: Hervidor, calentador eléctrico (cinta eléctrica), cesta metálica para materiales vegetales, extractor propiamente dicho, condensador, unidad colectora del producto (Florentino).

Para el diseño del extractor propiamente dicho se ha empleado el modelo de extractor de lecho fijo con flujo pistón del vapor o solvente y el modelo soxhlet empleando diversos materiales vegetales.

Se presentan los cálculos y criterios correspondientes para el diseño de cada una de las partes que componen todo el equipo de extracción multifuncional a escala banco para aceites esenciales.

Las especificaciones y datos de construcción de las otras unidades se mencionan en el cuadro de resultados, y los esquemas de instalación están en el apéndice.

Este equipo se utilizará para fines experimentales para desarrollo de trabajos de investigación en procesos de extracción de aceites esenciales.

## **I. INTRODUCCIÓN.-**

### **1.1. Descripción y Análisis del Tema.**

Los aceites esenciales puros y naturales proceden del cultivo ecológico o plantas silvestres, que son los más sanos, con diferencia, aunque también los más caros.

Un aceite esencial es una mezcla compleja de compuestos orgánicos que se obtiene ya sea por hidrodestilación de vegetales al estado fresco o seco, por rayado y expresión (prensado y centrifugación) o procesamiento especial de cáscaras de frutas (citrus), o bien por extracción con solventes volátiles o fijos en este último caso se utilizan procedimientos de adsorción en grasas animales purificadas, en particular grasa de cerdo, llamado extracción por enflorado).

El hombre se ha interesado en las diversas fragancias asociadas con algunas plantas. Hace ya mucho tiempo se descubrió que los principios activos a que se deben esos olores podían ser separados como aceites volátiles por calentamiento o arrastre con vapor y se lo llamo aceites esenciales. Posteriormente se amplió esta caracterización para abarcar compuestos aislados por procesos de extracción sólido-liquido. En una primera etapa se usaron principalmente con fines medicinales y luego se procedió a investigarlo químicamente. Se encontró entonces, que en las fracciones más volátiles de muchos aceites esenciales habían un gran número de hidrocarburos de formula  $C_{10}H_{16}$  a los que se los denomino terpenos (del Alemán terpentin = trementina). Más tarde se los llamo terpenoides [11].

El aceite esencial se encuentra en la mayor parte de las plantas vegetales, en sus raíces, tallos, hojas y flores.

Los aceites esenciales son mezclas complejas de compuestos orgánicos odoríferos obtenidos por hidrodestilación u otros procesos difusionales de extracción

sólido-líquido de materias vegetales frescos o secos. Las esencias obtenidas por cualquier método pueden ser esencias concretas, absolutas y oleorresinas [5].

Las esencias concretas son concentrados odoríferos obtenidos de partes vegetales frescos de bajo contenido resinoso mediante la extracción con un solvente no acuoso volátil, con la eliminación posterior del disolvente por evaporación a temperaturas moderadas y en un vacío parcial.

Las esencias absolutas, son materias de perfumería altamente concentrada obtenidas a partir de las esencias concretas mediante la repetida extracción con alcohol etílico, a lo que se sigue el enfriamiento del extracto (para precipitar las ceras y otras materias no odoríferas), la filtración o centrifugación de la solución alcohólica restante y finalmente la eliminación de la mayor parte del alcohol mediante la evaporación a temperaturas moderadas y en un vacío parcial. Las esencias absolutas son habitualmente líquidas y enteramente solubles en alcohol.

Las oleorresinas se obtienen de especies deshidratadas por extracción con un disolvente volátil no acuoso, a lo que sigue la eliminación del disolvente mediante evaporación a temperaturas moderadas y en un vacío parcial. Las oleorresinas contienen el aroma y el sabor de la especie correspondiente [11].

Mediante los procesos difusionales (sólido-líquido) se pueden extraer estas sustancias utilizando diferentes métodos de extracción sólido-líquido.

Estos métodos de extracción difieren según las propiedades o características de los aceites esenciales de que se trate y de su cantidad.

Existen diversos métodos mediante los cuales se consigue extraer las esencias de los materiales que las contienen. La elección de determinado método dependerá de las características de dichos materiales, de la volatilidad de la esencia, de su porcentaje en la

planta, de su ubicación, de las características de pureza y calidad que se desean obtener, etc. De acuerdo con estos criterios, Retamar (1971) [11] considera los siguientes métodos que son usados industrialmente:

**1. Extracción por exprimición:**

- a) Procedimiento con la esponja
- b) Procedimiento con la escudilla.
- c) Procedimiento termoneumático.
- d) Procedimiento por prensado.

**2. Extracción por hidrodestilación:**

- a) Destilación directa por arrastre con vapor de agua.
- b) Hidrodestilación propiamente dicha.
- c) Cohobación.
- d) Destilación al vacío o presión reducida.

**3. Extracción por solventes orgánicos**

- a) Por adsorción o goteo del líquido o solvente orgánico sobre el sólido.
- b) Completa inmersión o sumergido del sólido en el solvente líquido.

**4. Extracción a la grasa.**

- a) Por adsorción en frío (efleurage).
- b) Por maceración en caliente.
- c) Por método neumático de Piver.

**5. Extracción por fermentación.**

Los métodos 2 y 3 pueden operar en forma continua o por lotes de lecho fijo o lecho móvil.

La extracción sólido-líquido es un proceso difusional que consiste en separar el componente soluto del sólido mediante el contacto del líquido o vapor por diferentes métodos mencionados anteriormente en un sistema llamado extractor en forma controlada.

El más usado es el método por destilación por arrastre con vapor de agua sea en contacto directo con el agua o no; en perfumería se usa el sistema de maceración o de enflorare, y para cítricos es empleado el sistema de expresión [11].

En los métodos de extracción por solventes los más usados son el éter de petróleo y el benceno, siendo Kizil (1948), mencionado por Wilson (1969) [14], el que use, por primera vez la extracción con éter de petróleo.

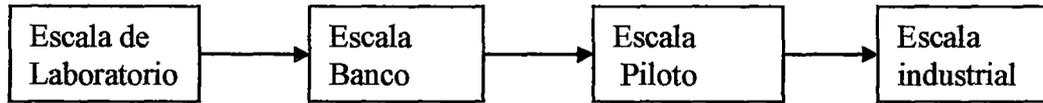
Kretchmar y Pictet, por medio de un aparato de destilación molecular obtiene una rectificación del aceite esencial, mencionado por Guenther (1967) [4].

Los extractores de contacto simple (o de una etapa) son los más sencillos y tienen un funcionamiento discontinuo, consiste en un tanque abierto con un falso doble fondo, donde se depositan los sólidos a extraer. El disolvente se distribuye por aspersion sobre la superficie de la masa de sólidos y cae por gravedad (soxhlet). El disolvente con el compuesto extraído se retira del doble fondo. Si se trata de disolventes volátiles es posible incorporar un sistema para su recuperación y reciclado. El residuo se saca manualmente o por vertido a través de la salida que se encuentra en la parte lateral del extractor [5].

Para la extracción por arrastre con vapor de agua, el material a extraer se coloca en el fondo del recipiente que tiene un soporte poroso y se barre continuamente con vapor, que arrastra los compuestos orgánicos volátiles, estos compuestos se separan por medio de un condensador [11].

El diseño tradicional de los extractores se basa en el siguiente diagrama:

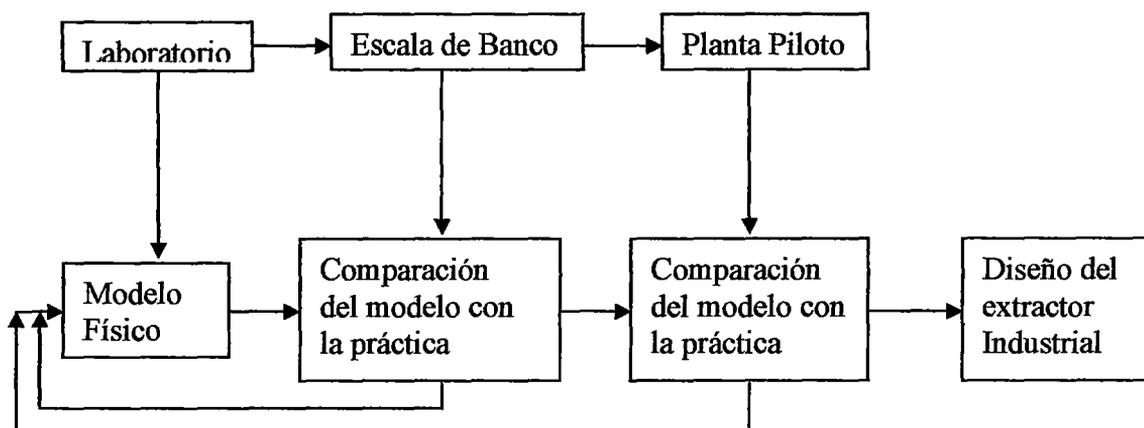
**Diagrama N° 1.1. Diseño tradicional de equipos industriales (Extractor) [6].**



En este clásico y cauteloso modo de investigación y diseño las crecientes complejidades, asociadas con la intervención de parámetros físicos, son observados gradualmente (esto es con considerables gastos).

Sin embargo, existe un prudente modo realista del diseño del extractor que puede ser esquematizado, en el diagrama siguiente:

**Diagrama N° 1.2. Modelo realista de diseño de extractores [6].**

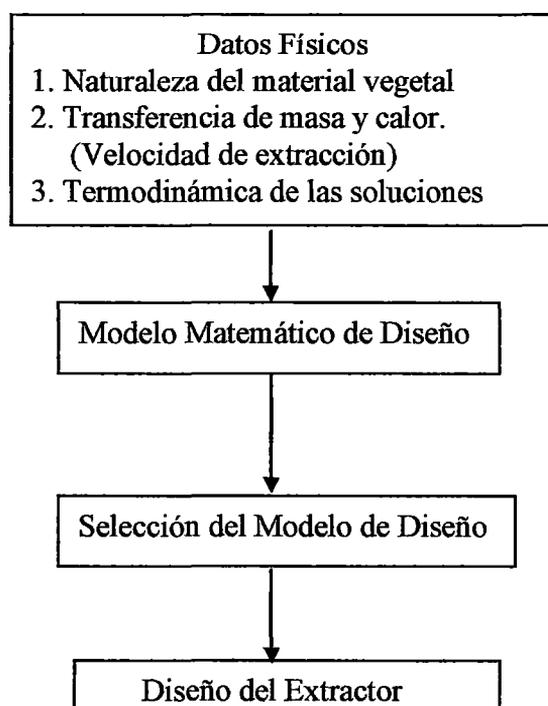


Aquí enfocamos que para el diseño del extractor a nivel de planta, primero se analiza en escala de laboratorio y banco, y luego se hacen una comparación entre los resultados experimentales y el modelo físico, sino concuerdan estos datos, se modifican los modelos físicos, y luego se hacen las predicciones en forma similar en escala piloto. Esta comparación de la realidad con predicción basada en modelos físicos permite el ajuste de los parámetros del modelo (físico). Por lo tanto, el diseño final no es un proceso a priori, sino que está informado a través de una realimentación.

Los problemas de análisis y diseño de extractores son mejores visualizados cuando se presentan un diagrama idealizado que a través del cual la realidad puede ser apreciada. Este diagrama así organizado permitiría la predicción del diseño del extractor.

Esta situación ideal puede ser representada en el siguiente diagrama.

**Diagrama N° 1.3. Modelo ideal de Diseño del Extractor [6]**



Un modelo fundamental para el diseño del extractor se relaciona con la velocidad de transferencia de masa y calor que se lleva a cabo dentro del material vegetal, donde existen fenómenos de difusión molecular y convectiva, que afectan a la velocidad de extracción y al tiempo de extracción [5].

Usando los diferentes variedades de materiales vegetales y mediante el diseño experimental (diseño factorial), se puede deducir los fenómenos físicos que controlan la

extracción del aceite esencial mediante la evaluación del rendimiento, y el funcionamiento del equipo con las condiciones de operación Óptima [5].

Los equipos usados en la extracción de aceites esenciales, comúnmente se efectúan a nivel de laboratorio en equipos de vidrio, y a escala industrial en equipos de acero inoxidable diseñados empíricamente que no consideran los fenómenos físicos que se presenta en este proceso difusional. Al revisar las referencias bibliográficas no se ha encontrado antecedentes que establezcan el escalamiento de diseño de extractores; asimismo no se ha encontrado el diseño detallado del extractor para aceites esenciales [11].

El extractor multifuncional es diseñado para extraer aceites esenciales por los siguientes métodos:

**Extracción por hidrodestilación:**

- a) Destilación directa por arrastre con vapor de agua.
- b) Hidrodestilación propiamente dicha.
- c) Cohobación.
- d) Destilación al vacío o presión reducida.

**Extracción por solventes orgánicos.**

- a) Por adsorción o goteo del líquido o solvente orgánico sobre el sólido (soxhlet).
- b) Completa inmersión o sumergido del sólido en el solvente líquido.

En el diseño del extractor multifuncional para aceites esenciales a nivel banco con fines experimentales es necesario conocer la accesibilidad de los solventes en la superficie externa e interna total del material sólido, y los métodos de extracción; siendo estos lo que diferencian de los otros trabajos ya existentes.

Todo el conjunto de este extractor incluye las siguientes partes:

1. Extractor propiamente dicho.
2. Hervidor.
3. Calentador eléctrico.
4. Condensador.
5. Florentino.
6. Cesta metálica para el material vegetal.

### **1.2. Marco Situacional.**

El tema se encuentra ubicado dentro del área de aceites esenciales (química fina) y en la sección de ingeniería, porque el primero responde a los conocimientos básicos y propiedades fisicoquímicos de los aceites esenciales (principios activos de plantas medicinales, y otros), y su método de extracción, y la segunda responde a los fundamentos y procedimiento de diseño del extractor.

Es una investigación tecnológica sustantiva y operativa, porque propone alternativas de solución, y busca el tipo de extractor y el modelo de diseño para la extracción (sólido-líquido) mediante las condiciones de operación establecida, es decir consiste en determinar el tamaño del extractor para lograr el rendimiento de extracción deseada.

### **1.3. Enunciado del problema.**

#### **Problema general.**

El diseño del extractor multifuncional para aceites esenciales a nivel banco para fines experimentales abarca varios aspectos, entre los cuales los más relevantes, y teniendo en cuenta a la descripción inicial del objeto de investigación, se ha planteado la siguiente pregunta:

¿Será factible el diseño del extractor multifuncional para aceites esenciales a nivel banco para fines experimentales?

### **Sub-problemas.**

¿Cuáles son las informaciones o fuentes disponibles que se analizará para el diseño del extractor multifuncional para aceites esenciales a nivel banco para fines experimentales?

¿Cuál será el procedimiento y las variables de diseño que se evaluarán en el diseño del extractor multifuncional para aceites esenciales a nivel banco para fines experimentales?

### **1.4. Fundamentación del Problema.**

El primer estudio en el Perú fue efectuado por Baldeón (1937) [1], luego Collazos y colaboradores (1957) [2] indican que la muña es una planta oriunda de los valles andinos del Perú y Bolivia, cuya especie pertenece a la familia de las labiadas, y mencionan que estas poseen esencias naturales con alto contenido de mentol, siendo de interés comercial.

Cueva y colaboradores 1955, estudiaron la obtención de la clorofila y beta caroteno a partir de hojas de banano y su aplicación a los cosméticos habiendo sido su objetivo de obtener beta caroteno y la clorofila para aprovechar la hojas de banano y su industrialización.

Machaca, G.L.F., 2003, analiza las condiciones óptimas del proceso de extracción, y en base a ello diseña el extractor para la obtención de la clorofila empleando el solvente selectivo y utilizando como materia prima alfalfa y hojas de banano.

Othmer, D.F., y Jaatinen, W.A., 1959, propone el método para diseñar extractores basándose con los datos experimentales de Laboratorio para escamas de soya.

Yang, H.H., y Brier, J.C., 1958, estudiaron la extracción de azúcar a partir de la remolacha de azúcar con agua caliente.

Osburn, J. Q., y Katz, D.L., 1944, analizaron la resistencia a la transferencia de masa del soluto desde la superficie sólida hasta el seno del disolvente general encontrando que esta resistencia es bastante pequeña.

Morales (1973) [3] estudia la extracción del aceite esencial del *Minthostachys mollis* (muña) con un material vegetal oriundo de la localidad de Huancayo cuyos parámetros óptimos para su tecnología fue determinado por medio de espectros de UV e IR.

Gibaja (1960) [4] efectuó el estudio para extraer el aceite esencial de *Minthostachys mollis* (muna) cuyo material vegetal es oriundo de la localidad, del Cuzco siendo obtenido por el método de fraccionamiento de micro destilación e identificando las fracciones por espectroscopia de absorción UV sin lijar parámetros espectroscópicos y no determina las propiedades particulares para cada una de ellas; donde ambos trabajos [3] y [4] utilizan sistemas de análisis deferentes.

Rafols (1964) [6] explica que el aceite esencial de muna pertenecen al grupo de las sustancias isoprenoides, formadas por la unión de moléculas como la del isopreno enlazadas en forma lineal o cíclica.

De acuerdo con Braverman (1967) [7] todas contienen un gran porcentaje de mezclas volátiles de terpenos, sesquiterpenos, alcoholes, aldehídos, cetonas, ácidos, esterres y otros no volátiles como alcanfores y materiales céreos, por lo que se pueden presentar en forma sólida o líquida.

Jenkins y Du Mez (1937) [8] reportan que las esencias ricas en compuestos oxigenados (que son los principales portadores de los olores específicos) tienen mayor densidad que las abundantes en compuestos hidrocarbonatos pero son menos activas a la

luz polarizada y ambas a su vez insolubles o muy poco solubles en agua aunque si en alcoholes y solventes orgánicos.

Ames y Matthews (1937) [9] mencionan que, la mayoría de las esencias están constituidas por un compuesto predominante, pudiéndose mencionar el caso de la similares al tubérculo recién cosechado.

Hay estudios del proceso de extracción y diseño de extractores para otros tipos de aceites, saborizantes, colorantes naturales, perfumes, fármacos, etc.

En la literatura existente( artículos publicados), no hay estudios realizados sobre el diseño del extractor multifuncional a nivel de laboratorio para aceites esenciales mediante la comprensión fundamental de los fenómenos que se producirá en cualesquiera de los extractores en forma controlada. Asimismo, en el diseño del proceso y del extractor, es necesario conocer la accesibilidad de los solventes en la superficie externa e interna total del material sólido. Por consiguiente, esto hace que se diferencian de los otros trabajos ya existentes.

### **1.5. Objetivo de la Investigación.**

El objetivo del problema de investigación puede formularse en los términos siguientes:

#### **Objetivo General.**

Diseñar el extractor multifuncional para aceites esenciales a nivel banco para fines experimentales.

#### **Objetivos Específicos.**

El presente trabajo de investigación apunta a los siguientes objetivos específicos:

1. Analizar la química de los aceites esenciales, variedades de materiales vegetales y sus usos

2. Estudiar los aspectos fundamentales del proceso difusional de extracción y sus aplicaciones desde el punto de vista de las condiciones que imperan a escala banco, donde los fenómenos ocurren bajo situaciones habitualmente muy diferentes de las que son dables de observar en el laboratorio permitiendo seguir el perfil de velocidad de extracción.
3. Analizar y determinar experimentalmente las variables de diseño del extractor y del proceso de estación de aceites esenciales, y, a partir de los resultados analizar el funcionamiento del extractor y el rendimiento del proceso.
4. Diseñar o dimensionar detalladamente el extractor sólido-líquido multifuncional para aceites esenciales a nivel banco para fines experimentales.

## **1.6. Alcance, Meta, Importancia, y Justificación.**

### **1.6.1. Alcance.-**

El desarrollo de este trabajo de tesis con lleva al estudio del extractor multifuncional, su diseño, así como su aplicación en la extracción de aceites esenciales logrando el desarrollo de una tecnología a nivel banco para su aplicación para fines experimentales y se determine las variables de diseño del extractor a nivel de planta piloto y a nivel industrial.

### **1.6.2. Meta.**

Diseñar el extractor multifuncional para aceites esenciales a nivel banco, y obtener las condiciones optimas para el escalamiento a nivel de planta piloto y finalmente a nivel industrial.

### **1.6.3. Importancia.**

La importancia del trabajo de tesis radica en los siguientes aspectos:

1. Diseñar el extractor multifuncional para aceites esenciales a escala banco con fines experimentales que sea necesario para la investigación y desarrollo de los procesos de extracción que se incluyen en los procesos industriales para la obtención de aceites esenciales usando como materia prima los materiales vegetales.

2. Aplicar la imaginación en la búsqueda de soluciones propias a nuestros problemas técnicos, en forma ordenada, evaluada, documentada y debidamente clasificada en el diseño de extractores multifuncional para aceites esenciales a nivel banco.

### **1.6.4. Justificación.**

1. En la literatura existente (artículos publicados), no hay estudios realizados sobre el diseño del extractor multifuncional a nivel banco para aceites esenciales mediante la comprensión fundamental de los fenómenos que se producirá en cualesquiera de los extractores en forma controlada.

2. En el diseño del proceso de extracción y del extractor, es necesario conocer la accesibilidad de los solventes en la superficie externa e interna total del material sólido.

Por consiguiente, esto hace que se diferencian de los otros trabajos ya existentes.

3. El extractor multifuncional para aceites esenciales a nivel banco contribuirá para la obtención de datos experimentales exactos y la discusión de los resultados para la proyección de diseño de equipos a escala piloto y finalmente a escala industrial.

4. Desarrollar trabajos de investigación en temas relacionados a la extracción de aceites esenciales y diseño de equipos.

## **1.7. FORMULACIÓN DE HIPOTESIS.**

Para el desarrollo de la presente tesis se ha planteado la siguiente hipótesis:

### **Hipótesis general.**

El diseño del extractor multifuncional para aceites esenciales a nivel banco para fines experimentales emplea métodos de extracción que describen los procesos difusionales que involucran sistemas como transferencia de masa, calor y cantidad de movimiento. Si dichos métodos de extracción presentan una buena fundamentación, tanto teórica como experimental, el diseño del extractor desarrollado en base a ellos es fiable y generan información de utilidad.

### **Hipótesis de trabajo.**

- a) La aplicación de los fundamentos del proceso difusional sólido líquido permite evaluar las variables del proceso y del diseño del extractor para aceites esenciales.
- b) La termodinámica de las soluciones permiten seleccionar el tipo de solvente óptimo y económico para el proceso de extracción.
- c) Los balances de materia, energía y cantidad de movimiento permiten llegar a expresiones que evalúan el rendimiento y eficiencia en el proceso de extracción.
- d) Los fundamentos, parámetros, y criterios de diseño bien formulados permiten evaluar las variables, el modelo y el procedimiento de diseño del extractor el diseño del extractor multifuncional para aceites esenciales a nivel banco para fines experimentales.

## **II. MARCO TEÓRICO.-**

### **2.1. QUÍMICA DE LOS ACEITES ESENCIALES.-**

La química de los aceites esenciales, es compleja. Pueden tener cientos de componentes. Ello explica por qué un único aceite esencial puede ayudar a curar una amplia variedad de trastornos. Dado que los aceites esenciales se encuentran en la naturaleza, no existen virtualmente efectos secundarios.

Los aceites esenciales son componentes líquidos odoríferos y volátiles producidos por las plantas aromáticas. Se acumulan en células especializadas o en partes específicas de la planta. Es posible encontrarlos en los pétalos (rosa), las hojas (eucalipto), la madera (sándalo), la fruta (limón), las semillas (alcaravea), las raíces (sasafrás), los rizomas (jengibre), la resina (pino), las gomas (incienso) y algunas veces en más de una parte de la planta. El naranjo es particularmente interesante pues produce tres esencias de diferentes olores con diferentes propiedades terapéuticas: azahar (flores), petit-grain (hojas y frutos inmaduros) y naranja (piel) [2].

La planta produce aceites esenciales para su propia supervivencia: para influir en el crecimiento y la producción; para atraer a los insectos que realizan la polinización; para ahuyentar a los parásitos, y para protegerse de las enfermedades.

Los aceites están compuestos, generalmente, por mezclas de hidrocarburos y compuestos oxigenados derivados de ellos. En algunas (la de trementina, por ejemplo), predominan los hidrocarburos y existen sólo pequeñas cantidades de componentes oxigenados; en otras (como la esencia de clavo), la mayor parte de la esencia son compuestos oxigenados. El olor y sabor de las esencias están determinados principalmente por estos componentes oxigenados que, por lo general, son apreciablemente solubles en agua (agua de azahar, agua de rosas, etc.). Muchos aceites

esenciales son de origen terpenoides; sólo un pequeño número de ellos, como los de canela y de clavo, contienen principalmente derivados aromáticos (bencénicos), mezclados con terpenos. De lo dicho hasta ahora se deduce que un aceite esencial es un compuesto de gran cantidad de moléculas orgánicas. Ahora bien, no es uno solo de sus componentes lo que le presta su identidad, sino la combinación exquisita y compleja de todos ellos. De este equilibrio dependen el perfume característico y la virtud terapéutica del aceite. Esa cantidad de elementos integrantes es lo que hace que sea casi imposible imitar un aceite determinado con exactitud en laboratorio. La reacción entre sus elementos y las moléculas que los forman es lo que da al aceite su valor terapéutico, y por eso las imitaciones sintéticas nunca tienen tanto poder curativo como sus modelos naturales [5].

Es también este equilibrio y reacción entre los elementos constituyentes, lo que hace que un aceite sea más o menos tóxico que otro. La toxicidad de uno de ellos puede ser compensada por otros elementos que la neutralizan, haciéndolo apto para la terapia.

La calidad de un aceite esencial depende de diversos factores que se influyen mutuamente: las condiciones del suelo, el clima, la altitud y el tiempo de recolección, que es vital. La concentración del aceite esencial en las plantas es más elevada durante el tiempo cálido y ésta es la mejor época de recolección. El jazmín, por ejemplo, al ser una flor que libera su perfume durante la noche, debe ser recolectado al anochecer. Por lo general, la recolección de las plantas con aceites esenciales debe completarse en cuestión de días; cualquier retraso puede echar a perder los aceites esenciales.

Cuanto más glándulas o conductos de aceite estén presentes en la planta, más barato será el aceite, y viceversa. Por ejemplo, 100 kilos de espliego producen casi 3 litros de aceite esencial, mientras que 100 kilos de pétalos de rosa sólo pueden producir

medio litro de aceite. Aunque pueden ser caros, los aceites esenciales son sustancias altamente concentradas; en la práctica, un poco de aceite durará mucho tiempo.

El creciente interés por la aromaterapia ha llevado a una gran demanda de aceites esenciales puros y no adulterados, a ser posible producidos biológicamente. En la terapia es crucial que se utilicen sólo los aceites esenciales puros y no adulterados.

El almacenamiento es importante. Los aceites esenciales deben venderse en botellas de vidrio oscuro bien tapadas y deberían protegerse de la luz, el calor y la humedad. Evita los aceites esenciales que se venden en botellas con un cuentagotas de goma.

Un fármaco químico o sintético puede contener un principio activo único, aunque muy poderoso, y por tanto desequilibrado. Estos fármacos carecen de la acción sinérgica (que trabaja en armonía) de los aceites esenciales. Como resultado, actúan como si fuesen un mazo para partir nueces. Los efectos secundarios negativos son el resultado inevitable de un ataque violento como éste [17].

Un hecho interesante es que Val net y otros médicos en el campo de la aromaterapia clínica han descubierto que las combinaciones de ciertos aceites esenciales no sólo son más potentes que cuando se utilizan por separado, sino que entra en funcionamiento el misterioso factor de la sinergia: el todo que es mayor que la suma de sus partes iguales. Este hecho es especialmente notable con la acción antibacterial de las esencias. Por ejemplo, una mezcla de clavo, tomillo, espliego y menta es mucho más poderosa de lo que podría creer un químico (teniendo en cuenta los componentes químicos combinados de los aceites). Curiosamente, al igual que una nota musical disonante, si se mezclan más de cinco esencias, se obtiene un efecto contraproducente. La acción antibacterial se debilita.

Los aceites esenciales son mezclas de varias sustancias químicas biosintetizadas por las plantas. Estos dan el aroma característico a algunas flores, árboles, semillas y a ciertos extractos de origen animal (almizcle, civeta, ámbar gris). Son intensamente aromáticos, no grasos (por lo que no se enrancian), volátiles (se evaporan rápidamente) y livianos (poco densos). Son insolubles en agua, levemente solubles en vinagre, y solubles en alcohol, grasas, ceras y aceites vegetales. Se oxidan por exposición al aire.

El principal método de aplicación de los aceites esenciales es a través de una dilución en agua caliente, para así que el vapor del agua mezclado con las esencias se absorban por medio del aparato respiratorio.

Es importante señalar que la mayoría de los aceites esenciales no pueden aplicarse en su estado puro directamente sobre la piel ya que son altamente concentrados por lo que será necesario diluirlos en otros aceites o en agua.

También pueden combinarse entre sí y producir sinergias que hagan un efecto más potente y benéfico, y es allí precisamente donde entra la ciencia, creatividad y el arte de la aromaterapia al producir diferentes mezclas.

Los aceites esenciales son característicos de los Magnoliales, los Laureles, los Austrobaileyales, y los Piperales, y también de algunas familias no emparentadas con estos órdenes, como Myrtaceae, Rutaceae, las familias de Apiales, Lamiaceae, Verbenaceae y Asteraceae.

Están presentes en distintas partes de la planta [21]:

- En las flores como lavanda, jazmín y rosa.

- En todo el árbol como sucede con los eucaliptos.
- En las hojas como citronela.
- En la madera como en el sándalo.
- En la raíz como en el vetiver.
- En la resina que exudan como en el incienso, la mirra y el benjuí.
- En la cáscara de los frutos como el limón, la naranja y la bergamota.
- Dentro de los tejidos vegetativos, se encuentran en células esféricas o diferentes cavidades o canales en el parénquima, y cuando dan el olor a las flores, se encuentran en las glándulas odoríferas desde donde son liberados.

Los aceites esenciales son muy inestables: volátiles, frágiles, y alterables con la luz. Para obtenerlos de la fuente natural se utilizan principalmente dos métodos: a) Destilación en corriente de vapor (o por arrastre de vapor). b) Extracción, que puede ser por presión en frío (exprimiendo sin calentar), por eflourage, entre otros.

Son muy concentrados, por lo que sólo se necesitan pequeñas cantidades para lograr el efecto deseado (del orden de los miligramos).

También se pueden sintetizar en forma artificial, que es la manera más habitual de obtenerlos, debido a que la gran demanda de estos productos no llega a ser abastecida por las fuentes naturales.

Algunos aceites esenciales producen efectos en los animales sobre diversos órganos (especialmente en los sentidos) y funciones sobre el sistema nervioso, por ejemplo el extracto de clavo, que tiene propiedades calmantes.

El uso principal de los aceites esenciales es en perfumería. También fueron tradicionalmente utilizados en Botánica Sistemática para establecer parentescos entre plantas, al principio en forma indirecta (utilizando el olor como carácter), luego en su forma química.

En la literatura fueron la inspiración de la novela de Patrick Süskind, El perfume, que tiene como protagonistas no humanos a los aceites esenciales.

Otro uso es en la terapia alternativa denominada aromaterapia, en esta disciplina por ejemplo el aceite de lavanda es usado para las heridas y quemaduras, y el aceite de jazmín es usado como relajante.

La aromaterapia, en común con otras terapias naturales, tiene como objetivo reforzar el sistema inmunológico. La medicina alópata tiende a debilitar las defensas del cuerpo, eliminando las afecciones sin suprimir las causas. Al mismo tiempo, los fármacos químicos provocan efectos secundarios contra los cuales el cuerpo deberá luchar, además de la enfermedad.

Los hidrolatos o aguas florales se extraen en el proceso de la destilación por arrastre de vapor de agua.

La composición química es: agua destilada, trazas de aceite esencial y ácidos carboxílicos que sintetiza la planta.

Lo interesante de los hidrolatos es que los ácidos carboxílicos que forman parte de su composición química son permeables a la piel y además tienen un pH similar a ésta. Esto los hace adecuados para mantener el buen estado de salud de la piel puesto que el pH ácido es indispensable para ello. La utilización de los hidrolatos en la elaboración de cremas, tónicos, lociones capilares, cataplasmas, etc. es muy adecuada.

Prácticamente todos los aceites esenciales consisten en mezclas de productos químicos que a menudo son muy complejas. En su mayoría están constituidos por **terpenos**, que son hidrocarburos cuya fórmula es  $C_{12}H_{16}$ . Los terpenos más comunes son el limoneno y el pineno. Estos terpenos se oxidan naturalmente, por lo que muchas veces es necesario separarlos, obteniendo un producto de mayor valor que se conoce como aceite esencial deterpenado. Su composición exacta se puede obtener mediante una cromatografía gaseosa. Es importante conocer ésta a los efectos de poder fijar precio al producto, ya que ésta varía según su composición química. Los mayores consumidores de aceites deterpenados son las industrias de perfumería.

Dado el elevado coste de los aceites esenciales, a veces se acelera el proceso de producción interviniendo, por ejemplo, con solventes cuando no resulta indispensable, o aumentando calor y presión para obtener una mayor cantidad; igualmente algunos aceites esenciales se “estiran” con sustancias de síntesis e incluso naturales, pero de menor coste.

En los aceites esenciales obtenidos de la cáscara de cítricos mediante presión, es importante que la cáscara no esté tratada de ningún modo, puesto que de otra forma encontraríamos, los residuos de pesticidas, difenilos y ceras brillantadoras.

Por el mismo motivo es importante también que las plantas usadas para obtener los aceites esenciales provengan de cultivos ecológicos, biodinámicas u orgánicos, o que se trate de plantas silvestres, pero que crezcan en zonas alejadas de la contaminación urbana, industrial o agrícola [14].

Escoger lo mejor significa recurrir a productores seguros, que ofrezcan los certificados precisos sobre los cultivos y la extracción.

La verificación sobre la calidad de los aceites esenciales se puede hacer mediante la determinación de solubilidad, de la densidad relativa, índice de refracción y desviación de la luz polarizada, de la espectrofotometría a la cromatografía de gases, de la determinación del punto de congelación al de fusión, de los residuos restantes en evaporación a la determinación del pH, de la estimación del porcentaje de ésteres, alcoholes, fenoles y otros constituyentes menores a la simple pero “espectacular” fotografía Kirlian y sus versiones más modernas.

Los aceites esenciales son mezclas homogéneas de compuestos químicos orgánicos, provenientes de una misma familia química, terpenoides. Tienen la propiedad en común, de generar diversos aromas agradables y perceptibles al ser humano. A condiciones ambientales, son líquidos menos densos que el agua, pero más viscosos que ella. Poseen un color en la gama del amarillo, hasta ser transparentes en algunos casos (Günther, 1948; Teuscher et al., 2005; Parry, 1921; Muñoz, 2002; Peter, 2004).

### **2.1.1. Propiedades de los aceites esenciales.-**

Todas las esencias son antisépticas; algunas también están dotadas de propiedades antivirales o antiinflamatorias. Por lo general se cree que las esencias de ajo y árbol de té son los aceites antivirales más potentes. Por razones obvias, la esencia de

ajo no suele emplearse en el masaje de aromaterapia, sino que se toma como medicina en forma de cápsulas de ajo. A diferencia de los antisépticos químicos, los aceites esenciales son inofensivos para el tejido, aunque son poderosos adversarios de los gérmenes [5, 6, 30].

Los aceites esenciales favorecen la curación natural estimulando y reforzando los mecanismos del cuerpo. A las esencias de manzanilla y tomillo, por ejemplo, se les atribuye la capacidad de estimular la producción de glóbulos blancos que nos ayudan en nuestra lucha contra la enfermedad. El espliego, en concreto, tiene la curiosa capacidad de estimular la regeneración de las células cutáneas; es estupendo para curar las quemaduras, las cicatrices, las heridas, las úlceras, etc.

Los aceites esenciales también actúan sobre el sistema nervioso central, algunos relajan (manzanilla, espliego, azahar), otros estimulan (romero, albahaca). Unos cuantos tienen la capacidad de normalizar. Por ejemplo, el ajo puede hacer subir la presión sanguínea baja y disminuir la presión alta. Del mismo modo, la bergamota y el geranio pueden tranquilizar o estimular según las necesidades del individuo, un fenómeno totalmente extraño para los fármacos sintéticos o químicos [5, 6].

**Bergamota:** Antidepresivo. Propiedades antisépticas. Ideal para el cuidado de pieles grasas y manchadas. En preparaciones de crema se aplica para el tratamiento de eczemas, psoriasis y acné. Es sumamente efectivo en baños de inmersión y rociado en la habitación o ambiente de trabajo.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Naranja:** Angustia, depresión, insomnio.

**Patchouli:** Calma y levanta el espíritu. Para acompañar los procesos de aprendizaje. Permite la liberación de fluidos en casos de edema, obesidad y retención de líquidos.

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

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

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

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

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

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

**Ylang-Ylang:** Es un aceite exótico, con características sensuales y afrodisíacas. Excelente para el cuidado de la piel. Calma, relaja. Para dar un toque floral a las fórmulas en las que participa [5, 6, 30].

### **2.1.2. Propiedades fisicoquímicas de los aceites esenciales.-**

Las propiedades fisico-químicas de los aceites esenciales o esencias son muy diversas, puesto que el grupo engloba sustancias muy heterogéneas, de las que en la esencia de una planta, prácticamente puede encontrarse solo una (en la gaulteria hay 98-99 % de salicilato de metilo y la esencia de canela contiene más de 85 % de cinamaldehído) o más de 30 compuestos como en la de jazmín o en la de manzanilla.

El rendimiento de esencia obtenido de una planta varía de unas cuantas milésimas por ciento de peso vegetal hasta 1-3 %. La composición de una esencia puede cambiar con la época de la recolección, el lugar geográfico o pequeños cambios genéticos [7, 8,9].

En gimnospermas y angiospermas es donde aparecen las principales especies que contienen aceites esenciales, distribuyéndose dentro de unas 60 familias.

Son particularmente ricas en esencias las pináceas, lauráceas, mirtáceas, labiáceas, umbelíferas, rutáceas y asteráceas.

Los aceites esenciales son volátiles y por ello, en general, son arrastrables en corriente de vapor de agua, son solubles en alcohol, solubles en aceites vegetales,

solubles en gelatina de Aloe vera, solubles en disolventes orgánicos (benceno, éter, acetona, etc) [7, 8,9].

Insolubles en agua, y se mezclan perfectamente con arcilla, algas y fango.

### **2.1.3. Composición química de los aceites esenciales.-**

En algunos (la de trementina, por ejemplo), predominan los hidrocarburos y existen sólo pequeñas cantidades de componentes oxigenados; en otras (como la esencia de clavo), la mayor parte de la esencia son compuestos oxigenados.

El olor y sabor de las esencias están determinados principalmente por estos componentes oxigenados que, por lo general, son apreciablemente solubles en agua (agua de azahar, agua de rosas, etc). Muchos aceites esenciales son de origen terpenoides; sólo un pequeño número de ellos, como los de canela y de clavo, contienen principalmente derivados aromáticos (bencénicos), mezclados con terpenos [28].

De lo dicho hasta ahora se deduce que un aceite esencial es un compuesto de gran cantidad de moléculas orgánicas. Ahora bien, no es uno solo de sus componentes lo que le presta su identidad, sino la combinación exquisita y compleja de todos ellos. De este equilibrio dependen el perfume característico y la virtud terapéutica del aceite. Esa cantidad de elementos integrantes es lo que hace que sea casi imposible imitar un aceite determinado con exactitud en laboratorio. La reacción entre sus elementos y las moléculas que los forman es lo que da al aceite su valor terapéutico, y por eso las imitaciones sintéticas nunca tienen tanto poder curativo como sus modelos naturales.

Es también este equilibrio y reacción entre los elementos constituyentes, lo que hace que un aceite sea más o menos tóxico que otro. La toxicidad de uno de ellos puede ser compensada por otros elementos que la neutralizan, haciéndolo apto para la terapia.

Su composición química es bastante compleja, pues, como se ha dicho, se trata de mezclas de numerosas sustancias (a veces sobre 100), las que pertenecen principalmente a dos grupos químicos [23]:

a) Compuestos terpénicos

b) Compuestos aromáticos derivados del fenilpropano.

c) Compuestos diversos.

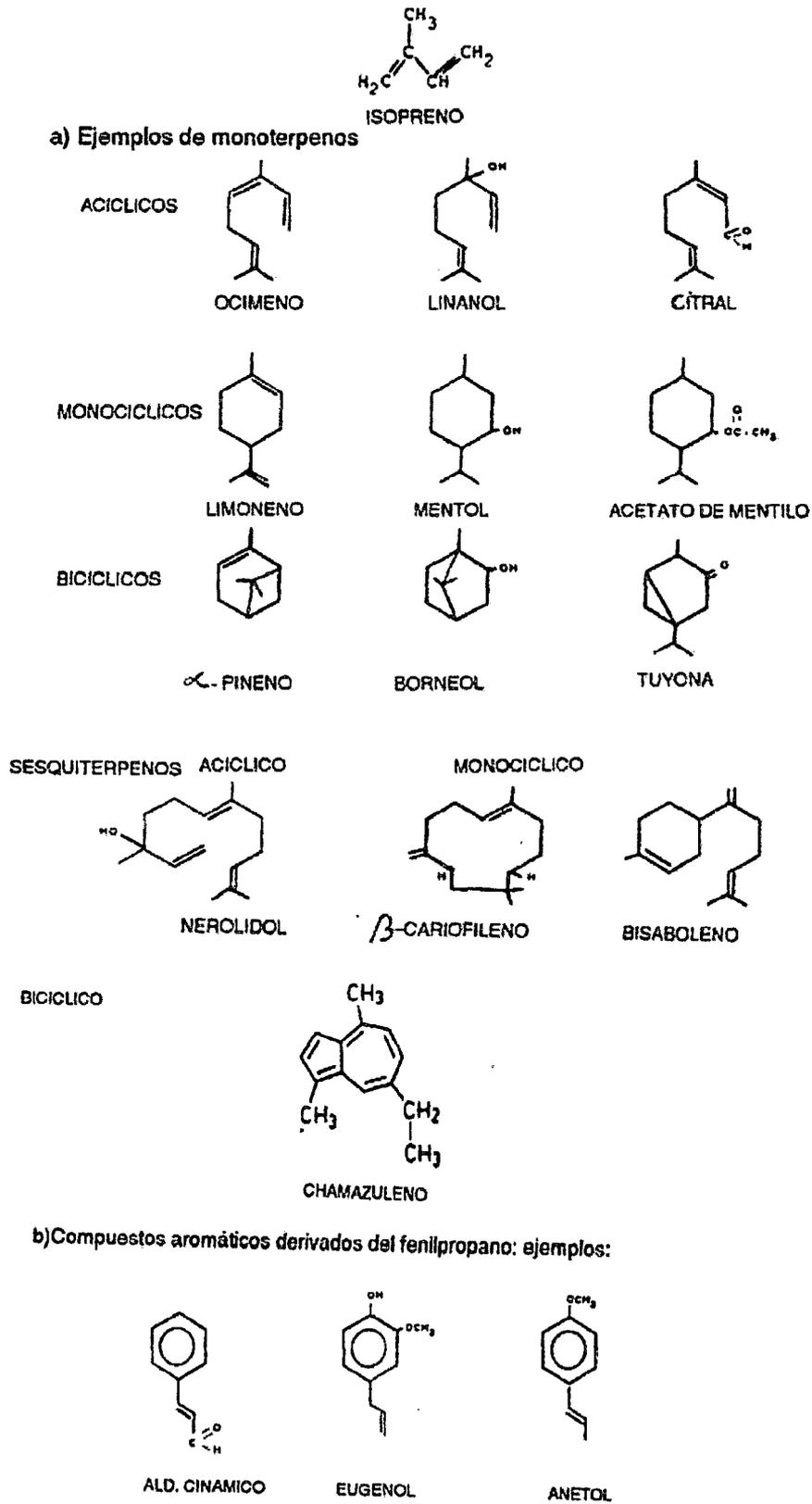
**a) Compuestos terpénicos:** Hidrocarburos terpénicos y sus derivados oxigenados (alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres, eterácidos, perácidos)

Los terpenos están formados por unidades isoprenicas ( $C_5$ ) y comprenden: monoterpenos ( $C_{10}$ ), sesquiterpenos ( $C_{15}$ ), diterpenos ( $C_{20}$ ) y triterpenos ( $C_{30}$ ). Los compuestos terpénicos presentes en las esencias son principalmente mono y sesquiterpenos y raramente diterpenos. Los terpenos pueden ser a cíclicos, mono cíclicos o bicíclicos. En algunas esencias hay predominio de hidrocarburos terpénicos (esencia de trementina), en otras la mayor parte son compuestos oxigenados (olor y sabor lo dan principalmente estos últimos; ejemplo eucalipto, menta).

**b) Compuestos aromáticos:** Algunos compuestos como p-cimeno, timol y carvacrol, aun cuando tienen estructura aromática, tienen la misma biosíntesis que los terpenos, por lo que se les suele incluir en ese grupo (monoterpenos aromáticos).

**c) Diversos:** En pequeñas cantidades: ácidos orgánicos: acético, valérico, isovalérico; cumarinas (bergapteno); cetonas de bajo peso molecular, etc.

Figura N° 2.1. Composición química de los aceites esenciales. [23]:



#### 2.1.4. Aplicaciones.-

El campo de empleo tanto de las drogas aromáticas como el de los aceites esenciales aislados es muy amplio. Incluye desde el sencillo empleo como condimentos o especias en el arte culinario, a la aplicación industrial en diversos sectores.

En farmacia se utilizan ya sea como aromatizantes (ejemplo, limón) o por sus propiedades terapéuticas, las que son variadas debido a que son mezclas de numerosas sustancias.

En general las esencias tienen propiedades antisépticas frente a diversos microorganismos (es tomillo, clavo de olor, eucalipto, romero, lavanda), otras son antiespasmódicas, (manzanilla, toronjil, menta, romero), carminativas (anís, badiana, hinojo), rubefacientes (trementina, alcanfor), expectorantes (eucalipto), antihelménticas (quenopodio), etc.

En la industria tenemos los siguientes [46]:

**Cuadro N° 2.1. Principales constituyentes de aceites esenciales [46].**

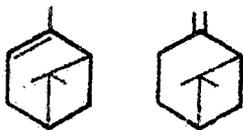
<b>Con Hidrocarburos :</b>	<b>Trementina</b>
<b>Aldehídos :</b>	Canela
<b>Alcoholes :</b>	Menta
<b>Letonas :</b>	Alcanfor
<b>Fenoles :</b>	Clavo de olor, anís.
<b>Óxidos :</b>	Eucalipto
<b>Esteres :</b>	Lavanda
<b>Azulenos :</b>	Manzanilla, etc.

- a) Perfumería y cosmética: muchos perfumes son de origen natural y tienen como base irremplazables esencias naturales (rosa, jazmín, vetiver, ylang-ylang, etc.).
- b) Alimentación: aromatizantes de alimentos, pastelería (canela, clavo, orégano, comino, etc.).
- c) Elaboración de licores (menta, anís).
- d) Obtener a partir de ellas compuestos determinados: eugenol, anetol, pinenos; o bien sintetizar otros compuestos.

Los aceites esenciales y las drogas que los contienen se clasifican de acuerdo al principal constituyente; así se tendrían entre otros:

**Entre las esencias con hidrocarburos tenemos:**

a) **Esencia de trementina o aguarrás:** Es la esencia que se obtiene por destilación en corriente de vapor de agua de la oleoresina de varias especies del género *Pinus* (entre ellos *P. palustris* Miller; *P. pinaster* Aiton; *P. silvestris* L; *P. nigra* Arnold); fam.: Pinaceas (= Coníferas). La materia prima, la oleoresina o trementina de pino, contiene 20-25% de esencia (esencia de trementina o aguarrás) y 65-70% resina (colofonia)



$\alpha$  - PINENO

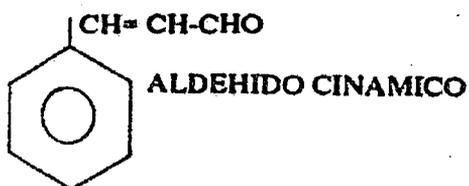
$\beta$  - PINENO

Se trata de un líquido incoloro, olor penetrante, sabor ardiente; está constituida en 60 a 90% de hidrocarburos terpénicos, entre los cuales alfa y beta pineno son los principales junto a otros minoritarios (limoneno, D<sub>3</sub> careno, cadineno, p-cimol, etc.).

La esencia es un irritante local (hiperemizante) = rubefaciente utilizada en preparados de uso externo en linimentos (ej. Embrocaceína, se aplica para dolores musculares provenientes de ejercicio físico, dolores reumáticos y neurológicos; en diversas industrias: pinturas y betunes; como materia prima para obtener los pinenos, que son el punto de partida para diversas hemisíntesis (alcanfor, mirceno; citronelal o citral, terpina, etc.).

**b) Esencias que contienen aldehídos.- Tenemos:**

**Esencia de canela:** La esencia de canela se obtiene por destilación en corriente de vapor de agua de 2 especies del genero *Cinnamomum*; *C. ceylanicum*, originaria de la India y *C. cassia*. La primera es conocida vulgarmente como canela de Ceylén y la segunda, canela de China. Ambas son representantes de las Lauriceas y contienen 1 a 2% de esencia agradablemente aromática que se caracteriza por ser más densa que el H<sub>2</sub>O; su principal componente, el aldehído cinámico, se encuentra en aproximadamente 70 %. La esencia de canela de Ceylén contiene además cantidad apreciable de eugenol, que no está presente en la de la China [23, 46].



La esencia tiene propiedades tónicas y estomáticas.

**Usos: Aromatizante y en alimentación como especias.**

Los usos de los aceites esenciales obtenidos por hidrodestilación son muy amplios, aunque básicamente están orientados a la perfumería; la cosmética; la industria farmacéutica, como aditivo e insumo para sintetizar compuestos; la alimentaria, como aditivo y como insumo para la fabricación de productos de higiene personal y de limpieza doméstica. La industria farmacéutica requiere de aceites esenciales “deterpenados”, o sea, libres de terpenos, porque se busca sólo los principios activos farmacológicos de la planta, comúnmente los terpenos y sesquiterpenos oxigenados, para complementar un medicamento. En los últimos años, la aromaterapia ha tenido un gran crecimiento y aceptación en el mercado mundial. La comercialización de los aceites esenciales puros, como ingredientes de los productos aromaterápicos, ha creado una mayor demanda y ha motivado la búsqueda de nuevos aromas, más exóticos y con propiedades pseudo-farmacológicas. Otras nuevas aplicaciones surgidas últimamente y con un gran potencial futuro son de ingredientes de para la formulación de biocidas para uso veterinario o agrícola (Teuscher et al., 2005; Ziegler and Ziegler, 1998; Regnault-Roger y col., 2004; Muñoz, 2002; Peter, 2004; Burillo, 2003; Baratta et al., 1998; Lahlou, 2004; Moretti et al., 2002; Isman, 2000).

Los terpenoides son una familia de hidrocarburos oxigenados o no, con uno o varios anillos insaturados y con la presencia de 10 carbonos en su estructura. Tienen una bajísima presión de vapor a condiciones ambientales: 200 a 300 Pa. (Li et al 1998; Günther, 1948); si carecen de átomos de oxígeno, son casi insolubles en agua y en el

caso contrario, su solubilidad es mayor, pero aun baja con respecto a otros compuestos análogos (Li et al., 1998); son inestables fotoquímicamente.

## **2.2. PROCESO DIFUSIONAL DE EXTRACCIÓN DE LOS ACEITES ESENCIALES.-**

Existen varios métodos para la obtención de aceites esenciales. El método ideal será aquel que extrajera totalmente la esencia, es decir, que no produjera variaciones en su composición. Este objetivo no es fácil de lograr, por un lado, por la pequeña cantidad en que se encuentran en el vegetal y, por otro, a causa de la diversidad de componentes que forman parte de ella. En general la elección del método depende de la cantidad y tipo o características del aceite (volatilidad, punto de ebullición de los componentes, estabilidad a temperaturas elevadas, etc.), como asimismo del órgano vegetal del cual se va a extraer [9].

Entre los procesos difusionales de extracción de los aceites esenciales son:

**2.2.1. Destilación por corriente de vapor.** Casi todos los aceites esenciales officinales se extraen por destilación. En las modernas destilerías, la materia prima está contenida en cestos o bandejas perforadas. El destilador contiene agua en el fondo, la cual se calienta mediante serpentines por los que circula vapor, o también haciendo pasar a su través vapor de agua a presión. A veces, las materias primas duras, como cortezas, semillas y raíces, se desmenuzan previamente para facilitar la extracción; en cambio, las flores se pasan al destilador, sin tratamiento alguno, lo más pronto posible desde su recolección. El destilado, compuesto de una mezcla de esencias y agua, se condensa por refrigeración y se recoge en un recipiente adecuado. Este suele ser un matraz florentino con un tubo de salida cerca de la base y otro cerca del borde. El destilado se separa en

dos capas, eliminándose el aceite esencial por el tubo superior y el agua por el inferior, o viceversa en el caso de esencias más pesadas que el agua, como la de clavo. La capa acuosa, que está saturada de esencia, puede volver al destilador o constituir un producto comercial, como en los casos del agua de rosas y el agua de azahar. Algunas esencias (como las de cajeput, alcaravea, trementina, y sándalo australiano), son rectificadas. La rectificación consiste en una segunda destilación en corriente de vapor, que libera la esencia de resinas y otras impurezas.

La técnica más utilizada para la obtención de los aceites volátiles, tanto a nivel industrial como de laboratorio, es la destilación. De ella existen tres modalidades: a) hidrodestilación; b) destilación en corriente de vapor de agua y c) mixta.

**a) Hidrodestilación:** La droga está sumergida en el agua dentro de un recipiente o alambique que se calienta directamente hasta ebullición.

**b) Destilación en corriente de vapor:** La droga se sitúa en un alambique a través del cual se hace pasar vapor de agua generado en otro recipiente.

**c) Destilación mixta:** El vapor se produce en el mismo recipiente o alambique en el que se encuentra la planta, sostenida sobre el nivel del agua por una rejilla metálica.

Tanto en a), b) y c) los productos volátiles son arrastrados por el vapor de agua hacia un refrigerante donde se condensan. Las esencias se separan del agua de destilación una vez más. Siendo este método tan sencillo y económico, sin embargo no se puede utilizar cuando los constituyentes de la esencia son alterados por el calor.

Algunas esencias obtenidas por destilación contienen a menudo constituyentes que influyen desagradablemente en la calidad del olor o sabor, o bien son irritantes, por ello se rectifican, es decir, se someten a una destilación fraccionada [10].

Para caracterizar, determinar calidad y pureza de los aceites esenciales, éstos deben someterse a una serie de ensayos o controles: caracteres organolépticos; determinaciones de tipo físico y químico, densidad, índice de refracción, poder rotatorio, punto de solidificación (esencias con mentol, eucaliptol); solubilidad en alcohol; índices de acidez y éster, dosaje de fenoles y del principal constituyente (ejemplo anetol = anís; mentol = menta; eucaliptol = eucalipto; eugenol = clavo de olor; etc.); absorción al UV e IR.

Para analizar los constituyentes de una esencia son de primera elección las técnicas cromatográficas: CCF y en especial la CG.

Para cuantificar aceites esenciales en drogas, el método oficial de muchas farmacopeas es por hidrodestilación.

La hidrodestilación es llamado comúnmente: destilación por arrastre de vapor, extracción por arrastre, hidrodestilación, nirodifusión o hidroextracción. Sin embargo, no existe un nombre claro y conciso para definirlo, debido a que se desconoce exactamente lo que sucede en el interior del equipo principal y porque se usan diferentes condiciones del vapor de agua para el proceso. Es así que, cuando se usa vapor saturado o sobrecalentado, fuera del equipo principal, es llamado “destilación por arrastre de vapor” (Günther, 1948). Cuando se usa vapor saturado, pero la materia prima está en contacto íntimo con el agua generadora del vapor, se le llama “hidrodestilación” (Günther, 1948). Cuando se usa vapor saturado, pero la materia no está en contacto con

el agua generadora, sino con un reflujo del condensado formado en el interior del destilador y se asume que el agua era un agente extractor.

Se adoptará el término *hidrodestilación*, para definir el proceso para obtener el aceite esencial de una planta aromática, mediante el uso del vapor saturado a presión atmosférica. El generador de vapor no forma parte del recipiente donde se almacena la materia prima, es externo y suministra un flujo constante de vapor. Su presión es superior a la atmosférica, pero el vapor efluente, que extrae al aceite esencial está a la presión atmosférica. La materia prima forma un lecho compacto y se desprecia el reflujo interno de agua debido a la condensación del vapor circundante.

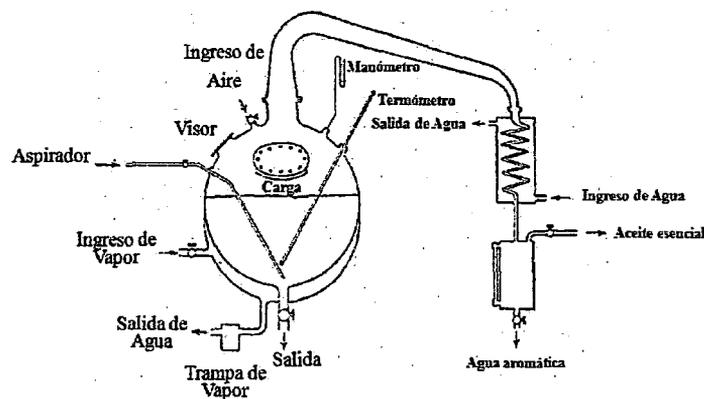
De manera general, la hidrodestilación se describe de la siguiente manera:

La materia prima vegetal es cargada en un *hidrodestilador*, de manera que forme un lecho fijo compactado. Su estado puede ser molido, cortado, entero o la combinación de éstos. El vapor de agua es inyectado mediante un distribuidor interno, próximo a su base y con la presión suficiente para vencer la resistencia hidráulica del lecho. La generación del vapor puede ser local (hervidor), remota (caldera) o interna (base del recipiente). Conforme el vapor entra en contacto con el lecho, la materia prima se calienta y va liberando el aceite esencial contenido y éste, a su vez, debido a su alta volatilidad se va evaporando. Al ser soluble en el vapor circundante, es “arrastrado”, corriente arriba hacia el tope del hidrodestilador. La mezcla, vapor saturado y aceite esencial, fluye hacia un *condensador*, mediante un “cuello de cisne” o prolongación curvada del conducto de salida del *hidrodestilador*. En el *condensador*, la mezcla es condensada y enfriada, hasta la temperatura ambiental. A la salida del *condensador*, se

obtiene una emulsión líquida inestable. La cual, es separada en un decantador dinámico o *florentino* [10].

**Fig. 2.2.** Extractor de Aceites Esenciales que trabaja en modo semi-continuo.

[10].



Este equipo está lleno de agua fría al inicio de la operación y el aceite esencial se va acumulando, debido a su casi inmiscibilidad en el agua y a la diferencia de densidad y viscosidad con el agua. Posee un ramal lateral, por el cual, el agua es desplazada para favorecer la acumulación del aceite. El vapor condensado acompañante del aceite esencial y que también se obtiene en el *florentino*, es llamado "*agua floral*". Posee una pequeña concentración de los compuestos químicos solubles del aceite esencial, lo cual le otorga un ligero aroma, semejante al aceite obtenido. Si un hervidor es usado para suministrar el vapor saturado, el agua floral puede ser reciclada continuamente. De otro modo, es almacenada como un sub-producto. El proceso termina, cuando el volumen del aceite esencial acumulado en el *florentino* no varíe con el tiempo. A continuación, el aceite es retirado del *florentino* y almacenado en un recipiente y en lugar apropiado.

Se considera que la hidrodestilación como una destilación convencional, controlada solamente por el equilibrio de las fases presentes. Una expresión similar es obtenida cuando se usa el modelado desarrollado en el caso restringido (sin exudación, ni convección); por lo cual, se comprueba este planteamiento semi-teórico. Varias referencias señalan que mediante el uso de estos criterios, el sobre-dimensionamiento de los equipos y de los valores para los parámetros de operación industriales son altos (>25%) en comparación a los obtenidos desde el escalado inverso, usando parámetros optimizados a nivel industrial (Günther, 1948; Al Di Cara, 1983). Este sobre-dimensionamiento es aceptado, comúnmente, porque se asume que: el equilibrio termodinámico controla el proceso al operar en régimen estacionario; la calidad del aceite obtenido no se ve afectada por estas variaciones y el consumo energético es similar al que se utiliza si se calentaran los equipos vacíos. Los otros posibles fenómenos presentes afectarían al proceso, solamente cuando se alcanza el máximo rendimiento. Todas estas hipótesis deben revisarse, como se ha demostrado en los capítulos previos de esta memoria, y conlleva a establecer una nueva metodología para el escalado de este proceso, que tome básicamente el modelado fenomenológico formulado y los criterios generales para el escalado de procesos químicos. Los criterios semi-teóricos pueden complementar esta metodología [11].

El *hidrodestilador* es evacuado y llenado con la siguiente carga de materia prima vegetal, para iniciar una nueva operación (Günther, 1948; Al Di Cara, 1983; Parry, 1921; Essential Oils, 1993; Heath and Reineccius, 1986). Dependiendo de la forma del recipiente, se utiliza una rejilla para separar la carga de material del distribuidor, o se usa una cesta donde se deposita la carga y es retirada más rápidamente, al terminar el proceso. Ejemplos de aplicación de la hidrodestilación se muestra en la tabla N° 2.2

**2.2.2.- Extracción mediante disolventes volátiles.** Los disolventes volátiles son calentados y obligados a pasar a través la materia vegetal. Ya saturados con las esencias, se hacen evaporar; pero es imposible eliminar todo el residuo químico, en forma de elementos y moléculas odoríferas. Muchos productores, del ramo de la perfumería, prefieren este método, que es más rentable y que en ciertos casos da esencia de aroma más intenso. Pero lo que así se obtiene no es un aceite esencial; se le da el nombre de concreto y jamás debe ser usado con fines terapéuticos.

La principal ventaja de este método consiste en que es un proceso muy suave, se usa en aquellos casos en que el contenido en esencia es bajo o cuando sus constituyentes son muy delicados. Los disolventes utilizados clásicamente son: éter etílico, éter de petróleo, hexano y benceno. Una vez extraída la esencia se elimina el solvente a presión reducida. El residuo obtenido se denomina "concreto de esencia" y por lo general es de consistencia semisólida debido a otras sustancias acompañantes (ceras y otros). Se purifica por tratamiento con alcohol absoluto y constituye la "esencia absoluta".

**Tabla 2.2.** Algunas plantas procesadas por hidrodestilación (Muñoz, 2002; Peter, 2004; Teuscher et al., 2005; Burillo, 2003)

Nombre común (taxonomía)	Parte de la planta	Rendimiento (% g/g)	Mercado
Anís verde ( <i>Pimpinella anisum</i> )	Fruto	6 1 - 4	Farmacéutico, Alimentario
Eneldo ( <i>Anethum graveolens</i> L.)	Frutos y hojas	2,5 - 4	Alimentario
Espliego ( <i>Lavandula latifolia</i> M.)	Flores, hojas	1,25	Perfumería, Higiene
Hinojo amargo ( <i>Foeniculum vulgare</i> M.)	Fruto	4 - 6	Alimentario
Hinojo dulce ( <i>Foeniculum vulgare</i> M. Dulce)	Fruto	2	Alimentario
Hisopo común ( <i>Hyssopus officinalis</i> L.)	Flores y hojas	0,2 - 0,25	Alimentario
Hisopo español ( <i>Hyssopus officinalis</i> L. Ssp. <i>aristatus</i> )	Flores y hojas	0,87 - 1,09	Alimentario
Lavandín Abrial ( <i>Lavandula angustifolia</i> M. x <i>latifolia</i> M.)	Flores y tallos	1,3 1,36 - 1,61	Perfumería
Lavandín Súper ( <i>Lavandula angustifolia</i> L. X <i>latifolia</i> L.)	Flores y tallos	1 1,04 - 1,53	Perfumería
Mejorana de España ( <i>Thymus mastichina</i> L.)	Flores y hojas	3	Alimentario
Orégano ( <i>Origanum vulgare</i> )	Flores y hojas	2 3 - 4	Alimentario
Romero español ( <i>Rosmarinus officinalis</i> L.)	Flores y hojas	0,72 - 0,95 0,5 - 1,1	Alimentario
Salvia común ( <i>Salvia officinalis</i> L.)	Flores y hojas	0,5 - 1,1 0,25 - 0,35	Farmacéutico, Alimentario
Tomillo común ( <i>Thymus vulgaris</i> L.)	Flores y hojas	2	Alimentario, Farmacéutico

En la tabla N° 2.2, se aprecia un grupo de conocidas plantas aromáticas, cultivadas en España. Se enlista los mercados donde los aceites son comúnmente comercializados. El rendimiento mostrado expresa el rango de los obtenidos a nivel industrial

**2.2.3. Dilución.-** Para purificar el concreto, se trata con un alcohol fuerte, en el que se disuelven algunos elementos. A continuación se evapora el alcohol, que deja un producto llamado absoluto, cuya composición difiere tanto de la del concreto como de la del aceite esencial. Mediante dilución, se obtienen gomas y resinas de árboles como el gálbano, el incienso y la mirra. Las gomas y las resinas se diluyen en alcohol que se evapora luego: lo que queda es una sustancia pegajosa, llamada resinoide. Este método, más barato que la destilación por vapor, es muy usado en la industria de los cosméticos. Para uso terapéutico, son preferibles los aceites destilados por el método de corriente de vapor.

**2.2.4. Estrujado.-** Se usa este sistema para extraer aceite de las pieles de frutas, tales como la naranja, mandarina o limón, que se prensan o se rallan al objeto de recoger en esponjas los aceites que rezuman de las células rotas, esponjas que a continuación son exprimidas.

**2.2.5. Extracción de esencias empleadas en perfumería.-** Ciertas esencias empleadas en perfumería requieren otro tratamiento distinto al arrastre por vapor. Así, hablaremos de eflourage, extracción por digestión en grasas calientes, por métodos neumáticos o por medio de disolventes. En el eflourage se esparcen las flores sobre placas de vidrio cubiertas de una capa fina de aceite o grasa. La esencia pasa gradualmente a la grasa y las flores agotadas se eliminan y reemplazan por otras frescas. El método neumático, que en principio es similar al eflourage, consiste en el paso de una corriente de aire caliente a través de las flores. El aire, cargado de esencia en suspensión, circula a

continuación a través de una nebulización de grasa fundida, en la que se absorbe la esencia. En el proceso de digestión, las flores se calientan suavemente en grasa fundida, hasta que se agotan; se separan las flores a continuación y se deja enfriar la grasa cargada de perfume. Como puede observarse, en cada uno de los procesos mencionados la esencia se obtiene en una base de grasa. De ésta se obtiene el aceite esencial mediante tres extracciones sucesivas con alcohol. Las soluciones alcohólicas pueden llegar al mercado como perfumes de flores, o bien se obtiene de ellas la esencia en forma pura, mediante recuperación del alcohol. La extracción por medio de disolventes se basa en el principio del Soxhlet [10,11].

#### **2.2.6. Extracción en frío.-**

Algunas esencias como las de los frutos cítricos (naranja, limón) no pueden destilarse porque se descomponen, se extraen en frío por expresión de las cáscaras (pericarpios); para ello industrialmente se procede a la escarificación mecánica haciendo rodar los frutos sobre bandejas revestidas de púas que penetran en la epidermis y rompen las glándulas oleíferas.

#### **2.2.7. En floración (E fleurage)**

En la actualidad esta técnica sólo se aplica en casos muy especiales para órganos frágiles (flores de jazmín, clavel, nardo o jacinto) y consiste en ponerlos en contacto a temperatura ambiente con materia grasa, la que se satura con la esencia. La esencia es retirada posteriormente del material graso por tratamiento con etanol absoluto y evapora el disolvente a presión reducida.

Entre los procesos difusionales de extracción tenemos:

**a) Extracción sólido-líquido.-**

Consiste en el contacto íntimo de la materia prima vegetal con un disolvente orgánico volátil, permitiendo la disolución de la esencia en el disolvente. A esta mezcla, se le llama *extracto*. La operación puede realizarse en frío (maceración) o en caliente, con rotación del extractor o en modo estático.

El extracto es evaporado al vacío para recuperar el disolvente y obtener el *concreto*. Él cual es una mezcla de compuestos volátiles y no volátiles (ceras o resinas solubles) en el disolvente usado. Para obtener el aceite esencial, se realiza una serie de extracciones sucesivas del concreto con etanol u otros disolventes de diferente polaridad. Luego, la disolución se decanta en frío, buscando la precipitación de las ceras y de los pigmentos presentes. Se realizan filtraciones sucesivas y el líquido separado es evaporado al vacío para obtener el *absoluto*, o sea el aceite esencial enriquecido en terpenoides oxigenados, solubles en el etanol o en los otros disolventes.

El *absoluto* tiene una calidad y mayor valor económico que el aceite esencial obtenido mediante vapor de agua. Sin embargo, su rendimiento suele ser menor, por las extracciones sucesivas y su uso está limitado por su mayor precio y por el contenido residual de los disolventes orgánicos empleados.

A nivel laboratorio, el equipo más conocido y usado actualmente es el Soxhlet con el cual se obtienen extractos. Es un equipo que trabaja con un disolvente orgánico en ciclos continuos de evaporación y condensación, de manera que el disolvente líquido caliente y puro está en contacto con la materia prima, mientras que otra parte del disolvente acumula los compuestos extraídos. Las ventajas residen en su fácil manejo, su

funcionamiento automático y la capacidad de obtener la mayor cantidad de compuestos químicos presentes en una planta aromática. Entre las limitaciones, se anota el extenso tiempo de operación y de residencia del disolvente en el lecho de la materia prima. Lo cual conduce a limitar su uso a obtener aceites esenciales de un alto valor. Y, en la seguridad requerida para su operación y control, debido al uso de disolventes orgánicos volátiles, los cuales son inflamables y algunos tóxicos o irritantes.

#### **b) Extracción mediante fluidos supercríticos (EFS).-**

Consiste en el uso de un fluido en condiciones supercríticas, como disolvente, para la extracción de la esencia de una planta aromática. La materia prima es molida y acumulada en un extractor, formando un lecho fijo. Luego, se hace circular una corriente de un fluido supercrítico, el cual extraerá los compuestos solubles en él. Este extracto es conducido a una serie de separadores, para que a través de una sucesión de descompresiones, se obtengan varias fracciones de la esencia. El aceite esencial es la fracción más volátil. El fluido descomprimido es reciclado y llevado a su condición supercrítica para continuar la separación.

Existen numerosos trabajos de investigación con esta tecnología, aplicada a la obtención de conocidos aceites esenciales (Brunner, 1994; Del Valle et al., 2005; Jarvis and Morgan, 1997; King and Bott, 1993; Lack and Simandi, 2001; Meireles, 2003; Mukhopadhyay, 2000). Asimismo, varias plantas industriales a nivel mundial aplican esta tecnología diariamente (Cocero, 2006).

Las ventajas técnicas de la EFS son:

1. Obtención de aceites esenciales con una mayor frescura y aroma natural.

2. Uso de temperaturas moderadas, para evitar la degradación térmica del producto.
3. No hay presencia del disolvente en el aceite.
4. Mayor rendimiento por operación.
5. Proceso libre de contaminantes biológicos (microbios, hongos, etc.).
6. Flexibilidad en la preparación del disolvente.
7. Mínimo impacto ambiental.
8. Flexibilidad en las variables de control para el proceso.
9. Automatización de los equipos.

Las desventajas de la EFS son:

1. Al igual que los procesos de extracción convencional, es necesario disponer de datos de equilibrio para conocer cómo se distribuye el componente de interés en las distintas fases y determinar la composición del producto extraído para cualquier composición de la mezcla inicial. Este es el mayor problema de la EFS, ya que apenas se disponen de datos experimentales para realizar los cálculos imprescindibles. Los modelados fenomenológicos son abundantes y diversos, pero esto en vez de apoyar el desarrollo, constituye una limitación, básicamente porque no existen acuerdos de cuál modelo puede usarse en determinado caso. Los modelados fenomenológicos no son únicamente modelos matemáticos, sino físicos y lógicos, por ello, muchos modelados actuales resultan semi-empíricos o fácilmente cuestionables.

2. Los altos costos de los equipos y su relación inversa con el volumen de extracto obtenido por corrida.
3. Desconocimiento del know-how necesario para la investigación y desarrollo de esta tecnología en diversos países.
4. Los extractos obtenidos pueden poseer características diferentes a las conseguidas a través de otros procesos de extracción. Esto influye en la predilección del mercado por un determinado producto, en vez del obtenido por la nueva tecnología. El caso más crítico es el de los aceites esenciales, donde la EFS aun no puede sustituir a la hidrodestilación en la mayoría de los casos.
5. Los equipos son móviles, pero necesitan una infraestructura segura, limpia y apropiada para las condiciones de operación. Los ambientes húmedos, muy fríos o congestionados no son recomendables. Por ello, instalaciones pre-diseñadas que cumplan normas internacionales de seguridad e higiene son necesarias e imprescindibles.

**c). Extracción sólida-líquida asistida por micro-ondas (EMO).-**

Los microondas son radiaciones electromagnéticas con una frecuencia en el rango de 0,3 a 300 GHz Para evitar interferencias con las radio-comunicaciones, los micro-ondas domésticos e industriales operan generalmente a 2,45 GHz. Debido a su naturaleza, las micro-ondas poseen campos eléctricos y magnéticos, los cuales son perpendiculares entre ellos. El campo eléctrico causa el calentamiento, vía dos mecanismos simultáneos: rotación bipolar y conducción iónica. La rotación bipolar es debida al alineamiento en el campo eléctrico de las moléculas con un mismo momento bipolar en la muestra sólida y

el disolvente. Esta oscilación produce colisiones con las moléculas circundantes y así, la liberación de la energía térmica al medio. Con una frecuencia de 2,45 GHz, este fenómeno ocurre  $4,9 \times 10^9$  veces por segundo y el calor generado es muy rápido. Mientras mayor sea la constante dieléctrica del disolvente, el calentamiento aumentará. Por lo tanto, a diferencia de los métodos conocidos de suministro de calor por conducción, los micro-onda dan el calentamiento a toda la muestra homogéneamente. El efecto del micro-onda es fuertemente dependiente de la naturaleza de las matrices del disolvente y del sólido. Los disolventes usados comúnmente cubren un amplio rango de polaridades. La mayoría de las veces, el disolvente escogido posee una alta constante dieléctrica y absorbe fuertemente la energía de las micro-ondas. Sin embargo, la selectividad de la extracción y la capacidad del medio para interactuar con los micro-ondas puede ser modulado por el uso de mezclas de disolventes.

En algunos casos, la matriz misma interactúa con las microondas mientras el disolvente circundante posee una baja constante dieléctrica y así, permanece frío. Esta última situación presenta algunas ventajas obvias en el caso de compuestos termo-sensibles y ha sido usado exitosamente para la extracción de aceites esenciales. Además, las microondas interactúan selectivamente con las moléculas polares presentes en los tricoma glandulares. El calor produce la expansión y ruptura de las paredes celulares y la liberación del aceite esencial al disolvente circundante. El contenido de humedad es esencial en EMO debido a que el agua calienta más y promueve la liberación de los analitos al medio circundante.

El equipo usado es un extractor cerrado, donde se sumerge el disolvente y la materia prima molida, dentro de un horno por micro-ondas, conectado a un condensador

superior y exterior. Se aplica la energía por un corto tiempo de operación y luego se realiza la separación del disolvente y la materia tratada. Este extracto es evaporado para recuperar el disolvente y obtener el aceite esencial. Los rendimientos conseguidos son similares a la hidrodestilación, pero el tiempo de operación es mínimo y el análisis cromatográfico revela una composición totalmente diferente a la de los aceites esenciales convencionales (Kaufmann and Christen, 2002; Luque de Castro et al., 1999).

Una variante de este proceso y con un futuro prometedor, es aplicar la *extracción por microondas sin uso de disolventes* (Microwave Assisted Steam Distillation o MWA-SD), exceptuando el agua contenida en el propio material vegetal (Chemat et al., 2006; Ferhat et al., 2006; Lo Presti et al., 2005; Lucchesi et al., 2004a, b; Iriti et al., 2006; Wang et al., 2006; Silva et al., 2004; Flamini et al., 2007). Se aprovecha el agua contenida en la planta para “arrastrar” al aceite esencial. Los rendimientos son similares a la hidrodestilación y el tiempo de operación es muy inferior al usado comúnmente. Las propiedades físicas del aceite obtenido por este proceso son similares a los aceites comerciales. Los análisis cromatográficos son ligeramente diferentes, sin ser tan disímiles como con los aceites obtenidos por EMO.

#### **2.2.8. Características del proceso.-**

Los procesos difusionales de extracción se realiza en modo semi-continuo. La carga de la materia prima se hace por lotes. El flujo del vapor de agua, seco o saturado, es continuo. La decantación también es continua.

Existen dos periodos durante la operación:

**a) Periodo de llenado ( $t_{\text{fill}}$ ).**- Desde que se inicia la inyección del vapor al hidrodestilador hasta que se obtiene la primera gota de aceite esencial en el florentino. A escala laboratorio y banco, es preferible medir cuando se obtiene la primera gota de agua floral que rebosa del florentino, puesto que el flujo de vapor es mínimo e irregular en esos momentos. Depende de la porosidad del lecho y del caudal de vapor usado. No suele estimarse, sólo medirse y correlacionarse con otros parámetros.

**b) Periodo de obtención ( $t_{\text{sa}}$ ).**- Desde que termina el llenado hasta que el volumen del aceite esencial recogido en el florentino, no varía con el tiempo. Se divide en dos periodos:

**1) Periodo No estacionario ( $t_{\text{ns}}$ ).**- Desde que termina el llenado hasta que se alcanza el equilibrio térmico e hidrodinámico. Depende de la hidrodinámica del vapor en el lecho, del transporte de calor, de las condiciones térmicas del vapor y de fenómenos físicos competitivos (exudación y difusión). No suele estimarse, sólo medirse, pero es determinante en el proceso, porque equivale al 50-70% del tiempo de obtención y durante el cual, se logra obtiene entre el 60–75% del aceite total.

**2) Periodo estacionario ( $t_s$ ).**- Desde que se alcanza el equilibrio térmico e hidrodinámico hasta que el volumen del aceite esencial recogido no varía. Depende de los fenómenos difusionales que retrasan la obtención del resto de aceite esencial “libre” y dispersado en el lecho, o del aun contenido en la materia prima.

El escalamiento de procesos es una combinación de arte y ciencia, donde la experiencia en un proceso se combina con diversas técnicas matemáticas, (modelados) para establecer metodologías efectivas y seguras de escalamiento. Sin embargo, un

riesgo considerable está presente en estas metodologías; puesto que, estrictamente hablando, el escalamiento consiste en una extrapolación de un proceso a una escala mayor, donde no existe información experimental previa para validar los cálculos realizados. Por lo tanto, el escalamiento posee una incertidumbre intrínseca que debe ser minimizada efectivamente, para proponer una instalación capaz de reproducir, lo más fielmente posible, el comportamiento de la instalación operada previamente (Bisio and Kabel, 1985; Zlokarnik, 2006; Yates, 1997; Vogel, 2005; McConville, 2002).

Las siguientes hipótesis son inválidas para el escalamiento y afectan también al modelado en equipos mayores:

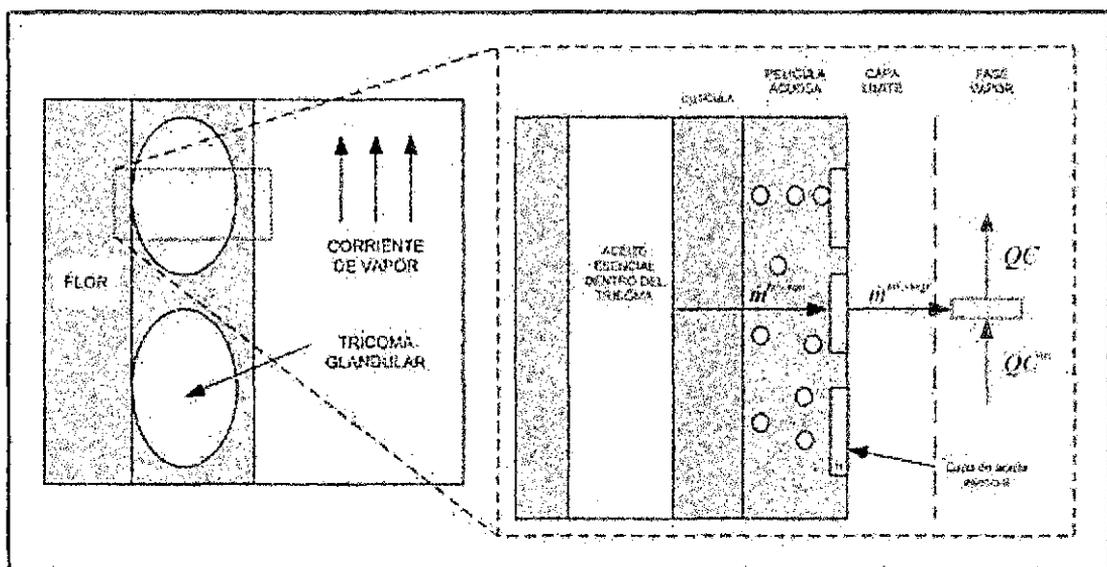
- ***Considerar la corriente de vapor como mezclada perfectamente, en flujo continuo, sin acumulación de aceite.*** Porque, durante un periodo de obtención (30% al 50% del tiempo total), el régimen del flujo de vapor es no estacionario, como se ha detectado para todos los casos estudiados. En el caso del lavandín, se concluye que este régimen no estacionario afecta negativamente al modelado, cuando se resuelve en función del tiempo de operación; lo cual es ilógico y sólo se justifica porque el caudal del vapor afluente varía considerablemente con el suministrado. Además, durante el periodo de llenado ( $0 < t < t_{\text{fill}}$ ), el aceite se condensa y evapora cíclicamente en el equipo, en una proporción desconocida; hasta que el flujo de vapor alcanza el tope del equipo. Este periodo suele ser apreciable y determinante, cuando el tiempo de obtención es bajo.
- ***Considerar que las fases líquidas están en reposo.*** Porque existe un reflujo, a contracorriente, de vapor condensado. El cual, está relacionado con el balance de energía en el equipo y con la hidrodinámica del lecho. Aunque, la proporción del

flujo de vapor afluente que se divide en reflujo es calculable; donde el contenido de aceite esencial disuelto o “arrastrado” es desconocido.

- ***Definir el aceite esencial como una mezcla ideal y que es inmisible en el agua.*** Porque el aceite es una mezcla de compuestos químicos de diferente naturaleza química, sus interacciones influyen en un comportamiento aun desconocido. Se conoce que una fracción de los aceites esenciales, la de terpenos oxigenados, es más soluble que la de monoterpenos, en una mayor proporción (Li et al., 1998). Por lo tanto, la miscibilidad del aceite es parcial y dependiendo de que una fracción del aceite se haya considerado. Este comportamiento se observa más claramente cuando el aceite es rico en un terpeno oxigenado (opacidad del agua floral).
- ***Idealidad de la fases vapor y líquida-líquida.*** Porque, al existir una miscibilidad parcial, el modelado termodinámico debe considerar esta característica. Se ha encontrado en la bibliografía, que existe una fuerte desviación en los resultados generados por el modelado restringido, con respecto a la destilación diferencial. Esto conduce a un sobre-estimación de la composición del aceite durante el proceso y a una estimación muy imprecisa a escala mayor.
- ***Desprecio de la dispersión axial y radial del transporte de aceite en el vapor.*** Porque en recipientes con una relación geométrica mínima y con un flujo capilar ( $Re_p \ll 100$ ), la presencia de la dispersión axial en la transferencia de masa en lechos fijos está demostrada (Rexwinkel et al., 1997). Esto ocasiona que el balance de masa aplicado a la fase vapor sea parcialmente representativo de todos los fenómenos participantes.

- **Considerar un sistema isotérmico durante todo el proceso.** Porque las pérdidas de calor son importantes; puesto que el hidrodestilador no está aislado. El equilibrio de fases depende de la temperatura del equipo; sin embargo, el modelado indica que la temperatura es una variable dependiente de la Ley de Dalton (punto de burbuja). Esto conlleva a una desviación adicional en los cálculos, durante el periodo no estacionario del proceso. Además, durante el periodo de no estacionario, el transporte de energía influye en el grado de condensación y en la distribución de los flujos del vapor en el lecho.

**Fig. 2.3. Mecanismo de extracción de aceites esenciales [10,11]**



## **2.3. ANÁLISIS Y DISEÑO DE EXTRACTORES.-**

### **2.3.1. Análisis de los equipos de extracción.-**

Los destiladores constan de las siguientes partes: una fuente de calor que genera vapor, un recipiente para alojar la hierba, un colector del aceite esencial separado y un refrigerante para los vapores.

En los laboratorios se utilizan balones de 1 y 5 litros, a nivel banco se utiliza recipientes de 10 a 20 litros, mientras que los equipos industriales pueden llegar a tener una capacidad de hasta 8000 ó 10000 litros en el recipiente para colocar la hierba.

El vapor de agua atraviesa la hierba colocada en el recipiente, extrae y arrastra el aceite esencial que tiene bajo punto de volatilización y lo lleva hasta el refrigerante, donde al enfriarse se condensa y se separa el agua del aceite por densidad.

Si el aceite es menos denso queda en la superficie y si es más denso que el agua, va al fondo. De esta manera es fácil separarlo.

Si bien la composición química de los aceites es muy variada, todos ellos poseen varias propiedades físicas en común, por ejemplo: tienen alto índice de refracción, son ópticamente activos, etc.

El hidrodestilador de aceites esenciales por destilación con arrastre de vapor puede llegar a tener una capacidad de procesamiento hasta de 50 kilos de hojas de material vegetal que permiten extraer medio litro de aceite esencial cada tres horas como para el caso de la extracción del aceite esencial de eucalipto [43].

### Ventajas:

- La extracción por arrastre de vapor es un proceso de extracción muy limpio que asegura un producto de buena calidad.
- Se requiere de instalaciones básicas de herrería para la construcción y mantenimiento del equipo.

### Desventajas:

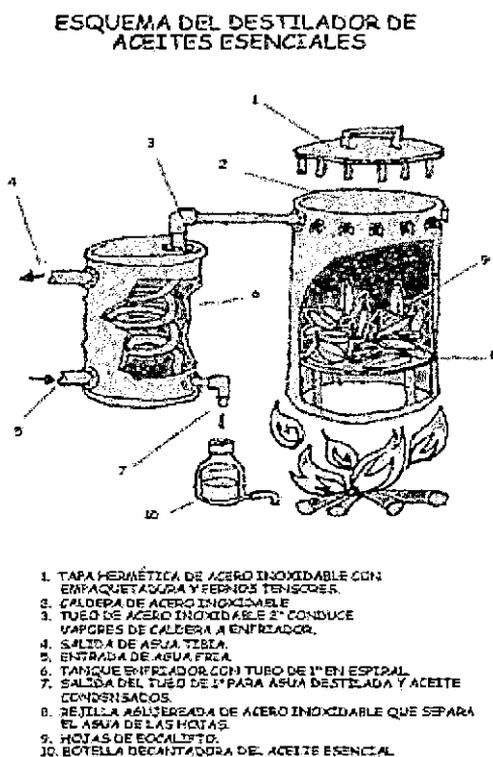
Alta inversión inicial en equipamiento, difícil de asumir por pocas personas.

Las condiciones de uso del extractor son:

- La producción de aceites esenciales es una actividad del tipo industrial por tal motivo debe conducirse en un ambiente de formalidad, reconocimiento oficial y control sanitario de calidad que garantice su empleo médico o alimentario.

La organización micro empresarial es clave para enfrentar el reto de la inversión inicial y la comercialización.

Fig. N° 2.4. Esquema del extractor por hidrodestilación propiamente dicho [43].



Aunque la materia prima procesada constituye una fuente energética procesable (biomasa), su uso en los generadores industriales de vapor, se ha restringido a sólo las instalaciones más grandes. Se ha preferido usarla cotidianamente como insumo para preparar compost o abonos complejos. Los nuevos generadores de vapor existentes en el mercado, capaces de procesar biomasa con un alto contenido de humedad y de diferentes características físicas, podrían contribuir al re-uso de la materia herbácea procesada como combustible y aminorar costes operativos.

El apoyo a esta tecnología, para modernizarla y optimizarla, recae en conocer sus antecedentes; en el control operacional de los equipos; en el efecto de las variables y parámetros operacionales en el rendimiento. Además, de integrar todo lo anterior y más, en una metodología científica, capaz de ser aplicada a cualquier materia prima o tipo de equipo o escala de producción. Logrando así, mejorar el rendimiento en la producción y el disminuir el consumo energético de manera homogénea y permanente en el tiempo.

El modelado matemático de estos fenómenos puede ser el primer camino viable para abordar este reto y es el usado en las investigaciones publicadas en los papers. Los modelados estadísticos o meramente correlativos ofrecen una buena precisión, pero no explican aquello que físicamente ocurre en el interior del equipo. Lo cual, conlleva a generar valores matemáticamente correctos, pero sin un sustento real.

La hidrodestilación es la operación más barata para obtener aceites esenciales. Su bajo costo es debido a la gran flexibilidad para construir los equipos necesarios (costes fijos), los costes de operación es moderado, básicamente porque se necesita mucha energía por masa de carga, para generar vapor que caliente el equipo, evapore el aceite y lo transporte fuera del lecho [43,46].

### **2.3.2. Extractores sólido líquido de laboratorio.-**

El más conocido es el equipo Clevenger (Günther, 1948), usado en muchos laboratorios y considerado en varios estándares internacionales, como el más adecuado para la determinación del contenido total del aceite esencial de una planta aromática. Está compuesto (Fig. 2.5) de un balón, donde se deposita la materia prima molida y una cantidad conocida de agua pura. Se le calienta constantemente, el aceite esencial con el agua presente se evaporan continuamente. Un condensador va acoplado al balón y una conexión en forma de D, permite acumular y separar el aceite esencial de la mezcla condensada. El agua floral condensada regresa al balón por el rebose de la conexión.

En la Fig. 2.5, se aprecian los dos tipos de conexiones, cuando el aceite esencial es más denso que el agua y cuando es menos denso. Las ventajas de este equipo son: su simplicidad y flexibilidad para trabajar con aceites de diferente densidad y naturaleza. Las desventajas radican en la incapacidad de usar los resultados obtenidos para un escalado, porque el material vegetal no forma un lecho fijo, sino está en contacto permanente con el agua; lo cual, no responde al tipo de hidrodestilación industrial empleado comúnmente. Además, el hecho de estar molido, genera que el aceite se encuentre disponible para su vaporización y “arrastre”, lo cual no ocurre a mayores escalas [47,53].

Existen otros equipos a esta escala, basados en una miniaturización de los equipos piloto, donde el material vegetal forma un lecho fijo, en una columna de vidrio, y el vapor de agua es alimentado continuamente desde un balón inferior calentado constantemente, que funciona como un generador (Fig. 2.6). Estos equipos son simples y flexibles y poseen la ventaja adicional de trabajar en un modo más similar al de los equipos mayores. Sus limitaciones son: el uso de materia prima molida; el flujo del vapor condensado a contracorriente en la columna, que lleva consigo compuestos hidrosolubles y que genera una recirculación indeseable, ya que

se pueden degradar estos compuestos y afectar la calidad del flujo de vapor generado con la potencia de la fuente de energía, lo que le resta flexibilidad en el control de este parámetro [46, 47,53].

Fig. 2.5. Equipo Clevenger en vidrio Pyrex (Günther, 1948)

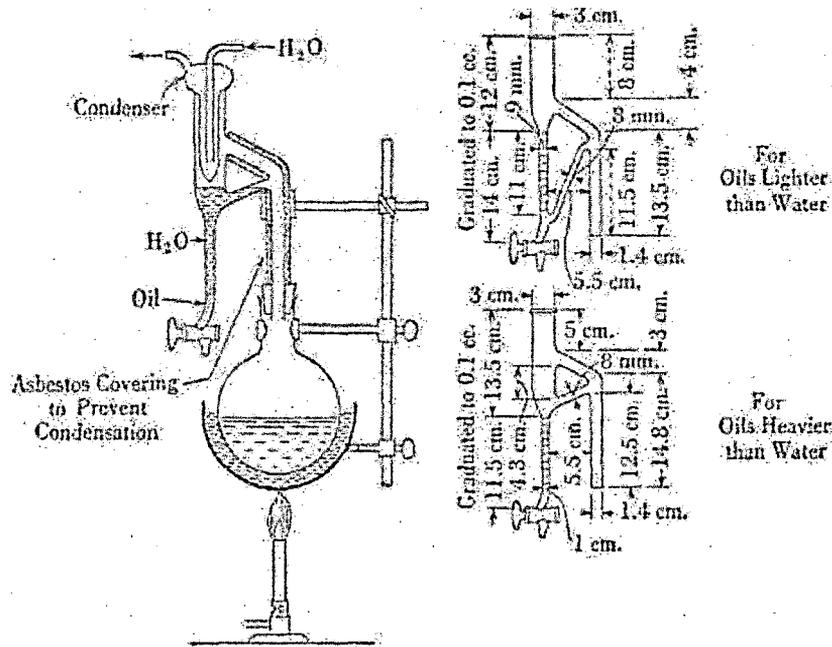
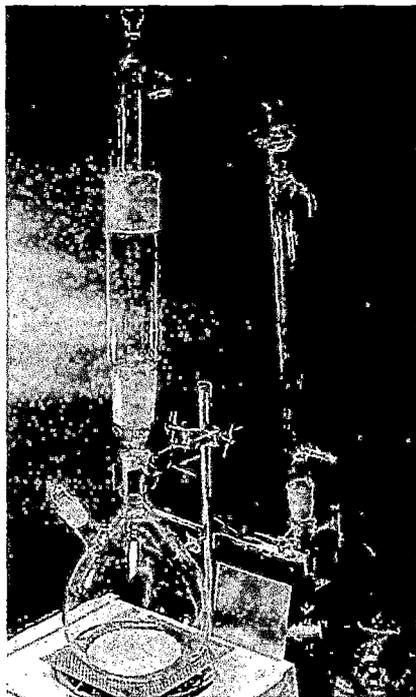


Fig. 2.6 Equipo de laboratorio



### **III. MATERIALES Y MÉTODOS (MODELOS Y MÉTODOS DE DISEÑO DEL EXTRACTOR) [45].-**

#### **3.1. Fundamento del diseño del equipo de extracción.-**

Los hidrodestiladores a escala piloto e industrial no están aislados térmicamente. A nivel de laboratorio, los hidrodestiladores suelen estar aislados parcialmente. A nivel banco, debe funcionar con aislamiento térmico por lo general dependiendo del objetivo del trabajo de investigación que se va realizar, así como:

- a) Ahorrar en el consumo de vapor de agua u otro solvente extractor,
- b) Investigar los fenómenos de transferencia de masa o de calor o la combinación de ellos, para la evaluación de los parámetros de de diseño del extractor,
- c) Conocer y determinar el rendimiento máximo de extracción de aceite esencial de una planta aromática, etc. [38].

Debido a las dimensiones de los equipos, es más fácil técnicamente fijar la relación carga/volumen de lecho, al nivel de laboratorio, y a nivel banco, que industrialmente. Esta relación suele variar mucho entre las distintas escalas y diversos factores que influyen. Lo ideal es trabajar con una relación alta, debido a que se logra un flujo pistón del vapor a través del lecho y se evita la retromezcla del aceite y la canalización del vapor por vías preferenciales; aumentando así, la velocidad de obtención. Sin embargo, este escenario es difícil de reproducir a escala piloto o industrial. Por lo cual, se prefiere reducir parcialmente el tamaño de la materia prima vegetal, para disminuir la porosidad y formar un lecho más compacto. La reducción del tamaño de partícula suele ser de dos tipos: máxima a nivel laboratorio y baja, a nivel industrial. A nivel banco y piloto, suele trabajarse con materia prima sin reducción o con una reducción específica. La reducción de tamaño no es beneficiosa para la calidad del

aceite obtenido porque la fricción mecánica puede degradarlo térmicamente, antes de ser hidrodestilado.

El equipo crítico es el hidrodestilador, el condensador trabaja en modo continuo, por lo cual su balance de materia está sobre entendido (Fig. 2.4). El florentino depende del flujo generado por el hidrodestilador, pero al trabajar en modo continuo, su balance está también sobre entendido.

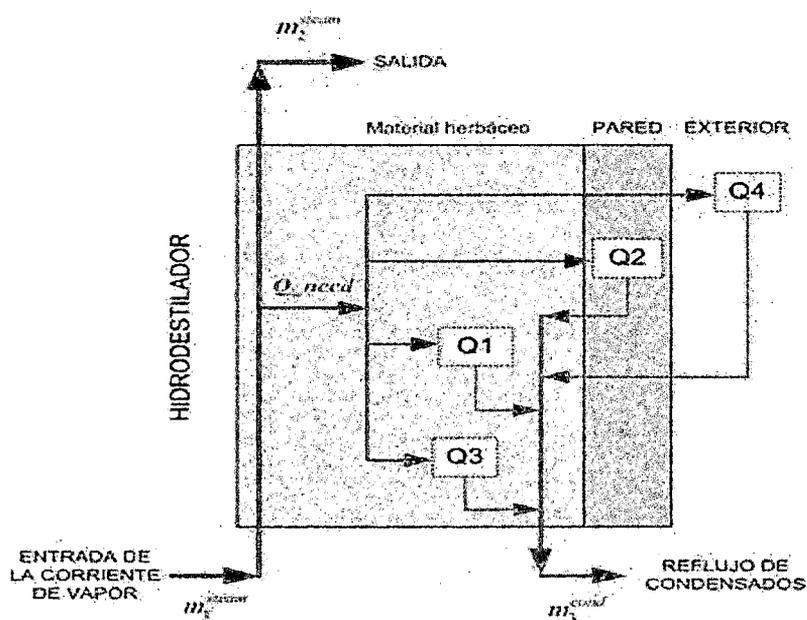
La convención de las corrientes en el equipo extractor a nivel laboratorio y a escala banco son:

1. Entrada al hidrodestilador,
2. Salida del hidrodestilador,
3. Flujo a contracorriente, debido a la condensación del vapor afluyente.

Los casos que se presentan en la funcionabilidad del extractor, son:

- a) Cuando no hay reciclaje del agua floral al generador de vapor (caldera)
- b) Cuando hay reciclaje del agua floral al generador de vapor (hervidor)

**Fig. 3.1.** Esquema de Extracción sólido líquido



El modelo de diseño se funda en las siguientes consideraciones:

1. El lecho es fijo, constituido por flores, tallos, y raíces con distribución aleatoria y heterogénea. No existe movimiento del lecho debido al flujo del vapor.
2. Cada material vegetal tendrá un comportamiento ideal como un material no poroso, con una geometría de tableta y no se deforma durante el proceso.
3. El aceite esencial se localiza homogéneamente en los tricoma glandulares superficiales del anverso de las flores y hojas, asimismo en los tallos.
4. La temperatura debe ser constante a lo largo del hidrodestilador. La caída de presión del vapor en el lecho es constante el cual fue probado experimentalmente y las pérdidas de calor en la pared no serán consideradas.
5. Se considera la corriente de vapor como un flujo continuo en pistón, sin acumulación de aceite.
6. Sistema de cuatro fases: vapor, agua, aceite esencial y sólido inerte.
7. El aceite esencial es definido como una mezcla ideal de 10 compuestos determinados por el análisis de GC/MS. La composición del aceite, durante la operación.
8. El vapor saturado será siempre puro a la entrada del hidrodestilador:  $C^{\text{in}} = 0$ .

Estas hipótesis coinciden con las establecidas en estudios previos de Benyoussef et al., 2002; Romdhane and Tizaoui, 2005.

Las **variables medibles**: Tiempo, masa de agua floral acumulada, masa de aceite esencial acumulado, temperatura, pH.

**Variables controladas:** Presión y Flujo del vapor, Porosidad del lecho, masa del lecho.

**Variables asumidos idealmente:** No hay aceite esencial libre. Matriz herbácea intacta.

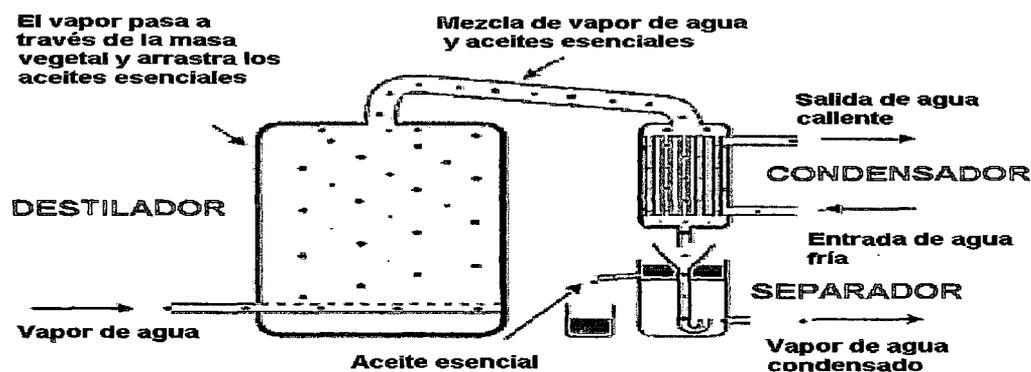
**Variables medibles:** Densidad aparente de la partícula, contenido de agua, densidad del aceite esencial.

Los extractores hidrodestiladores a nivel banco constan de las siguientes partes: una fuente de calor que genera vapor, un recipiente para alojar el material vegetal, distribuidor de vapor, un colector y separador del aceite esencial y un refrigerante para los vapores.

En los laboratorios se utilizan balones de 1 y 5 litros, a nivel banco de acuerdo a la definición utilizan recipientes de una capacidad entre 10 a 20 litros, mientras que los equipos industriales pueden llegar a tener una capacidad de hasta 8000 ó 10000 litros el recipiente para colocar el material vegetal.

En los hidrodestiladores a nivel banco, el vapor de agua atraviesa al material vegetal colocada en el recipiente, extrae y arrastra el aceite esencial que tiene bajo punto de volatilización y lo lleva hasta el refrigerante, donde al enfriarse se condensa y se separa el agua del aceite por densidad.

**Fig. 3.2.** Equipo de extracción por hidrodestilación



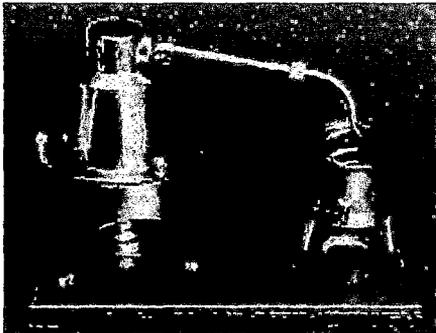
Las extractores en general por arrastre de vapor duran entre 3 a 4 o más horas, según el material vegetal que se trate, obteniéndose muy poca cantidad de esencia. Esto se debe a que el contenido en aceites de las plantas es bajo, y por ello hace falta destilar abundante cantidad de material vegetal para obtener un volumen que justifique el gasto de la extracción. Los rendimientos suelen ser menores al 1%, es decir extrayendo 100 kg. de material vegetal fresca, obtendremos menos de 1 kg. de aceite esencial. Esto no sólo obliga a optimizar el extractor, sino a contar con muchas toneladas de hierba a destilar, inclusive con muchas personas que provean de la hierba.

Estos equipos se utilizan para obtener esencias del aceite de productos naturales (vegetales, frutos, semillas, rizomas). Para ello, se aplica la técnica del extractor por

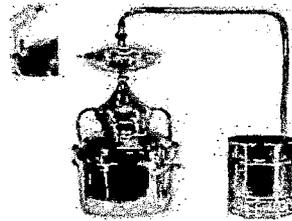
arrastre de vapor, siempre y cuando los componentes del aceite tengan un punto de ebullición inferior o igual al del vapor generado para realizar el arrastre.

Podemos observar estos equipos en las siguientes figuras:

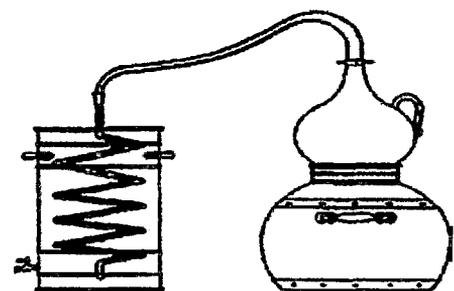
**Fig. 3.3.** Extractor tipo 1



**Fig. 3.4.** Extractor tipo 2



**Fig. 3.5.** Extractor tipo 3



### **3.2. Procedimiento de diseño del equipo de extracción.-**

Para diseñar el extractor multifuncional para aceites esenciales a nivel banco para fines experimentales, primeramente se ha diseñado el extractor multifuncional a nivel de laboratorio para evaluar su funcionabilidad que opere los diferentes métodos de extracción: Extracción por destilación directa por arrastre con vapor de agua, extracción por hidrodestilación propiamente dicho, extracción por cohobación, y extracción soxhlet con solvente. Luego de operación y funcionabilidad del equipo se ha diseñado el extractor multifuncional para aceites esenciales a nivel banco para fines experimentales.

#### **3.2.1. Procedimiento de diseño del equipo de extracción a nivel de laboratorio.-**

Con la tecnología del proceso seleccionado se ha determinado las variables del proceso (condiciones de operación) y las variables de diseño del extractor a nivel de laboratorio.

Para el diseño y construcción del extractor multifuncional a nivel de laboratorio, primeramente se ha efectuado en forma experimental la extracción del aceite esencial de muña muña y de eucalipto por destilación directa por arrastre con vapor de agua, extracción por hidrodestilación propiamente dicho, extracción por cohobación, y extracción soxhlet, con equipos que efectúan **sólo un método de extracción**, tal como se muestra en las figuras N° 3,6 y 3,7.

Fig. N° 3,6. Extracción de aceite esencial de eucalipto por destilación directa por Arrastre con vapor de agua.

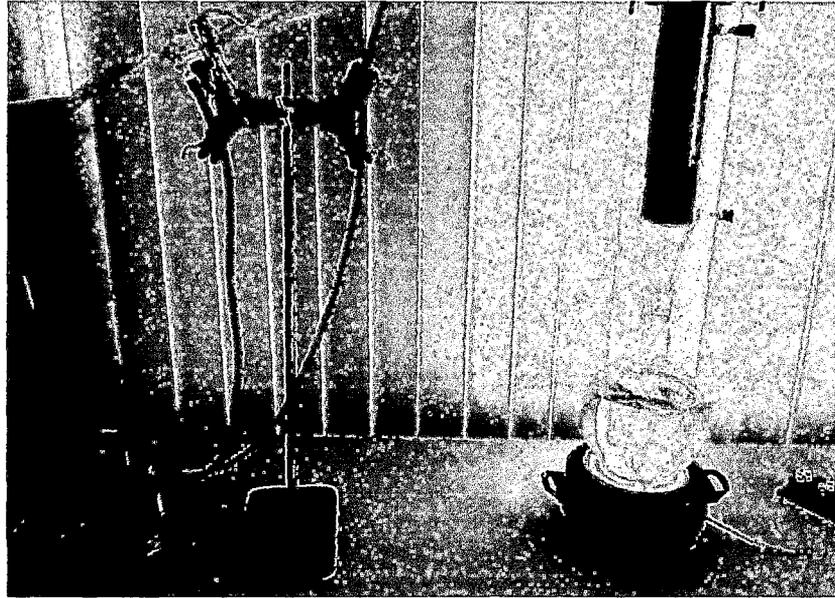
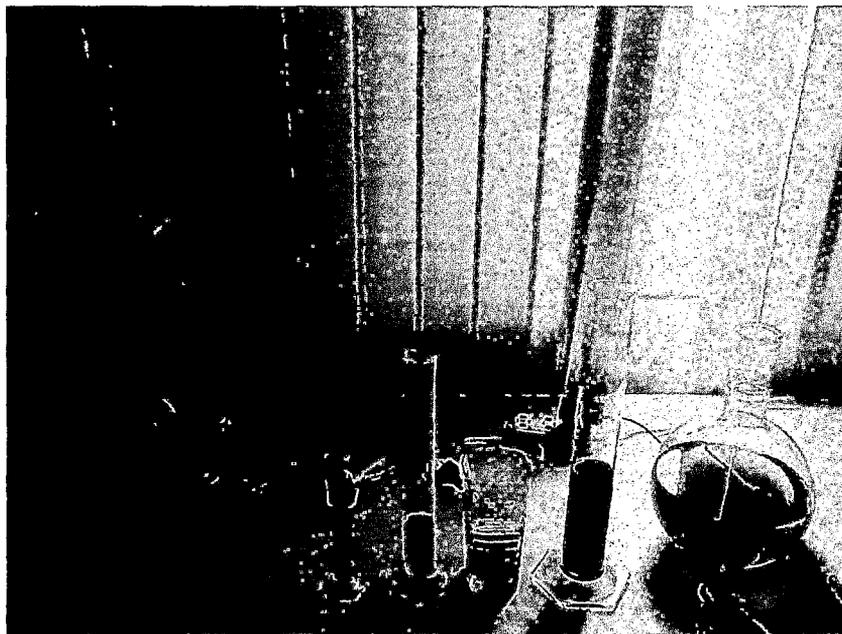


Fig. N° 3,7. Extracción de aceite esencial de eucalipto por soxhlet.



Para la extracción de aceite esencial de eucalipto por destilación directa por arrastre con vapor de agua, se usó 174 gramos de hojas de eucalipto y se ha obtenido 1,98 ml de aceite esencial de eucalipto el cual indica un rendimiento de 1,051%, y para la extracción por soxhlet, se ha usado 50 gramos de hojas de eucalipto obteniéndose 150 ml de agua aromatizada o concreto, tal como se muestra en la figura N° 3,7.

Con estos datos obtenidos se ha diseñado y construido el equipo de extracción multifuncional que se muestra en la figura N° 3,8, para la extracción por destilación directa por arrastre con vapor de agua, en la figura N° 3,9 se muestra la caída de presión para la extracción por destilación directa por arrastre con vapor de agua, y 3,10 se muestra la extracción por soxhlet.

Fig. N° 3,8. Extracción de aceite esencial de eucalipto por destilación directa por Arrastre con vapor de agua.

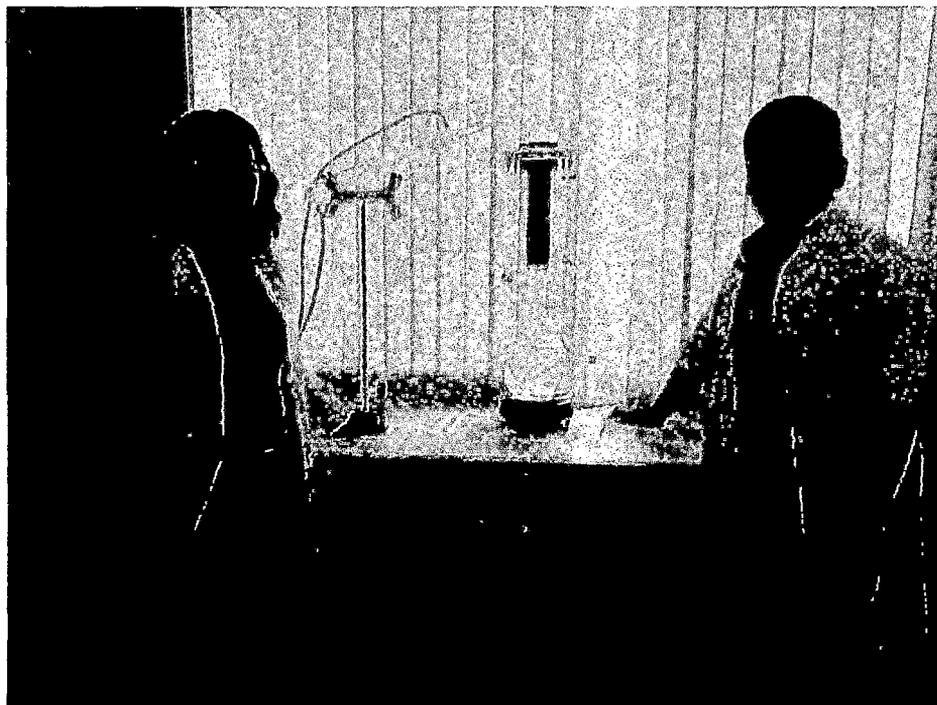


Fig. Nº 3,9. Caída de presión en la extracción de aceite esencial de eucalipto por destilación directa por arrastre con vapor de agua.

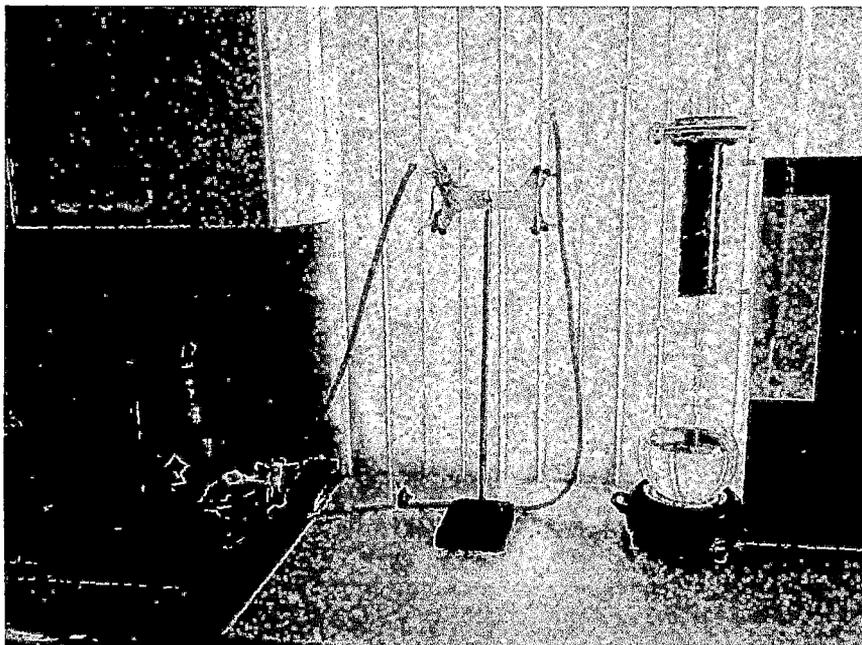
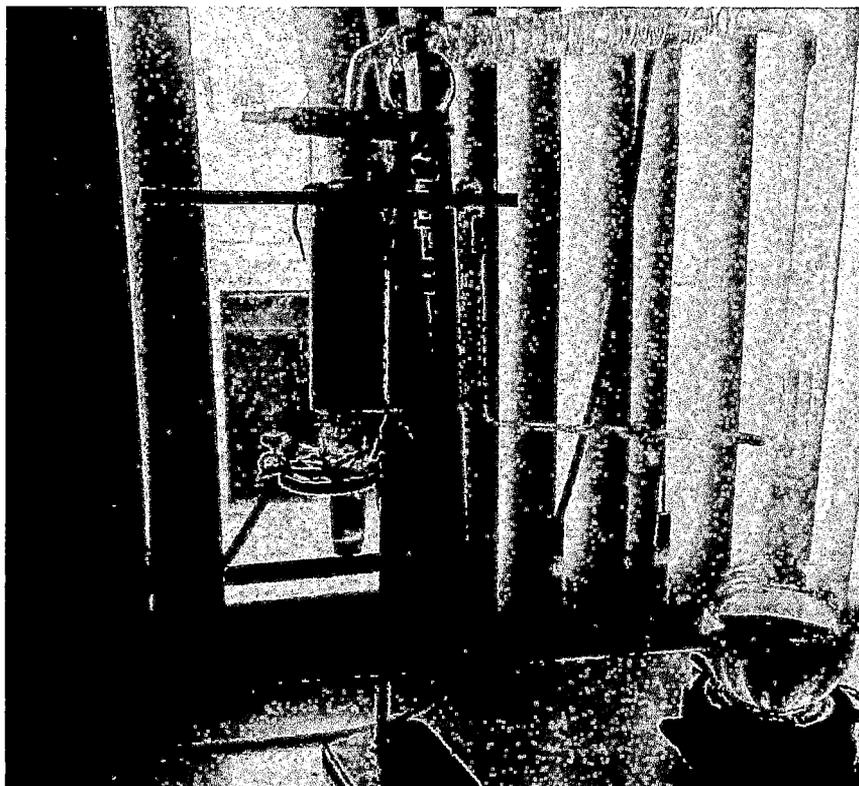


Fig. Nº 3,10. Extracción de aceite esencial de eucalipto por soxhlet.



Asimismo, cabe mencionar que el equipo fue modificado el sistema de alimentación del vapor de agua para el método de extracción por destilación directa por arrastre con vapor de agua, y también para el método extracción por soxhlet los cuales se muestran en las figuras N° 11, 12, 13.

Las partes que componen el equipo de extracción multifuncional modificado son:

1. Matraz balón de 2000 ml de capacidad de vidrio pírex, que se coloca 1500 a 1800 ml de solvente con un nipple de salida de 2,5 cm. de diámetro esmerilado y dos bocas de salida esmerilada de 1 cm.

2. Columna extractor consta:

a) un recipiente de vidrio pírex con una entrada por la parte lateral de 2,5 cm de diámetro para el ingreso del vapor, y abierto por la parte superior para la alimentación del material vegetal cuyas dimensiones son: diámetro 6,8 cm, altura 38 cm, volumen 1350 ml., el cual está conectada por una brida de silicona con cuatro perillas.

b) Una tapa de vidrio pírex con dos salidas, una para la conexión con recipiente extractor por una brida de silicona, cuyas dimensiones son: diámetro mayor 6,8cm, largo 1,8 cm, y la otra salida es la forma de cuello de cisne con un diámetro de 1,5 cm esmerilado para la conexión con el refrigerante.

c) Dos salidas laterales para la instalación del manómetro y para la conexión del sifón en con el recipiente extractor para que funcione como soxhlet.

3. Condensador de doble tubo de vidrio pírex de dimensiones, Longitud 53cm, con diámetro externo de 3,7 cm., con una longitud de intercambio de 37 cm con una salida de 1,0 cm esmerilada.

4. Tubo de conducción de vapor para el soxhlet de 49 cm de largo, 39 cm de longitud operable con 2,5 cm de diámetro de entrada esmerilada para la conexión con el

generador de vapor, la otra salida de 1,5 cm de diámetro, con válvula para la extracción de muestras.

5. Conexión de cuello de cisne de vidrio esmerilado para la hidrodestilación y cohobación conectados al extractor y el condensador, cuyas dimensiones son: Longitud 11,5 cm, diámetro mayor 2,5 cm; diámetro menor 1,5 cm, con un ángulo de 45°.

6. Florentino, de 10 ml con su sifón respectivo.

7. Vaso de vidrio de 100 ml para la recepción del producto extraído.

8. Soporte del material vegetal y la distribución del vapor de acero inoxidable.

### **Operación del Equipo.**

Se aplica el siguiente procedimiento para poner en operación el equipo:

#### **1. Extracción por destilación directa por arrastre con vapor de agua.-**

a) En el matraz balón de 2000 ml se coloca un volumen de 1200 ml de disolvente (agua).

b) Una vez colocado el volumen del disolvente seleccionado se conecta con la columna extractor.

c) Por la parte posterior de la columna de extracción se alimenta el material vegetal (174 gr de hojas de eucalipto).

d) Se conecta la tapa del extractor mediante las bridas de silicona.

e) La columna extractor instalado es conectada al condensador, el cual es conectado al florentino. Ver figura N° 3,12.

Asimismo, con este equipo se ha efectuado la evaluación y determinación de la caída de presión en la columna de extracción.

#### **2. Extracción por hidrodestilación propiamente dicho.-**

Es similar al procedimiento anterior

- a) En el matraz balón de 2000 ml se coloca un volumen de 500 ml de disolvente (agua) en el fondo.
- b) Una vez colocado el volumen del disolvente seleccionado se coloca el material vegetal sobre un soporte de malla un poco más arriba del agua en ebullición, aquí el vapor saturado y húmedo, está en contacto con el material vegetal.
- c) Por el tope del balón extractor se conecta el cuello de cisne uniéndolo con el condensador y este es conectado al florentino.

### **3. Extracción por cohobación.-**

- a) En el matraz balón de 2000 ml se coloca un volumen de 500 ml de disolvente (agua) en el fondo.
- b) Una vez colocado el volumen del disolvente seleccionado se coloca el material vegetal que se encuentra en contacto directo con el agua hirviendo, o estar completamente sumergido, aquí los vapores de agua y el aceite esencial arrastrado se condensan.
- c) Por el tope del balón extractor se conecta el cuello de cisne uniéndolo con el condensador y este es conectado al florentino

### **4. Extracción por soxhlet con solvente.-**

- a) En el matraz balón de 2000 ml se coloca un volumen de 1200 ml de disolvente (agua).
- b) Una vez colocado el volumen del disolvente seleccionado se conecta con la columna transportadora de vapor, el cual es conectado al condensador y está al tope de la columna extractor.
- c) Por la parte posterior de la columna de extracción se alimenta el material vegetal (174 gr de hojas de eucalipto).

d) La columna extractor instalada, es conectada el sifón al matraz balón efectuándose la extracción repetida al mismo material vegetal, determinándose el número de etapas de extracción ver figura N° 3,10.

Fig. N° 3,11. Componentes del equipo de extracción multifuncional para Aceites esenciales a nivel de laboratorio.

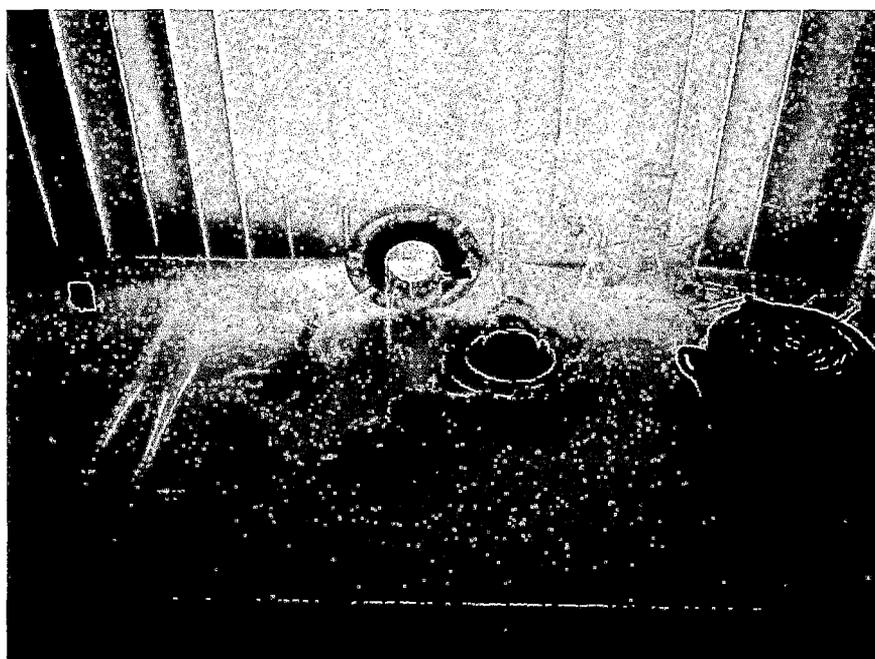


Fig. Nº 3,12. Extracción de aceite esencial de eucalipto por destilación directa por Arrastre con vapor de agua.

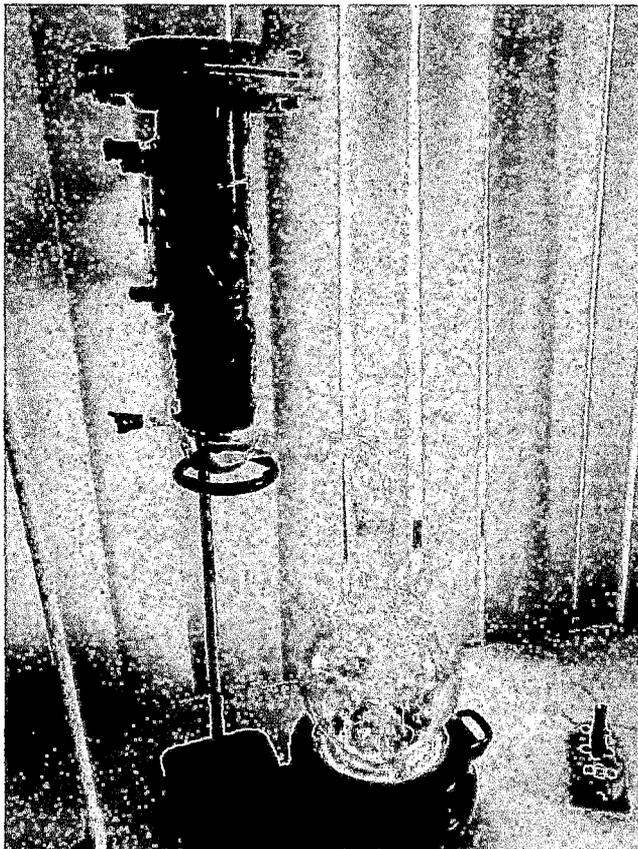
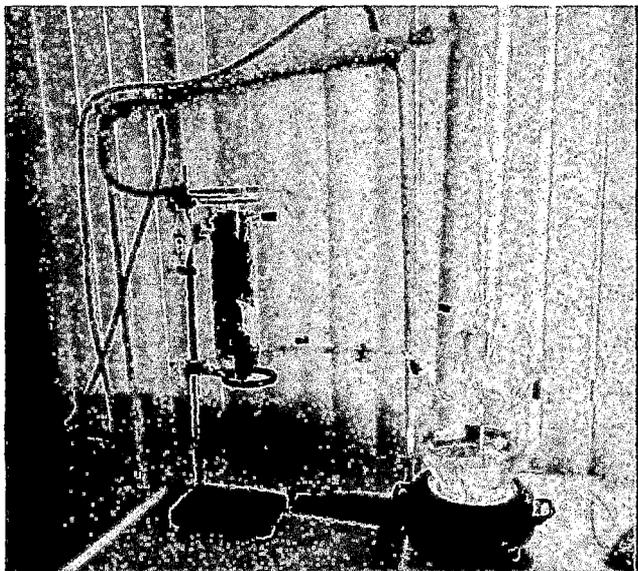


Fig. Nº 3,13. Extracción de aceite esencial de eucalipto por soxhlet.



### **Resultados Experimentales.-**

Con el equipo diseñado y construido se han realizado 5 corridas experimentales para cada método de extracción planteado, siendo los más destacados la extracción de aceite esencial de muña muña y de eucalipto por arrastre con vapor, y steviosida para soxhlet.

Con el equipo antes de la modificación anterior para la extracción de aceite esencial de eucalipto por destilación directa por arrastre con vapor de agua, se ha usado 174 gramos de hojas secas de eucalipto y se ha obtenido 1,98 ml de aceite esencial de eucalipto el cual indica un rendimiento de 1,051%, y para la extracción por soxhlet, se ha usado 50 gramos de hojas de eucalipto obteniéndose 150 ml de agua aromatizada o concreto.

Con el equipo modificado, para la extracción de aceite esencial de eucalipto y muña muña por destilación directa por arrastre con vapor de agua, se han obtenido los rendimientos respectivos y la cinética de extracción tal como se muestra en la tabla N° 3,1.

**a) Material vegetal y solvente:** Peso de hojas de eucalipto secas: 174 gramos

Cantidad de solvente, agua: 1200 ml

**Resultado:** 2,0 ml de aceite esencial.

Rendimiento: 1,062%

Tiempo de extracción: 60 minutos.

Tabla N° 3,1. Datos de cinética de la extracción de aceite esencial de eucalipto por Destilación directa por arrastre con vapor de agua.

Volumen, ml	Tiempo, min.
0,0	0
0,45	5
0,62	7
0,74	9
0,8	11
1,0	14
1,2	17
1,31	21
1,42	25

Volumen, ml	Tiempo, min.
1,56	28
1,64	33
1,78	39
1,87	44
1,91	48
1,96	53
2,0	60
2,0	64
2,1	68
2,1	75

**Fuente:** Elaboración propia

**b) Material vegetal y solventes:** Peso de hojas de muña muña secas: 133 gramos

Cantidad de solvente, agua: 1200 ml

**Resultado:** 1,35 ml de aceite esencial.

Rendimiento: 0,936%

Tiempo de extracción: 50 minutos.

Tabla N° 3,2. Datos de cinética de la extracción de aceite esencial de muña muña  
Por destilación directa por arrastre con vapor de agua.

<b>Volumen, ml</b>	<b>Tiempo, min.</b>
0,0	0
0,35	3
0,5	4
0,8	7
1,0	10
1,2	16
1,30	20
1,35	24
1,36	30
1,36	36
1,36	43
1,36	50

**Fuente: Elaboración propia**

## CINETICA DE LA EXTRACCION DE ACEITE ESENCIAL

### BALANCE DE MATERIA

$$\left[ \begin{array}{c} \text{CANTIDAD DE MASA} \\ \text{DE ACEITE} \\ \text{ESENCIAL EXTRAIDA} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{c} \text{CANTIDAD DE MASA} \\ \text{DIFUNDIDA DE ACEITE} \\ \text{ESENCIAL } \mu/\text{min} \end{array} \right] \dots\dots\dots(1)$$

Donde:  $m = \rho V$

Cantidad de masa de aceite esencial extraída =  $m^{\circ}_{\text{aceite ext}}$

$$\dot{m}_{\text{aceite ext}} = \text{Volumen de hoja de eucalipto} \cdot \rho_{\text{aparente de hojas de eucalipto}} \cdot \epsilon \dots\dots\dots (2)$$

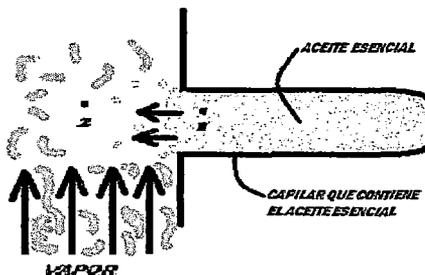
$$\dot{m}_{\text{aceite ext}} = V \cdot \rho \cdot \epsilon \dots\dots\dots (3)$$

$$\left( \frac{d m_{ac}}{dt} \right) = \rho_{ap} \cdot \epsilon \cdot \left( \frac{d v}{dt} \right) \dots\dots\dots (4)$$

Cantidad de masa de aceite esencial difundido (g/min)  $\dot{N}_{ae}$

$$\dot{N}_{ae} = K_m A_{ST} (\dot{m}_1 - \dot{m}_2) \dots\dots\dots (5)$$

$$\dot{N}_{ae} = K_m A_{ST} \rho_{\text{aceite}} (V_1 - V_2) \dots\dots\dots (6)$$



$K_m$  = coeficiente de transferencia de masa de la difusión de aceite esencial ( $1/m^2 \cdot \text{min}$ )

Además

$$V_1 = K_{\text{reparto}} \cdot V_{\infty} \dots \dots \dots (7)$$

$V_{\infty}$  = Cantidad de aceite esencial en el equilibrio en la superficie del tricoma

$$V_2 = K_{\text{reparto}} \cdot V \dots \dots \dots (8)$$

$V$  = Cantidad de aceite esencial que está en equilibrio en el vapor

(8) y (7) en (6)

$$\dot{N}_{ae} = K_m A_{ST} \delta_{\text{aceite}} (K_{\text{reparto}} \cdot V_{\infty} - K_{\text{reparto}} \cdot V)$$

$$\dot{N}_{ae} = K_m A_{ST} \delta_{\text{aceite}} K_{\text{reparto}} (V_{\infty} - V) \dots \dots \dots (9)$$

(9) en (4) y haciendo que

$$K_v = \frac{K_m \cdot \delta_{\text{aceite}} A_{ST} K_{\text{reparto}} (V_{\infty} - V)}{\epsilon \cdot \delta_{ap}}$$

$$\delta_{ap} \cdot \epsilon \cdot \frac{dv}{dt} = K_m \cdot \delta_{\text{aceite}} A_{ST} K_{\text{reparto}} (V_{\infty} - V)$$

Definimos que  $K_v$  = coeficiente de la velocidad de extracción de aceite esencial.

$$\left( \frac{dv}{dt} \right) = \frac{K_m \cdot \delta_{\text{aceite}} A_{ST} K_{\text{reparto}} (V_{\infty} - V)}{\epsilon \cdot \delta_{ap}}$$

$$\frac{dv}{dt} = K_v (V_{\infty} - V) \dots \dots \dots (10)$$

$$\int_{V_i}^{V_f} \frac{dv}{(V_{\infty} - v)} = \int_0^t K_v dt$$

$$-\ln(V_{\infty} - V) \Big|_{V_{\infty}}^V = K_v \cdot t$$

$$-\ln\left[\frac{V_{\infty}-V_0}{V_{\infty}-V}\right] = K_v \cdot t$$

$$V_0 = 0, \quad t_0 = 0$$

$$-\ln\left[\frac{V_{\infty}}{V_{\infty}-V}\right] = K_v \cdot t \dots\dots\dots (11)$$

$$\left[\frac{V_{\infty}}{V_{\infty}-V}\right] = e^{K_v \cdot t} \dots\dots\dots (12)$$

$$V = V_{\infty}(1 - e^{-K_v \cdot t}) \dots\dots\dots (13)$$

D) Realizando los cálculos para la determinación de  $K_v$  con los datos experimentales de la extracción de aceite esencial de eucalipto en la ecuación (11)

$$-\ln\left[\frac{V_{\infty}}{V_{\infty}-V}\right] = K_v \cdot t$$

Donde  $V_{\infty} = 2.1$

t	v	$K_v = \ln[V_{\infty}/(V_{\infty}-V)]/t$
0	0,0	-
5	0,45	0.04822
7	0,62	0.049971429
9	0,74	0.048266667
11	0,8	0.043590909
14	1,0	0.046185714
17	1,2	0.049835294
21	1,31	0.046552381
25	1,42	0.0451
28	1,56	0.048503571
33	1,64	0.046012121
39	1,78	0.048238462
44	1,87	0.050263636
48	1,91	0.050541667
53	1,96	0.05109434
60	2,0	0.050741667
64	2,0	0.047570313
68	2,1	-
75	2,1	-

Se obtiene  $K_v$  (promedio)=0.048

Reemplazando en la ecuación (13) obtenemos los volúmenes teóricos para la extracción de aceite esencial de Eucalipto

$$V = 2.1(1 - e^{-0.048 \cdot t})$$

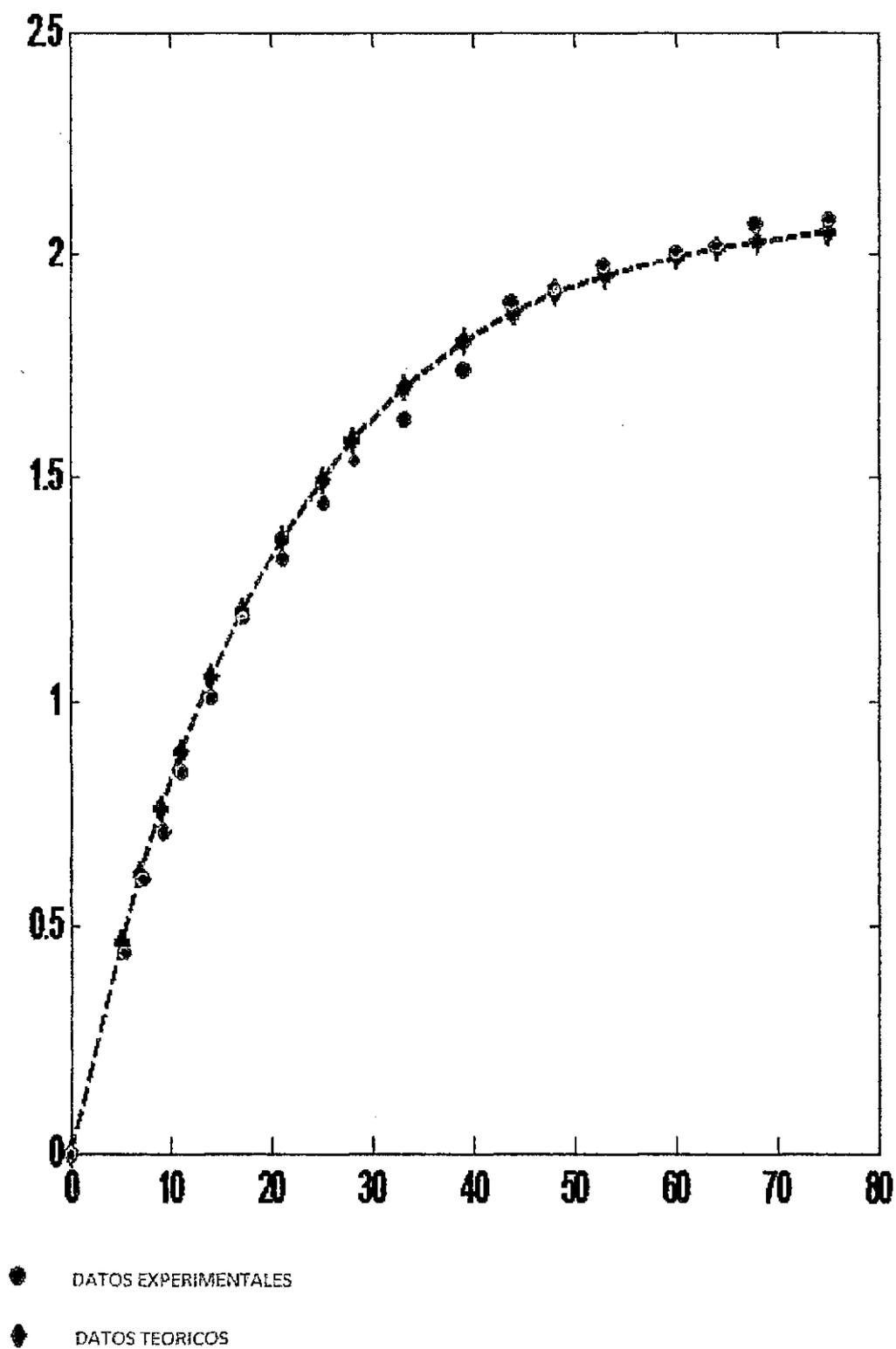
Reemplazando en la ecuación se tendrá los valores de Volumen teórico en la siguiente tabla

t	V teórico	Experimental
0	0,0	0,0
5	0,4645	0,45
7	0,6201	0,62
9	0,7609	0,74
11	0,8884	0,8
14	1.0571	1,0
17	1.2024	1,2
21	1.3651	1,31
25	1.4983	1,42
28	1.5821	1,56
33	1.6966	1,64
39	1.8012	1,78
44	1.8673	1,87
48	1.9094	1,91
53	1.9516	1,96
60	1.9954	2,0
64	2.0143	2,0
68	2.0299	2,1
75	2.0506	2,1

De la Figura N° 3,14, Se muestra t vs V obtenida para la Cinética de la extracción de aceite esencial de eucalipto por destilación Directa por arrastre con vapor de agua, los datos experimentales son colocados señalizándolos con puntos rojos.

Figura N° 3,14. Cinética de la extracción de aceite esencial de eucalipto por destilación

Directa por arrastre con vapor de agua.



II) Realizando los cálculos para la determinación de  $K_v$  con los datos experimentales del aceite esencial de muña muña con la formula (11)

$$-\ln\left[\frac{V_{\infty}}{V_{\infty}-V}\right] = K_v \cdot t$$

Donde  $V_{\infty}=1.36$

Reemplazando en la ecuación se tendrá los valores de  $K_v$

t	v	$K_v = \ln[V_{\infty}/(V_{\infty}-V)]/t$
0	0,0	-
3	0,35	0.0991
4	0,5	0.1145
7	0,8	0.1267
10	1,0	0.1329
16	1,2	0.1337
20	1,30	0.156
24	1,35	0.2046
30	1,36	-
36	1,36	-
43	1,36	-
50	1,36	-

Se obtiene  $K_v$  (promedio)=0.1382

Reemplazando en la ecuación (13) obtenemos los volúmenes teóricos para la extracción de aceite esencial de Eucalipto .Tendremos la siguiente ecuación

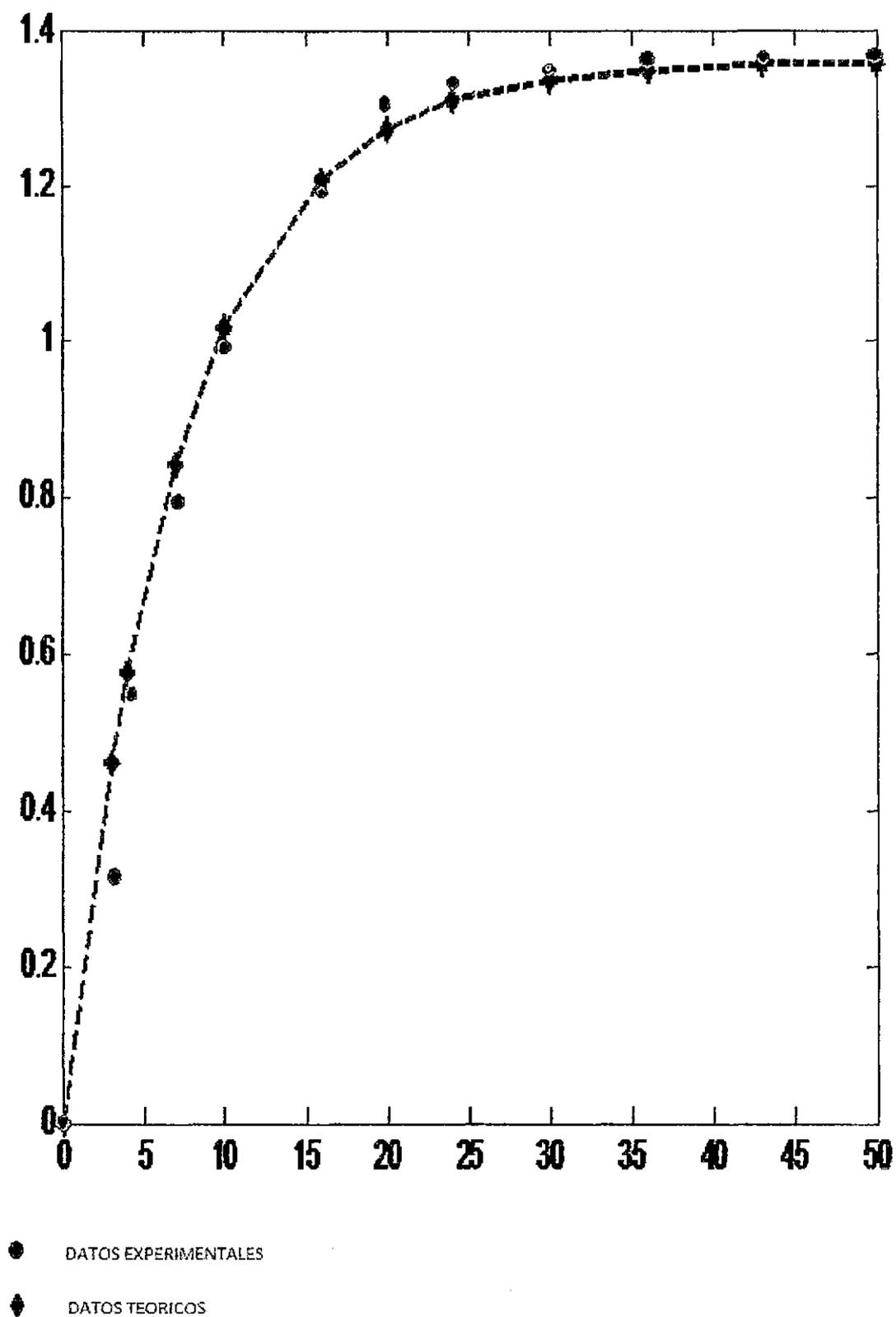
$$V = 1.36(1 - e^{-0.1382 \cdot t})$$

Reemplazando en la ecuación se tendrá los valores de Volumen teórico en la siguiente tabla

t	V teórico	V Experimental
0	0	0,0
3	0.461	0,35
4	0.5769	0,5
7	0.8421	0,8
10	1.0178	1,0
16	1.2105	1,2
20	1.2739	1,30
24	1.3104	1,35
30	1.3383	1,36
36	1.3505	1,36
43	1.3563	1,36
50	1.3586	1,36

En la Figura Nº 3,15, Se la Cinética de la extracción de aceite esencial de muña muña por destilación Directa por arrastre con vapor de agua, los datos experimentales son colocados señalizándolos con puntos rojos.

Figura N° 3,15. Cinética de la extracción de aceite esencial de muña-muña por Destilación directa por arrastre con vapor de agua.



### **3.2.2. Procedimiento de diseño del equipo de extracción a nivel banco.-**

Debido a que el proceso seleccionado nos permite efectuar la extracción sin agitación, y sobre la base de estas consideraciones es que hemos descartado el uso de equipos donde se pone en movimiento al material vegetal, puesto que como el tiempo de extracción es de 1 hora, requeriré de un equipo de gran capacidad, debido a que se requiere gran volumen de carga del material vegetal para alcanzar el rendimiento adecuado al proceso, esto se consigue con extractores de lecho fijo.

En la siguiente figura N° 3.12, y 3.13 se representa aproximadamente el tipo de extractor seleccionado a nivel banco, el cual consisten en un recipiente cilíndrico vertical, separado de la base por un plato perforado, tres platos colocados en forma equidistante como re distribuidores del solvente, una cesta para la carga del material vegetal para facilitar la separación del extracto y retirar las hojas agotadas por la parte superior del recipiente.

Para la selección del extractor, se analizo y se discutió los siguientes puntos:

1. En la simplicidad de los equipos a la necesidad del contacto sólido-liquido (hojas de vegetales y vapor de agua).
2. En la simplicidad del equipo no requiere muchos accesorios para los contactos.
3. En la facilidad de obtener el aceite esencial, debido a que usa vapor y agua como solvente la cual puede ser regulada en el equipo.
4. El funcionamiento experimental se refiere a los experimentos realizados para verificar sus bondades.

Con el modelo y datos de diseño del extractor multifuncional determinados a nivel laboratorio se ha diseñado los componentes el equipo de extracción a nivel banco.

### 3.2.2.1. Diseño del Hervidor.-

Material de construcción:

Acero quirúrgico el cual debe soportar temperatura de ebullición por encima de 100°C, ácidos y bases orgánicas [19].

**Volumen:**

Para considerar escala banco se establece un hervidor de una capacidad de 20 litros, el cual está relacionado con la carga del material vegetal. De acuerdo a los extractores sólido-líquido experimentados por J. Rivera et.al. (2008), y comprobados experimentalmente con el extractor multifuncional, se va usar una relación de 7,5 del solvente con respecto del material vegetal.

Volumen del solvente: 15 litros de agua tratada.

Volumen total = 15 x 1,33 = 20 litros.

Relación H /D = 1.0 a 1,5 [16]. Se tomó H/D = 1,50

D = 25,7 cm, H= 38,6 cm

Presión: 1 atmosfera

Del Perry (figura 24.3) [19].

$$t = \frac{P D_i}{2SE - 1,2 P} + C$$

Donde

P = presión interior psi.

Di = Diámetro interior en pulgadas

S = esfuerzo psi (acero =12650)

E = Eficiencia de la junta (E  $\cong$  1)

t = Espesor de lámina en pulgadas

$$t = \frac{34,43 \times (25,7/2,54)}{2 \times 12650 \times 1 - 1,2 \times 34,43} + 1/16" = 0,0763" \cong 1/8"$$

El hervidor debe fabricarse con acero quirúrgico de 1/8" pulgadas de espesor.

Resistencias:

Base de cálculo: 1 hora. Calor total a suministrar =  $Q_T$

$Q_i$  = calor calentamiento recipiente + calor calentamiento del aislante + calor calentamiento de las partes + Calor perdido

Calor de operación =  $Q_o$  = (calor para calentar + calor para evaporar) el agua + calor para calentar el gas de arrastre + calor perdidos.

$$Q_T = Q_i + Q_p$$

$$Q_T = Q_o + Q_p$$

Temperatura interior = 100 °C

Temperatura exterior = 20 °C

$$Q_i = Q_{\text{aislante}} + Q_{\text{acero}} + Q_{\text{carga inicial}} + Q_{\text{partes}} + Q_p$$

$$Q_{\text{aislante}} = 1,5 \text{ kg} \times 0,25 \text{ cal/}^\circ\text{C g} (100 - 20) ^\circ\text{C} = 30 \text{ Kcal}$$

$$Q_{\text{acero}} = 3,0 \times 0,12 (100 - 20) ^\circ\text{C} = 28,8 \text{ Kcal}$$

$$Q_{\text{carga inicial}} = 15 \times 1,0 (100 - 20) ^\circ\text{C} = 1200 \text{ Kcal}$$

$$Q_{\text{partes del sistema}} = (\text{incluidos en } Q_{\text{acero}})$$

$$Q_{\text{perdida}} = 10 \% \text{ de } \Sigma(Q_j) = 0,1 \times 1258,8 = 125,88 \text{ Kcal}$$

$$Q_i = 1385 \text{ Kcal}$$

Tiempo máximo para calentar inicialmente el hervidor con su contenido = 30 minutos = 0,5 horas (dato práctico).

$$\text{Wattios necesarios} = 1385 \text{ Kcal} / 0,33 \text{ h} = 4197 \text{ Kcal/h} = 4887 \text{ Watt-h}$$

$$Q_o = Q_{\text{evaporador solvente}} + Q_{\text{calentar solvente}} + Q_{\text{gas}} + Q_{\text{pérdida}}$$

$$C_{p_{\text{H}_2\text{O}}} = 0,5 \text{ cal/ g } ^\circ\text{C}; \lambda_{\text{evap. Agua}} = 204,6 \text{ Kcal/Kg}$$

$$\text{Masa del gas} = 1000 \text{ g/h [19]}$$

$$Q_o = 3,0 [0,25 (100 - 20) + 204,6] + 1,0 \times 0,26 (100 - 20) = 695 \text{ Kcal/hr}$$

$$Q_p = 0,1 \times 695 = 69,5 \text{ Kcal/hr}$$

$$Q_o = 695 \text{ Kcal/hr} = 809 \text{ Watt-hr}$$

$$Q_T = 3534 \text{ Kcal/hr}$$

Se debe instalar al hervidor una resistencia de 5,0 Kwatt-hr

Espesor del aislante = 3,8 cm = (120 - 80) = 40 mm  $\cong$  1,5" que se consigue con facilidad en el comercio (lámina de lana de vidrio),  $\rho \cong 0,4$ .

### 3.2.2.2. Diseño del extractor.-

Material de construcción:

Acero quirúrgico [19].

Volumen: Para considerar escala banco se establece 15 litros que puede procesar 2

Kgs. de material vegetal [19,28].

Volumen total =  $15 \times 1,33 = 20$  litros.

Relación H /D = 5,6 (dato práctico Del equipo extractor de laboratorio).

D = 25,7 cm, H = 145 cm.

Diámetro de la tapa = 25,7 cm.

Carga al extractor = 2,0 kg/lote de material vegetal.

Presión: 1 atmósfera

Del Perry (figura 24.3) [19].

$$t = \frac{P D_i}{2SE - 1,2 P} + C$$

Donde

$P_D$  = presión de diseño.

$P_D = P_{op} + 15 \text{ psig} = 19,42 + 15 = 34,43 \text{ psig}$

$D_i$  = Diámetro interior en pulgadas

S = esfuerzo psi (acero = 12650)

E = Eficiencia de la junta (  $E \cong 1$  )

t = Espesor de lámina en pulgadas

$$t = \frac{34,43 \times (25,7/2,54)}{2 \times 12650 \times 1 - 1,2 \times 34,43} + 1/16" = 0,0763" \cong 1/8"$$

El extractor debe fabricarse con acero quirúrgico de 1/8" pulgadas de espesor.

Espesor del aislante = 1,5 cm  $\cong$  0,6" que se consigue con facilidad en el comercio (lámina de lana de vidrio),  $\rho \cong 0,4$ .

### 3.2.2.3. Diseño de la cesta y disco- soporte de distribución del fluido (vapor).-

Material:

Malla canastilla de acero inoxidable 316 con alambres de 3/32" de diámetro, con malla de 1/8" x 1/8".

Disco-soporte distribuidor de vapor de acero inoxidable 316 de 19 cm de diámetro con perforaciones de 1/4" de diámetro con un espesor de 1/8".

### 3.2.2.4. Diseño del condensador.-

Datos de diseño:

Carga calórica:

Debe ser capaz de enfriar la mezcla odorífera desde 100 °C hasta el punto de condensación del producto (aceite esencial) 20 °C y condensarlo.

Calor a retirar =  $Q_r$

$Q_r = Q$  de enfriamiento mezcla +  $Q$  de condensación

$Q$  enfriamiento =  $m C_p \Delta T = 25 \text{ g/min} \times 0,5 \text{ (cal/g } ^\circ\text{C)} \times (100 - 20) ^\circ\text{C}$

$Q_e = 1000 \text{ cal/min. (60 Kcal/h)}$

$Q$  condensación = (solo condensa la mezcla vapor + aceite esencial producida)

Masa del mezcla vapor- aceite esencial que sale = 1500 g/h (25 g/min, dato práctico).

$$\lambda_{\text{Agua}} = 538 \text{ cal/g}$$

$$Q_c = 456\,504 \text{ cal/h}$$

$$Q_r = Q_e + Q_c = 283\,500 + 456\,504 = 740\,004 \text{ cal/h}$$

Agua a emplear:  $m_w$

$$Q = m_w C_p \Delta T$$

Temperatura entrada del agua = 18 °C

Temperatura salida del agua = 35 °C

$$m_w = Q_r / C_p \Delta T = 740\,004 / 1 \times (35 - 18).$$

$$43530 \text{ g/h} = 44 \text{ L/h} = 0,2 \text{ GPM (galones por minuto)}$$

Una válvula de 1/2" abierta totalmente, tiene un flujo de 3 GPM (experimental). Los ductos de entrada y salida al condensador están en 1/2".

Área y longitud del condensador:

Líquido frío: Es agua, fluye por la carcasa.

Líquido caliente: Mezcla proveniente del reactor, fluye por los tubos.

Para agua (fría) y gases (calientes) se toma:

$$U_D = 20 \text{ BTU / h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F enfriamiento [13].}$$

$$U_D = 80 \text{ BTU / h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F condensación [13].}$$

Se tomara  $U_D$  inferior para evaluar el condensador:

Determinación del área:

$$Q_r = U_D A \Delta T$$

$$A = Q_r / U_D \Delta T = (740\,004/252) / 20 \times \Delta T.$$

$$\Delta T = \text{LMTD} = \left( \frac{(350 - 35) - (35 - 20)}{\ln(350 - 35 / 35 - 20)} \right) = 98^\circ\text{C} = 177^\circ\text{F}$$

$$Q = 740004 / 252 = 2936 \text{ BTU/h}$$

$$A = 2936 / 20 \times 177 = 0,83 \text{ ft}^2 = 771 \text{ cm}^2.$$

Largo: Diámetro tubing de 4 " inoxidable 316 = 10,16 cm

$$A = (\pi D) L$$

$$L = A / (\pi D), L = 30,48 \text{ cm} \times 1,3 = 39,6 \text{ cm (15,6")}$$

2" de diámetro del tubo interior de acero quirúrgico, con dos nipples de entrada y salida del condensado y dos nipples de entrada y salida del fluido de enfriamiento.

### **3.2.2.5. Diseño del colector de productos.-**

Se debe construir en vidrio, para visualizar el producido.

Capacidad = 100 ml.

Para un flujo de 1,50 ml de aceite esencial /hora, implica que se llenará cada 30 minutos.

Opera a presión ambiente.

Este colector de vidrio cuenta en su extremo inferior con una prolongación de un tubo menor de forma de L invertida, que asciende hasta una altura cercana al extremo superior del tubo mayor, en ese punto se dobla formando un pico.

Dimensiones: Diámetro = 2,54 cm (1 ")

Diámetro del tubo menor= 0,64 cm (1/4")

Altura = 18 cm (7")

Capacidad nominal = 100 ml.

#### **IV. RESULTADOS.**

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de tesis que se presenta en esta sección son los resúmenes de los cálculos correspondientes con las especificaciones y datos de construcción de cada una de las partes que corresponden al equipo de extracción multifuncional para aceites esenciales a nivel banco para fines experimentales son de acero quirúrgico, el diagrama de flujo del equipo se encuentra en el apéndice.

##### **4.1. Hervidor.-**

Recipiente con tapa y fondo bombeados. La tapa posee una abertura central con cuello de cisne. La tapa también cuenta con dos nipples roscados para la adición de instrumento de medición o una válvula de alivio. La brida posee 4 pernos para la unión con otro aparato o conexión. El cuerpo posee adherido un medidor de nivel en vidrio, así como dos bandas laterales opuestas para el sostén del hervidor en la estructura metálica de la Unidad.

Diámetro del cuerpo = 25,7 cm (10")

Altura total = 38,6 cm (15")

Capacidad nominal = 20 Lt.

##### **4.2. Extractor.-**

**Ver figura N° 1 (apéndice)**

Constituido por un cuerpo cilíndrico con una tapa plana bridada y un fondo tronco-cónico, ambos con tubos externos, para la salida y entrada de un fluido. La tapa cuenta con 6 pernos y un niple externo para el ingreso de un instrumento de medición. A su vez, se ha adicionado dos aletas laterales para sujetar el aparato a la estructura de la Unidad. El tubo externo de la tapa cuenta con rosca externa para su conexión a una

reducción y esta a su vez a una manquera flexible de acero inoxidable. El cuerpo cuenta con una chaqueta que aloja Lana de vidrio como agente aislante. También posee dos asas laterales de bakelita para su movilización. Interiormente el cuerpo usa una placa con agujeros que sirve como soporte para la carga del extractor. El tubo inferior cuenta con una brida para su conexión con el hervidor. Los dos tubos superior e inferior cuentan con pequeños y delgados tubos que penetran hasta su interior. Ellos permitirán realizar mediciones de la caída de presión en el lecho.

Capacidad nominal = 20 Lt.

Diámetro del cuerpo = 25,7 cm (10")

Altura total = 145 cm (57")

#### **4.3. Cesta y disco- soporte de distribución del fluido (vapor).-**

Ver figura N° 2 (apéndice)

Constituido de malla canastilla de acero inoxidable 316 con alambres de 3/32" de diámetro, con malla de 1/8" x 1/8".

Disco-soporte distribuidor de vapor de acero inoxidable 316 de 24,7 cm de diámetro con perforaciones de 1/4" de diámetro con un espesor de 1/8".

#### **4.4. Condensador.**

Constituido por doble tubo con diámetros nominales diferentes 4" y 2". El tubo mayor cuenta con dos niples para el ingreso y salida del agua de enfriamiento. El tubo interno conectado al extractor y al florentino.

#### **4.5. Florentino.-**

Ver figura N° 3 (apéndice)

Tubo de vidrio que cuenta en su extremo inferior con una prolongación de un tubo de diámetro menor con forma de L invertida, que asciende hasta una altura cercana al extremo superior del tubo mayor, en ese punto se dobla formando un pico.

Diámetro = 2.54 cm (1 plg)

Diámetro del tubo menor = 0.64 cm (¼ plg)

Altura = 18 cm (7 plg)

Capacidad nominal = 100 cm<sup>3</sup>.

#### **4.6. Resistencia eléctrica:**

Consiste en una placa metálica doblada de manera que forme una banda alrededor del hervidor. Esta placa conductora se coloca dentro de una chaqueta de acero inoxidable y posee un sistema de cables y controladores para su regulación y funcionamiento.

Potencia = 5,0 Kw

## **V. DISCUSIONES.-**

La localización y distribución de los componentes para la unidad de extracción multifuncional para aceites esenciales a nivel banco, se analizó en forma separada tomando la disposición e instalación del equipo multifuncional diseñado y construido para determinar los datos de diseño y la funcionabilidad tal como se muestra en las figuras N° 3,6; 3,7; 3,8; 3,9; 3,10; 3,11; 3,12; 3,13, y las tablas de resultado 3,1; y 3,2.

Para la selección y/o especificación de las partes que componen el equipo completo del extractor multifuncional para aceites esenciales a nivel banco, se tuvo en cuenta su facilidad para la construcción en el mercado nacional. Esto para evitar que por difícil consecución de una pieza, el equipo entero quede inutilizado y relegado a un rincón.

La interpretación de la extracción a partir de las etapas elementales que componen el proceso difusional, considerando aspectos termodinámicos, resistencias al transporte entre las fases, se han evaluado los parámetros que influyen en el proceso de extracción del aceite esencial.

Cueva y colaboradores 1955, estudiaron la obtención de la clorofila y beta caroteno a partir de hojas de banano y su aplicación a los cosméticos habiendo sido su objetivo de obtener beta caroteno y la clorofila para aprovechar las hojas de banano y su industrialización, pero no diseñaron el extractor para este proceso.

Machaca, G., L., F., 2003, analiza las condiciones óptimas del proceso de extracción, y en base a ello diseña el extractor sólo para la obtención de la clorofila empleando el solvente selectivo y utilizando como materia prima alfalfa y hojas de banano.

Othmer, D.F., y Jaatinen, W.A., 1959, propone el método para diseñar extractores basándose con los datos experimentales de Laboratorio sólo para escamas de soya.

Yang, 11.11., y Brier, J.C., 1958, estudiaron la extracción de azúcar a partir de la remolacha de azúcar con agua caliente, pero no hace mención sobre el diseño del extractor.

Osburn, J. Q., y Katz, D.L., 1944, analizaron la resistencia a la transferencia de masa del soluto desde la superficie sólida hasta el seno del disolvente general encontrando que esta resistencia es bastante pequeña, pero no propone ningún modelo para el diseño del extractor.

La mayor ventaja del equipo diseñado radica en la alta eficiencia energética para calentar el material vegetal y lograr evaporar rápidamente al aceite esencial contenido, con lo cual, la velocidad de obtención tiene poca resistencia a la transferencia de masa y el tiempo de operación es menor y puede realizar varios tipos de extracción. Sin embargo, este equipo está aún en un nivel de investigación intermedio y debe vencer algunas limitantes importantes: operar en modo continuo, disminuir los costes de inversión, aumentar la versatilidad del generador de las micro-ondas y la disponibilidad de la fuente energética necesaria para su funcionamiento (Flamini et al., 2007). Asimismo no existe un proceso semi-continuo a nivel industrial que utilice el equipo diseñado, su escala de producción si llega a los usados en las destilerías industriales comunes. El reto tecnológico de un proceso semi-continuo con el extractor multifuncional está en el ambiente ingenieril mundial y ya se vislumbran algunas soluciones, sólo falta las pruebas que los certifiquen. Estaremos prestos a difundirlos y

analizarlos. Aunque sólo existe un tipo de hidrodestilación operando en modo continuo, el uso de una caldera para generar el vapor saturado y a su vez la energía para calentar la materia vegetal, hacen de la extracción el proceso multifuncional, para la obtención de aceites esenciales.

El hervidor es un cilindro de acero quirúrgico con fondo y tapa bombeados, que presenta una conexión superior a un tubo bridado (cuello). La tapa cuenta con dos niples para la toma de muestras o mediciones internas de temperatura o presión. El cuerpo posee dos barras laterales para su sostén en la Unidad y su movilidad externa. Además, se ha adicionado un medidor de nivel de vidrio en su cara frontal, conectado a un tubo saliente del fondo. Este mismo tubo permite gracias a una válvula de globo, la purga del líquido contenido en el aparato. Dentro de la Unidad, el equipo gira 360° con respecto al eje de las barras laterales. El aparato cuenta con una chaqueta externa con una resistencia eléctrica que permite calentarlo.

El extractor es un cilindro de vidrio pyrex con un fondo tronco-cónico que presenta una conexión exterior a un tubo bridado y una tapa plana bridada. La tapa posee una abertura central que se conecta con un tubo con rosca externa. También cuenta con un niple para la toma de muestras o de mediciones de temperatura. La tapa posee dos aletas externas para la sujeción del equipo a la estructura metálica. El tubo inferior conectado al fondo tronco-cónico posee en su interior anillos Rasching o similares y un pequeño tubo lateral que sale de su interior. Este junto con uno similar que se encuentra en el tubo superior conectado a la tapa plana, permiten realizar mediciones de la caída de presión del vapor cuando atraviesa el lecho que almacena el extractor.

El condensador es un intercambiador de calor de doble tubo. El tubo mayor posee un extremo rosado, mientras el otro ha sido cortado para darle una forma de pico. Además cuenta con dos niples externos, por donde circulara el agua de enfriamiento.

El florentino es un tubo de vidrio que se ramifica lateralmente en el extremo inferior, en forma de L invertida, antes del fondo. Este aparato separa dos líquidos inmiscibles por la diferencia de sus densidades, ya que el más denso se ubica en la parte inferior y es fácilmente desalojado continuamente mediante la ramificación. Tiene un volumen nominal de  $0.1 \text{ dm}^3$ .

El extractor debe poseer su rejilla interna antes de introducirle el material a usar. Se recomienda que no se llene hasta el tope, sino dejar por lo menos unos centímetros de espacio libre. Para formar un buen lecho fijo, se debe evitar los espacios vacíos cuando se llene con el material, para lograr esto, se le puede aglomerar y presionar. Pero evite una compresión excesiva o una sobrecarga del material. Una vez llenado, se emperna la tapa y usando las asas laterales se le transporta hasta la Unidad. Se puede incorporar instrumentos de medición al extractor mediante el niple que sobresale de la tapa.

## **VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1 CONCLUSIONES.**

Se ha diseñado el extractor multifuncional para aceites esenciales a nivel banco para fines experimentales, basados en los datos experimentales obtenidos con los equipos diseñados, construidos y evaluados su funcionabilidad a nivel de laboratorio, y con los fundamentos de extracción, y con los procedimientos de diseño del extractor que explica científicamente para cada uno con sus respectivas condiciones de operación

### **6.2. RECOMENDACIONES.**

1. Realizar investigaciones para evaluar las condiciones de operación a nivel piloto, y luego a escala industrial con sus respectivos instrumentos de control.
2. Realizar investigaciones sobre la tecnología de obtención de aceites esenciales a escala comercial.

## VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.

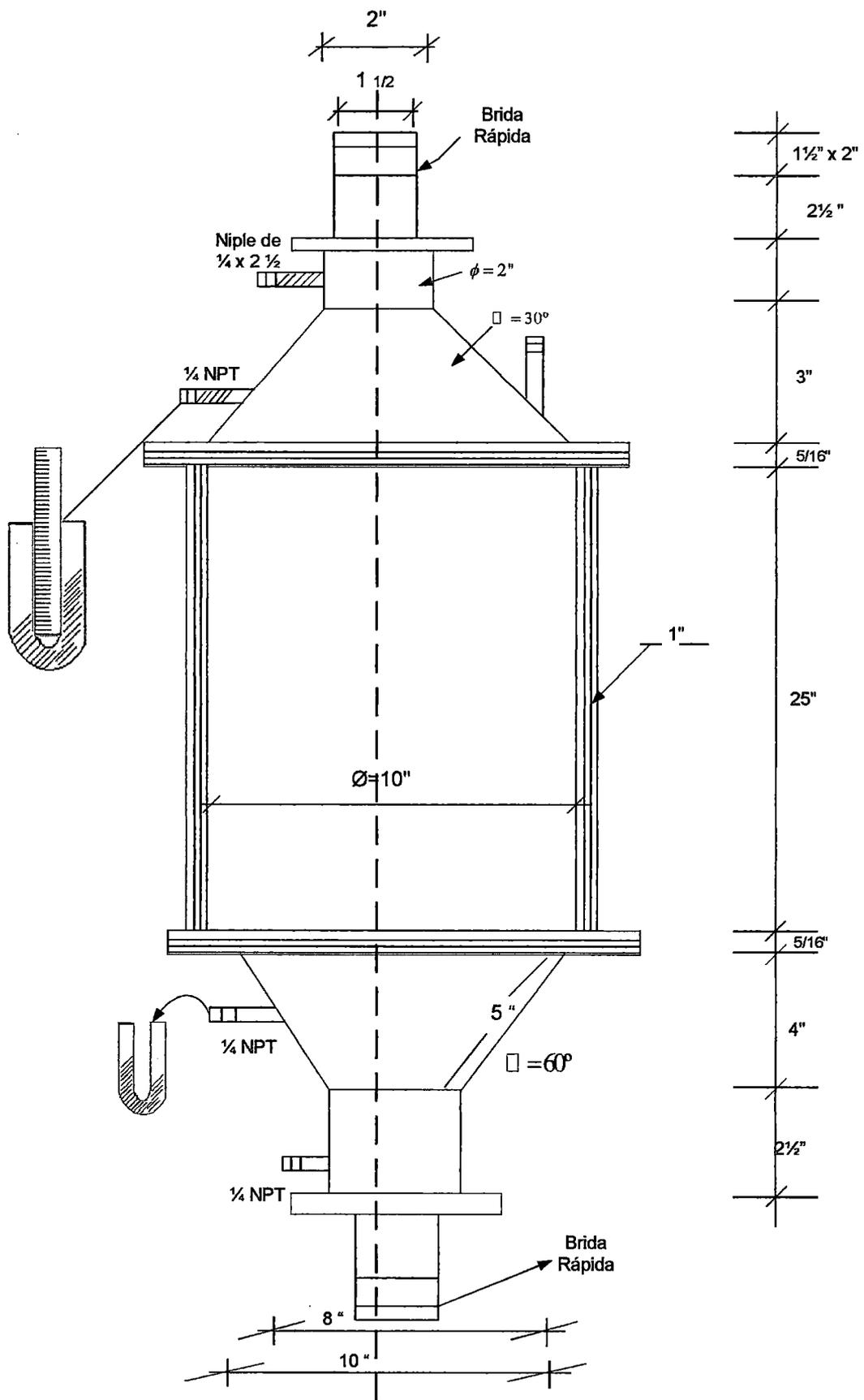
- [1] AFNOR, Matières premiers aromatiques d'origine naturelle - Vocabulaire. NF T75-006, 1998.
- [2] Al Di Cara, Jr. Essential Oils. In *Encyclopedia of Chemical Processing and Design*.. McKetta, J.J. (Ed.) Marcel Dekker, Inc., USA. Vol. 19, 352-381, 1983.
- [3] Baratta, M.T.; Dorman, H.J.D.; Deans, S.G.; Figueiredo, A.C.; Barroso, J.G.; Ruberto, G. Antimicrobial and antioxidant properties of some comercial essential oils. *Flavour Fragr. J.*, 13, 235-244, 1998.
- [4] Brat, P. Ollé, D. Gancel, A-L. Reynes, M. Brillouet, J-M. *Fruits*, 56, 395-402, 2001.
- [5] Brunner, G. Gas extraction: An Introduction to Fundamentals of Supercritical Fluids and the Application to Separation Processes. Steinkopff Verlag GmbH & Co. KG: Darmstadt, Germany, 1994.
- [6] Burillo, J. (Ed.) Investigación y experimentación de plantas aromáticas y medicinales en Aragón: Cultivo, transformación y analítica.. Gobierno de Aragón, Dpto. de Agricultura, Dirección General de Tecnología Agraria, Zaragoza, España, 2003.
- [7] Cadby, P.A.; Troy, W.R.; Middleton, J.D.; Matthias, G.H.V. Fragrances: are they safe? *Flavour Fragr. J.*, 17, 472-477, 2002.
- [8] Chemat, F.; Lucchesi, M.E.; Smadja, J.; Favretto, L.; Colnaghi, G.; Visinoni, F. *Analytica Chimica Acta*, 555, 157-160, 2006.
- [9] Cocero, M.J. Procesos comerciales de extracción con fluidos supercríticos. *Ingeniería Química*.. Nº 441, Noviembre, 144-157, 2006.
- [10] Code of Federal Regulations. U.S. Government Printing Office. Title 21, Vol. 3, Chapter I, Part 182, Subpart A, 456-460. April 1, 2003.

- [11] Cogat, P.O. Apparatus for Separating Biochemical Compounds from Biological Substances. U.S. Patent 5,478,443, Dec. 26, **1995**.
- [12] Cueva, A., "Obtención de clorofila y beta caroteno a partir de banano y su aplicación cosmética" Ciencia y Cosmética, Ecuador, 1995.
- [13] Del Valle, J.M.; De la Fuente, J.C.; Cardarelli, D.A. *J. of Food Eng.*, *67*, 35-37, **2005**.
- [14] Devore, G. y Must' OZ, M., Química Orgánica, primera edición, Publicaciones CULTURALES S.A., México, p.p. 661 – 664, **1969**.
- [15] Essential Oils. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, 4<sup>th</sup> Ed.; Wiley & Sons. New York, USA; Vol. 17, pp 1-60, **1993**.
- [16] Ferhat, M.A.; Meklati, B.Y.; Smadja, J.; Chemat, F. *Journal of Chromatography A*, *112*, 121-126, **2006**.
- [17] Flamini, G. Tebano, M. Cioni, P.L. Ceccarini, L. Ricci, A.S. Longo, I. J. *Chromatogr. A*, *1143* 36-40, **2007**.
- [18] Gallego, L.C. y Cardona, C.A. *Ingeniería Química*. N° 411, Marzo, 144-152, **2004**.
- [19] Gauthier Villards, *Chromatographie sur couches Minces*. Paris, **1962**.
- [20] Guenther, E.; Kulkak. and Roger, J., Vol. 39, N 5, p.p., **1967**.
- [21] Guenther, E.; Kulkak. and Roger, J., "Essential Oils and Related Products", *Analytical Chemistry*, vol. 29, N 4, p.p. 630 – 637, **1957**.
- [22] Günther, E. *The Essential Oils*. Vol. 1: History and origin in Plants Production Analysis. Krieger Publishing: New York, USA, **1948**.
- [23] Heath, H.B. and Reineccius, G. *Flavor Chemistry and Technology*. AVI Publishers, USA, **1986**.
- [24] Iriti, M.; Colnaghi, G.; Chemat, F.; Smadja, J.; Faoro, F.; Visinoni, F.A. *Flavour Fragr. J.*, *21*:704-712, **2006**

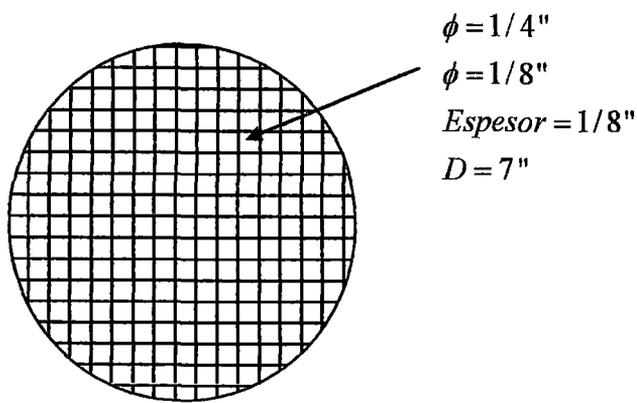
- [25] Isman, M.B. Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Protection*, 19, 603-608, 2000.
- [26] Jarvis, A.P. and Morgan, D. Isolation of Plant Products by Supercritical-Fluid Extraction. *Phytochem. Anal.*, 8, 217-222, 1997.
- [27] Kaufmann, B. and Christen, P. *Phytochem. Anal.*, 13, 105-113, 2002.
- [28] King, M.B. and Bott, T.R. *Extraction of Natural Products using Near-Critical Solvents*. 1<sup>st</sup> Edition. Chapman & Hall: London, UK, 1993.
- [29] Lack, E. and Simándi, B. Supercritical Fluid Extraction and Fractionation from Solid Materials. Bertucco, A. Vetter, G. (Eds.) In *High Pressure Process Technology: Fundamentals and Applications*. Elsevier: Amsterdam, Netherlands; pp 537-575, 2001.
- [30] Lagunez, L. Etude de l'extraction de metabolites secondaires de differentes matieres vegetales en reacteur chauffe par induction thermomagnetique directe. Thèse Docteur. Institut National Polytechnique de Toulouse. France. Juillet, 2006.
- [31] Lahlou, M. Methods to study the phytochemistry and bioactivity of essential oils. *Phytother. Res.*, 18,435-448, 2004.
- [32] Li, J.; Perdue, E.M.; Pavlostathis, S.G.; Araujo, R. Physicochemical properties of selected monoterpenes. *Environment International*, 24, 3, 353-358, 1998.
- [33] Lo Presti, M.; Ragusa, S.; Trozzi, A.; Dugo, P.; Visinoni, F.; Fazio, A.; Dugo, G.; Mondello, L. *J. Sep. Sci.* 28, 273-280, 2005.
- [34] Lucchesi, M.E.; Chemat, F.; Smadja, J. An original solvent free microwave extraction of essential oils from spices. *Flavour Fragr. J.*, 19, 134-138, 2004b.
- [35] Lucchesi, M.E.; Chemat, F.; Smadja, J. *J. Chromatogr. A*, 1043, 323-327, 2004a.
- [36] Luque de Castro, M.,D.; Jiménez-Carmona, M.,M.; Fernández-Pérez, V. *Trends in analytical chemistry*, 18, 11, 708-716, 1999.

- [37] Machaca Gonzales, L., F., "Análisis de Extracción y Diseño del Extractor para la Obtención de la Clorofila", Trabajo de Investigación presentado al VRI-UNAC, Callao-Perú, **2003**.
- [38] Machaca Gonzales, L., F., "Análisis, Diseño, y Construcción del Reactor Catalítico de Lecho Fijo a nivel banco para la obtención de derivados del etanol", Trabajo de Investigación presentado al VRI-UNAC, Callao-Perú, **2005**.
- [39] Meireles, M.A.A. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*. 7, 321-330, **2003**.
- [40] Morales Accame, R., "Estudio de la Extracción y Características de los Aceite Esenciales del *Mintnostachys mollis* (muña) y de la *Salvia sagittata* (Hierva Buena)",  
Tesis

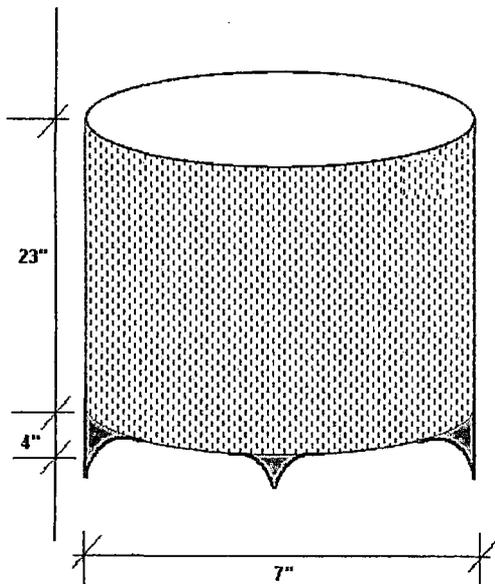
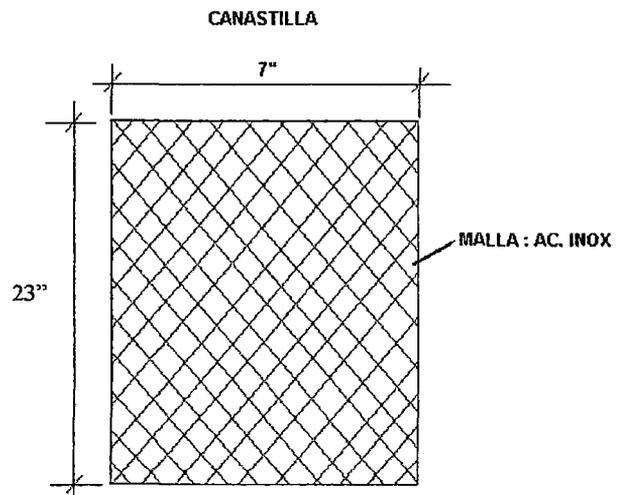
# APENDICE



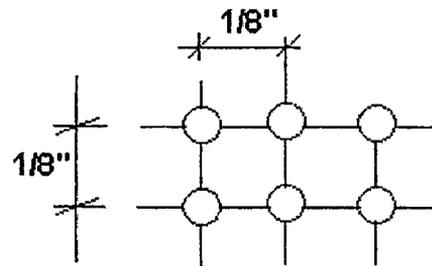
**FIGURA N° 1. EXTRACTOR PROPIAMENTE DICHO**



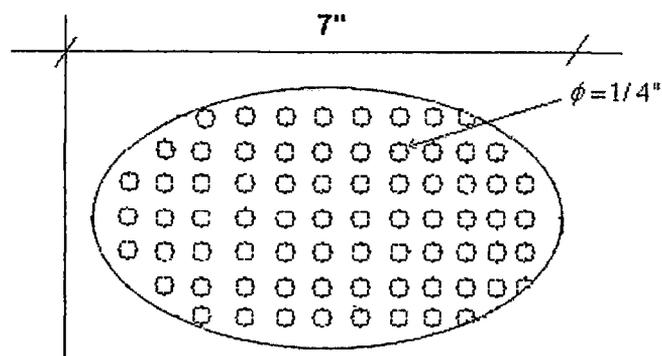
$\phi$  = de la tapa 12"  
 $\phi$  = del cuerpo 8"  
 h = del cuerpo 23"  
 Cap Nominal = 16.5 Lts.



$\phi = 3/32''$  de Alambre

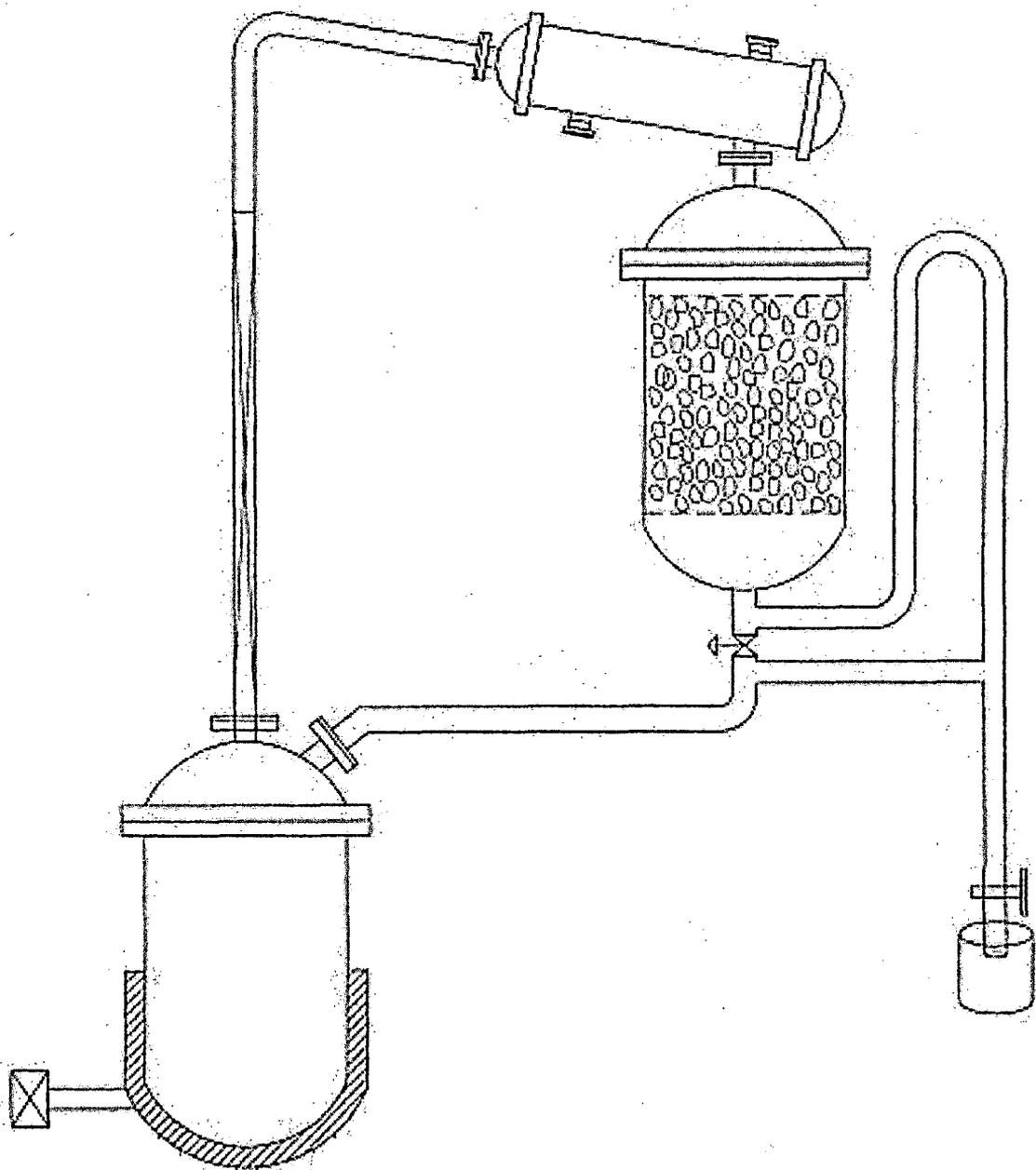


Malla Canastilla

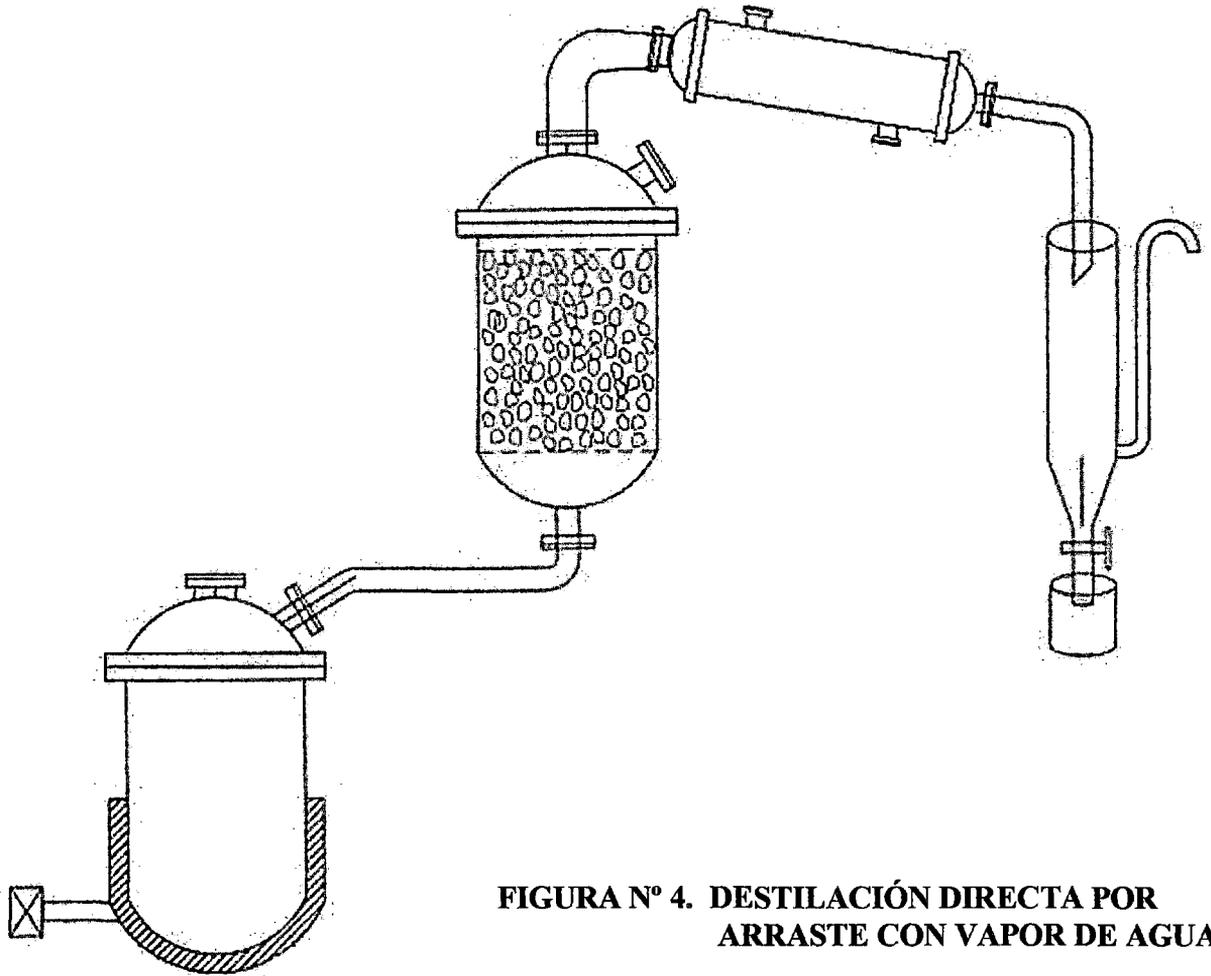


Disco - Soporte Distribución de  
 Fluido - Vapor en plancha de  $1/8$

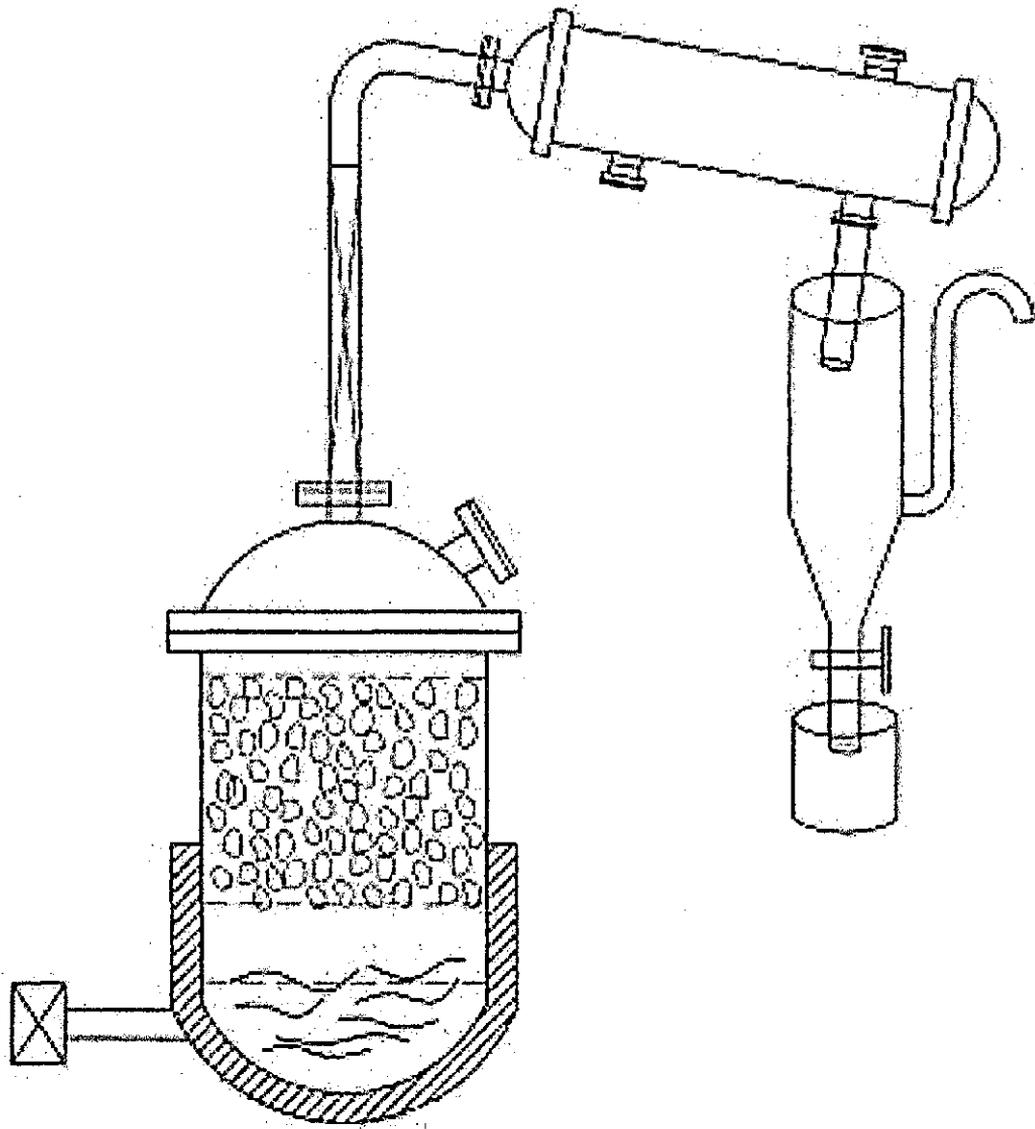
**FIGURA N° 2. CESTA Y DISCO – SOPORTE DE DISTRIBUCIÓN DE FLUIDO (VAPOR)**



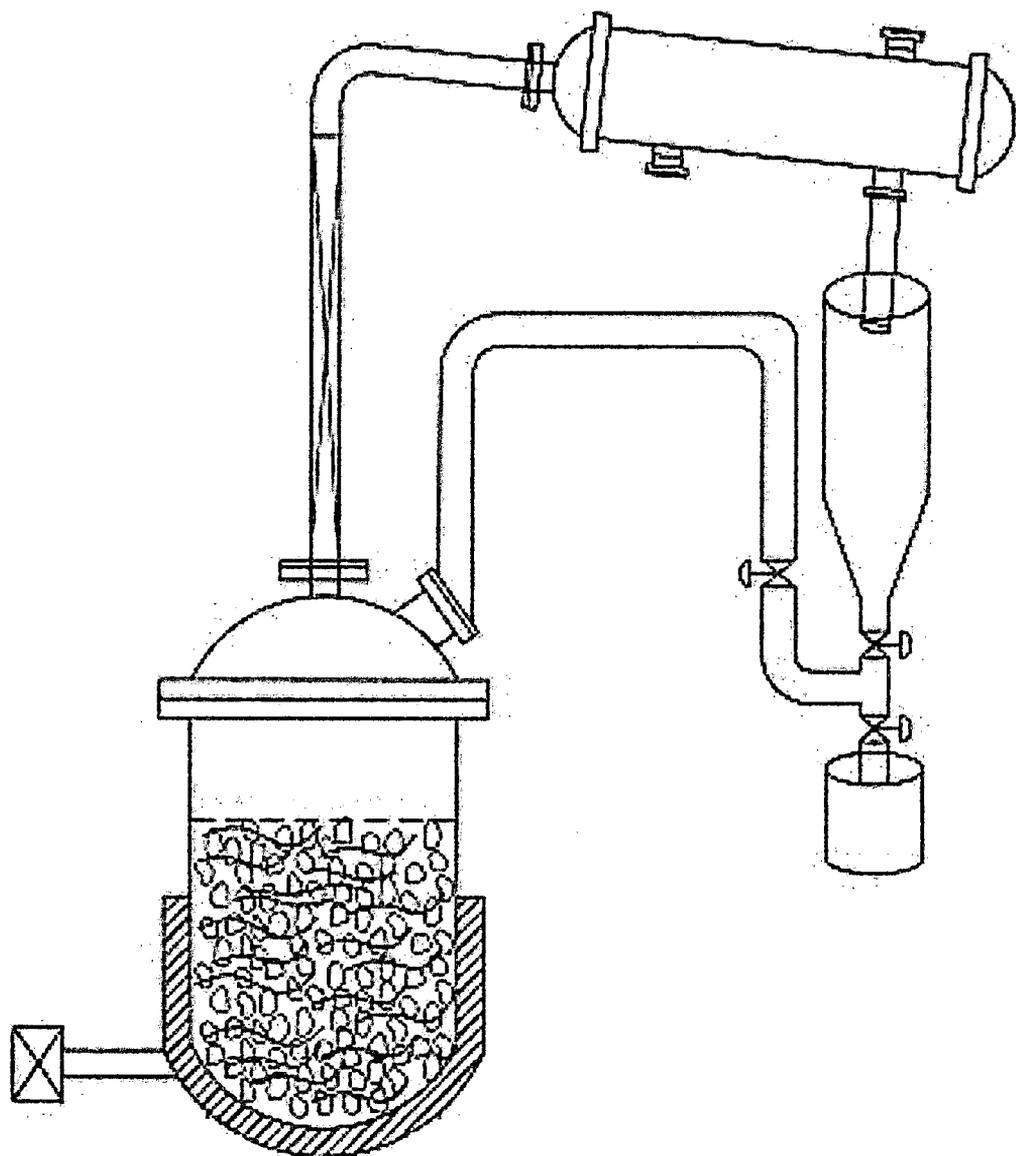
**FIGURA N° 3. EXTRACTOR SOXHLET**



**FIGURA N° 4. DESTILACIÓN DIRECTA POR  
ARRASTE CON VAPOR DE AGUA**



**FIGURA N° 5. HIDRODESTILACIÓN PROPIAMENTE DICHO**



**FIGURA N° 6. EXTRACTOR POR COHOBACIÓN**

## ANEXOS

FIG Nº 1. Operación con el Equipo Extractor Multifuncional

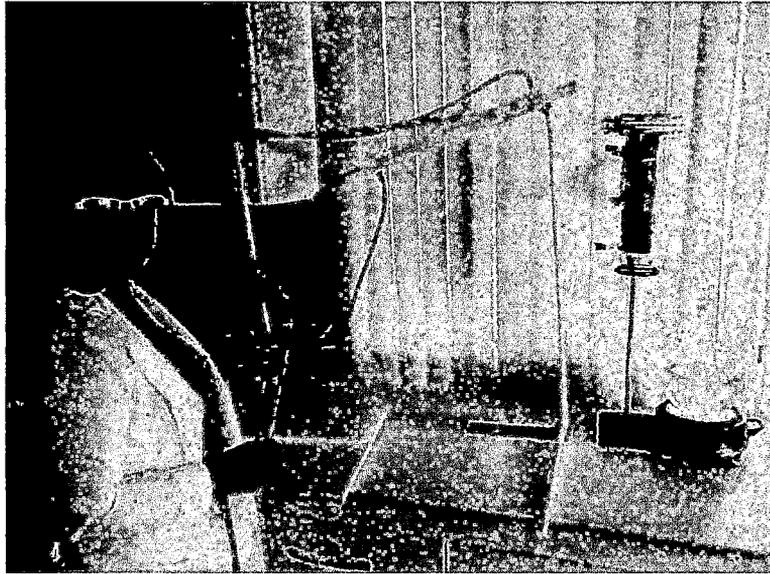


FIGURA Nº 2. Operación con el Equipo Extractor Multifuncional



FIGURA N° 3. Toma de muestra en la extracción soxhlet

