

# Universidad Nacional de Ingeniería

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA  
Y MANUFACTURERA



## “ Estudio Técnico de la Extracción de Aceite Esencial de Piper Aduncum L. “Matico” y Diseño de Planta Piloto ”

**T E S I S**

PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE:  
**INGENIERO QUIMICO**

**DIANA SHIMABUKURO YAMASHIRO**  
**EDELINA ROSA TORRES LOPEZ**

PROMOCION: 1989

**LIMA . PERU . 1992**

## I N D I C E

INTRODUCCION

RESUMEN

CONCLUSIONES

### 1. MATERIA PRIMA

#### 1.1. Características botánicas de la planta

1.1.1. Introducción

1.1.2. Ubicación Sistemática

1.1.3. Descripción Morfológica

#### 1.2. Usos tradicionales en medicina

#### 1.3. Habitat de la planta

#### 1.4. Composición química

### 2. PROCESOS DE OBTENCION DEL ACEITE ESENCIAL

#### 2.1. Aceites Esenciales

#### 2.2. Métodos tradicionales de obtención

2.2.1. Destilación

2.2.2. Extracción Mecánica

### 2.2.3. Extracción mediante solventes

## 2.3. Elección del método más apropiado

# 3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

## 3.1. Equipo experimental

### 3.1.1. Descripción del Equipo

### 3.1.2. Operación

## 3.2. Efecto del tamaño de hoja

## 3.3. Efecto de la Presión de Vapor

## 3.4. Determinación de Propiedades Físicas y Químicas del Aceite Esencial extraído

## 3.5. Separación e Identificación de Componentes Químicos

## 3.6. Análisis de Resultados

# 4. DISEÑO DE PLANTA PILOTO

## 4.1. Descripción del proceso de extracción en la planta piloto

## 4.2. Diseño de equipos

### 4.2.1. Caldero

### 4.2.2. Alambique o tanque de destilación

4.2.3. Condensador

4.2.4. Separador de Aceite o Decantador

4.2.5. Instrumentos de Control

4.3. Costo de la Planta Piloto

4.3.1. Costo de Equipos

4.3.2. Costo de Instalación

4.3.3. Costo de Instrumentación y Controles

4.3.4. Costo de Tuberías

4.3.5. Costo de Obras Civiles

4.3.6. Costo de Instalación de Servicios

APENDICE

GLOSARIO BOTANICO

BIBLIOGRAFIA

## I N T R O D U C C I O N

En los últimos años se viene notando un creciente interés a nivel mundial por el uso y estudio de las plantas medicinales.

La tendencia al consumo de productos naturales está desplazando al uso de productos sintéticos, lo que motiva el esfuerzo científico (botánicos, químicos, farmacólogos y farmacognistas) por precisar, clasificar, y analizar dichas plantas y sus diversas propiedades.

Existe una gran diversidad de plantas medicinales que despiertan el interés de los científicos; dentro de esta diversidad encontramos en América Latina y el Caribe el Piper Aduncum L. conocido en nuestro país como Matico Selvático, cuyas propiedades curativas lo han hecho muy popular en su uso tanto interno, para aliviar afecciones estomacales y bronquiales, como externo por sus propiedades cicatrizantes.

Aunque no existen estudios rigurosos que demuestren cuales son sus componentes activos, se sabe que su Aceite Esencial puede ser utilizado para aliviar afecciones bronquiales dando buenos resultados en su uso popular y tradicional.

El objetivo principal del presente trabajo es estudiar condiciones para la extracción del aceite esencial del *Piper Aduncum* L. evaluando la eficiencia del proceso y la calidad del producto. Además de contribuir al conocimiento de las propiedades de este aceite, aportando datos de interés a estudios posteriores.

## R E S U M E N

El presente trabajo es un estudio técnico-experimental de la extracción del Aceite Esencial del Piper Aduncum L., por lo cual se reportan los diversos parámetros medidos experimentalmente en las extracciones realizadas a nivel laboratorio y banco.

En el Capítulo 1 se desarrolla una descripción detallada de la Materia Prima, resumiéndose las características botánicas y la descripción morfológica del Piper Aduncum L. conocido comunmente como "Matico" y que pertenece a la familia de las Piperaceas. Esta planta medicinal usada tradicionalmente en la medicina popular peruana y de otras partes del mundo, crece en los bosques sub-tropicales de América, Asia y Oceanía. En el Perú la podemos encontrar en forma abundante y silvestre en la Ceja de Selva.

El Piper Aduncum L. utilizado en el presente estudio proviene de la zona de Pucallpa del bosque Alexander Von Humboldt.

Se hizo además una recopilación bibliográfica de los estudios químicos realizados de esta especie, en el país y en el extranjero.

En el Capítulo 2 se hace una descripción de los diferentes métodos tradicionales de extracción de

aceites esenciales: la destilación, la extracción mecánica y la extracción por solventes; sus formas de uso y características.

Para pre-seleccionar un tipo apropiado de extracción se recurrió a ensayos experimentales de extracción por solventes y destilación por arrastre de vapor. Al comparar los rendimientos y la apariencia del aceite esencial de cada método se observó que por medio de la destilación se extrae un aceite más claro y de mejor apariencia, entre los tipos de destilación el de mayor rendimiento es la destilación con vapor, del cual se obtuvo un rendimiento máximo del 1.06% en peso de aceite esencial a peso de matico, y una relación promedio de 8,9 ml de Aceite Esencial/Kg de Matico procesado con el equipo a nivel banco.

El Capítulo 3 detalla el procedimiento experimental de la destilación con vapor a nivel banco, donde se midieron los diferentes parámetros como trituración, presión de vapor, flujo de condensado, tiempo de operación, flujo y temperaturas del refrigerante. Manteniendo una carga constante de materia prima de 1 Kg, se midió la relación de cantidad de Aceite Esencial extraído por Kg de matico, observándose que la forma más conveniente de trabajar era con matico triturado y con un vapor de 20 Psi, alcanzando así una relación de 11,5 ml de aceite esencial por kg de matico.



Una vez extraído el Aceite Esencial de Matico se procedió a determinar sus propiedades físicas y químicas, siguiendo las Normas Técnicas del ITINTEC para Aceites Esenciales.

El alcance de este trabajo, no permite la caracterización de sus componentes activos, pero en cambio con la ayuda del método analítico de Cromatografía Gaseosa Capilar podemos comprobar la existencia de tres compuestos en proporciones tales como 23, 21 y 12 por ciento a tiempos de retención (RT) de 4,1 ; 6,6 y 6,9.

Finalmente en el capítulo 4 se realizó el diseño de la planta piloto que tendrá como finalidad proseguir los ensayos experimentales, para medir parámetros como flujo y presión de vapor, carga, tiempo de operación, caída de presión, flujo y temperaturas del refrigerante y observar el efecto de estos parámetros sobre el rendimiento del proceso y la calidad del producto, las propiedades físicas y químicas del aceite a diferentes condiciones de trabajo; que además dará la oportunidad de realizar extracciones de aceites esenciales de otras plantas. Además se estimó el capital de inversión, que fué de U. S. \$ 23 464,00.

## C O N C L U S I O N E S

- 1.- La cantidad máxima de Aceite Esencial extraído, a partir de 1 Kg de matico en el equipo de Destilación con Vapor Nivel Banco, fué de 10,6 gr.
- 2.- Para la extracción de 1 Kg de Aceite Esencial de Matico se requiere aproximadamente 400 Kg de vapor. Esto es debido probablemente al alto punto de ebullición de sus compuestos, lo cual permite que a la temperatura de operación (100°C) no sea tan volátil, desfavoreciendo así la relación (Peso de Aceite Esencial)/(Peso de vapor de agua).
- 3.- Considerando que la planta piloto diseñada tiene un costo de inversión significativo, se hace necesario una diversificación de la producción de Aceites Esenciales. Esta Planta puede ser utilizada para la extracción y estudio de otros Aceites Esenciales que en nuestro país todavía se encuentra incipiente.
- 4.- El método de Extracción más adecuado es la Destilación con Arrastre de Vapor Directo, que es el de mayor uso en la Industria y como se pudo comprobar experimentalmente, el que tiene mayor rendimiento y produce un Aceite más claro, limpio y de mejores propiedades organolépticas.

- 5.- Trabajar con las hojas finamente trituradas reduce el rendimiento en forma considerable porque se produce el apelmazamiento del material vegetal, formando canales por donde el vapor encuentra un camino más fácil, reduciendo de esta manera el área de transferencia para la difusión y del aceite desde las membranas de las hojas hacia el vapor.
- 6.- Por características propias del matico la extracción de su aceite esencial requería la utilización de una cantidad de vapor mayor a la que podía generar el calderín por cada carga (10 lt de agua por carga). Esto generó un problema operativo durante la Destilación, convirtiendo este proceso Batch en un proceso con interrupciones para cargar el calderín cada vez que se consumía el agua alimentada.
- 7.- Sólo se tuvo posibilidad de trabajar con presiones de vapor de 0 a 30 psi, lo ideal hubiese sido contar con un equipo que trabajara a mayores presiones, para poder hacer un estudio más completo.
- 8.- Por bibliografía se sabe que los aceites esenciales tienen una alta sensibilidad térmica que se ve manifestada de dos maneras: en el cambio de las propiedades organolépticas y en la pérdida de los componentes más volátiles (que dependiendo del

- aceite esencial puede ser muchas veces una ventaja). En el caso del matico debe conservarse todos sus componentes para llevarlo luego a un estudio detallado de sus componentes químicos.
- 9.- Se sugiere colocar las ramas junto con las hojas trituradas para evitar la formación de grumos que pueda presentarse a pesar de no estar finamente triturada, y así aumentar el área de transferencia para la difusión del aceite esencial de las hojas hacia el vapor.
- 10.- El Aceite Esencial de Matico puede ser usado como insumo para la preparación de jarabes, ungüentos y cremas utilizados en tratamientos bronquiales.
- 11.- El presente trabajo propone la utilización de la planta de fuerza del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química y Manufacturera, así como un área dentro de éste laboratorio para la ubicación de la planta piloto. La Caldera cumple con los requerimientos de vapor y la Planta Piloto sería una unidad del Proyecto del Complejo Piloto que está propuesto instalar en la Facultad.

## 1. MATERIA PRIMA

### 1.1. Características Botánicas de la Planta

#### 1.1.1. Introducción

Las especies del género Piper de la familia Piperacea son plantas herbáceas, suculentas, pequeñas, estigmáticas generalmente epífitas que se diferencian de los demás géneros en que tienen espigas globosas con pedúnculo colateral y sus órganos vegetativos poseen células llenas de aceite esencial que produce el sabor acre o aromático de sus especies. (16)

Se han descrito alrededor de 1400 especies dentro de las piperáceas, gran parte de las cuales son nativas de la región amazónica ya que la ceja de montaña es excepcionalmente rica en Piperaceae. Con los estudios realizados en los últimos años, se han encontrado dentro del género Piper hasta casi un total de 800 especies, que es más del cincuenta por ciento del total de la familia. Los nativos de la selva peruana llaman cordoncillo a diversas especies del Piper refiriéndose a la forma de la espiga. (6)

### 1.1.2. Ubicación Sistemática

División : Fanerógamae  
Subdivisión: Angiospermae  
Clase : Dicotiledoneae  
Orden : Piperales  
Familia : Piperaceae  
Género : Piper  
Especie : Piper Aduncum L.  
Sinonimia o nombre vulgar: Matico, hierba  
del soldado, cordoncillo,  
moco-moco.

### 1.1.3. Descripción Morfológica

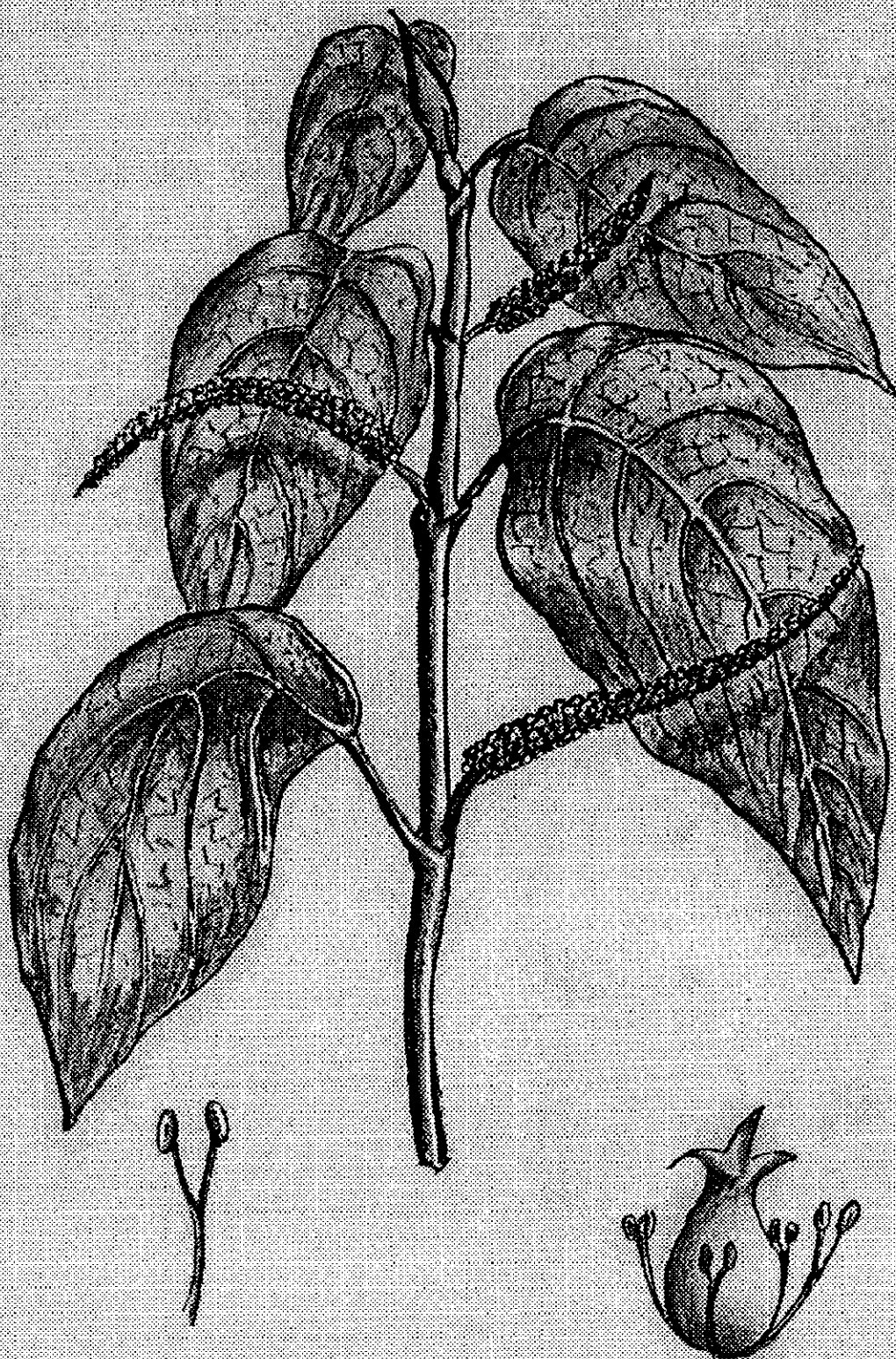
El Conocimiento o Descripción morfológica es el retrato hablado de la planta mediante una terminología botánica que detalla su apariencia física y propiedades organolépticas (forma, color, sabor, olor).

El Cuadro 1 resume esta descripción y se puede observar la especie Piper Aduncum L. en la Figura 1. (15)

CUADRO 1

DESCRIPCION MORFOLOGICA

<b>Planta</b>	: Arbustiva, perenne, alcanza cinco a seis metros de altura.
<b>Tallo</b>	: Cilíndrico, leñoso, ramificado, con nudos muy pronunciados.
<b>Hojas</b>	: Simples, alternas, aovadas, cortamente pecioladas, peninerveas (nervaduras muy pronunciadas), enteras, ápice agudo, base asimétrica. Con los pelos tectores y pelos glandulosos con redoma esférico desarrollado, brillante y transparente. Con olor sui-géneris.
<b>Inflorescencias:</b>	Espigas amentaceas.
<b>Flores</b>	: Hermafroditas, aclamídeas, agrupadas en densas espigas (amentos), acompañadas de brácteas filamentosas blanquesinas.
<b>Envolturas Florales:</b>	Ausentes.
<b>Androceo:</b>	Trémero. Constituído por tres estambres ubicados en forma triangular con respecto al ovario. Anteras ditécicas, globosas, basifijas, de dehiscencia longitudinal. Filamento desarrollado, carnoso y blanquesino.
<b>Gineceo</b>	: Completo, ovario súpero, tricarpelar, unilocular, uniovular. Ovulos ortótropos de placentación basal. Estilo corto. Estigma formado por tres ramas estigmáticas blanquesinas y gruesas.
<b>Fruto</b>	: Es una drupa.



PIPER ADUNCUM L. "MATICO"

FIGURA 1



## 1.2. Usos tradicionales en medicina

En la medicina popular peruana y de otras partes de América Latina, Asia y Oceanía se utilizan muchas de las especies Piper por sus propiedades terapéuticas curativas. En el Cuadro 2 se resume los usos más importantes en los diferentes países y en el Cuadro 3 el uso de las diferentes partes de la planta. (2) y (11)

CUADRO 2

USO DEL MATICO EN DIFERENTES PAISES

País	Propiedades Medicinales	Forma de Uso
Guatemala y México	Astringente, estimulante y potente diurético.	Infusión
Cuba	Diurético y hemostático. Remedio para hemorroides, gonorrea, leucoma, cistitis, hemoptisis, y hemorragias menstruales.	Infusión
Islas Virgenes	Sedativo, laxante y diurético.	Tisana o Cocción Bebida Fría
Centro América y Brasil	Antidiarréico, en casos de disentería. Comúnmente usado en casos de prolapso del útero.	Infusión
Colombia y Perú	Desinfectante y desinflamante.	Tisana o Cocción
Norte América y Europa	Antihemorrágico y usado para el tratamiento de enfermedades venéreas.	Infusión o Cocción

CUADRO 3

USOS DE LAS DIFERENTES PARTES DE LA PLANTA

Parte de la Planta	Propiedad	Uso
Fruto	Estimulante y diurético (resolutivo)	Ingestión del fruto.
Semilla	Cicatrizante	Baños con la coción de la semilla
Raíz o cáscara	Elimina el mal aliento	Masticación
Hojas	Caída del Utero	Baños lentos con la coción de las hojas
	<p>Combate todo tipo de hemorragias, (menstruales internas o externas)</p> <p>Cura la hemorroides, Gonorrea, leucorrea, cistitis</p> <p>Cura diarrea y disentería</p> <p>Cura las úlceras estomacales o intestinales sangrantes</p> <p>Cura infecciones intestinales</p> <p>Cura afecciones bronquiales</p> <p>Desinfectante, astringente de la piel lacerada y quemaduras</p> <p>Combate las molestias del hígado</p> <p>Antiblenorrágico</p>	Infusión o tisana de las hojas

### 1.3. Habitat de la planta

El Piper Aduncum crece en los climas húmedos, templados y cálidos de las zonas subtropicales de América, China, Oceanía e India.

En América podemos encontrarlo desde el Sur de México hasta el Perú y Brasil, también en Cuba, Jamaica, Puerto Rico, Granada, Barbados y Trinidad y Tobago.

En nuestro país lo encontramos originalmente en la parte del monte ribereño de la Selva en zonas cuyo clima es templado y cálido, pero algunas de las especies Piper han sido muy bien adaptadas al clima de la Costa y la Sierra.

El Piper Aduncum L. utilizado para el presente trabajo fue suministrado de la Estación Experimental Forestal y Agropecuaria Pucallpa, Sub-estación VON HUMBOLDT, ubicada en la zona de Pucallpa, a una elevación de 200 m.s.n.m. Por el borde Este aproximadamente a 60 Km. de Pucallpa, hay una altura de 300 m.s.n.m., y en plantaciones Yurac a 490 Km. al Oeste del límite del Bosque, 429 m.s.n.m., el terreno asciende gradualmente alrededor de 220 m. en 200 Km. en esta región. Se estima que las colinas más altas en el Bosque Von Humboldt no pasan de los 400-600 m.s.n.m. (12)



La Figura 2 muestra el mapa de la ubicación geográfica del Bosque Nacional Alexander Von Humboldt.

#### 1.4. Composición química:

En algunas especies Piper se han encontrado una serie de compuestos tales como:

Dillapiol  
 Piperitona  
 Principio similar al Acido Artántico  
 Persley apiol  
 2,3-dihidroxi-4-metoxidihidrochalcona  
 Flavonoides  
 b-sitosferol  
 Azarona  
 Safrol, y  
 Miristicina.

Respecto al Piper Aduncum L. no hay estudios completos de sus constituyentes químicos, pero según Smith y Kassim (18) que estudiaron esta especie en Australia y según Burke y Nair (3) en Centro América, se sabe que los siguientes compuestos son constituyentes de esta especie:

Dillapiol,  
 Piperitona,  
 Pseudo-dillapiol, y

## Dihidrochalcona.

En nuestro país según Burgos y Gibaja (2) en un trabajo presentado en el VII Congreso Internacional de Ingeniería Química (Junio 1987) llegaron a aislar un componente principal del aceite esencial, el 5-metoxi-6(2'-propenil) benzodioxol.

Como referencia podemos mencionar la composición química de un cocimiento del Piper Angustifolium R. y P., resumido en el Cuadro 4, que es un medicamento oficial peruano que ya ha sido ampliamente estudiado y también es conocido como Matico.(15)

## CUADRO 4

## COMPOSICION QUIMICA DEL PIPER ANGUSTIFOLIUM R. y P.

PIPER AUGUSTFOLIUM R. y P.		
1. Taninos	5	%
2. Aceites Esenciales	2.7	%
- Hidrocarburos terpénicos		
- Alcoholes terpénicos		
- Apiol		
- Eucaliptol		
3. Maticina	1.3	%
4. Otros como sales minerales, resinas, ácidos orgánicos		

## 2. PROCESOS DE OBTENCION DEL ACEITE ESENCIAL

### 2.1. Aceites Esenciales.

Los aceites esenciales, aceites etéreos, aceites volátiles o esencias vegetales son mezclas de un número variable de sustancias orgánicas olorosas. (5)

Químicamente están formados por la mayoría de los monoterpenos, algunos sesquiterpenos y compuestos aromáticos. Los monoterpenos y los sesquiterpenos son biosintetizados a partir de los pirofosfatos de geranilo y de farnesilo respectivamente; las reacciones de ciclación, oxidación y otras pueden originar diferentes estructuras; por lo que podemos encontrar en ellos hidrocarburos alicíclicos y aromáticos; como por ejemplo alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres, etcétera ó sustancias azufradas y nitrogenadas.

Las propiedades fisicoquímicas de los aceites esenciales son muy diversas, puesto que el grupo engloba sustancias muy heterogéneas, de las que en la esencia de una planta prácticamente puede encontrarse uno o más de treinta compuestos. (10)



Los aceites esenciales son empleados en perfumería, en la industria alimenticia o como fuente de materias primas. Por lo general, en la industria son obtenidas por destilación con arrastre de vapor (hidrodestilación).

El papel biológico desempeñado por las esencias en los vegetales ha sido muy cuestionado, pero según algunos, las esencias intervienen como hormonas en la polinización, sirven de atrayentes de insectos poleníferos, regulan la transpiración o son productos de desecho metabólico. Las esencias se producen en glándulas especiales formadas por células secretoras arregladas para formar una bolsa donde se acumula el aceite esencial. Respecto a su distribución dentro de la planta, un aceite esencial puede localizarse en un determinado órgano vegetal, flores, hojas, frutos, raíces o en toda la planta. Según Charabot (4) los compuestos olorosos aparecen primero en los órganos jóvenes y verdes de las plantas y continúan formándose y acumulándose hasta la época de la floración; desde donde su formación disminuye. Por difusión pasan de las hojas a los tallos y las inflorescencias. Una parte penetra a los tejidos, donde llega a depositarse. Cuando tiene lugar la fecundación, una cantidad de aceite esencial se consume en la inflorescencia o se

pierde por evaporación. Es probable que los órganos verdes continúen produciendo compuestos olorosos, pero como los experimentos demuestran que durante la fecundación se pierde aceite esencial, el mejor rendimiento se obtiene antes de la fecundación. Después la esencia aumenta de nuevo en las partes verdes de la planta.

El rendimiento de las esencias obtenidas de una planta varía de unas cuantas milésimas por ciento del peso vegetal hasta uno a tres por ciento. Su composición puede cambiar con la época de la recolección, el lugar geográfico, pequeños cambios genéticos o de la parte de la planta de la que se extrae (hojas, corteza, raíz, flores, frutos, etc.).

## 2.2. Métodos tradicionales de obtención

Los métodos puestos en práctica para obtener esencias, pueden dividirse en tres grupos (4):

- Destilación
- Extracción mecánica
- Extracción por solventes

### 2.2.1. Destilación:

Es el método más empleado en la producción de esencias o aceites esenciales. (7)

Este proceso se basa en el hecho que el aceite esencial se volatiliza fácilmente con el vapor acuoso, básicamente el vapor penetra los tejidos de la planta y vaporiza los compuestos volátiles, pero esto no explica completamente el proceso por el cual el vapor extrae los aceites esenciales de la planta, por lo que debe tenerse en cuenta además los procesos fisicoquímicos como la difusión del aceite esencial y agua caliente a través de las membranas de la planta, es decir, la hidrodifusión, la hidrólisis de ciertos compuestos de los aceites esenciales y la descomposición ocasionada por el calor.

La industria de aceites esenciales ha desarrollado una terminología que distingue tres tipos de hidrodestilación:

- Destilación con agua
- Destilación con agua y vapor
- Destilación con vapor directo

En el Cuadro 5 se resumen las características operativas de cada uno de los tipos.

## CUADRO 5

### TIPOS DE DESTILACION

**Destilación con agua :** La característica principal de este método es el contacto directo entre el material vegetal y el agua hirviendo, éste puede flotar o estar completamente sumergido, dependiendo de su gravedad específica y de la cantidad de materia por carga. Algunos materiales deben destilarse completamente sumergidos y moviéndose libremente en el agua hirviendo, porque de otro modo forma grandes grumos por donde el vapor no puede penetrar. El agua hierve ya sea por fuego directo, chaqueta de vapor, serpentín cerrado o perforado de vapor. El vapor con el aceite esencial salen por el tope del alambique y van a un condensador de donde sale una mezcla líquida de aceite esencial y solución acuosa y luego se separan en un decantador.

Continúa....

## Continuación

**Destilación con agua :** La materia vegetal descansa sobre una malla o canastilla colocada a cierta distancia del fondo del alambique. La parte inferior del tanque es relleno con agua, a un nivel algo menor que la malla. El agua se calienta por cualquier método ya mencionado. El vapor saturado y mojado de baja presión se eleva a través de la materia vegetal. El vapor está siempre completamente saturado y nunca sobrecalentado, y la materia vegetal está en contacto con el vapor solamente y no con el agua hirviendo. .

**Destilación con vapor :** Es similar al anterior excepto que nada de agua se mantiene en el fondo del alambique. El vapor vivo, saturado o sobrecalentado, y generalmente a presiones mayores que la atmosférica, es introducido a través de un serpentín perforado bajo la carga, y asciende a través de la carga que es sostenida por la canastilla. (7). .

### 2.2.2. Extracción Mecánica

Este método se emplea para extraer los aceites esenciales de la corteza del fruto. La extracción ya sea manual o mecánica se realiza produciendo presión sobre las glándulas de esencia para que se rompan y sea liberada. (4)

Aquí se distinguen tres formas de extracción:

- El método de la esponja
- El método de la escudilla
- El método de la scorzetta

Una explicación de estos métodos se encuentra en el Apéndice 1.

### 2.2.3. Extracción mediante solventes.

Este método de extracción se emplea prácticamente para las esencias de flores delicadas que por la destilación se descomponen en parte, como son la de jazmín y de polianthes tuberosa. Se usan tres clases de métodos de acuerdo al tipo de solvente a utilizar:

- Solvente volátil
- Aceite no volátil o grasa
- Corriente de aire húmedo

Una explicación de estos métodos se encuentran en el Apéndice 2.

### 2.3. Elección del método más apropiado

De los métodos de extracción mencionados se ha descartado la extracción mecánica debido al tipo de material que se desea procesar (hojas secas), ya que este tipo de extracción es más apropiado para frutos y semillas.

A fin de realizar una pre-selección apropiada del Método de Extracción a utilizar se ha recurrido a pruebas experimentales a nivel laboratorio de los otros dos métodos.

Estos resultados se muestran en el Cuadro 8. De aquí se concluye que la extracción por solvente no es conveniente a pesar de su aparente alto rendimiento de aceite esencial, debido principalmente a la presencia de compuestos extraños que le da un aspecto resinoso. En cambio el aceite extraído por destilación tiene las características requeridas, siendo de los tres

tipos de destilación conocidos, la extracción por arrastre con vapor, el de mayor rendimiento, por cuya razón se escogió este método como el más apropiado a ejecutar.

En el Apéndice 3 se encuentra la descripción de los equipos utilizados en estas pruebas.



**CUADRO 6**  
**Obtención de Aceite Esencial de Matico**  
**A Nivel de Laboratorio**

METODO	RENDIMIENTO (%) Peso Aceite/ Peso Matico	APARIENCIA
<b>EXTRACCION</b>		
Solvente: HEXANO Equipo : Soxhlet Ratio : 23 : 1 (ml solv:gr matico)	1.89	Solución resinosa oscura
Solvente: Alcohol Equipo : Soxhlet Ratio : 23 : 1 (ml solv:gr matico)	15.06 (*)	Solución resinosa verde oscuro
<b>DESTILACION</b>		
Destilación con agua	0.54	Aceite amarillo claro cristalino
Destilación con agua y vapor	0.74	Aceite amarillo claro cristalino
Destilación con vapor	1.04	Aceite amarillo claro cristalino

(\*) Este alto rendimiento es sólo aparente, ya que muchos de los compuestos del Piper Aduncum L. son solubles en Alcohol los que quedan después de la evaporación del solvente.

### **3.- PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.-**

Una vez elegida la destilación con vapor como el método más conveniente para la Extracción del Aceite Esencial de Matico, el siguiente paso es estudiar los parámetros de operación de este tipo de extracción; para ello se hace un estudio experimental de la influencia del tamaño de la hoja y la temperatura del vapor de inyección sobre el rendimiento.

#### **3.1.- Equipo Experimental**

Para el estudio y medición de los parámetros de operación en la destilación con vapor directo se trabajó con un equipo a nivel piloto que tiene una capacidad promedio de 1 Kg. de Materia Prima, que se encuentra en el Laboratorio de Procesos Químicos Nro. 23-A de la Facultad de Ingeniería Química y Manufacturera.

##### **3.1.1.- Descripción del Equipo.-**

El equipo usado consta de un pequeño calderín de 10 lt de capacidad, con 6 resistencias de 1000 watts cada uno. Con una presión máxima de trabajo de 30 Psi.

El calderín va conectado a un tanque de destilación de acero inoxidable de aproximadamente 45 litros de capacidad, con un serpentín ubicado en la parte inferior del tanque por donde se inyecta el vapor, una rejilla que soporta el material vegetal, un termómetro en los topes y un tubo en U invertido de 5 cm de diámetro que conecta el tope del tanque de destilación con el condensador.

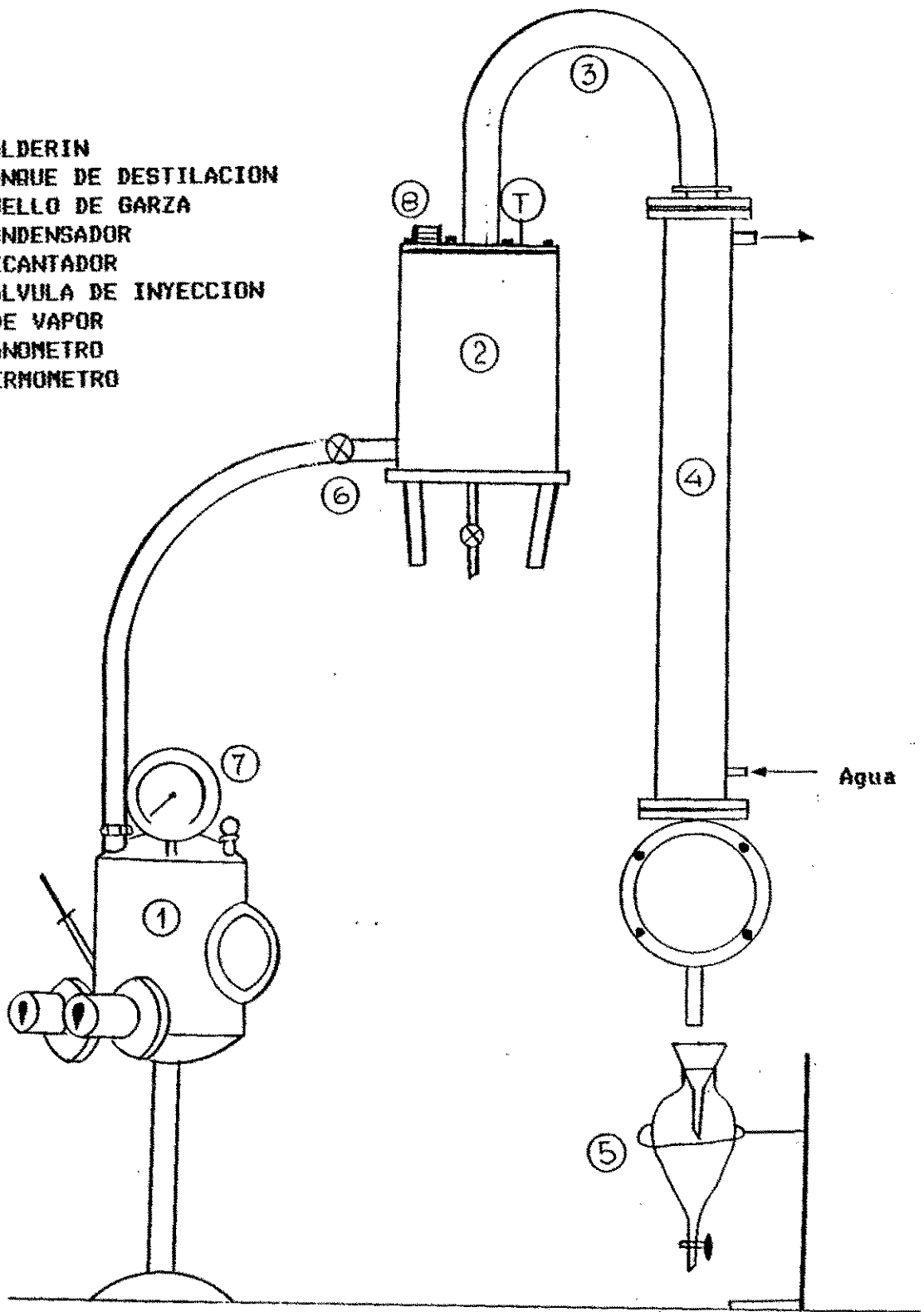
El condensador vertical de coraza y tubos tiene 1,00 m de altura, contiene 12 tubos de 3/4" de diámetro.

El condensado se recibe en una pera de decantación colocada inmediatamente después del condensador donde se va acumulando el Aceite Esencial. La Figura 3 ilustra este equipo.

### 3.1.2.- Operación

La preparación de la materia prima es la etapa previa a la destilación que consiste en la

1. CALDERIN
2. TANQUE DE DESTILACION
3. CUELLO DE GARZA
4. CONDENSADOR
5. DECANTADOR
6. VALVULA DE INYECCION DE VAPOR
7. MANOMETRO
8. TERMOMETRO



EQUIPO PILOTO PARA  
DESTILACION CON VAPOR

Figura 3

limpieza y selección de los hojas de matico para eliminar materia extraña. En caso de que la prueba lo requiera se tritura la hoja en forma manual y se pesa y mide la densidad aparente.

Se cargan las hojas al alambique, una vez colocada la carga se procede a inyectar el vapor a una determinada presión al tanque de destilación. Los primeros minutos de inyección servirán para calentar el alambique y la materia prima hasta llevarlo a la temperatura de destilación (99C<sup>o</sup>).

La destilación comienza desde el momento que cae la primera gota de condensado a la pera. A partir de allí se hacen las mediciones de flujo y temperatura de condensado, flujo y temperatura del refrigerante, tiempo de operación y rendimiento de Aceite Esencial.

El rendimiento se calcula midiendo el peso de aceite esencial obtenido con respecto al peso inicial de matico cargado al alambique.

$$\% \text{ Rend.} = \frac{\text{Peso de Aceite extraído}}{\text{Peso inicial de matico}} \times 100$$

Estos resultados pueden observarse en el Apendice 4.

### 3.2.- Efecto del tamaño de hoja.-

Los tamaños de hoja escogidos para la extracción fueron de tres tipos:

- Entero (mayor de 2,5 cm)
- Triturado (de 1 a 2,5 cm)
- Fino (menor de 1 cm)

El Cuadro 7 muestra la medida de la densidad aparente de las hojas de matico de acuerdo al grado de trituración.

## CUADRO 7

## TAMAÑO DE HOJA Vs. DENSIDAD APARENTE

Grado de Trituración	Tamaño de hoja	Densidad Aparente (gr/cc)
Entero	mayor de 2.5 cm	0.049
Triturado	de 1 a 2.5 cm	0.064
Fino	menor de 1 cm	0.107

Cuando se trabajó con las hojas trituradas y finamente trituradas se tuvo cuidado de realizar esta operación momentos previos a la destilación, puesto que se sabe que con la trituración el aceite esencial se evapora parcialmente presentando dos efectos adversos: primero que el total del aceite esencial se reduce y segundo la composición del aceite esencial cambia afectando principalmente su olor, debido a la evaporación de los componentes más volátiles. (7)

Estas pruebas de la influencia del grado de trituración sobre el rendimiento se realizaron bajo las mismas condiciones de Presión de vapor (15 Psi), y a partir de una carga de 1 Kg de materia prima del mismo lote.

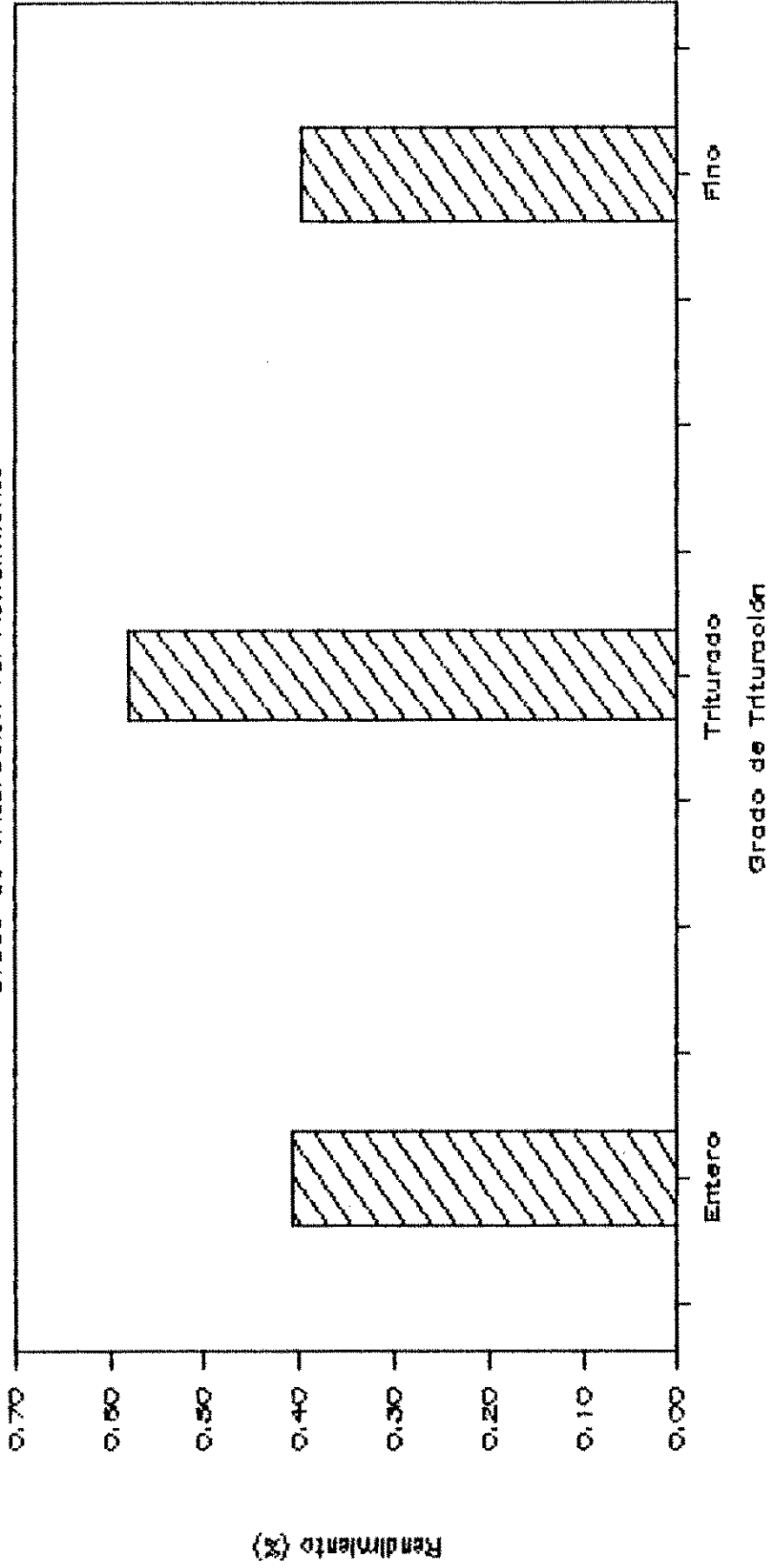
El Cuadro 8 y el Gráfico 1 muestran que el material triturado presentó un mayor rendimiento de aceite esencial, esto se explica del hecho que al triturar el material vegetal se ayudó a romper una cantidad de glándulas que contienen el aceite esencial a la vez que se aumentó el área de contacto por donde pasa el vapor; pero se observa también que un mayor grado de trituración en lugar de favorecer el proceso de extracción disminuye el rendimiento debido que el vapor no entra en contacto totalmente con la Materia Prima, por el apelmazamiento de ésta.

Para la obtención del Cuadro 7 y 8 se realizaron extracciones con un mismo lote de hojas y todas con un vapor de 15 Psi de presión para poder comparar equitativamente los rendimientos del Aceite Esencial de acuerdo a su grado de trituración.



# GRAFICO 1

Grado de Trituración vs. Rendimiento



**CUADRO 8**  
**GRADO DE TRITURACION Vs. RENDIMIENTO**

GRADO DE TRITURACION	RENDIMIENTO (%)
Entero	0.4081
Triturado	0.5797
Fino	0.3988

### 3.3.- Efecto de la Presion de Vapor.-

Para poder observar la variación del rendimiento del aceite esencial con respecto a la presión de vapor de inyección, se trabajó a diferentes presiones de vapor, utilizando vapor saturado. Al trabajar con vapor saturado se mide la temperatura a la vez que la presión del vapor. Todas estas pruebas se realizaron trabajando con cargas de 1 Kg de matico provenientes de un mismo lote para poder observar en la forma más real la influencia de la Presión.

Se varió las presiones de vapor dentro de un rango de 0 a 30 psi. En este caso se ve que a 30 psi disminuye el rendimiento del aceite esencial, debido a la sensibilidad térmica del aceite (1), ya que a esta presión comienza la descomposición de algunos de los constituyentes del aceite.

Los resultados obtenidos se dan en el Cuadro 9, y con estos valores se elabora el Gráfico 2, de Presión vs. Rendimiento, del cual se tiene que la presión más favorable de trabajo con el equipo utilizado es 20 Psi.

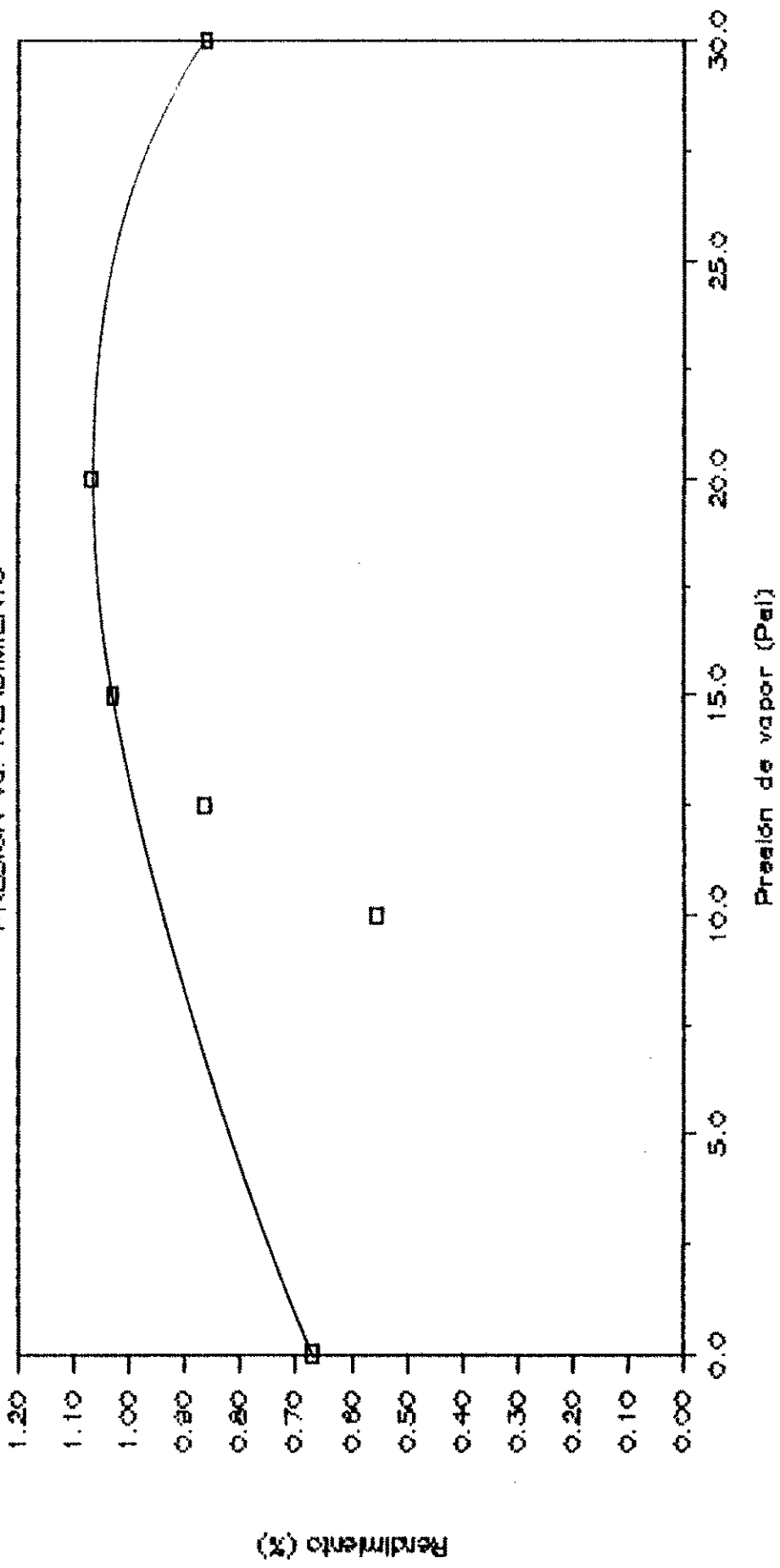
CUADRO 9

## Efecto de la Presión sobre el Rendimiento

Presión (Psi)	Rendimiento (%)
0.00	0.6724
10.00	0.5564
12.50	0.8656
15.00	1.0294
20.00	1.0665
30.00	0.8625

Para estas mediciones se trabajó con un mismo lote de hojas trituradas. Se midieron las cantidades de vapor necesarios para la extracción, estos datos fueron resumidos en el Apendice 4, donde encontramos los ratios de masa de vapor a masa de matico.

GRAFICO 2  
PRESION vs. RENDIMIENTO



3.4.- Determinación de propiedades físicas y químicas del aceite esencial extraído.-

Para determinar las propiedades físicas y químicas del aceite esencial obtenido nos basamos en las normas técnicas del ITINTEC para aceites esenciales:(14)

Indice de Refracción:	ITINTEC 319.075
Rotación Optica:	ITINTEC 319.076
Densidad y densidad relativa:	ITINTEC 319.081
Solubilidad en Etanol	ITINTEC 319.084
Indice de Acidez	ITINTEC 319.085
Número de Ester	(*)

(\*) Método para aceites esenciales de composición desconocida (5)

Los valores de estas propiedades físicas se muestran en el Cuadro 10, estas determinaciones se hicieron con una mezcla de todos los aceites obtenidos. Esta mezcla tuvo una previa preparación para análisis siguiendo la Norma ITINTEC 319.077.

Un breve resumen de estas normas se encuentra en el Apéndice 5.

CUADRO 10

PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL  
ACEITE ESENCIAL DE MATICO

PROPIEDAD	MEDICION EXPERIMENTAL
PROPIEDADES FISICAS	
Indice de Refracción	$n_{20}^d = 1,4873$
Poder Rotatorio Específico	$[\alpha]_{20}^d = - 104^\circ$
Desviación Polarimétrica:	$\alpha_{20}^d = - 68^\circ$
Densidad	0,9274 gr/cc
PROPIEDADES QUIMICAS	
Solubilidad en Etanol	6 Volúmenes de Alcohol al 80 %
Indice de Acidez	I.A. = 9,5
Número de Ester	N.E. = 163,438

### 3.5.- Separación e identificación de los componentes químicos.-

La técnica más usual para un análisis cualitativo y cuantitativo de los Aceites Esenciales es la cromatografía gas-líquido. En el caso de un aceite esencial de composición química conocida podría ser suficiente una cromatografía de gases, en otro caso sería indispensable una cromatografía de gas con espectrometría de masas para determinar cada uno de los componentes o realizar la separación por cromatografía de columna o cromatografía de capa delgada y cada uno de ellos analizarlos por espectroscopía UV, RMN y EM. En ambos casos la prueba concluyente la da un espectro de masas.

(10)

Estos métodos de análisis requieren de un trabajo de investigación detallado y de algunos equipos e instrumentos muy sofisticados, puesto que en nuestro país aún no se cuenta con un espectrómetro de masas, se vio frustrada la posibilidad de dar a conocer los compuestos principales del aceite esencial de Matico. Para análisis de compuestos desconocidos, como es el caso, se cuenta con una técnica alternativa desarrollada en los últimos años



que usa los Índices de Retención obtenidos por Cromatografía Gaseosa Capilar y operado con cromatógrafos de gas muy específicos. (14), (19)

En el apéndice 9 se da una breve explicación acerca de la Librería de Índices de Retención en Cromatógrafo de Gas.

Para el análisis del Aceite Esencial extraído del equipo piloto se utilizó la técnica de Cromatografía Gaseosa, este análisis fue realizado en el Departamento de Química de la Pontificia Universidad Católica del Perú. La Figura 4 muestra el Cromatograma del Aceite Esencial de matico extraído, observamos la presencia de 3 compuestos principales en proporción de 23, 21, y 12 por ciento, con tiempos de retención de 4,1, 6,7 y 6,9 respectivamente, además de otros compuestos en menores proporciones.

Se desea indicar que a pesar del esfuerzo que se puso para identificar los compuestos principales de este aceite esencial, fue el elevado costo de un espectro de masas el que determinó que no se llegara a dar los nombres de estos tres compuestos principales.

## 3.6.- Análisis de Resultados.-

El mayor rendimiento de aceite esencial de matico se obtuvo trabajando bajo las condiciones que se indican en el Cuadro 11:

CUADRO 11

CONDICIONES DE OPERACION PARA LA EXTRACCION  
DE ACEITE ESENCIAL DE MATICO

Tamaño de hojas:	Trituradas
Presión de vapor saturado:	20 psi
Porcentaje de Rendimiento en peso:	1.07%
Apariencia del Producto obtenido	: Amarillo claro, cristalino, con olor alcanforado, líquido a temperatura ambiente, ligeramente viscoso.

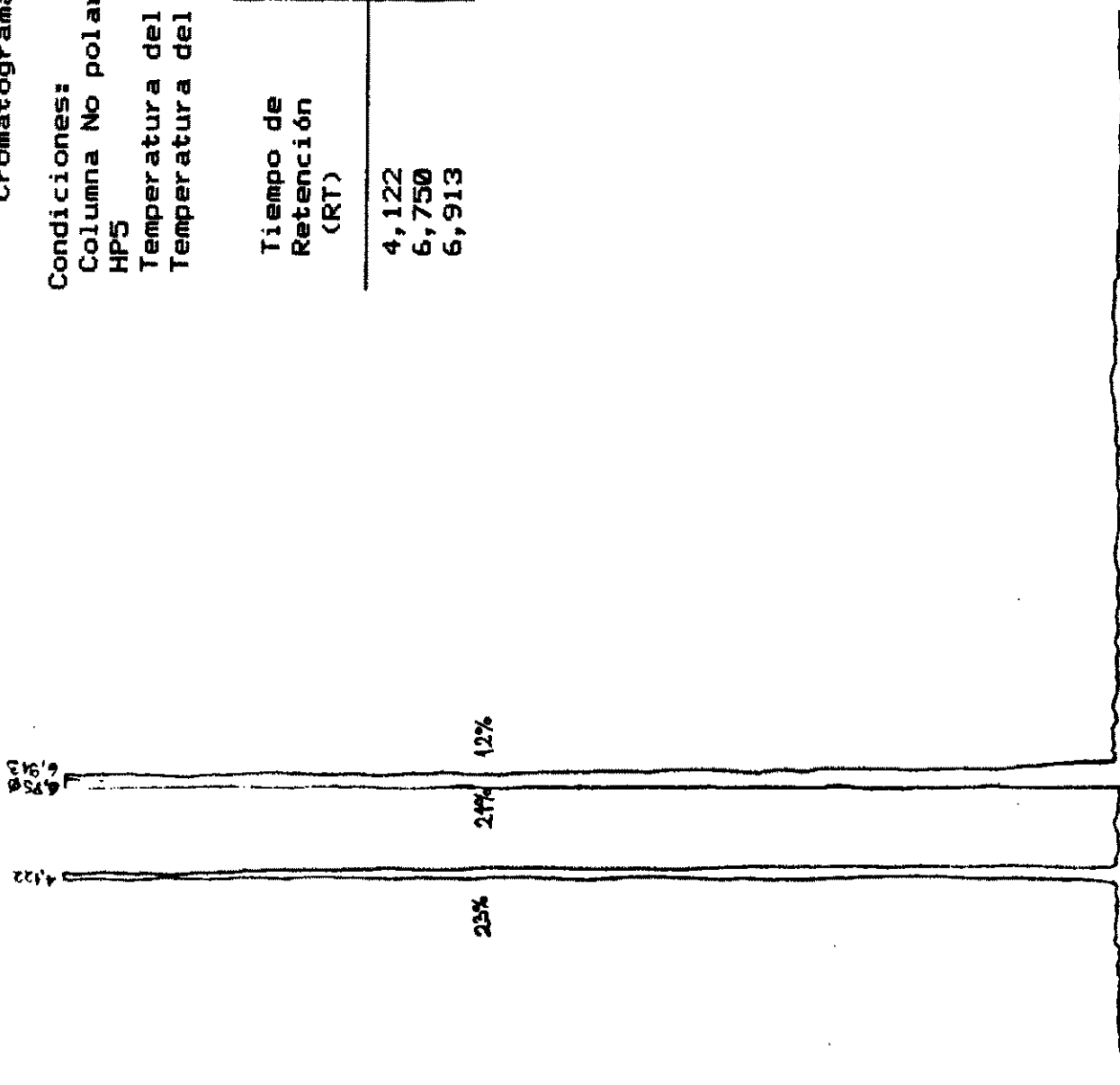
Cromatograma de Gas

Condiciones:

Columna No polar  
HP5

Temperatura del detector = 250 °C

Temperatura del inyector = 250 °C



Tiempo de Retención (RT)	Area (%)
4,122	23,46
6,750	21,00
6,913	12,49

FIGURA 4

#### 4.- DISEÑO DE PLANTA PILOTO.-

El objetivo de instalar esta Planta Piloto es continuar con ensayos de este tipo y poder medir los valores de Presión de Vapor, Caída de Presión, Tiempo Optimo de Proceso, así como otros parámetros importantes; por otro lado, se desea estimular el estudio de la extracción de otros aceites esenciales, para tomarlo como base en estudios de prefactibilidad mediante un escalamiento a nivel industrial.

Considerando que el Laboratorio de Operaciones Unitarias Nro. 23 de la Facultad de Ingeniería Química y Manufacturera cuenta con una planta de fuerza que cumple con los requerimientos de vapor de esta planta piloto y contándose con un ambiente adecuado, se recomienda ubicar la Planta Piloto para la Extracción de Aceite Esencial de Matico en un área perteneciente a este laboratorio.

Este ambiente está ubicado al costado del área de la caldera del Laboratorio de Operaciones Unitarias y cuenta con una superficie libre de aproximadamente 22 m<sup>2</sup> y una altura de 5 m. En la Figura 5 se muestra el esquema de ubicación donde se propone instalar la planta piloto de Aceite Esencial de Matico y la Figura 6 muestra la distribución de los equipos.

UBICACION DE  
PLANTA PILOTO

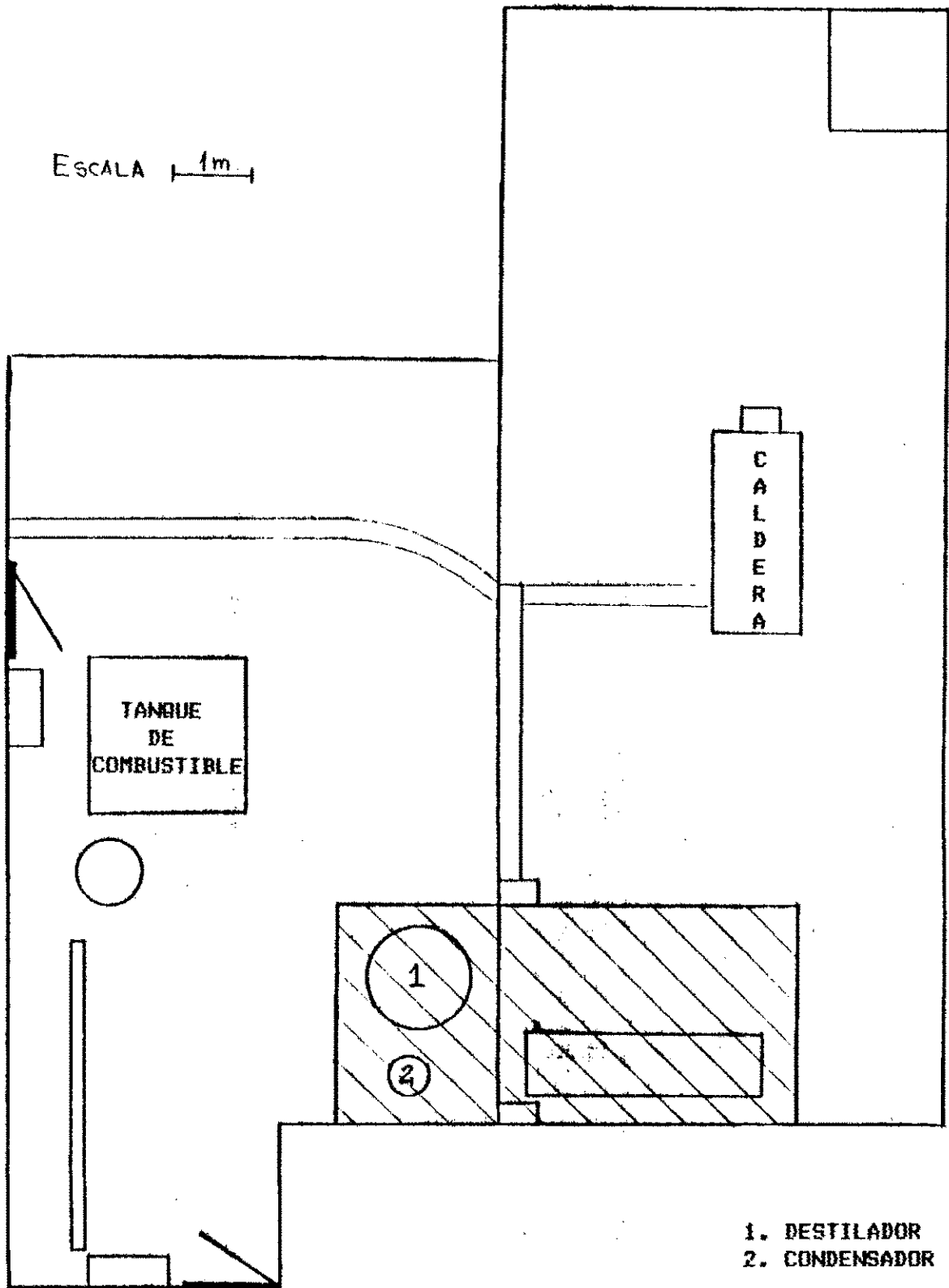
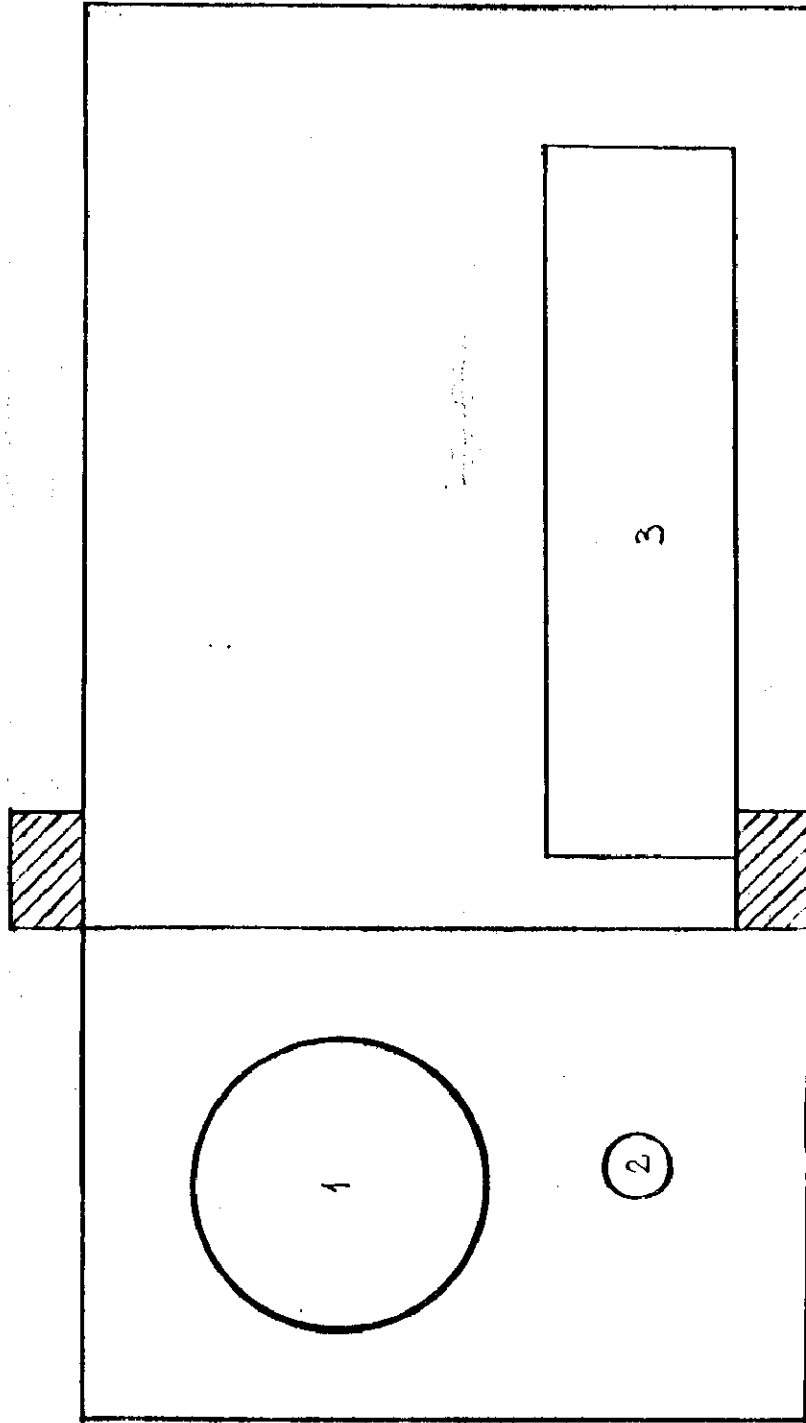


Figura 5

DISTRIBUCION DE EQUIPOS



ESCALA 1m

- 1. ALAMBIQUE
- 2. CONDENSADOR
- 3. MESA DE SELECCION

FIGURA 6

Considerando que esta planta piloto se ubicará en Lima, se propone un tamaño por lote de 100 Kg de hojas secas de Matico que no crea una dificultad en el abastecimiento ya que el matico se trae desde la Selva. Una Planta de mayores dimensiones con un fin comercial requeriría ser ubicada en la zona donde abunda el Matico por motivo del costo de transporte.

#### 4.1.- Descripción del Proceso de Extracción en la Planta Piloto

El Proceso de Extracción consta de diferentes operaciones; se inicia con la materia prima seca, es decir, la operación de secado no se lleva a cabo en el lugar del procesamiento, sino en el lugar de recolección, Centro Experimental Forestal de Pucallpa. Esta operación se lleva a cabo de la siguiente manera; una vez recolectado el matico fresco se coloca éste en mesas largas de 5 metros por 2 metros de ancho, mesas protegidas por un techo sostenido con cuatro columnas y sin paredes; el objeto de este techo es que la planta a secar se encuentre bajo sombra y cuente con bastante ventilación. El secado dura de 5 a 7 días, tiempo en el cual la planta alcanza una humedad entre el 8 al 10

por ciento, humedad que no permite la descomposición del material vegetal y que favorece su durabilidad manteniendo íntegro todos sus componentes principales.

El Proceso se inicia con la Operación de Limpieza, para la cual se usan mallas accionadas por dos operarios y cuyo objetivo es retirar polvo y materia dura extraña , seguida por la operación de selección que se realiza en forma visual y manual por un operario ubicado a un extremo de la mesa de selección de las hojas, operario que se encarga de retirar hojas decoloradas, hojas diferentes al matico y cualquier materia extraña que la limpieza no haya podido retirar. Aquí la Materia Prima se encuentra ya lista para el siguiente paso que es la operación de trituración, ya que se requiere que la hoja tenga un tamaño aproximado de 1 a 2 cm. de ancho y de largo. En esta operación se hará uso de de una cizalla manual.

Para nuestro estudio se utiliza una base de 100 Kg por lote, y el Pesado es realizado por un operario, momentos previos a la Destilación.

Una vez preparada la materia prima o material seco, triturado y pesado se procede a



cargarlo dentro del tanque destilador o alambique, el cual debe ser cerrado herméticamente. Una vez instalado correctamente el alambique se da inicio a la extracción, mediante la inyección de vapor a 20 psi de presión. Este vapor pasa a través de la carga arrastrando el aceite esencial contenido en el material vegetal seco, de tal manera que por el tope del tanque destilador sale una mezcla de vapor de agua/aceite esencial, que es pasado a un condensador vertical, donde la mezcla es condensada totalmente, ésta es recolectada en un recibidor-decantador y finalmente se separa el aceite del extracto acuoso por decantación. El aceite esencial es luego colocado en botellas oscuras, con tapas herméticas y almacenado en un lugar fresco.

El almacenaje debe realizarse en un ambiente fresco y seco. El uso de botellas oscuras se hace necesario ya que la luz ultravioleta produce reacciones de oxidación en los aceites esenciales y su consecuente descomposición.

En el esquema siguiente se podrá observar todas las operaciones por la que debe pasar el matico seco hasta obtenerse su aceite esencial.

# ESQUEMA DE LAS ETAPAS DEL PROCESO

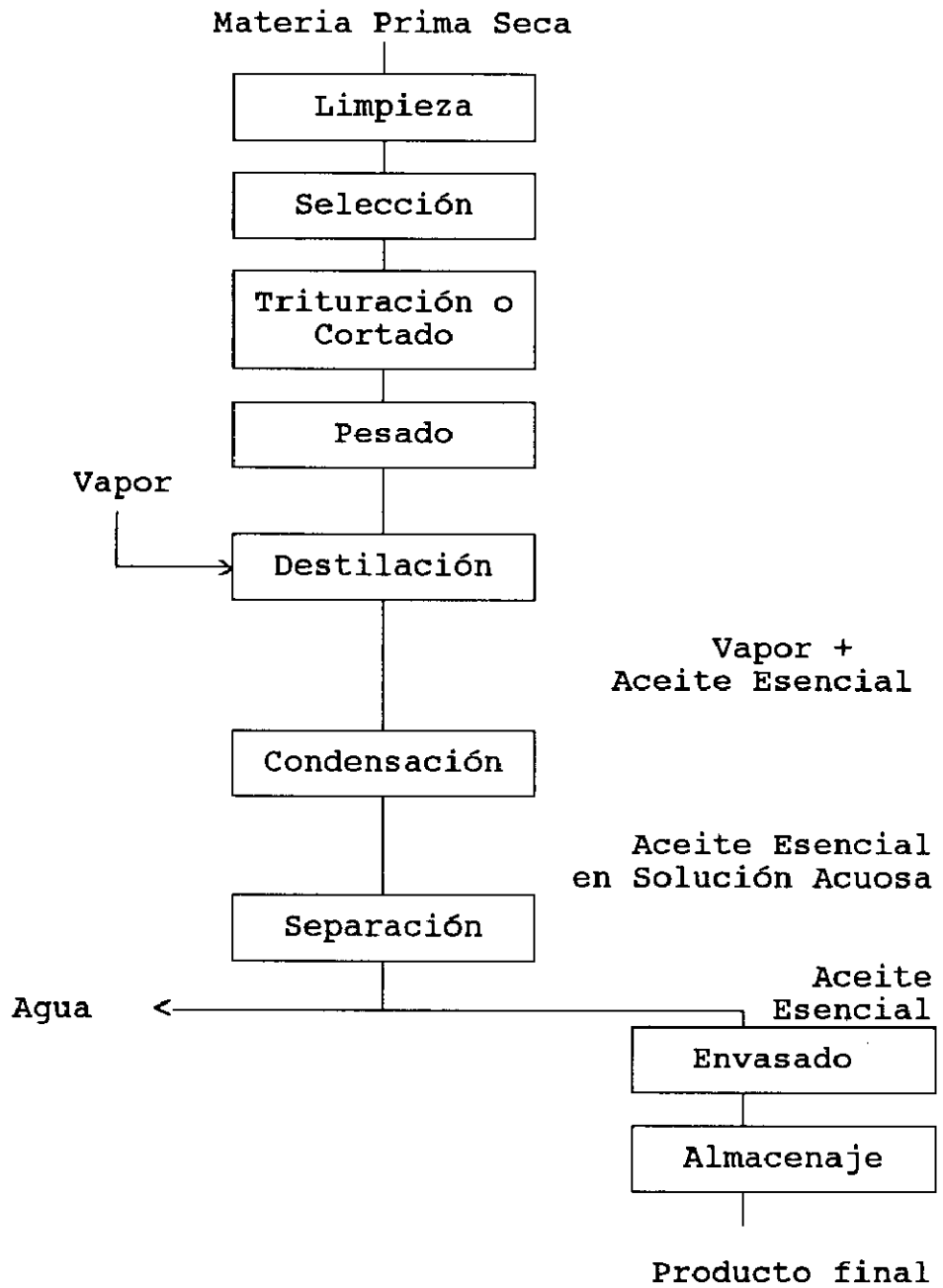


Figura 7

#### 4.2.- Diseño de Equipos

Para el diseño de los equipos de la Planta Piloto se ha tomado como base una carga de 100 Kg de Matico seco, que es una carga promedio para estudios a este nivel.

El Proceso de Extracción de Aceite Esencial por Destilación con inyección de vapor requiere la utilización de cuatro equipos básicos:(7)

- El hervidor para generación de vapor o caldera.
- El alambique o tanque de destilación.
- El condensador.
- El separador o decantador para el condensado (Aceite Esencial-Agua).

##### 4.2.1.- Caldera

Este equipo es necesario para la generación del vapor requerido en el arrastre del aceite esencial. El tamaño de la caldera dependerá de la cantidad de vapor requerido. Debido al peligro involucrado en la operación de una caldera se recomienda comprar estos equipos a proveedores especializados de

equipos de generación de energía. Aparte de la caja de fuego y el calentador de tubo, el sistema debe incluir medidores para determinar el nivel de agua, presión, válvula de seguridad para proteger de operaciones de muy alta presión, una bomba para inyectar el agua, y todas las tuberías necesarias para la operación en particular.

Pueden usarse los dos tipos de calderas, el de baja presión y el de alta presión, dependiendo de cual cumple mejor las necesidades de la planta. Teóricamente la temperatura del vapor saturado es una función de la presión de vapor.

Para este estudio se ha considerado que lo importante es la cantidad de vapor requerido para el proceso, no tanto la presión de trabajo de la caldera, ya que para la destilación sólo se necesita vapor de 20 psig.

La caldera a utilizarse en esta planta piloto será del tipo piro tubular

porque este tipo de calderas son las más adecuadas en la obtención de vapor saturado. Se necesitará una caldera de baja presión puesto que experimentalmente se encontró que la presión de trabajo es 20 psi (Ver Gráfico 2). Se utilizará vapor saturado puesto que de este modo se controla la temperatura de operación.

Cálculo del requerimiento de vapor:

- Del Apéndice 7 conocemos la relación volumen de aceite esencial a volumen de vapor condensado:

$$\frac{\text{Vol. Aceite Es.}}{\text{Vol. Vapor Cond.}} = \frac{1 \text{ ml Aceite.}}{393 \text{ ml Vap. Cond.}}$$

$$= 2,54 \times 10^{-3}$$

ó también:

$$\frac{\text{Peso Aceite Es.}}{\text{Peso Vapor Cond.}} = \frac{1 \text{ gr Aceite}}{423 \text{ gr Vap. Cond.}}$$

$$= 2,36 \times 10^{-3}$$

Masa de Vapor Requerido para extraer  
el aceite:

$$\frac{(100 \times 0,0089 \times 0,9274) \text{ Kg de Aceite}}{2,36 \times 10^{-3} \frac{\text{Kg de A. E.}}{\text{Kg de vapor}}} =$$

$$= 349,01 \text{ Kg.Vapor}$$

Tiempo de Operación = 300 minutos  
(considerando a  
partir del mo-  
mento que el  
tanque alcanza  
los 100 °C).

$$\text{Flujo Vapor} = \frac{\text{Masa Vapor Requerido}}{\text{Tiempo de Operación}}$$

$$= \frac{349,01 \text{ Kg}}{5 \text{ hr}} = 69,80 \text{ Kg/hr}$$

Flujo Vapor = 69,80 Kg./hr.

Cálculo de la Potencia:

Calor latente de vaporización

$$(20+14,4\text{psi}) = 939,08\text{Btu/lb}$$

Smith (18)

$$= 521,58 \text{ Kcal/Kg}$$

Flujo de Vapor = 69,80 Kg/hr

Calor requerido=69,80Kg/hr\*521,58Kcal/Kg

$$= 36\ 407,80 \text{ Kcal/hr}$$

$$36\ 407,80 \text{ Kcal/h}$$

Potencia del Caldero= \_\_\_\_\_

$$8435,4 \text{ Kcal/hr/BHP}$$

Potencia del Caldero = 4,33 BHP

Este cálculo del requerimiento de vapor comprueba que la Caldera (de 30 BHP) del Laboratorio de Operaciones Unitarias cumple con los requerimientos de la Planta Piloto. Las especificaciones de la Planta de Fuerza de este Laboratorio se indican en el Apéndice 8.

#### 4.2.2.- Alambique o tanque de destilación

El alambique o tanque de destilación sirve de contenedor para el material vegetal y como vasija donde el vapor entra en contacto con el material vegetal y vaporiza su aceite esencial.

En su forma más simple es un contenedor cilíndrico o tanque, con un diámetro igual o ligeramente menor que su altura, con una cubierta removible que puede sujetarse a la sección cilíndrica. Sobre el tope del cilindro se coloca un tubo o "cuello de garza" para conducir los vapores al condensador.

En el caso de las destilaciones con vapor es necesario modificar este arreglo simple insertando una canastilla dentro del tanque tal que el agua que condensa y el material no entren en contacto. El vapor es introducido a través de una línea de vapor colocado a un costado del alambique justo bajo la rejilla (utilizando una tubería de 1") por medio de un serpentín perforado de dos vueltas tal como se ve en la Figura 9.



El cuello de garza conecta el centro de la cubierta convexa o esférica al condensador, pero ésta no debe ser tan alta que sirva de condensador de reflujo, cualquier sección vertical inevitable del cuello de garza debe estar bien aislado. Esta tubería debe ser al menos 4" de diámetro y si la velocidad de destilación es alta debe ser más ancho. El tope de un alambique moderno es simplemente agujerado y una tubería insertada sirve como cuello de garza. La cabeza de alambique perfecta es corta y bien aislada, si es convexa se curva gradualmente y modifica tal que se ajusta el cuello de garza. Debe evitarse cualquier diseño caprichoso, curvas inesperadas y doblados o tuberías muy angostas, porque esto podría producir un estrangulamiento y una disminución de la presión dentro del tanque.

Para asegurar la distribución adecuada de vapor, la tubería de vapor, dentro del tanque debe ser arreglado en forma de serpentín de dos vueltas, con pequeños agujeros, cerca de 1/8" de diámetro, taladrado en la superficie de cada brazo a través de su longitud. La superficie total

de estos pequeños agujeros no deben ser más grandes que el orificio del serpentín y los agujeros más cercanos a la entrada de vapor deben ser más pequeños con respecto a los que se encuentran más alejados del ingreso de vapor de otro modo el vapor escapa por el primer agujero sin alcanzar la longitud entera del serpentín. En otras palabras el vapor deberá ser inyectado al alambique de tal forma que será distribuído uniformemente sobre el fondo de él y al elevarse penetrará la carga en forma uniforme.

El vapor es liberado del exceso de agua a través de una trampa de vapor (separador de agua).

El fondo del tanque es provisto de una válvula de drenaje suficientemente ancha como para que el agua que condensa durante el calentamiento del sistema caiga al fondo del tanque y pueda ser drenado en el transcurso de la destilación. Esta válvula sirve también de salida del agua de lavado, cuando el alambique es lavado.

Este arreglo completa el alambique en sí, no es necesario decir que todas las uniones deben tener una buena soldadura para

evitar las fugas de vapor que representaría la pérdida del aceite esencial y del combustible.

El material mayormente utilizado para la construcción del alambique hoy en día son las planchas de acero inoxidable, el cual cumple un buen servicio para nuestro propósito.

El aislante del alambique.-

En todos los casos el alambique, incluyendo el tope, debe estar bien aislado para conservar el calor. Si se descarta el aislamiento ocurrirá una excesiva condensación del vapor dentro del equipo por el calor perdido en la superficie. Esto produce un excesivo humedecimiento de la carga, amasamiento y aglutinamiento de las partículas, un mayor consumo de vapor, destilaciones prolongadas y usualmente un rendimiento menor de aceite.

Un buen aislante es el asbesto el cual puede aplicarse directamente al alambique en forma de una pasta muy delgada con agua, el cual seca como una capa adherente. En las instalaciones donde se requiere bastante vapor es muy importante un alto grado de

aislamiento, allí todas las secciones calentadas y líneas de vapor requieren estar bien aisladas para prevenir los escapes de calor . En cualquier caso una capa aislante debe tener cerca de 2 pulgadas de ancho.

#### Carga del Alambique.-

Los problemas de cargar el alambique con el material vegetal y de descargarlo, son muy importantes porque debe considerar la mano de obra involucrada. Cualquier equipo que ahorre mano de obra considera más economía en el cálculo final. Como regla general cualquier material vegetal debe ser transportado o jalado tan cerca como sea posible al alambique. Si el material va a ser triturado esta operación debe realizarse cerca y de ser posible en un piso o plataforma de tal manera que el material triturado caiga o se deslice por gravedad en la retorta. La vieja forma de cargar y descargar con horquillas y palas es costosa y aunque el costo inicial de una correa de transmisión o grúa pequeña es alto, esto en general agilizará la operación.

- Cálculo de las dimensiones de la canasta:

$$\text{Peso de matico a procesar} = 100 \text{ Kg.}$$

$$\begin{aligned} \text{Volumen de 100 Kg de matico} &= \frac{100 \text{ Kg}}{64 \text{ Kg/m}^3} \\ &= 1,56 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Volumen de Canasta} = \frac{\pi \cdot \text{Diámetro}^2 \cdot \text{Altura}}{4}$$

$$\text{Asumimos que: Diámetro} = \text{Altura} \quad (7)$$

$$\text{Diámetro de la Canasta} = 1,27 \text{ m}$$

$$\text{Altura de la Canasta} = 1,27 \text{ m}$$

$$\text{Volumen de la Canasta} = 1,60 \text{ m}^3$$

- Cálculo de las dimensiones del Alambique:

$$\text{Altura en el tope} = 0.24 \text{ m}$$

$$\text{Altura en el fondo} = 0.20 \text{ m}$$

$$\text{Altura total del tanque} = 1.71 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Separación entre alambique y canastilla} &= \\ &0.03\text{m} \end{aligned}$$

$$\text{Diámetro} = 1,33 \text{ m.}$$

- Distribuidor del vapor ó serpentín:

$$\text{Longitud} = 5 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro} = 0.0254 \text{ m}$$

Distribución : dos vueltas.

El resumen de estos cálculos se encuentran en el Cuadro 12 y el esquema del

alambique, el serpentín y la canastilla se encuentran en las Figuras 8, 9, 10 respectivamente.

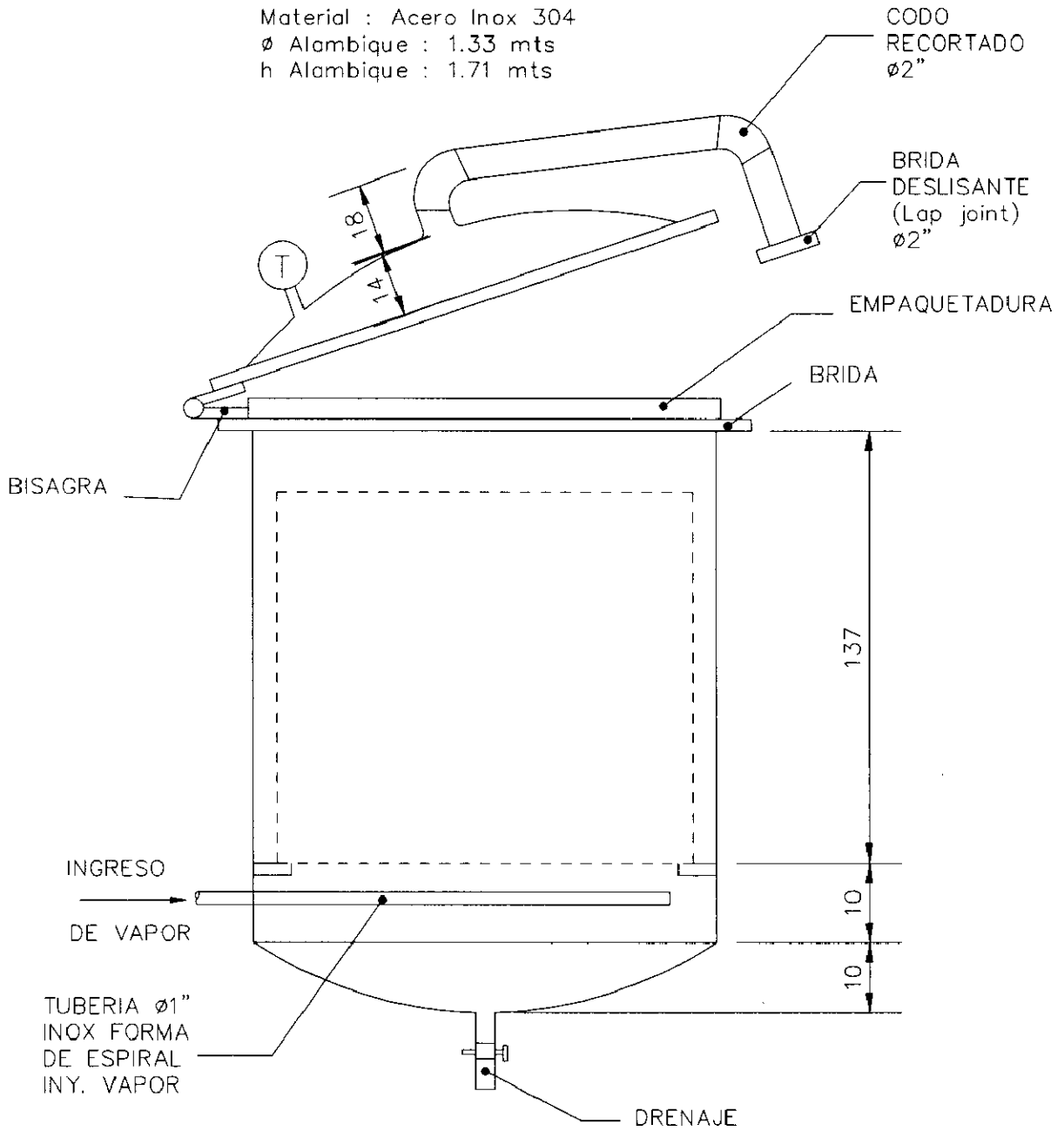
**CUADRO 12**

Parámetros del Alambique, Destilador o  
Tanque de destilación

<b>CANASTILLA</b>	
Material	Malla Acero Inox. 304
Volumen	1,60 m <sup>3</sup>
Diámetro	1,27 m
Altura	1,27 m
<b>TANQUE</b>	
Material	Plancha Acero Inox. 304
Diámetro	1,33 m
Altura total	1,71 m
Longitud del Serpentín	5 m
Diámetro del Serpentín	0.0254 m

# ALAMBIQUE

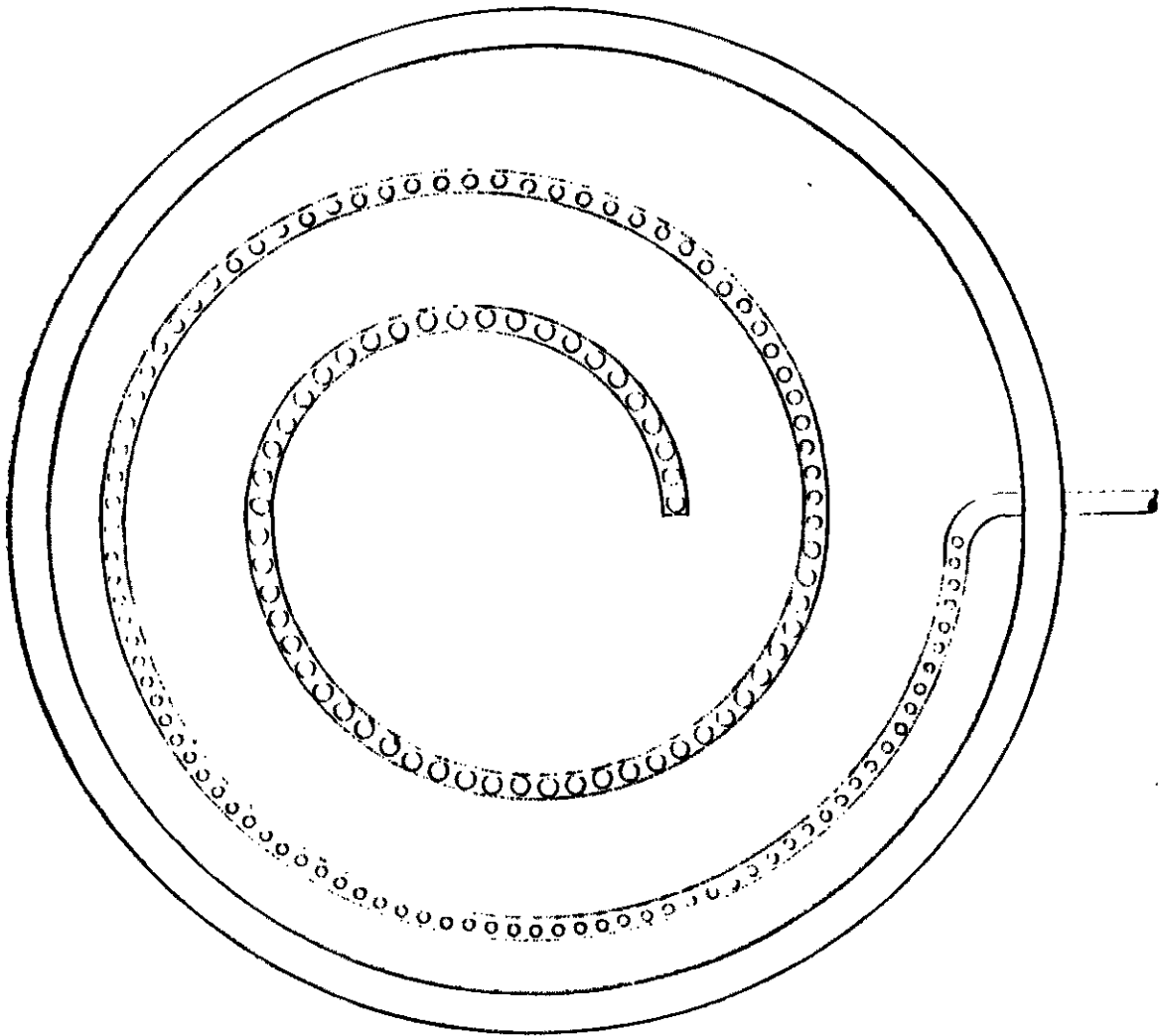
Material : Acero Inox 304  
Ø Alambique : 1.33 mts  
h Alambique : 1.71 mts



Nota : Medidas en cm

FIGURA 8

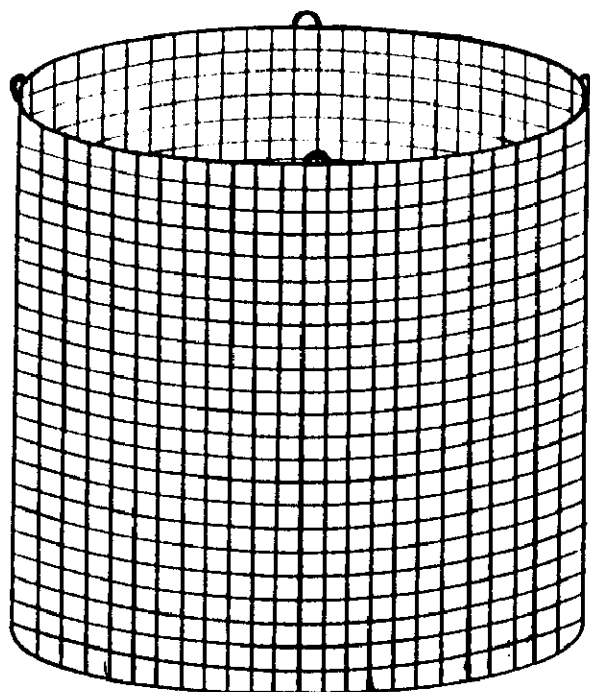




Longitud del Serpentin	5 m
Diámetro del Serpentin	0.0254 m

SERPENTIN DE INYECCION DE VAPOR

Figura 9



Volumen	1,60 m <sup>3</sup>
Diámetro	1,27 m
Altura	1,27 m

ESQUEMA DE LA CANASTILLA

Figura 10

#### 4.2.3.- El Condensador

Es uno de los equipos principales de destilación. Sirve para convertir todo el vapor de agua y de aceite en líquido. Esto requiere el remover una cantidad de calor equivalente al calor de vaporización de los vapores más una pequeña cantidad adicional de calor para enfriar el material condensado a una temperatura conveniente bajo su punto de ebullición. La velocidad a la cual el calor será removido de los vapores es expresado por:

$$q = U.A.dt$$

donde:

q : Calor removido por unidad de tiempo

U : Coeficiente de transferencia calor

A : Area disponible para remover el calor

dt : Diferencia de temperatura entre los vapores y el medio enfriante.

El condensador vertical con haz de tubos es el más satisfactorio para este proceso porque tiene la ventaja que un rápido flujo de agua fría produce un enfriamiento más eficiente. Los tubos son ensamblados en un

haz vertical simple, el número y la longitud depende de la cantidad de condensación a ser alcanzada, de tal forma que los vapores a ser condensados entren a los tubos y el agua fría circule alrededor de ellos. El factor U para condensadores según Foust (9) es de 400 Btu/hr.ft<sup>2</sup>.F<sup>o</sup>. Los condensadores tubulares deben ser usados en posición vertical con vapores entrantes en el tope y el condensado saliendo por los fondos. La conexión con el alambique debe también ser de tamaño apropiado para evitar la excesiva contrapresión en el alambique. Los condensadores tubulares requieren mucho menor espacio que los otros tipos de condensadores además permite una limpieza más completa.

Es siempre mejor construir el condensador un poco sobredimensionado que demasiado pequeño. Los tubos más largos requieren menos agua de enfriamiento, puesto que el contacto con el vapor y el condensado dura más y permite la absorción de más calor, así que la temperatura del condensado final es más cercana y aproximada al agua fría que entra al condensador.

La construcción del condensador se hará con tubos estándar de acero inoxidable 304 de 1" de diámetro y la carcasa será de hierro galvanizado de 8" de diámetro. Se sabe que el acero inoxidable es un buen conductor del calor a la vez que es usado en la industria de aceites esenciales por ser inerte y no tóxico.

- Cálculo de flujo másico del refrigerante (agua):

$$\begin{aligned} \text{Calor absorbido por el agua} &= m * Cp * DT \\ &= (m * 10) \text{ Kcal/hr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Calor cedido por vapor} &= 69,80 * (521,58 + 77) \\ &= 41\,782,61 \text{ Kcal/hr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Calor absorbido por el agua} &= \text{Calor cedido} \\ &\text{por el vapor} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Flujo másico del refrigerante} &= 4\,178,26 \\ &\text{Kg/hr} \end{aligned}$$

$$\text{Flujo volumétrico refrigerante} = 4,18 \text{ m}^3/\text{hr}$$

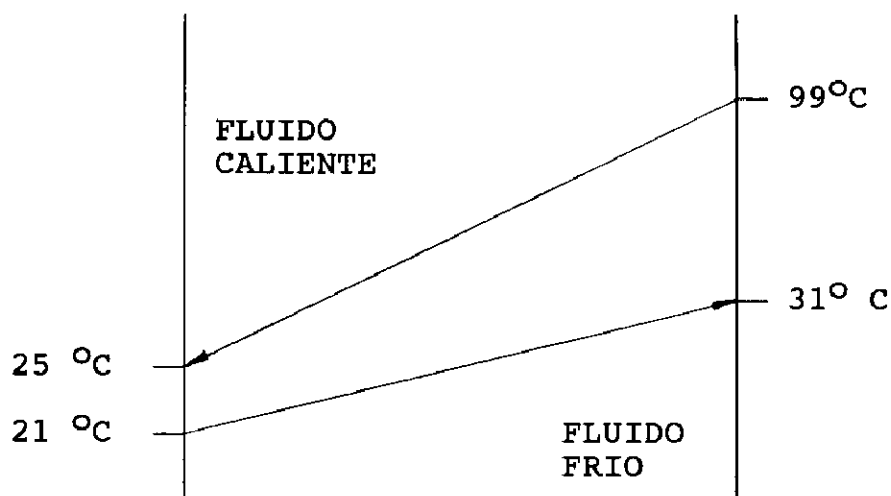
- Cálculo del dtlog

$$Tr1 = 21 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Tr2 = 31 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Tv1 = 99 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Tv2 = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$



$$dT1 = 68 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$dT2 = 4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$dt_{\log} = \frac{dT1 - dT2}{\ln (dT1/dT2)} = 15,88 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Cálculo del área de transferencia

$$U = 300 \text{ Btu/hr.ft}^2\text{F}^\circ \quad \text{Foust (9)}$$

$$= 1\,465,68 \text{ Kcal/hr.m}^2\text{C}^\circ$$

$$Q = 41\,782,61 \text{ Kcal/hr}$$

$$dt_{\log} = 15,88 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q = U * A * dt_{\log}$$

$$A = 1,79 \text{ m}^2$$

- Cálculo del número de tubos:

$$A = \text{Número de tubos} * \text{Diámetro} * \text{Altura}$$

Se trabajará con tubos estándar de acero inoxidable de Acero Inoxidable 304 con

diámetro de 1 pulgada y 20 pies de longitud.

Diámetro = 0,0254 m

Longitud = 20 pies = 6,1 m

Area de 1 tubo = 0,49 m<sup>2</sup>

Area de transferencia = 1,79 m<sup>2</sup>

Número de tubos de 6,1 m = 4

(Por cada tubo de 6,1 m obtendremos 4 tubos de 1,525m)

Número de tubos de 1,525 m = 16

El resumen de los parámetros recién calculados se muestran en el Cuadro 13 y la Figura 11 ilustra el esquema del condensador.

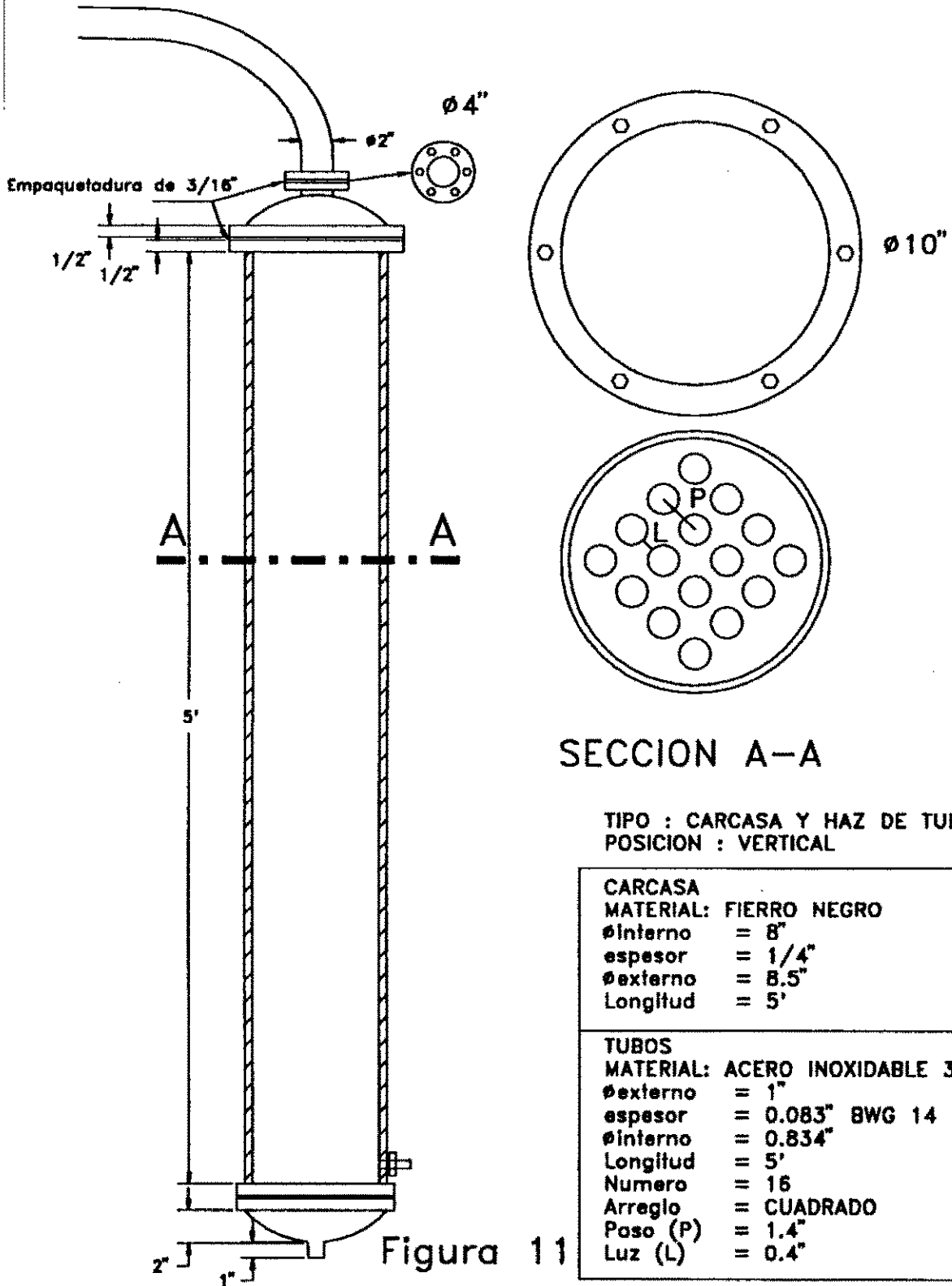
CUADRO 13

Parámetros del Condensador

Tipo	Tubo y Carcasa
Disposición	Vertical
Disposición del flujo	Contracorriente
Fluido principal Presión de ingreso Temperatura de ingreso Presión de salida Temperatura de salida Flujo másico	Vapor 1 atm. 99 °C 1 atm. 25 °C 69,80 Kg/hr
Fluido secundario o refrigerante Temperatura de ingreso Temperatura de salida Flujo volumétrico	agua 21 °C 31 °C 4,18 m <sup>3</sup> /hr
Coeficiente de Transferencia de Calor	1 465,68 Kcal/hr.m <sup>2</sup> .C°
Area de Transferencia	1,79 m <sup>2</sup>
dtlog	15,88 °C
Diámetro de los tubos Longitud de los tubos Número de tubos	0,0254 m 1,52 m 16



# CONDENSADOR



## SECCION A-A

TIPO : CARCASA Y HAZ DE TUBOS  
 POSICION : VERTICAL

**CARCASA**  
 MATERIAL: FIERRO NEGRO  
 Ø interno = 8"  
 espesor = 1/4"  
 Ø externo = 8.5"  
 Longitud = 5'

**TUBOS**  
 MATERIAL: ACERO INOXIDABLE 304  
 Ø externo = 1"  
 espesor = 0.083" BWG 14  
 Ø interno = 0.834"  
 Longitud = 5'  
 Numero = 16  
 Arreglo = CUADRADO  
 Paso (P) = 1.4"  
 Luz (L) = 0.4"

Figura 11

#### 4.2.4.- El Decantador o Separador

Este es otro de los equipos necesarios para la destilación, consiste en un recibidor del condensado también llamado decantador o separador de aceite. Su función es alcanzar una separación rápida y completa de aceite del agua condensada. Ya que el volumen total de agua condensada será siempre más grande que la cantidad de aceite, es necesario sacar el agua continuamente. El condensado fluye del condensador al separador del aceite, donde la solución acuosa y el aceite esencial se separan en dos fases. Muchos decantadores son contruídos de acuerdo al principio del antiguo frasco de florentino por lo que son llamados frecuentemente frascos florentinos.

El aceite volátil y el agua son mutuamente insolubles debido a la diferencia de sus gravedades específicas, los dos líquidos forman dos fases separadas, usualmente los aceites son más ligeros y flotan sobre la superficie del agua.

Los frascos florentinos más pequeños son hechos de vidrio, separadores más grandes (más de 15 lt) de metal, usualmente de acero inoxidable 304.

Las tuberías o tapones de caucho no deben usarse porque son parcialmente solubles en aceites esenciales dándoles un olor objeccionable.

- Capacidad para 1 batch

$$\text{Flujo de Condensado} = 69,80 \text{ Kg/hr}$$

$$= 69,80 \text{ lt/hr}$$

$$= 1,16 \text{ lt/min}$$

$$\text{Volumen del decantador} = 10 \text{ lt.s}$$

$$\text{Altura del decantador} = 2 * \text{Diametro}$$

$$V = \frac{\pi * D^2}{4} * 2 * D = 10\ 000 \text{ cc}$$

$$\text{Diámetro} = 0,185 \text{ m}$$

Entonces, dándole valores enteros y una holgura a la altura (según Figura 12)

$$\text{Diámetro} = 0,18 \text{ m}$$

$$\text{Altura total} = 0,42 \text{ m}$$

El Cuadro 14 muestra el resumen de estos cálculos y la Figura 12 ilustra el esquema del decantador.

#### 4.2.5.- Instrumentos de Control

Todas las operaciones de ingeniería química dependen de la medida y el control de determinadas variables del proceso. Para eso se emplean instrumentos para la medición de dichas variables. Pero en el caso de procesos intermitentes pueden funcionar a veces con un mínimo de instrumentos para guiar a los operadores. En el caso de esta planta piloto se requiere básicamente: una válvula reductora de presión, ya que el vapor que sale de la caldera sale a mayor Presión que la que requiere el proceso; medidores de Presión, Temperatura y Flujo ; además de una trampa de vapor. Todos estos instrumentos y su ubicación dentro de la planta piloto se pueden observar en la Figura 13.

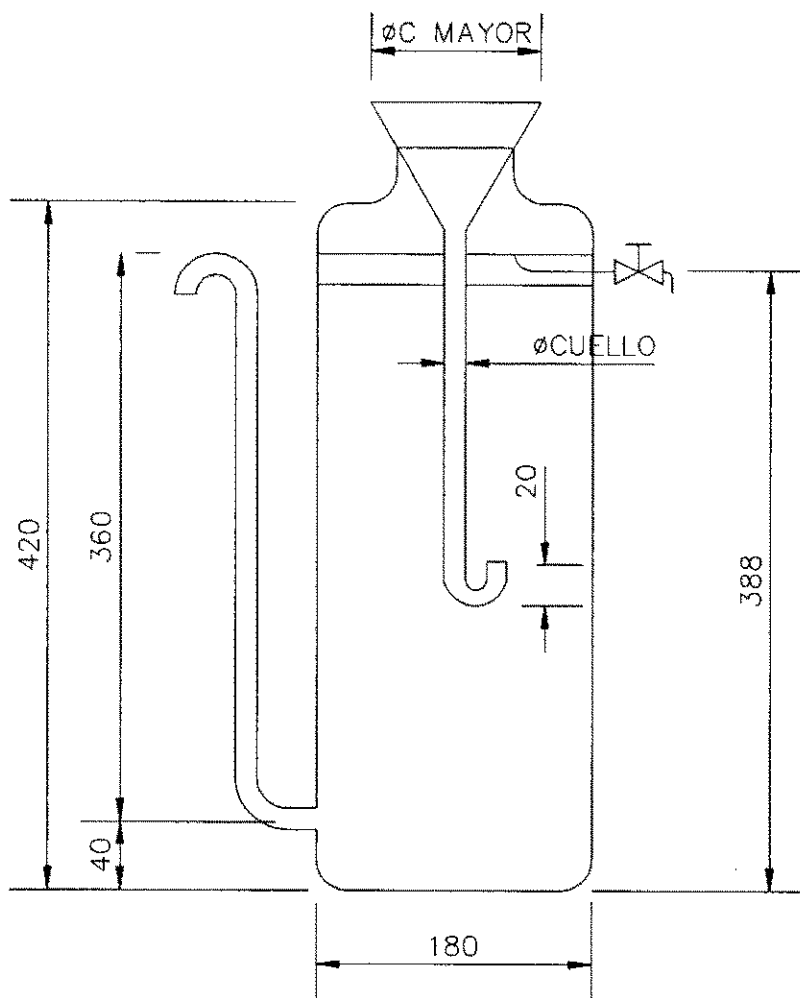
#### 4.2.6.- Tuberías y Accesorios

Se utilizarán tuberías de 1/2" para las líneas de agua y de 1" para las líneas de vapor.

**CUADRO 14**Parámetros del Decantador o Separador

Forma	Frasco Florentino (Ver Figura)
Material	Vidrio Oscuro
Capacidad	10 lt
Diámetro del decantador	0,18 m
Altura del decantador	0,40 m
Flujo de condensado	1,16 lt/min

# DECANTADOR O FRASCO FLORENTINO

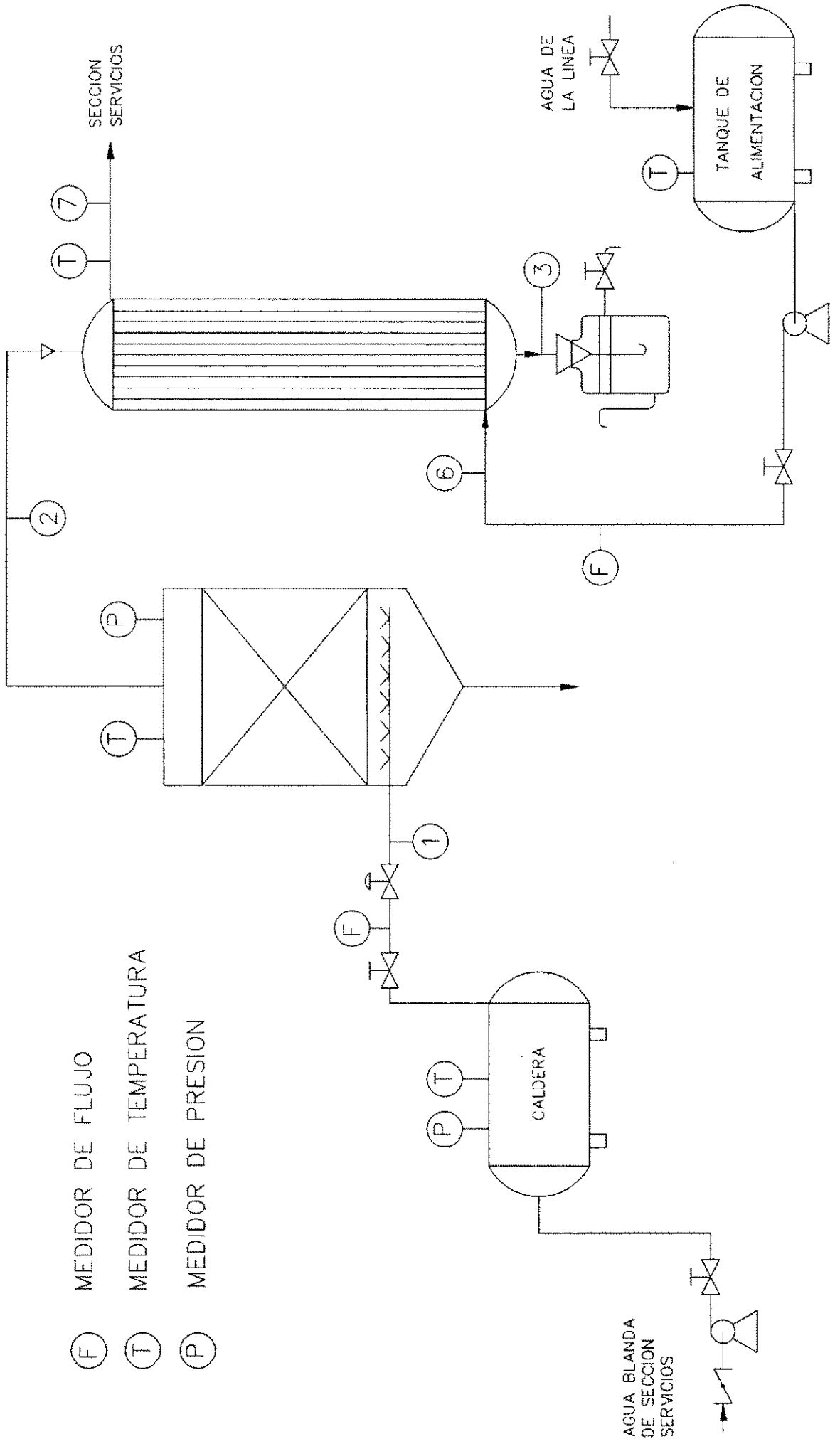


MEDIDAS DADAS EN MILIMETROS  
 $\varnothing$  CONO MAYOR = 112  
 $\varnothing$  CUELLO = 8  
LARGO DEL CUELLO = 220

FIGURA 12

# ESQUEMA DE PLANTA PILOTO ACEITE ESENCIAL DE MATICO

- (F) MEDIDOR DE FLUJO
- (T) MEDIDOR DE TEMPERATURA
- (P) MEDIDOR DE PRESION



CUADRO 15

FLUJOS EN LAS LINEAS DE LA PLANTA PILOTO

Línea	Fluido	Flujo (Kg/hr)	Presión (Psi)	Temperatura (° C)
1	Vapor Sat.	69,8	34,7	126,27
2	Vapor (agua/A.E.)	69,97		99
3	Sol.Ac- A.E.matico	69,97	14,7	22
4	Solución Acuosa	69,8	14,7	22
5	Agua refrig.	4 178,26		21
6	Agua refrig.	4 178,26	14,7	31



#### 4.3.- Costo de la Planta Piloto.-

Para estimar el costo de la planta piloto se recurrió a las cotizaciones de precios de los equipos requeridos solicitados a los fabricantes o distribuidores locales ya que según Peters y Timmerhaus (13), este método es más exacto que recurrir a la información de la bibliografía disponible.

Los costos directos se estiman como un porcentaje del costo por equipo adquirido y entregado. Los costos indirectos de ingeniería, supervisión y otros gastos de construcción se consideran despreciables frente a los costos directos. Ver Cuadro 16.

##### 4.3.1.- Costo de Equipos.-

El cuadro 17 muestra el costo de los equipos principales de acuerdo a cotizaciones registradas en el Apéndice 7.

##### 4.3.2.- Costos de Instalación.-

Están referidos a la instalación de los equipos que aparecen en el Diagrama de Flujo. La instalación del equipo adquirido requiere mano de obra, fundiciones, soportes, plataformas, gastos de construcción y otros

factores relacionados directamente con los mismos. Este costo varía entre el 7 al 26 por ciento. (13)

#### 4.3.3.- Costos de Instrumentación y controles.-

El costo de los instrumentos, la mano de obra para su instalación y los gastos para los equipos y materiales auxiliares constituyen la mayor parte de las inversiones de capital requeridas para la instrumentación. El costo total de la instrumentación y de la cantidad de controles necesarios pueden ser del orden del 4 por ciento del costo total de la adquisición de los equipos, tomando en cuenta que se necesitará una válvula reductora de presión. (13)

#### 4.3.4.- Costo de Tuberías.-

Este costo incluye mano de obra, válvulas, accesorios, soportes y otros rubros directamente relacionados con el tendido de las tuberías que se utilizan directamente en el proceso. Esto incluye tuberías para materias primas, productos terminados, productos intermedios, agua, aire, desagües y otros procesos que requieren tuberías. Se estima que

este costo fluctúa alrededor del 3,5 al 15 por ciento del capital fijo.(13)

#### 4.3.5.- Costo de obras civiles.-

El costo de obras civiles incluye servicios y comprende los gastos en mano de obra, materiales y suministros para la construcción de todos los edificios relacionados con la planta. Como en este caso el ambiente ya está construido y se presta para nuestros requerimientos y puesto que ya está instalado el sistema de plomería y existe una adecuada ventilación es que se considerará costo cero en este rubro.

#### 4.3.6.- Costos de Instalaciones de Servicios.-

Las instalaciones para proveer vapor, agua, potencia, aire comprimido y combustibles, forman parte de los servicios auxiliares que requiere una planta. En términos de capital invertido, el costo de las instalaciones de servicios se encuentra generalmente alrededor del 6 por ciento del capital fijo. (13)

**CUADRO 16**

**INVERSIONES DE CAPITAL FIJO**

COSTOS DIRECTOS	U.S. \$
Equipos Adquiridos	11 860,00
Instalación de Equipos	2 965,00
Instrumentación y Controles	3 560,00
Tuberías y Accesorios	1 385,00
Obras Civiles	-----
Instalaciones de Servicios	-----
COSTOS INDIRECTOS	U.S. \$
Ingeniería y Supervisión (*)	-----
Gastos de Construcción , etc (*)	-----
<b>T O T A L</b>	<b>19 770,00</b>

(\*) Se consideran despreciables.

**CUADRO 17****COSTOS DE LOS EQUIPOS**

<b>EQUIPO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO (U.S. \$)</b>
Alambique	01	3 500,00
Canastilla	02	960,00
Condensador	01	7 000,00
Frasco Florentino y Embudo	01	400,00
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>11 860,00</b>

## BIBLIOGRAFIA

- (1) Aranibar, Nelly. Tesis para optar el Grado de Magister en Ciencias, Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima, 1985
- (2) Burgos Macedo, José Carlos y Gibaja Oviedo, Segundo. "El Aceite Esencial del Piper Aduncum L. (Matico Hembra)". Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Boletín de la Sociedad Química del Perú. Noviembre, 1987.
- (3) Burke, B. y M. Nair. "Phenylpropene, Benzoic Acid and Flavonoid Derivates from Fruits of Jamaican Piper Species" *Phytochemistry*, Volumen 25, Nrto. 6, pp. 1437-1430, Gran Bretaña , 1989
- (4) Charabot. Enciclopedia de Química Industrial. Thorpe. Tomo III. Madrid, 1921.
- (5) Domínguez, Xorge Alejandro. Métodos de Investigación Fitoquímica. Editorial Limusa. México, 1973.
- (6) Ferreira, Ramón. Flora del Perú. Lima, 1975.

- (7) Güenther, Ernest. Essential Oils. D. Van Nostrand Company, Inc, New York, 1948
- (8) Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas (ITINTEC), Norma Técnica Nacional para Aceites Esenciales. Lima Diciembre 1974.
- (9) Foust, A. S., Wenzel, L. A. Principios de Operaciones Unitarias, CECSA, México, 1961
- (10) Lock de Ugaz, Olga. Investigación Fitoquímica. "Métodos en el estudio de productos naturales" Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima 1988.
- (11) Morton Springfield, Julia F. Atlas of Medicinal Plants of Middle America: Bahamas to Yucatán. Illinois, 1981.
- (12) Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y alimentación. Demostración de manejo y utilización integral de bosques tropicales. Informe de la ONU para la agricultura y alimentación, actuando como la agencia ejecutiva. Lima , 1973

- (13) Peters, Max. S. y Timmerhaus, Klaus D. Diseño de Plantas y su evaluación económica para Ingenieros Químicos. Editorial Géminis S. R. L. Buenos Aires, 1978.
- (14) Phillips, R. J., Wolstromer, R. J. y R. R. Freeman "Dual Channel Analysis of Essential Oils with Fused Silica Capillary Columns". Hewlett Packard Co., Avondale 1981
- (15) Rojas Penas, José Manuel. "Curso del Conocimiento Científico del Medicamento Vegetal. Instituto Científico del Medicamento Vegetal. Del 29 de Mayo al 5 de Junio de 1991.
- (16) Rojas Penas, José Manuel. Farmacobotánica II - Guía de Descripciones Morfológicas y ubicación sistemática de las plantas medicinales más usadas. Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Facultad de Farmacia y Bioquímica. Lima, Perú.
- (17) Smith, J. M. y Van Ness, H. C. Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química. Mc Graw-Hill. México 1980.



- (18) Smith, Roger M. y Husna Kassim. "The essential of Piper Aduncum from Fiji". New Zeland Journal of Science, 1979, Volumen 22, 127-8.
- (19) Sprouse, James F. y Antonio Varano. "A Gas Cromatography Retention Index Library". American Laboratory, September 1984.