

00521  
66



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE QUIMICA**

**DISEÑO DE UN DESTILADOR PILOTO POR ARRASTRE DE  
VAPOR PARA LA OBTENCION DE ACEITES ESENCIALES**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO QUIMICO**  
P R E S E N T A :  
**JUAN HERNANDEZ BAUTISTA**



**EXAMENES PROFESIONALES  
FACULTAD DE QUIMICA**

MEXICO, D.F.

2003.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

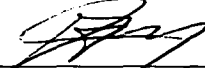
El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO**

**Presidente :** Prof. Lucila Cecilia Méndez Chavez  
**Vocal:** Prof. Jesús Torres Merino  
**Secretario:** Prof. Genovevo Silva Pichardo  
**1° Suplente:** Prof. María Rafaela Gutiérrez Lara  
**2° Suplente:** Prof. Joaquín Rodríguez Torreblanca

**Lugar donde se desarrolló el tema:**  
**Laboratorio de Ingeniería Química, Ciudad Universitaria**

**Asesor**



---

**Dr. Jesús Torres Merino**

**Sustentante**



---

**Juan Hernández Bautista**

## **EL ÉXITO COMIENZA CON LA VOLUNTAD**

Si piensas que estás vencido, lo estas;  
si piensas que no te atreves, no lo harás;  
si piensas que te gustaría ganar,  
pero que no puedes, no lo lograrás;  
si piensas que perderás, ya has perdido;  
porque en el mundo encontrarás que el  
éxito comienza con la voluntad del hombre.

Todo está en el estado mental;  
porque muchas carreras se han perdido  
antes de haberse corrido;  
y muchos cobardes han fracasado  
antes de haber su trabajo empezado.

Piensa en grande y tus hechos crecerán;  
piensa en pequeño y quedarás atrás;  
piensa que puedes y podrás;  
todo está en el estado mental.

Si piensas que estás aventajado, lo estás;  
tienes que pensar bien para elevarte.

Tienes que estar seguro de ti mismo  
antes de intentar ganar un premio;  
la batalla de la vida no siempre la gana  
el hombre más o el más fuerte o el más ligero;  
porque tarde o temprano, el hombre que gana,  
es aquél que cree poder hacerlo.

**Doctor Bernard**

— — — — —  
No hay bueno ni malo, solo consecuencias.

Tlalticpac Toquitchin Tiez  
("La tierra será como los hombres sean". Vamos mexicanas y mexicanos. ¡¡¡Si se puede!!!!)

## **D E D I C A T O R I A S**

**El presente trabajo esta dedicado a:**

**A mis padres:**

A quienes en gran parte debo el haber realizado la carrera. Por su apoyo moral, sus esfuerzos, sus desvelos y sacrificios de que saliera adelante hasta culminar mi carrera profesional; esperando lo mejor para mí, con sus consejos y aseveraciones.

**A la memoria de mi abuelita materna Verónica Zamora Martínez:**

Quién me vio crecer desde la edad de 1 año en la **Sierra Huasteca Hidalguense**, cuando mis padres decidiendo venirse a la capital en busca de trabajo.

Me acuerdo en una ocasión cuando le acompañe a mi abuelita a cosechar maíz le llegue a comentar: “abuelita llegaré a ser un profesionista y triunfaré, nunca me dejaré derrotar y siempre tendré la frente levantado”.

**A mi hermano Abraham:**

Quién es el próximo a culminar su carrera de Ingeniero Aeronáutica; y que a pesar de que hemos tenido problemas muy fuertes hemos salido adelante. Y dejando claro que cuando uno se propone sus metas, siempre triunfa. ¡¡¡Si se puede!!!

**A mi hermana Bibiana:**

Con este trabajo le dejo lo más valioso ejemplo a seguir del hermano mayor, con dedicación, entusiasmo y seguridad en sí mismo de hacer alguien en la vida.

**A mis amigas y amigos:**

Con los que compartí compañerismo, amistad, honestidad, lealtad y sobre todo, convivencia el día de la quema de batas. Además, viví momentos inolvidables dentro la Universidad, fueron muchos y de toda clase e hicieron de esta etapa una de las más enriquecedores. Yo siempre disfrute mucho de mi vida en la Universidad y ustedes formaron parte de ella; así mismo, espero seguir contando con ustedes en las buenas y en las malas; y no perder su amistad por equis razón injustificada.

**A mi Linda Sierra Huasteca Hidalguense:**

El lugar donde me vio nacer y crecer, antes que emprendiera el viaje a la Ciudad de México para estudiar una carrera profesional; y que hoy culmina con este trabajo con éxito.

## **A G R A D E C I M I E N T O S**

### **A mi Universidad Nacional Autónoma de México**

**Mi segunda casa**, le agradezco inmensamente al **Vigor Indomable** de su **Espíritu** de haberme dado la oportunidad de estudiar la carrera de **Ingeniero Químico** y culminando con éxito con este trabajo. El cual contagia e inspira a todos sus estudiantes, y que a gracias a la **Esencia** de este **Espíritu** pudo germinar esta tesis, terminando de crecer con los pilares del conocimiento de la **Facultad de Química** y la valiosa asesoría del **Doctor Jesús Torres Merino**, a quien no dudo en ningún momento en darme este proyecto y llevarse a cabo.

### **A la maestra Q. Pilar Montagut Bosque, a la Asociación de Ingenieros Químicos y Químicos, y a la Sra. Lupita**

Quienes siempre me apoyaron en todo momento que necesite de su ayuda, comprensión, ánimo, siempre estaban ahí, con la mejor de las intenciones de ayudarme, y motivarme a seguir adelante y no dejarme caer por situaciones críticas adversas en mis estudios. Y esto es el resultado de este trabajo que presento significando él culmino de mi carrera profesional y dando pauta que nunca les falle.

### **Al Instituto Mexicano del Petróleo (Area Plantas Piloto)**

**Mi tercera casa**, a quienes les agradezco mucho por haberme facilitado el uso del equipo de computo los fines de semana, sin este apoyo, no hubiera culminado en el tiempo establecido de mi tesis. Y en especial, al **Ing. José Zainos Hernández**, **Ing. Agustín Flores Alvarado**, **Ing. Enrique Farfán** y al **Ing. Juan José Cuarenta**; así mismo, de su valiosa firma del **Ing. Armando Ramírez Zuñiga** para poder acceder los fines de semana en esta institución; y a la **Sra. Martha Arcibar** por su apoyo en los trámites correspondientes. Además de haberme dado la oportunidad de realizar actividades en el **Area de Control de Calidad**, **Sistema de Calidad** y en la **Acreditación de pruebas de laboratorio** por parte de la **E.M.A.**

### **Proyecto e Ingeniería PYCOR, S.A. de C.V.**

A los ingenieros del departamento de proceso **PYCORSA** a quienes les doy las gracias por haberme tenido paciencia cuando realicé mis practicas profesionales en el ámbito de ingeniería de proyecto, ya que con su orientación y su metodología en explicar sobre las tareas encomendadas por el **Ing. Joaquín Rodríguez Torrecblanca** desarrolle mis habilidades aprendidas en la carrera y que me sirvió para complementar mi elaboración de este trabajo.

### **A mis sinodales Genovevo Silva Pichardo y Lucila Cecilia Méndez Chavez**

Quienes contribuyeron a la orientación, corrección y la aprobación de la tesis.

### **A todos los profesores de la Facultad de Química**

A quienes me impartieron clases y aprendí de ellos, y me apoyaron en mi formación profesional, a quienes me reprendieron, que también gracias por que aprendí también de ellos.

### **Al Colegio de Ciencias y Humanidades Azcapotzalco, UNAM**

Donde adquirí conocimientos científicos y humanísticos con una metodología libre a elección donde me forjaron a ser independiente de mis estudios; en el cual mis resultados fueron de ser un alumno sobresaliente en poner en alto el nombre de la Universidad y del país, pues mi tenacidad, entrega, vigor, responsabilidad y el compromiso que me caracteriza redundante en la que hoy culminó con una exitosa carrera.

### **Al M. en C. Jesús Heriberto Morales Gómez**

Le agradezco quien me dio la asignación de asesor de **Cálculo Diferencial e Integral** en el **CCH – A**.

### **A mi maestra del CCH – A: Q.F.B.I Olga Becerril Partida**

Por su excelencia clase de química general me impresionó, razón por la cual decidí estudiar la carrera de **Ingeniería Química**; ya que sin su orientación y su experiencia en las industrias no hubiera estudiado esta carrera.

### **A la maestra Q. Yolanda Rosas Dozzeti**

Quien fue mi primera maestra de química en la secundaria, y le agradezco por su creatividad, emprendedora, entusiasmo y la atención que tuvo conmigo por mi dedicación e interés de aprender los conocimientos de la química; y hoy se ve plasmado con este trabajo.

**G R A C I A S**

## INDICE

<b>Introducción</b> .....	<b>01</b>
<b>CAPITULO I. Fundamentos teóricos</b>	
<b>1.1. – Generalidades de los métodos de extracción de aceites esenciales</b>	
1.1.1. – Definición de aceite esencial.....	04
1.1.1.1 – Uso de los aceites esenciales.....	08
1.1.2. – Métodos de extracción de aceites esenciales.....	09
<b>1.2. – Destilación por arrastre de vapor</b>	
1.2.1. – Expresión matemática.....	19
1.2.2. – Descripción físico de la acción del vapor sobre los materiales vegetales.....	23
1.2.3. – Variantes en la destilación por arrastre de vapor.....	24
1.2.3.1. – Reducción del tamaño.....	24
1.2.3.2. – Filtros, clarificadores.....	26
1.2.3.3. – Secado y filtración.....	27
1.2.3.4. – Pruebas de calidad.....	27
1.2.3.5. – Empaque y almacenamiento.....	31
<b>1.3. – Descripción de las partes del destilador</b>	
1.3.1. – Filosofía de operación de un destilador.....	33
1.3.2. – Destilador por lotes y continuo.....	34
1.3.3. – Comparación de las características de los destiladores.....	40
1.3.4. – Variables de diseño del destilador.....	42
1.3.5. – Variables de proceso del destilador.....	43
<b>CAPITULO II. Ingeniería básica</b>	
<b>2.1. – Bases de diseño</b>	
2.1.1. – Condiciones de la alimentación.....	47
2.1.2. – Servicios auxiliares.....	49
2.1.3. – Sistema de seguridad.....	52
2.1.4. – Condiciones climatológicas.....	53
2.1.5. – Bases de diseño de los equipos.....	53
2.1.6. – Bases de diseño eléctrico.....	56
2.1.7. – Bases de diseño de tuberías y accesorios.....	56
2.1.8. – Bases de diseño civil.....	56
2.1.9. – Bases de diseño de instrumentos.....	57



<b>2.2. – Criterios de diseño</b>	
2.2.1. – Criterios de diseño general.....	57
2.2.2. – Criterios sobrediseño.....	58
2.2.3. – Criterios de los equipos.....	58
2.2.4. – Criterios de condiciones de operación.....	68
2.2.5. – Criterios básicos del proceso.....	69
<b>2.3. – Descripción del proceso</b>	
2.3.1. – Etapa de tratamiento de la materia prima.....	69
2.3.2. – Etapa de destilación por arrastre de vapor.....	70
2.3.3. – Etapa de almacenamiento.....	70
<b>2.4. – Balance de materia y energía</b>	
2.4.1. – Base de cálculo.....	72
2.4.2. – Balance de servicios auxiliares.....	73
2.4.2.1. – Vapor.....	73
2.4.2.2. – Agua de enfriamiento.....	74
2.4.3. – Balance en el destilador.....	75
2.4.4. – Balance en el tanque separador (vaso florentino) .....	76
2.4.5. – Balance en el deshidratador (vaso precipitado) .....	77
2.4.6. – Balance en el tanque de almacenamiento de agua oleosa.....	78
2.4.7. – Balance en el tanque de almacenamiento del aceite esencial.....	78
<b>2.5. – Lista de equipo.....</b>	<b>79</b>
<b>CAPITULO III. Diseño y cálculos de los equipos</b>	
<b>3.1. – Destilador continuo</b>	
3.1.1. – Especificación y diseño de tuberías de las corrientes principales del destilador.....	81
3.1.2. – Tapas y bridas.....	87
3.1.3. – Eje giratorio con mallas (platos) .....	89
3.1.4. – Sello mecánico del eje giratorio.....	95
3.1.5. – Tolva con tornillo sinfn.....	96
3.1.6. – Especificación y selección de la válvula rotativa .....	100
<b>3.2. – Diseño del condensador – enfriador.....</b>	<b>101</b>
<b>3.3. – Diseño del vaso florentino.....</b>	<b>112</b>
<b>3.4. – Diseño del desecador.....</b>	<b>114</b>

<b>3.5. – Diseño del tanque de almacenamiento del aceite esencial.....</b>	<b>116</b>
<b>3.6. – Diseño del tanque de almacenamiento del agua oleosa.....</b>	<b>117</b>
<b>CAPITULO IV Evaluación económica</b>	
<b>4.1. – Estudio de mercado</b>	
4.1.1. – Mercado internacional de los aceites esenciales.....	119
4.1.1.1. – Óptica desde el mercado importador.....	120
4.1.1.2. – Ajuste para la exportación.....	120
4.1.1.3. – Rendimiento de los aceites esenciales y los costos de venta.....	121
4.1.1.4. – Situación actual de la exportación de los aceites esenciales.....	122
4.1.1.5. – Estudios económicos del plantío de orégano y obtención del aceite esencial, en Argentina.....	124
4.1.2. – La exportación del orégano mexicano.....	125
4.1.3. – Centros de consumo y producción del aceite esencial del orégano mexicano.....	126
4.1.4. – Demanda en los centros de consumo.....	126
4.1.5. – Oferta, distribución y comercialización en México.....	127
4.1.6. – Costos del aceite esencial.....	128
<b>4.2. – Estudio de factibilidad económica</b>	
<b>4.2.1. – Estimación de inversión fija</b>	
4.2.1.1. – Terreno y obra civil.....	129
4.2.1.2. – Costos de los equipos.....	129
4.2.1.3. – Laboratorio de control de calidad.....	130
4.2.1.4. – Servicios auxiliares.....	130
4.2.1.4.1. – Costos por servicio auxiliar comercialmente en el año 2003.....	130
4.2.1.4.2. – Consumo de servicio por Kg de aceite esencial producido...131	
<b>4.2.2. – Estimación de capital de trabajo.....</b>	<b>132</b>
<b>4.2.3. – Egresos totales</b>	
4.2.3.1. – Materia prima.....	135
4.2.3.2. – Aceite esencial.....	136
4.2.3.3. – Trabajo y supervisión.....	136
4.2.3.4. – Mantenimiento y refacciones.....	137
4.2.3.5. – Suministro de operación para el mantenimiento.....	137
4.2.3.6. – Valor de la producción.....	137
4.2.3.7. – Costos fijos de la inversión.....	138
4.2.3.7.1. – Amortización y depreciación.....	138
4.2.3.7.2. – Impuesto sobre la propiedad.....	138

4.2.3.7.3. – Seguro para la planta.....	138
4.2.3.8. – Cargos fijos de operación.....	139
4.2.3.9. – Gastos generales.....	139
4.2.3.9.1. – Administración.....	139
4.2.3.9.2. – Distribución y venta.....	139
4.2.3.9.2.1. – Almacenaje y envasado.....	139
<b>4.2.4. – Precio de venta.....</b>	<b>139</b>
<b>4.2.5. – Resultados</b>	
4.2.5.1. – Presupuestos de egresos totales.....	140
4.2.5.2. – Utilidad neta.....	140
4.2.5.3. – Período de recuperación.....	141
4.2.5.4. – Índice de liquidación.....	141
4.2.5.5. – Índice de rotación de capital.....	141
4.2.5.6. – Margen de utilidad.....	141
4.2.5.7. – Rentabilidad sobre inversión (% de inversión).....	141
4.2.5.8. – Costo del equipo.....	142
4.2.5.9. – Costo de producción.....	142
4.2.5.10. – Gasto de operación.....	143
4.2.5.11. – Gastos fijos.....	144
4.2.5.12. – Gastos anuales.....	144
4.2.5.13. – Ganancia anual.....	144
4.2.5.14. – Costo de lo vendido.....	144
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>145</b>
<b>ANEXOS</b>	
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>160</b>

## **INTRODUCCIÓN**

En los procesos de separación y en particular de la obtención de aceites esenciales a partir de plantas se requieren, conocer las variables de operación que controlan el proceso, tanto a escala laboratorio como en el ámbito industrial.

Actualmente en el Laboratorio de Ingeniería Química no existe un equipo de tipo continuo para estudiar este proceso de separación. Por lo se propone diseñar un destilador continuo para extraer aceites esenciales volátiles de hierbas aromáticas y medicinales.

Y más aun se tiene pensado a corto plazo proponer una práctica experimental para complementar las prácticas de procesos de separación I y II para las futuras generaciones de la licenciatura de ingeniería química, química en alimentos y química farmacéutica biológica.

Así pues, el principal objetivo de la tesis es diseñar un destilador piloto de tipo de continuo que permita realizar la destilación de los aceites esenciales por arrastre de vapor en forma continua.

Una vez que se haya decidido construir e instalar el destilador continuo, y desde luego, iniciar su operación la función principal en el laboratorio será:

- Estudiar las diversas especies y variedades de plantas aromáticas que abundan en nuestro país.
- Conocer, mediante la obtención de sus aceites esenciales, cuales son las especies más rentables a escala industrial, con la finalidad de brindar información técnica y científica de la producción primaria y de la obtención de sus aceites esenciales (industria de transformación).

Esto permitirá brindar a las industrias una visión amplia y certeza de las ventajas de los aceites esenciales; ya que en la actualidad es poco frecuente el uso de destiladores continuos debido a que las industrias dedicadas a este ramo, usan quipos de tipo discontinuo, aun de grandes dimensiones, por lo que un diseño nuevo es atractivo desde el punto de vista de su operación.

Ahora bien, el problema principal en el diseño de los equipos de proceso que conforman en una planta piloto de extracción de aceite esencial es en el aspecto mecánico del transporte de la materia prima puesto que las corrientes se encuentran en diversos estados de agregación, como son, por una parte el vegetal sólido seco y por otra parte el vapor saturado; por lo que es parte de los retos a vencer durante su diseño.

La metodología básica para diseñar el destilador consiste en realizar una investigación bibliografía detallada referente a los procesos de obtención de aceites esenciales, y desde luego, hacer hincapié en la destilación por arrastre de vapor.

Posteriormente, se analizará el alcance del proyecto y limitaciones del proceso continuo propuesto planteado, así mismo se hará un análisis económico para evaluar la rentabilidad del proyecto.

Esta metodología propuesta se tomará en cuenta los proyectos anteriores sobre extracción de aceites esenciales (Know-How); así mismo, se identificarán deficiencias tanto en el proceso de extracción como en el diseño del equipo. <sup>(4 y 13)</sup>

El proyecto, en general, proveerá las bases tecnológicas para la construcción de operación continua para la extracción de los diversos productos agrícolas que contengan aceites esenciales que sean susceptibles de extracción a partir de la tecnología por arrastre de vapor.

La materia prima que estará sujeta a estudio como base de diseño en este proyecto es el orégano mexicano (*Lippia graveolens*); ya que se ha hecho un estudio de mercado años atrás y se ha comprobado que abunda en varios estados de la República Mexicana. <sup>(13)</sup>

El desarrollo de esta tesis comprende los siguientes capítulos:

En el **capítulo I** se presenta el estudio y comparación de los diferentes métodos de extracción de aceites esenciales con respecto a la extracción por arrastre de vapor. Además, se hace énfasis de los equipos que constituyen el proceso de extracción de los aceites esenciales por arrastre de vapor y los diseños que existen en la actualidad de los destiladores por lotes y desde luego la descripción física - matemática de la acción del vapor sobre los materiales vegetales. Al final, de este capítulo se hace la comparación de las características de los destiladores (batch y continuo) sus ventajas y desventajas.

En el **capítulo II** se aborda la ingeniería básica del diseño de la planta piloto de extracción de aceite esencial. También se incluyen los siguientes diagramas: de bloques del proceso, diagrama de flujo de proceso (DFP), diagrama de tuberías e instrumentación (DTI), el plano de localización (Plot Plan) e Isométrico.

En el **capítulo III** se propone la metodología de cálculo y los criterios de diseño mecánico de los equipos que constituyen la planta piloto; y se generalizan los resultados en diagramas mecánicos. Y finalmente se establecen las características de cada uno de los equipos en hojas de datos.

**Y en el capítulo IV se hace énfasis en la evaluación económica en donde se analiza la situación actual del mercado de los aceites esenciales; y desde luego, la visión que se tiene de la comercialización (internacional y nacional) del aceite esencial del orégano tomando la consideración en los aspectos del precio, la oferta y la demanda.**

**Posteriormente, se realiza el estudio económico de los costos del diseño de la planta piloto que incluye los aspectos: inversión fija, capital de trabajo, egresos totales y el precio de venta del aceite esencial. A esto nos conlleva determinar que la planta piloto es rentable, y principalmente probar que teniendo las materias primas, el costo de la demanda del producto es satisfactorio y que cumplen bajo los estándares de control de calidad.**

**Por último, se realiza los análisis de resultados obtenidos y se concluye con las perspectivas de este proyecto.**

**CAPITULO I. Fundamentos teóricos****1.1. – Generalidades de los métodos de extracción de aceites esenciales****1.1.1. – Definición de aceite esencial**

Para encontrar una definición que aclare el concepto de aceite esencial debemos tener en cuenta un punto de vista químico, botánico e industrial. Sin embargo ninguna abarca en su totalidad a todas las esencias.

En la bibliografía consultada, una definición abarcativa la define como una parte del metabolismo de un vegetal; compuesto generalmente por terpenos que están asociados o no a otros componentes. La mayoría de los terpenos son volátiles y generan, en conjunto el olor que caracteriza al vegetal.

Cuando se habla de una esencia se está mencionando una mezcla de productos o metabolitos presentes en una proporción variable, que depende de varios factores por ejemplo: el genotipo de material vegetal del que se extrae, el momento de cosecha, el lugar de cultivo, las condiciones en que se desarrolló el cultivo, el método extractivo que se utilizó y la parte de la planta.

Debido a la complejidad de la composición de un aceite esencial, se habla de componentes mayoritarios que generalmente no son más de **23 o 35** en total, que en algunos casos pueden contarse por centenares, como en las esencias de flores (jazmín, rosa, etc.).<sup>(14)</sup>

En muchos casos las notas olfativas características de las esencias están dadas por los componentes minoritarios y no por los mayoritarios. El olor que tiene una planta viva no es el mismo al de su esencia aislada, debido a tres factores:<sup>(4)</sup>

- ❖ La distinta **volatilidad** y **solubilidad** de los componentes. Los componentes con alta volatilidad suelen perderse en los procesos extractivos; además algunos compuestos hidrosolubles quedan retenidos en el agua de extracción si se extraen con ese solvente.
- ❖ El **metabolismo** de la planta no se detiene una vez cosechada la planta. Hasta que se elimina la mayor cantidad de agua, lo que produce la inhibición de los procesos enzimáticos, la planta sigue metabolizando sus componentes. Por eso no es lo mismo el olor de una flor en un pie vivo de una planta que la misma flor ya cortada.
- ❖ La ubicación en los distintos **tejidos** de la planta. La esencia presente en las partes más externas de la planta la podemos oler mientras que la esencia ubicada en las partes más internas no podemos olerlas, mientras que al extraerlas se mezclan y producen un aroma distinto del detectado en la planta viva.

De otra forma, se puede decir que; un aceite esencial, por definición, es un producto volátil y por lo tanto de uso extemporáneo, que representa una fracción de un tejido vegetal y de composición extremadamente compleja, con una enorme variabilidad en lo que se refieren a su calidad, propiedades y estabilidad, cualidades comunes a muchos productos naturales.

Los aceites esenciales son líquidos oleosos, éteres insolubles en agua y miscibles en alcohol en diversas proporciones. Se puede decir que son mezclas de hidrocarburos (terpenos y sesquiterpenos) que actúan como soporte de los compuestos oxigenados (alcoholes, ésteres, aldehído, cetonas, fenoles, etc.) y un por ciento pequeño de sólidos no volátiles o viscosos (parafinas, ceras, etc.).

Los compuestos oxigenados son los responsables del olor característico de los aceites esenciales, aunque los terpenos y sesquiterpenos también contribuyen en algún grado al olor total y sabor del aceite.

Las esencias que se ofrecen en el mercado son sometidas a una serie de procesos industriales con el objeto de mejorar sus características organolépticas, concentrar sus componentes útiles o simplemente homogeneizar su calidad.

Estos aceites tienen volatilidad suficiente para destilar intactos en la mayor parte de los casos y también son volátiles con vapor. Varían desde color amarillo o café hasta incoloros. Los índices de refracción de los aceites esenciales son altos. Con un promedio de 1.5, estos aceites muestran una gran variedad de la rotación óptica. <sup>(6)</sup>

La volatilidad y el olor de los aceites esenciales, constituyen los elementos de la química que tienen un papel muy importante en la polinización y en la dispersión de diásporas. A menudo constituyen un medio de defensa frente a los depredadores (microorganismos, hongos, insectos, herbívoros), y a veces parecen tener una acción fuerte sobre las germinaciones; estas acciones se facilitan por la localización periférica de los elementos secretores.

Los aceites esenciales se obtienen de la extracción de las plantas, tienen características que los hacen conocerse como tales, hay varios *métodos* para obtenerse, *el de arrastre de vapor, el método de microondas y supercríticos*. Cuando un aceite esencial tiene constituyentes *terpénicos* la *desterpenación* es una solución para tenerlos lo más puros que se pueda y de mayor calidad. (Ver Anexo I)

En su mayoría están constituidos por terpenos, que son hidrocarburos cuya fórmula es  $C_{10}H_{16}$ . Los terpenos más comunes son en todos los aceites. 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 deterpenada. <sup>(4)</sup> 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, alimentos y cosméticos.<sup>(14)</sup>

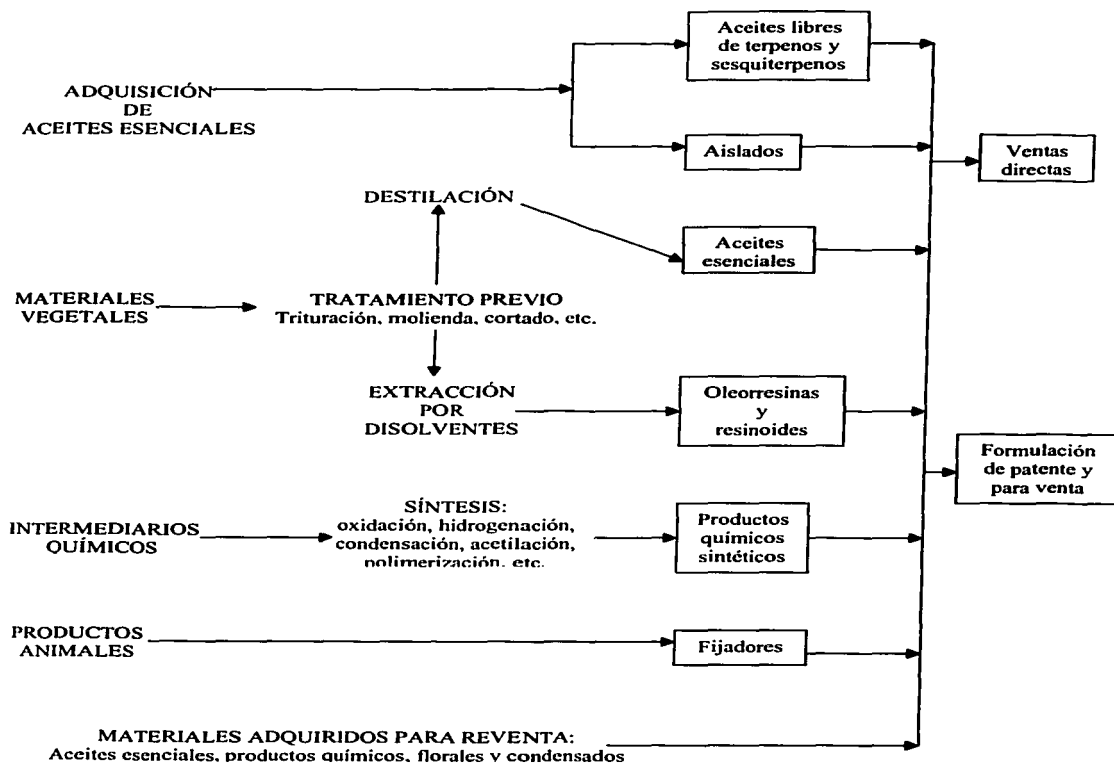
Por otra parte, las propiedades de los aceites esenciales mencionaremos el poder antiséptico que se manifiesta frente a bacterias patógenas variadas e incluye ciertas cepas antibiorresistentes. Algunos aceites esenciales, también son activos frente a hongos inferiores responsables de micosis e incluso, frente a levaduras. Las especies más antisépticas son: ajedra, canela, eucalipto, clavo, orégano y tomillo. Constituyentes como el citral, geraniol, carvacrol y linanol son más antisépticas que el fenol.

Y cuando son utilizados los aceites esenciales como vía externa para la piel humana provocan aumento de la microcirculación, rubefacción importante, sensación de calor y, en ciertos casos, ligera acción anestésica local.

Y si los aceites esenciales son administrados por vía interna desencadenan fenómenos de irritación a diferentes niveles. De manera análoga, algunos pueden producir a nivel renal vaso dilatación y un efecto diurético.<sup>(14)</sup>

La toxicidad de aceites esenciales con cetonas monoterpénicas son psicoanalépticos que ingeridos a dosis demasiado elevadas desencadenan crisis epileptiformes y tetaniformes, trastornos psíquicos y sensoriales. La intoxicación está dominada por crisis epileptiformes.

A continuación se muestra el diagrama de flujo para la obtención de los aceites esenciales para perfumes y sabores:<sup>(6)</sup>



**1.1.1.1. – Usos de los aceites esenciales<sup>(3)</sup>*****Industria Alimentaria***

Se emplean para condimentar carnes preparadas, embutidos, sopas, helados, queso, etc. Los aceites más empleados por esta industria son: cilantro, naranja y menta, entre otros. También son utilizados en la preparación de bebidas alcohólicas y no alcohólicas, especialmente refrescos. Con respecto a esta utilidad podemos citar las esencias extraídas del naranjo, limón, mentas e hinojos, entre otros.

Los aceites esenciales son utilizados por la industria alimenticia teniendo en cuenta su aporte de sabor y aroma. Estas esencias también se emplean en la producción de caramelos, chocolates y otras golosinas.

***Industria Farmacéutica***

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

***Industria de Cosméticos***

También por las industrias perfumería también conocidas como industrias de fragancias. Esta industria emplea los aceites esenciales en la producción de cosméticos, jabones, colonias, perfumes y maquillaje. En este rubro se pueden citar los aceites de geranio, lavanda, rosas y pachouli.

En un sentido más amplio se debe mencionar a la industria de sabores y fragancias que aprovechan las características organolépticas de las esencias para su uso como sustancias naturales, o para la elaboración de productos sintéticos o de semi-síntesis.

***Industria de productos de uso veterinario***

Esta industria emplea el aceite esencial de paico muy apetecido por su contenido de peróxido orgánico y vermífugo.

***Desodorantes Industriales***

Actualmente se ha desarrollado el uso de esencias para disimular el olor desagradable de algunos productos industriales como el caucho, los plásticos y las pinturas. En el caso de la limpieza de los pisos, baños, etc.; por ejemplo, el aceite esencial de la naranja es el más empleado.

**1.1.2. – Métodos de extracción de aceites esenciales**

Los aceites esenciales suelen obtenerse dependiendo de la condición del tipo de material vegetal. Y los métodos de extracción más empleados son: (6, 9, 11, 14 y 15)

**◆ Destilación**

**Hidrodestilación:** El material se pone en contacto directo con agua hirviendo por la aplicación de calor a fuego directo, con chaqueta de vapor o serpentín de vapor. <sup>(11)</sup> Lo que caracteriza a este método es que el agua está en contacto directo con el material permitiendo que exista un espacio adecuado para el vapor, evitando acarreos parciales de la carga.

En este método es máxima la acción química del agua sobre el material (hidrólisis y oxidaciones) y por ello se utiliza cuando la esencia a obtener procede de glucósidos inodoros. También resulta útil si el material tiende a apelmazarse mucho.

El material deberá estar muy dividido y cubierto totalmente de agua siendo lo mejor hacer que ocupe 10 a 15 cm de altura y agregar agua hasta que sobrepase el material en camas de 5 cm. Suele trabajarse a la presión atmosférica teniendo mucho cuidado para que el material no se queme y el agua no se agote. <sup>(14)</sup>

La velocidad de destilación es baja, por lo que se debe poner el agua ya caliente para evitar retrasos de tiempo y aumento de la hidrólisis. La calidad del producto obtenido depende mucho del cuidado seguido de la operación especialmente si se usa fuego directo. El agua destilada debe de condensarse en algunos casos.

Esta velocidad se debe adaptar al equipo utilizado, procurando que esta sea lo más elevada posible, pues únicamente de esta manera se puede garantizar una penetración profunda del vapor en las hojas.

Una vez que la carga haya alcanzado su temperatura de ebullición a la presión del recipiente, comenzarán aparecer gotas de condensado en los tubos del condensador y fluirá directamente al separador, llenado previamente con agua. Es posible controlar la velocidad de la destilación mediante la intensidad de la flama, por la presión dentro de la tubería del vapor de calentamiento ó mediante el flujo del vapor de entrada.

Este método presenta la gran ventaja de que el equipo es portátil y puede ser montada en el lugar de la plantación, lo que es ideal en países cuya infraestructura no permite el transporte rápido de las plantas del lugar de origen a la fábrica, además de que su costo es bajo.

En general, la **hidrodestilación**, es lenta debido a:<sup>(13)</sup>

- a) La **difusión** del aceite esencial, desde las estructuras secretoras hacia el medio acuoso, no es un fenómeno rápido.
- b) La **separación** del aceite esencial en el decantador requiere **flujo lento** a moderado para alcanzar el **equilibrio**.
- c) Las pérdidas de la fracción más volátil en el sistema de condensación, podrán ser reducidas lo más posible, cuando se pueda realizar la destilación a una velocidad reducida.
- d) Si el calor suministrado dentro del alambique es también mayor, un sobrecalentamiento puede ocurrir, induciendo al fenómeno de la **polimerización, degradación o arrastre de partículas sólidas**.
- e) El aceite esencial experimenta por varias horas la **acción química del calor y el agua**. Esta acción es mayor en el caso de aromas donde es más difícil de extraer como en el caso de semillas y partes leñosas de las plantas. Esta acción es menor en los pétalos y hojas delgadas.
- f) Con este proceso solo es posible recobrar una fracción liposoluble del aceite esencial, en donde, las sustancias hidrosolubles del aceite esencial son pérdidas en el caso de un destilador con reflujo.
- g) Los **ciclos de operación** son largos.

**Destilación con agua y vapor:** cuando se utiliza éste método el material debe soportarse en un plato perforado a una distancia conveniente del fondo del destilador. La parte inferior del destilador se llena con agua a un nivel menor del plato perforado. El material solamente debe tener contacto con el vapor y nunca con el agua hirviendo. El vapor debe ser siempre saturado.

El material debe tener tamaño uniforme pero no habrá de molerse demasiado, dando buen resultado la granulación. Trabaja cerca de los 100°C, a presión atmosférica y el rendimiento en aceite esencial es bueno a no ser que ocurra adelgazamiento. Es posible que refluyan al fondo las disoluciones de producto soluble en agua que, en contacto con las paredes calientes se pueden quemar.<sup>(13)</sup>

Cuando se carga el material a baja temperatura se produce condensación sobre él con mucha frecuencia, y esta humedad aglomera el material provocando una cierta dificultad; y se luchan contra ello intercalando discos perforados.

Y cuando se usa fuego directo, hay que tener precaución de asegurarse que únicamente se calienta el fondo del tanque, la sección que contiene el agua bajo la canasta de la carga vegetal. Esta carga en sí no está en contacto con el agua hirviendo, solamente entra en contacto con la carga el vapor.

Hay que tener cuidado con la preparación del material a procesar pues si el corte es demasiado fino tenderá a formar paquetes y a ofrecer más resistencia al paso del vapor, y si es muy grande se formará canales que ofrecerá nula resistencia al paso del vapor, mismo que se escapará del destilador sin haber entrado en contacto con las partes íntimas de la planta.<sup>(14)</sup>

Este método sólo es aplicable si cumplen con el tamaño uniforme del material vegetal a destilar y espacios internos suficientes para el vapor y tenga buena distribución del material en la retorta.<sup>(11)</sup> Y es mejor método que la hidrodestilación puesto que requiere menos combustible, menor tiempo y da

mejores aceites con altas velocidades de vaporización y se obtiene menos productos de descomposición (hidrólisis de ésteres, polimerización, resinificación, etc.).

En cuanto a las desventajas: no siempre es posible agotar al vegetal de su aceite esencial, lo que traerá como consecuencia un rendimiento menor; la destilación es incompleta, pues existen algunos constituyentes del mismo aceite que son solubles en agua y es prácticamente imposible su recuperación posterior. <sup>(9)</sup>

**Destilación con vapor directo:** este método es similar a los otros dos, excepto en la adición de agua en el fondo del destilador; se utiliza vapor vivo y frecuentemente a presiones más altas que la atmosférica, se introduce por medio de serpentines perforados colocados debajo del material que está soportado en un plato perforado. <sup>(9)</sup> El mayor inconveniente del método se basa en que cuando están secas las membranas celulares no son muy permeables y el aceite esencial no puede salir al exterior.

El inconveniente en este sistema son los polvos, por su tendencia al adelgazamiento, es decir, a formar placas en forma de paquetes sólidas; va muy bien para semillas, maderas y raíces, cuyos componentes de alto punto de ebullición se arrastran así fácilmente. <sup>(11)</sup> Una de sus mayores ventajas es que se puede trabajar bajo las condiciones deseadas de presión y de temperatura. El rendimiento puede ser bueno, especialmente si el material ha sufrido una trituración apropiada y la calidad obtenida es buena.

Los vapores son enriquecidos con ingredientes muy fijos del aceite, ya que la presión del aceite esencial incrementa más rápido que la presión de vapor del agua cuando aumenta la temperatura. Esto repercute en la duración de la destilación de una cantidad de materia prima, en el cual el tiempo disminuye.

De cualquier modo, como la destilación es efectuada a la temperatura mayor de la disolución, siempre se logra un resultado próximo en el resultado en el costo de la calidad del producto, desde efectos de polimerización o degradación térmica, que son notificadas cerca de los 100°C. <sup>(11)</sup>

Para efectuar esta destilación es necesario contar con una caldera capaz de generar vapor a alta presión e inyectarlo a la carga que se encuentra dentro del destilador. <sup>(6)</sup> La mayoría de las plantas aromáticas se destilan con vapor vivo directo a presión atmosférica, ya que el método es superior a los dos anteriores en cuanto al costo, velocidad de destilación y capacidad de producción.

Durante la destilación de ciertos componentes de las esencias tienden a hidrolizarse, mientras que otros se descomponen a elevada temperatura. Es por eso que la destilación por vapor directo es ideal dado que permite la máxima difusión posible del vapor de agua a través de las membranas vegetales, reduciendo al mínimo la hidrólisis y la descomposición.

Cuando haya pasado un tiempo considerable, el cual la carga en la retorta se ha calentado y la condensación ha tenido lugar, es siempre posible introducir vapor ligeramente sobrecalentado. En algunos casos este sobrecalentamiento puede ser factible para poder aumentar la velocidad de formación del aceite.

Hay que tomar en cuenta que la temperatura de la carga no se mantendrá en el punto de ebullición del agua y se elevará a la temperatura del vapor sobrecalentado; y que el *vapor sobrecalentado* tiene tendencia a *secar la carga y reducir el grado de recuperación de aceite esencial*.

Esto se debe a que, como se mencionó antes una buena parte del aceite esencial se recupera después de la difusión y esta necesita de la presencia de una cierta cantidad de agua caliente. Puede verse muy afectada si la carga vegetal esta seca.

Mientras más alta sea la presión de la caldera, más seco estará el material durante la destilación.<sup>(9)</sup> Como el vapor de alta presión causa descomposición es recomendable empezar el proceso con baja presión e ir aumentando conforme avanza la operación.

**Destilación por arrastre de vapor.** En la destilación por arrastre con vapor se hace pasar una corriente de vapor a través de la mezcla de reacción y los componentes que son solubles en el vapor son separados. <sup>(15)</sup> La práctica general es primero reducir el material de la planta que se procesa a un tamaño conveniente para exponer tanta área como sea posible al vapor.

Gran parte de la destilación de aceites esenciales se realiza en el sitio de recolección en *alambiques* muy toscos. Estos alambiques son tambores de aceite o cazuelas de cobre transformados y equipados con tubos condensadores que pasan a través de una tubería de agua.

Los aceites crudos obtenidos de alambiques algunas veces se tratan nuevamente antes de su uso por rectificación al vacío, por congelación fraccionada, por lavados con hidróxido de potasio para eliminar ácidos libres y compuestos fenólicos, para eliminar aldehídos y cetonas no deseados a través de la formación de compuestos de adición de sulfito por formación de productos insolubles específicos, como la reacción de cloruro de calcio con geraniol. <sup>(14)</sup>

La capa gaseosa del condensador con frecuencia contienen en solución componentes valiosos como es el caso de los aceites de rosas y de azahar, por lo tanto se bombea nuevamente hacia el alambique como suministro parcial de agua necesaria.

Como regla general en los cuatro casos, la carga debe ser completa el mismo día para evitar al máximo la hidrólisis, descomposición, resinsificación; y desde luego, pérdida del aceite. Es conveniente remarcar que en cualquier de los métodos, solamente se vaporizarán aquellas cantidades de aceite esencial con los cuales el vapor ha entrado en contacto. Cualquier gota de aceite en el tejido de la planta debe ser extraída de las glándulas y traída a la superficie de la misma por ósmosis.

Finalmente, los principales efectos que acompañan a estos tres tipos de destilación son: <sup>(14)</sup>

- a) **Difusión** de los aceites esenciales y del agua a través de las membranas de las plantas, llamándose a éste fenómeno *hidrodifusión*.
- b) **Hidrólisis** de ciertos componentes de los aceites esenciales.
- c) **Descomposición** ocasionado por el calor.

Y dentro los principios para la producción de aceites esenciales de alta calidad son: <sup>(4)</sup>

1. Mantener la temperatura lo más bajo posible, no olvidar sin embargo, que la velocidad de producción está determinada por la temperatura.
2. En el caso de destilación por medio de vapor, cuidar que haya la menor cantidad posible de agua en contacto con el material, considerando que es necesario que exista un poco, para que la difusión se lleve a cabo.
3. El material debe ser uniforme cargado, y el molino debe ser fino, aunque en el caso de que use vapor tendería a canalizarse y reduciría la eficiencia de la extracción debido a un pobre contacto entre el vapor y la carga.
4. Y cuando la destilación se realiza a presión reducida es simplemente abatir la temperatura de ebullición de los materiales, evitando así, la descomposición de los aceites esenciales.

#### ◆ **Destilación al vacío**

La destilación fraccionada bajo condiciones de la presión reducida se limita generalmente a la concentración de aceites esenciales más bien que a la captura. En las presiones de funcionamiento bajas el punto que hierve de muchos de los aceites esenciales se convierte en una consideración importante. A mayor presión al vacío se aplica, mayor es la pérdida de los componentes más volátiles.

La fruta cítrica, por ejemplo, que contienen altos porcentajes del limoneno y contribuyen poco a las características del sabor del aceite, puede ser concentrada bajo vacío separado una vez de la cáscara sin efectos perjudiciales. <sup>(14)</sup>

El material que resulta entonces se destila y/o se extrae más lejos para producir un producto altamente concentrado que contiene solamente los constituyentes más deseables de la condimentación. Bajo estas condiciones de la presión reducida, las temperaturas totales de la destilación son guardadas para prevenir daño por la descomposición.

#### ◆ **Expresión**

Este método es utilizado para aquellos frutos ricos en aceites esenciales que posee su corteza, por ejemplo, naranja, limón, lima, etc. Estos frutos son lavados, se colocan en medios de rodillos, se rocía agua y el aceite es finalmente obtenido por medio de centrifugación. <sup>(14)</sup>

#### ◆ **Enfloración**

Es la adsorción de los aceites esenciales de flores en grasa fría. Este proceso es empleado aquéllos materiales que su aroma son destruido aún con calor moderado. El aroma adquirido por la grasa es extraído con un solvente (alcohol) para obtener el aceite esencial, si se desea concentrar el perfume se evapora el alcohol a presión reducida. El contenido final es de consistencia semisólida por el contenido de grasa y de color oscuro. <sup>(3)</sup> Y la grasa saturada con el aceite esencial y mezclado homogéneamente se le llama pomada.



**◆ Maceración**

Consiste en dejar en contacto por un tiempo determinado y a la temperatura ambiente, el material vegetal con un disolvente para que éste penetre bien la estructura celular y se disuelvan los solubles. Por ejemplo, el aceite que contienen las flores se extrae por su inmersión en grasa caliente, hasta lograr su saturación con varias cargas de flores frescas. <sup>(14)</sup> Esta grasa se llama pomada. Esta pomada es tratada con alcohol para extraer el aceite esencial como en el proceso anterior.

**◆ Percolación**

El material a destilar es dividido y empacado en capas en un percolador y es sometido a la acción de porciones frescas y de un disolvente, de tal modo que dicho líquido atraviesa las capas del material; sometido por su propio peso y separa los principales solubles. <sup>(3)</sup> Y se puede realizar en frío o caliente.

**◆ Con solventes volátiles**

La elección de un disolvente de extracción, dependerá de una serie de parámetros técnicos y económicos: la selectividad, la temperatura de ebullición, el poder de penetración de las paredes celulares y la miscibilidad con el agua; la facilidad de reciclaje y el precio del costo; y la seguridad de manipulación de los disolventes escogidos en la medida que sea posible que no sean tóxicos e inflamables.

Los disolventes más utilizados son los hidrocarburos alifáticos (pentano, hexano), hidrocarburos aromáticos (benceno, tolueno), éter de petróleo (pto. ebullición 30 a 70 °C) y bencol (pto. ebullición inferior a 130 °C). Para obtención de resinoides se utilizan alcoholes o disolventes carbonílicos. <sup>(13)</sup>

Las disoluciones obtenidas se decantan o centrifugan y se concentran, el disolvente recuperado se recicla. Al final de la operación el disolvente que permanece en el residuo, se recupera por inyección de vapor de agua. <sup>(7)</sup>

El extracto que resulta, una combinación del aceite esencial, de las ceras, de las resinas, etc., se llama una oleoresina. El retiro del aceite esencial contenido dentro de este extracto se puede lograr por la destilación, extracción líquida, o una reacción química.

**◆ Extracción continua**

Son aquellos en los cuales una misma cantidad de un determinado disolvente actúa continuamente sobre el material de la extracción, a un proceso de evaporación – condensación. Para la aplicación de éste método se utilizan aparatos extractores como el Soxhlet. <sup>(11)</sup>

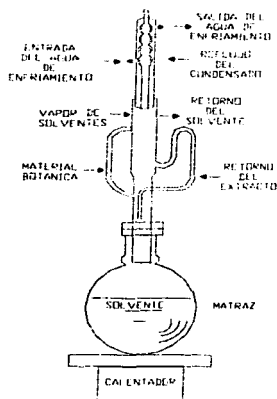


Figura 1

Donde el material de la extracción se coloca en la cámara de extracción, directamente o en un dispositivo como cartuchos de papel o grasa y un matraz de bola se colocan el disolvente apropiado. Estas cámaras se encuentran comunicadas entre sí por dos tubos laterales, uno de ellos con forma de U.<sup>(4)</sup>

El disolvente se calienta a ebullición mediante una fuente de calor apropiada, cuando sus vapores ascienden por una de los tubos laterales, se condensan en el refrigerante conectado a la cámara de extracción y cae sobre el material vegetal. (Ver figura 1)

Al nivelarse el volumen del extractor en la cámara de extracción con el volumen del mismo en el tubo comunicante, sifonea y cae en el matraz de bola. Nuevamente el disolvente se evapora, dejando los productos extraídos en el matraz de bola.

#### ♦ Con fluidos supercríticos

La técnica extracción con fluidos supercríticos ó extracción supercrítica, esta basada en el uso, como agente separador, de un fluido supercrítico, este fluido es una sustancia que se encuentra a unas condiciones operativas de presión y temperatura por encima de su punto crítico.<sup>(4)</sup>

Los fluidos supercríticos presentan grandes ventajas frente a los disolventes líquidos, ya que: las eficacias alcanzadas en las separaciones han de ser apreciablemente mayores, puesto que sus

propiedades de transporte son mejores y pueden separarse totalmente de forma sencilla de los productos obtenidos, esto, simplemente modificando la presión o la temperatura, hasta el extremo, si es necesario, de que el fluido supercrítico pase al estado gaseoso.

Las principales características utilizando fluidos supercríticos como disolventes son: uso de temperatura moderadas, lo cual permite la recuperación de productos naturales; gran poder disolvente junto con una enorme capacidad de penetración en los sólidos, lo que permite el agotamiento rápido y prácticamente todos los sólidos son extraíbles; amplio margen de utilización de cada disolvente en particular, ya que variando las condiciones de operación (presión y temperatura) se puede modificar su selectividad y capacidad. <sup>(5)</sup>

Este hecho permite, además, que se pueda realizar el fraccionamiento de solutos múltiples durante la separación solutos – fluidos super críticos; amplios márgenes de polaridad y tamaño molecular de los disolventes utilizables en la extracción supercrítica es mucho mayor que en la extracción con disolventes líquidos.

Los fluidos supercríticos más utilizados son el propano o el  $CO_2$ , sobre todo éste último, por ser abundante, barato, no tóxico no corrosivo y no inflamable. <sup>(13)</sup>

#### ◆ **Por microondas**

El proceso por microondas se considera la mejor innovación sobre los métodos tradicionales de extracción usados en la industria de saborizantes y fragancias. Ahorra tiempo y energía, además de que requiere volúmenes de solventes menores, ya que mejora la pureza y selectividad del producto.

En procesos tradicionales, la masa del sólido entero y del solvente debe ser calentado juntos, por lo tanto, se requieren enormes cantidades de energía. Mientras que en el proceso de microondas se basa en calentar los restos de humedad de la planta, en este proceso se requiere muy poca energía para calentar el solvente y el equipo de extracción.

El proceso de microondas requiere cerca del 90% menos de energía que los métodos tradicionales. Esto se logra usando solventes transparentes a las microondas o solventes que no absorben fácilmente microondas y permanecen fríos. El calentamiento local del agua residual dentro del material vegetal causa un cambio de fase de líquido a gas. <sup>(4)</sup>

Esto rompe la estructura física del material vegetal liberado su esencia en el solvente que esta a su alrededor, que esta relativamente frío. Debido a que los aceites son enfriados inmediatamente por el solvente, estos no se someten a una degradación por calentamiento. Otros beneficios del proceso son que incluye el uso de menos solvente, lo que reduce pérdidas y mejora la selectividad del producto.

En el caso de material vegetal es posible romper selectivamente algunos sistemas en vez de otros, y así se pueden desarrollar esquemas de extracción múltiple lo que beneficia la extracción selectiva del contenido de dichos sistemas.

El proceso de microondas tiene algunas ventajas sobre el proceso de fluidos supercríticos, usa la difusión de los fluidos supercríticos sobre los fluidos convencionales, para mejorar los rangos de extracción y la selectividad de extracción. Comparando al fluido supercrítico con microondas, es que el equipo de microondas tiene menor costo y mejora la economía de la reacción. <sup>(4)</sup>

Además los productos de valor agregado de alta calidad: pureza, calor, etc., son los mejores candidatos para esta tecnología. Finalmente los productores que buscan desarrollar nuevos productos están sumamente interesados en mejorar la selectividad de extracción con el proceso de microondas.

En la actualidad se tiene pensado realizar pruebas y extracciones a escala planta piloto. En el laboratorio se usa para experimentos de búsqueda que determinan la viabilidad de las aplicaciones propuestas en los aparatos de mayor escala. Para experimentar con rangos mayores de alimentación, por arriba de 500 Kg/h; y los aparatos de menor escala son capaces de procesar 100 Kg/h. <sup>(4)</sup>

Debe enfatizarse que esta tecnología tiene el potencial, no sólo para ser líder en la obtención de mejores productos a menores costos, si no que también contribuir en una escala global al hacer más limpio el proceso industrial, generando menores desperdicios y emitiendo menos gases de efecto de invernadero.

### **1.2. – Destilación por arrastre de vapor**

En la destilación por arrastre con vapor se hace pasar una corriente de vapor a través de la mezcla de reacción y los componentes que son solubles en el vapor son separados. <sup>(15)</sup>Entre las sustancias que se pueden separar por esta técnica se pueden citar los aceites esenciales.

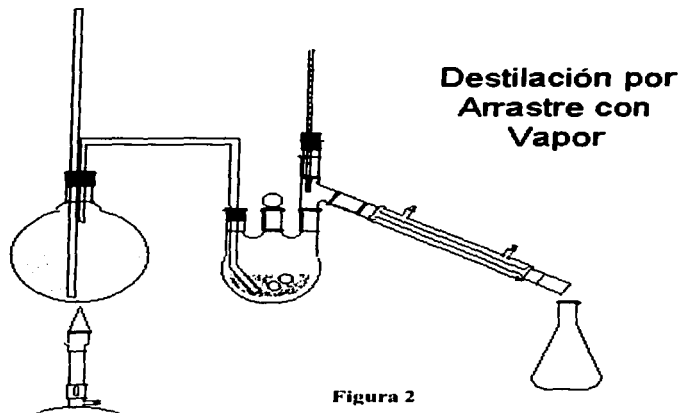
La práctica general está primera reducir el material de la planta que se procesa a un tamaño conveniente para exponer tanta área como sea posible al vapor. (Ver la fig.2)

Se selecciona este proceso cuando se trata de vegetales frescos. Se cosecha la parte de interés del vegetal y se coloca en la cámara extractora. No es necesario en este caso hacer una extracción previa porque el material no ha perdido la humedad natural.

En el matraz se coloca agua que se calienta hasta ebullición, el vapor atraviesa por la cámara arrastrando las esencias, un refrigerante condensa el agua y la esencia que se recoge en las ramas colectores.

Siendo el aceite esencial poco soluble en agua éste se separa formando una capa oleosa sobre el agua a su vez que el agua contiene una porción disuelta de la esencia y se conoce como "agua aromática".

Hoy en la actualidad, en la industria farmacéutica utilizan aparatos de destilación por lotes (batch) por arrastre de vapor de agua y han comprobado que se obtiene un rendimiento de 0.5 a 1 mL de esencia de un lote de entre 100 a 150 g de planta fresca.

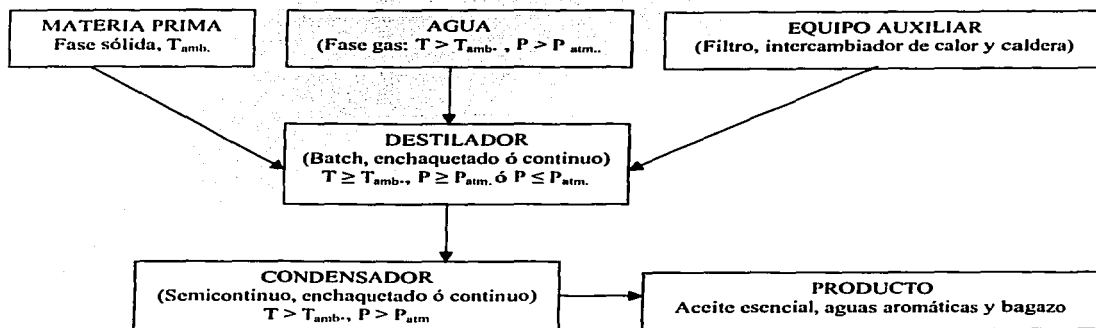


Y cuando éste es muy bajo se agrega éter etílico a las ramas colectores para retener la esencia y simplificar la separación.<sup>(3)</sup>

En las modernas plantas industriales poseen muchas **ventajas** sobre las antiguas torres de destilaciones en las que con frecuencia se producía la carbonización y descomposición de la esencia.

Así pues, las torres de destilaciones para aceites esenciales, la materia prima esta contenida en cestos o en bandejas perforadas.

En el siguiente esquema se ejemplifica en forma general el proceso de la destilación por arrastre de vapor:



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. La materia prima se pasan al destilador con previo tratamiento, lo más pronto posible desde su recolección. El destilado, compuesto de una mezcla de esencia y agua, se condensa por refrigeración y se recoge en un recipiente adecuado (recipiente con un tubo de salida cerca de la base y otro cerca del borde). Posteriormente, se separa en dos capas, eliminándose el aceite esencial por la tubería superior y el agua por la inferior. La capa gaseosa, que esta saturada de esencia, puede volver al destilador o constituir un producto comercial.

### 1.2.1. – Expresión matemática del proceso de destilación por arrastre de vapor

Se define la destilación como la separación de dos ó más sustancias, basadas en las diferencias entre sus presiones de vapor.<sup>(2)</sup> Dichas sustancias pueden ser total, parcialmente miscibles y hasta inmiscibles (existen líquidos que son miscibles antes de hervir, y otros en que la ebullición ocurre antes de que la miscibilidad sea completa), comportándose sus presiones parciales de vapor en uno y otro caso de forma diferente.

Si consideramos un sistema heterogéneo formado por dos líquidos no miscibles, tales como el agua y un aceite esencial, los vapores emitidos por cada uno de ellos no se influyen, al no presentar afinidades mutuas sus moléculas gaseosas y, por tanto, sus presiones de vapor se adicionan totalmente; al ir calentando dicho sistema heterogéneo llegará un momento en el cual las presiones de vapor igualen a la presión ejercida sobre la superficie libre de ambos líquidos y entonces el sistema entra en ebullición.

Los vapores saturados de los líquidos inmiscibles siguen la **ley de Dalton** sobre las presiones parciales (cuando dos ó más vapores, que no reaccionan entre si, se mezclan a temperatura constante, cada gas ejerce la misma presión que si estuviera solo y la suma de las presiones de cada uno, es igual a la presión total del sistema); cuya expresión matemática es la siguiente: <sup>(9)</sup>

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3 \dots P_n \quad (\text{A})$$

En donde  $P_t$  es la presión total y  $P_1$  hasta  $P_n$  son las presiones parciales de los componentes. <sup>(2)</sup>

Como consecuencia de lo expuesto, todo líquido no miscible o miscible en cantidades muy pequeñas con el agua puede ser arrastrado por esta. La temperatura a la cual hierve la mezcla, será inferior al punto de ebullición del componente más volátil, y si uno de los líquidos es agua, trabajando a la presión atmosférica, se podrá separar un componente de mayor punto de ebullición que el del agua a una temperatura inferior a 100 °C.

Cuando la suma de las presiones parciales de vapor de un sistema heterogéneo se iguala a la presión ejercida sobre su superficie libre, el sistema entra en ebullición; permaneciendo constante hasta que uno de los componentes ha desaparecido completamente.

La proporción de los componentes del vapor que destila, depende solamente de la temperatura a que el sistema se encuentra, ya que la presión de vapor total es independiente de las cantidades relativas de los dos líquidos, de forma que la ebullición continuará inalteradamente mientras se encuentran presentes ambos componentes.

Este fenómeno se aplica a la *destilación por arrastre de vapor* que permite destilar algunos compuestos orgánicos sensibles al calor a temperaturas inferiores a su punto de ebullición normal.

También es útil para separar sustancias volátiles, de otros compuestos indeseables como resinas, sales inorgánicas, etc. El único problema es que la composición del condensado es proporcional a las presiones de vapor de los componentes y así los aceites de volatilidad baja destilan en pequeña cantidad.<sup>(11)</sup>

Por lo tanto, los equipos de destilación por arrastre de vapor están basados en la contribución de la presión de vapor de agua y a la presión parcial de los componentes que son concentrados:

$$P = P^0_{H_2O} + P_1 + P_2 \dots P_n \quad (\text{B})$$

Debido a la amplia gama de componentes y de destilar señala dentro de los aceites esenciales individuales, los medios convenientes del aislamiento del material de planta debe ser logrado.

Puesto que los componentes del aceite esencial están en la mayor parte inmisible con agua a la presión total del vapor ejercida a la suma de las presiones del vapor de los componentes individuales a una cierta temperatura. Así que, el punto que hierve de esta mezcla no homogéneo debe ser más bajo que el de sus componentes separados.

Como puede ver la destilación por arrastre vapor se prefiere donde las temperaturas de la vaporización de los aceites serán mantenidas siempre más bajo que el punto que hierve del agua en la presión de funcionamiento.

Si las temperaturas en las cuales se quitan los aceites no son punto bajo guardado, la descomposición resulta generalmente, haciendo el producto inadecuado para el uso comercial. El cálculo de porcentajes de aceites inmiscibles individuales en el destilado se puede lograr con el cociente molecular de sus presiones parciales.

De acuerdo con la ley de Raoult, la presión parcial de cada componente en el vapor es igual a su presión del vapor en el estado líquido, y el cociente de la presión del vapor de sumar la presión es igual a su fracción molar: <sup>(11)</sup>

$$\frac{P_a}{P_t} = \frac{m_a}{m_a + m_b + m_c} \quad (C)$$

Donde la presión  $P_a$  es la presión parcial del componente a,  $P_t$  es la presión total del sistema,  $m$  es la fracción molar de cada fracción, a, b, c, etc. Para el agua que consiste de un sistema de dos componentes y un aceite, esto se reduce a:

$$\frac{W_{H_2O}}{W_{oil}} = \frac{P_{H_2O}}{P_{oil}} \times \frac{M_{H_2O}}{M_{oil}} \quad (D)$$

Donde:

W = Peso de aceite y de agua en condensado

P = La presión del vapor del aceite y del agua en las temperaturas del sistema

M = Pesos moleculares.

Por otro lado, la composición del vapor se puede calcular como sigue; suponiendo que los vapores siguen la ley de los gases perfectos, lo cual deducirá una ecuación aproximada que dará idea del comportamiento general en las destilaciones: se tiene que el número de moléculas de cada componente en el vapor, será proporcional a una presión parcial del vapor, que corresponde a la presión de vapor del líquido puro a la temperatura de la destilación.<sup>(11)</sup> La cantidad de cada componente que, durante una destilación, se encuentra en el estado de vapor, será:

$$G_i = (M_i * P_i * V) / (R * T) \quad (E)$$

Donde:

$G_i$  = Masa del componente en fase vapor (Kg)

M = Peso molecular (Kg / Kgmol)

$P_i$  = Presión parcial del vapor (Pa)

V = Volumen total de la mezcla ( $m^3$ )

R = Constante de los gases perfectos ( $Pa * m^3 / Kmol * K$ )

T = Temperatura absoluta del sistema (K)

i = Componente al que se refiere



Cuando la presión de un gas depende del número de moléculas que tiene, entonces la composición del vapor esta dado por:

$$P_t = P_a + P_c \quad (\text{F})$$

$$P_t = x_a P_a + x_c P_c \quad (\text{G})$$

$$1 = x_a + x_c \quad (\text{H}) \quad \longrightarrow \quad \text{Se despeja de } x_a = 1 - x_c \quad (\text{I})$$

$$\text{Sustituyendo (I) en (G):} \quad P_t = (1 - x_c)P_a + x_c P_c \quad (\text{J})$$

$$\text{Igualando (J) y (F):} \quad (1 - x_c)P_a + x_c P_c = P_a + P_c \quad (\text{K})$$

$$\text{Agrupando y simplificando términos se tiene:} \quad \frac{P_a}{P_c} = \frac{(1 - x_c)}{x_c} \quad (\text{L})$$

$$\text{Se despeja de (L) } n_c \text{ y sustituyendo en (L):} \quad \frac{P_a}{P_c} = \frac{x_a}{x_c} \quad (\text{M})$$

Donde  $x$  es la fracción molar del componente y los subíndices de  $a$  y  $e$  son los valores de vapor del agua y los valores del aceite esencial. Por otro lado se tiene que la ecuación del gas ideal se define por la ecuación (N):

$$n_i = P_i * V / (R * T) \quad (\text{N})$$

Sustituyendo (N) y en (E) se obtiene:

$n_a = G_a / M_a$  y se divide entre  $n_c$  da como resultado:

$$\frac{n_a}{n_c} = \frac{G_a / M_a}{G_c / M_c} \quad (\text{O})$$

$x_a = n_a / n_t$  y  $x_c = n_c / n_t$ ; por lo tanto:

$$x_a / x_c = n_a / n_c \quad (\text{P})$$

y finalmente realizando la igualación (M) y (P) y sustituyendo en la (O) se obtiene la relación:

$$\frac{G_a}{G_c} = \frac{M_a P_a}{M_c P_c} \quad (\text{Q})$$

Como se puede ver que efectivamente el peso molecular del agua es inferior al peso molecular medio de los aceites, su presión de vapor es muy superior a los de aquellos, razón por la cual los vapores

originados contienen mucho más vapor de agua que de aceite esencial, siendo también más rico en agua el producto condensado.

Los pesos relativos de los componentes ( $G_a$  y  $G_c$ ) de la fase de vapor serán idénticos a los pesos relativos en el destilado; es decir, los pesos de los líquidos condensados son directamente proporcionales a sus presiones de vapor y a sus pesos moleculares ( $M_a$  y  $M_c$ ).

La ecuación (**Q**) da entender que la gran utilidad de la destilación por arrastre de vapor, ya que entre más pequeño sea el producto  $M_a P_a$  mayor será el valor de  $G_c$ ; como el agua tiene un peso molecular muy bajo (18 g/gmol) y comparativamente una presión de vapor moderada, el valor de  $M_a P_a$  es bajo, lo que permite que sea económico separar sustancias de peso molecular elevado y baja presión de vapor.

De igual manera se puede incrementar la porción del componente de mayor punto de ebullición en el destilado, elevando la presión de vapor del agua arrastrando con vapor sobrecalentado.

Debe ser acentuado que a través de la destilación de un aceite esencial ocurre una amplia gama de separaciones individuales o múltiples en los cocientes moleculares de sus presiones parciales; es decir, los cocientes molares de componentes varían con ser material vapor destilado y con los diversos puntos en la época de la destilación.

Por esta razón el cálculo antedicho se debe basar en un conocimiento de los compuestos particulares que destilan en un momento dado. A través del proceso destilador, las condiciones del tiempo, la temperatura, la presión, y los caudales son críticos y se deben mantener dentro de los límites estrechos para cada tipo de aceite destilado. Si esto no se hace, las características fisicoquímicas del aceite variarán por lote por lote, dando por resultado control de calidad pobre.

El uso de saturado contra vapor sobrecalentado puede también tener ventajas y desventajas tales como overvetting en un caso y recalentamiento en el otro. Las variaciones en la composición del aceite resultarán de una evaluación completa de las condiciones óptimas antes del proceso a planta piloto.

### **1.2.2. – Descripción físico de la acción del vapor sobre los materiales vegetales<sup>(8)</sup>**

Los componentes olorosos se hallan situados en las estructuras secretoras existentes dentro o fuera de las células vegetales, el mecanismo es muy similar en ambos casos. El calor y vapor de agua sobre todo estando húmedo este, hincha las paredes celulares y facilitan el paso de los aceites esenciales al exterior, por ósmosis, influyendo favorablemente la cantidad de agua presente por ser soluble en ella a esta temperatura. Por el contrario la humedad del vapor es perjudicial para gran número de aceites esenciales por su acción hidrolítica sobre los ésteres que generalmente constituyen la parte más noble de la esencia.

Otra acción del vapor en este proceso es la técnica, principalmente en la temperatura se mantenga lo más baja posible. Si el arrastre se hace con agua hirviente, la temperatura de tratamiento dependerá solamente de la presión a la que este trabajando.

### 1.2.3. – Variantes en la destilación por arrastre de vapor

Por otro lado, la destilación se puede auxiliar de la molienda que regularmente disminuye el tiempo de la destilación. También suele aplicarse un surfactante sobre el material para ayudar a la salida de este y más aun, para recuperar la parte hidrosoluble del aceite.

La adición de aditivos, tales como CO<sub>2</sub> en pocas cantidades y presurizado en fase gas, ayuda en el desprendimiento de los aceites de las estructuras secretoras.

Para la destilación se usan alambiques incluyendo tres partes principales: caldera, condensador y el separador de agua y aceite (**vaso florentino**). Es indispensable en algunos casos el uso de accesorios, tales como generadores de vapor, recuperadores de calor, columnas rectificadoras, entre otros.

Las calderas son los sistemas de calefacción e introducción de vapor, es determinante, tanto en el tiempo de carga y descarga, como en el proceso la forma de cierre, ajusta de la tapa y sistema para soportar el material tratado.

A fuego directo, se tiene el grave inconveniente de su irregularidad, produciéndose los llamados golpes de fuego (sobrecalentamientos en algunas partes de la caldera con sus respectivos sobresaltos), de los cuales suele proceder una tostación de la esencial con aparición de olores empireumaticos, llamados de alambique.

Los condensadores más usados en la industria son verticales y horizontales. Y la decisión de utilizar un condensador vertical u horizontal, dependerá del espacio, del diseño del destilador y la temperatura de agua de enfriamiento. <sup>(24)</sup>

Los condensadores verticales toman menos espacio de piso, donde el destilador es un poco más compacto. Y en el caso de que el agua de enfriamiento sea tibia, el condensador horizontal es deseable, porque se tiene mayor superficie de enfriamiento.

Se va a considerar el método de destilación por arrastre con vapor de agua, que se considera el más sencillo, seguro e inclusive el más antiguo. Se basa en que la mayor parte de la fracción con olor que se encuentra en un vegetal puede ser arrastrada por el vapor de agua y esa fracción que es la esencia, no es miscible con el agua, de ahí el nombre de aceite.

#### 1.2.3.1. – Reducción del tamaño

*Molinos, trituradoras, cortadores:* La operación más importante que asegura producciones del aceite esencial del grado óptimo es probablemente la reducción de tamaño inicial. Si se asume que un material se ha analizado y aprobado para procesar, una rutina debe ser proporcionada que aproxima de cerca eso usado en el laboratorio de prueba.

La selección de las muchas diversas trituradoras, pulverizadores, molinos, etc. se basa generalmente en la naturaleza de los materiales que se procesarán, por ejemplo, la preparación de la pimienta negra, de la pimienta inglesa, de la semilla del apio, y de cualquier otra variedad de semilla o de núcleos requeriría que la estructura básica de la célula esté quebrada, pero no necesariamente a la consistencia fina o polvorienta. Aquí, por ejemplo, dos o tres de la etapa acanalada o la trituradora del rodillo del diente es muy conveniente y provee de la rutina necesaria una cantidad mínima de generación del calor.

En la distribución de los distintos granulados fabricados en el proceso de molinera a los diferentes puntos de tamizado, seleccionadoras y molinos, hace que sea necesario una instalación muy compleja de transporte de la materia prima.

Este transporte debe realizarse en el tramo más corto posible para evitar que los granulados en su desplazamiento sufran golpes que origine polvo. Así mismo, dicho transporte debe tener capacidad para transportar una cantidad de granulados suficiente para absorber las variadas demandas de granos como consecuencia de concentraciones masivas de aparas de diferentes tamaños, por lo que dicho transporte deben ser dimensional en ocasiones hasta 5 veces su régimen normal.

En ocasiones es necesario esta sobredimensión para obtener determinados tipos de granulados que en determinados momentos demanda el mercado. Estos medios de transporte no sólo tienen que tener dicha capacidad sino que la alimentación a tamices, mesas densimétricas y molinos debe ser regular para un correcto funcionamiento de los mismos.

Los medios más utilizados son los siguientes: <sup>(11)</sup>

■ **El transporte neumático a partir de aire.** Consiste en la obtención de corrientes de aire mediante ventiladores axiales o centrífugos conectados a tuberías de diferentes diámetros por la que circula una mezcla de aire y granos de corcho. Para la separación de dicha mezcla se utilizan los denominados ciclones, que son de forma cónica y por la fuerza centrífuga de los granos de corcho se separan de la corriente de aire.

Estos ciclones están conectados en tolvas o depósitos que por gravedad almacenan los granos de corcho transportados para el siguiente proceso. La velocidad del aire para el transporte de granos depende de la cantidad de granos a transportar así como del tamaño del grano, dicha velocidad varía entre 2 y 5 m/s. Este medio de transporte se utiliza cuando dicho transporte es necesario realizarlo a largas distancias superior a 10 m hasta 100 m.

■ **Transporte mediante tornillo sin fin.** Este transporte se realiza cuando los recorridos son cortos (menores de 5m) y consiste en un tubo generalmente horizontal en cuyo interior está alojada una superficie helicoidal en rotación que de forma uniforme transporta regularmente los granos de corcho. Este medio de transporte es muy utilizado en instalaciones que necesitan una alimentación variable ya que esto se consigue variando la velocidad del tornillo sin fin. ( Ver figura 3 )

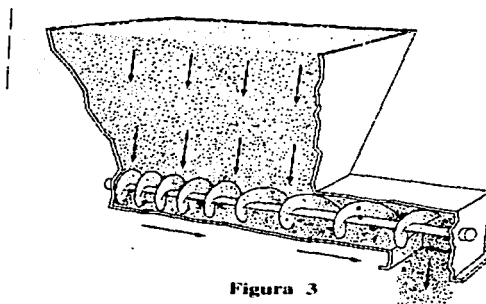


Figura 3

En el caso de raíces, es a través de una reducción de tamaño cuidadosa que debe ser logrado para exponer más superficie, así permitiendo que los aceites atrapados deseados sean lanzados del material de planta más fácilmente. Es, por lo tanto, necesario a escarpado y al corte a la consistencia fina en las altas tarifas con la interrupción mínima.

El uso de un cortador rotatorio se prefiere donde las selecciones de varias pantallas clasificadas (a partir de un acoplamiento de **20 a 100 mallas**) proporcionan flexibilidad agregada. Sin importar el tipo de equipo de la pulverización usado, el producto de tierra se debe destilar dentro de un período relativamente corto.

Esto es necesario debido a la volatilidad de los aceites recientemente expuestos que serán perdidos a la atmósfera si no capturada rápidamente. La cantidad de calor generado y de polvo durante la rutina se debe guardar a un mínimo absoluto para prevenir pérdidas excesivas del aceite, y a las posibles explosiones de polvo.

### 1.2.3.2. – Filtros, clarificadores, centrifugadoras

El paso difícil es a veces la desecación y clarificación finales de los aceites recogidos. Aquí otra vez, las precauciones se toman para evitar el contacto prolongado con el aire mientras que alcanzan la separación máxima del aceite y del agua. El uso de las ayudas de los filtros y de las sales anhídridos antes de la filtración son necesarios, pero solamente en cantidades pequeñas prevenir altas tarifas de la absorción. Las prensas de la placa y de filtro del marco y las separaciones centrífugas proveen de caudal óptimo y de capacidades que clarifican superiores una pérdida mínima de aceite.

### 1.2.3.3. – Secado y filtración

Una vez que la cantidad deseada de aceite se haya recogido, debe ser acabada libre de todos los materiales extraños, agua, partículas, metales pesados, etc. La mayor parte de agua es quitada generalmente por la separación de la gravedad durante la operación real en los tanques que abultan.

En las situaciones más difíciles donde están muy cercanas a la gravedad específica del aceite esencial y del agua, forman mezclas que no se separan fácilmente.

Un método común de iniciar una separación es agregar una sal inerte que aumente la gravedad de la capa del agua y crea dos capas inmiscibles distintas, que pueden entonces ser separadas fácilmente. A este aceite entonces se agrega un elemento deshidratador hidrosκόpico, tal como el sulfato de sodio, en cantidades molares en cuanto a absorben todo el presente suspendido del agua. Si se utilizan exceso de las cantidades, tendrán el mismo efecto que el aceite absorbente, y a menos que algunos pasos adicionales de la recuperación se hagan, las producciones finales de aceite sufren.<sup>(9)</sup>

Los alambiques del vacío se pueden también utilizar para la sequedad. Sin embargo, las destilaciones de vapor secundarias resultan que deben ser secadas más a fondo, dando por resultado pérdidas de componentes bajos del peso molecular en la fuente al vacío. Si las precauciones adecuadas se toman durante y después de que la destilación camina para evitar que los aceites disuelvan los metales pesados (hierro, cobre, plomo, etc.), después no debe haber necesidad de ser tratado. Esta garantía se puede poner solamente en los aceites esenciales donde están controlado la fabricación y el aislamiento de comienzo al final.

Los aceites se comprueba con la prueba que revela la presencia de los metales pesados con el tratamiento con ácido tartárico o cítrico son muy eficaz en el retiro de estas impurezas. Sobre contacto con los metales, se forman los tartratos y los citratos complejos que posteriormente debido a su insolubilidad se quitan fácilmente.<sup>(11)</sup> La precaución se debe ejercitar aquí para no calentar esta mezcla o para no tener contacto extendido porque las reacciones secundarias pueden resultar que alterarán el aceite.

El paso final se está filtrando que produce un aceite chispeante, libera de toda la contaminación. Las prensas de filtro, centrifugadoras estupendas y los filtros de tambor rotatorio se pueden utilizar para este propósito. La opción depende de la cantidad que se filtrarán y de su valor.

En cuanto a las pérdidas debido a la selección incorrecta del equipo pueden ser significativas y el resultado es muy variado con el producto. Debe ser acentuado que donde está la producción del producto acabado en la gama de 5 a 1 % de material que comienza, cada libra perdida representa la pérdida a partir de 20 a 100 libras de material que comienza.

### 1.2.3.4. – Pruebas de calidad

Debido a los factores tales como la geografía, condiciones climáticas, los orígenes botánicos, edad, instalaciones del almacenaje, etc., las materias primas de aceites esenciales no vienen con una garantía

de la uniformidad. La calidad que prueba antes, durante y después de la destilación da una cierta penetración en el último análisis del aceite después de procesar.

Los defectos físicos del equipo no visto, tales como condensadores o cambiadores de calor agujereados, acumulaciones excesivas del agua, vapor que acanala, etc., pueden ser detectados si los chequeos de punto apropiados se hacen en todas partes. Entre más datos recogidos y almacenados en cada tipo de aceite, mejor es la garantía de la calidad uniforme.

Los parámetros que determinan la calidad de la materia prima y del aceite esencial son: <sup>(9)</sup>

### **Humedad**

La humedad de la materia prima se determina mediante la fórmula:

$$h = (m_1 - m_2) / m_2 * 100$$

Donde:

$m_1$  : Peso inicial de la muestra

$m_2$  : Peso de la muestra seca a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$

Se expresa la humedad en tanto por ciento que representa la humedad con relación al peso inicial de la muestra.

### **Tamaño**

Generalmente los granulados de la materia prima están formados por mezclas de granos de varios tamaños. Se determina la granulometría separando las cantidades diferentes tamaños. Para ello, en columnas de tamices de tamaños variables, se separan los diferentes tamaños y se indican los pesos obtenidos. Las aberturas de los tamices empleados son expresados en milímetros.

Para la separación de los granos se realiza en máquina tamizadora con vibraciones electromagnéticas que durante un tiempo determinado realiza la separación de los granos.

### **Densidad aparente**

La densidad aparente de la materia prima es un parámetro muy significativo ya que tiene una relación muy directa con la pureza. La materia prima cuanto más puro presentan una menor densidad aparente que puede llegar hasta  $45 \text{ Kg/m}^3$ , en cambio con más impureza puede llegar hasta  $90 - 100 \text{ Kg/m}^3$ . Se determina la densidad mediante la fórmula siguiente:  $\rho = M/V$ . Se expresa esta densidad en  $\text{Kg/m}^3$ .

El volumen empleado para la determinación del peso es un recipiente en forma de cubo perfecto de dos dimensiones uno de  $(2 \times 2 \times 2) \text{ dm} = 8 \text{ dm}^3$ . Para el llenado del anterior recipiente se utiliza una tolva tronco-cónica que, con unas dimensiones determinadas y mediante la abertura de la boca inferior, realiza el llenado de dichos recipiente.

Estos recipiente, una vez lleno, hay que enrasarlos correctamente por la parte superior para que el volumen de granulado corresponda a 1 dm<sup>3</sup> o 2 dm<sup>3</sup> según el recipiente empleado. El peso del granulado se obtiene por diferencia de peso total del recipiente con el granulado y el peso inicial del recipiente sin granulado.

### Análisis sensorial

Un análisis de un aceite esencial comprende de un análisis sensorial, las determinaciones fisicoquímicas de gravedad específica, rotación óptica, índice de refracción y solubilidad en etanol. Es característica de estas determinaciones su rapidez y simplicidad de ejecución, de manera de obtener resultados lo más rápido posible, lo cual es un factor importante si a través del resultado del análisis es posible evitar o corregir algún daño.

Y el control analítico es de suma importancia fundamental en la industria de aceites esenciales ya que éstos deben ser constantes en su calidad y en sus características sensoriales y fisicoquímicas tanto para la seriedad comercial como para responder a las expectativas del consumidor que se va haciendo cada vez más exigente y refinado y que nota las variaciones de sabor y calidad con respecto a la cual se ha acostumbrado.

En la actualidad, se ha incorporado al análisis de aceites esenciales el uso de la cromatografía de gases. Mediante este método analítico e instrumental es posible separar los constituyentes del aceite esencial, graficarlos, identificarlos y cuantificarlos.

Por otra parte, se debe entender como evaluación sensorial a la medición y cuantificación de las características de un producto, ingrediente, las cuales son percibidas por los sentidos. Estas son:

- **Apariencia:** color, tamaño, forma, conformación.
- **Olor:** que contribuyen al aroma.
- **Gusto:** dulce, amargo, salado y ácido.
- **Textura:** dureza, viscosidad y granulación.
- **Sonido:** crujido, efervescencia.

Desde luego, es complejo el uso de pruebas sensoriales para establecer los atributos que contribuyen a la calidad de los aceites esenciales. Consume tiempo, implica mucho trabajo, está sujeto a error debido a la variabilidad del juicio humano, y por lo tanto, es costoso.

Más sin embargo, existen los análisis calorimétricos, texturométricos y químicos proporcionan buenas correlaciones unidimensionales de los atributos sensoriales individuales asociados con el color, textura y el sabor, respectivamente; y los análisis físicos y químicos donde se aíslan de tal manera que se graba una sola señal como por ejemplo la determinación espectrofotométrica.

A continuación se presentan la relación entre medidas físicas, físicas, fisiológicas y sensoriales: <sup>(16)</sup>



Sensación humana	Sistema sensorial (Transductor)	Estimulación Física (medio estimulante)
Apariencia, color	Visual	Energía radiante
Sonido	Auditivo, olfativo	Vibración
Caliente frío	Térmico	Tonalidad
Aspero, abrasivo	Táctil	Temperatura
Dolor	Terminaciones	Superficie áspera
Picante	Nerviosas libre	Compuesto hidrosoluble
Ácido, agrio, sabor	Gustativo	Compuesto en fase vapor

### **Análisis fisicoquímico**

**Solubilidad en etanol:** la mayoría de los aceites esenciales son solubles en agua y son miscibles en etanol. Los aceites ricos en compuestos oxigenados son más solubles en etanol que aceites ricos en terpenos.

La solubilidad de un aceite esencial puede cambiar con el tiempo. Por ello, la solubilidad es una **prueba muy importante** que puede **revelar una posible oxidación** y además algún caso de **adulteración**. La polimerización es a menudo acompañado de una disminución de la solubilidad. Para la determinación de esta propiedad física, se emplean probetas graduadas de 10 mL (división 1/10) con tapón esmerilado y alcohol etílico de diversas graduaciones comprendidas entre 60 y 90 °G.L. la determinación se efectúa usualmente a 20°C. El resultado se expresa indicando la relación aceite / etanol empleada y la graduación. <sup>(16)</sup>

**Rotación óptica:** La mayor parte de los aceites esenciales cuando son expuestos a una **emisión de rayos de luz polarizada**, poseen la propiedad de rotarla a la derecha (**dextrorrotatorio**) o la izquierda (**levorotatorio**). La extensión de la actividad óptica de un aceite esencial es determinada por el uso de un polarímetro y es medida en grados de rotación. El polarímetro más conveniente para usar en aceites esenciales es el de tipo **Lippch** de media sombra.

El ángulo de rotación depende de la naturaleza del líquido, longitud de la columna a través de la cual pasa la luz, longitud de onda de la luz usada y de la temperatura. La escala de la lectura es directamente proporcional a la longitud de la columna de transmisión del líquido, por esto es necesario emplear un tubo standard de 100 mm de longitud. Es usual en el polarímetro utilizar luz de sodio para su iluminación. La rotación óptica de los aceites esenciales es influenciada por la temperatura y por tal razón en toda determinación debe reportarse la temperatura de trabajo. <sup>(16)</sup>

**Índice de refracción:** cuando un rayo de luz pasa de un medio de baja densidad un medio de mayor densidad, este es inclinado o refractado con respecto a la normal y se le denomina rayo refractado. El índice de refracción es entonces la relación entre los senos del ángulo de incidencia y el ángulo de refracción. El índice de refracción está en **función de la temperatura** por lo cuál se ha convenido reportarlo, para aceites esenciales a 20°C. <sup>(16)</sup>

Los *terpenos* poseen un *bajo índice de refracción*, por esto un aceite esencial destilado presenta un índice de refracción más alto con respecto al del aceite original. El refractómetro de Abb con un rango de índices de refracción de 1.3 a 1.7 para análisis de aceites esenciales.

**Densidad relativa:** La densidad relativa de un aceite esencial puede ser definida como la *relación de peso de un volumen dado de aceite esencial entre, el peso de un volumen igual de agua*, a una temperatura dada. Es un criterio importante de la *calidad y pureza de un aceite esencial*.

Así, debido a que *los terpenos* poseen *baja gravedad específica* al ser removidos del aceite esencial este aumenta su gravedad específica. Los valores de densidad relativa para aceites esenciales varían entre los límites de *0.696 a 1.188 a 15°C*. Los picnómetros ofrecen el método más conveniente y rápido para la determinación de la densidad relativa.<sup>(16)</sup>

### 1.2.3.5. – Empaque y almacenamiento

Debido a la naturaleza altamente compleja de un aceite esencial, es extremadamente importante que una vez que se haya aislado, las precauciones especiales están tomadas para evitar los desperdicios. Un factor importante es el contacto con aire, y el segundo el contacto con el material del empaque.

Además bien, sino se almacenan apropiadamente se alteran fácilmente como consecuencia de reacciones químicas provocadas por el *oxígeno atmosférico, la luz, el calor, trazas de humedad y la acción de algunos metales como el cobre y el hierro*. Por eso es necesario que se le almacene en condiciones idóneas para asegurar una conservación prolongada de las características organolépticas y fisicoquímicas que determinan su valor comercial.

Para ello se tiene que las condiciones adecuadas de almacenamiento son: <sup>(4)</sup>

- ❖ Ausencia absoluta de agua en el aceite esencial. La eliminación completa se consigue con una centrifugación precisa ó por deshidratación con  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  anhidro.
- ❖ Emplear recipientes de acero inoxidable, limpios y libres de mugre y de resinas. Y cerrar herméticamente para evitar el paso de aire. El cristal cubierto o teñido es sin duda el mejor medio del cual almacenar los aceites esenciales debido a la seguridad y de la capacidad que proporciona. Los avances recientes en los trazadores de líneas del tambor y de la lata proporcionan un sello casi impenetrable del plástico.<sup>(11)</sup>
- ❖ Los recipientes deben ser llenados de tal modo que únicamente un pequeño espacio de aire quede arriba del aceite para permitir su expansión. Es aconsejable introducir en estos un gas inerte (nitrógeno  $\text{N}_2$  UAP ó hielo seco  $\text{CO}_2$ ).
- ❖ Almacenar a temperatura a 0 °C ya que se observan menos cambios en las propiedades fisicoquímicas del aceite esencial.

No obstante, en el almacenamiento de los aceites esenciales tiende a separarse y depositarse en el fondo productos insolubles de naturaleza cerosa, que pueden ser eliminados por centrifugación.

Y un sistema más simple para eliminar el material ceroso consiste en emplear recipientes más altos que anchos, con fondo cónico y provisto de tres o más válvulas colocadas a diversas alturas. Después de la separación de las ceras, el aceite se saca por la válvula más alta y así sucesivamente por las otras hasta llegar el estrato ceroso que se recoge aparte y se separa por centrifugación. La válvula del fondo, además de servir para vaciar completamente el recipiente, puede servir para eliminar las pequeñas fracciones de agua que durante el almacenamiento pueden separarse del aceite esencial. <sup>(4)</sup>

Se ha visto, incidencias más frecuentes en la industria en la salida del aceite esencial de los recipientes completamente llenos, cuando la temperatura de la cámara aumenta; y en consecuencia, aumenta el volumen del aceite esencial.

### 1.3. – Descripción de los componentes principales de un destilador

En un proceso de destilación por arrastre de vapor utilizando el equipo destilador consta de:

**Alambique:** es el recipiente donde se coloca el material vegetal a extraer, es aquí donde se realiza la extracción del aceite esencial. Su tamaño determina la capacidad de procesamiento. Generalmente acepta un peso de material vegetal alrededor a 1/5 de su capacidad en litros. O sea que si el alambique tiene una capacidad de 1000 litros podría albergar alrededor de 200 Kg de material vegetal. Pero eso es muy variable porque depende de la naturaleza del vegetal (si son hojas, ramas, flores o semillas) y del estado de humedad del mismo.

**Cuello de cisne:** es el conducto que sale de la tapa del alambique y por donde circula la mezcla de vapor de agua y esencia. Debe ser fácilmente desmontable y puede ser de diseño cónico o recto.

**Condensador:** como su nombre lo indica es el lugar donde se condensan los vapores de agua y de esencia que vienen del alambique y circulan por el cuello de cisne. Uno de los más utilizados es el que consta de un serpentín con menores diámetros a medida que se aleja del cuello de cisne. El serpentín se coloca dentro de un tanque de contención de agua de enfriamiento, la cual deberá estar circulando para aumentar el coeficiente de transferencia de calor.

**Separador de aceite esencial:** llamado también "vaso florentino", es el dispositivo en el que se recibe el agua y esencia condensada; y permite separar las dos fracciones por diferencias de densidad.

**Generador de vapor:** es el equipo auxiliar que provee de vapor de agua al equipo de extracción, o sea al alambique.

No obstante, he comentado que existen procesos que pueden variar en las condiciones de operación del destilador, estos son: <sup>(4)</sup>

- ❖ El suministro de calor para la producción de vapor, puede ser una caldera, una resistencia sumergida en el agua o el alambique enchaquetado con un fluido térmico para la generación del vapor.
- ❖ Se necesita un soporte para que solo entre en contacto el vapor y el material. Puede ser una mampara, platos perforados, una simple tela de malla, divisores o hasta distribuidores.
- ❖ El cuerpo del alambique es más alto que ancho, porque se arrastra con mayor eficiencia el aceite esencial del material.
- ❖ Se necesita un soporte para que solo entre en contacto el vapor y el material. Puede ser una mampara, platos perforados, una simple tela de malla, divisores o hasta distribuidores.
- ❖ En algunos casos se utiliza un rectificador para obtener el aceite más puro, porque hay algunos componentes hidrosolubles.

Y para asegurarse una buena calidad de las esencias obtenidas, se debe procurar que todas las partes del equipo en contacto con la esencia (cuello de cisne, condensador y separador) se construyan con acero inoxidable para evitar el ataque que producen algunas esencias a otros materiales. <sup>(15)</sup>

### 1.3.1. – Filosofía de operación de un destilador

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 destiladores de *1 y 5 litros* de capacidad, 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. (Ver figura 4)

Las *destilaciones por arrastre de vapor* duran entre 3, 4 o más horas, según la hierba que se trate, obteniéndose muy poca cantidad de esencia. <sup>(3)</sup>Esto se debe a que el contenido en aceites de las plantas es bajo, y por ello hace falta destilar abundante cantidad de hierbas para obtener un volumen que justifique el gasto de destilación.

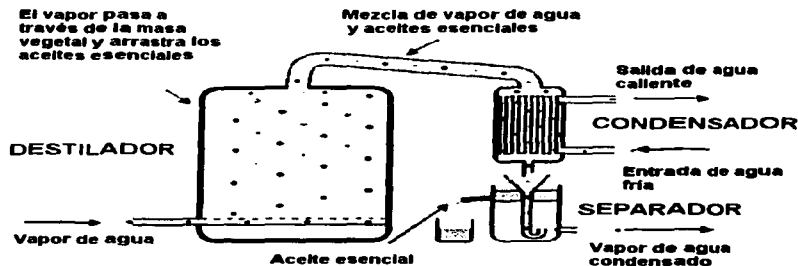


Figura 4

Los rendimientos suelen ser menores al 1%, es decir, destilando 100 kg. de hierba fresca, obtendremos menos de 1 kg. de aceite esencial. <sup>(3)</sup>Esto no sólo obliga a optimizar la destilación, sino a contar con muchas toneladas de hierba a destilar, inclusive con muchas personas que provean de la hierba.

En la destilación industrial que por lo general se realiza a campo, los rendimientos suelen ser levemente inferiores.

### 1.3.2. – Destilador por lotes y continuo

Aunque las unidades de destilación por lotes son comunes en la industria, debido a la considerable atención y tiempo de operación. Sin embargo, hay situaciones donde la selección de estos equipos no es factible en cuanto al gasto innecesario de mano de obra.

Por ello se expone las características de los destiladores por lotes y haciendo referencia de los logotipos de diseños de los destiladores continuos que se han propuesto en los procesos petroquímicos, del cuál se tomará los criterios de diseño del destilador continuo apropiado para el proceso de extracción de aceites esenciales por arrastre de vapor.

Dentro las características que se tiene de los destiladores continuos son:

**Reglas heurísticas que se aplican a la operación de destilación por lotes:** <sup>(8)</sup>

- Una vez que la columna ha sido instalada; la capacidad para una especificación de producto dada, es sólo mínimamente afectada por cambios en la relación de reflujo y por la longitud de un corte de producto.
- Conforme los componentes más volátiles son retirados del rehervidor, la separación es progresivamente más difícil.
- Con una relación de reflujo muy baja no se puede alcanzar la especificación de un producto, no importa la altura de la sección empacada o el número de platos instalados.
- Es imposible recobrar en una sola operación un componente volátil con una pureza alta, que representa sólo una fracción pequeña de la carga inicial.
- Para una capacidad óptima de separación es necesario minimizar o eliminar la retención del reflujo en la sección empacada de la columna. Se debe diseñar esta para una retención del líquido equivalente al 10 ó 15 % de la carga inicial en el rehervidor.

De lo anterior, el diseño preciso para un sistema de destilación por lotes puede ser extremadamente complicado, debido a la conducta transitoria de la columna, ya que no sólo cambian las composiciones continuamente durante el proceso sino que también el siguiente lote tendrá una composición diferente a la del anterior y quizá diferirá también en componentes y número de los mismos.

Un ejemplo de un aparato típico de la destilación del aceite esencial se considera en la figura.5. Puede haber algunas variaciones de este diagrama, pero el propósito básico sigue siendo siempre igual; es decir, para conducir vapor a través de un serpentín, permitirá que el vapor y el aceite condensen, volver o procesar las aguas, y recoger continuamente el aceite. <sup>(11)</sup>El tamaño sigue siendo importante en que debe ser optimizado para tener en cuenta la distribución y el flujo apropiados del vapor, así evitando la necesidad de suministrar calor. Las provisiones se deben hacer para el retiro rápido de la especia gastada así como una recarga y un comienzo rápido.

La unidad más común será equipada de aberturas del lado y de la tapa del suficiente tamaño para permitir la transferencia apropiada de materiales. Si están utilizadas en todos, las columnas cortas, embaladas se indican para reducir al mínimo inundación y permitir que la gota a una presión mínima, el objetivo principal será permitir que todo el vapor y el aceite alcancen al condensador para la separación de los componentes.

Una vez que el vapor y el aceite se vuelvan al estado líquido, el refrescarse adicional de ellos es necesario maximizar producciones reduciendo solubilidades acuosas y previniendo pérdidas de evaporación.

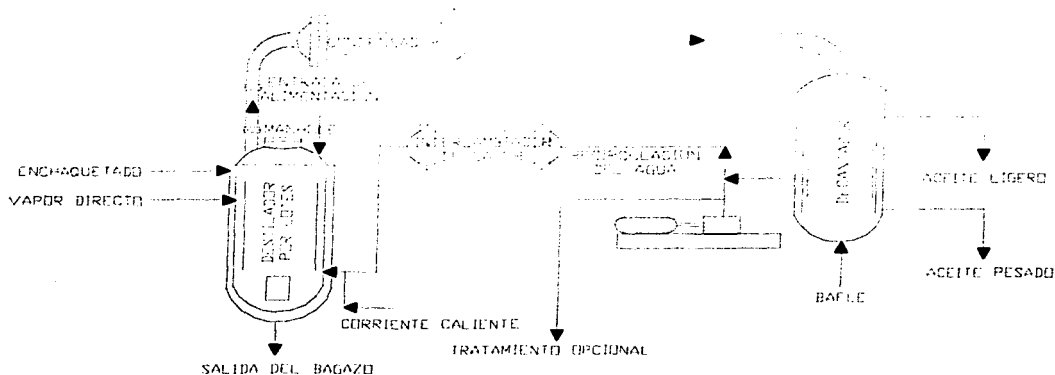


Figura 5

La separación y la colección de aceite, pesado y ligero, se deben hacer continuamente teniendo cuidado la captura tanto como sea posible antes de recircular el agua; las pérdidas debido a la oxidación y a la evaporación también de tal modo se reducen al mínimo. Puesto que se calienta de la evaporación de la mayoría de los aceites esenciales son solamente cerca de una tercera parte del agua, y debido al cociente muy alto del vapor del aceite; y la mayoría de los cálculos se basan en vapor solamente. Las fracciones del tipo del vapor del aceite pueden extenderse dondequiera entre 0.1 y 0.01% de comenzar al final de la destilación.

Los materiales de la construcción deben ser totalmente corrosión resistente y prever rápido y fácil limpieza para arriba, así teniendo en cuenta la multiplicidad de operaciones. El acero inoxidable y Monel son generalmente opciones excelentes, aunque exhiben características pobres del traspaso térmico.<sup>(34)</sup>

Por otra parte, en un destilador continuo el transporte de la materia prima incluye un tornillo sin fin, de correa perforada, y de transportadores de cubos perforados. Una operación lleva una cama de semillas 3-4 ft de grueso en una correa perforada que se mueva solamente ft/min. El solvente fresco se aplica 1/5 a 1/3 de la distancia de la descarga, se infiltra hacia abajo, se recoge en cacerolas, y es redistribuido por las bombas al recorrido del material. El extractor vertical del elevador con cubos está parado 40 - 60 ft de alto y pueden dirigir hasta 50 ton/hr a una potencia de **1 a 2 HP**.<sup>(18)</sup>

Mientras que comienzan a descender, se llenan de materia prima fresco y se rocían con el extracto intermedio diluido. La solución se infiltra hacia abajo de cubo al cubo. Mientras que el recorrido da vuelta hacia arriba, los cubos se sujetan a la extracción a contracorriente con la solución del solvente fresco que se carga cerca de 1/3 de la distancia de la tapa. Hay suficiente tiempo del recorrido para el drenaje antes de la descarga de las escamas gastadas.

Existe otro tipo de destilador continuo que opera la acción a contracorriente y es conocido como Bonotto (figura 6).<sup>(17)</sup> Esta constituido por bandejas arregladas en línea vertical y con raspadores para descargar los sólidos con aberturas escalonadas en las bandejas. Donde la alimentación del sólido entra por la parte superior; y desde luego, cuando el sólido ya procesado sale en la parte inferior del la torre. Las bandejas rotan mientras que el sólido se raspa y se descarga a la bandeja. La acción sólida del transporte es similar a la de un secador rotatorio.

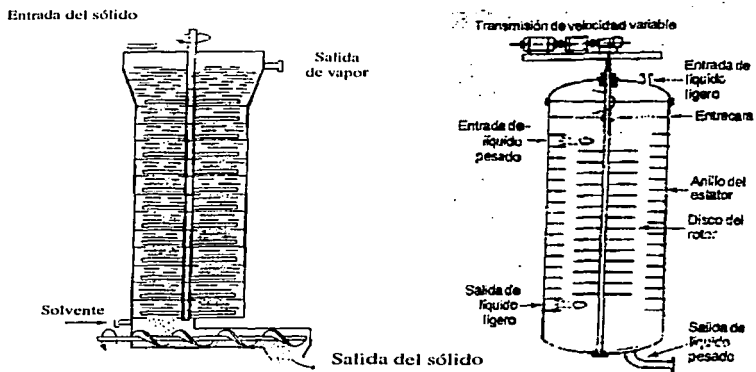


Figura 6

Existen consideraciones en el diseño de los destiladores continuos; esto es, se han hechos investigaciones en las cuales el diseño mecánico de la torre se divide en compartimientos mediante desviadores horizontales, en forma de donas o anulares, y dentro de cada compartimiento se proporciona agitación mediante un disco horizontal giratorio, situado en posición central. Se conocen desde hace tiempo otros dispositivos prácticamente similares.

En este caso, lo característico es que el disco giratorio es liso y plano, de un diámetro menor que el de la abertura en los desviadores estacionarios, lo cual facilita la fabricación y mejora aparentemente las velocidades de extracción.



Las proporciones usuales son: el diámetro de torre/diámetro de disco giratorio que va de 1.5 a 3; y el diámetro de torre/distancia entre discos es de 2 a 8. Las proporciones generales pueden variar de un extremo de la torre al otro, para dar acomodo a los cambios de los volúmenes de líquidos y las propiedades físicas.

Actualmente, estas torres se han utilizado en diámetros que van de unas cuantas pulgadas para trabajos de laboratorio hasta 2.4 m de diámetro por 12.2 m de altura, para desasfaltar el petróleo (EUA). Otros servicios comerciales incluyen la desulfurización de la gasolina y la recuperación de fenol de las de desecho, principalmente en **Perú y Argentina**. En Europa se han hecho una modificación "asimétrica" en las que tienen rotores excéntricos y una disposición en espacios de asentamiento para la evaporación del agua entre dispersiones de disolventes orgánicos.<sup>(14)</sup>

**Logsdail y colaboradores** han propuesto que la velocidad de deslizamiento en ausencia de transferencia de masa se puede comparar con una velocidad característica que relacionan con las propiedades de líquido, la velocidad de la agitación y la geometría de la torre.<sup>(29)</sup> Evidentemente, la transferencia de masa tiene efectos profundos debido a la coalescencia de las gotas de vapor de agua. Se han observado una variación de **-15 a +200 %** en la velocidad de inundación en el proceso de extracción de disolventes del, y hacia el agua.

Para obtener una mejor eficiencia de los platos perforados se recomienda que el material de los platos se moje de preferencia con la fase continua empleando platos de plástico o con recubrimiento de plástico en algunos casos o que la fase dispersa saga de toberas que se proyectan más allá de la superficie de los platos. Estas se pueden formar perforando los orificios y dejando las rebabas en su lugar formando de otro modo los chorros. Se debe dispersar el líquido que fluya con la mayor velocidad volumétrica.

Las perforaciones suelen ser de **0.32 a 0.64 cm** de diámetro con un espaciamiento de **1.27 a 1.81 cm**, en un paso triangular o cuadrado. Parece ser que el tamaño de los orificios tienen poco efecto sobre la rapidez de extracción, con excepción de que, en los sistemas de alta tensión interfacial, los orificios menores producirán velocidades un poco mejor.

El área total de los orificios se ajusta adecuadamente del **15 a 25 %** de la sección transversal de la columna sujeto a verificaciones efectuadas por medio de cálculos. La velocidad a través de los orificios debe ser tal, que no se formen gotas con lentitud en las perforaciones, sino que la fase dispersa corra por las aberturas para dividirse en gotitas a una distancia pequeña del plato. En general, esto requiere velocidades lineales promedio por los orificios de **15.2 a 30.5 cm/s**. El área del plato directamente opuesta al tubo descendente se mantiene sin perforaciones.<sup>(2)</sup>

En cuanto, al principio del transportador de flujo continuo es el que, cuando una superficie se arrastra transversalmente a través de una masa de material granular, en polvo o en terrones pequeños, arrastrará consigo una sección transversal o de material que es mayor que el área de la superficie misma. La acción de transporte de varios diseños de transportadores de flujo continuo varía con el tipo de tramos de transporte, pero teóricamente no es comparable a la acción en un transportador de un tornillo sinfín.

El transportador de flujo continuo es una unidad totalmente encerrada que tiene una capacidad relativamente alta por unidad de área de sección transversal y puede seguir una trayectoria irregular en un plano simple. Esta característica lo hacen extremadamente versátil. El transportador de flujo continuo de impulso lateral puede seguir una gran variedad de trayectorias en un plano horizontal recogiendo y descargando material en muchos puntos diferentes.<sup>(29)</sup>

Y la capacidad del transportador de flujo continuo depende del diseño particular que se utilice. Las velocidades limitantes están sujetas a controversias. Es aconsejable seguir al pie de la letra las recomendaciones del fabricante para obtener un mejor servicio con estos tipos de transportadores. Los cálculos de potencia dependen de cierto número de constantes determinadas experimentalmente, que varían para los distintos diseños de transportadores. Uno de los factores que contribuyen a los requisitos totales de potencia es la energía que se requiere en la carga y descarga del material, donde los tramos toman una posición radial y tienden a comprimir el material que se alimenta.

Debido a la fabricación necesaria de las cubiertas y el ajuste preciso de los elementos de transporte en su interior, los transportadores de flujo continuo suele ser unidades costosas; sin embargo, ocupan poco espacio, necesita poco soporte porque la cubierta forma un armazón rígida, puede desplazarse en varias direcciones con una unidad motriz simple, se autoalimentan y pueden descargarse en varios puntos diferentes.

Estos factores pueden compensar con frecuencia lo que parece a veces un costo sumamente alto por metro. Puesto que es adaptable a muchas operaciones de procesamiento y además están diseñadas para que se limpien ellos mismos con el fin de permitir el manejo de materiales diferentes en la misma unidad sin contaminación.

Según la información que esta a nuestro alcance, todavía no se ha establecido un procedimiento seguro de diseño para nuevos sistemas como por ejemplo, en la obtención de aceites esenciales vía destilación por arrastre de vapor.

No obstante, los datos disponibles indican que la capacidad de flujo aumenta con 1) la menor velocidad del rotor, 2) la disminución del diámetro de los discos giratorios, 3) el aumento del diámetro de las aberturas en los desviadores estacionarios, y 4) el incremento de la altura de los compartimientos.

## 1.3.3. – Comparación de las características de los destiladores

A continuación se expone las ventajas y desventajas que se tendría entre los destiladores continuos y por lotes principalmente en las condiciones de operación: <sup>(16)</sup>

Método de extracción	Hidrodestilación	Destilación por arrastre con vapor (propuesta año 2003)	Destilación por arrastre de vapor a alta ó a baja presión
Tipo de destilador	Destilador por lotes	Destilador continuo	Destilador por lotes
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Simple, manual y fácilmente instalable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Más complicado</li> <li>- El tipo más pequeño es móvil</li> <li>- Puede ser instalado en el campo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Son más sólidos y más durables</li> </ul>
<b>Material de la planta vegetal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adecuados para polvos finos</li> <li>- Para flores las cuales fácilmente se amontonan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adecuado para hierbas y hojas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adecuado para algunas cargas excepto material finamente molido a través del cual el vapor forma canales.</li> <li>- Especialmente para semillas, raíces y maderas que contienen aceites esenciales de algún punto de ebullición</li> </ul>
<b>Modo de pulverización de la planta</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Buenos resultados con materiales finamente molidos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El material debe ser uniforme pero no tan finamente pulverizado</li> <li>- La granulación da buenos resultados con hojas y raíces</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El material debe ser uniforme pero no tan finamente pulverizado</li> <li>- La granulación da buenos resultados con hojas y raíces</li> </ul>
<b>Modo de carga</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El material debe estar cubierto completamente con agua durante la destilación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El material debe cargarse uniformemente en el destilador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El material debe cargarse uniformemente en el destilador</li> </ul>
<b>Condiciones de difusión</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Difusión buena si el material es propiamente cargado y se mueve libremente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Difusión buena</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Difusión buena si el vapor es ligeramente húmedo</li> <li>- La destilación con vapor sobrecalentado de alta presión seca el material de</li> </ul>

	en el agua en ebullición		la planta y previene la difusión causando bajo rendimiento
<b>Presión de vapor dentro del destilador</b>	- Usualmente alrededor de la presión atmosférica	- Usualmente alrededor de la presión atmosférica	- Puede ser modificada (alta o baja presión) de acuerdo al material de la planta vegetal
<b>Hidrólisis de los constituyentes del aceite</b>	- Condiciones desfavorables - Alta tasa de hidrólisis de ésteres	- Hidrólisis medianamente baja proporcionada por el no excesivo humedecimiento del material de la planta por prolongada destilación y condensación dentro del destilador	- Hidrólisis usualmente ligero
<b>Temperatura dentro del material de la planta</b>	- Alrededor de la temperatura de ebullición del agua	- Alrededor de la temperatura de ebullición del agua	- Puede ser modificada (vapor saturado o sobrecalentado) de acuerdo al material de la planta vegetal
<b>Condiciones dentro del material de la planta</b>	- Condiciones buenas si el material es mantenido cubierto con el agua y se mueve libremente en ella	- Buenas si el material es conveniente cargado - Destilaciones prolongadas excesivo humedecimiento, por condensación del vapor y aglomeración de la carga	- Buenas si el material es conveniente cargado - Destilaciones prolongadas excesivo humedecimiento, por condensación del vapor y aglomeración de la carga
<b>Producción de aceite</b>	- Es relativamente baja debido a la hidrólisis. También porque los constituyentes solubles en agua y de alto punto de ebullición es retenido por el agua residual en el destilado	- Buena, si no hay excesivo humedecimiento y aglomeración de la carga	- Buena si la destilación es llevada a cabo adecuadamente.
<b>Calidad del aceite</b>	- Depende de los cuidados de la operación	- Usualmente buena	- Buena si la operación es llevada a cabo conveniente

	- El quemado de la planta debe ser evitado cuando se destila a fuego directo		
<b>Agua de destilación</b>	- En algunos casos puede ser redestilado o recirculado al destilador	- Es separado del aceite esencial y puede ser desechado	- Es separado del aceite esencial y puede ser desechado

### 1.3.4. – Variables de diseño del destilador

- a) **DISEÑO DE INGENIERIA Y DESARROLLO:** está relacionada con el conocimiento previo del proceso; en particular, al establecimiento de modelos que lo describan, para así, efectuar los cálculos necesarios y adaptar las condiciones del proceso a los requerimientos de separación. Hoy en día, muchos procesos han sido suficientemente estudiados al punto de que se han desarrollado paquetes computacionales que los modelan, simulan y controlan.
- b) **COSTOS FIJOS:** referidos a los costos de equipos e instalación; dependen del tamaño, complejidad y material de construcción. Por ejemplo: Una columna de destilación de gran altura requerirá gastos adicionales de estructuras para sujetar establemente el equipo. Por otro lado, una *columna de monel* (material basado en una aleación de níquel) será más costosa que una columna de acero inoxidable.
- c) **COSTOS DE OPERACIÓN:** son aquellos costos asociados a la planta cuando ésta se encuentra en funcionamiento. Por ejemplo: mano de obra, mantenimiento, materias primas, servicios como tratamiento de agua de calderas, bombas y otros.
- d) **OPERABILIDAD:** depende de experiencia y se refiere al uso de algún tipo de sistema en particular, por ejemplo: en la antigüedad existió una fuerte resistencia al empleo de nueva tecnología y por otro lado, desde el punto de vista operacional, se prefiere el manejo de sistemas líquido – gas en lugar de sólidos y suspensiones ya que operacionalmente ofrecen mayores problemas de transporte y almacenaje.
- e) **SEGURIDAD:** en particular con procesos que implican alto riesgo, como la destilación al vacío de mezclas combustibles o la alquilación mediante el empleo de ácido fluorhídrico (HF) como catalizador.
- f) **FACTORES AMBIENTALES Y SOCIALES:** “lo mas barato no es necesariamente lo mejor a largo plazo”. Se debe considerar el impacto en el ambiente y sobre las personas, sobre todo hoy en día, que las empresas requieren de certificación de calidad para comercializar sus productos, que toman en bastante consideración la parte ambiental, las empresas tienen que hacer inversiones en el

tratamiento de sus afluentes y para tal fin requieren del empleo de equipos de separación adicionales.

La metodología del diseño del destilador puede dividirse en los siguientes pasos: <sup>(17)</sup>

- Especificar el grado de separación requerido: conjunto de especificaciones del producto.
- Seleccionar las condiciones de operación: continuo o por lotes, presión de operación.
- Seleccionar el tipo de dispositivo de contacto: plato o empacada.
- Determinar los requerimientos de etapas y reflujo: número de etapas de equilibrio.
- Tamaño de la columna: diámetro, número real de etapas.
- Diseño interno de la columna: platos, distribuidores, soportes del empaquetado.
- Diseño mecánico: vasija interno.

El paso principal es determinar los requerimientos de etapas y reflujo. Este es un procedimiento relativamente sencillo cuando la alimentación es una mezcla binaria, pero una tarea compleja y difícil cuando la alimentación contiene más de dos componentes (sistemas multicomponente).

### **1.3.5. – Variables de proceso del destilador**

- ❖ El tiempo de extracción es variable de acuerdo a la naturaleza y estado del material vegetal. Las hierbas como mentas, limón, tomillo, etc., son extraídas totalmente en la primera hora u hora y media de extracción. Las semillas y frutos secos requieren más tiempo de extracción. El material recién cortado y con demasiada humedad (células turgentes) requiere más tiempo de extracción que el mismo material oreado o seco. Por este motivo y para aprovechar al máximo la capacidad del alambique conviene procesar material herbáceo oreado o seco.
- ❖ El grado de compactación del material en el alambique es importante. Si está demasiado compactado se favorece la formación de vías o canales donde fluye el vapor y no se agota bien el material; si la compactación es deficitaria se inutiliza la capacidad del alambique.
- ❖ Las variables más críticas que deben ajustarse para optimizar el proceso de extracción son la presión de trabajo, el tiempo de extracción, el grado de compactación del material y la temperatura de condensación empleada.

Lo que me queda decir que al realizar experimentaciones a pequeña escala (laboratorio y planta piloto) nos permite estimar la adquisición de datos para un escalamiento adecuado con el fin de investigar aspectos críticos de la operación de procesos (destilación por arrastre de vapor) y materias primas comerciales (aceite esencial del orégano).

Y la investigación de un proceso llega a estudiarse a nivel Planta Piloto cuando el examen a fondo de la investigación ha sido agotado; cuando la costeabilidad del proceso se confirma o cuando la experimentación de laboratorio no permite obtener más datos.

Desde luego, la Planta Piloto evita la incertidumbre que se produce cuando se desarrolla un proceso directamente de trabajo de investigación de laboratorio a un proceso comercial.

Por lo que una Planta Piloto para la obtención de aceites esenciales consiste:

- Adaptar un proceso disponible a una necesidad determinada
- Mejorar la operación de una planta industrial
- Desarrollar un nuevo proceso
- Confirmar la confiabilidad del proceso propuesto
- Proporcionar bases de diseño para la planta comercial
- Recomendar los materiales de construcción óptimos
- Probar operabilidad de esquemas de control
- Determinar el grado de mantenimiento de la Planta Piloto
- Producir suficientes cantidades para evaluación de la calidad de los productos
- Obtener datos de cinética química si lo hay
- Seleccionar y evaluar los catalizadores
- Determinar efectos a largo plazo
- Probar áreas de tecnología avanzadas y
- Adquisición de datos para escalamiento a Planta Industrial

## CAPÍTULO II. Ingeniería básica

En el capítulo anterior, se mostró que el método de destilación por arrastre con vapor de agua, es el más sencillo, seguro e inclusive el más antiguo. Se basa en que la mayor parte de la fracción que se encuentra en un vegetal puede ser arrastrada por el vapor de agua y esa fracción que es la esencia, no es miscible con el agua, de ahí el nombre de aceite.

Por ello la ingeniería básica que a continuación presentó permitirá tener el diseño real del destilador continuo y la capacidad de producción que se desea.

### 2.1.- Bases de diseño

#### ➤ Función del equipo destilador continuo

El objetivo del destilador es la obtención de aceite esencial de orégano puro tal que cumpla con una mejor calidad que la que se comercializa en las industrias de Argentina. <sup>(14)</sup> Al mismo tiempo, convencer a las industrias mexicanas que este proyecto de diseño del destilador continuo que se llevará a cabo es muy rentable a largo plazo.

#### ➤ Proceso

El proceso es de destilación por arrastre de vapor, el agua servirá como acarreador, por lo que no se utilizará solvente que puedan dañar al producto. Además este proceso no incluye ninguna reacción química debido que solamente estamos separando los componentes del orégano.

#### ➤ Factor de servicio

La operación del equipo destilador será de 8 horas al día, por turno completo; esto será en 17 semanas al año, el tiempo restante servirá para el mantenimiento del equipo y además para el estudio y producción de otros aceites esenciales, que son factibles a este proceso. El destilador continuo consistirá de un eje gíatorio cuya forma geométrica será similar a la de un tomillo sinfín.

Conforme se vaya incrementando la demanda del aceite esencial del orégano se incrementara el trabajo laboral, a tres turnos por día.

#### ➤ Capacidad y rendimiento

El destilador de planta piloto en el laboratorio tendrá las siguientes capacidades de producción:

- La capacidad de diseño será de 9, 245 Kg/año
- El destilador tendrá un 10% de sobrediseño
- La capacidad mínima del destilador será el 50% de la capacidad de diseño.



<b>Capacidad de producción total (materia prima en un solo turno)</b>	
Capacidad por hora	<b>1.07 Kg/h</b>
Capacidad por día	<b>25.7 Kg/día</b>
Capacidad por semana	<b>179.8 Kg/semana</b>
Capacidad por mes	<b>770 Kg/mes</b>
Capacidad por año	<b>9245 Kg/año</b>

### ➤ **Flexibilidad**

Dentro las variables de control que se tendrá en cuenta en la operación del destilador serán: vapor, aire y agua de enfriamiento. Por ningún motivo deberá seguir operando el destilador si falla alguno de estos servicios.

### ➤ **Tipo de carga**

El destilador se diseñará para procesar toda clase de orégano selectivo que se cultiva en nuestro país. No obstante, se considerará también que el tipo de carga puede ser en un momento dado otra especie como por ejemplo, manzanilla, albahaca, etc., pero siempre cuando sea factible la carga de materia prima para este proceso; por ejemplo, no es recomendable como carga destilar frutos cítricos ya que se ha comprobado que se obtienen aceites esenciales de muy baja calidad.

La factibilidad de carga de materia prima se refiere a la forma física de la materia prima, por ejemplo, hojas, flores, raíces, hojas o plantas enteras a las que se puede realizar primero una reducción de tamaño el más conveniente para exponer tanta área como sea posible al vapor.

El destilador se diseñará para procesar y extraer una carga consistente de especie selectiva (orégano) y obtener el aceite esencial puro, aunque cabe señalar que no se debe ser almacenado por mucho tiempo debido a que tiende a oxidarse. Para evitar la oxidación se requiere desterpentar el aceite esencial, lo que significa que se debe proponer y diseñar el proceso de desterpentación tal que se elimine los terpenos del aceite esencial orégano. Este proyecto no tiene como alcance el diseñar, construir e instalar los equipos de la desterpentación, este proyecto se propone a un largo plazo.<sup>(4)</sup>

### **Falla en energía eléctrica, vapor de proceso, aire en instrumentos ó de agua de enfriamiento**

Para la planta piloto en el laboratorio se tiene previsto que en algún momento puede fallar alguno de estos servicios, principalmente, el vapor saturado debido por falla, en la caldera

En lo que refiere a la falla de energía eléctrica, de vapor, de aire en instrumentos ó de agua de enfriamiento se ha decidido no operar el destilador y se efectuará un paro ordenado de la misma. Esto con el fin de no dañar el equipo; no se ha contemplado el uso de otro tipo de servicio auxiliar alternativo fuera del alcance del proceso.

**Especificación de la alimentación**

La especificación de la alimentación es una variable aleatoria y esta dependerá del tipo de materia prima a destilar. En este caso, se ha seleccionado como base de diseño el orégano seco selectivo; las características son: <sup>(13)</sup>

Corriente	Componentes	% masa
1	Orégano	86
	Agua	12
	Aceite esencial	2
2	Vapor de agua	100

**Especificación de los productos**

Corriente	Componentes	% masa
8	Aceite esencial	99
	Vapor de agua	1

**Especificación de los subproductos**

Subproducto	Contenido	
Agua con trazas de aceite esencial de orégano	99% H <sub>2</sub> O	1% aceite esencial
Bagazo	74% H <sub>2</sub> O	26% Orégano

**2.1.1. – Condición de la alimentación en el L.B. <sup>(13)</sup>****Alimentación caliente**

Alimentación	Estado físico	P man. (kg/cm <sup>2</sup> )			Temperatura (°C)			Forma de entrega
		Mín.	Nor.	Máx.	Mín.	Nor.	Máx.	
Vapor de agua	Gaseoso	4.97	5.24	5.76	95	100	110	Tubería

**Alimentación fresca**

Alimentación	Estado físico	P man. (kg/cm <sup>2</sup> )			Temperatura (°C)			Forma de entrega
		Mín.	Nor.	Máx.	Mín.	Nor.	Máx.	
Orégano	Sólido	0.76	0.80	0.88	25	29	32	Manual: se transportará por medio de la tolva instalado en el destilador en la parte superior.

## Condiciones de los productos en L.B.

Producto	Estado físico	P man. (kg/cm <sup>2</sup> )			Temperatura (°C)			Forma de entrega
		Mín.	Nor.	Máx.	Mín.	Nor.	Máx.	
Aceite esencial	Líquido	0.118	0.125	0.137	45	50	55	Envases de plástico polietileno con capacidad máxima de 1 L inyectado con N <sub>2</sub> atmosférico para su conservación.

## Condiciones de los subproductos en L.B.

Producto	Estado físico	P man. (kg/cm <sup>2</sup> )			Temperatura (°C)			Forma de salida
		Mín.	Nor.	Máx.	Mín.	Nor.	Máx.	
Bagazo	Sólido	0.76	0.80	0.88	65	70	77	Se retirará del destilador con la ayuda de un transportador (válvula rotativa), esto con el objeto de que no se acumule en la parte inferior del destilador.
Agua con trazas de aceite	Líquido	0.118	0.125	0.137	45	50	55	Tanque de almacenamiento (sistema tipo rotoplas) con capacidad de 450 L

## Agente desecante químico

Producto requerido	Punto de inyección
Sulfato de sodio (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	El desecador deberá adquirirse anhidro (vaso precipitado cuya capacidad será de 1L)

## Residuos en el fondo del destilador

Compuestos	Alternativas de tratamiento
Bagazo	Se buscarán clientes para utilizar el bagazo como materia prima principalmente en las industrias de fertilizantes y papelera.
Agua con trazas de aceite esencial	Se hará el tratamiento para la recuperación del 1% del aceite esencial en el mismo proceso ya que es rentable.
Sulfato de sodio anhidro	Se diseñará el secador, tal que el sulfato de sodio anhidro vuelva a recuperarse mediante la inyección de aire ó N <sub>2</sub> a 100 °C.

### 2.1.2. – Servicios auxiliares requeridos para el proceso

#### Vapor

Para generar vapor dentro nuestro proceso es conveniente realizar primero la estimación del total de vapor a utilizar y que posteriormente sea rentable en todo el año.

VAPOR	$\Delta P$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\Delta P$ psig	Calidad de vapor
Alta Alta	60 a 75	750	Sobrecalentado
Alta	43	600	
Media	19.3	275	
Baja	3 a 5	30 a 50	Saturado

En este caso se empleará vapor de baja presión para el proceso que entrará al destilador con las siguientes características: <sup>(23)</sup>

Vapor de baja presión			
	Mínima	Normal	Máxima
Presión man. (kg/cm <sup>2</sup> )	4.97	5.24	5.76
Temperatura (°C)	95	100	110
Calidad	Saturado		
Disponibilidad	Lo indispensable		

Se tendrá en cuenta que la calidad del vapor de agua sea excelente puesto que cualquier disminución de temperatura ó aumento de presión hará una condensación y esto es perjudicial en el proceso y en el destilador, por lo se tiene contemplado instalar un sistema de control que regule las condiciones de operación del vapor en la entrada.

Además, *el vapor se calentará lo suficientemente seco* para proporcionar vapor libre de humedad ya que en la mayoría de los usos se ha comprobado que la *humedad en el vapor no es deseable y perjudicial al destilador causando erosión.*

#### Agua de enfriamiento

El agua de enfriamiento a utilizar para el condensador – enfriador será necesario primero realizar el tratamiento del agua para evitar precipitación de incrustación, corrosión y formación de babazas y algas. Y por supuesto, el grado de tratamiento debe ser mayor para el sistema de recirculación hacia la torre de enfriamiento, ya que las impurezas se concentran a medida que ocurren pérdidas por evaporación.

Una de las recomendaciones a considerar para el tratamiento del agua en un momento dado es adicionar al agua de pequeñas cantidades de agentes tensoactivos, esto con el fin de aumentar la solubilidad de las sales estén sobresaturadas; y para prevenir la corrosión debida al oxígeno disuelto se agregará inhibidores de corrosión tales como cromatos o fosfatos tensoactivos. Y de esta manera se podrá utilizar el agua que proviene de la torre de enfriamiento. <sup>(23)</sup> De lo anterior, es el método más económico.

Normalmente el sistema de circulación del agua se suministra de 27 a 32 °C y se retorna a la torre de enfriamiento a un máximo de 49 °C.

Y las características que se tiene del agua:

Fuente de suministro primario	Lab. de Ingeniería Química (agua tratada)
Sistema de enfriamiento	Torre de enfriamiento
Presión en el L.B.	3.4(kg/cm <sup>2</sup> )
Temperatura de suministro en L.B.	32 °C
Presión de retorno en L.B.	2.4 (kg/cm <sup>2</sup> )
Temperatura de retorno en L.B.	46.11 °C
Disponibilidad	Lo necesario
Color aparente	56.6 Pt – Co
Conductividad específica	5515 mmho/cm
Temperatura del agua	29 °C
Turbiedad	17.5 Turb de Jackson
Temperatura del ambiente	31 °C
Grasa y aceites	17 mg/l
Nitrógeno en forma de nitrato	0.30 mg/l
Nitrógeno en forma de nitrito	0.07 mg/l
Oxígeno disuelto	6.1 mg/l
Demanda bioquímica de oxígeno	8.6 mg/l
Demanda química de oxígeno	96.95 mg/l
pH	7.00
Alcalinidad total	76.4
Acidez total	4.9 mg/l
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	320 ppm
Sólidos sedimentados	0.1 mg/l
Sólidos totales	4118 mg/l
Sólidos suspendidos totales	30 mg/l
Sólidos disueltos totales	4866 mg/l
Ortofosfatos	0.981 mg/l
Cloruros	1700 mg/l
Dureza de calcio	200 mg/l

La densidad del agua a diferentes temperaturas se tiene que: <sup>(21)</sup>

T °C	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )
10	999.7
20	998.2
25	997.0
40	992.2
50	988.0
90	965.3
95	961.9
100	958.3

### Agua contra incendio

Se suministra en los hidrantes de acuerdo a la:

Condición de operación	
Presión de suministro	10 kg/cm <sup>2</sup>
Temperatura	Ambiente

Los requerimientos de agua contra incendio serán siempre intermitentes. El suministro de agua cruda será siempre de las tomas principales de mantenimiento del laboratorio. <sup>(28)</sup>

### Aire

Se utilizará para la limpieza del área de proceso y de los instrumentos, por lo que la condición del aire será:

Condición de operación	
Presión de suministro	10 kg/cm <sup>2</sup>
Temperatura	38 °C
Gas	No aplica
Gas inerte	No aplica

La presión manométrica del aire de servicio para la planta se mantendrá de 7.0 a 9.0 Kg/cm<sup>2</sup>, mientras que la del aire para instrumentos no necesitará exceder de 2.5 a 3.0 Kg/cm<sup>2</sup>. <sup>(26)</sup> Si algún momento dado, el destilador empieza a fallar su control y no esta disponible el aire para instrumentos se podrá recurrir al aire de servicio de planta pero deberá pasar por el correspondiente secador.

### Energía eléctrica

Fuente de suministro: se conectará con una subestación diseñada, para reducir la tensión de entrada a la tensión de distribución del proceso.<sup>(2,3)</sup>

El diseño, instalación y prueba de equipo de material eléctrico se harán de acuerdo al código de CFE:

Fuente de suministro	<b>CFE</b>
Tensión de volts	<b>220</b>
No. de fases	<b>3</b>
Factor de potencia	<b>0.85</b>
Acometida	<b>Subterráneo</b>
Frecuencia	<b>60 Hertz</b>

En caso de falla eléctrica se contará con un sistema de fuerza interrumpida para lograr un paro ordenado, bajo control y de seguridad en el destilador.

### Desfogue

En el diseño del destilador continuo se diseñará este sistema considerando la estimación de costos totales tal que sea rentable nuestro destilador con todos los dispositivos que incluyen en el buen funcionamiento de nuestro proceso.

Este sistema será construido e instalado a partir de los límites de batería de acuerdo con la contrapresión del destilador hasta la obtención del aceite esencial orégano.

### Red telefónica

Se dispondrá de una red telefónica que este enlazado entre las oficinas del laboratorio, taller mecánico, eléctrico con la planta piloto, con el fin de tener seguridad de que esta trabajando el destilador continuo bajo las condiciones normales.

#### 2.1.3. – Sistema de seguridad

##### Sistema de contra incendio

En el método de destilación por arrastre de vapor se debe de cumplir con la normatividad establecidas en las bases de licitación. Tomando en cuenta las especificaciones de la NFPA con el objeto de definir las áreas de riesgo y la de contra incendio del destilador.

### Protección de personal

Se deberá cumplir con la normatividad que rige en el laboratorio establecida en las bases de licitación y tomando en cuenta las de la NFPA. Sin pasar por alto instalar regaderas, emergentes y lavaojos. Para el caso de usar los constituyentes puros del aceite esencial, ver hojas de seguridad de los constituyentes<sup>(13)</sup>. Además de obligar al personal a utilizar el equipo personal como son los lentes de seguridad, casco, botas con casquillo y bata.

#### 2.1.4. – Condiciones climatológicas

Tipo de viento (C.U.)	Dirección	Características
Vientos reinantes	NO	Son los de mayor frecuencia
Vientos dominantes	NE	Son los de máxima intensidad

Temperatura ambiente (julio 2003)	°C
Máxima	32
Mínima	8
Promedio	20
Humedad relativa (julio 2003)	%
Máxima	80
Mínima	50
Promedio	65

Precipitación pluvial (C.U.)	
Promedio anual (año 2003)	
Mínima	250 mm H <sub>2</sub> O
Máxima	280 mm H <sub>2</sub> O

**Atmósfera:** La presión es de 585 mmHg ambiente húmedo con clima templado.

**Terremotos:** Zona sísmica

#### 2.1.5. – Base de diseño de los equipos

- Tolva de alimentación con tornillo sin fin y válvula rotativa

La tolva con el tornillo sin fin y la válvula rotativa se especificará y seleccionará de acuerdo al código AGMA, AISI 304; y el material de construcción será de acero inoxidable.



- **Motor – reductor**

Se seleccionará el tipo de motor – reductor el que más se adecuó para velocidades (r.p.m.) muy pequeñas, además es muy importante seleccionar y especificar adecuadamente: ya que en el proceso de extracción se tiene contemplado operar como velocidad máxima a 30 r.p.m. tanto en la operación de la tolva con tornillo sin fin como el eje giratorio.

Normalmente la temperatura ambiente para operación de casi todos los motores – reductores no debe exceder a 40°C.<sup>(22)</sup>

- **Destilador y recipientes sujetos a presión atmosférica**

Para el diseño mecánico será de acuerdo a la última revisión (**año 1998**) que se ha hecho del código ASME sección VIII División I, para recipientes de presión a prueba de fuego. La selección de los materiales para la construcción del recipiente estará en función de la corrosión y erosión, y deben tener suficiente resistencia para poder soportar la temperatura y presión de diseño. Una selección inteligente de materiales asegurará bajos costos de mantenimiento y bajos costos iniciales.

- **Condensador – enfriador**

Se diseñará termodinámicamente y mecánicamente de acuerdo al código TEMA. Es importante en todo proceso recuperar la energía y calor por lo tanto deberá ser óptimo donde se justifique económicamente.

En el código TEMA hace referencia sobre la clasificación de los intercambiadores de calor de acuerdo a la última revisión que se ha hecho de este código (**Revisión 8**), esto es, este código ejemplifica tres diferentes clases de cambiadores de calor, Clase **R**, **C** y **B**.<sup>(23)</sup>

La **clase R** está diseñada para satisfacer los requerimientos de refinería de petróleo y de operaciones petroquímicas de alta presión. La **Clase C** está diseñada para satisfacer las **condiciones generales de procesos que implican presiones y temperaturas moderadas y fluidos relativamente no corrosivos**. La **Clase B** está diseñada para el uso de materiales de construcción basada en aleaciones y para manejo de fluidos a alta temperatura o especialmente corrosivos. La **Clase R** especifica mayores tolerancia de corrosión que la clase C y, en general, tiene requerimientos de construcción más rígidos.

- **Torre de enfriamiento**

El tipo de torre a utilizar será de tiro mecánico forzado puesto que esta torre permite una mayor carga de agua con rellenos más compactos, y por tanto, se tendrá una mayor aproximación a la temperatura húmeda.

Y la razón por el cual se va utilizar es debido a la instalación, ya que los vapores que se descargan a la atmósfera tienden a recircular hacia la aspiración de los ventiladores, pueden reducir el rendimiento de la torre hasta un 20% y producir además, en climas fríos, depósito de hielo en los equipos mecánicos.

Todos los equipos considerados aunque son diseñados y garantizados por el fabricante, deben cumplir con las especificaciones que se basan en normas y códigos internacionales:

<b>Equipo</b>	<b>Norma, código ó especificación</b>
Tubería y accesorios	<b>ASTM, AWWA, AGA, API*</b> <b>ANSI B.36.19</b> Tuberías de acero inoxidable** <b>ANSI B.36.10</b> Tuberías de acero al carbono y aleado soldadas y sin soldadura** <b>ANSI B.31.8</b> Sistema de tuberías para distribución de gas <b>ANSI B.31.5</b> Sistema de tuberías para tuberías de refrigeración <b>API STD 602 ó BS.2995</b> Válvulas de compuertas( ½" a 1 ½" ) <b>API 602 ó BS.2995</b> Válvulas de asiento ( ½" a 1 ½" ) <b>API BS.2995</b> Válvula de retención( ½" a 1 ½" ) <b>API STD 600</b> Válvula macho ( ½" a 1 ½" ) <b>API BS.4460</b> Válvula de bola ( ½" a 1 ½" ) <b>ANSI B.16.5</b> Bridas y accesorios bridados de acero en ratings de 150, 300, 400, 600, 900, 1, 500 y 2, 500 lb. <b>ANSI B.16.9</b> Accesorios de acero para soldar a tope <b>ANSI B.16.11</b> Accesorios de acero para soldar a enchufe y roscados <b>ANSI B.16.31</b> Bridas para materiales no férricos <b>ANSI B.16.5</b> Longitud de pernos para bridas <b>ANSI B.18.2..2</b> Dimensionamiento de tuercas para bridas
Tolvas con tornillos sin fin	<b>AISI, AGMA</b>
Recipiente a presión	<b>ASME, API</b>
Seguridad	<b>PEMEX, NFPA</b>
Electricidad	<b>NEMA, NEC, API</b>
Instrumentación	<b>ISA</b>
Intercambiadores de calor	<b>TEMA, ASME</b>
Materiales de construcción	<b>ASTM</b>
Construcción de la planta del proceso	<b>CFE</b>
Motores reductores	<b>NEMA</b>

\* Es necesario aclarar, en relación a las normas americanas que los estándares API prevén además de dimensionamiento de los tubos, las siguientes prescripciones: tolerancia en dimensiones nominales, composición química de los aceros de construcción para tubos en sus diversos grados, características mecánicas de los aceros en sus diversos grados (carga de rotura, carga de fluencia, alargamiento porcentual), descripción de las pruebas químicas y mecánicas a seguir, ejecución de la prueba hidráulica, longitud de barras, transporte, y criterios de aceptación o rechazo de una partida de tubos.

\*\* A diferencia de la norma API, las normas ANSI B.36.10 y B36.19 hacen referencia únicamente al dimensionamiento geométrico de los tubos. Para los tubos construidos de acuerdo con estas normas, se utiliza el criterio de especificar material según norma ASTM. Inversamente, si se adopta la norma ASTM, es aconsejable utilizar los espesores previstos en ANSI B.36.10 y B36.19. Naturalmente, que el especificar material ASTM lleva consigo el cumplimiento de las prescripciones que dicha norma prevé, como lo indica anteriormente para la norma API.

\*\*\* Para el significado de las siglas de las normas y códigos ver en el anexo II.

### **2.1.6. – Base de diseño eléctrico**

Se diseñará con la ayuda de la CFE Centro. Esta comisión evaluará la fuente de energía que será distribuida en el destilador. Teniendo en cuenta el costo y el porcentaje. La acometida dentro de los límites de batería será subterránea.

Las clasificaciones de áreas esta contenido dentro de la norma NEMA y NEC. La resistividad de la instalación del destilador debe de estar de acuerdo al estudio de mecánica de suelos efectuado por el contratista. La distribución de circuitos de fuerza será subterránea y los tableros de control serán de un solo frente.<sup>(2,3)</sup>

La corriente para alumbrado será de 120 volts (1 fase) para interiores y 220 volts (2 fases) para exteriores el alumbrado interior y exterior será de tipo fluorescente. La acometida está dentro de los límites de batería para esta corriente será subterránea.

### **2.1.7. – Base de diseño para tuberías y accesorios**

Basándose en normas ASTM, ANSI, ASA, AWWA y AGA se diseñaran las tuberías de acuerdo a la necesidad del proceso de mantenimiento y de operación. Teniendo en cuenta que el diseño de tubería de proceso y servicio debe satisfacer los requisitos de seguridad, montaje, operación, mantenimiento y económico.

Así como los planos isométricos de tubería subterránea, drenaje, tubería de la red contra incendio, localización de boquillas en los equipos, localización de plataformas, escaleras y localización general del arreglo de los equipos que se encuentran instalados de otros procesos en el laboratorio.

### **2.1.8. – Base de diseño civil**

El estudio que se ha hecho de la mecánica de suelo del laboratorio dependerá del lugar donde es más adecuado instalar el destilador continuo en todos los aspectos con el sistema de alimentación de la materia prima y descarga del producto final (aceite esencial).

El nivel de piso terminado (NPT) y el nivel freático (NF) será de acuerdo a la localización e instalación final del destilador y el condensador. <sup>(2,3)</sup>

Una de las restricciones que se tiene, es el tipo de suelo; es 100% de cemento pavimentado por lo que se seleccionará soportes y escaleras en función de la máxima carga del destilador, condensador – enfriador y el vaso florentino; siempre y cuando, sea necesario instalarlos.

### 2.1.9. – Base de diseño para instrumentos

Se elaborara un diagrama de instalación del sistema de control solamente para el destilador continuo y el condensador – enfriador; y los demás equipos para la separación de aceite esencial del agua se especificará para su adquisición a escala laboratorio, estos son, el vaso florentino, vasos precipitados, garrafones de plástico, envases de vidrio color ámbar. A todo ello conlleva asegurar la calidad del trabajo para su adquisición.

La calibración de los instrumentos será bajo el criterio de las siguientes unidades:

Temperatura	Presión	Flujos	
		Gases	Líquidos
°C	kg/cm <sup>2</sup>	LPM	LPM

## 2.2. – Criterios de diseño

### 2.2.1. – Criterio de diseño general

El objetivo del destilador continuo es producir **14.55 Kg de aceite esencial de orégano al año** en un solo turno. El destilador se diseñará con los siguientes criterios: conservación y recuperación de la energía, máxima seguridad, flexibilidad operacional, mantenimiento preventivo y productivo, impacto ambiental bajo, recirculación de subproductos y aseguramiento de calidad.

### Carga en el destilador

El destilador estará diseñado para producir eficientemente la cantidad de **14.55 Kg/año** de aceite esencial de orégano en un solo turno con las especificaciones citado en las bases de diseño.

### Capacidad y flexibilidad

La capacidad del destilador se seleccionó de acuerdo a la demanda del producto de un **solo turno**:

Capacidad de producción del aceite esencial	
Capacidad de diseño	14.55 Kg/año
Capacidad normal	14.55 Kg/año
Capacidad mínima(40% debajo de la normal)	8.73 Kg/año

**2.2.2. – Criterios sobrediseño**

El diseño se hará de tal forma que no sólo se pueda manejar orégano sino también una variedad de especies vegetales como por ejemplo, menta, anís, yerbabuena, manzanilla, menta, salvia, etc.

Se dispondrá de un motor – reductor de relevo tanto para la tolva como para el eje giratorio, por cuestiones de alguna falla en la mecánica hidráulica en los motores o los reductores.

También se tendrá otro eje giratorio de relevo para realizar la limpieza del eje principal; esto con el fin de mantener la operación continua.

Se cubrirá los requerimientos de energía del proceso, para ellos se realizará el arreglo necesario en el destilador y los componentes del condensador – enfriador para asegurar tener el mínimo consumo de energía externa, esto se hará mediante el aprovechamiento de energía del destilador donde se llevará a cabo la extracción del aceite esencial con vapor.

**2.2.3. – Criterios de diseño de equipos**

En el diseño de los equipos se tomarán en cuenta las variaciones de flujo que se pudiera tener con el fin de obtener una adecuada flexibilidad operacional. El condensador - enfriador estará diseñado de acuerdo a la longitud que será de **1,000 mm\*72.5 mm**. Se utilizará el catálogo de los equipos y materiales, con el fin de tener estándares internacionales. Dentro de los criterios que vamos a llevar a cabo el diseño del destilador y sus componentes serán:

**Tolva con tornillo sin fin**

La selectividad de la materia prima depende del tipo de separador de tamaños de partículas por lo que es recomendable utilizar tamices planos que vibran a una revolución de 600 a 700 r.p.m. que separan partículas de tamaños debajo de 38 $\mu$ .

El uso de tornillos huecos y tuberías para la circulación de fluidos calientes ó fríos permite que los transportadores de tornillo sin fin se usen para operaciones de calentamiento, enfriamiento y desecación. Se pueden usar tuberías recubiertas con el mismo fin.<sup>(29)</sup>

La capacidad del transportador debe estar muy por encima del índice máximo de alimentación procedente de puntos simples o múltiples. Es recomendable utilizar la válvula giratoria de corte ya que es de acción rápida, herméticamente cerrada al polvo, para materiales en flujo libre.

Es de gran importancia definir la distribución de los sólidos, el mayor y el menor. La clasificación con aire es preferible para pequeños y finos tamaños.

Los *critérios de diseño del eje* se basán en la *capacidad del destilador*, esto es: **1)** entre menor sea velocidad del motor reductor que se pueda seleccionar, habrá mayor transferencia de masa dentro del destilador, **2)** la disminución del diámetro del eje contribuirá mejor la retención del orégano seco en cada esparcimiento de las mallas, y **3)** entre menor sea la distancia de separación de las mallas mayor será la transferencia de masa y desde luego, el tiempo de residencia será viable de **30 min.** <sup>(20)</sup>

La selección e instalación del transportador (*tolva con tornillo sin fin*) al destilador tomará en cuenta en la materia prima (*orégano selectivo*); esto es, con el fin de no contaminar y de arrastrar material férrico hacia el destilador.

Entre los principales criterios se tiene: <sup>(30)</sup>

- ◆ El de **Jenike** que permite hacer un *análisis económico* de la *ingeniería de almacenamiento* con el mismo nivel de confianza que para el resto de la planta de proceso. Los métodos cuantitativos nos determinarán el tipo de tolva adecuado para el transporte ya sea que funcione con flujo de masa o de émbolo y las dimensiones de salida de la tolva con el fin de que el producto fluya.
- ◆ Una vez que se tome la decisión del tipo de tolva (de *flujo de masa* ó de *embudo*) se precisará la salida de la tolva y el tipo de tornillo sin fin. La lección de Jenike sobre el flujo a través de la abertura del depósito es la de que los materiales que se pueden compactar (por oposición a los de flujo libre) se apelmazarán debido a la forma del recipiente de almacenamiento y las características de empacamiento del producto.
- ◆ Se sellará completamente la tapa de la tolva para funcionar con una presión positiva y el tubo se puede aislar para mantener temperaturas internas en regiones de temperatura ambientes elevadas o bajas.
- ◆ Se va diseñar el tornillo sin fin con una descarga para facilitar la limpieza con el fin de evitar la contaminación cuando se deban manejar en el mismo sistemas de materiales diferentes.
- ◆ La *potencia requerida* se calculará en *función del impulsar el tornillo al vacío* y de lo que se requiere para el *desplazamiento del material*; esto es, *en función de la longitud del transportador, la velocidad de rotación, la fricción en los cojinetes y soportes, del peso total de material transportado por unidad de tiempo, la longitud del recorrido y la profundidad* a la que se *carga el canal*.
- ◆ La potencia del transporte debe transmitirse a través del eje y estará limitado por el tamaño permisible de sus piezas.
- ◆ La necesidad del *tornillo helicoidal* de paso variable *permitirá un arrastre uniforme del material por la abertura completa de la tolva*. Para que haya flujo uniforme, la relación numérica de la abertura de alimentador del tornillo sin fin al diámetro no debe sobrepasar de 6 in.

- ◆ La facilidad de manejo de las materas primas se logra mediante la granulación. El tamaño de partículas, la uniformidad de los tamaños y las superficies lisas y duras de las partículas contribuyen a mejorar el flujo.
- ◆ El tamaño de partículas es uno de los factores más comunes y controlable que afectan la capacidad de flujo de un material dado.
- ◆ El **contenido de humedad** es otro factor y controlable de flujo. La mayoría de los materiales puede absorber con facilidad humedad hasta cierto punto; la adición posterior de humedad puede provocar problemas importantes de flujo.
- ◆ Las **temperaturas elevadas** pueden provocar problemas graves de flujo en algunos materiales que contienen gluten, azúcares u otros componentes solubles y de punto de fusión bajo. Estos materiales se hacen pegajosos en las temperaturas elevadas y puede ser necesario instalar equipo de enfriamiento.
- ◆ Se utilizan **compuertas para controlar el flujo** procedente de depósitos, tolvas y equipos de procesamiento a los alimentadores o directamente a los transportadores. Para nuestro caso, el tipo de compuerta que se instalará es **cuadrante**. No se diseñan para controlar el flujo del material sino para permitir la **descarga libre** de los materiales en forma **continua**. (Ver más detalles en el anexo III)
- ◆ Los **controles del nivel** de los sólidos en las tolvas de **flujo másico** son de vital importancia para **proteger** en contra de los daños producidos por el **atascamiento**, si se sitúa en vertederos de transferencia y descarga. Puede activar simplemente una señal de alarma visual o auditiva para poner en marcha o detener automáticamente el tornillo sinfín.
- ◆ La máxima velocidad de giro que puede trabajar un tornillo sinfín depende de su diámetro y de la naturaleza del material a transportar.

Para la especificación de la tolva de alimentación será en función del tipo de material a alimentar, esto es: <sup>(29)</sup>

Tolva de flujo de masa	Tolva de flujo de embudo
1. Las partículas se segregan, pero se reúnen en la descarga	1. Las partículas se segregan y permanecen segregadas
2. Los <b>polvos</b> se desairean y no fluyen cuando se descarga el sistema	2. La primera porción que entra es la última en salir
3. El flujo es uniforme	3. Pueden permanecer productos en puntos muertos, hasta que se realiza la limpieza completa del sistema
4. La <b>densidad del flujo es constante</b>	4. Los productos tienden a formar puentes o arcos y, luego a que se formen agujeros de rata durante

	la descarga
5. Los indicadores de nivel funcionan adecuadamente	5. El flujo es errático
6. No quedan productos en zonas muertas, donde pudieran degradarse	6. La <i>densidad puede variar</i>
7. Se pueden diseñar la tolva para tener un almacenamiento no segregado o para funcionar como mezcladora	7. Los <i>indicadores de nivel</i> se deben situar en puntos clave, para que puedan funcionar adecuadamente
	8. Funcionan bien con sólidos de partículas grandes y flujo libre

### Destilador continuo, vaso florentino y recipientes sujetos a presión atmosférica

- **Tiempo de residencia por servicio**

Los valores que se mencionan a continuación son basándose en la experiencia que se ha venido estudiando este proceso a escala laboratorio pero también hago referencia del siguiente esquema: <sup>(19)</sup>

Personal	Factor
Experimentado	1.0
Bien experimentado	1.2
Sin experiencia	1.5
Instrumentación	Factor
Bien experimentado	1.0
Instrumentación normal	1.2
Mal instrumentado	1.5

En este caso para el destilador y los demás recipientes sujetos a presión se consideran que el personal del laboratorio está entrenado y que tendrá una instrumentación buena, esto es:

- Destilador ½ hr. ( $T_r = 25 \text{ min.} \times 1.2 \times 1.0$ )
- Recipiente separador líquido – líquido 1 hr. ( $T_r = 50 \text{ min.} \times 1.2 \times 1.0$ )
- Recipiente de balance: 2 hr. ( $T_r = 100 \text{ min.} \times 1.2 \times 1.0$ )
- Recipiente de almacenamiento: en este equipo no hay un tiempo de residencia dependerá de la producción del aceite esencial.

- **Material de construcción**

Como el destilador operará a presión atmosférica no se considerará el sobrediseño. Además el material de construcción tendrá un espesor de corrosión mínima y se usará como valor mínimo de 1/16". La temperatura de diseño será equivalente a la máxima temperatura que se pueda presentar más 10°C. <sup>(19)</sup>



La presión de diseño no debe ser menor que la máxima diferencia de operación que pueda ocurrir entre el exterior e interior del recipiente. El espesor permisible por corrosión es de 0.35 in. para condiciones corrosivas conocidas y para corrientes no corrosivas el espesor es 0.15 in.

Se ha mencionado que el material que será construido el destilador continuo y el condensador-enfriador será de acero inoxidable de acuerdo al código ASME no obstante hacemos una aclaración en esta parte.<sup>(29)</sup>

La selección se basará en el código AISI que especifica los **aceros austeníticos** son muy recomendables para los *recipientes a presión* que trabajan hasta los **550 °C**; las *aleaciones 18/10* son adecuadas hasta **800 °C** y las *aleaciones 25/10* tipo 310 hasta **1100 °C**. Además estos aceros pueden utilizarse para temperaturas muy bajas hasta **-50 °C**.

Este criterio conduce a deducir que el material de construcción no podrá ser otro tipo de material dentro de dos tipos más usual el **304** ó el **316**. El **primero** el más adecuado para *corrosiones intermedias* y el **segundo** para *corrosiones más extremas*.

El **304** tiene un máximo de **0.08%** de **C**, un máximo de **2%** de **Mn**, **1%** de **Si**, entre **18 y 20 %** de **Cr**, y entre **8 y 12 %** de **Ni**; un variante es el **304L** que posee un máximo de **0.03%** de **C**. El tipo **316** tiene **0.08%** de **C**, **2%** **Mn**, **1%** de **Si**, **16 a 18 %** de **Cr**, **10 a 14 %** **Ni** y entre **2 a 3%** de **Mb**; su variante **316L** el que tiene un máximo de **0.03%** de **C**.<sup>(19)</sup>

Las variantes **304L** y **316L** se usan en las mismas aplicaciones que el **304** y **316** cuando se necesita soldar placas de espesores mayores de 6.5 mm y de 1 cm respectivamente.

Para materiales de construcción de los accesorios, tuberías, bridas, del equipo destilador será de acero inoxidable:

Resistencia de oxidación de estos en presencia de aire<sup>(20)</sup>

Temperatura máxima °C	Tipo de acero inoxidable
649	<b>416</b>
699	<b>403, 405, 410, 414</b>

#### • Sellos mecánicos para el eje giratorio

El dispositivo de sellado debe ser flexible, preciso y compactibilidad. Para asegurar la lubricación inicial y facilitar la instalación se impregnará trenzas metálicas. La capacidad de sellado debe ser diseñado para contrarrestar a una presión alta puesto que la fuerza hidrostática se ejerce normalmente en la misma dirección que la del resorte. deberá tener protección de las partes selladoras contra daños mecánicos externos.

El tamaño de la estopera no es un factor limitante. El balanceo hidráulico se logra con los diámetros de las caras selladoras y el sello secundario proporcionalmente. Se utilizarán bujes de estrangulamiento ya que estaremos manejando materia sólida en el destilador.

Estos bujes tienen la finalidad de servir como restricciones para el flujo a través de los cuales el mantenimiento de un pequeño flujo hacia dentro del fluido de enjuague impide la entrada de un fluido de proceso al estopero.

La ventaja que se tendrá de estos sellos con los empaques convencionales es que habrá menos pérdida por la fricción; la eliminación del desgaste en el eje o los manguitos, las fugas despreciables a lo largo de una vida prolongada de servicio y la carencia de mantenimiento periódico.

En cuanto al material que recomiendan los fabricantes es de *teflón empastado de vidrio* que soporta hasta **232 a 260 °C**. Y el material que se utilizarán para sellar las caras será de acero inoxidable.<sup>(29)</sup>

Un criterio de diseño que siempre se lleva cabo para escoger el material de estos sellos es tomar en consideración la posibilidad de que no se produzca corrosión en función de las condiciones de operación de la temperatura y presión en un proceso.

#### ▪ Selección de tipo de cabezas

La selección del tipo de cabeza para el recipiente cilíndrico es de crucial importancia en el diseño, ya que normalmente es el punto crítico de falla en los recipientes sujetos a presión interna. Existen varios tipos pero por cuestión de economía se seleccionará tapas planas (bridas) para la parte superior del destilador y en la parte inferior se diseñará un sistema en la que saldrá continuamente el bagazo y se procurará diseñar un soporte de protección de que no salga el vapor.<sup>(25)</sup>

#### ▪ Velocidad de asentamiento (vaso florentino)

En la separación por asentamiento de dos fases líquidas de *densidades diferentes*, las gotas de la fase pesada tienen una tendencia a caer y separarse de la fase ligera bajo influencia de la gravedad. Estas gotas de líquido pesado salen del líquido ligero por asentamiento libre.

Se aplica un mecanismo análogo a la separación de las gotas de líquido ligero que pueden estar presentes en el grueso de la fase pesada, excepto que en este caso el movimiento de la gota es hacia arriba y la fuerza de arrastre friccional creada por este movimiento, se opone a las fuerzas ascendentes, en lugar de la gravedad.<sup>(19)</sup>

El objeto de este recipiente es lograr una separación eficiente. Una vez diseñado el equipo se podrá instalar ciertos arreglos mecánicos, tales como mamparas, para proporcionar volumen de residencia dentro del mismo recipiente.

Como criterio el valor de velocidad de asentamiento que no exceda los **0.42 cm/s** (ley de Stokes), será un valor conservador para evitar diseños deficientes.<sup>(29)</sup> Los asentadores se diseñan con un tamaño de gota experimental, o de no tenerse que es nuestro caso, vamos a suponer un tamaño de **150μ** de diámetro.

El vaso florentino deberá cumplir con el requisito de que para cada fase líquido continua sea mayor que el tiempo de asentamiento que necesitan las gotas del líquido disperso para separarse.

- **Velocidad del vapor**

A presión atmosférica y a la temperatura ambiente; la velocidad del vapor recomendado es de alrededor de 0.61 a 0.914 m/s considerando la presión moderada con una *caída de presión* por plato de malla de **1.27 cm de H<sub>2</sub>O**.<sup>(21)</sup>

Un factor de seguridad de 10% sobre el número de platos de malla calculados es razonable. El tipo de malla es **entre 0.635 a 1.27 cm de diámetro**, siendo de los agujeros el **10% del área sección activa**.

- **Altura de la separación de un líquido**

Se especificará 0.3048 m como mínimo para la altura de separación de cada fase, para la mayoría de los sistemas líquidos – líquidos la altura de la banda de dispersión no rebasa este valor.

La relación L/D para el dimensionamiento generalmente está entre 1 a 5. La relación L/D optima se efectúa con base en el costo mínimo del recipiente en función de la presión de operación en todo el proceso.<sup>(19)</sup>

P (lb/in <sup>2</sup> )	L/D
Vacío	1
0	1.5
P < 100	3
101 < P < 300	4
301 < P < 600	5

Puede ser difícil construir y operar los recipientes con diámetros inferiores a 0.6096 m (por problemas de mantenimiento) especialmente si se van a usar internos como mamparas, mallas separadoras, etc.

- **Forma geométrica**

Basándose en la experiencia se ha visto que la forma del recipiente utilizado en la industria de procesos es cilíndrica puesto que es una construcción más simple, económica y mejor adaptada a la función del recipiente.

Un factor necesario a considerar es el que produzca el diseño más económico. **Brummersted** demostró que la relación de longitud a diámetro de **4:1 a 6:1**, es la más económica en el tamaño y la forma del recipiente para recipientes a presión atmosférica<sup>(24)</sup>. Otros factores que deben considerarse son disposición del equipo, apariencia y cimentaciones.

- **Boquillas de alimentación y descarga**

Las boquillas se dimensionarán basándose en las siguientes recomendaciones:<sup>(26)</sup>

Servicios	Velocidad (ft/s)	$\Delta P_{100 ft}$ (psi)
Líquido saturado	<4	$0.05 < \Delta P_{100 ft} < 0.25$
Llegada de vapor saturado	<1/3 (velocidad sónica)	$0.5 < \Delta P_{100 ft} < 1.5$
Llegada de vapor saturado	>1/3 (velocidad sónica)	$1.0 < \Delta P_{100 ft} < 2.0$
Agua de enfriamiento	< 15	$0.5 < \Delta P_{100 ft} < 1.5$
Línea de vacío	< 3	$0.02 < \Delta P_{100 ft} < 0.3$
Cabezales de nitrógeno	< 5	$0.1 < \Delta P_{100 ft} < 1.0$
Líneas para combustible gaseoso	< 6	$0.1 < \Delta P_{100 ft} < 1.0$
Líneas de descarga del aire comprimido	<75	$0.2 < \Delta P_{100 ft} < 1.0$

### ▪ Boquillas de venteo y drenaje

Como las boquillas serán menores de 10 in, por lo tanto, se inspeccionará con ultrasonido tanto para el venteo como la entrada y salida de vapor de los equipos.

El diámetro de la boquilla se especifica al menos 2 diámetros nominales menor al de la tubería a la que será conectada para permitir el flujo por simple hidráulica, recordando que el diámetro mínimo de una boquilla beidad es de  $1/2$ .<sup>(25)</sup>

Normalmente se instala sobre la tubería conectada al recipiente, cuando ésta se localiza en la parte superior del mismo, siendo cuando menos de 2 diámetros inferiores al de la tubería. El diámetro mínimo de venteo que se conecte al cuerpo del recipiente debe ser  $1/2$ ". La dimensión de esta boquilla y su instalación puede seleccionarse basándose en lo siguiente:<sup>(27)</sup>

Capacidad de recipiente m <sup>3</sup>	Ø Boquilla venteo		Instalación
	ATM	A DESFOGUE	
≤ 1.4	¾"	1"	Sobre la tubería
1.4 a 17	1"	1 ½"	Sobre la tubería
17 a 71	1 ½"	2"	Sobre tubería o recipiente
> 71	2"	2"	Sobre tubería o recipiente

Para el sistema de drenaje se instalará en el punto más bajo del destilador. Al igual que el venteo, depende en términos generales de la capacidad del destilador como sigue:<sup>(27)</sup>

Capacidad de recipiente m <sup>3</sup>	Ø Boquilla drenaje	Instalación
≤ 1.4	1"	En la tubería
$1.4 < \text{cap.} \leq 5.7$	1 ½"	En la tubería
$5.7 \leq \text{cap.} \leq 17$	2"	En tubería o recipiente
> 17	3"	En tubería o recipiente

- **Sistemas de tuberías y accesorios**

Para determinar el diámetro de las líneas de todo el proceso de extracción definiremos el principal criterio que es el económico, siempre y cuando sea factible; de lo contrario, sí la línea es pequeña no vale la pena utilizar este criterio ya que resultaría muy caro.

Y la recomendación es utilizar **valores recomendados** para la velocidad del fluido (vapor saturado, orégano sólido, vapor con aceite esencial) ó de la caída de presión en la línea. <sup>(21)</sup>

Esto es, la **presión de diseño de una tubería** viene fijada de los criterios siguientes:

- Se considera una velocidad del fluido de **20 m/s** y el peso molecular del gas de **110**.
- Cuando se calcula el diámetro teórico normalmente no coinciden con un diámetro comercial, por lo tanto, será necesario elegir, desde punto de vista práctico, el diámetro comercial inmediatamente superior.
- Se tiene valores medios recomendados de velocidades usuales para algunos fluidos:

Tipo de fluido	Velocidad (m/s)
Vapor de agua saturado ó ligeramente recalentado a presión de 0 a 2 Kg/cm <sup>2</sup>	20
Vapor de agua saturado ó ligeramente recalentado a presión mayor de 2 Kg/cm <sup>2</sup>	30
Vapor de agua recalentado a presión menor de 14 Kg/cm <sup>2</sup>	50
Vapor de agua recalentado a presión mayor de 14 Kg/cm <sup>2</sup>	50 a 70
Agua en servicios normales	1.2 a 1.8
<b>Aceites esenciales</b>	<b>1.5</b>
Cloro líquido	1.5
Gas natural	30
Hidrógeno	20
Aire (0 a 2 Kg/cm <sup>2</sup> )	20
Oxígeno a temperatura ambiente	10
Agua de mar en tubería recubierta de goma	1.5 a 2.4
Agua de mar en tubería recubierta de cemento	1.5 a 3.5

Haciendo hincapié que en este proyecto solamente se especificará el **diámetro recomendado** de las tuberías de todo el proceso a través de estas recomendaciones; y por lo tanto, no se hará el análisis riguroso de las caídas de presión que se producen, puesto que el flujo que se manejará es muy pequeño.

Se usará válvula de globo para controlar el flujo de vapor y para cuando el servicio requiere abrir o cerrar y mantenerse en ese valor.

La elección del material de las bridas será en función de ratings de temperaturas y presión de diseño del destilador de acuerdo al código ASA. <sup>(30)</sup>

La presión de diseño de l sistema de tubería no será menor que la presión en las condiciones conjuntas más severas de presión y temperatura para el espesor mayor o relación presión – temperatura requerida.

La temperatura de diseño es la temperatura del material representativa para las condiciones conjuntas más severas de presión y temperatura. Cuando se trate de tubería metálica no aislada con fluido a una temperatura inferior a 38 °C la temperatura del metal será considerada como la temperatura del fluido.

Y cuando el fluido se encuentra a una temperatura igual o superior a 38°C y la tubería no tenga aislamiento externo, la temperatura del metal será tomada como un porcentaje de la temperatura del fluido, a menos que se determine una temperatura más baja por experimentación o cálculo.

Para la tubería, válvulas y con extremos soldados, accesorios y otros componentes con un espesor de pared comparable al de esa tubería, el porcentaje será 95%; para bridas, válvulas y accesorios será de 90%; para bridas con junta de solapa será de 85%; y para pernos de 80%.

La seguridad se puede definir como la estipulación de medida de protección que se requieren para asegura la operación sin riesgos. Entre las consideraciones a evaluar son: la cantidad de fluido que escapará la consecuencia de una falla en la tubería, el efecto de una falla en la seguridad de toda la planta, la seguridad de la tubería según los materiales de construcción, métodos de unión y el servicio que recibirá la tubería.

### Condensador - enfriador

Es recomendable que por lado de los tubos es para el fluido más corrosivo, alta presión, sucio incrustante o caliente (**vapor de aceite esencial**) y por el lado de la coraza es preferentemente usado para fluidos más viscosos o para condensados (**agua**).<sup>(31)</sup>

Se dispondrá que el agua de enfriamiento está a 32 °C y que regresa a la torre a 46 °C. Y las conexiones de venteo y de purga son de ¼". Se mandará construir los tubos de acero inoxidable.<sup>(24)</sup> El condensador – enfriador se diseñara como condensador total no habrá reflujo hacia el destilador.

Se tendrá precaución con la media logarítmica de temperatura en las entradas y salidas si el calor latente es pequeño comparado con el sensible, si el caso contrario, se basará en la media logarítmica de temperatura en los puntos de burbuja y rocío.

Se utilizarán los acercamientos de temperatura similares a los enfriadores con agua. Teniendo en cuenta que el mínimo acercamiento de temperaturas es de 20 °F para enfriamientos normales.

Se considerará como mínimo la  $U = 70 \text{ Btu/ h}\cdot\text{ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$  para primer cálculo de diseño y se involucrará un factor de prediseño del 25%.<sup>(28)</sup>

**Alimentador estrella o válvula rotativa (equipo para descargar el bagazo)**

Se deberá agregar una sección vertical de cuando menos, una salida por encima del destilador para asegurar la salida uniforme por la abertura.

**Torre de enfriamiento <sup>(22)</sup>**

- (a) El agua en contacto con aire en condiciones adiabáticas se enfría a la temperatura de bulbo húmedo.
- (b) La velocidad de circulación del agua es de 1 a 4 gpm/ft<sup>2</sup> y la del aire de 1300 a 1800 lb/h.
- (c) El tamaño de la torre depende de la diferencia entre las temperaturas de salida y de bulbo húmedo.
- (d) Las pérdidas por evaporación son entre el 1 y 5% de la circulación por cada 10 °F del rango de enfriamiento.

**Caldera para vapor**

De la caldera que se quiere instalar en el proceso con el agua es indispensable:

- Diseñar un tratamiento de agua, para ablandar, este diseño no se contempla debido a que no se encuentra a nuestro alcance, pero si tendremos que especificar de donde podríamos tomar el agua hacia el destilador.
- Un tanque de almacenamiento de agua

**2.2.4. – Criterio de condiciones de operación**

<b>Para la extracción del aceite esencial orégano</b>	
Temperatura de extracción	100 °C
% de humedad mínima del orégano alimentado	12%
Presión	5.25 – 5.77 Kg/ cm <sup>2</sup>

<b>Para la separación del aceite esencial orégano en el vaso florentino</b>	
Temperatura de separación	55 °C
Presión	0.125 – 0.50137 Kg/ cm <sup>2</sup>

<b>Para la regeneración del agente químico secante (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)</b>	
Temperatura del aire	100 – 110 °C
Presión	5.25 – 5.77 Kg/cm <sup>2</sup>

### 2.2.5. – Criterios básicos del diseño del proceso

El orégano será transportado al almacén en forma manual (sacos de costal); para después ser llevado al laboratorio donde se sabrá con que cantidad y calidad llega la materia prima.

Una vez conocida las características de la materia prima se transportarán hacia la tolva que se encontrará instalado junto con el destilador.

Posteriormente cuando se observe que la tolva se está vaciando se adicionará continuamente la materia prima y así sucesivamente, durante las **8 hr./ turno**.

### 2.3. – Descripción del proceso

El proceso que se llevará a cabo para realizar la destilación por arrastre de vapor y obtener el aceite esencial de orégano se clasifica en:

- ❖ **Etapa de tratamiento de la hoja:** se presenta el orégano tal cual se encuentra en el campo y el tratamiento que se debe seguir para realizar la extracción de esta planta.
- ❖ **Etapa de extracción:** la planta de orégano con su debido proceso de secado se transporta hacia el destilador continuo para realizar la extracción.
- ❖ **Etapa de almacenamiento:** el aceite esencial de orégano obtenido de la extracción se almacena para ya poder utilizarse.

#### 2.3.1. – Etapa de tratamiento de la materia prima

- ❖ **Recolección del orégano:** el orégano que se va proporcionar para el proceso se cortará, la parte útil de la planta son sus hojas y flores.
- ❖ **Secado de orégano:** después de cortar, secar el orégano en el patio principal, en cajas de cartón aproximadamente una semana.
- ❖ **Vareado del orégano:** verificar las condiciones del orégano, eliminar hojas, yerbas que no sean del orégano, dejando así las hojas y ramas del orégano, posteriormente se guarda en sacos de costal.
- ❖ **Control de calidad:** se pasará por un análisis de materia prima cuyas variables serán: peso de la materia prima, variedad del orégano, humedad y cantidad de aceite; esto se realizará de acuerdo a las normas de calidad.
- ❖ **Almacén de la hoja de orégano:** posteriormente se pasa al almacén con las condiciones de baja humedad y temperatura ambiente.



- ❖ **Cribado:** ya teniendo el orégano limpio se pasa a una criba por lo cual se va a seleccionar el orégano en diferentes tamaños con *mesh* de **1.5, 1.0, 1.5** a esto dependerá: hoja entera, trozos de hoja y polvo.
- ❖ **Transporte:** se transportará manualmente el orégano por una tolva hacia el proceso de extracción.

### 2.3.2. – Etapa de destilación por arrastre de vapor

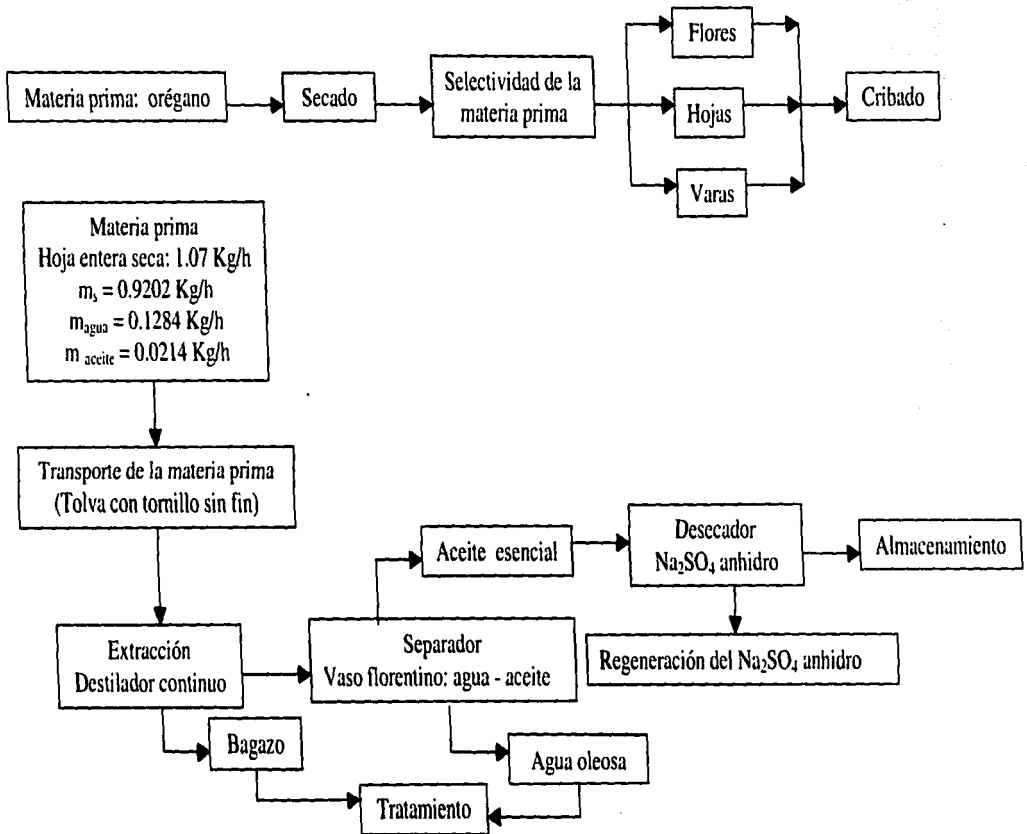
Se introduce **1.07 Kg/hr de orégano** hacia la tolva sucesivamente durante **8hr/turno**.

- ❖ **Destilador continuo:** se hace la destilación por arrastre de vapor en el destilador continuo, que estará diseñado con **34 platos perforados** (tipo *mallas # 20*), y la separación entre cada y una de ellas será aproximadamente de **25 mm**. En el fondo del destilador se *alimentará vapor de baja presión (5.25 Kg/hr)* tal que este a lo largo del equipo arrastre a su paso al aceite esencial, este proceso durará aproximadamente **30 min.**; luego los vapores a la salida del extractor son conducidos a un condensador.
- ❖ **Separación:** el líquido obtenido es recibido en un tanque separador (vaso florentino) y su finalidad es acortar el tiempo de separación, pues evita la generación de turbulencia dentro del vaso florentino y con ello la emulsificación de la mezcla; el principio en el que se fundamenta dicha separación es por diferencia de densidades.
- ❖ **Secador:** una vez separado, el aceite con trazas de agua. Se pasa por un desecador con **Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>** que será regenerado cada **3er.día con aire extra seco** y a **100°C** (vaso precipitado de 1L), se seca el aceite; este ciclo continúa hasta que se cambie el **Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> anhidro**.

### 2.3.3. – Etapa de almacenamiento

- ❖ **Tanque de almacenamiento del aceite esencial:** el aceite ya seco se pasa a un tanque de almacenamiento para su posterior envasamiento (*envase de polietileno de 1L*).
- ❖ **Tanque de almacenamiento del agua aceitosa:** el agua aceitosa obtenida de la separación, es confinada para su tratamiento y poder reutilizarla más adelante en el mismo proceso como vapor de agua o como agua de enfriamiento en el condensador (*recipientes de plástico de 450 L*).
- ❖ **Fin la de la operación:** cuando se ha transcurrido las **8 hr/turno** de la operación se procede a realizar el paro total del destilador continuo y el condensador. Y se procede a realizar el cambio de turno si es que lo hay. El bagazo que se obtiene se confinará para un posterior tratamiento para obtener papel o utilizarlo como composta.

## DIAGRAMA DE BLOQUES



## 2.4. – Balance de materia y energía

Los cálculos se realizaron únicamente para diseñar el equipo a nivel planta piloto necesario para obtener el aceite esencial del orégano, ya que se ha pensado a largo plazo escalar a nivel planta industrial.

La extracción se efectuará por arrastre de vapor saturado a la presión atmosférica y a **100 °C** en el destilador de acero inoxidable con capacidad real de **9, 245 Kg de orégano seco selectivo al año**.

La investigación que se ha venido haciendo sobre el proceso de la destilación por arrastre de vapor para obtener aceites esenciales (orégano); y de los análisis de propiedades físicos y químicos de las especies vegetales (orégano), servirá como base de cálculo. Y las propiedades que influirán en los balances serán: la composición del orégano, composición promedio del aceite esencial, densidad de la planta seca sin compactada y cortada, capacidad calorífica y calores latentes de vaporización tanto del orégano y del aceite esencial.<sup>(13)</sup>

### 2.4.1. – Base de cálculo

La Materia Prima será de 1 Kg de orégano “anhidro” considerando una humedad aproximada del 7%.

Pero para fines de cálculo se partirá exenta de agua y se le llamará orégano “anhidro” a diferencia del orégano “seco” que es la Materia Prima que los recolectores ponen a disposición del comprador.

- Con un turno de 8hr/h será:

$$(1.07 \text{ Kg/h}) \cdot (8\text{h/día}) = \mathbf{8.56 \text{ Kg /día}}$$

- Con 17 semanas de operación:

$$(8.56 \text{ Kg /día}) \cdot (5\text{día/sem}) \cdot (17 \text{ semanas/año}) = \mathbf{728 \text{ Kg/año}}$$

- Capacidad máxima:

$$(1.07 \text{ Kg de orégano seco/ h}) \cdot (24\text{hr/día}) \cdot (30 \text{ días/ mes}) \cdot (12 \text{ meses/año}) = \mathbf{9, 245 \text{ Kg de orégano seco/año}}$$

Pero solo operará con **728 Kg de orégano seco /año** en un solo turno en 17 semanas activas de operación del orégano.

De la hoja seca tendrá la siguiente composición: ( Ver especificaciones en el anexo VI)

Especie	% masa
Orégano	86
Agua	12
Aceite	2

Entonces la producción del aceite del orégano que se tendrá al año será:

$$(728 \text{ Kg/año}) * (0.02 \text{ Kg aceite/ Kg}) = 14.56 \text{ Kg aceite/ año}$$

$$(21.4 \text{ g aceite/ h}) * (8\text{h/día}) = 171.2 \text{ g aceite/día}$$

y en 5 días 856 g aceite/semana

$$(856 \text{ g aceite/semana}) * (17 \text{ semanas}) = 14,552 \text{ g aceite /año}$$

**∴ 14.55 Kg aceite / año en c/turno**

En términos generales, la producción será:

<b>Kg / año (Hoja de orégano)</b>	<b>Kg/año (Aceite esencial)</b>	<b>Turno</b>
728	14.55	1
1456	29.10	2
2184	43.66	3

## 2.4.2. – Balance de servicios auxiliares

### 2.4.2.1. – Vapor

Se va a utilizar vapor saturado de acuerdo a la proporcionalidad que especifica para el proceso de extracción de los aceites esenciales por arrastre de vapor: <sup>(14 y 21)</sup>

$$R = [(14 \text{ Kg}_{\text{vapor a } 100^\circ\text{C}}) * (1.07 \text{ Kg de orégano})] / (1.07 \text{ Kg de orégano}) = 14 \text{ Kg vapor/ Kg de orégano}$$

$$R = 14 \text{ Kg vapor/ Kg de orégano}$$

**Vapor requerido para 1 Kg de orégano/h con una eficiencia del  $\eta = 90\%$  por pérdida de calor**

$$VR = (14 \text{ Kg vapor/Kg de orégano}) / 0.9 = 15.55 \text{ Kg de vapor / h}$$

$$VR = 15.55 \text{ Kg de vapor / h}$$

Y para un año será:

$$(15.55 \text{ Kg}_{\text{vapor/h}}) * (8\text{h/día}) * (5 \text{ días/semana}) * (17 \text{ semanas/año}) = 10578 \text{ Kg vapor / año}$$

$$VR = 10578 \text{ Kg vapor / año}$$

**∴ 10.58 Ton. vapor /año c/turno**

**Capacidad de la caldera:**

$$A \quad 1 \text{ cc} = 15.65 \text{ Kg vapor / hr}$$

De acuerdo a la destilación por arrastre de vapor se requiere 15.55 Kg vapor/ h a 1.07 Kg de hoja seca de orégano.

$$\therefore (15.55 \text{ Kg vapor / h}) (1 \text{ cc} / 15.65 \text{ Kg} - \text{vapor}) = 0.994 \text{ cc}$$

La caldera que ocuparemos tendrá una potencia de 1 cc; esto es, **1 cc = 15.65 Kg vapor / hr.**

Para otros criterios de la capacidad de la caldera se tiene previsto a largo plazo un aumento de producción del aceite esencial del orégano, por lo que se decide disponer tener la capacidad de la caldera a un máximo de 5 cc.

Potencia (cc)	1	2	3	4	5
Capacidad (Kg/h)	15.65	31.30	46.95	62.60	78.25

Y la empresa que cumple el requisito mencionado es **Cleaver Brooks de México S.A.**, cuya cotización de la caldera con potencia máxima 5 cc es \$ **8,800.00 M.N.** que incluye el I.V.A..

**2.4.2.2. – Agua de enfriamiento**

De la misma manera se tiene que 15.55 Kg vapor/ hr con agua a 25°C y en base de diseño se estableció que el gradiente será de  $\Delta = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ ; por consiguiente, el agua al salir del condensador estará a 40 °C.

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}} = (1 \text{ g/cm}^3)(\text{Kg}/1000\text{g})((100\text{cm})^3/\text{m}^3) = 1,000 \text{ Kg/m}^3 \text{ a } 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

Por lo que el *calor* que se retirará en la torre de enfriamiento será: <sup>(13)</sup>

$$Q_T = Q_L + Q_s$$

$$Q_T = m_v \Delta H_v + m_v C_p \Delta T$$

$$H_v = 2280 \text{ kJ/Kg}$$

$$C_p = 4.18 \text{ kJ / Kg} * \text{K}$$

$$Q_T = [15.55 \text{ Kg vapor/h}] * [2280 \text{ kJ/Kg} + ((4.18 \text{ kJ/ Kg} * \text{K}) (15 \text{ K}))]$$

$$Q_T = 36,429 \text{ kJ / h}$$

Basándose en  $Q_T$  la masa que se requiere de *agua de enfriamiento* será:

$$Q_T = m_{\text{H}_2\text{O}} * C_{p\text{H}_2\text{O}} * \Delta T$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = (Q_T / C_{p\text{H}_2\text{O}} * \Delta T) = [36,429 \text{ kJ/h}] / [(4.18 \text{ kJ/Kg} * \text{K})(15\text{K})]$$

$$m_{H_2O} = 581 \text{ Kg/h}$$

$$m_{H_2O} = 581 \text{ Kg/h} = 0.581 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$m_{H_2O} = 9.683 \text{ Kg/min}$$

$$m_{H_2O} = 10 \text{ Kg/min}$$

Las características de la torre que cumple los requerimientos para el enfriamiento de  $0.581 \text{ m}^3/\text{h}$  tiene de área de enfriamiento es  $0.18 \text{ m}^2$  y una altura de  $1.40 \text{ m}$ . Y la empresa que nos cotizó fue **Laboratory Water Cooling Tower P.H. Hilton Ltd. Engineering King's Somboine Hants England** cuyo precio es \$ **3, 600.00 M.N.** lo que equivale aprox. \$ **U.S. 328.00.** Haciendo aclaración que esta cotización fue hecha vía internet.

### 2.4.3. – Balance de materia en el destilador continuo (DC – 01)

*Condiciones:*

- Con un  $1.07 \text{ Kg}$  de hoja seca de orégano que contiene  $12 \%$  w/w de agua
- El aceite esencial se separa al  $2 \%$  w/w de orégano
- El flujo másico del agua es  $100\%$  (vapor saturado)

*Rendimiento del aceite de orégano:*

$$(1.07 \text{ Kg orégano - húmedo / hr}) * (0.12 \text{ Kg agua / Kg orégano - húmedo}) = 0.1284 \text{ Kg agua / hr}$$

$$(1070 \text{ g orégano - húmedo / hr}) * (0.02 \text{ g aceite / g orégano - húmedo}) = 21.4 \text{ g aceite / hr}$$

$$(1070 \text{ g orégano - húmedo / hr}) * (0.12 \text{ g agua / g orégano - húmedo}) = 128.4 \text{ g agua / hr}$$

$$(1070 \text{ g orégano - húmedo / hr}) - (128.4 \text{ g agua / hr}) - (21.4 \text{ g aceite / hr}) = 920.2 \text{ Kg orégano seco / hr}$$

#### *Corrientes principales del destilador:*

**Corriente 1:**

920.2 g de orégano/hr

128.4 g de agua / hr

21.4 g de aceite esencial/hr

**Total: 1070.00 g/hr = 1.07 Kg/hr**

**Corriente 2: 15.55 Kg de agua /hr**

**Total: 15.55 Kg de agua /hr**

Por lo tanto el *balance global* en el destilador es:

**Entrada:**

- Agua (vapor saturado):

**Corriente 1:** 128.40 g/hr

**Corriente 2:** 15550.00 g/hr

**Total :15678.40 g/hr = 15.6784 Kg/h**

- Orégano sin agua:

**Corriente 1:** 920.20 g/hr = **0.92020 Kg/hr**

- Aceite esencial:

**Corriente 1:** 21.40 g/hr = **0.02140 Kg/hr**

**Salida:**

- Agua :

**Corriente 3:** con el aceite se queda el 60 %

$$(15.6784 \text{ Kg/hr}) * (60\%) = 9.408 \text{ Kg agua/hr}$$

**Corriente 4:** Con el bagazo se va en 40% del agua total

$$(15.6784 \text{ Kg/hr}) * (40\%) = 6.272 \text{ Kg agua/hr}$$

**Total : 15.68 Kg agua/hr**

- Orégano sin agua:

**Corriente 4:** 920.20 g/hr = **0.92020 Kg/hr**

- Aceite esencial:

**Corriente 3:** 21.4 g/hr = **0.0214 Kg/h**

En este proyecto se propone la configuración de los demás equipos que involucran la obtención del aceite esencial de orégano con una pureza del 99% por lo que se establece el balance de estos equipos a escala planta piloto pero no está el alcance de la construcción y arranque de estos equipos; solamente se especifica a escala laboratorio.

**2.4.4. –Balance en el tanque separador (vaso florentino: VF - 01)**

De la **corriente 3** se conecta al tanque separador y en él se separa el aceite esencial y el agua. Estas corrientes tienen la siguiente composición:

**Corriente 3:** (alimentación)

9.4080 Kg agua/hr  
0.0214 Kg aceite esencial /hr

**Total : 9.4294 Kg/hr****Corriente 5:** (salida)

Agua (98% agua condensada):

$$(9.408 \text{ Kg agua/hr}) \cdot (98\%) = 9.219 \text{ Kg agua/hr}$$

Aceite (3% aceite total):

$$(21.4 \text{ g de aceite esencial /hr}) \cdot (0.03) = 0.642 \text{ g aceite/hr}$$

**Total: 9.2196 Kg/hr****Corriente 6:** (salida)

Agua (2% agua condensada):

$$(9.408 \text{ Kg agua/hr}) \cdot (0.02\%) = 0.1882 \text{ Kg agua/hr}$$

Aceite (97% aceite total):

$$(21.4 \text{ g de aceite esencial /hr}) \cdot (0.97) = 20.76 \text{ g aceite/hr}$$

**Total: 0.20896 Kg/hr**

Posteriormente, esta corriente 6 se alimentará a un deshidratador esto con el fin de quitar totalmente el agua y así obtener 99% del aceite esencial. Las corrientes que involucran en el desecador son:

**2.4.5. – Balance en el deshidratador (vaso precipitado con capacidad de 1L: DS - 01)****Corriente 6:** (alimentación)

Agua (2% agua condensada):

$$(9.408 \text{ Kg agua/hr}) \cdot (0.02\%) = 0.1882 \text{ Kg agua/hr}$$

Aceite (97% aceite total):

$$(21.4 \text{ g de aceite esencial /hr}) \cdot (0.97) = 20.76 \text{ g aceite/hr}$$

**Total : 0.20896 Kg/hr**



**2.4.6. – Balance en el tanque de almacenamiento de agua oleosa  
(Sistema rotoplas de 450 L TA - 02)****Corriente 7:**

Agua (99.99% agua alimentada al deshidratador)

$$(0.1882 \text{ Kg agua/hr}) \cdot (0.9999) = 0.1882 \text{ Kg agua/hr}$$

Accite (1% accite alimentado al deshidratador)

$$(20.76 \text{ g accite/hr}) \cdot (0.01) = 0.2076 \text{ g accite/hr}$$

**Total: 0.1884 Kg/h**

**2.4.7. – Balance en el tanque de almacenamiento de aceite esencial (envases de plástico de polietileno de 1L: TA - 01)****Corriente 8: (hacia al tanque de almacenamiento)**

Agua (0.01% agua alimentada al deshidratador)

$$(0.1882 \text{ Kg agua/hr}) \cdot (0.01\%) = 0.00001882 \text{ Kg agua/hr}$$

Accite (99% accite alimentado al deshidratador)

$$(20.76 \text{ g accite/hr}) \cdot (0.99) = 20.56 \text{ g accite/hr}$$

**Total: 0.020579 Kg/h**

**2.5. – Lista de equipo**

El proceso requiere:

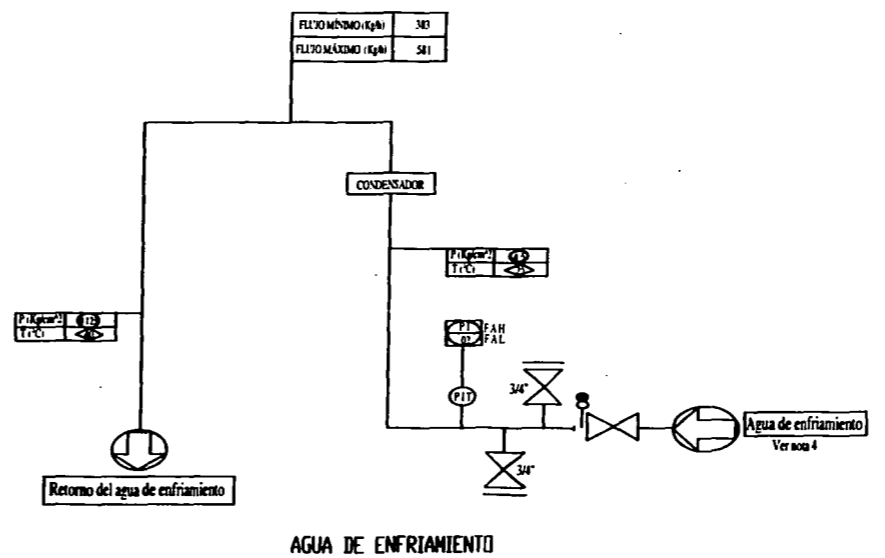
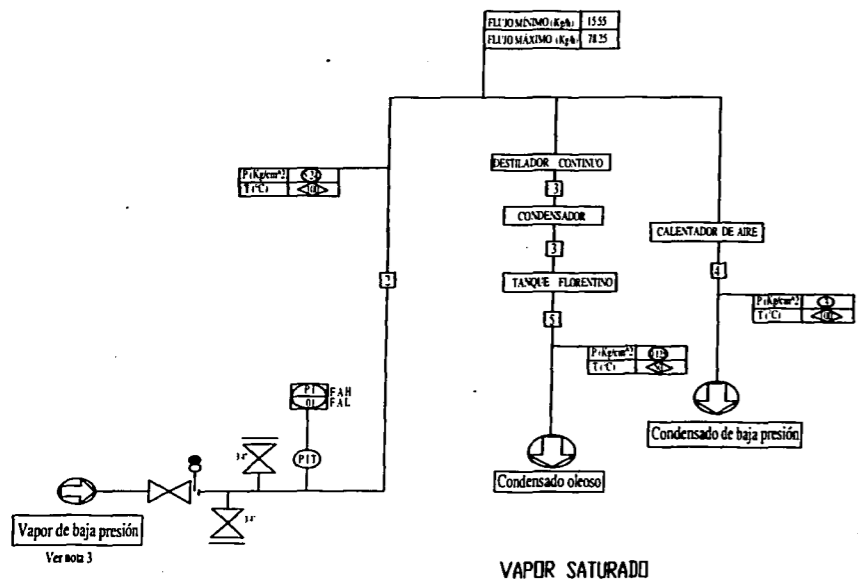
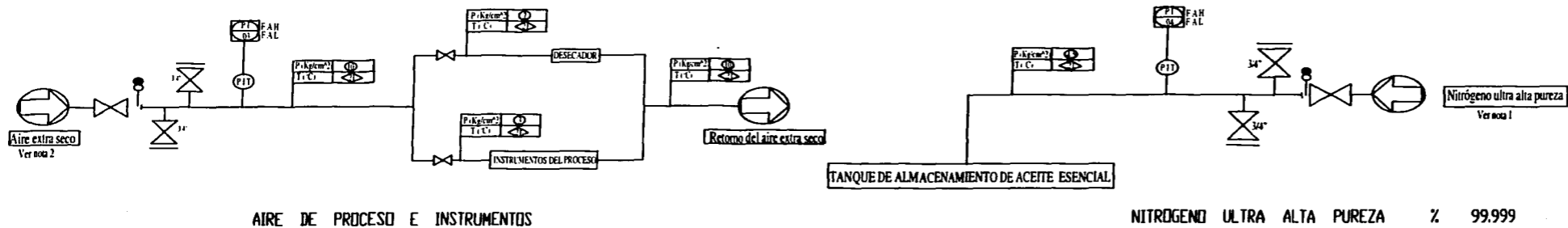
- A) Una tolva con tornillo sin fin. TV – 01**
- B) 2 motores reductores, esto es, uno para la tolva MR – 01 (la velocidad de operación que se requiere es de 12 RPM como máximo) y otro para el eje giratorio MR – 02 (la velocidad de operación que se requiere es de 2 RPM como máximo). Nótese que se tendrá motores reductores de relevo**
- C) Destilador para una capacidad de 1.07 Kg de M.P. (orégano seco) por hora. DC – 01**
- D) Caldera de vapor CA-01 de 5 cc con potencia de 78.25 jgv/hr.**
- E) Torre de enfriamiento con una capacidad de enfriamiento de (10 L/ min.) de 40°C a 2°C y teniendo como base de cálculo la temperatura de bulbo húmedo de 17°C. TE – 01**
- F) Condensador – enfriador. EA – 01**
- G) Tanque separador (vaso florentino) en el se separa por densidades el agua y el aceite esencial de la materia prima (orégano) y se encontrará en breve reposo. VF –01**
- H) Un desecador (vaso precipitado con capacidad máxima de 1L) con Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> anhidro y se utilizarán de manera simultanea, el cual quitará la cantidad de agua que quede en el aceite esencial. DS – 01.**
- I) Tanque de almacenamiento (envases de plástico de polietileno de 1L) para el aceite esencial.TA-01**
- J) Válvula rotativa. VR – 01**
- K) Un eje giratorio con 34 platos tipo malla # 20. EG – 01**
- L) Tanque de almacenamiento para el agua oleosa (sistema rotoplas con capacidad de 450 L).TA - 02**

**TABLA GENERAL DE BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA**

# corriente	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Orégano seco (Kg/h)</b>	0.9202	0.000	0.0000	0.9202	0.000000	0.00000	0.000000	0.000000
<b>Agua (Kg/h)</b>	0.1284	15.55	9.4080	6.2720	9.219000	0.1882	0.1882	$18.82 \times 10^{-6}$
<b>Aceite esencial (Kg/h)</b>	0.0214	0.000	0.0214	0.0000	$642 \times 10^{-6}$	0.02076	$207.6 \times 10^{-6}$	0.02055
<b>Flujo másico (Kg/h)</b>	1.0700	15.55	9.4294	7.1922	9.219600	0.20896	0.18841	0.02057
<b>Flujo volumétrico</b>	9.1450	10.23	9.4210	14.137	9.219600	0.21035	0.18842	0.02194
<b>Presión (Kg/h)</b>	0.8040	5.247	0.1250	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125
<b>T (°C)</b>	25	100	50	50	50	50	50	50







**NOTAS**

- 1 - El N UAP será suministrado directamente desde de un tanque cilíndrico con capacidad máxima de 6.5 m<sup>3</sup> (Proveedor AGA)
- 2 - El aire extra seco solo se ocupará cuando sea necesario y será suministrado directamente desde de un tanque cilíndrico con capacidad máxima de 6 m<sup>3</sup> (Proveedor INFRA)
- 3 - El suministro de vapor de baja presión será suministrado desde una caldera CA - 01 de 5 cc
- 4 - El agua de enfriamiento necesario vendrá directamente de una torre de enfriamiento TE - 01 ( Torre de enfriamiento de tiro mecánico (forzado) cuya área de enfriamiento de dicha torre es de 0.185 m<sup>2</sup>

**SIMBOLOGÍA**

- Número de corriente
- ◇ Temperatura °C
- Presión (Kg/cm<sup>2</sup>)
- ⊞ Flujo (Kg/h)
- ⊕ Límite de batería (entrada ó salida)
- Línea de agua de enfriamiento (4.5 Kg/cm<sup>2</sup>)
- Línea de vapor saturado (Baja Presión de 5.24 Kg/cm<sup>2</sup>)
- Línea de nitrógeno ultra alta pureza: N: UAP (4.5 Kg/cm<sup>2</sup>)
- Línea de aire extra seco 9 Kg/cm<sup>2</sup> (Para proceso e instrumentos)

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

80.3

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO		FACULTAD DE QUÍMICA		LABORATORIO DE INGENIERÍA QUÍMICA	
DIAGRAMA DE SERVICIOS AUXILIARES DE LA PLANTA PILOTO PARA EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES POR ARRASTRE DE VAPOR					
AUTORIZADO PARA CONSTRUCCIÓN		FECHA: 15/05/2018		DISEÑADOR: J. J. J.	
OBSERVACIONES		ARCHIVO		REV.	







### CAPITULO III. Diseño y cálculos de los equipos

#### 3.1. – Destilador continuo

El destilador será de forma cilíndrica donde se le alimentará continuamente el orégano seco. Actualmente funcionan destiladores fabricados de lámina de acero galvanizado, de cobre estañado, de madera y de cemento.

Normalmente están diseñados para tener una capacidad de una tonelada de hierba seca y cortada. Están provisto de una tapa autoclave que los provee de cierre hermético. <sup>(31)</sup> Funcionan a la presión atmosférica, introduciendo vapor por su parte inferior y secando el vapor mezclado con aceite, por la parte superior. Deben estar aislados, para evitar una cantidad muy grande de condensados y pérdidas de aceite esencial por solubilidad en agua. Y deberá de tener, en su parte inferior, una rejilla que impida que las hierbas se pongan en contacto directamente con el vapor condensado, dentro de él.

En este caso, se emplearan destilador de **acero inoxidable 304L**, con un espesor de 0.216 in, y soportes de perfiles de acero convenientemente diseñado; tendrá tapas planas por economía y porque no son necesarias las tapas esféricas, ya que se trabajará a la presión atmosférica y estará provista con cierre de tipo autoclave la tapa superior.

La forma de introducir la materia prima (orégano seco) hacia el destilador no será como se ha venido haciendo con los destiladores comerciales (por lotes) sino el detalle estará en la instalación de una tolva con una capacidad de 10 litros. La selección de la tolva será basándose en el código **AISI 316** en **acero inoxidable**.

Y el criterio de diseño de la tolva que se decidió fue por el tipo de *flujo de masa*; ya que se ha venido comentando que la materia prima en cuanto a su densidad permanece constante en todo el proceso. Así pues, este tipo de tolva es más factible que la del tipo flujo embudo ya que en esté, varía la densidad. (Ver especificaciones en el anexo III)

Desde luego el destilador estará construido de forma que **no exista acumulación** del orégano adentro, una vez que se haya extraído el aceite esencial; por lo que se decidió instalar un *eje giratorio* con mallas del # 20 cuya geométrica será similar a la de un tornillo sinfín y el bagazo que se va obteniendo saldrá por un orificio en la parte inferior del destilador donde recolectará para luego ser tratado en otro proceso. Además la función del eje o flecha rotatoria será agilizar la caída por gravedad de la hoja húmeda (bagazo) hacia la parte inferior de la torre.

Las dimensiones que se acordaron en el diseño son:

Tipo de material: **Acero inoxidable 304L** con espesor de **0.216 in** sujeto a la presión atmosférica.

**Dimensiones:**

$$D = 3 \text{ in}$$

$$D = 7.62 \text{ cm}$$

$$D = 0.0762 \text{ m}$$

$$h = 1 \text{ m}$$

El tiempo de residencia de la torre será de 30 min.<sup>(13)</sup> Este dato se obtuvo a partir de que el personal del laboratorio está entrenado y que tendrá una buena instrumentación del control del proceso, esto es:

$$T_r = (25 \text{ min.}) * (1.2) * (1.0) = 30 \text{ min.}$$

La capacidad de operación de la torre de destilación será al 50% de su capacidad en todo el año.

**Cantidad de materia prima:**

Hoja seca de orégano selectiva y cuya densidad se determinó en el laboratorio:

$$\rho_{\text{orégano}} = 117 \text{ Kg/m}^3 \text{ (sin compactar)}$$

$$\rho_{\text{orégano}} = 148.2 \text{ Kg/m}^3 \text{ (compactado)}$$

**Corriente 1:**

$$\text{Base de cálculo: } 1070 \text{ g / hr} = 1.07 \text{ Kg / hr}$$

$$920.2 \text{ g de orégano/hr}$$

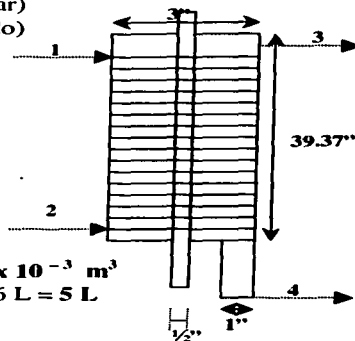
$$128.4 \text{ g de agua / hr}$$

$$21.4 \text{ g de aceite esencial/hr}$$

**Capacidad del destilador:**

$$V = \pi * r^2 * h = \pi * ((0.0381 \text{ m})^2) * (1 \text{ m}) = 4.56 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V = (4.56 \times 10^{-3} \text{ m}^3) * (1000 \text{ L / m}^3) = 4.56 \text{ L} = 5 \text{ L}$$



**Densidad aparente en el destilador:**

$$\rho = m / V = 1.07 \text{ Kg} / 4.56 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 235 \text{ Kg / m}^3$$

Verificando la altura del destilador:

$$V = (\pi * D^2 * h) / 4 \quad \longrightarrow \quad h = 4V / (\pi * D^2) = (4 * 4.56 \times 10^{-3} \text{ m}^3) / (\pi * ((0.0762 \text{ m})^2)) = 1 \text{ m}$$

Volumen total del sólido:

$$V_T = (1.07 \text{ Kg/hr}) * (1 \text{ hr} / 60 \text{ min}) * (\text{m}^3 / 117 \text{ Kg}) * 30 \text{ min.} = 4.573 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Considerando que el nivel máximo alcanzado del sólido está a una altura de 0.85D que corresponde aproximadamente al 90% del volumen total.

$$V_T = (4.573 \times 10^{-3} \text{ m}^3) / (0.9) = 5.08 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Para presiones atmosféricas no se considera el sobrediseño para el destilador. El espesor permisible por corrosión será de 0.35".<sup>(19)</sup>

La temperatura de diseño será:  $T_D = T_{\text{máx.}} + 10 \text{ }^\circ\text{C} = 105 + 10 = 115 \text{ }^\circ\text{C}$

$$T_D = 115 \text{ }^\circ\text{C}$$

Del  $\Theta = 30 \text{ min.}$  tenemos el flujo volumétrico total en el destilador:

$$\Theta = V/Q$$

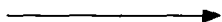
$$Q = 4.56 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / 30 \text{ min.} = 152 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{min} = 9.12 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$Q = 9.12 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{hr}$$

De tal manera se puede comprobar que el diámetro del destilador será de 3" de **acero inoxidable 304L** con un diámetro interior 3.068 in y la densidad aparente del destilador en operación será como máximo de 235 Kg / m<sup>3</sup>.

Para el escalamiento a nivel industrial se recomienda utilizar L/D para obtener el diámetro óptimo considerando el flujo volumétrico apropiado. En este caso, se justifica que el volumen es viable para el flujo determinado, esto es:<sup>(19)</sup>

$$V = F * \Theta / \rho$$



$$F = V * \rho / \Theta$$

$$F = [(4.56 \times 10^{-3} \text{ m}^3) * (117 \text{ Kg/m}^3)] / [(60 \text{ min.}^{-1})(30 \text{ min.})] = 1.07 \text{ Kg/hr}$$

$$F = 1.07 \text{ Kg/hr} = 2.964 \times 10^{-4} \text{ Kg/s}$$

Se proveerá un cierre hermético para evitar fugas con bridas ciegas. En la tapa de abajo ira en forma de cono invertido y con una abertura para así permitir el paso del vapor en la parte inferior de destilador a unos **15 ó 20 cm**. Se le aplicará un borde a todo el cilindro para que pueda colocar una rejilla muy fina que impedirá el paso de la hoja seca hacia el vapor condensado.

Para fines económicos se calcula el *diámetro óptimo del destilador piloto* de la siguiente manera:

$$F = P_D / CSE$$

C = corrosión permisible (in)  
 S = esfuerzo máximo permisible (psi)  
 E = eficiencia de la soldadura  
 P<sub>D</sub> = presión de diseño  
 F = factor

DATOS:

C = 1/16 " (se considera que el material tiene una corrosión mínima o despreciable)

S = 15.3 x 1000 lb / in<sup>2</sup> = 1076 Kg/cm<sup>2</sup>

E = 0.8 (este valor se usará en todo cálculo del diseño mecánico del destilado ya que se analizó que es más conveniente utilizar el de **tipo T**)

P<sub>D</sub> = P<sub>op.</sub> = 14.7 lb/in<sup>2</sup> = 1 atm

$$F = (14.7 \text{ lb/in}^2) / [0.06252 \text{ in} * 15300 \text{ lb/in}^2 * 0.8] = \mathbf{0.01922 \text{ in}^{-1}}$$

Leyendo la fig. 3.1 del cuaderno de Posgrado obtenemos: <sup>(19)</sup>

$$D = 6 \text{ in} = \mathbf{0.1524 \text{ m}}$$

Por otro lado, el *espesor de la pared del destilador a presión atmosférica* se calcula de acuerdo al código API – ASME: <sup>(23)</sup>

$$t = [(P * D_1) / ((2 * S * E) - P)] + C$$

D<sub>1</sub> = D<sub>interior</sub>

$$t = [ (14.7 \text{ lb/in}^2) * (3.068 \text{ in}) ] / [ (2 * 15300 \text{ lb/in}^2 * 0.8) - 14.7 \text{ lb/in}^2 ] + 0.06252 \text{ in}$$

$$t = \mathbf{0.0643 \text{ in}}$$

### 3.1.1. - Especificación y diseño de la tubería de las corrientes #2 y #3 (bridas y boquillas): <sup>(21)</sup>

Basándose en las normas ASTM, ANSI, ASA, AWWA y AGA se diseñaron las tuberías de acuerdo a la necesidad del proceso de mantenimiento y de operación. El diseño de tuberías se tomo como base de la información que al alcance.

Teniendo en cuenta que el diseño de tubería de proceso y servicio satisfacen los requisitos de seguridad, montaje, operación, mantenimiento y económico. Así como los planos isométricos de tubería subterránea, drenaje, tubería de la red contra incendio, localización de boquillas en el destilador, la localización de la plataforma, escalera y localización general del arreglo del destilador y condensador donde se encontrará instalado.

- **Boquillas de alimentación y descarga**

Las boquillas se especificaron basándose en las siguientes recomendaciones: <sup>(26)</sup>

Servicios	Velocidad (m/s)	$\Delta P_{100 ft}$ (psi)
Llegada de vapor saturado ( <b>corriente 2</b> )	20	$0.5 < \Delta P_{100 ft} < 1.5$
Salida de vapor saturado ( <b>corriente 3</b> )	20	$1.0 < \Delta P_{100 ft} < 2.0$
Agua de enfriamiento ( <b>corriente del condensador</b> )	1.5	$0.5 < \Delta P_{100 ft} < 1.5$

- **Boquillas de venteo y drenaje**

Como las boquillas serán menores de 10 in, por lo tanto, se inspeccionará con ultrasonido tanto para el venteo como la entrada y salida de vapor del destilador y en el condensador.

El diámetro de la boquilla se especificó al menos 2 diámetros nominales menor al de la tubería a la que será conectada para permitir el flujo por simple hidráulica, recordando que el diámetro mínimo de una boquilla beidad es de  $1 \frac{1}{2}$  in. <sup>(25)</sup>

Se instalará sobre la tubería conectada al recipiente, y se localizará en la parte superior del mismo, siendo cuando menos de 2 diámetros inferiores al de la tubería. La dimensión de esta boquilla y su instalación puede seleccionarse basándose en lo siguiente: <sup>(27)</sup>

Capacidad del destilador $m^3$	Ø Boquilla venteo		Instalación
	ATM	A DESFOGUE	
$\leq 1.4$	$\frac{3}{4}$ "	1"	Sobre la tubería

Para el sistema de drenaje se instalará en el punto más bajo del destilador. Al igual que el venteo, depende en términos generales de la capacidad del destilador como sigue: <sup>(27)</sup>

Capacidad del destilador $m^3$	Ø Boquilla drenaje	Instalación
$\leq 1.4$	1"	En la tubería

- **Sistemas de tuberías y accesorios**

La velocidad del fluido que se utilizaran es a partir de valores recomendados (*vapor saturado, orégano sólido, vapor con aceite esencial*) con respecto a de la caída de presión en la línea. <sup>(21)</sup>

Se instalará una válvula de globo en la **corriente # 2** para controlar el flujo de vapor saturado.

**Corriente # 2:**

$$R = [(14 \text{ Kg}_{\text{vapor a } 100 \text{ }^\circ\text{C}}) * (1.07 \text{ Kg de orégano})] / (1.07 \text{ Kg de orégano}) = 14 \text{ Kg vapor/ Kg de orégano}$$

$$R = 14 \text{ Kg vapor/ Kg de orégano}$$

Vapor requerido para **1 Kg de orégano/h** con una eficiencia del  $\eta = 90\%$  por pérdida de calor:

$$VR = (14 \text{ Kg vapor/Kg de orégano}) / 0.9 = 15.55 \text{ Kg de vapor / h}$$

$$VR = 15.55 \text{ Kg de vapor / h}$$

Y para **un año** será:

$$(15.55 \text{ Kg}_{\text{vapor/h}}) * (8\text{h/día}) * (5 \text{ días/semana}) * (17 \text{ semanas/año}) = 10, 578 \text{ Kg vapor / año}$$

$$VR = 10578 \text{ Kg vapor / año}$$

$$\therefore 10.58 \text{ Ton. vapor /año c/turno}$$

$$A \quad 1 \text{ cc} = 15.65 \text{ Kg vapor / hr}$$

$$\therefore (15.55 \text{ Kg vapor / h}) (1 \text{ cc} / 15.65 \text{ Kg - vapor}) = 0.994 \text{ cc}$$

<b>Vapor de baja presión</b>			
	<b>Mínima</b>	<b>Normal</b>	<b>Máxima</b>
<b>Presión man. (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	4.97	5.24	5.76
<b>Temperatura (°C)</b>	95	100	115
<b>Calidad</b>	Saturado		
<b>Disponibilidad</b>	Lo indispensable		

Las densidades del vapor de agua a diferentes temperaturas son:

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \text{ Kg/m}^3 \text{ a } 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 958.3 \text{ Kg/m}^3 \text{ a } 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

Entonces el flujo del vapor saturado en la **corriente 2**:

$$Q = (15.55 \text{ Kg vapor} / \text{h}) * (\text{m}^3 / 958.3 \text{ Kg/m}^3) * (1000 \text{ L} / \text{m}^3) * (1\text{hr} / 60 \text{ min.}) = 0.2704 \text{ L/min.}$$

$$Q = (0.2704 \text{ L/min.}) * (\text{m}^3 / 1000 \text{ L}) * (35.3147 \text{ ft}^3 / \text{m}^3) * (1 \text{ min.} / 60\text{s}) = 159.1515 \times 10^{-6} \text{ ft}^3 / \text{s}$$

$$Q = (159.1515 \times 10^{-6} \text{ ft}^3 / \text{s}) * (60 \text{ s} / 1 \text{ min.}) * (7.48 \text{ GPM} / \text{ft}^3) = \mathbf{0.0714 \text{ GPM}}$$

$$P_{\text{man. max.}} = (5.76 \text{ Kg/cm}^2) * (1 \text{ bar} / 1.0197 \text{ Kg/cm}^2) = 5.65 \text{ bar} = \mathbf{6 \text{ bares}}$$

Por lo tanto, la tubería recomendable es la de un caudal máximo de **1L/min** y cuyos datos se obtiene del libro **CRANE**; y los datos de la tubería son:

#### **Tubería de ½" de acero inoxidable 40S**

El **diámetro de la boquilla** de alimentación del gas es: <sup>(31)</sup>

$$(0.2704 \text{ L/min.}) * (\text{m}^3 / 1000 \text{ L}) * (3.28084 \text{ ft} / 1\text{m})^3 = 9.549 \times 10^{-3} \text{ ft}^3 / \text{min}$$

$$v_r = \mathbf{75 \text{ a } 80 \text{ ft/hr (velocidad recomendada)}}$$

$$D_{\text{min}} = \mathbf{0.226 * [M_v / (\rho_v * v_r)]^{0.5}}$$

$$M_v = (9.549 \times 10^{-3} \text{ ft}^3 / \text{min}) * (59.825 \text{ lb/ft}^3) * (60 \text{ min.} / \text{hr}) = 34.28 \text{ lb/hr}$$

$$D_{\text{min}} = \mathbf{0.226 * [(34.28 \text{ lb/hr} / ((59.825 \text{ lb/ft}^3) * (75 \text{ ft/hr})))]^{0.5}} = \mathbf{0.0197 \text{ in}}$$

∴ El **diámetro de la boquilla en la entrada del destilador será de ¼"**

Y para la **corriente # 3** se realizó el mismo procedimiento y los resultados son:

#### **Del CRANE: Tubería de 1" de acero inoxidable 40S**

∴ El **diámetro de la boquilla de entrada del destilador será de ½"**

### 3.1.2. – Tapas y bridas

La *especificación del material de las bridas* fue en función de *ratings de temperaturas y presión de diseño del destilador* de acuerdo al código **ASA**.<sup>(30)</sup>

Por lo tanto, las **corrientes # 2 y # 3** se instalarán *bridas libres (LAP – JOINT)* y estará unido de un extremo adaptador (**stub – end**), y desde luego la clase de bridas a elegir será en base **ASA (American Standards Association): Clase 150 lb** que es apropiado para trabajar a una presión máximo de **150 lb/in<sup>2</sup>** y a **T<sub>max.</sub> = 500 °F = 260 °C**.

Por otro lado, las tapas tanto el superior e inferior del destilador serán diseñadas de acuerdo a las condiciones de operación y serán fabricados conforme a la norma ANSI B.16.5. El espesor que se obtenga será el mínimo y se agregará la tolerancia de corrosión.

El cálculo que se presenta a continuación es el diseño real de ambas tapas: <sup>(25)</sup>

En primera instancia el espesor de las tapas será:

$$t = d * \sqrt{[(C' * P) / (S * E)] + [(1.9 W * h * g) / (S * E * d^3)]}$$

Donde:

Para las condiciones de operación el valor de P será dado por la presión de diseño y el valor S se tomará a T diseño y por lo tanto el valor de W será:

$$W = \pi * b * G * y$$

C' = constante adimensional que depende de la forma de unión entre la tapa y el cilindro

P = presión diseño (lb/in<sup>2</sup>)

S = esfuerzo máximo permisible del material de la capa de tensión y a la T diseño (lb/in<sup>2</sup>)

E = eficiencia de la soldadura

W = carga total de los tornillos

h<sub>g</sub> = Brazo de la palanca, distancia radial de la línea de centros de barrenos a la línea de reacción del empaque (in)

d = distancia medido (in)

m = relación tr/ts

t<sub>r</sub> = espesor requerido en el cuerpo

t<sub>s</sub> = espesor real del cuerpo

G = diámetro donde se localiza la reacción del empaque en in

b = ancho efectivo de contacto del empaque

y = carga máxima permisible en el empaque (lb/in<sup>2</sup>) su valor depende de la forma y material del empaque.

La ecuación se usará para calcular bridas ciegas atornilladas y se deberá considerar independiente las condiciones de operación y las condiciones de diseño.

DATOS:

$$P_d = 14.7 \text{ lb/in}^2$$

$$E = 0.8 \text{ (soldadura T)}$$

$$Y = 26 \text{ 000 lb/in}^2$$

$$h_g = 5/16 \text{ in}$$

$$d = 0.5 \text{ in} = 0.0127 \text{ m} = 1.27 \text{ cm}$$

$$G = 0.237 \text{ in} = 0.0060198 \text{ m}$$

$$t_r = t_s = 0.5 \text{ in}$$

$$b = 1/8 \text{ in}$$

$$S = 15.3 \times 1000 \text{ lb/in}^2$$

$$C' = 13 \text{ in}$$

$$m = 0.5 \text{ in} / 0.5 \text{ in} = 1$$

$$b = b_o \text{ cuando } b_o \text{ es menor a } 1/4$$



$$W = (1/8 \text{ in}) (0.237 \text{ in})(26000 \text{ lb/in}^2) = 2420 \text{ lb}$$

$$t = (0.5 \text{ in})^*$$

$$* \sqrt{\frac{(((13 \text{ in}) * (14.7 \text{ lb/in}^2)) / ((15.3 \times 1000 \text{ lb/in}^2) * (0.8))))}{+ \frac{(((1.9) * (2420 \text{ lb}) * (5/16 \text{ in})) / ((15.3 \times 1000 \text{ lb/in}^2) * (0.8) * (0.5 \text{ in})^3))}}{}} =$$

$$t = 0.5 \text{ in} = \frac{1}{2} \text{ in} = 1.27 \text{ cm}$$

Por lo tanto, el espesor que tendrá cada *tapa plana - cilíndrica* será de  $\frac{1}{2}$  in y en total serán **4 tapas** (2 en la parte inferior y 2 tapas en la parte superior del destilador) y se atomillaran con *torillos 5/16 in*.

El material de las tapas será de **acero inoxidable 304L** de acuerdo al código **ASME sección VIII Div.1**.

Además en el código recomienda también para recipientes sujeto a presión atmosférica *radiografiar una distancia mínima de 102 mm* a cada lado de la intersección de los accesorios al recipiente, en nuestro caso, no será la excepción, teniendo en cuenta no aplicar la soldadura al destilador después de haber realizado el relevo de esfuerzo.

### 3.1.3. – Eje giratorio con mallas (platos)

Se ha comentado que el diseño del destilador estará constituido por un eje giratorio situado en posición central cuya forma geométrica será anular. Los *criterios de diseño del eje* serán basándose en la capacidad del destilador, esto es:

- 1) entre *menor sea velocidad del motor reductor* que se pueda seleccionar, *habrá mayor transferencia de masa* dentro del destilador,
- 2) la *disminución del diámetro del eje* contribuirá *mejor la retención del orégano seco* en cada *esparcimiento de las mallas*, y
- 3) entre *menor sea la distancia de separación* de las mallas *mayor será la transferencia de masa* y desde luego, el *tiempo de residencia* será viable a **30 min.** <sup>(29)</sup>

Además este *tipo de eje* es muy sencillo en su construcción, bajo costo, facilidad de transporte en ambiente cerrado, evitando polvos y posibles exhalaciones y por supuesto, posibilidad de colocar bocas de descarga en diferentes puntos dentro del destilador.

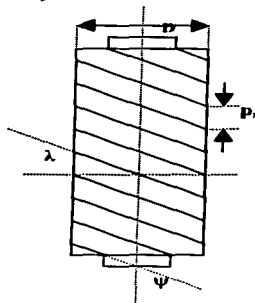
Para obtener la *mejor eficiencia de los platos* (mallas) se ha establecido claramente que la fase dispersante debe salir limpiamente de las perforaciones por lo que es conveniente que el orégano seco que entra al destilador debe ser mojado completamente con la *fase continua* (vapor saturado) con el fin de que haiga una buena transferencia de masa y la extracción se lleve cabo en 30 min. y no menos de ese tiempo.

El *tipo de malla* a utilizar será del **# 20 de acero inoxidable** y se especificará de acuerdo al área total de los orificios que se ajusta del **15 a 25 %** de la *sección transversal de la columna* sujeto a verificaciones de la presión de diseño.

Y la velocidad a través de los orificios debe ser tal que se formen gotas de vapor con lentitud en las perforaciones sino que la fase dispersa corra por las aberturas para dividirse en gotitas de vapor a una distancia pequeña de cada sección de la malla. En general se requiere *velocidades lineales promedio por los orificios de 15.2 a 30.5 cm/s*.<sup>(2)</sup> El espeso de la malla #20 dependerá de la rapidez de corrosión excesiva.

A todo esto, resulta mucho más fácil de definir las *variables de diseño del eje con mallas* mediante un análisis mecánico del destilador y propiamente del eje giratorio en *función del flujo másico y la altura del destilador*.

Así que el cálculo apropiado para el diseño del eje con mallas se consideró especificar el **paso axial  $p_x$** , el **diámetro de paso  $D$**  en *función de la altura* que tendrá el destilador:<sup>(30)</sup>



Se ha analizado también que cuando se diseña un eje rotatorio por lo general la reducción de velocidad es bastante grande, por lo que el paso axial del eje será la distancia entre puntos correspondientes de las mallas adyacentes medidas paralelas al eje, por lo que la ecuación a utilizar es:<sup>(19)</sup>

$$L = p_x N_1$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

L = distancia axial que recorre un punto de la malla cuando el eje gira una vuelta.  
 $N_1$  = es el número de cuerda (ejes) = 1eje  
 $p_x$  = paso axial en función de la altura del destilador en operación = 25 mm c/malla  
 $h = 84.76 \text{ cm} = 33.37 \text{ in} = 0.8476 \text{ m} = 847.6 \text{ mm}$   
 $N_2$  = es el número total de mallas (dientes) en todo el eje  
 $D_1$  = diámetro total (eje con la malla) = 3 in = 0.0762 m = 76.2 mm

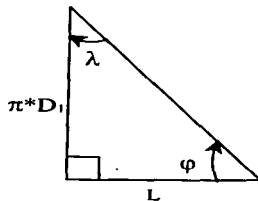
$$L = (25 \text{ mm}) * (1) = 25 \text{ mm}$$

$$\therefore N_2 = (847.6 \text{ mm} / 25 \text{ mm}) = 33.90 \text{ mallas} = \mathbf{34 \text{ mallas}}$$

El **total de mallas** que se instalarán sobre el eje giratorio son **34** y estarán separados entre cada una de ellas aproximadamente **25 mm**.

Y el material que estará hechas las mallas y el eje, será de **acero inoxidable 304L**.

En forma matemática, cuando el eje desarrolla 1 r.p.m. se obtiene un triángulo rectángulo por lo que los ángulos que definen al eje son:



$$\begin{aligned} \tan \lambda &= L / (\pi * D_1) \\ \tan \lambda &= (25 \text{ mm}) / (\pi * 76.2 \text{ mm}) = 0.10 \\ \tan \lambda &= 0.10 \\ \lambda &= \mathbf{5.96^\circ = 6^\circ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tan \phi &= (\pi * D_1) / L \\ \tan \phi &= (\pi * 76.2 \text{ mm}) / (25 \text{ mm}) = 9.5756 \\ \tan \phi &= 9.5756 \\ \phi &= \mathbf{84.04^\circ = 84^\circ} \end{aligned}$$

$\lambda$  = ángulo de avance del eje (es el ángulo entre la tangente a la hélice de paso y un plano normal al eje de rotación del eje)

$\phi$  = ángulo de inclinación entre las mallas ó ángulo de la malla

Estos ángulos establecen la *relación de la velocidad angular entre el eje y las mallas* que varía usualmente de 10 a 1 r.p.m. hasta 100 a 1 r.p.m.; y dependerá siempre de la **capacidad y altura del destilador.** <sup>(30)</sup>

En consecuencia, la distancia entre centros se encuentra que:

$$D_2 = p * N_2 / \pi$$

$p$  = paso circular en el plano diametral del eje.

$p_x = p = 25$  mm

$N_2 = 34$  mallas

$D_2$  = diámetro primitivo del eje puede tener cualquier valor, pero siempre es igual al de la herramienta (fresadora o torno) empleada para tallar el eje.

$$D_2 = (25 \text{ mm} * 34 \text{ mallas}) / \pi = 270.56 \text{ mm} = 0.27056 \text{ m} = 27.056 \text{ cm}$$

$$D_2 = 27.056 \text{ cm}$$

$$\therefore C = (D_1 + D_2) / 2$$

$$C = (0.0762 \text{ m} + 0.27056 \text{ m}) / 2 = 0.1734 \text{ m} = 17.34 \text{ cm} = 173.4 \text{ mm}$$

$$C = 0.1734 \text{ m} = 17.34 \text{ cm} = 173.4 \text{ mm}$$

$$\text{Como } D_2 = m * z_2 = (p * N_2) / \pi$$

$\therefore$  El módulo normal o diametral pitch standard es  $m = 27.056 \text{ cm} / 34 \text{ mallas} = 0.7958 \text{ cm}$

$$m = 0.7958 \text{ cm} = 0.007958 \text{ m} = 0.313 \text{ in}$$

La **AGMA** recomienda la relación entre el diámetro primitivo y la distancia entre centros:

$$d_1 = 0.68 * C^{0.875}$$

$$d_1 = 0.68 * (173.4 \text{ mm})^{0.875}$$

$$d_1 = 61.89 \text{ mm} = 62 \text{ mm} = 6.2 \text{ cm}$$

con esta relación cumple la condición de obtener valores excelentes en la transmisión de la potencia en el eje.

De lo anterior, la construcción del eje giratorio se decidió asimilar a la tecnología que se encuentra en el mercado, esto es, mallas de pequeño paso, normalmente a la mitad del diámetro y teniendo en cuenta un prolongado tiempo de permanencia del producto en el destilador a fin de extraer el aceite esencial de orégano.

Así pues, la capacidad teórica del eje vertical viene dada por la ecuación: <sup>(20)</sup>

$$Q = 60 * (D^2/4) * \pi * p * n$$

$Q = 9.145 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$   
 $D = \text{diámetro del eje} = 0.0762 \text{ m}$   
 $p = \text{paso axial} = 0.025 \text{ m}$   
 $n = \text{velocidad de giro (r.p.m.)}$

$$n = (9.145 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}) / [(60 * ((0.0762 \text{ m})^2/4) * \pi * (0.025 \text{ m}))]$$

$$n = 1.34 \text{ r.p.m.}$$

No obstante en la práctica los ejes giratorios no trabajan lleno, y hay que multiplicar por un coeficiente  $\alpha$  de llenado, por lo que la capacidad real viene dado por:

$$Q = 60 * (D^2/4) * \pi * p * n * \alpha$$

El coeficiente de llenado es función de las características de la *naturaleza del material a transportar* (granulometría, ángulo de rozamiento interno, abrasividad) y el eje (diámetro, longitud, r.p.m., inclinación). Por lo que el coeficiente que se va considerar es de 0.8.

$$Q = [(60 * ((0.0762 \text{ m})^2/4) * \pi * (0.025 \text{ m})) * (1.34 \text{ r.p.m.}) * 0.8$$

$$Q = 7.33 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$$

Y la velocidad de avance del material dada por:

$$v = (p \times n) / 60$$

$$v = (0.025 \text{ m} * 1.34 \text{ r.p.m.}) / 60$$

$$v = 0.558 \times 10^{-3} \text{ r.p.m.}$$

Hay que tener en cuenta que para escalar en el ámbito industrial, la capacidad del eje giratorio deberá aumentar directamente con el número de revoluciones, pero sin embargo, se ha demostrado que al aumentar  $n$  la capacidad aumenta hasta un máximo y después disminuye, es decir, la representación entre capacidad y r.p.m. es de tipo parabólico con concavidad hacia abajo.

La potencia absorbida por el eje del transportador viene dado por la ecuación: <sup>(20)</sup>

$$W = [(Q * L * \rho_{\text{orégano}} * f) / (270 * \eta)] + [(Q * H * \rho_{\text{orégano}}) / 270]$$

$Q = 9.145 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$   
 $L = \text{longitud entre centros de boca de carga y descarga} = 0.8476 \text{ m} = 84.76 \text{ cm}$   
 $\rho_{\text{orégano}} = 117 \text{ Kg/m}^3 = 0.117 \text{ Tm/m}^3 \text{ (sin compactar)}$

### CAPITULO III

### DISEÑO Y CÁLCULOS DE LOS EQUIPOS

$\rho_{\text{orégano}} = 148.2 \text{ Kg/m}^3 = 0.1482 \text{ Tm/m}^3$  (compactado)

H = desnivel a salvar = 3 in = 0.0762 m

f = coeficiente según el material = 1.6

$\eta$  = rendimiento mecánico = 0.9

$$W = [(9.145 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h} * 0.8476 \text{ m} * 0.1482 \text{ Tm/m}^3 * 1.6) / (270 * 0.9)] + \\ + [(9.145 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h} * 0.0762 \text{ m} * 0.1482 \text{ Tm/m}^3) / 270]$$

$$W = (7.56 \times 10^{-6} + 382.5 \times 10^{-9})$$

$$W = (7.95 \times 10^{-6} \text{ CV}) * (0.736 \text{ kW} / 1 \text{ CV}) * (1 \text{ HP} / 0.746 \text{ kW}) = 7.84 \times 10^{-6} \text{ HP}$$

$$W = 7.84 \times 10^{-6} \text{ HP} = 5.85 \times 10^{-6} \text{ kW}$$

Un análisis muy importante en esta ecuación es simplemente que la *primera parte* de la expresión representa la *potencia necesaria para el transporte del material en vertical* y el *segundo* sumando es la *potencia necesaria para bajar el material al desnivel H*.

En cuanto al coeficiente  $\eta$  dependerá de la construcción del eje giratorio y su instalación en el destilador. La dificultad de determinar este valor así como la del coeficiente **f** hace difícil determinar con exactitud la potencia absorbida, que debe ser indicado por el proveedor del eje giratorio.

Finalmente para determinar de una forma aproximada la *potencia del motor – reductor* a instalar es:

$$W = [(Q * L * \rho_{\text{orégano}} * f) / 80] + [(Q * H * \rho_{\text{orégano}}) / 270]$$

Donde se considera englobado el *rendimiento mecánico del motor*.

$$W = [(9.145 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h} * 0.8476 \text{ m} * 0.1482 \text{ Tm/m}^3 * 1.6) / 80] + \\ + [(9.145 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h} * 0.0762 \text{ m} * 0.1482 \text{ Tm/m}^3) / 270]$$

$$W = (22.97 \times 10^{-6} + 382.5 \times 10^{-9})$$

$$W = (23.36 \times 10^{-6} \text{ CV}) * (0.736 \text{ kW} / 1 \text{ CV}) * (1 \text{ HP} / 0.746 \text{ kW}) = 7.84 \times 10^{-6} \text{ HP}$$

$$W = 23.04 \times 10^{-6} \text{ HP} = 1.72 \times 10^{-5} \text{ kW}$$

Se les propuso a los proveedores, precisar el costo aproximado de la potencia que necesitamos para reducir la velocidad que normalmente es de **1740 RPM a 2 RPM** y los detalles se describen a continuación.

El proveedor que cumple con los requisitos conforme al código NEMA es la empresa GRAINGER y cuyas características del motor reductor es:

➤ **Parallel Shaft AC Gearmotor, Nameplate Speed 2 RPM, Input Power 1/4 HP, Gear Ratio 870:1, Voltage @ 60 Hz 115, Overhung Load 150 Pounds, Rotation CW, DAYTON 3M127, \$195.25**

Por lo tanto, el motor reductor satisface adecuadamente la potencia necesaria para operar adecuadamente el eje giratorio. Y en caso de que el eje giratorio se desee que trabaje a la velocidad exacta de 1.34 r.p.m. se diseñará el sistema de poleas.

El argumento que justifica el de porque se seleccionó este motor reductor, es debido que se decidió que funcione el eje giratorio como máximo hasta 2 r.p.m. ya que esta en función de la carga inicial de la materia prima (orégano seco selectivo).

#### **3.1.4. – Sello mecánico del eje giratorio**

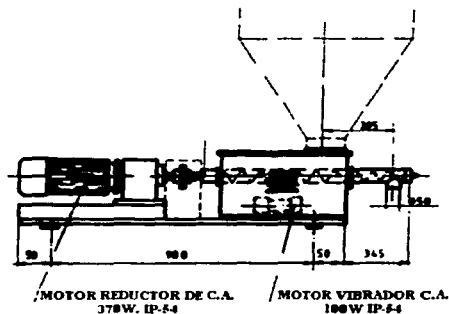
En cuanto al sello mecánico para el eje giratorio se realizó un análisis mecánico – eléctrico en funcionamiento y lo que llegamos a deducir que el sello será de tipo buje con los siguientes ***critérios de diseño***: el dispositivo de sellado será flexible y consistirá de empaques que se componen de fibras que primeramente se trenzan en tiras en forma de anillos; y para asegurar la lubricación inicial y facilitar la instalación se impregnará de trenzas metálicas, a todo ello se diseñará para soportar la temperatura máxima de 120 °C además se tendrá en cuenta que proporcione un buen sellado total evitando fuga de vapor.

Una nota muy importante en el diseño de los sellos para el eje giratorio es que a la falta de lubricación hace que los empaques se endurezcan y pierda elasticidad, de modo que aumenta la fricción, se acortan la vida del empaque y se elevan los costos de operación.

Para el ***tamaño del estopero*** no será un factor limitante ya que el balanceo hidráulico se realizará mediante el proporcionamiento adecuado de los diámetros de las caras selladoras, el sello secundario y la compatibilidad con el material de construcción del destilador. Las especificaciones del sello mecánico para el destilador continuo se mencionan en el anexo IV.

## 3.1.5. – Tolva con tornillo sin fin

Ahora bien en cuanto la selección e instalación del transportador (tolva con tornillo sinfín) adecuado hacia el destilador se analizó los criterios de diseño basándose en la materia prima (orégano selectivo) esto es, con el fin de no contaminar y de arrastrar material férrico hacia el destilador. <sup>(29)</sup>

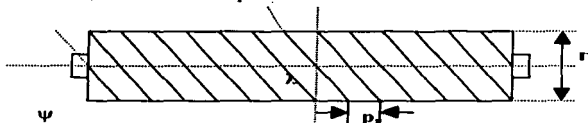


Entre los cuales están:

- ◆ Se sellará completamente para funcionar a la presión atmosférica y el tubo se puede aislar para mantener temperaturas internas en regiones de temperatura ambiente elevadas o bajas.
- ◆ Se va a diseñar el tornillo sin fin con una descarga por abajo para facilitar la limpieza con el fin de evitar la contaminación cuando se deban manejar en el mismo sistema de materiales diferentes.
- ◆ La potencia requerida se calculará en función de lo necesario para impulsar el tornillo al vacío y de lo que se requiere para el desplazamiento del material; esto es, en función de la longitud del transportador, la velocidad de rotación, la fricción en los cojinetes y soportes, del peso total de material transportado por unidad de tiempo, la longitud del recorrido y la profundidad a la que se carga el canal.
- ◆ La potencia del transporte debe transmitirse a través del eje y estará limitado por el tamaño permisible de sus piezas.
- ◆ La necesidad del tornillo helicoidal de paso variable permitirá producir un arrastre uniforme del material por la abertura completa de la tolva. Para que haya flujo uniforme, la relación numérica de la abertura de alimentador del tornillo sinfín al diámetro no debe sobrepasar de 6 in.



De acuerdo a lo anterior, los cálculos para el tornillo sinfín alimentador son:  $D_1 = 1''$



Se realizó primero una sencilla simulación del diámetro óptimo del tornillo y se llegó a la siguiente conclusión:

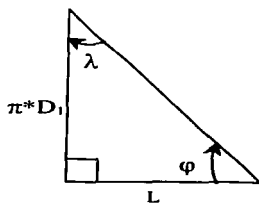
$$L = p \times N_1$$

$$L = (25.4 \text{ mm}) \times (1) = 25.4 \text{ mm}$$

$$\therefore N_2 = (500 \text{ mm} / 25.4 \text{ mm}) = 19.68 \text{ dientes} = 20 \text{ dientes}$$

El **total de dientes** que tendrá el tornillo sinfín será **20 dientes** y *estarán separados* entre cada una de ellas aproximadamente **25.4 mm en toda la alimentación hacia el destilador**. El material será de acero inoxidable AISI 304.

Y cuando el eje desarrolla 1 r.p.m. se obtiene un triángulo rectángulo por lo que los ángulos que definen al eje del tornillo sin fin son:



$$\tan \lambda = L / (\pi * D_1)$$

$$\tan \lambda = (500 \text{ mm}) / (\pi * 25.4 \text{ mm}) = 6.26$$

$$\tan \lambda = 6.26$$

$$\lambda = 80.93^\circ = 81^\circ$$

$$\tan \varphi = (\pi * D_1) / L$$

$$\tan \varphi = (\pi * 25.4 \text{ mm}) / (500 \text{ mm}) = 0.1596$$

$$\tan \varphi = 0.1596$$

$$\varphi = 9.07^\circ = 9.1^\circ$$

En consecuencia, la distancia entre centros se encuentra que:

$$D_2 = p * N_2 / \pi$$

$$D_2 = (25.4 \text{ mm} * 20 \text{ dientes}) / \pi = 161.70 \text{ mm} = 0.1617 \text{ m} = 16.17 \text{ cm}$$

$$D_2 = 16.17 \text{ cm}$$

$$\therefore C = (D_1 + D_2) / 2$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

$$C = (0.0254 \text{ m} + 0.1617 \text{ m}) / 2 = 0.09355 \text{ m} = 9.355 \text{ cm} = 93.55 \text{ mm}$$

$$C = 0.09355 \text{ m} = 9.355 \text{ cm} = 93.55 \text{ mm}$$

$$\text{Como } D_2 = m * z_2 = (p * N_2) / \pi$$

∴ El módulo normal o diametral pitch standard es  $m = 16.17 \text{ cm} / 20 \text{ dientes} = 0.8085 \text{ cm}$

$$m = 0.8085 \text{ cm} = 0.008085 \text{ m} = 0.318 \text{ in}$$

La **AGMA** recomienda la relación entre el *diámetro primitivo* y la *distancia entre centros*:

$$d_1 = 0.68 * C^{0.875}$$

$$d_1 = 0.68 * (93.55 \text{ mm})^{0.875}$$

$$d_1 = 36.07 \text{ mm} = 36.1 \text{ mm} = 3.6 \text{ cm}$$

Así pues, la *capacidad teórica del eje vertical* viene dada por la ecuación:

$$Q = 60 * (D^2/4) * \pi * p * n$$

$$Q = 9.145 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$$

$D$  = diámetro del eje = 0.0254 m

$p$  = paso axial = 0.0254 m

$n$  = velocidad de giro (r.p.m.)

$$n = (9.145 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}) / [(60 * ((0.0254 \text{ m})^2/4) * \pi * (0.0254 \text{ m}))]$$

$$n = 11.84 \text{ r.p.m.}$$

No obstante en la práctica los tornillos sinfín no trabajan lleno, y hay que multiplicar por un coeficiente  $\alpha$  de llenado, por lo que la capacidad real viene dado por:

$$Q = 60 * (D^2/4) * \pi * p * n * \alpha$$

El *coeficiente de llenado* es función de las características de la *naturaleza del material a transportar* (granulometría, ángulo de rozamiento interno, abrasividad) y *el eje* (diámetro, longitud, r.p.m., inclinación). Por lo que el coeficiente que se va considerar es de 0.8.

$$Q = [(60 * ((0.0254 \text{ m})^2/4) * \pi * (0.0254 \text{ m})) * (11.84 \text{ r.p.m.}) * 0.8]$$

$$Q = 7.33 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$$

Y la velocidad de avance del material dada por:

$$v = (p \times n) / 60$$

$$v = (0.0254 \text{ m} \times 11.84 \text{ r.p.m.}) / 60$$

$$v = 5.012 \times 10^{-3} \text{ r.p.m.}$$

La potencia absorbida por el eje del transportador viene dado por la ecuación:

$$W = [(Q * L * \rho_{\text{orégano}} * f) / (270 * \eta)] + [ (Q * H * \rho_{\text{orégano}}) / 270]$$

$$Q = 9.145 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$$

$$L = \text{longitud entre centros de boca de carga y descarga} = 0.5 \text{ m} = 50.00 \text{ cm}$$

$$\rho_{\text{orégano}} = 117 \text{ Kg/m}^3 = 0.117 \text{ Tm/m}^3 \text{ (sin compactar)}$$

$$\rho_{\text{orégano}} = 148.2 \text{ Kg/m}^3 = 0.1482 \text{ Tm/m}^3 \text{ (compactado)}$$

$$H = \text{desnivel a salvar} = 0.0254 \text{ m} = 1 \text{ in}$$

$$f = \text{coeficiente según el material} = 1.6$$

$$\eta = \text{rendimiento mecánico} = 0.9$$

$$W = [ (9.145 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h} * 0.5 \text{ m} * 0.1482 \text{ Tm/m}^3 * 1.6) / (270 * 0.9) ] + \\ + [ (9.145 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h} * 0.0254 \text{ m} * 0.1482 \text{ Tm/m}^3) / 270 ]$$

$$W = (4.46 \times 10^{-6} + 127.497 \times 10^{-9})$$

$$W = (4.59 \times 10^{-6} \text{ CV}) * (0.736 \text{ kW} / 1 \text{ CV}) * (1 \text{ HP} / 0.746 \text{ kW}) = 4.53 \times 10^{-6} \text{ HP}$$

$$W = 4.53 \times 10^{-6} \text{ HP} = 3.38 \times 10^{-6} \text{ kW}$$

Finalmente para determinar de una forma aproximada la potencia del motor – reductor a instalar es:

$$W = [(Q * L * \rho_{\text{orégano}} * f) / 80] + [ (Q * H * \rho_{\text{orégano}}) / 270]$$

Se considera también el rendimiento mecánico del motor:

$$W = [ (9.145 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h} * 0.500 \text{ m} * 0.1482 \text{ Tm/m}^3 * 1.6) / 80 ] +$$

$$+ [ (9.145 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h} * 0.0254 \text{ m} * 0.1482 \text{ Tm/m}^3) / 270 ]$$

$$W = (13.553 \times 10^{-6} + 127.497 \times 10^{-9})$$

$$W = (13.68 \times 10^{-6} \text{ CV}) * (0.736 \text{ kW} / 1 \text{ CV}) * (1 \text{ HP} / 0.746 \text{ kW}) = 13.50 \times 10^{-6} \text{ HP}$$

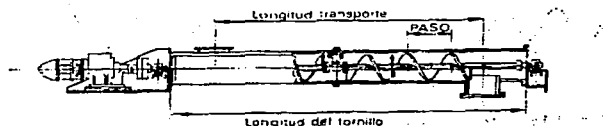
$$W = 13.50 \times 10^{-6} \text{ HP} = 1.01 \times 10^{-5} \text{ kW}$$

De la misma manera se le propuso al proveedor estimar el costo aproximado del motor reductor cumpliendo con el código NEMA. Por lo tanto, el motor reductor para reducir la velocidad que normalmente es de 1740 r.p.m. a 12 r.p.m. es:

- **Parallel Shaft AC Gearmotor, Nameplate Speed 12 RPM, Input Power 1/4 HP, Gear Ratio 145:1, Voltage @ 60 Hz 115, Overhung Load 150 Pounds, Rotation CW, DAYTON 3M130, \$165.25**

Este motor reductor satisfacen la potencia necesaria para operar adecuadamente el tornillo sinfín. Se tendrá en cuenta que si se desea que el tornillo sinfín trabaje a 11.84 r.p.m.; entonces se diseñará el sistema de poleas.

El siguiente esquema ejemplifica el tornillo sinfín con el motor reductor:



### 3.1.6. – Especificación de la válvula rotativa

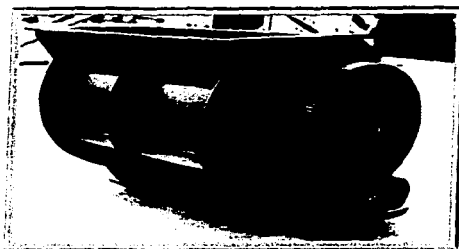
Con el flujo de descarga de la corriente # 4 (7.1922 Kg de bagazo húmedo /h) se especificó la válvula rotativa. Y cuya instalación será en la tubería (corriente # 4) y no directamente en el destilador como se había planteado anteriormente.

Además se instalará una sección vertical para asegurar que la salida del bagazo húmedo sea uniforme; esto con el fin de que el vapor saturado no fluya por la parte de donde sale el bagazo. El diámetro de salida de la parte inferior del destilador será de 2.54 cm.

Una vez ya recolectado el bagazo húmedo se realizará un análisis de una muestra del bagazo residual para saber que tanto de aceite esencial se está extrayendo y ver también la manera de mejorar la eficiencia de nuestro proceso en operación.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Se almacenará el bagazo en recipiente de plástico con capacidad máxima de 450 L que posteriormente se venderá como materia prima principalmente en las industrias de fertilizantes y papelera.



La selección y especificación de la válvula rotativa VR – 01 que vamos a utilizar se encuentra en el anexo V.

### 3.2. – Diseño del condensador - enfriador

El condensador sirve para enfriar los vapores y volverlos al estado líquido. Su tamaño estará en función de la cantidad de vapores a condensar, la temperatura de ellos, de la cantidad y temperatura del agua de enfriamiento.

El *condensador - enfriador* tomará el vapor de salida del destilador.

El material es de **acero inoxidable 304L**, la posición será vertical debido al mantenimiento y una mayor circulación del vapor ya que como se trabaja con el aceite esencial en un momento dado el condensador se contaminará:

Las *condiciones de operación* serán: <sup>(13)</sup>

- (a) Tiempo de destilación estimado: 30 min. ( 10 de carga y descarga, 20 de destilación)
- (b) Temperatura entrada de los vapores: 212 °F = 100 °C
- (c) Temperatura entrada agua de enfriamiento: 25 °C
- (d) Temperatura salida agua enfriamiento: 40 °C
- (e) Calor latente de vaporización del agua: 4.18 kJ/Kg \*K

TESIS CON  
PALA DE ORIGEN

(f) Calor latente del aceite esencial: 280 kJ/Kg \*K

Para el arreglo de las corrientes fue:

(a) Por el lado de la coraza: agua de enfriamiento

(b) Por el lado de los tubos: mezcla de vapor de aceite esencial + vapor saturado

Este criterio se consideró de acuerdo al alcance del proyecto que se definió al principio; esto es, el diseño del destilador continuo no es solamente para extraer aceite esencial de orégano selectivo sino que será de uso para la extracción de otras especies aromáticas, siempre y cuando; sean viables para este proceso de separación.

Por lo que en un momento dado se tendrá que realizar la limpieza y mantenimiento del condensador – enfriador antes de iniciar el proceso de extracción del aceite esencial de otra especie aromática.

#### Base de cálculo:

El condensador – enfriador recibirá del destilador **9.408 Kg/hr de vapor de agua a 100 °C** y una atmósfera de presión junto con **0.0214 Kg/h de aceite esencial del orégano** que deberá ser condensado y enfriado a **50 °C** y pasará al separador llamado comúnmente vaso florentino.

El **agua de enfriamiento** entrará a **25 °C** y saldrá a **40 °C**. Con **0.0214 Kg/h de aceite esencial que es la totalidad**, debido a que en la ½ hora se destila la mayor parte.

### BALANCE DE CALOR

**a) Calor que es necesario eliminar para condensar los vapores ( $q_c$ ):**

$$q_c = [(9.408 \text{ Kg/h vapor de agua}) * ((2280 \text{ kJ/Kg}) + ((4.18 \text{ kJ/ Kg K}) * (15 \text{ K})))] \\ + [(0.0214 \text{ Kg/h aceite esencial}) * (280 \text{ kJ/h})]$$

$$q_c = 22040.1216 \text{ kJ/h} + 5.992 \text{ kJ/h} = 22046.11 \text{ kJ/h} = 5269.24 \text{ Kcal/hr}$$

$$q_c = 5269.24 \text{ Kcal/hr}$$

**b) Calor que es necesario eliminar para enfriar el condensado de 100 °C a 50 °C ( $q_s$ ):**

$$q_s = [(9.408 \text{ Kg/h vapor de agua}) * (1 \text{ Kcal/Kg °C}) * (100 - 50) \text{ °C}]$$

+

$$[(0.0214 \text{ Kg/h aceite esencial}) * (0.5 \text{ Kcal/ Kg}^\circ\text{C}) * (100 - 50)^\circ\text{C}]$$

$$q_s = (470.4 + 0.535) \text{ Kcal/h}$$

9.4294 Kg Vapor de aceite esencial / h  
100 °C

$$q_s = 471 \text{ Kcal/h}$$

c) Cantidad total de calor a eliminar (Q):

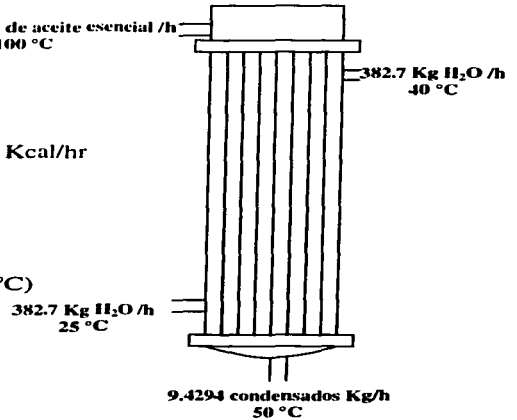
$$Q = q_c + q_s = 5269.24 \text{ Kcal/hr} + 471 \text{ Kcal/h} = 5740.24 \text{ Kcal/hr}$$

$$Q = 5740.24 \text{ Kcal/hr}$$

d) Cantidad necesaria de agua para enfriar (M<sub>a</sub>)

$$Q = 5740.24 \text{ Kcal/hr} = M_a * (1 \text{ Kcal/Kg }^\circ\text{C}) * (40 - 25)^\circ\text{C}$$

$$M_a = 382.68 \text{ Kg/h} = 0.383 \text{ m}^3/\text{h}$$



Durante la condensación el agua tendrá un aumento de temperatura de:

$$\Delta T_{\text{agua}} = Q / M_a C_p$$

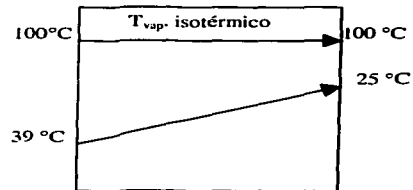
$$\Delta T_{\text{agua}} = 5740.24 \text{ Kcal/hr} / (382.68 \text{ Kg/h} * (1 \text{ Kcal/Kg }^\circ\text{C}))$$

$$\Delta T_{\text{agua}} = 13.79 \text{ }^\circ\text{C} = 14 \text{ }^\circ\text{C}$$

**ΔT CONSIDERADO**

CONDENSACIÓN (°C)

Fluido Caliente	Fluido Frío	Diferencia
100	39	61
100	25	75
0	14	



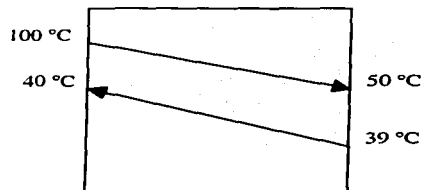
$$LMTD_c = [(100 - 39) - (100 - 25)] / [\ln [(100 - 39) / (100 - 25)]]$$

$$LMTD_c = 67.75 \text{ }^\circ\text{C} = 154 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$q_c / LMTD_c = [5269.24 \text{ Kcal/h} / 67.75 \text{ }^\circ\text{C}] = 77.77 \text{ Kcal / hr }^\circ\text{C}$$

SUBENFRIAMIENTO ( $^\circ\text{C}$ )

Fluido Caliente	Fluido Frío	Diferencia
100	40	60
50	39	11
50	1	



$$LMTD_s = [(100 - 40) - (50 - 39)] / [\ln [(100 - 40) / (50 - 39)]]$$

$$LMTD_s = 28.88 \text{ }^\circ\text{C} = 84 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$q_s / LMTD_s = [471 \text{ Kcal/h} / 28.88 \text{ }^\circ\text{C}] = 16.31 \text{ Kcal / hr }^\circ\text{C}$$

Por lo tanto, la  $\Delta T$  es :

$$\Delta T = Q / [(q_c / LMTD_c) + (q_s / LMTD_s)]$$

$$\Delta T = 5740.24 \text{ Kcal/hr} / [77.77 \text{ Kcal / hr }^\circ\text{C} + 16.31 \text{ Kcal / hr }^\circ\text{C}]$$

$$\Delta T = 61 \text{ }^\circ\text{C} = 142 \text{ }^\circ\text{F}$$

Para este tipo de condensadores en general se tiene una  $U_D$  de **24.4 a 366 Kcal / h m<sup>2</sup>°C** (5 a 75 Btu/hft<sup>2</sup>°F).

Por lo que se elige una  $U_D$  de **225 Kcal / h m<sup>2</sup>°C** y con ella se calcula el número de tubos y se probará si sirve o no el condensador. (Kern pág.945)

$$A_D = Q / [U_D \cdot \Delta T]$$



$$A_D = 5740.24 \text{ Kcal/hr} / [(225 \text{ Kcal/h m}^2\text{°C}) * 61 \text{ °C}]$$

$$A_D = 0.4182324 \text{ m}^2$$

Por lo tanto, el condensador estará formado por tubos de 1m de longitud (0.3048 m) de ¾" de diámetro exterior 16 B.W.G. (Birmingham Wire Gage)

$$N = (0.4182324 \text{ m}^2) / (1\text{m} * 0.05984734 \text{ m}^2/\text{m})$$

$$N = 6.988 = 7 \text{ tubos}$$

Esto es, 7 tubos OD = ¾" 16 BWG con 15/16" pitch triangular, con un paso por el lado de los tubos y por el lado de la coraza tendremos un diámetro interno de 2.85" con un sólo paso. <sup>(24)</sup>

### CONDENSACIÓN

*Fluido caliente por lado de la coraza*

$$D_o = ¾" = 0.01905\text{m}$$

Para tubos verticales se tiene que la *carga del condensador* es:

$$G' = W / \pi * N_t * D_o$$

$$G' = (9.4294 \text{ Kg/h}) / [(7) * (0.01905\text{m}) * \pi]$$

$$G' = 22.51 \text{ Kg}_{\text{vapor}} / \text{hr} * \text{m} = 15.14 \text{ lb}_{\text{vapor}} / \text{hrft}$$

De la gráfica 12.9 de Kern se obtiene el *coeficiente de transferencia de calor* a partir de:

$$K = 0.46 \text{ BTU} * \text{ft} / \text{ft}^2 * \text{hr} * \text{°F}$$

$$S = 0.96$$

$$\mu = 0.26 \text{ cp}$$

$$\text{Como primera aproximación } h = h_o = 1000 \text{ Btu/hft}^2 * \text{°F} = 4883 \text{ Kcal/hm}^2 * \text{°C}$$

*Fluido frío lado de los tubos*

$$a't = 0.302 \text{ in}^2$$

(área flujo del tubo)

$$a_t = N_t * a't / n$$

$$N_t = \text{No. de tubos} = 7$$

$$n = \text{No. de paso} = 1$$

$$a_t = [(7) \cdot (0.302 \text{ in}^2)] / 1 = 2.114 \text{ in}^2 = 1.364 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$a_t = 1.364 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ (área de flujo total)}$$

La carga de agua por tubos verticales será  $G_t$ :

$$G_t = W / a_t = 382.68 \text{ Kg/hr} / 1.364 \times 10^{-3} \text{ m}^2 = 280,584.3 \text{ Kg/hr m}^2$$

$$G_t = (280,584.3 \text{ Kg/hr m}^2) \cdot (11\text{b}/0.453\text{Kg}) \cdot ((0.3048 \text{ m})^2 / (1 \text{ ft}^2)) = 57543.34 \text{ lb/hr ft}^2$$

$$G_t = 280,584.3 \text{ Kg/hr m}^2 = 57543.34 \text{ lb/hr ft}^2$$

La velocidad del flujo del agua es:

$$v = G_t / 3600\rho$$

$$v = 57543.34 \text{ lb/hr ft}^2 / (3600 \cdot 62.5 \text{ lb/ft}^3)$$

$$v = 0.256 \text{ ft/s} = 0.078 \text{ m/s}$$

De la figura 25 del Kern se calcula el coeficiente de transferencia de calor para una  $T = 39 \text{ }^\circ\text{C} = 102.2 \text{ }^\circ\text{F}$  y con un  $DI = 0.620'' = 0.01575 \text{ m}$ :

$$h_i = 300 \text{ Btu/hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} = 1465 \text{ Kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Aplicando la ecuación 6.5 del Kern. Convertir el valor de  $h_i$  refiriéndolo al diámetro externo.

$$h_{i0} = h_i \cdot (ID/OD)$$

$$h_{i0} = (300 \text{ Btu/hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}) \cdot (0.620'' / 3/4'') = 248 \text{ Btu/hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

$$h_{i0} = 248 \text{ Btu/hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} = 1211 \text{ Kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

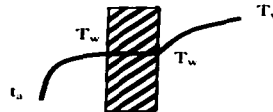
**Fluido caliente lado de la coraza:**

Para calcular la temperatura del tubo ( $T_w$ ) usamos la ecuación 5.32 del Kern:

$$T_w = t_a + [(h_o / (h_{i0} + h_o)) \cdot (T_v - t_a)]$$

$T_v =$  Temperatura de vapor =  $100 \text{ }^\circ\text{C} = 212 \text{ }^\circ\text{F}$

$t_a =$  Temperatura promedio del agua =  $39 \text{ }^\circ\text{C} = 102.2 \text{ }^\circ\text{F}$



$$T_w = 102.2 \text{ }^\circ\text{F} + [(1000 \text{ Btu/hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} / (248 \text{ Btu/hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} + 1000 \text{ Btu/hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F})) \cdot (212 - 102.2) \text{ }^\circ\text{F}]$$

$$T_w = 190.18 \text{ }^\circ\text{F} = 87.88 \text{ }^\circ\text{C}$$

Por tanto, para calcular la *temperatura de la película* ( $t_f$ ) usamos la ecuación 12.19 del Kern.

$$T_f = (T_v + T_w) / 2 = (212 + 190.18) \text{ }^\circ\text{F} / 2 = 201.1 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$T_f = 201.1 \text{ }^\circ\text{F} = 93.94 \text{ }^\circ\text{C}$$

Por lo que la conductividad térmica será:

$$K_f = 0.40 \text{ BTU/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{F} / \text{ft}$$

$$S_f = 0.96$$

$$\mu = 0.3 \text{ cp}$$

En base en la gráfica 12.9 del Kern para una carga de condensado  $G' = 15.14 \text{ lb}_{\text{vapor}} / \text{hr} \cdot \text{ft}$  tenemos un *coeficiente de calor* de:

$$h = h_o = 1100 \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{F} = 5371 \text{ Kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}$$

Así pues, la suposición anterior fue correcta y no se necesita recalculación. De tal manera el *coeficiente total limpio de condensación*  $U_c$  será:

$$U_c = (h_{i0} \cdot h_o) / (h_{i0} + h_o)$$

$$= [(248 \text{ Btu/hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{F}) \cdot (1100 \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{F})] / [(248 \text{ Btu/hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{F}) + (1100 \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{F})]$$

$$U_c = 202.34 \text{ Btu/hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{F} = 988 \text{ Kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}$$

La *superficie limpia requerida para la condensación* será:

$$A_c = q_c / [(U_c \cdot \text{LMTD}_c)]$$

$$A_c = [(5269.24 \text{ Kcal/hr}) \cdot (1 \text{ Btu} / 0.252 \text{ Kcal})] / [(202.34 \text{ Btu/hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{F}) \cdot (154 \text{ }^\circ\text{F})]$$

$$A_c = 0.6710 \text{ ft}^2 = 0.06234 \text{ m}^2$$

### ENFRIAMIENTO

*Fluido caliente lado de la coraza:*

Cálculo del *área de flujo de la sección transversal de la coraza* ( $a_s$ )

$$a_s = ID \times (C \cdot D / 144 P_T) = (D_s \times C \times B) / P_T$$

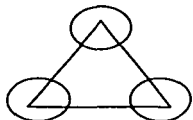
C = distancia entre los tubos =  $6.35 \times 10^{-3}$  m

$P_T$  = Pitch =  $15/16'' = 0.9375'' = 2.381$  cm

B = Espacio entre los baffles, mamparas o deflectors

ID = diámetro del envolvente

Como el Pitch será **triangular** podemos considerar la siguiente ecuación: <sup>(27)</sup>



$$D_s = 1.15 * P_T * \sqrt{N_t}$$

$$D_s = 1.15 * (15/16'') * \sqrt{7}$$

$$D_s = 2.85 \text{ in} = 7.25 \text{ cm} = 0.0724 \text{ m}$$

$$D_s = B = 0.0724 \text{ m}$$

$$a_s = (D_s \times C \times B) / P_T = (0.0724 \text{ m} * 0.0724 \text{ m} * 6.35 \times 10^{-3} \text{ m}) / 0.0238 \text{ m}$$

$$a_s = 1.4 \times 10^{-3} \text{ m}^2 = 15.06 \times 10^{-3} \text{ ft}^2$$

El número de mamparas será:  $N = L/B = 1 \text{ m} / 0.0724 \text{ m} = 13.8 = 14$

$$N = 14$$

Se hace hincapié de que *no se utilizará baffles* para evitar un mayor ensuciamiento en los tubos.

Por lo tanto, la *masa velocidad* es:

$$G_s = W / a_s = [(9.4294 \text{ Kg/h}) * (1 \text{ lb} / 0.454 \text{ Kg})] / [15.06 \times 10^{-3} \text{ ft}^2]$$

$$G_s = 1383 \text{ lb/hft}^2$$

A la *temperatura promedio* de  $T_a = [100 + 50] / 2 = 75 \text{ }^\circ\text{C} = 167 \text{ }^\circ\text{F}$  y a esta temperatura la viscosidad será:

$$\mu = 0.40 \text{ cp} * 2.42 \text{ lb/h}^2\text{ft} = 0.968 \text{ lb/h}^2\text{ft}$$

El *diámetro equivalente* es:

$$D_e = 4[(0.43 * P_T^2 - 0.3927 D_o^2)] / [0.5 * D_o * \pi] \quad (\text{ecuación del Kern 7.3})$$

$$D_e = 4[(0.43 * (15/16'')^2) - (0.3927 (3/4'')^2)] / [0.5 * (3/4'') * \pi]$$

$$D_e = 0.55 \text{ in} * (1 \text{ ft} / 12 \text{ in}) = 0.044 \text{ ft} = 1.397 \text{ cm} = 0.01397 \text{ m}$$

Por lo tanto, el **Reynolds** será para el *lado de la coraza*:

$$Re_s = De * G_s / \mu = Re_s = [0.044 \text{ ft} * 1383 \text{ lb/hft}^2] / 0.968 \text{ lb/h*ft} = 63$$

$$Re_s = 63$$

Para este **Re** el *factor de transferencia de calor*  $J_{11}$  será, según la figura 28 del Kern:

$J_{11} = 4.4$  a la  $T_{\text{promedio}} = 167 \text{ }^\circ\text{F}$  se tiene para el condensado:

$$C_p = 0.96 \text{ Btu/lb} * \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\mu = 0.968 \text{ lb/hr*ft}$$

$$k = 0.394 \text{ Btu/ hft}^2 * \text{ }^\circ\text{F/ft}$$

$$P_r = [(C_p * \mu) / k]^{1/3} = [(0.96 \text{ Btu/lb} * \text{ }^\circ\text{F} * 0.968 \text{ lb/hr*ft}) / (0.394 \text{ Btu/ hft}^2 * \text{ }^\circ\text{F/ft})]^{1/3}$$

$$P_r = 1.331$$

Se calcula el *coeficiente de transmisión de calor para el lado de la coraza* y por medio de la ecuación 6.15 del Kern.

$$h_o = J_{11} * (k/De) * [(C_p * \mu) / k]^{1/3}$$

$$h_o = 4.4 * ((0.394 \text{ Btu/ hft}^2 * \text{ }^\circ\text{F/ft}) / 0.044 \text{ ft}) * 1.331$$

$$h_o = 52.45 \text{ Btu / hft}^2 * \text{ }^\circ\text{F} = 256.1 \text{ Kcal/h*m}^2 * \text{ }^\circ\text{C}$$

**Fluido frío lado de los tubos:**

A la *temperatura promedio del fluido frío* durante el enfriamiento:

$$T_c = (40+39)/2 = 39.5 \text{ }^\circ\text{C} = 103.1 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\mu = 0.7 \text{ cp} * 2.42 \text{ lb/h*ft} = 1.694 \text{ lb/h*ft}$$

$$\text{El } D_{\text{interior}} = 0.620 \text{ in} * (1\text{ft}/12'') = 0.052 \text{ ft}$$

se calcula el *número Reynolds*:

$$Re_t = De * G_t / \mu = [0.052 \text{ ft} * 57543.34 \text{ lb/hr ft}^2] / 1.694 \text{ lb/h*ft}$$

$$Re_t = 3, 533 \text{ (para calcular } \Delta P)$$

El valor de  $h_i$  referido al *diámetro externo*  $h_{io}$ :

$$h_{i0} = 248 \text{ Btu / hr ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} = 1211 \text{ Kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Y el coeficiente total limpio para el subenfriamiento  $U_s$  será:

$$U_s = (h_{i0} \cdot h_o) / (h_{i0} + h_o)$$

$$U_s = ( (248 \text{ Btu / hr ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}) \cdot (52.45 \text{ Btu / hr ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}) ) / ( (248 \text{ Btu / hr ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}) + (52.45 \text{ Btu / hr ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}) )$$

$$U_s = 43.3 \text{ Btu / hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} = 211.4 \text{ Kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

La superficie limpia requerida para el subenfriamiento  $A_s$  será:

$$A_s = q_s / [(U_s \cdot \text{LMTD}_s)]$$

$$A_s = [ (471 \text{ Kcal/h}) \cdot (1 \text{ Btu} / 0.252 \text{ Kcal}) ] / [ (43.3 \text{ Btu/hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}) \cdot (83.98 \text{ } ^\circ\text{F}) ]$$

$$A_s = 0.5140 \text{ ft}^2 = 0.0477 \text{ m}^2$$

Por tanto, la superficie limpia total requerida, tanto para la condensación como para el subenfriamiento será:

$$A_c = 0.6710 \text{ ft}^2 = 0.06234 \text{ m}^2$$

$$A_s = 0.5140 \text{ ft}^2 = 0.0477 \text{ m}^2$$

$$A_T = A_c + A_s = 0.06234 \text{ m}^2 + 0.0477 \text{ m}^2$$

$$A_T = 0.1101 \text{ m}^2 = 1.185 \text{ ft}^2$$

El coeficiente total limpio para el condensador – enfriador será:

$$U_c = 202.34 \text{ Btu/hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} = 988 \text{ Kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$U_T = [A_c U_c + A_s U_s] / A_T$$

$$U_T = [(0.6710 \text{ ft}^2 \cdot 202.34 \text{ Btu/hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}) + (0.5140 \text{ ft}^2 \cdot 43.3 \text{ Btu / hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F})] / 1.185 \text{ ft}^2$$

$$U_T = 133 \text{ Btu/hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} = 649 \text{ Kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

La superficie exterior de los tubos es:

$$a'' = (3/4'') \cdot (\pi) \cdot (1 \text{ ft} / 12'') = 0.196349 \text{ ft}^2 / \text{ft}$$

$$a'' = 0.196349 \text{ ft}^2 / \text{ft}$$

La superficie total:

$$A = 7 \text{ tubos} * (0.196349 \text{ ft}^2 / \text{ft}) * (3.2808 \text{ ft}) = 4.51 \text{ ft}^2 = 0.4189 \text{ m}^2$$

$$A = 4.51 \text{ ft}^2 = 0.4189 \text{ m}^2$$

El coeficiente total de diseño empleado es:

$$A_D = Q / [U_D * \Delta T]$$

$$U_D = Q / [A_D * \Delta T]$$

$$U_D = [(5740.24 \text{ Kcal/hr}) * (1 \text{ Btu} / 0.252 \text{ Kcal})] / [4.51 \text{ ft}^2 * 142^\circ \text{F}]$$

$$U_D = 36 \text{ Btu} / \text{ft}^2 * \text{hr} * ^\circ \text{F} = 174 \text{ Kcal} / \text{m}^2 * \text{hr} * ^\circ \text{C}$$

El factor de incrustación  $R_d$  será:

$$U_T = 133 \text{ Btu/hr} * \text{ft}^2 * ^\circ \text{F} = 649 \text{ Kcal/h} * \text{m}^2 * ^\circ \text{C}$$

$$R_d = (U_T - U_D) / (U_T * U_D)$$

$$R_d = [(133 \text{ Btu/hr} * \text{ft}^2 * ^\circ \text{F}) - (35.57 \text{ Btu} / \text{ft}^2 * \text{hr} * ^\circ \text{F})] / [(133 \text{ Btu/hr} * \text{ft}^2 * ^\circ \text{F}) * (35.57 \text{ Btu} / \text{ft}^2 * \text{hr} * ^\circ \text{F})]$$

$$R_d = 0.0206 \text{ h} * \text{ft}^2 * ^\circ \text{F} / \text{Btu} = 0.00422 \text{ h} * \text{m}^2 * ^\circ \text{C} / \text{Kcal}$$

Para un proceso de este tipo se utiliza un  $R_d = 0.003$ , por lo tanto; el factor obtenido garantiza plenamente la operación. Además el condensador – enfriador está sobrado y podrá emplearse para condensar una cantidad de vapor con aceite, mayor. (24)

La longitud de tubos necesario para condensar los vapores  $L_c$  se puede calcular con la ecuación:

$$A_T = A_c + A_s = 0.06234 \text{ m}^2 + 0.0477 \text{ m}^2$$

$$A_T = 0.1101 \text{ m}^2 = 1.185 \text{ ft}^2$$

$$L_c = L A_c / A_T = [1 \text{ m} * 0.06234 \text{ m}^2] / 0.1101 \text{ m}^2 = 0.566 \text{ m}$$

La longitud de tubos necesario para enfriar el condensado  $L_s$  se puede calcular con la ecuación:

$$L_s = L A_s / A_T = [1\text{m} * 0.0477 \text{ m}^2] / 0.1101 \text{ m}^2 = 0.430 \text{ m}$$

Las longitudes anteriores indican en donde debe de estar el nivel de condensado.

Así mismo se sabe que las caídas de presión permisibles máximas para este tipo de condensadores son:

- Lado de la coraza  $\Delta P_s \text{ máx} = 2 \text{ lb/in}^2 = 0.141 \text{ Kg/cm}^2$
- Lado de los tubos  $\Delta P_T \text{ máx} = 10 \text{ lb/in}^2 = 0.704 \text{ Kg/cm}^2$

Y en este caso, estas caídas de presión son muy pequeñas:

- Lado de la coraza  $\Delta P_s = 11.43 \times 10^{-6} \text{ lb/in}^2 = 804.331 \times 10^{-9} \text{ Kg/cm}^2$
- Lado de los tubos  $\Delta P_T = (13.53 \times 10^{-3} \text{ lb/in}^2) + (\Delta P_r = 14.13 \times 10^{-3} \text{ lb/in}^2)$   
 $\Delta P_T = 27.66 \times 10^{-3} \text{ lb/in}^2 = 1.9464 \times 10^{-3} \text{ Kg/cm}^2$

Por lo tanto, se asegura con certeza que operará en condiciones normales.

Hemos visto que el diseño del condensador – enfriador cumple con las expectativas para el funcionamiento en el proceso de extracción del aceite esencial del orégano seco.

Más sin embargo, hay que tener en cuenta que para un diseño a escala industrial se tendrá cuidado en la caída de presión ya que el paso de los fluidos por el condensador produce en ellos una caída de presión, caída que es mayor cuanto mayor es la velocidad lineal del fluido y la longitud a recorrer por éste.

Esto se traduce en el lado de los tubos, que la caída de presión aumenta cuando disminuye el número de tubos o aumenta el número de pasos ya que aumentan la velocidad lineal, e igualmente aumenta la caída de presión si aumenta la longitud de los tubos. Para disminuir la caída de presión se deberá las medidas contrarias.

Y por el lado de la coraza la caída de presión se incrementa si aumenta la longitud de los tubos, si disminuye el corte de las mamparas, si disminuye el espaciado, entre las mamparas, si aumenta el número de tubos con igual diámetro de coraza.

### 3.3. – Diseño del vaso florentino

Del condensador recibirá el aceite esencial del orégano y el vapor condensado en forma un tanto emulsionado y lo separará por simple reposo debido a la diferencia de pesos específicos existentes entre ambas fases.



El aceite esencial de densidad menor que el agua flotará sobre el condensado. En la práctica se realiza esta separación automáticamente en los llamados *vasos florentinos*.

Se empleará un vaso florentino **VF – 01** cuya material será de vidrio. Este equipo consistirá de cuerpo cilíndrico que tiene una entrada de condensados en la parte lateral media y una salida de agua en la parte lateral inferior.

Como las aguas de condensado de la **corriente # 5** contienen una mínima cantidad de aceite esencial será conveniente realizar una destilación de las mismas, por ello se dejará este proceso para un proyecto a futuro. Por el momento se almacenará en un tanque de almacenamiento **TA – 02**.

Este tanque solamente se especificó el material de plástico (sistema de rotoplas con capacidad máxima de **450 L**) en este tanque recibirá únicamente el agua oleosa de las **corrientes # 5 y # 7**.

Para fines de cálculos reales de un *vaso florentino a escala planta piloto* se recomienda lo siguiente:

- El material será de acero inoxidable con espesor de **0.216 in**.
- Por la parte inferior llevará un orificio que se va conectar al tanque desecador **DS – 01** para transportar el aceite esencial, esto con el fin de eliminar el exceso de agua que le quede una vez que haya pasado por el **VF – 01**.
- Se reposará el flujo de agua – aceite para separarlas.
- No se dejará el reposo por más de **15 min**, esto con el fin de evitar *turbulencia* y la *emulsificación* por cuestiones del mantenimiento del equipo y también de lograr obtener la mayor calidad del aceite esencia para evitar pérdidas. Este tiempo será lo necesario para que la separación total se lleve a cabo continuamente.
- El **VF – 01** se instalará en posición vertical

Los datos son: <sup>(13)</sup>

$$\rho_{\text{agua}} = 1 \text{ g/ mL} = 1 \text{ Kg/L}$$

$$\rho_{\text{aceite del orégano}} = 0.9374 \text{ g/ mL} = 0.9374 \text{ Kg/L}$$

El *flujo de condensado* es **9.4294 Kg/h**

$$T_r = 15 \text{ min.}$$

Entonces:

$$V = (9.4294 \text{ Kg/h}) \cdot (0.25 \text{ h}) \cdot (1\text{L}/0.9374 \text{ Kg}) = 2.515 \text{ L} = 2.515 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V = 2.515 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Y como el volumen de un cilindro se calcula con la ecuación:

$$V = (\pi * D^2 * h) / 4$$

Por lo que al criterio a elegir de acuerdo con las bases de diseño definido en el capítulo anterior se despeja h de L/D en función de operación del vaso florentino, esto es: <sup>(19)</sup>

P (lb/in <sup>2</sup> )	L/D
P < 100	3

$$h = L = 3 * D$$

$$V = (\pi * D^2 * 3D) / 4$$

Despejando D queda:

$$D^3 = 4V / 3 * \pi$$

$$D = \sqrt[3]{(4V / 3 * \pi)}$$

$$D = \sqrt[3]{((4 * 2.515 \times 10^{-3} \text{ m}^3) / (3 * \pi))}$$

$$D = 0.1021 \text{ m} = 10.21 \text{ cm} = 4''$$

Tal que la altura del vaso florentino será:  $L = 3 * 4'' = 12'' = 30.48 \text{ cm} = 0.3048 \text{ m}$

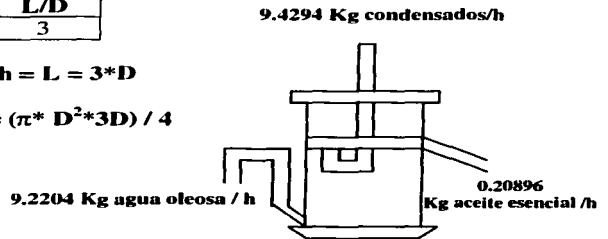
∴ El vaso florentino VF – 01 tendrá:

$$h = 0.3048 \text{ m y el } D = 0.1021 \text{ m}$$

### 3.4. – Diseño del desecador

Una vez separado el aceite esencial de la fase condensado se transportará hacia el desecador DS – 01, en este equipo su función será eliminar el resto de agua que tenga el producto y así mismos se estará cumpliendo la normatividad de control de calidad.

Cabe de mencionar que tanto el vaso florentino como el desecador se especifican a escala laboratorio ya que no esta al alcance de este proyecto diseñar y construir estos equipos sino que simplemente se propone una posibilidad configuración.



Por ello el material de construcción del desecador será también de **vidrio (vaso precipitado con capacidad máxima de 1 L)**. Y la decisión que se tomó de esta *capacidad máxima*, es en función de la *producción del aceite esencial*; esto es, se tiene contemplado operar el proceso hasta *tres turnos al día*, siempre y cuando la demanda del producto incremente.

Por otro lado, el agente desecante químico que se utilizará será  **$Na_2SO_4$  anhidro** y se recomienda utilizar **40 g por cada litro de producción de aceite esencial** y una vez utilizado este reactivo se realizará el tratamiento definido en las bases de diseño.

Se dispondrá de otro DS – 02 (**vaso precipitado con capacidad máxima de 1 L**) como equipo de relevo, esto con el fin de que cuando DS – 01 se le hace mantenimiento retirándolo el  **$Na_2SO_4$  anhidro sucio** y así se evita problemas para tener el aceite esencial puro.

En cuanto a los cálculos para el *diseño del desecador a un proceso real a planta piloto* se sugiere que:

- El material de construcción será de acero inoxidable con un espesor 0.216 in
- En la parte superior se sellará con tapas con seguros
- En la parte inferior será cónica debido que este equipo funcionará como desecador y por esta razón le favorece esta forma geométrica.
- La configuración en el interior del desecador estará diseñado con un filtro en el cual se adicionará **40 gr. de  $Na_2SO_4$  anhidro**.
- La instalación de DS – 01 será en posición vertical

En el momento de realizar el proceso de destilación se tendrá en cuenta el tiempo de operación. Y se diseñará el DS – 01 en función de *tres turnos* como criterio de sobrediseño del equipo.

Tiempo: **3 turnos x 8 horas = 24 h**

$\rho_{\text{aceite del orégano}} = 0.9374 \text{ g/mL} = 0.9374 \text{ Kg/L}$

Producción del aceite esencial: **0.02055 Kg/h = 20.55 g/h = 0.02192 L/h**

Entonces el:

$$V = (0.02192 \text{ L/h}) \cdot (24 \text{ h}) \cdot (1 \text{ L} / 0.9374 \text{ Kg}) = 0.5261 \text{ L} = 526.136 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$V = 526.136 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Por lo que al criterio a elegir de acuerdo con las bases de diseño definido en el capítulo anterior se despeja h de L/D en función de operación del desecador, esto es: <sup>(19)</sup>

<b>P (lb/in<sup>2</sup>)</b>	<b>L/D</b>
P < 100	3

$$h = L = 3 * D$$

$$V = (\pi * D^2 * 3D) / 4$$

Despejando D queda:

$$D^3 = 4V / 3 * \pi$$

$$D = \sqrt[3]{(4V / 3 * \pi)}$$

$$D = \sqrt[3]{((4 * 526.136 \times 10^{-6} \text{ m}^3) / (3 * \pi))}$$

$$D = 0.061 \text{ m} = 6.1 \text{ cm} = 2.38''$$

Tal que la altura del desecador será:  $L = 3 * 2.38'' = 7.14'' = 18.14 \text{ cm} = 0.1814 \text{ m}$

∴ El DS – 01 tendrá las dimensiones:

$$h = 0.1814 \text{ m y el } D = 0.061 \text{ m}$$

Antes de enviar el aceite esencial al tanque de almacenamiento se hará análisis físicos - químicos y estos son: *el índice de refracción, índice de rotación, densidad, análisis sensorial, cromatografía de gases y espectroscopía infrarroja*; esto con el fin de saber muy bien la calidad de producto.

### 3.5. – Diseño del tanque de almacenamiento de aceite esencial

Una vez ya eliminado el agua restante del aceite esencial se procede transportarlo al tanque de almacenamiento.

No obstante, los cálculos que se mencionan a continuación es referente a la que se ha venido comentando a escala planta piloto; puesto que, en esta parte final del proceso se tomo la decisión de especificar *envases de plástico de polietileno de 1L* y en el momento de envasar el aceite esencial se inyectará al mismo tiempo nitrógeno de alta pureza ( $N_2$  UAP) esto con el fin de conservar el producto en buen estado mientras se realiza el control de distribución hacia nuestros clientes principalmente a la industria alimentaria y farmacéutica.

Si se desea diseñar el tanque de almacenamiento TA – 01 se recomienda que sea de acero inoxidable cuyo espesor será de 0.261 in. En este tanque se almacenará todo el aceite esencial puro 0% de agua.

Y de acuerdo con las bases de diseño, la capacidad de almacenamiento será para los *tres turnos por día*, por lo tanto: **24 horas**.

La densidad del aceite de orégano es:<sup>(13)</sup>

$$\rho_{\text{aceite del orégano}} = 0.9374 \text{ g/mL} = 0.9374 \text{ Kg/L}$$

La producción es : **0.0214 Kg/h de aceite esencial**

Entonces:

$$V = (0.0214 \text{ Kg/h}) * (24 \text{ h}) * (1 \text{ L} / 0.9374 \text{ Kg}) = 0.5479 \text{ L} = 547.898 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$V = 547.898 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Por lo que al criterio a elegir de acuerdo con las bases de diseño definido en el capítulo anterior se despeja h de L/D en función de operación del TA - 01, esto es:<sup>(19)</sup>

P (lb/in <sup>2</sup> )	L/D
P < 100	3

$$h = L = 3 * D$$

$$V = (\pi * D^2 * 3D) / 4$$

Despejando D queda:

$$D^3 = 4V / 3 * \pi$$

$$D = \sqrt[3]{(4V / 3 * \pi)}$$

$$D = \sqrt[3]{((4 * 547.898 \times 10^{-6} \text{ m}^3) / (3 * \pi))}$$

$$D = 0.0614 \text{ m} = 6.14 \text{ cm} = 2.42''$$

Tal que la altura del TA - 01 será:  $L = 3 * 2.42'' = 7.25'' = 18.42 \text{ cm} = 0.1842 \text{ m}$

∴ El TA - 01 tendrá las dimensiones:

$$h = 0.1842 \text{ m y el } D = 0.0614 \text{ m}$$

### 3.6. – Tanque de almacenamiento del agua oleosa

El TA - 02 recibirá el agua oleosa de la corriente # 5 y la # 7 que se obtendrá de la separación de la mezcla agua - aceite esencial de todo del proceso. El fluido una vez ya almacenado en el tanque se realizará una posible destilación simple.

Este proceso se tiene pensado realizar a mediano plazo con el objeto de recuperar el resto del aceite esencial que no se pudo recuperar en el desecador ni el vaso florentino.

En nuestro caso, se cotizará un tanque de sistema rotoplas con capacidad máxima de **450 L**.

Pero para el diseño real del tanque a escala piloto se considerará los siguientes datos:

$$\rho_{\text{agua}} = 1 \text{ g/mL} = 1 \text{ Kg/L}$$

El flujo del agua oleosa es:

$$\text{Corriente \# 5: } 9.219 \text{ Kg/hr}$$

$$\text{Corriente \# 7: } 0.18841 \text{ Kg/hr}$$

$$\text{Total: } 9.40741 \text{ Kg/h}$$

Entonces:

$$V = (9.41 \text{ Kg/h}) \cdot (24 \text{ h}) \cdot (L/1\text{Kg}) = 226 \text{ L} = 0.226 \text{ m}^3$$

$$V = 0.226 \text{ m}^3$$

Por lo que al criterio a elegir de acuerdo con las bases de diseño definido en el capítulo anterior se despeja  $h$  de  $L/D$  en función de operación del TA - 02, esto es: <sup>(19)</sup>

<b>P (lb/in<sup>2</sup>)</b>	<b>L/D</b>
<b>P &lt; 100</b>	<b>3</b>

$$h = L = 3 \cdot D$$

$$V = (\pi \cdot D^2 \cdot 3D) / 4$$

Despejando  $D$  queda:

$$D^3 = 4V / 3 \cdot \pi$$

$$D = \sqrt[3]{(4V / 3 \cdot \pi)}$$

$$D = \sqrt[3]{((4 \cdot 0.226 \text{ m}^3) / (3 \cdot \pi))}$$

$$D = 0.46 \text{ m} = 46 \text{ cm} = 18''$$

Tal que la altura del vaso florentino será:  $L = 3 \cdot 18'' = 54'' = 137 \text{ cm} = 1.37 \text{ m}$

∴ El TA - 02 tendrá las siguientes dimensiones:

$$h = 1.37 \text{ m y el } D = 0.46 \text{ m}$$

## HOJA DE DATOS DEL DESTILADOR CONTINUO

IDENTIFICACIÓN: DC - 01		REV. 0
EDICIÓN		
CLIENTE	Destilación por arrastre de vapor	PROYECTO: Extracción de aceites esenciales
PLANTA:	Facultad de Química, UNAM	HOJA 1 DE 1
LOCALIZACIÓN:	DC - 01	No. DE UNIDADES 1
CLAVE DE LA UNIDAD:	Extracción de aceites esenciales	POSICIÓN: Vertical
SERVICIO DE LA UNIDAD:	<b>DATOS DE DISEÑO Y FABRICACIÓN</b>	
<b>CONDICIONES DE OPERACIÓN</b>		<b>CONSTRUCCIÓN DE ACUERDO A LA ÚLTIMA EDICIÓN DEL CODIGO ASME: Acero Inoxidable 304L</b>
TIPO DE OPERACIÓN: Proceso continuo	TEMP. DE OPERACIÓN: 100 °C	TEMP. MÁXIMA: 105 °C   TEMP. DE DISEÑO: 115 °C   ESPESOR: 0.55 cm
TIEMPO DE RESIDENCIA: 0.125 Kg/cm <sup>2</sup>	RELEVO DE ESFUERZOS: 30 min	PRUEBA HIDROSTÁTICA (Kg/cm <sup>2</sup> ): 0.1375 Kg/cm <sup>2</sup>   Será en el taller
TIPOS DE FLUIDOS DE PROCESO:	CARGA POR VIENTO: 0.9 cm <sup>2</sup>	RADIOGRAFÍA: SI   SOPORTES REQUERIDOS PARA TUBERÍA: SI
Sólido: orégano 0.9202 Kg/h	CARGA POR VIENTO: 0.9 cm <sup>2</sup>	PINTURA: NORMA PEMEX 2,411.01. Y 4,411.0
Líquido: agua 0.1284 Kg/h	ANILLOS Y BASES: SI	SILLETAS: PATAS
Líquido: aceite esencia 0.0214 Kg/h	COEFICIENTE SISMICO: SI	ESTAMPADO ASME: SI   TIPO DE SOLDADURA: T
Total en la corriente 1.0700 Kg/h	ESCALERA: cm	PESCANTE SUPERIOR: SI   AUX. PARA PINTURA
Densidad del orégano 117 Kg/m <sup>3</sup>	PROTECCIÓN: cm	ANILLOS DE AISLAMIENTO: NO
Vapor 15.550 Kg/h	PROTECCIÓN: cm	DIÁMETRO AJUSTADO POR CARGA DE VIENTO
Densidad del vapor 958.3 Kg/m <sup>3</sup>	PESO APROXIMADO EN Kg	
<b>DIMENSIONES APROXIMADAS</b>		
ALTURA: 100 cm	SIN INTERNOS	INTERNOS
FALDON: 150 cm	OPERACIÓN	LLENO
DIÁMETRO EXTERIOR: 7.62 cm	DIÁMETRO EXTERIOR: 1.27 cm	PLATOS (EJE GIRATORIO CON MALLAS)
ESPESOR: 0.55 cm	ALTURA: 100 cm	VELOCIDAD DEL EJE: 2 R.P.M.
VOLUMEN: 5.08 x 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>	TIPO DE MALLA: # 20	CÓDIGO: ASME: Acero Inoxidable 304L
TIPO DE TAPAS: Bridas ciegas planas	TOTAL DE MALLAS: 34	ALTAURA DE LA MALLA TOTAL: 84.76 cm
CODIGO: ASA	TIPO DE SELLO MECÁNICO PARA EL EJE: Buna (MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN Ac.Inox.)	SEPARACIÓN ENTRE CADA MALLA: 2.5 cm
SUP: SI LLEVA	FORMA GEOMÉTRICA DEL SELLO: Anillos cilíndricos	TOLVA CON TORNILLO SINFIN
INF: NO LLEVA	CONSTRUCCIÓN DE ACUERDO A LA ÚLTIMA EDICIÓN DEL CODIGO AISI: AISI 316	CONSTRUCCIÓN DE ACUERDO A LA ÚLTIMA EDICIÓN DEL CODIGO AISI: AISI 304
Espeor de las tapas: 1.27 cm	TOLVA DE ACERO INOXIDABLE: AISI 316	TORNILLO SINFIN DE ACERO INOXIDABLE: AISI 304
Producto: Vapor de aceite esencial + agua	TIPO DE TOLVA: FLUJO MASICO	CAPACIDAD: 10 dm <sup>3</sup>
Letal: No	TORNILLO SINFIN DE ACERO INOXIDABLE: AISI 304	LONGITUD DEL TORNILLO: 50 cm
Flujo: 9.4284 Kg/h	DIÁMETRO DEL TORNILLO: 2.54 cm	VELOCIDAD DEL TORNILLO SINFIN: 12 R.P.M.
Presión: 0.125 Kg/cm <sup>2</sup>	NÚMERO DE DIENTES: 20	SEPARACION ENTRE CADA DIENTE: 2.54 cm
Temperatura: 100 °C	TIPO DE INSTALACIÓN: Vertical	INSTALADO POR:
Calor latente del producto: 280 kJ/kg	SUMINISTRADO POR:	
Densidad del producto: 837.4 Kg/cm <sup>3</sup>		
Nivel de operación: 84.76 cm		

BOQUILLAS			
NO.	CANTIDAD	Ø (cm)	SERVICIO
1	1	2.54	Entrada del orégano seco
2	1	1.27	Entrada de vapor saturado
3	1	2.54	Balota del seguro hacia a la válvula rotativa
4	1	2.54	Balota del aceite esencial en agua
5,6,7	1	2.54	Indicadores de temperatura
8	1	0.835	Válvula
9	1	1.27	Densal
10	1	0.835	Válvula de seguridad

FECHA				
FIRMA	I.O. Juan Hernández Bautista	Dr. Jesús Torres Merino	Dr. Jesús Torres Merino	Dr. Jesús Torres Merino
	ELABORO	REVISO	VERIFICO	VALIDO

REV 0

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

118.1

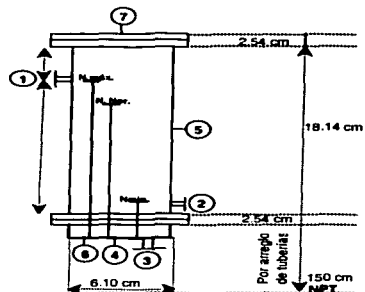






## HOJA DE DATOS DEL DESECADOR

IDENTIFICACIÓN: DS - 01		REV. 0	
EDICIÓN			
CLIENTE			
PLANTA: Destilación por arrastre de vapor	PROYECTO Extracción de aceites esenciales		
LOCALIZACIÓN: Facultad de Química, UNAM	HOJA 1 DE 1		
CLAVE DE LA UNIDAD: DS - 01	No. DE UNIDADES 1		
SERVICIO DE LA UNIDAD: Secador	POSICIÓN: Vertical		
<b>CONDICIONES DE OPERACIÓN</b>			
TIPO DE OPERACIÓN: Proceso continuo	CONSTRUCCION DE ACUERDO A LA ULTIMA EDICION DEL CODIGO ASME: Acero inoxidable 304L		
TEMP. DE OPERACIÓN: 50 °C	TEMP. MAXIMA: 55 °C	TEMP. DE DISEÑO: 65 °C	
PRESION DE OPERACIÓN: 0.125 Kg/cm <sup>2</sup>	PRESION DE DISEÑO: 0.1375 Kg/cm <sup>2</sup>	PRUEBA HIDROSTATICA (Kg/cm <sup>2</sup> )g Será en el taller	
TIEMPO DE RESIDENCIA: 60 min	RELEVO DE ESFUERZOS: SI	RADIOGRAFIA: SI	
TIPOS DE FLUIDOS DE PROCESO	COAR. PERM. EN TAPAS: 0.9 cm	SOPORTES REQUERIDOS PARA TUBERIA: SI	
Sólido: orégano	CARGA POR VIENTO: 0.9 cm	PINTURA: NORMA PEMEX 2.411.01, Y 4.411.0	
Líquido: agua	ANILLOS Y BASES: SI	SILLETAS: PATAS	
Líquido: aceite esencial	COEFICIENTE SISMICO: ESCALERA: cm	ESTAMPADO ASME: DESCANTE SUPERIOR	
Total en la corriente: 0.2600 Kg/h	ESCALERA: cm	TIPO DE SOLDADURA: Y	
Densidad del aceite esens: 837.4 Kg/m <sup>3</sup>	PROTECCIÓN: cm	AUX. PARA PINTURA	
Vapor: 988 Kg/m <sup>3</sup>	DIAMETRO AJUSTADO POR CARGA DE VIENTO: PESO APROXIMADO EN Kg		
Densidad del agua			
<b>DIMENSIONES APROXIMADAS</b>			
ALTURA: 18.14 cm	SIN INTERNOS	INTERNOS	
FALDÓN: 150 cm	OPERACIÓN		
DIAMETRO EXTERIOR: 6.10 cm	<b>MATERIALES (ASTM (1))</b>		
ESPESOR: 0.55 cm	CUERPO	EXTREMOS	
VOLUMEN: 528.138 x 10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup>	YAPAS	A - 515 Gr.70	
	PLACAS	A - 515 Gr.70	
	TUBERIA		
	BRIDAS	A - 105	
	BASE	A - 38	
	TORNILLOS Y TUERCAS		
	ROLDANAS		
	EMPAQUES		
	ESCALERA Y ABRASADERAS DE TUBERIAS		
	ELEVADORES O EMPAQUE		
	SOPORTES	A - 283 Gr C	
	AISLAMIENTO		
Producto: Aceite esencial	TIPO DE INSTALACIÓN: Vertical		
Letal: No	SUMINISTRADO POR:	INSTALADO POR:	
Flujo: 0.02057 Kg/h			
Presión: 0.122 Kg/cm <sup>2</sup>			
Temperatura: 50 °C			
C calor latente del producto: 280 kJ/Kg			
Densidad del producto: 837.4 Kg/cm <sup>3</sup>			
Materia a secar: Aceite esencial			
Medio secante: Sulfato de sodio Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			
<b>Propiedades físicas del sólido Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>			
Naturaleza: Sólido cristalino que al humedecerse se endurece (no tóxico)			
Hum. inicial: 0.005 Kg/Kg(a) (Comp. Base seca (%masa))	100.00%		
Densidad: 1.48 Kg/m <sup>3</sup> (Calor latente de vaporización)	2297 (kJ/Kg)		
Capacidad calorífica (kJ/Kg °C): 4.187	Punto de ebullición a 1 atm: 100 °C		
Humedad a ser removido: 100%	Capacidad calorífica: 1.2 kJ/Kg °C		
Nivel de op. Max (mm): desde			
Nivel de op. Nor (mm): desde			
Nivel de op. Min (mm): desde			
<b>BOQUILLAS</b>			
NO.	CANTIDAD	Φ (cm)	SERVICIO
1	1	2.54	Entrada del aceite esencial
2	1	2.54	Salida aceite esencial
3	1	2.54	Salida agua oleosa
4	1	0.835	Limpieza
5	1	0.835	Alimentación de aire
6	1	0.835	Salida del Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> para tratamiento
7	1	0.835	Registro tapa y pescante
<b>NOTAS:</b>			
* El Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> se depositará en la parte inferior del desecador y se desechará de inmediato una vez que se haya utilizado en los tres turnos por día.			
FECHA			
FIRMA	I.O. Juan Hernandez Bautista	Dr. Jesus Torres Marino	Dr. Jesus Torres Marino
	LABORIO	REVISO	VERIFICO
			Dr. Jesus Torres Marino
			VALIDO



**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

118.4

## HOJA DE DATOS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

IDENTIFICACIÓN: TA - 01 REV. 0

EDICIÓN: CLIENTE: PROYECTO Extracción de aceites esenciales

PLANTA: Destilación por arrastre de vapor HOJA 1 DE 1

LOCALIZACIÓN: Facultad de Química, UNAM No. DE UNIDADES 1

CLAVE DE LA UNIDAD: TA - 01

SERVICIO DE LA UNIDAD: Tanque de almacenamiento de aceite esencial POSICIÓN: Vertical

### CONDICIONES DE OPERACIÓN DATOS DE DISEÑO Y FABRICACIÓN

TIPO DE OPERACIÓN: Proceso continuo CONSTRUCCION DE ACUERDO A LA ÚLTIMA EDICIÓN DEL CÓDIGO ASME: Acero inoxidable 304L

TEMP. DE OPERACIÓN: 50 °C TEMP. MÁXIMA: 55 °C TEMP. DE DISEÑO: 65 °C ESPESOR: 0.55 cm

PRESIÓN DE OPERACIÓN: 0.125 Kg/cm<sup>2</sup> PRESIÓN DE DISEÑO: 0.1375 Kg/cm<sup>2</sup> PRUEBA HIDROSTÁTICA (Kg/cm<sup>2</sup>)g: Será en el taller

TIEMPO DE RESIDENCIA: 1440 min RELEVO DE ESFUERZOS: SI (RADIOGRAFÍA) SI

TIPOS DE FLUIDOS DE PROCESO: Sólido: oregano CORR. PERM. EN TAPAS: 0.9 cm SOPORTES REQUERIDOS PARA TUBERÍA: SI

Líquido: agua CARGA POR VIENTO: Kg/cm<sup>2</sup> PINTURA: NORMA PEMEX 2.411.01. Y 4.411.0

Líquido: aceite esencial SILLETAS: SI PATAS: SI TIPO DE SOLDADURA: T

Total en la corriente: 0.02057 Kg/h ANILLOS Y BASES: SI ESTAMPADO ASME: SI AUX. PARA PINTURA: T

Densidad del aceite esencial: 937.4 Kg/m<sup>3</sup> COEFICIENTE SISMICO: ESCALERA: cm ANILLOS DE AISLAMIENTO: NO

Vapor: PROTECCIÓN: cm DIÁMETRO AJUSTADO POR CARGA DE VIENTO: PESO APROXIMADO EN Kg

Densidad del agua: DIMENSIONES APROXIMADAS SIN INTERNOS OPERACIÓN: LLENO

ALTURA: 18.42 cm ALBORN: 150 cm MATERIALES (ASTM (1))

DIÁMETRO EXTERIOR: 6.14 cm CUERPO: EXTREMOS INTERNOS

ESPESOR: 0.55 cm TAPAS: A - 515 Gr.70 A - 515 Gr.70

VOLUMEN: 2547.899 x 10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup> PLACAS: A - 105

TIPO DE TAPAS: Bridas ciegas planas BRIDAS: A - 38

CÓDIGO: ASA BASE: A - 105

TAPA SUPERIOR: SI LLEVA TORNILLOS Y TUERCAS: A - 38

TAPA INFERIOR: SI LLEVA ROLDANAS

Espesor de las tapas: 1.27 cm EMPAQUES

Producto: Aceite esencial condensado ELEVADORES Y ABRASADERAS DE TUBERÍAS

Letal: No SOPORTES: A - 283 Gr.C

Flujo: 0.02057 Kg/h AISLAMIENTO

Presión: 0.125 Kg/cm<sup>2</sup> TIPO DE INSTALACIÓN: Vertical

Temperatura: 50 °C SUMINISTRADO POR: INSTALADO POR:

Calor latente del producto: 280 kJ/Kg.K

Densidad del producto: 937.4 Kg/cm<sup>3</sup>

Nivel de op. Max (mm): desde

Nivel de op. Nor (mm): desde

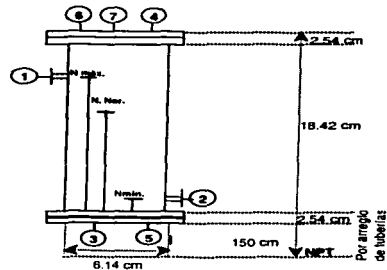
Nivel de op. Min (mm): desde

#### BOQUILLAS

NO.	CANTIDAD	Ø (cm)	SERVICIO
1	1	2.54	Entrada del aceite esencial
2	1	2.54	Salida del aceite esencial
3	1	1.27	Limpieza
4,5	1	1.27	Registro tapa y pescante
6	1	1.27	Verico
7	1	0.635	Entrada nitrógeno de alta pureza

#### NOTAS:

En la parte superior se inyectará nitrógeno de alta pureza esto con el fin de conservar en buen estado el aceite esencial mientras se procede a realizar el control de calidad.



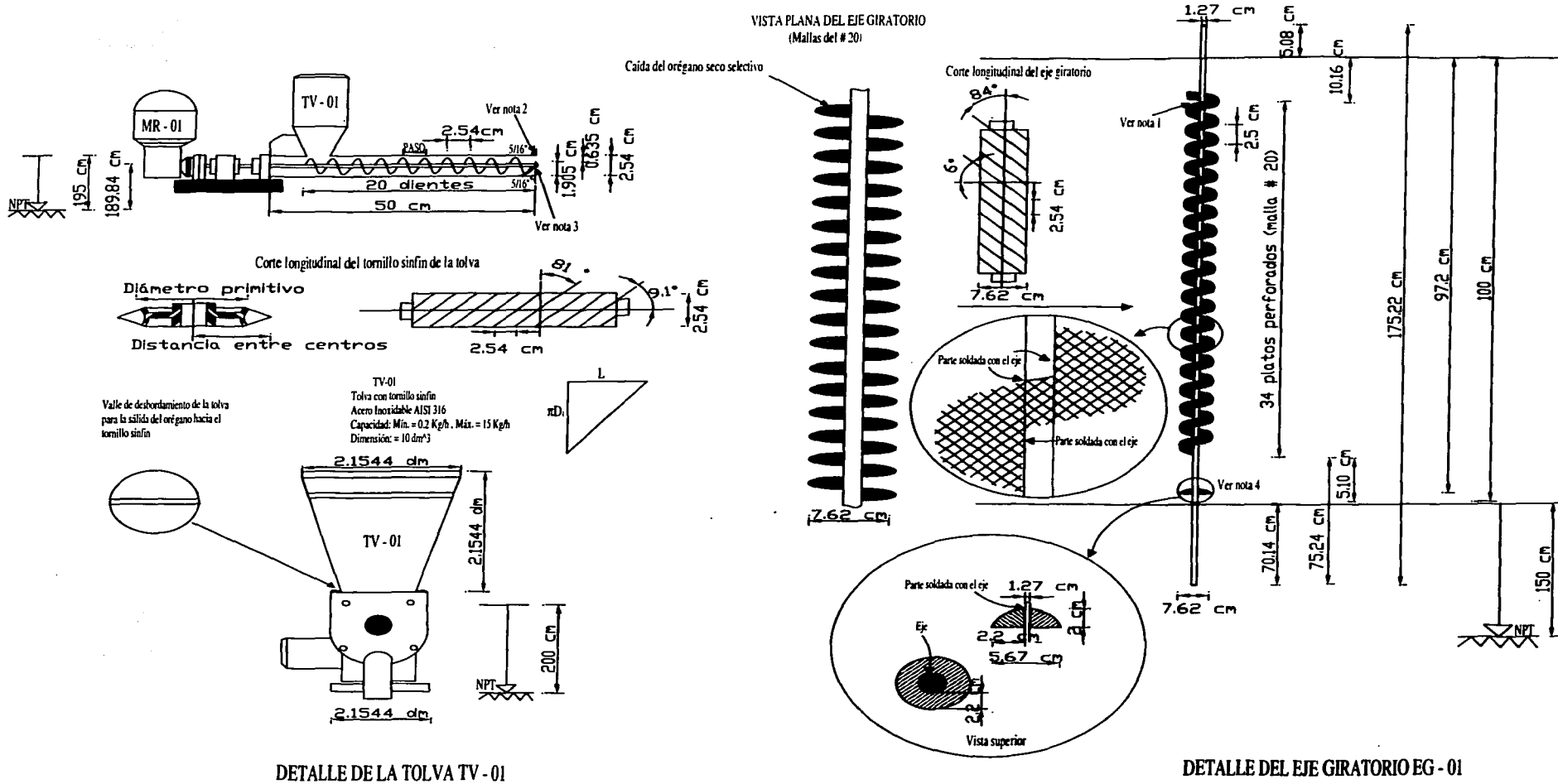
FECHA:	I.O. Juan Hernández Bautista	Dr. Jesús Torres Marino	Dr. Jesús Torres Marino	Dr. Jesús Torres Marino
FIRMA:	ELABORO	REVISO	VERIFICO	VALIDO

REV 0

118.5



- 1.- El material de construcción del EG-01 será de acero inoxidable 304L y cuya instalación de la malla #20 será soldado en todas las secciones que se muestran en este diagrama.
- 2.- La instalación de la tolva TV-01 junto con el destilador DC-01 será soldado cuyo espesor de la soldadura no será mayor de 1" ni menor de 5/16"
- 3.- El tornillo sinfin se ha diseñado mecánicamente tal que este sujeto a un soporte giratorio dentro del destilador, indicando al mecánico quién lo construirá bajo estas restricciones. Este diseño se consideró debido a la seguridad que no se escape el vapor del aceite esencial por este orificio.
- 4.- Se soldará un soporte tipo capucha semiesférica sólida de acero inoxidable, esto con el fin de que no permita que se escape el vapor saturado por el lado de la válvula relativa.

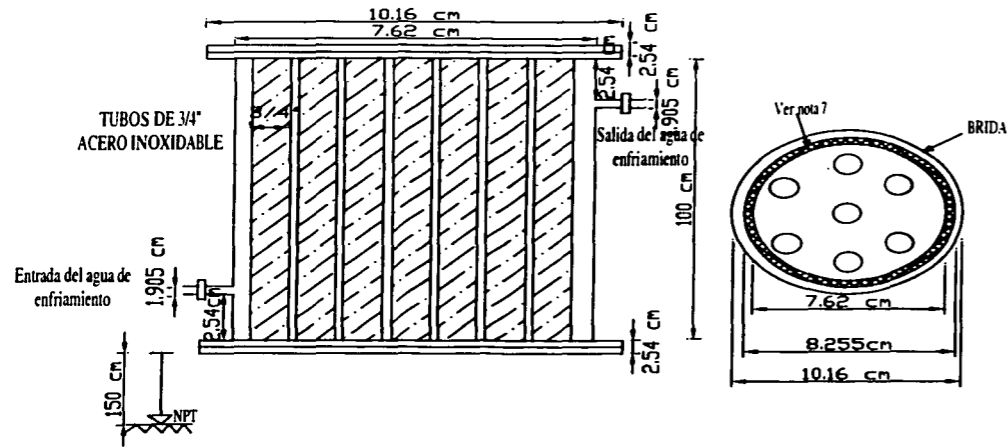


**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

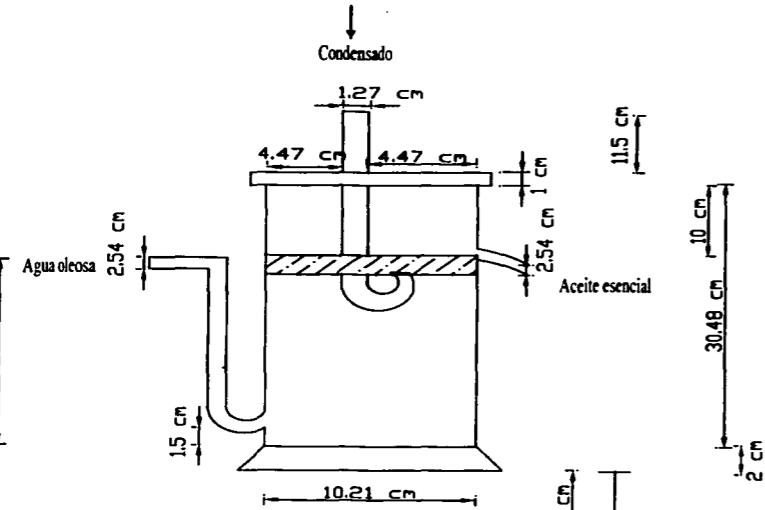
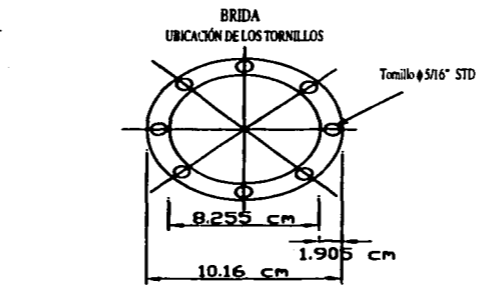
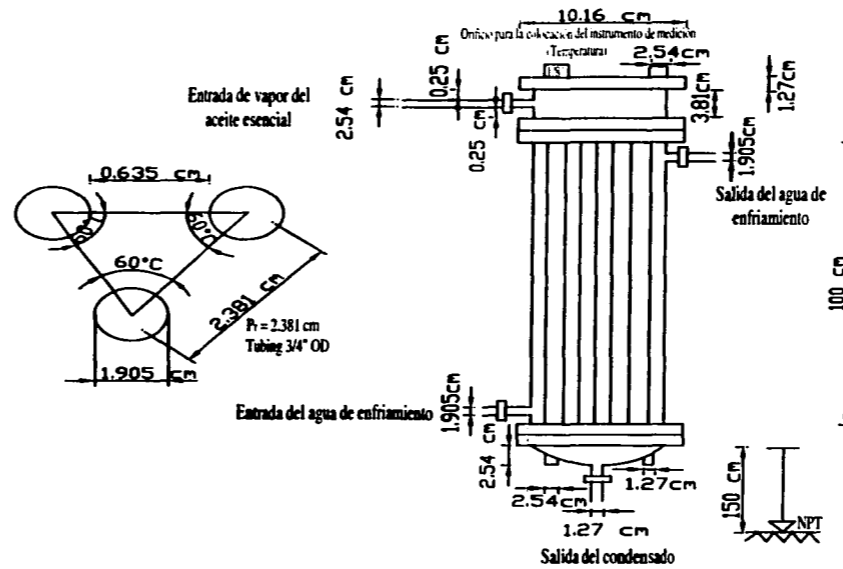
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO		FACULTAD DE INGENIERÍA		LABORATORIO DE MECÁNICA QUÍMICA	
DISEÑO MECÁNICO DE LOS EQUIPOS DE LA PLANTA PILOTO PARA EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES POR ARRABRE DE VAPOR					
TÍTULO DEL TRABAJO		AUTOR		FECHA	
DISEÑO MECÁNICO DE LA TOLVA Y EL DESTILADOR		[Nombre]		[Fecha]	
OBSERVACIONES		APROBADO PARA CONSTRUCCIÓN		[Firma]	
[Espacio para observaciones]		[Espacio para firma]		[Espacio para fecha]	



CORTE LONGITUDINAL DEL CONDESADOR



SECCIÓN TRANSVERSAL DEL CONDESADOR



DETALLE MECÁNICO DEL CONDENSADOR EA - 01

DETALLE MECÁNICO DEL VASO FLORENTINO VF - 01

NOTAS

- 1- El tipo de servicio que está diseñado el condensador es de acuerdo al código TEMA AES y clase C.
- 2- El material de construcción del condensador y los accesorios será de acero inoxidable 304L.
- 3- El número de pasos será 1-1; por lado de los tubos circulará aceite esencial y por el lado de la coraza agua de enfriamiento.
- 4- El condensador se diseñó sin utilizar bujes para evitar un mayor ensuciamiento en los tubos.
- 5- La dimensión de los 7 tubos es de  $\phi = 3/4"$ , calibre BWG 16, el pitch será triangular.
- 6- Las bridas del condensador serán de tipo plano circular.
- 7- El espesor de la coraza entre la brida será de  $1/4"$  que es equivalente a 0.635 cm.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## CAPITULO IV. Evaluación económica

### 4.1. Estudio de mercado

Se considera que el mercado es el sitio donde ocurren la oferta y la demanda de un producto, y debe ser entre el conjunto de personas o empresas localizadas en un área geográfica determinada cuyas necesidades, recursos económicos y capacidades productivas generan el consumo y comercialización de un producto dado.<sup>(32)</sup>

Esto permitirá evaluar la capacidad de producción del aceite esencial, su precio, las características que cumplirá bajo de los estándares de control de calidad, y desde luego encontrar las zonas de distribución donde se localizarán nuestros proveedores – consumidores; y desde luego, la demanda internacional que se tiene actualmente el aceite esencial.

Una evaluación confiable a estos puntos de vista es fundamental, ya que permite determinar importantes parámetros técnicos y financieros. Desde el punto de vista técnico permite estimar la *capacidad máxima* que deberá tener la planta piloto y determinar la *localización de la instalación*, en tanto que el punto de vista financiero permite obtener la información necesaria para la promoción del proyecto entre los posibles inversionistas, además de aportar datos, para evaluar su *rentabilidad*, *inversión total requerida*, etc.<sup>(34)</sup>

El enfoque particular de esta tesis, es el estudio económico del proyecto más que caracterizar en forma profunda el desenvolvimiento y extensión del mercado del aceite esencial de orégano, trataré de dar un panorama general de la situación actual del mismo y de las oportunidades de desarrollo que podrían presentarse a una empresa futura cuya operación esté basada en él.

#### 4.1.1. – Mercado internacional de los aceites esenciales

Se conocen alrededor de *3,000 tipos de aceites esenciales*, pero *sólo 300* tienen importancia *comercial*. Los aceites esenciales pueden categorizarse en herbáceos (romero) y no herbáceos (Citrus y Semillas de Especies). Los primeros representan un menor volumen pero en general alto precio y el segundo grupo tienen relevancia por sus volúmenes.<sup>(14)</sup>

Por otra parte, los aceites esenciales pueden comercializarse con o sin terpenos según la solicitud del cliente, variando notablemente los precios.

La demanda de composiciones aromáticas ha crecido en el sector agroindustrial a razón de un 10% anual desde 1960, sus principales destinos son las industrias de bebidas, las lácteas, farmacéuticas, las de gomasinas, de cosméticos y sabores. Las tres primeras representan el 75% de la demanda.<sup>(33)</sup>

A mediados de la década del 70's, la industria química puso de moda una gran variedad de compuestos aromáticos artificiales a las esencias naturales. Pero en los años 90 una gran parte del mercado volvió a los aceites que se extraen de vegetales pero con exigencias de calidad y pureza.



En el mundo el aceite esencial de limón ocupa el segundo lugar luego de la naranja dulce. La principal consumidora de este aceite es la industria de bebidas sin alcohol que lo utiliza como saborífero.

Hoy en la actualidad, las exportaciones de aceites esenciales como el limón representa el 80% del volumen total y el 90% de los ingresos en divisas. **Argentina** es el principal país exportador de esta esencia participando en un 50% del volumen total importado por **Estados Unidos** (946 ton sobre un total de 1722 ton), con un valor promedio de \$ U.S. 16.20. <sup>(33)</sup>

#### 4.1.1.1. – Óptica desde el mercado importador

A continuación se listan quejas de importadores (E.U. y C.E.E.) de los aceites esenciales provenientes de países latinoamericanos: <sup>(38)</sup>

- Pobre comunicación, demoras en respuestas, dificultades para encontrar a la persona que realiza las operaciones negociadoras.
- Insuficiencia, mala o pobre calidad de los productos.
- Envíos irregulares y tardíos.
- Mal cálculo de los márgenes de ganancia con relación a los costos.
- Elevado costo de transporte originado en inadecuado embalaje.
- Los diseños del empaque no están adecuados a las preferencias del mercado destinatario.
- Violación de derechos exclusivos de distribución.

En la actualidad las importaciones provenientes de Latinoamérica representan un 2% del total en los países europeos. Las principales importaciones provienen de Chile, Argentina y Brasil.

#### 4.1.1.2. – Ajustes para la exportación

Ahora bien las metas que se tiene contemplado para el año 2010 serán: <sup>(33)</sup>

- Dinamismo y conducción de los esfuerzos a la exportación continua de determinado producto sin variaciones en calidad.
- Políticas empresariales creativas e innovadoras dirigidas a adecuar sus productos a las demandas internacionales.
- Adopción de técnicas modernas de marketing y de estrategias agresivas de penetración de mercados.

Los países latinoamericanos tendrán una creciente necesidad de exportar para crear divisas. Una adecuada estrategia de exportación que incluye coordinación, planificación y responsabilidad empresarial permitirán posiciones en el mercado exterior.

**4.1.1.3. – Rendimientos de los aceites esenciales y los costos de venta**

A continuación se presentan una serie de tablas que proporcionan los rendimientos de los aceites esenciales desde los años 90's hasta en la actualidad: <sup>(3)</sup>

**Precios de venta de aceites esenciales \*(octubre de 1994)**

Especie	Precio (\$) por Kg
Romero	79
Tomillo	92
<b>Orégano</b>	<b>190</b>
Melisa	72
Salvia	138
Albahaca	177
Manzanilla	700

Fuente: INEGI

\* *Estos precios no incluyen I.V.A.*

**Cotizaciones de aceites esenciales**

Especie	Promedio Kg./dólar (1997-1998)	Rendimientos
Manzanilla	1000	0.8 – 1.5 (seco)
Menta Arvensis	20	1 – 3 (seco) 0.3 – 0.5 (fresco)
Menta Mitcham	40	1 – 2.5 (seco) 0.2 – 0.5 (fresco)
<b>Orégano</b>	<b>73</b>	<b>1 – 2.5 (seco)</b> <b>0.2 (fresco)</b>
Romero	32	1 – 2.5 (seco)

Fuente: INEGI

Las diferencias de precios están vinculadas a la calidad y cantidad del producto y época en que se ofrece como así también si el mercado es interno o de exportación.

**Exportaciones de aceites esenciales (1997)**

Aceite	Kg	\$ U.S.
Bergamota	1, 640	151, 300
Naranja	61, 091	147, 651
Limón	1, 476, 845	25, 311, 027
Lima dulce	100	6, 360
Demás aceites excepto citrus	61, 706	824, 440

## CAPITULO IV

## EVALUACIÓN ECONÓMICA

Geranio	900	20, 004
Lavanda	115	1, 654
Menta piperita	4, 151	85, 454
Demás mentas	33, 601	410, 833
Cedro, Clavo, Palo rosa, Canela, Tomillo	43	852
Cálamo, Cananga, Cardamomo, Jengibre, Valeriana, Acacia, Gardenia, Lirio, Neroli, Tuberosa, Rosa y Violeta	45	1, 781
OTROS	61, 157	560, 933
<b>TOTAL</b>	<b>1, 701, 394</b>	<b>27, 522, 289</b>

Fuente: INEGI

## Rendimiento de algunos aceites esenciales

Nombre Vulgar	Nombre Científico	Parte Utilizada	% de Rdto.	Comp. Principal
Anís	<i>Pimpinella anisum</i>	frutos	1.5 – 4.0	anetol
Melisa	<i>Melissa officinalis</i>	hojas	0.1 – 0.2	geraniol, citral
Citronela	<i>Cymbopogon nardus</i>	hojas	0.5 – 0.7	geraniol, citronelal
Lavanda	<i>Lavandula officinalis</i>	flores	0.5 – 1.0	linalol, linalil acet.
Estragón	<i>Artemisia dranunculus</i>	hojas	0.3 – 0.5	metilchavicol
Limón	<i>Citrus limón</i>	Cáscara del fruto	3.0 – 4.0	limoneno, citral
Menta	<i>Mentha arvensis</i>	hojas	0.5 – 1.0	mentol
Molle	<i>Schinus molle</i>	frutos secos	5.0 – 7.0	β-felendreno
Tomillo	<i>Thymus sp.</i>	hojas	0.5 – 1.5	timol
Orégano	<i>Origanum sp.</i>	hojas	1.0 – 1.5	carvacrol, timol

Fuente: INEGI

## 4.1.1.4. – Situación actual de la exportación de los aceites esenciales

En fin se ha visto que todas las consideraciones que se encuentran en la bibliografía y en las estadísticas debe distinguirse la generalidad de las esencias de aquellas que por producirse como subproductos de otras industrias y en razón de sus grandes volúmenes de comercialización suelen ser evaluadas por separado, como es el caso de las esencias cítricas (subproductos de la industria del jugo de limón y naranja) y las esencias de trementina (subproductos de la resinación de varias especies de pino).

Lo que me queda decir que más del 50% de la producción mundial proviene de los países llamados en desarrollo, lo que demuestra la importancia de climas tropicales y subtropicales para estas especies, además de disponer de mano de obra barata para poder competir en calidad y precio en el mercado global.

Esto es, un **65%** del volumen de esencias existentes en el mercado proviene de *especies cultivadas*, un **5%** de *silvestres* y un **30%** aproximadamente de *árboles* (pinos, cedros, eucaliptos, enebro, sándalo, clavo, etc.).<sup>(40)</sup> A través de un cultivo se puede garantizar homogeneidad de calidad y cantidad que es lo que pretenden las industrias consumidoras.

Hay que tener en cuenta que salvo en el caso de las esencias más importantes, son productos con un mercado muy reducido. Se ha estimado por ejemplo que la demanda mundial de esencia de estragón (utilizada principalmente en la industria del perfume) puede cubrirse con unas 800 hectáreas, y la de lavandas con unas 15, 000 ha.<sup>(40)</sup> Es muy importante conocer las dimensiones del mercado para cada esencia.

Los valores registrados de producción, exportación e importación de aceites esenciales se observan grandes diferencias según el origen de la información, lo que indica una gran falta de consistencia en la información disponible.

Entre las esencias de hierbas con *mayor volumen* de producción mundial encontramos **la de menta arvensis** (menta japonesa) con 14, 500 ton/año. Como dato comparativo del cual se menciona a la trementina con 250, 000 ton, la naranja con 30,000 ton/año y el limón con 5,400 ton/año, del cual **Argentina** produce 2, 000 ton/año.<sup>(33)</sup>

El comercio internacional de aceites esenciales está controlado por dos grandes sectores económicos que acopian la mayor parte de la producción mundial: las grandes empresas de sabores y fragancias y los grandes acopiadores de materias primas para estas industrias. La mayoría de estas empresas están establecidas en E.U., Europa y Japón.

Nueve grupos manejan el 80% del mercado de sabores y fragancias mundial a partir del año 2002:<sup>(44)</sup>

- IFF (empresa norteamericana que vende 1700 millones de \$US al año).
- Givaudan-Roure (grupo Hoffman La Roche, que vende unos 1100 millones).
- Quest (Grupo ICI)
- Haarmann & Reimer (Grupo Bayer).
- Firmenich (Vende unos 500 millones de Kg de aceites esenciales).
- Tastemaker.
- Takasago.
- Bush Boak Allen.
- Dragoco.

El resto del mercado está dividido entre empresas transnacionales de mucho menor capacidad de producción de aceites esenciales. Diez esencias representan el 85% del mercado mundial: naranja, limón, mentas, citronela, cedro, eucalipto, especies con citral (Litsea, lemongrass), lavandas y pino.<sup>(33)</sup>

Las especies más importantes en cuanto a valor comercializado (se producen más de 10 millones de \$US/año de cada una) son: menta, limón, rosa, jazmín, especies con citral, sándalos, geranios, cedros, lavanda, citronela y otros cítricos.

En Estados Unidos produce grandes cantidades de pocas especies: mentas (posee unas 55, 000 has de *Mentha piperita* y 10, 000 has de *Mentha Spearment*), cedro y limón.

**Argentina** presenta cierta tradición en la producción de algunas esencias, cuya producción comenzó en la década del 40, luego se observó una drástica disminución de la superficie cultivada, observándose un importante repunte en los últimos 15 años. <sup>(34)</sup>

#### 4.1.1.5. - Estudios económicos realizados del plantío de orégano y obtención del aceite esencial, en Argentina

Se han hecho estudios económicos a partir del año 2002, de un plantío de orégano implantado en otoño y en primavera en Argentina que alcanzaron su desarrollo normal en el primer año, y se encontró que el primer otoño o primavera puede dividirse en 40 o más plantíos nuevos.

Y por lo tanto, la densidad de plantación es alrededor de 40, 000 plantas/hectárea. <sup>(14)</sup>

En la siguiente tabla se muestran la comparación de producción de la planta de orégano:

Nºde plantíos al comenzar	Superficie que ocupan (m <sup>2</sup> )	Nºde plantíos Al 2ºaño	Superficie a implantar el 2ºaño (ha)
1, 000	250	40, 000	1
2, 000	500	80, 000	2
5, 000	1, 250	200, 000	5
10, 000	2, 500	400, 000	10

Ahora bien en el **cálculo del costo de producción de un cultivo del orégano en Argentina** se encontró que se tiene que tomar en cuenta:

- Costo de plantíos, semillas, estacas, etc.
- Preparación del suelo.
- Preparación del almácigo o plantación.
- Riegos
- Pulverizaciones
- Limpieza canales de riego
- Agroquímicos: fertilizantes y plaguicidas
- Jornadas para cosecha: corte, carga y descarga; flete a planta procesador; zarandeo y/o limpieza.
- Envases
- Gastos de comercialización (Impuestos, flete, etc.)
- Manejo de material de descarte.

A estos *costos directos* hay que sumar los *costos de amortización de herramientas, equipos e instalaciones*.

#### Infraestructura necesaria:

- Equipo agrícola tradicional (tractor, arado, rastra, escardillo, pulverizador, etc.)
- Tinglado, galpón o cobertizo.
- Equipo destilador (para producir esencias).
- Trilladora y zaranda (para hierbas secas).

En cuanto al costo aproximado de un equipo destilador por lotes, para extraer aceites esenciales por arrastre con vapor de agua depende: <sup>(14)</sup>

- De tipo semi-doméstico, con un alambique de 3 m<sup>3</sup> de capacidad, con horno de calefacción bajo el alambique (sin caldera) con un costo de \$ U.S 6, 500. Con este equipo se pueden procesar unas 5 hectáreas de orégano, o hasta 10 hectáreas.

- De tipo industrial, con 6 alambiques de 8 m<sup>3</sup> c/u, caldera de 1200 Kg/h con un costo \$ U.S 150,000. Con este equipo se pueden procesar entre 250 a 350 has por corte, a razón de 7 a 8 has./día.

#### 4.1.2. – La exportación del orégano mexicano seco y como aceite esencial

El orégano ha sido uno de los principales productos de exportación de nuestro país desde hace varios años.

Nuestro país ha participado durante una década con **40% de la producción mundial** en el mercado internacional, lo que lo ubica como el primer productor de esta especie. El segundo lugar lo ocupa **Turquía con el 30%** y el tercer lugar **Grecia**, con el **22.5%** aproximadamente. <sup>(4)</sup>

El comercio del orégano mexicano se realiza principalmente con **Estados Unidos**, al cual se exporta alrededor del **85% de la producción nacional**; el **10%** va al **mercado domestico** y el **5% a países europeos y asiáticos**.

La aceptación del orégano mexicano se aplica por su calidad, expresada en su gran poder saborizante.

#### Importancia del orégano en Estados Unidos provenientes de 10 países <sup>(13)</sup>

País	1981 – 1985	1986 – 1990
México	7, 613	10, 092
Grecia	4, 028	5, 498
Turquía	5, 672	9, 707
Israel	435	924
Francia	168	220

Marruecos	74	407
República Dominicana	66	93
Canadá	222	260
Egipto	194	200
España	40	46

Los beneficios del aceite esencial de orégano son inmensos, sin embargo hay un peligro, que para mayor comercialización y también por ahorrar el procedimiento de obtención, se introducen mezclas sintéticas, obviamente, en tal caso el consumidor es quien pierde, pues ya no aprovecha los verdaderos beneficios que le brindaría el aceite esencial de orégano, estos productos sintéticos o mezclas podrían destruir la reputación y confianza del aceite genuino natural.

La reproducción sintética de todos estos constituyentes es probablemente imposible y de costos muy elevados.

#### 4.1.3. – Centros de consumo y producción del aceite esencial de orégano mexicano

La mayor producción de orégano para fines comerciales es del género *Lippia*, como la *Lippia Graveolens* de Durango. El mercado del aceite esencial de orégano, se puede comercializar en 2 distintos sectores.

##### Sector alimenticio<sup>(13)</sup>

En este sector puede distribuir tanto el aceite esencial de orégano así como también el orégano, seco o fresco, y se puede utilizar como:

- ❖ Saborizantes y condimentos de distintos guisos y alimentos enlatados, para tener ese sabor característico del orégano.
- ❖ Como té en infusiones al 5% para aliviar las enfermedades que ya se trataron en la sección del usos del orégano.

##### Sector farmacéutico<sup>(13)</sup>

El aceite esencial de orégano se puede utilizar en la elaboración de medicamentos, tales como pomadas, ungüentos. (Ver más detalle en el anexo VI)

#### 4.1.4. – Demanda en los centros de consumo

Es preciso hacer un análisis de la localización de las empresas que constituyen cada sector de los señalados a fin de determinar los principales centros de consumo, esto es:

**Sector alimenticio como orégano:** se encuentra en mercados y tiendas comerciales, ya sea en hojas secas o molidas.

**Sector alimenticio como aceite esencial de orégano:** principalmente aquellas patentes que se encargan de saborear y condimentar los alimentos precocinados y alimentos enlatados.

**Sector farmacéutico:** este sector aprovecha el 90 % del aceite esencial para medicamentos.

**Sector perfumería:** en algunas empresas de esencias que llegan a recurrir al aceite esencial de orégano, para aprovecharlo, como tónico de relajación. Y estos son: <sup>(13)</sup>

- ❖ Extractos y derivados, S.A. de C.V.
- ❖ Química interamericana, S.A.
- ❖ Naarden fragancias, S.A de C. V.
- ❖ El Trébol productos químicos, S.A.
- ❖ Aceites y esencias, S.A.
- ❖ Dragoco, S.A.
- ❖ Pronaquim, S.A. de C.V.

#### 4.1.5. – Oferta, distribución y comercialización en México

En México la producción de orégano es de casi 8,000 ton lo que se recolectan anualmente y se ha hecho también investigaciones actualmente, que tan solo en el estado de Durango se recolecta un promedio de 1500 ton anual.

Y que además la distribución se realiza a través de distribuidores ya que el aceite esencial de orégano no es un producto que sea utilizado en grandes cantidades por la industria alimentaria, a excepción del sector farmacéutico.

De lo anterior se mencionan algunas empresas que distribuyen y comercializan el aceite esencial del orégano en México: <sup>(13)</sup>

<b>Empresas y distribuidores en México</b>	<b>Teléfono</b>
<b>Saborex, S.A. de C.V.</b> Camarones 581 Azcapotzalco, México, D.F.	5561-46-77
<b>International Flavors and Fragrances, S.A. de C.V.</b> Fracc. Ind. San Nicolás. Tlalnepantla, 54030 Edo. de México	5565-38-22
<b>Tecnología y asesoría alimentaria, S.A. de C.V.</b> Retorno 1 No. 19 Col. La Blanca, 54110, Tlalnepantla Edo. de México.	5565-55-60
<b>Fritzche Dodge and Olcott de México, S.A.</b> Río Lerma 32 Col. San Nicolás. Tlalnepantla. Edo. de México	5565-52-11
<b>Química Interamericana, S.A.</b> Av. Presidente Juárez 2023 Tlalnepantla Edo. de México	5397-41-33
<b>Aceites y esencias, S.A.</b> Blvd. M. de Cervantes Saavedra. No. 5 Col. Granada, México D.F.	5250-66-00



#### 4.1.6. – Costos del aceite esencial del orégano

Los precios del aceite esencial de orégano varían de acuerdo a la pureza que se tenga del aceite, razón por la cual en algunas empresas no se tiene un costo promedio pero tomaremos como base el costo del aceite distribuido de la empresa Aceites y Esencias S.A. Blvd. M. de Cervantes Saavedra No. 5 Col. Granada, México D.F. que lo vende a:

#### Precio de aceite esencial orégano en aceites y esencias

Aceite esencial de orégano (año 2003)	
Precio	Característica
\$ U.S. 159	Por Kg si es puro
\$ U.S. 275	Orégano español
\$ U.S. 50	Orégano comercial
\$ U.S. 9.26	De 30 mL de orégano comercial

#### 4.2. Estudio de factibilidad económica

El presente estudio tiene la finalidad de estimar la inversión financiera fija, costos de operación y egresos de operación de la planta piloto. Se involucran los siguientes aspectos: <sup>(35)</sup>

- Estimación de la inversión fija.
- Estimación del costo de producción.
- Depreciación
- Amortización
- Egresos.

La evaluación confiable de los aspectos mencionados es fundamental, ya que permite establecer importantes parámetros técnicos y financieros. Desde el punto de vista técnico permite estimar la capacidad máxima y la localización de la instalación de la planta piloto; y desde el punto de vista financiero permite obtener la información necesaria para la promoción del proyecto ante posibles inversionistas.

##### 4.2.1. – Estimación de inversión fija

La inversión fija es el conjunto de erogaciones por bienes relacionados con la producción y el lugar donde estas se llevan a cabo. En general, se le eroga en una sola partida antes del inicio de las operaciones. Incluye los siguientes rubros: <sup>(34)</sup>

- Las erogaciones por investigación
- Desarrollo de tecnología, patentes o transferencias de tecnología
- Terreno
- Obra civil

- Maquinaria y equipos
- Servicios auxiliares e instalación complementaria
- Ingeniería, supervisión y administración de montaje
- Muebles e instrumentos de laboratorio
- vehículos

#### 4.2.1.1. – Terreno y obra civil

En este rubro se considera la nivelación del terreno, la construcción de la cimentación, estructura, estante para almacenamiento del producto y muros de toda la planta piloto de acuerdo al plano de localización general de los equipos (Plot Plan: PLG). Y el costo de la obra civil es de **\$ 10,500.00 M.N.**

La infraestructura ya se cuenta solamente se estimará el costo de pago predial del terreno, esto es, el terreno donde se instalará la planta piloto será de cemento pavimentado y el área total que se ocupará es de 57 m<sup>2</sup>. El valor estimado del terreno es de **\$ 159, 645.00 M.N.**

#### 4.2.1.2. – Costos de los equipos

El equipo necesario para la destilación será construido en el laboratorio por el personal de mantenimiento en horas de trabajo y tiempos extras. Los materiales necesarios se adquirirá en la localidad directamente con los fabricantes y distribuidores.

En el costo de cada equipo se incluye la mano de obra de la construcción, los materiales empleados, la pintura y acabado.<sup>(3b)</sup>

CLAVE	EQUIPO DE PROCESO	COSTO	AUMENTO	COSTO
		AÑO \$/M.N.	15% \$/M.N.	REAL \$ M.N.
DC – 01	Destilador continuo	1,200	180	1,380
TV – 01	Tolva con tomillo sinfin	1,700	255	1,955
VR – 01	Válvula rotativa	1,200	180	1,380
EG – 01	Eje giratorio y con malla # 20	1,000	150	1,150
EA – 01	Condensador	2,500	375	2,875
VF – 01	Vaso florentino	1,000	150	1,150
MR- 01	2 Motores reductores: uno para la tolva y el otro para el eje giratorio	3,970	596	4,566
MR- 02				
TA – 01	2 Tanques de almacenamiento: uno para aceite esencial y otro para el agua oleosa	3,000	450	3,450
TA – 02				
DS – 01	Descador	1,000	150	1,150

**CAPITULO IV****EVALUACIÓN ECONÓMICA**

CA - 01	Caldera de 5 cc	8,800	1,320	10,120
TE - 01	Torre de enfriamiento (10 L/min.)	3,600	540	4,140
	Tuberías y accesorios*	14,000	2,100	16,100
	Instrumentación de control**	1,500	225	1,725
			<b>SUBTOTAL</b>	<b>51,141</b>
	Instalaciones***	10,228.2	1,534.23	11,762.43
	Vehículos****	40,000	6,000	46,000
			<b>TOTAL</b>	<b>108,903.43</b>

\* En este rubro incluye la línea del proceso, de vapor, agua de enfriamiento, eléctrica, subterránea, desfogue y la de drenaje.

\*\* Incluye toda la instrumentación de control del proceso y de los servicios auxiliares.

\*\*\*Se calcula como el porcentaje del costo del equipo que varía entre 10 y 30 %. En este caso, se considerará el 20 % y se tiene entonces de \$ **10,228.2** (incluye el montaje, supervisión y prueba de arranque de la planta piloto: proceso y servicios auxiliares).

\*\*\*\* Se comprará una combi para transportar el aceite esencial cuyo valor no rebasará de: \$ **40,000** que puede ser usado.

#### 4.2.1.3. – Laboratorio de control de calidad

Se contratará un laboratorio de control de calidad con el material y equipo más básico para determinar propiedades físicas del aceite esencial de orégano, equipo tal como un cromatógrafo, 1 matraz, 1 refrigerante, pinzas, mesa, bancos y computadoras, cuyo valor será de:

**2,000 \$/mes**

Teniendo en cuenta que por muestra de análisis tanto de la materia prima y el aceite esencial está alrededor de **200 \$/ muestra a la semana**

#### 4.2.1.4. – Servicios auxiliares

##### 4.2.1.4.1. – Costo por servicio auxiliar comercialmente en el año 2003

- Agua de enfriamiento 0.42 \$/m<sup>3</sup>
- Vapor 50.00 \$/Ton
- Energía eléctrica 2.00 \$/ Kw-h
- Nitrógeno ultra alta pureza (N<sub>2</sub> UAP)

Cilindro con capacidad de 6.5 m<sup>3</sup> cuyo precio es 183 \$/m<sup>3</sup>. Proveedor AGA, por lo tanto: 1190 \$/ cilindro de nitrógeno ultra alta pureza

## 4.2.1.4.2. – Consumo de servicio por Kg de aceite esencial

Servicio*	Consumo / Kg aceite	\$/Servicios	1er. Turno* \$/Kg aceite	2do. Turno \$/Kg aceite	3er. Turno \$/Kg aceite
Vapor de baja presión	0.091 Ton	50.00 Ton	4.55	9.10	13.65
Agua de enfriamiento	2.24 m <sup>3</sup>	0.42 m <sup>3</sup>	0.94	1.88	2.82
Electricidad	11.695 Kw-h	2 Kw-h	23.39	46.78	70.17
Nitrógeno ultra alta pureza	5x 10 <sup>-5</sup> m <sup>3</sup>	183 m <sup>3</sup>	9.15 x 10 <sup>-3</sup>	0.02	0.03
<b>TOTAL</b>			<b>28.89</b>	<b>57.78</b>	<b>86.67</b>

\* Cálculos por consumo de servicio en un turno completo:

**Vapor de baja presión:**

Para obtener 171.2 g de aceite esencial **por turno** se necesita 15.55 Kg de vapor, entonces, para un 1 Kg de aceite esencial se necesitará:

$$(21.4 \text{ g de aceite esencial / h}) * (8\text{h/día}) = 171.2 \text{ g aceite/día}$$

$$(15.55 \text{ Kg de vapor} / 0.1712 \text{ Kg aceite esencial}) = \mathbf{90.83 \text{ Kg de vapor/Kg de aceite esencial.}}$$

**Agua de enfriamiento:**

Para obtener 171.2 g de aceite esencial **por turno** se necesita 0.383 m<sup>3</sup>, entonces, para un 1 Kg de aceite esencial se necesitará:

$$(21.4 \text{ g de aceite esencial / h}) * (8\text{h/día}) = 171.2 \text{ g aceite/día}$$

$$(0.383 \text{ m}^3 \text{ de agua} / 0.1712 \text{ Kg aceite esencial}) = \mathbf{2.237 \text{ m}^3 \text{ de agua /Kg de aceite esencial}}$$

**Electricidad:**

$$((80 \text{ \$/mes}) / (3.42 \text{ Kg aceite/ mes})) = 23.39 \text{ \$/Kg de aceite}$$

Si un 1 Kw-h cuesta \$ 2.00 a la planta piloto, por lo que:

$$((23.39 \text{ \$/Kg de aceite}) / (2 \text{ \$/Kw-h})) = \mathbf{11.695 \text{ Kw-h / Kg de aceite}}$$

**Nitrógeno ultra alta pureza (N<sub>2</sub> UAP)**

Por cada Kg de aceite producido en **un turno** se utilizará 50 mL de N<sub>2</sub> UAP esto con fin de conservar el aceite esencial en el envase de polietileno de 1L.

El proveedor a quien se le contratará es **AGA**, cuyo precio es **183 \$/m<sup>3</sup> de N<sub>2</sub> UAP**. Por lo que se requiere:

$$(5 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ N}_2/\text{Kg de aceite esencial}) \times (183 \text{ \$ N}_2/\text{m}^3 \text{ N}_2) = 9.15 \times 10^{-3} \text{ \$ / Kg de aceite esencial}$$

Y como la capacidad del cilindro es normalmente **6.5 m<sup>3</sup>** el costo será de:

$$1, 190 \text{ \$ cilindro de N}_2 \text{ UAP}$$

A esto equivale tener:

$$(1, 190 \text{ \$ cilindro de N}_2 \text{ UAP}) / (9.15 \times 10^{-3} \text{ \$ N}_2 \text{ UAP / Kg de aceite esencial}) \\ = 130, 055 \text{ Kg de aceite esencial}$$

Con este cálculo se afirma que con un solo tanque de N<sub>2</sub> UAP alcanzará todo el año.

De hecho si la planta piloto se decide operar los tres turnos nos sobraría el N<sub>2</sub> UAP; puesto que el total de producción del aceite esencial para un solo turno al año es de **14.56 Kg de aceite esencial /año**; de 2 turnos, **29.12 Kg de aceite esencial /año**; y para los tres turnos, **43.68 Kg de aceite esencial /año**.

Por lo tanto, la **inversión fija** será:

INVERSIÓN FIJA	COSTO (\$ M.N./año)
4.2.1.1. – Terreno y obra civil	170,145.00
4.2.1.2. – Costos de los equipos	108,903.43
4.2.1.3. – Laboratorio de control de calidad	8, 000.00
4.2.1.4. – Servicios auxiliares*	1, 300.00
<b>TOTAL</b>	<b>288, 348.43</b>

\* El costo que se da a los servicios auxiliares es por el concepto de la compra del cilindro de N<sub>2</sub> UAP al año y se suma con el costo total de los demás servicios +1.83 % I.V.A. anual.

#### 4.2.2. – Estimación de capital de trabajo

El capital de trabajo son los recursos que se destinan a atender operaciones de producción, distribución y venta de los productos elaborados. Y se constituye por: <sup>(39)</sup>

- Efectivo en caja
- Efectivo de cliente
- Efectivo de inventario
- Materia prima
- Producto terminado
- Ventas netas

En este caso, el proceso de extracción de aceite esencial del orégano es rápido y la cantidad es muy pequeña, por lo que el capital de trabajo se minimiza al no considerar el inventario de materia prima.

A esto contribuye que la cantidad de materia prima y producto terminado depende del balance que se ha realizado y en base de la cantidad por turnos. Para empezar los primeros meses se trabajará solo un turno, y conforme aumente la demanda de producción se trabajará los tres turnos completos.

El cálculo que a continuación se presentan se hace énfasis al *primer turno de producción de aceite esencial de orégano*:

La planta piloto operará durante **17 semanas al año, 5 días por semana, 1 turno por día**. Se tiene entonces que el rendimiento del aceite del orégano que se tendrá al año:

$$\begin{aligned} (728 \text{ Kg orégano seco/año}) * (0.02 \text{ Kg aceite/ Kg}) &= \mathbf{14.56 \text{ Kg aceite/año}} \\ (21.4 \text{ g aceite/h}) * (8\text{h/día}) &= 171.2 \text{ g aceite/día} \\ &\text{y en 5 días } 856 \text{ g aceite/semana} \\ (856 \text{ g aceite/semana}) * (17 \text{ semanas}) &= \mathbf{14,552 \text{ g aceite /año}} \end{aligned}$$

$$\therefore \mathbf{14.55 \text{ Kg aceite / año en c/turno}}$$

Y en términos por semana y mes se tiene:

$$\begin{aligned} (14.55 \text{ Kg aceite / año}) / (17 \text{ semanas / año}) &= \mathbf{0.856 \text{ Kg aceite/semana}} \\ (0.856 \text{ Kg aceite/semana}) / (4 \text{ semanas / mes}) &= \mathbf{3.42 \text{ Kg aceite/ mes}} \end{aligned}$$

**En resumen:**

<b>Cantidad de materia prima y producto terminado al año</b>		
<b>Kg / año (Hoja de orégano)</b>	<b>Kg/año (Aceite esencial)</b>	<b>Turno</b>
728	14.55	1
1, 456	29.10	2
2, 184	43.66	3

Y basándose en el estudio de mercado que se ha hecho de la venta por Kg de aceite esencial del orégano en México se llegó a la conclusión que la venta esta alrededor de **275 \$ U.S. dls. por Kg de aceite esencial**, cuya referencia de donde se tomó este dato fue la empresa **Aceites y esencias, S.A.** ubicado en Blvd. Miguel de Cervantes Saavedra. No. 5 Col. Granada, México D.F.

Para entrar a la competencia con el producto se ofrecería posiblemente a **260 \$ U.S. dls. por Kg de aceite esencial**, lo cual quiere decir que en moneda nacional será:

$$(260 \text{ \$ U.S. dls./ Kg de aceite esencial}) * (\$ 11.00 \text{ M.N./ U.S. dls.}) = \\ = \text{\$ 2,860 M.N / Kg aceite esencial}$$

Y para 14.55 Kg de aceite producido al año de **un solo turno** se tiene que:

$$(14.55 \text{ Kg de aceite esencial}) * (\$ 2,860 \text{ M.N / Kg aceite esencial}) = \text{\$ 41,613 M.N.}$$

Por lo tanto, el **capital de trabajo de producción** será de: **\\$ 41,613 M.N. al año**

Por otra parte, el **efectivo en caja** sirve para cubrir gastos menores y para el pago de sueldos y salarios llegado el momento. Su monto depende de la capacidad de producción, el número de empleados y la diversidad de productos manufacturados. <sup>(35)</sup>

Lo anterior, para la planta piloto se considera una cantidad igual a dos quincenas de salario nominales del personal, más una cantidad equivalente para afrontar imprevistos. Este total importa **\\$ 90,000 M.N. al año**

Por lo tanto, el capital de trabajo total: **\\$ 131,613.00 M.N. al año**

Así pues, la **inversión total** que se requiere para el proyecto de destilación por arrastre de vapor será:

<b>INVERSIÓN TOTAL</b>	<b>\\$ M.N. al año</b>
<b>4.2.1. - Inversión fija</b>	<b>288,348.43</b>
<b>4.2.2. - Capital de trabajo</b>	<b>131,613.00</b>
<b>TOTAL</b>	<b>419,961.43</b>

#### 4.2.3. – Egresos totales

Los egresos totales de operación de una planta están constituidos por: <sup>(34)</sup>

- Gastos variables\*
  - Materias primas
  - Servicios auxiliares
- Gastos fijos\*\*
  - Sueldos y salarios
  - Mantenimiento y refacciones
  - suministro de operación

- cargos fijos de inversión\*\*\*
  - amortización y depreciación
  - impuestos sobre la propiedad
  - seguros
- cargos fijos de operación
- gastos generales
  - gastos administrativos
  - gastos de distribución y venta

\* Son aquellos costos que están en función del volumen de producción. Estos términos generales son: las materias primas y servicios auxiliares.

\*\* Se incluyen costos que no dependen del volumen de producción como son: sueldos y salarios, mantenimiento, refacciones y suministros de operación.

\*\*\* Estos cargos son consecuencia directa de la inversión fija por lo cual permanecen constantes.

#### 4.2.3.1. – Materia prima

La materia prima (orégano seco) se va a comprar a los campesinos del municipio de Nazas, Durango y el costo viene aproximadamente de **\$9 a \$10** por kilogramo. <sup>(13)</sup>

Por lo que en **un solo turno** nos costará:

$$(1.07 \text{ Kg MP/ h}) \cdot (8\text{h/día}) = 8.56 \text{ Kg MP /día}$$

$$(8.56 \text{ Kg MP /día}) \cdot (5 \text{ días/ semana}) \cdot (17 \text{ semanas / año}) = \mathbf{728 \text{ Kg MP / año}}$$

$$(728 \text{ Kg MP / año}) \cdot (\$9.00/ 1 \text{ Kg MP}) = \mathbf{\$ 6,552 \text{ Kg M.P./año}}$$

Kg / año (Hoja de orégano)	\$ MP / año	Turno
728	<b>6,552</b>	1
1456	<b>13,104</b>	2
2184	<b>19,656</b>	3

Nota: Para producir 1 Kg de aceite esencial, se necesitará *50 Kg de orégano seco* sabiendo que en un 1 Kg de orégano seco contiene 20 gr. de aceite esencial y que cuesta \$9.00 el Kg de orégano seco; por lo tanto, costara \$ 450.00 de Materia Prima.



## 4.2.3.2. – Aceite esencial

Descripción de la variable*	\$/Kg de aceite esencial
Laboratorio de control de calidad	584.80
Mantenimiento y refacciones	62.31
Supervisión	877.20
<b>TOTAL</b>	<b>1,524.31</b>

## \* Cálculos:

## ➤ Laboratorio de control de calidad:

$(2,000\$/mes) / (3.42 \text{ Kg aceite/ mes}) = 584.80 \text{ \$/ Kg de aceite esencial}$

## ➤ Mantenimiento y refacciones:

$(213.10 \text{ \$/mes}) / (3.42 \text{ Kg aceite/ mes}) = 62.31 \text{ \$/ Kg de aceite esencial}$

## ➤ Supervisión:

$(3,000 \text{ \$/mes}) / (3.42 \text{ Kg aceite/ mes}) = 877.2 \text{ \$/ Kg de aceite esencial}$

## 4.2.3.3. – Trabajo y supervisión

Con el personal que se menciona a continuación laborará las **17 semanas al año** con su sueldo respectivo + el 35 % de prestaciones.

## a) 3 operadores

1 operador en cada turno (\$ 80.00 diarios por operador (30 días\*)): 2,400.00

(La planta piloto trabajará 3 turnos al día (Lunes a Viernes)\*\*

x 3.00

7,200.00

35% de gastos sobre la mano de obra

2,520.00

(5% de INFONAVIT, IMSS, etc.)<sup>(35)</sup>

**TOTAL: \$ 9,720.00 M.N.**

\* De acuerdo a la Ley Federal del Trabajo estipula que el operador de plantas químicas se le debe pagar los 30 días de trabajo laboral con goce de sueldo los días de descanso obligatorio y de los fines de semana (domingos).

\*\* Considerando que todos los sábados se hará mantenimiento a la planta piloto, por lo que una de sus funciones de los operadores será esta.

## b) 1 Ingeniero de producción

Se contratará un **ingeniero de producción** especializado en aceites esenciales cuya función será supervisar de la producción mensualmente así mismo inspeccionando la buena calidad del producto bajo los estándares de las normas ISO's.

La *supervisión* será una *por mes* cuyo pago será por comisión (incluye el 35% de prestaciones):

**\$ 7,000 M.N. / mes**

**c) 1 secretaria**

También se contratará una secretaria cuyo sueldo será de **\$ 1, 200 M.N. / mes** que incluye también el 35% de prestaciones.

**En resumen:**

No. de empleados	Puesto	Sueldo mensual (\$M.N.)	+ el 35% por concepto de prestaciones	Total al mes (\$ M.N.)	Sueldo total al año (\$M.N.)
1	Ingeniero de producción	4, 550	2,450	7, 000	28,000
3	Obreros	7, 200	2, 520	9,720	38,880
1	Secretaria	780	420	1, 200	4,800
<b>Total</b>				<b>17,920</b>	<b>71,680</b>

**4.2.3.4. – Mantenimiento y refacciones**

Este rubro se considera el 5% de la inversión fija por concepto de equipo anual, es decir, de los **\$ 51, 141 M.N.** del costo de equipo, se tendrá **\$ 2, 557.1 M.N.** para mantenimiento y refacciones.

**4.2.3.5. – Suministro de operación para el mantenimiento**

También se considera el 5% del presupuesto para mantenimiento anual: **\$ 127.86 M.N.**

**4.2.3.6. – Valor de la producción**

Considerando que:

**1 operador por turno** (\$ 80.00 diarios por operador): 2,400.00 \$/mes  
 Más 35% de gastos sobre la mano de obra: 840.00 \$/mes  
**TOTAL: 3, 240.00 \$/mes**

Considerando a una capacidad máxima de producción del aceite esencial que se ha establecido en este proyecto se tendrá:

$$(3,240.00 \text{ $/mes}) / (3.42 \text{ Kg aceite/ mes}) = \underline{\underline{947.4 \text{ $ M.N. / Kg de aceite}}}$$

$$(3, 240.00 \text{ $/mes/turno}) \times (3\text{turnos}) = 9,720.00 \text{ $/mes}$$

$$(9,720.00 \text{ $/mes}) / (3.42 \text{ Kg aceite/ mes}) = \underline{\underline{2, 842 \text{ $ M.N. / Kg de aceite}}}$$

De esta manera, lo que se tendría de **valor de producción anual** del aceite esencial operando la planta piloto en un solo turno:

$$\begin{aligned} \text{V.P.} &= (2,842 \text{ \$ M.N. / Kg de aceite esencial}) * (14.55 \text{ Kg de aceite esencial / año}) \\ &= 41,351.1 \text{ \$ M.N. / año} \end{aligned}$$

#### 4.2.3.7. – Costos fijos de inversión

##### 4.2.3.7.1 – Amortización y depreciación

Los costos son resultados directos de la disminución del valor de los activos fijos debido al uso. Se entiende por **depreciación**, bajar de precio y se refiere a la utilización de un activo fijo o tangible, el cual debido al uso, disminuye de precio.

Y la **amortización** es un término al cual usualmente se le asocia con *aspectos financieros*, pero cuando se habla de amortización fiscal, su significado es exactamente el mismo que el de la depreciación. La *diferencia* estriba en que la **amortización** sólo se aplica a los activos diferidos o intangibles, tales como: *gastos preoperativos, gastos de instalación, compra de marcas y patentes*.

En México, la tasa de depreciación y amortización será a **10 años** a partir de este **año 2003**:<sup>(32)</sup>

- ◆ Obra civil: 3.5. %
- ◆ Maquinaria y equipo: 10 %
- ◆ Equipo para transporte: 25%
- ◆ Instalación, montaje y supervisión de los equipos de proceso: 10%

Cargo	Especificación	Cantidad total	% Tasa	Cargo fijo a 10 años de vida útil
Depreciación	Obra civil	10,500.00	3.5	1,013.25
	Equipo de proceso	51,141.00	10	5,114.10
	Vehículos	46,000.00	25	3,450.00
	Equipo de laboratorio	8,000.00	10	800.00
Amortización	Instalación y supervisión	11,762.43	10	1,176.24
<b>TOTAL</b>				<b>11,553.60</b>

##### 4.2.3.7.2. – Impuestos sobre la propiedad

El valor catastral evaluado es \$ **159,645.00 M.N.** y de acuerdo al art. 14 de la Ley de Ingresos de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, el pago anual por concepto de impuesto predial será de 1% anual sobre su valor. Por lo tanto, el costo total del terreno anual es: \$ **1,596.45 M.N.**

**4.2.3.7.3. – Seguros**

El costo de seguro para una planta piloto es del orden del 0.5% de la inversión fija, por lo que: <sup>(34)</sup>

**\$ 1441.74 M.N. de seguro anual**

**4.2.3.8. – Cargos fijos de operación**

Por concepto de materiales para intendencia de la planta piloto y equipos de seguridad para los operadores. El valor estimado para plantas piloto es del 9% del costo total de la mano de obra directa por año: <sup>(35)</sup>

**\$ 3, 499.20 M.N. de cargo fijo de operación anual**

**4.2.3.9. – Gastos generales**

Son los gastos necesarios para vender el producto terminado al mercado, mantener en una posición competitiva y lograr su adecuada operación administrativa y contable. Entre los cuales se mencionan:

**4.2.3.9.1. – Administración**

Están los gastos de papelería y oficina, así como la asesoría contable necesario. Se ha considerado de \$2, 000.00 M.N. mensuales, y al año será el gasto de **\$ 8, 000. 00 M.N.**

**4.2.3.9.2. – Distribución y venta**

Incluye empaques y etiquetas, folleto explicativo, hojas de especificación, muestra, etc.

**4.2.3.9.2.1. – Almacenaje y envasado**

◆ Envases de plásticos cuyo material será de polietileno de 1L:	8.00 \$/Kg de aceite esencial
En total se comprarán al año 100 envases y equivale a :	<b>\$ 800.00 M.N.</b>
◆ Etiquetas:	0.50 \$ para c/envase (1L)
Costo total de las etiquetas:	<b>\$ 400.00 M.N.</b>
◆ Caja de cartón:	1.0 \$/ lote de 12 envases de 1L c/u
Caja de cartón (1.0 \$/ lote de 12 envases de 1L c/u):	0.083 \$/ Kg de aceite esencial
Costo total de 15 cartones:	<b>\$ 15.00 M.N.</b>

**Total de gasto para el almacenaje y envasado: 1, 215.00 \$ M.N./año**

## 4.2.4. – Precio de venta

Finalmente el precio al que se venderá el aceite esencial de orégano es de: \$ 2, 860.00 M. N. por Kg tomando en cuenta que el aceite tiene un alto contenido de carvacrol (25%) y timol (12.01%), arriba de lo normal a comparación con la competencia que lo vende adulterado.

## 4.2.5 – Resultados

## 4.2.5.1. – Presupuestos de egresos totales

<b>EGRESOS TOTALES DE LA OPERACIÓN PARA LA PLANTA PITOTO</b>	
<b>I. Costos de producción</b>	<b>Año 2003 (\$ M.N./año)</b>
<b>Costos variables</b>	
- Materia prima	19, 656.00
- Servicios auxiliares	1, 300.00
<b>Total costos variables</b>	<b>20, 956.00</b>
<b>Costos fijos</b>	
- Mano de obra, sueldos	71, 680.00
- Mantenimiento y reparación	2, 557.10
- Suministro de operación	127.86
<b>II. Cargos fijos de inversión</b>	<b>74, 364.96</b>
- Depreciación y amortización	11,553.60
- Seguros sobre la planta piloto	1, 441.74
- Impuesto sobre la propiedad	1, 596.45
<b>III. Cargos fijos de operación</b>	<b>3, 499.20</b>
<b>Total de costos fijos</b>	<b>92, 455.95</b>
<b>IV. Gastos generales</b>	
- Gastos administrativos	8, 000.00
- Gastos de distribución y ventas	1, 215.00
<b>Total de gastos generales</b>	<b>9, 215.00</b>
<b>Total gastos y costos fijos</b>	<b>122, 626.95</b>
<b>TOTAL</b>	<b>122, 626.95</b>

## 4.2.5.2. – Utilidad neta

Venta neta = \$ 131, 613. 00 M.N. al año

Gastos totales = \$ 122, 626.95 M.N. al año

$U = V_n - G_t = \$ 131, 613. 00 \text{ M.N. al año} - \$ 122, 626.95 \text{ M.N. al año}$

$U = \$ 8, 986.05 \text{ M.N. al año}$

**4.2.5.3. – Periodo de recuperación<sup>(37)</sup>**

$$N = \frac{\text{Inversión total}}{\text{Amortización + Depreciación + Venta neta}}$$

$$N = \frac{\$ 419,961.43 \text{ M.N. al año}}{\$ 11,553.60 \text{ M.N. al año} + \$ 131,613.00 \text{ M.N. al año}}$$

**N = 2.93 años ~ 2 años, 11 meses, 4 días, 19 horas, 12 min.**

**4.2.5.4. – Índice de liquidez**

$$IL = \frac{\text{Capital de trabajo}}{\text{Inversión total}} = \frac{\$ 41,613.00 \text{ M.N. al año}}{\$ 419,961.43 \text{ M.N. al año}}$$

$$IL = 0.099 \times 100\% = \underline{\underline{9.91\%}}$$

**4.2.5.5. – Índice de rotación capital**

$$IRC = \frac{\text{Venta neta}}{\text{Inversión total}} = \frac{\$ 131,613.00 \text{ M.N. al año}}{\$ 419,961.43 \text{ M.N. al año}}$$

$$IRC = 0.3134 \times 100\% = \underline{\underline{31.34\%}}$$

**4.2.5.6. – Margen de utilidad**

$$MU = \frac{\text{Utilidad neta}}{\text{Venta neta}} = \frac{\$ 8,986.05 \text{ M.N. al año}}{\$ 131,613.00 \text{ M.N. al año}}$$

$$MU = 0.07 \times 100\% = \underline{\underline{7\%}}$$

**4.2.5.7. – Rentabilidad sobre la inversión (% de recuperación)**

$$RSI = (MU * IRC) = 0.07 * 0.3134 = 0.022 * 100\%$$

$$RSI = \underline{\underline{2.20\%}}$$

## 4.2.5.8. – Costo de los equipos

CLAVE	EQUIPO DE PROCESO	COSTO AÑO \$/M.N.	AUMENTO 15% \$/M.N.	COSTO REAL \$ M.N.
DC – 01	Destilador continuo	1,200	180	1,380
TV – 01	Tolva con tornillo sinfín	1,700	255	1,955
VR – 01	Válvula rotativa	1,200	180	1,380
EG – 01	Eje giratorio y con malla # 20	1,000	150	1,150
EA – 01	Condensador	2,500	375	2,875
VF – 01	Vaso florentino	1,000	150	1,150
MR- 01	2 Motores reductores: uno para la tolva y el otro para el eje giratorio	3,970	596	4,566
TA – 01	2 Tanques de almacenamiento: uno para aceite esencial y otro para el agua oleosa	3,000	450	3,450
DS – 01	Desecador	1,000	150	1,150
CA – 01	Caldera de 5 cc	8,800	1,320	10,120
TE – 01	Torre de enfriamiento (10 L/min.)	3,600	540	4,140
	Tuberías y accesorios*	14,000	2,100	16,100
	Instrumentación de control**	1,500	225	1,725
		<b>SUBTOTAL</b>		<b>51,141</b>
	Instalaciones***	10,228.2	1,534.23	11,762.43
	Vehículos****	40,000	6,000	46,000
		<b>TOTAL</b>		<b>108,903.43</b>

INVERSIÓN TOTAL (Anual)	\$ M.N. al año
4.2.1. - Inversión fija	288, 348.43
4.2.2. - Capital de trabajo	131, 613.00
<b>TOTAL</b>	<b>419, 961.43</b>

## 4.2.5.9. – Costo de producción

## a) Mano de obra directa

1 operador por turno (\$ 80.00 diarios por operador): 2,400.00 \$/mes  
 Más 35% de gastos sobre la mano de obra: 840.00 \$/mes  
**TOTAL: 3, 240.00 \$/mes**

(14.55 Kg aceite / año) / (17 semanas / año) = **0.856 Kg aceite/semana**  
 (0.856 Kg aceite/semana) / (4 semanas / mes) = **3.42 Kg aceite/ mes**

( 3,240.00 \$/mes) / (3.42 Kg aceite/ mes) = **947.4 \$ M.N. / Kg de aceite**

## b) Servicios

COSTO DE PRODUCCIÓN			1er. Turno*	2do. Turno	3er. Turno
Servicio*	Consumo / Kg aceite	\$/Servicios	\$/Kg aceite	\$/Kg aceite	\$/Kg aceite
Vapor de baja presión	0.091 Ton	50.00 Ton	4.55	9.10	13.65
Agua de enfriamiento	2.24 m <sup>3</sup>	0.42 m <sup>3</sup>	0.94	1.88	2.82
Electricidad	11.695 Kw-h	2 Kw-h	23.39	46.78	70.17
Nitrógeno ultra alta pureza	5x10 <sup>-5</sup> m <sup>3</sup>	183 m <sup>3</sup>	9.15 x 10 <sup>-3</sup>	0.02	0.03
<b>TOTAL</b>			<b>28.89</b>	<b>57.78</b>	<b>86.67</b>

## c) Almacén

- ◆ Envases de plásticos cuyo material será de polietileno de 1L: 8.00 \$/Kg de aceite esencial
  - ◆ Etiquetas: 0.50 \$ para c/envase (1L)
  - ◆ Caja de cartón (1.0 \$/ lote de 12 envases de 1L c/u): 0.083 \$/ Kg de aceite esencial
- Total: 8. 583 \$/ Kg de aceite esencial**

## 4.2.5.10. – Gastos de operación

GASTOS DE OPERACIÓN (en un solo turno)	
VARIABLES	\$/ Kg de aceite esencial
Laboratorio de control de calidad	584.80
Mantenimiento y refacciones	62.31
Supervisión	877.20
<b>TOTAL</b>	<b>1, 524.31</b>

Capital	\$/año
Inversión total	419, 961.4
Gastos de operación	6, 097.2
<b>TOTAL</b>	<b>426, 058.6</b>



## 4.2.5.11. – Gastos fijos

Cargo	Especificación	Cantidad total	% Tasa	Cargo fijo a 10 años de vida útil
Depreciación	Obra civil	10, 500.00	3.5	1, 013.25
	Equipo de proceso	51, 141.00	10	5, 114.10
	Vehículos	46,000.00	25	3,450.00
	Equipo de laboratorio	8, 000.00	10	800.00
Amortización	Instalación y supervisión	11,762.43	10	1, 176.24
<b>TOTAL</b>				<b>11,553.60</b>

## 4.2.5.12. – Gastos anuales totales

Gastos anuales totales	\$/ año
Gastos de operación	6, 097.2
Gastos fijos	11,553.6
<b>Total</b>	<b>17, 650.8</b>

## 4.2.5.13. – Ganancia anual

Ganancia	\$/ año
Valor de la producción anual	41, 351.1
Gastos anuales totales	17,650.8
<b>Total</b>	<b>23,700.3</b>

## 4.2.5.14. – Costo de lo vendido

Costo de lo vendido: 1 Kg de aceite esencial producido al mes	
Variable	\$/ Kg de aceite esencial
Materia Prima (50 Kg de orégano seco)	450.0
Mano de obra	947.4
Servicios auxiliares	28.89
Almacenaje y envasado	8.583
<b>Total</b>	<b>1, 434.90</b>

**CONCLUSIONES**

Este proyecto se da por concluido que al poner en operación el destilador continuo para la obtención de aceites esenciales es muy factible desde el punto de vista **económico**, esto esta sustentado en el hecho de que al momento de determinar las **ventas netas** y realizando una comparación con los **gastos totales** (sabiendo que estos últimos son la suma de los gastos fijos y los gastos variables), se tiene que las ventas netas son mayores que los gastos totales, generándonos en consecuencia una ganancia considerable.

Al plantear el diseño y construcción del destilador continuo es muy factible, desde el punto de vista de **operación**, esto es; el costo de mano de obra, servicios auxiliares resultarán costos óptimos a comparación de un destilador por lotes. Puesto que en un destilador por lotes siempre hay pérdidas de energía (vapor de agua con aceite esencial) en el momento de realizar mantenimiento y cambio de lote en este equipo; y por consecuencia, mayor costo en la mano de obra. Y por el contrario, en un destilador continuo se tendrá un ahorro considerable en el consumo de los servicios auxiliares y en cuanto al mantenimiento del equipo sólo se hará cuando se desee extraer otro tipo de aceite esencial, por lo tanto; tendremos un producto de muy buena calidad.

Por otro lado, el proceso de extracción de aceites esenciales y en especial, el **orégano mexicano**, se tiene un **rendimiento** del **2%** a comparación con los de la competencia, y a esto contribuye considerablemente el costo muy competitivo en el mercado internacional.

Y como se observó en los cálculos del **valor de la producción** es muy alto el que se pagaría por un proyecto así, en principio si es muy costoso obtener el aceite esencial. Más sin embargo, a largo plazo será muy rentable a **3 años**, viéndolo por el lado positivo, se estará obteniendo aceite esencial de plantas mexicanas en nuestro país; y desde luego, habrá posibilidades de ser un país exportador de aceites esenciales.

De lo anterior, una de las perspectivas que se tiene contemplado en este proyecto es convencer ante posibles inversionistas mexicanos del ramo farmacéutica y agrícola quienes son los principales usuarios del aceite esencial de la promoción de este proyecto es muy rentable a largo plazo y llevarse a cabo a **escala planta industrial**. A esto, contribuirá beneficios a los campesinos y ejidatarios recolectores de plantas aromáticas (**orégano mexicano: *Lippia Graveolens***) de nuestro país ampliando oportunidades de trabajo y por su puesto, creando una infraestructura para comercializar productos con alto valor agregado, en lugar de materias primas que se exportan.

Por otra parte, se ha vencido el reto propuesto al principio de la tesis en el *diseño del destilador continuo* y las consideraciones en que se ha establecido un procedimiento seguro de diseño para nuevos sistemas en la obtención de aceites esenciales vía destilación por arrastre de vapor. Y la práctica general está a primero reducir el material de planta que se procesará a un tamaño conveniente para exponer tanta área como sea posible al vapor.

Además con los datos disponibles indican que la capacidad de flujo del aceite esencial producido por hora aumenta con **1)** la menor velocidad del motor – reductor en el eje giratorio, **2)** la disminución del diámetro de los discos giratorios (**eje giratorio**), y **3)** la disminución de las aberturas entre cada plato (área de contacto (**malla #20**) entre el vapor de baja presión y la materia prima), es decir, se diseño de acuerdo al área total de los orificios que se ajusta del **15 a 25 %** de la sección transversal de la columna sujeto a verificaciones de la presión de diseño y el espacio será muy reducido con el fin de retener un cierto tiempo de residencia dentro del destilador.

Teniendo en cuenta que el escape del vapor de baja presión en la parte inferior del destilador no se tendrá ninguna fuga ya que se diseño con una mínima perforación de salida del bagazo y este se abrirá una vez que haya completado el proceso de extracción en 30 minutos; y de esa manera no será tan fácil de que se escape el vapor por el fondo del destilador estableciendo así el proceso continuamente. También se consideró la instalación de la tolva con tornillo sinfín de que no se escape el vapor haciendo una pequeña perforación para que entre sin ningún problema la materia prima hacia al destilador.

Finalmente, una vez que se haya decidido construir e instalar el destilador continuo en el laboratorio y hacer pruebas experimentales para definir su eficiencia de trabajo; se tiene pensado buscar alternativas para poder patentar este proceso a través del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI).

**PAGINACIÓN  
DISCONTINUA**

## ANEXO I

## ACEITES ESENCIALES

Nombre del aceite esencial*	Fuentes geográficas	Métodos de producción	Parte de la planta utilizada	Compuestos principales**
Almendra amarga	California, Marruecos	Vapor	Semillas	Bezaldehído 96 a 98% HCN 2 a 4%
Laurel Bergamota	Indias orientales	Vapor Exprimido	Hojas Piel	Eugenol 50% Acetato de linalilo 40% Linalol 6%
Alcarabeca	Norte de Europa Holanda	Vapor	Semillas	Carvona 55% d-limoneno Aldehído cinámico 70% Cedreno Cedral
Canela	Ceilán	Vapor	Corteza	Aldehído cinámico Eugenol
Citronela, Java	Java, Ceilán	Vapor	Herbaje	Geraniol 65% Citronelal
Clavo	Zanzíbar, Mandagascar Indonesia	Vapor	Brotes (clavos)	Eugenol 85 a 95%
Cilantro	Europa Central, Rusia	Vapor	Fruto	Linalol, pineno
Eucalipto	California, Australia	Vapor	Hojas	Cineol (Eucaliptol) 70 a 80%
Geranios	Países Mediterráneos	Vapor	Hojas	Ésteres de geraniol 30% Citronelol
Jazmín	Francia, Egipto, Italia	Pomada fría	Flores	Acetato de bencilo Linalol y sus ésteres
Lavanda	Área mediterránea	Destilación	Flores	Linalol
Limón	California, Sicilia	Expresión	Piel	d-limoneno 90% Citral 3.5 a 5%
Naranja dulce	Florida, California, área Mediterránea	Exprimido Destilación	Piel	d-Limoneno 90%
Menta	Michigan, Indiana	Vapor	Hojas y ápices	Mentol 45 a 90% y sus ésteres
Rosa	Bulgaria, Turquía	Vapor Disolvente Enflurage	Flores	Geraniol Citronelol 75%
Sándalo	India, Indias Orientales	Vapor	Madera	Santalol 90% Ésteres 3%
Hierbabuena	Michigan, Indiana	Vapor	Hojas	Carvona 50 a 60 %
Tuberosa	Francia	Enflurage Extracción por disolventes	Flores	Aceite tuberoso

\*Esencial no significa lo más necesario sino la característica concentrada o quinta esencia de un sabor natural o fragancia.

**\*\* Los compuestos disueltos en aceites esenciales se pueden clasificar como:**

- 1. Ésteres.** Principalmente de ácido benzoico, acético, salicílico y cinámico
- 2. Alcoholes.** Linalol, geraniol, citronelol, terpinol, mentol y borneol
- 3. Aldehídos.** Citral, citronelal, benzaldehído, cinamaldehído, aldehído cumínico, vainillina
- 4. Ácidos.** Benzoico, cinámico, mirístico, isovalérico todos en estado libre
- 5. Fenoles.** Eugenol, timol, carvacrol
- 6. Cetonas.** Carvona, mentona, pulegona, irona, fenchona, tujona, alcanfor, metilnonil, cetona, metil heptenona
- 7. Ésteres.** Cineol, éter interno (eucaliptol), anetol, safrói
- 8. Lactonas.** Cumarina
- 9. Terpenos.** Canfeno, pineno, limoneno, felandreno, cedreno
- 10. Hidrocarburos.** Cimeno, estireno (feniletileno)

## ANEXO II

No.	Siglas	Significado
1	ACI	AMERICAN CONCRETE INSTITUTE
2	AGA	AMERICAN GAS ASSOCIATION
3	AICHE	AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS
4	AISC	AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION
5	AISI	AMERICAN INSTITUTE OF STEEL AND IRON
6	ANSI	AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE
7	API	AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE
8	ASME	AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS
9	ASTM	AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS
10	AWS	AMERICAN WELDING SOCIETY
11	AWWA	AMERICAN WATER WORKS SOCIETY
12	CFE	COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD
13	DGN	DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS
14	DIN	DEUTSCH INDUSTRIAL NORMS
15	GPSA	GAS PROCESSORS SUPPLIERS ASSOCIATION
16	IEC	INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
17	IEEE	INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS
18	IIE	INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELÉCTRICAS
19	ISA	INSTRUMENTATION SOCIETY OF AMERICA
20	ISO	INTERNATIONAL STANDARIZATION ORGANIZATION
21	NACE	NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS
22	NEC	NATIONAL ELECTRICAL CODE
23	NEMA	NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION
24	NFPA	NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION
25	NMX	NORMAS MEXICANAS
26	NOM	NORMAS OFICIALES MEXICANAS
27	OSHA	OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION
28	SSPC	STEEL STRUCTURES PAINTING COUNCIL
29	TEMA	TUBULAR EXCHANGERS MANUFACTURERS ASSOCIATION
30	UL	UNDERWRITER LABORATORIES
31	USP	UNITED STATES PHARMACOPEDIA USP XXIV
32	WPCF	WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION

**ANEXO III****ESPECIFICACIÓN DEL TORNILLO SIN FÍN Y LA TOLVA DE ALIMENTACIÓN  
(TIPO COMERCIAL)****Características técnicas**

Los dosificadores con tornillo sin fin (modelo C) son máquinas indispensables para dosificar con esmero cualquier material, siendo muy versátiles pues son idóneos también para materiales escurridizos con una gran variación de granulometría y densidad.

**Características constructivas**

Cuerpo y tolva en acero inoxidable AISI 304 o 316. Elemento para la dosificación constituido por un tornillo en acero inoxidable AISI 304 tipo espiral o tornillo sin fin disponible en las distintas dimensiones previstas para los respectivos tamaños de las máquinas. Rompe puente con aspas en acero inoxidable AISI 304. Transmisión mediante motor-reductor acoplado con el tornillo de dosificación con juntas elásticas.

**Accesorios para la versión gravimétrica**

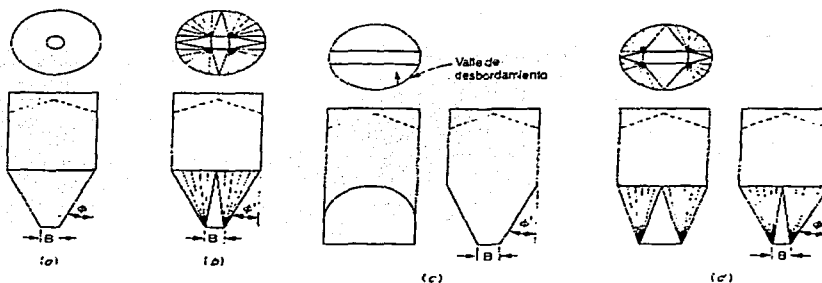
Plato balanza con celda de carga, con distintas capacidades de acuerdo al tamaño, hasta un máximo de 300 Kg con base en acero inoxidable AISI 304 Se monta una única celda de carga con flexión tipo off-center.

Además se disponen distintos instrumentos para el pesaje, los mismos son ideales para satisfacer las distintas exigencias sea de dosificación continua.

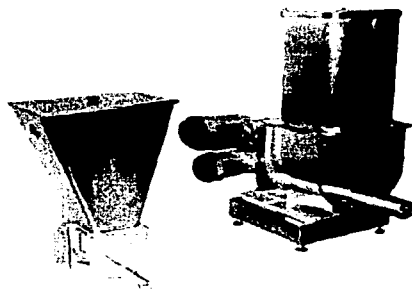
**Características técnicas**

Los dosificadores con tornillo sin fin (modelo C) son máquinas indispensables para dosificar con esmero cualquier material, siendo muy versátiles pues son idóneos también para materiales escurridizos con una gran variación de granulometría y densidad.



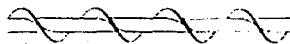


Tipos de tolvas de flujo de masa. El tipo c) es simple pero tiene un valle. Aunque de construcción más difícil, el tipo d) carece de valles y se suele recomendar casi siempre.

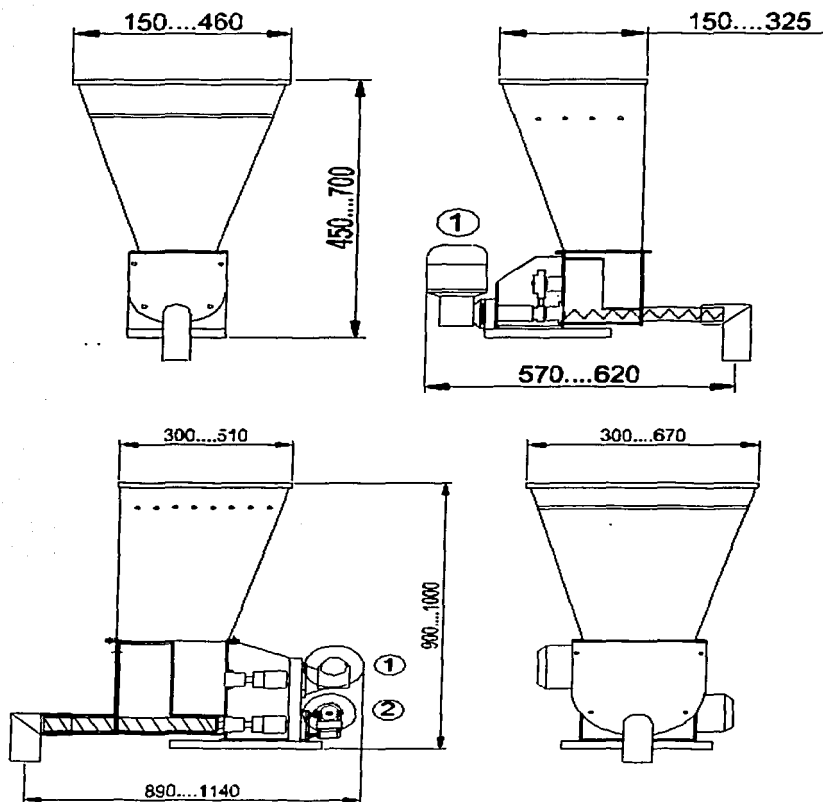


MODELO	Tolvas dm <sup>3</sup>	Capacidades Kg/h		Tornillos sin fin d x p (mm)	Motores Kw	
		Min.	Max.		1	2
C(W)S1	10,20,30,40,60	0,2	15	17x17	0.18	
C(W)S2	10,20,30,40,60	1	100	30x30	0.18	
C(W)M1	40,100,125	20	400	60x60	0.37	0.75
C(W)M2	40,100,125	40	2000	80x80	0.37	0.75

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



MOD. Tornillos sin fin estándar P



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

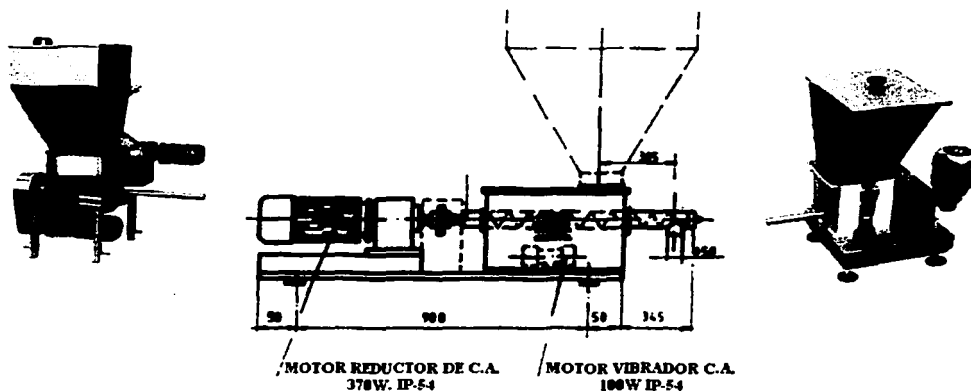
MONTINDUSTRIA de Estados Unidos fabrica e instala equipos de **Dosificación Volumétrica y Gravimétrica** para procesos industriales. Estos equipos son muy indicados a la hora de la **formulación**, y de alimentar otro equipo con las cargas justas de los diferentes productos que intervienen en un proceso, etc.

La dosificación se puede realizar por **volumen o por peso**, siendo esta última la más fiable y necesaria para según que procesos, los dosificadores son equipos con una pequeña tolva receptora del producto, con un sistema de rompe - bóvedas en su interior y un husillo simple o doble, según sea la necesidad o la precisión, su correspondiente motor y control electrónico.

La dosificación, puede ser de varias maneras a definir por el proceso que se requiera, puede ser por tiempo, por pérdida de peso, etc. También puede estar con aislamiento térmico, con tolvas en goma, etc.

Se fabrican en **acero al carbono, acero inoxidable AISI 304 y 316**, así como con otros materiales, a petición del proceso, del producto o del cliente

Los dosificadores son **muy útiles a la hora de la dosificación final** del producto en otro equipo, ya que con el equipo de pesaje en el caso de los gravimétricos podemos afinar muy mucho los pesos.

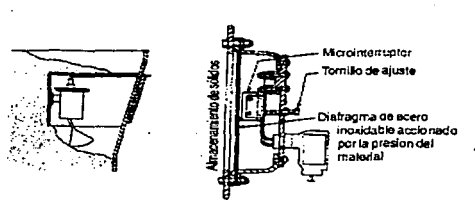


TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

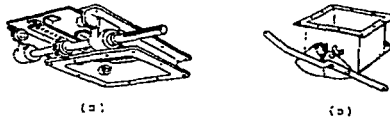
La tolva de acero inoxidable es fácilmente desmontable sin el empleo de especiales ni aparatosas herramientas; para su normal y si es el caso su diaria limpieza, una especial importancia se ha dado al acabado del equipo, aunque está realizada en Acero Inoxidable, que es fácilmente lavable y con paneles de acceso al motor y la transmisión fácilmente accesible.

El cuadro del control del equipo se ha diseñado fuera y comprende pantalla táctil en poliéster y un display de visualización de los datos.

De absoluta novedad es el sistema de rompe bóvedas, patentado, construido de dos parrillas oscilantes, que se mueven en el interior de la tolva y paralelamente a las paredes de esta, provocando no solamente la rotura de las posibles bóvedas creadas por el producto, sino que soto poniendo el material de una densidad de masa uniforme, asegurando de este modo, una presión constante del producto encima del husillo helicoidal de extracción y dosificación.



Unidad de control del nivel de las tolvas



a) Compuerta de cremallera y piñón y b) de cuadrante doble

El equipo permite de obtener una precisión muy elevada para un dosificador volumétrico, la frecuencia de oscilación puede ser regulada desde el panel de control y adaptada a los distintos tipos de productos.

El resultado de todo ello es una eficacia notable en esta unidad de excelente silenciosidad cuando esta funcionando. No se transmiten vibración del sistema rompe bóvedas al equipo durante la fase de trabajo y no transmiten vibraciones al sistema de dosificación.

**El dosificador esta dotado de dos motores, uno para el movimiento del husillo helicoidal de extracción del producto y otro para el sistema de rompe bóvedas. Los dos motores son completamente independientes y se accionan por mandos diferentes. Lo que significa que la velocidad de extracción y la agitación pueden ser reguladas de modo independiente y a voluntad propia, adaptándose en cada momento a las necesidades del producto manipulado.**

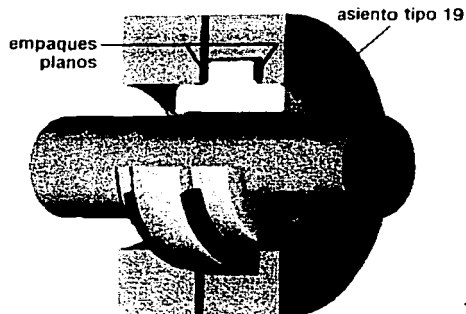
## ANEXO IV

## SELECCIÓN DEL TIPO DE SELLO MECÁNICO COMERCIAL

## DESCRIPCIÓN GENERAL

Este diseño de asiento consistirá en un anillo con sección en forma de "T", se le llama "clamped" ó "clamp-in" porque al instalarse el asiento queda sujeto, abrazado ó afianzado entre la brida ó mordaza primaria y la cara de la caja de estoperos (en ocasiones puede estar sujeto entre la brida y un adaptador de brida, ó entre un adaptador de brida y la caja de estoperos), para sellar las partes donde el asiento se sujeta al cuerpo de la bomba se utilizan empaques planos (juntas planas) los cuales generalmente son de asbesto ó PTFE, aunque si las presiones y temperaturas son muy altas se pueden utilizar juntas metálicas espirales.

Cuando por necesidades de espacio se requiera modificar el diseño del asiento, se le recorta uno ó los dos "hombros", en este caso al asiento se le conoce como tipo 19 modificado, pero el principio en cuanto a su instalación y aplicación sigue siendo el mismo.



corte transversal de un asiento tipo 19 instalado

Por sus características de diseño y por ofrecer el mayor rango de presión y temperatura, este tipo de asiento no tiene límites en cuanto a aplicaciones generales, su uso es esencial para lograr una instalación correcta y el óptimo funcionamiento en los sellos mecánicos de montaje externo.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**DATOS TECNICOS**

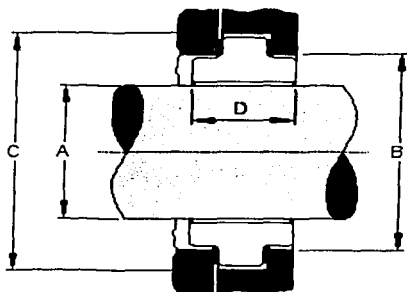
Este tipo de asiento es diseñado para ser la parte estacionaria del conjunto del sello, al instalarse debe quedar entre la caja de estoperos y la brida ya sea directamente ó con la ayuda de algún adaptador. Presión: Hasta 53 Kg/cm<sup>2</sup> (750 psi) en todas las medidas. Temperatura: Hasta 260 °C (500 °F) dependiendo de los materiales de construcción.

**MATERIALES DE CONSTRUCCION**

ASIENTO: Acero Inoxidable  
 EMPAQUE: Asbesto y PTFE.

**DIMENSIONES DE INSTALACION**

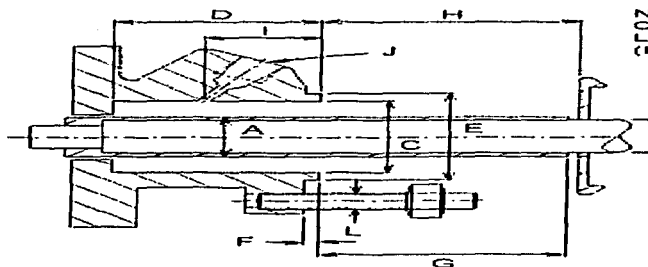
Todas las dimensiones están en pulgadas y cumplen con las especificaciones ANSI.



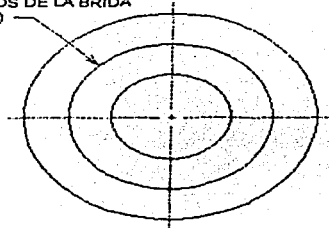
DASH	A	B	C	D
-16	1.000	1.625	2.125	0.880
-18	1.125	1.750	2.250	0.880
-20	1.250	1.875	2.375	0.880
-22	1.375	2.000	2.500	0.880
-24	1.500	2.250	2.750	0.880
-26	1.625	2.375	2.875	0.880
-28	1.750	2.500	3.125	0.880
-30	1.875	2.625	3.250	0.880
-32	2.000	2.750	3.500	0.880
-34	2.125	2.875	3.750	0.880
-36	2.250	3.000	3.875	0.880
-38	2.375	3.062	4.000	0.880
-40	2.500	3.250	4.125	0.880
-42	2.625	3.375	4.250	0.880

A = Diámetro de eje B = Diámetro de hombro C = Diámetro de caja D = Longitud del asiento

**TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN**



NOTI  
CAN)  
LIFICAR TAMAÑO,  
(FIDAD Y UBICACION DE  
BIRLOS DE LA BRIDA  
M. N)



**A** Diámetro de Camisa  
**B** Diámetro de Flecha  
**C** Diámetro de Caja  
**D** Profundidad de Caja  
**E** Diametro de Piloto

**F** Profundidad de Piloto  
**G** Longitud de Camisa  
**H** Próxima Obstrucción  
**I** Ubicación del Orificio  
**J** Diámetro de la Toma

**Birlos:**

**K** Cantidad  
**L** Tamaño  
**M** D.C.B.  
**N** Dist. Angular

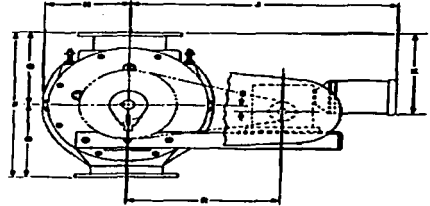
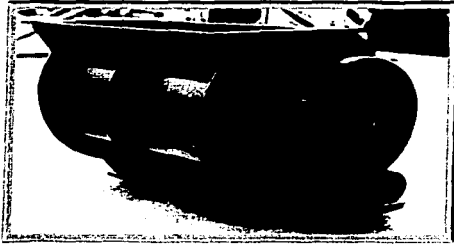
**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



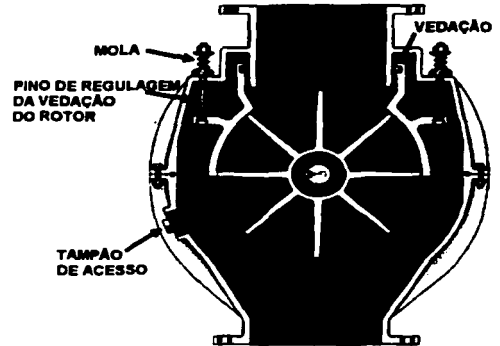
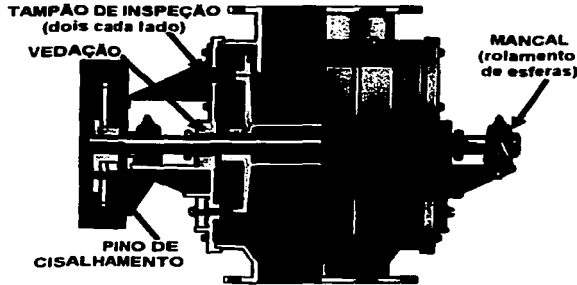
ANEXO V

ESPECIFICACIÓN DE LA VÁLVULA ROTATIVA

Esta válvula rotativa transporta materias sólidas en sentido vertical y el rotor esta dividido en varias cámaras que gira dentro de la carcasa el cual soporta el rotor. La distancia entre el rotor y la carcasa define el volteo de la entrada y la salida del material continuamente.



A continuación se presentan las dimensiones comerciales proporcionadas por los proveedores válvulas rotativas Detroit® y los alimentadores de baixa capacidades mencionan que las dimensiones de las válvulas tipo A y AA son las mismas. La única diferencia que el tipo A tiene una posición de 8 aletas en el motor y el tipo AA con 16 aletas en el motor.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

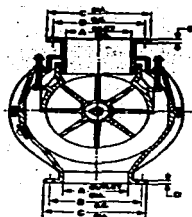
**ANEXO V**

Y el factor de eficiencia debe ser considerado al establecer las condiciones de alimentación (bagazo del orégano húmedo) para permitir que las partes del rotor no dañen completamente a medida que pasan a la entrada. La velocidad de motor es en función del tipo de material a transportar.

Tamaño	Potencia de acción	DIMENSIONES						
		ft. (Por rotación)		A	B	C	D	E
		TIPO A	TIPO AA					
10"	1	1.00	.86	10"	14 1/4"	16"	3/4"	7/8"
12"	1 1/2	1.50	1.35	12"	17"	19"	3/4"	7/8"
14"	2	2.25	2.00	14"	18 3/4"	21"	3/4"	1"

TAMAÑO	F	G	H	J	K	L
10"	2'-8"	16"	13 1/4"	3'-5 1/4"	17 5/16"	20 1/2"
12"	2'-10"	17"	14 3/4"	3' 7 5/8"	18 5/16"	21 1/2"
14"	3'-1"	18 1/2"	15 7/8"	3' 8 1/8"	19 13/16"	22 1/2"

TAMAÑO	M	N	P	R	S
10"	16 1/8"	1 15/16"	18 1/2"	24"	1 1/4"
12"	17 1/4"	2 3/16"	19 1/2"	24"	13/16"
14"	18 1/4"	2 3/16"	20 1/2"	24"	13/16"



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ANEXO VI

**ESPECIFICACIÓN DEL ORÉGANO SECO Y SU ACEITE ESENCIAL (Base de diseño)**

En proyectos anteriores hacen mención del estudio de la planta del orégano cuyo análisis hacen énfasis de la historia del mercadeo, uso y venta en el ámbito internacional. De hecho, se ha investigado físicamente las propiedades físicas del orégano mexicano y del propio aceite esencial del cual tomo parte de esta información ya que es vital importancia hacer mención de esta planta para nuestro proceso de extracción del aceite esencial por arrastre de vapor. <sup>(4,13)</sup>



**OREGANO MEXICANO**

➤ **Hábitat nativo**

El *Origanum vulgare* es originario principalmente de Turquía, se distribuye a través de Europa y Asia central. Se ha asilvestrado en México, Sudamérica (Argentina, Chile y Perú) y Oceanía (Nueva Zelanda). Las otras especies mencionadas tienden a tener un rango de distribución más restrictivo en Europa occidental y en la región Mediterránea.

Es una planta que se produce en grandes cantidades en ciertas regiones de México, sus características son las de un arbusto de 0.5 a 2 m de altura, sus tallos y ramas leñosas son muy ramificadas. Es de color café grisáceo, hojas ovales de 1.5 cm de largo por 0.5 a 3 cm de ancho, la floración se da en los meses de julio a septiembre. <sup>(14)</sup>

En la republica mexicana se conoce al orégano como: orégano del cerro, del campo, del monte, orégano real, taretá, salvia, hierba dulce, vicorichi, confite, peonía colorada y cancelilla.

Ahora bien, la materia prima que se va comprar será directamente con los campesinos del estado de Durango, cuya especificación de dicha planta pertenece al género *Lippia* Graveolens, tiene una altura de 60 cm, las flores presentan un color amarillo pálido, no presenta frutos y comienza a crecer al comienzo de las lluvias, a finales de junio; y la floración alcanza a finales de agosto y durante el mes de septiembre. <sup>(14)</sup>

El período de corte va desde agosto hasta octubre y principios de noviembre.. Además tiene un periodo de vida de alrededor de 5 años aunque en algunas ocasiones dura mayor tiempo. En cuanto al lugar donde se siembra es en suelos arcillosos o rocosos cuyo clima es seco y semi desértico entre los 1, 200 y 3, 000 m sobre el nivel del mar.

### ➤ **Componentes químicos claves**

En esta hierba los componentes químicos claves se encuentran en las flores y hojas. Se pueden encontrar en la planta ácidos como el ursólico, rosmarínico, clorogénico y ácidos fenólicos. También presenta sustancias tánicas, elementos minerales, principios amargos, y derivados del apigenol, del luteolol y del diosmetol. En el aceite por otra parte esta constituido principalmente por carvacrol y timol. En menor proporción hay fenoles, pinemo y ciremo como también sesquiterpenos y alfa-thuyona, dipenteno, alfa-terpineno y otros.

### ➤ **Ingredientes activos**

Los ingredientes activos del orégano se encuentran en la esencia, ya que posee aceites esenciales, taninos (responsable del amargor) y resinas. Está presente tanto en las flores como en las hojas.

### ➤ **Definición del producto**

Básicamente existen dos productos diferentes producidos a partir del orégano. Hojas y sumidas florales: las hojas extraídas, pueden ser consumidas tanto frescas como secas. Poseen un olor aromático, agradable y un sabor un poco amargo. Aceite esencial de orégano: este se obtiene de las flores de la planta, por lo que debe ser cosechada en plena floración para asegurar un rendimiento adecuado. La composición del aceite es variable.

### ➤ **Variedades del orégano**

Existen variedades del orégano del cuál podemos disponer en momento dado. Y se estima que existen 14 especies que se distribuyen en una superficie mayor a los 35.5 millones de hectáreas y estas son: <sup>(12)</sup>

## VARIEDADES DEL ORÉGANO MEXICANO

FAMILIA	GENERO	ESPECIE	
VERBENÁCEAS	LIPPIA: por su abundancia y distribución (el que más se comercializa).	<b>Lippia Berlandieri:</b> Se siembran en los estados de Tamaulipas, Sinaloa, Zacatecas, Oaxaca, Coahuila, Durango, Querétaro, Jalisco, Puebla, Hidalgo, Veracruz y Guerrero. Y se caracteriza por ser arbusto aromático de 1m hasta 5m de altura, con tallos leñosos y muy ramificados; sus hojas son oblongas o elípticas de 1.5 cm de longitud y 0.5 de amplitud.	
		<b>Lippia Graveolens:</b> esta especie se da en Chihuahua, Tamaulipas, Durango, Querétaro e Hidalgo. Es un arbusto pequeño de 0.5 a 2 m de alto, sus hojas aromáticas son ovado - oblongas, las flores son muy abundantes todo el año.	
		<b>Lippia Palmeri:</b> se siembra en el Noroeste de México. Es una especie de 0.5 a 2 m de alto. Con tallos leñosos cerrados, hojas pecioladas, ovadas de 1 a 2.5 cm de longitud.	
	LANTANA: se localizan en casi todo el país en lugares con clima cálido	<b>Lantana Involucrata:</b> el arbusto tiene de 0.5 a 2 m de alto con hojas ovadas de 1 a 6 cm de longitud	
		<b>Lantana Velutina:</b> es un arbusto con 2 m de alto con tallos lisos, ramas delgadas, hojas elípticos y de 1 a 3 cm de longitud.	
LABIADAS	POLIOMINTHA	<b>Longiflora:</b> Es un arbusto pequeño de 30 cm de alto con hojas de 5 a 10 mm de longitud, se distribuye en los estados de Sanluis Potosí y Coahuila.	
	MONARDA	<b>Austromontana</b>	Ambas especies herbáceas de hojas opuestas y aromáticas y se siembra en Chihuahua, Sonora y Nuevo León.
		<b>Citrodora</b>	
	HEDEOMA	<b>Floribunda</b>	Se siembran en Chihuahua y Sonora
		<b>Patens</b>	
	CALAMINTHA	<b>Potosina:</b> es una planta herbácea de hojas opuestas que se siembran en San Luis Potosí	
HYPTIS	<b>Albida:</b> es un arbusto de 1.5 a 4 m de altura con hojas lanceoladas, oblongas de 2 a 6 cm de longitud; y se siembra en Sonora, Chihuahua, San Luis Potosí, Guanajuato y Guerrero.		
LEGUMINOSAS	GORDOGUIA	<b>Micromeroides:</b> se da en San Luis Potosí, es un arbusto de 40 cm de altura con hojas sésiles, opuestas, lineal - oblongas de 6 a 18 mm de longitud.	
	DALEA	Su uso es de tipo doméstico regional	
COMPUESTAS	BRICKELLÍA	<b>VERONICAEFOLIA:</b> es una planta erecta de 1m de altura con ramas oscuras de color púrpura, hojas pequeñas, ramificados de 8 a 9 mm de largo. Se siembra en Coahuila, Oaxaca, Estado de México y Puebla.	

**➤ Visión general del mercado<sup>(3)</sup>**

El orégano es una de las especias más utilizadas, por lo que se puede encontrar más información de mercado que en el caso de otras hierbas. La superficie mundial con cultivo de orégano suma aproximadamente 34.000 Has, centralizándose en la cuenca Mediterránea, y otras zonas como Norte América con unas 3.400 Hás, 1.350 en Perú, 1.000 en Chile y 400 en Argentina.

Mayormente se cultivan las especies *Origanum* en Europa y Sudamérica, mientras que *Lippia graveolens* se produce en México. La producción global de hoja deshidratada de orégano (*Origanum vulgare*) se estima en más de 60.000 toneladas, sin considerar la producción fresca que se destina a congelado y producción de aceites esenciales y oleorresinas.

Durante el período 1997- 1999 hubo un cambio de oferentes a nivel mundial, reemplazando Turquía a Marruecos, manteniéndose Grecia y México. Los precios spot Nueva York para el producto deshidratado es de US\$ 3,75/Kg (Extra Fancy), US\$ 2,85/Kg (30 Mesh Fancy) y US\$ 2.35/Kg (30 Mesh) para el producto turco; de US\$ 2.98/Kg (30 Mesh) para el griego; y US\$ 2,87/Kg (Hoja Entera) para el mexicano.

Existe un potencial apreciable para la exportación de orégano fresco y congelado, donde Australia, EE.UU. y países europeos son consumidores importantes. El Reino Unido importó en 89,500 Ton desde Chile, abriendo una oportunidad de mercado, que por problemas de calidad, no se pudo conservar. Por otro lado, la producción global de aceite de orégano es del rango de las 30 toneladas, equivalente a 6,000 Ton. Centralizada en países de la cuenca Mediterránea (Albania; España; ex Yugoslavia; Portugal y Turquía), con principal destino los EE.UU., con precios de US\$ 25 - 35 / Kg.

En Argentina 2003 e Israel se observó que las exigencias actuales de mercado para el orégano deshidratado es la comercialización de producto de muy buena calidad, que deben cumplir simultáneamente el tener color verde característico y fuerte aroma. Si producto no cumple ambas características el precio será deprimido. En cambio si los cumple, los precios podrá superar los US\$ 3.5/ Kg.

Los productos de orégano deshidratado de calidad superior son apetecidos por los procesadores, quienes los usan para hacer mezclas para usuarios finales específicos. Esa tendencia ha sido muy marcada por la industria alimentaria de Israel, la cual procesa orégano deshidratado con distintos orígenes y lo exporta a usuarios de distintos países de la CE y EE.UU

En la actualidad, se sabe que la producción anual del orégano mexicano es más de 10, 000 Ton. Nuestro país ha participado durante una década al 40% de la producción mundial en el mercado internacional, lo cual se ubica como el principal productor. El segundo lugar lo ocupa Turquía con el 30 % y el tercer lugar Grecia con el 22.5%.

El comercio del orégano mexicano se realiza en Estados Unidos, al cual se exporta alrededor del 85% de la producción nacional; el 10% va al mercado doméstico y el 5% a países europeos y asiáticos. La aceptación del orégano mexicano se explica por su calidad, expresada en su gran poder saborizante.

Finalmente, se ha comparado el orégano proveniente de Grecia (*Origanum Heracleoticum*) y de Turquía (*Origanum Smyrnaeum*) con el orégano mexicano (*Lippia Graveolens*) que la calidad del orégano mexicano es superior al turco y al griego, referido a la composición química del aceite esencial.<sup>(14)</sup>

#### Componentes químicos del orégano que determinan su calidad comercial

Componentes	Orégano turco <i>Origanum Smyrnaeum</i>	Orégano mexicano <i>Lippia Graveolens</i>	Orégano griego <i>Origanum Heracleoticum</i>
Carvacrol	74.06 %	24.84 %	58.71 %
<b>Aceite esencial</b>	<b>1.500 %</b>	<b>2.000 %</b>	<b>1.500 %</b>
Timol	1.360 %	12.02 %	4.230 %
$\rho$ - címeno	5.280 %	27.98 %	11.51 %

### ACEITE ESENCIAL DEL ORÉGANO

#### ➤ Características organolépticas

El aceite esencial del orégano es un líquido de color amarillo a pardo con un sabor picante y olor similar al alcanfor, fuerte y aromático. Se encuentra en una porción de 1 a 2% que depende de la forma del cultivo de la planta, época del año, la situación geográfica y las condiciones climatológicas. Las hojas y sumideros florales tienen un fuerte, pero agradable olor aromático y un sabor algo amargo.

#### ➤ Propiedades físicas

Las propiedades físicas del aceite esencial del orégano son:<sup>(14)</sup>

Densidad a 20 °C	0.9374 g / mL
Densidad a 25 °C	0.9346 a 0.9350 g / mL
Concentración de timol	9 %
Concentración de carvacrol	52 %
Concentración de fenol	39 %
Solubilidad a 20 °C	2.5 v/v en 70 % de alcohol
Rotación óptica	6.90 °
Índice de refracción a 20°C	1.5032 a 1.5030
Gravedad específica a 20°C	0.9012

Y los componentes volátiles del aceite esencial del orégano de la clase *Lippia graveolens*:

Componente*	% composición
Eugenol	0.020
$\alpha$ - terpineno	0.150
Borneol	0.180
$\alpha$ - tujeno	0.280
$\beta$ - pineno	0.300
Camfeno	0.500
$\alpha$ - pineno	0.720
4 - terpineol	0.960
$\alpha$ - terpineol	1.110
Humeleno	1.300
Mirceno	1.500
$\beta$ - cariofileno	2.120
<b>Timol</b>	<b>12.02</b>
Desconocidos	12.03
<b>1, 8 - cineol</b>	<b>13.99</b>
<b><math>\rho</math>- cimeno</b>	<b>20.98</b>
<b>Carvacrol</b>	<b>24.84</b>

\* El aceite esencial de orégano *Lippia graveolens* esta constituido por más de 30 constituyentes (16 identificados). Entre los cuales el carvacrol es uno de los que encuentra en mayor proporción.

Mientras que las propiedades físicas de los constituyentes del aceite esencial están:

Compuesto	PM	PF (°C)	PE (°C)	$\eta_{20}$	FP (°C)	$\rho$ (Kg/cm <sup>3</sup> )	Apariencia
Timol	150.22	51	232	1.523	102	0.965	Cristales blancos
$\alpha$ - tujeno	152.24	---	86	1.456	64	0.925	Líquido incoloro
4 - terpineol	154.25		90	1.478	79	0.993	Líquido incoloro
Eugenol			255				
$\alpha$ - terpineno	136.24		175	1.478	46	0.837	Líquido incoloro
Borneol	154.25	208	212		65		Cristales blancos
$\beta$ - pineno	136.24	- 61	167	1.478	32	0.859	Líquido incoloro
Camfeno			159.5				
$\alpha$ - pineno	136.24	- 62.2	156	1.465	32	0.857	Líquido incoloro
$\alpha$ - terpineol	154.25		218	1.481	89	0.933	Líquido incoloro ó sólido blanco
Humeleno	204.36		129	1.503		0.892	Líquido incoloro
Mirceno	136.24		167	1.472	39	0.801	Líquido amarillo
$\beta$ - cariofileno	204.35		260			0.905	Líquido incoloro
1, 8 - cineol	154.25	2	177	1.457		0.921	
$\rho$ - cimeno	134.22		178	1.489	47	0.860	Líquido incoloro
Carvacrol	150.22	3.5	237	1.523	106	0.976	Líquido incoloro viscoso



➤ **Aplicaciones terapéuticas<sup>(1,4)</sup>**

Hojas y sumidas desecadas: esta planta presenta diversas aplicaciones medicinales, entre las que destacan su condición de tónica y digestiva, estimulante, antiséptica, sudorífica, entre otras. La preparación va a depender del efecto que se desea. Por lo general se hacen infusiones, cocciones u otras aplicaciones.

El aceite esencial se usa en perfumería para preparar perfumes y jabones. También se utiliza para preparar linimentos antirreumáticos, para la ciática y la artritis; y pomadas contra la dermatitis. Además, se utiliza como antiséptico y cicatrizante

➤ **Usos comunes<sup>(3)</sup>**

El orégano se conoce hierba culinaria tanto en cocina italiana y mexicana, siendo la italiana la preferida en la elaboración de pizzas y la que representa el mayor mercado mundial. Se consume en forma directa, ya sea fresca y deshidratada.

Las hojas deshidratadas de utilizan en varias industrias alimentarias, especialmente relacionadas a industrias de bebidas alcohólicas, cárnicas, productos lácteos entre otras. Debido a las propiedades antioxidante y antiviral que se han demostrado para esta especie, se han desarrollado durante los últimos años, una serie de extractos, ya sea para utilizar en industria de alimentos, o como Nutracéutico.

A nivel industrial, hay un producto antioxidante lanzado al mercado el año 2000, que se llama ORIGANOX, que ha tenido mucho éxito, puesto que es uno de los pocos antioxidantes naturales hidrosolubles, por lo que se puede utilizar en múltiples aplicaciones, especialmente para carnes frescas y envasadas al vacío.

El aceite esencial del orégano se usa como aditivo saborizante en alimentos y como aromatizante en sopas, detergentes y perfumes. Este aceite es rico en compuestos fenólicos como carvacrol, cuyos extractos tienen actividad antifúngicas y antihelmínticas, junto con aportar las características de aroma y sabor deseado.

Es un aceite muy potente con un olor picante, fragante. Esenciales, absoluto y los aceites de la resina son los materiales volátiles, fragantes extraídos de la raíz, la corteza, la madera, la semilla, la fruta, la hoja o la flor de una sola planta. Las plantas usadas para producir estos aceites se crecen en campos orgánicos certificados y de tercera persona son certificadas por la garantía de calidad internacional: no se utiliza ningunos productos químicos sintéticos en el crecimiento o el proceso de ellas.

**ANEXO VII****LISTA DE PROVEEDORES**

A continuación se presentan la lista de proveedores de la tolva con tornillo sin fin, sellos mecánicos, válvula rotativa y motor reductor que fueron encuestados para la estimación de costo de los equipos a escala planta piloto.

**PROVEEDORA Y SISTEMA DE BOMBEO**

Av. San Antonio No. 319-208 Col San Pedro de los Pinos  
03800 México, D.F.

México Tel: (+55) 5611-0751, 5611-0812

Fax: (+55) 5563-7277

,"COSMOS Online" - Industry Portal' "ventas@prosisbo.com.mx

Motor reductor con tornillo sin fin

**DISTRIBUIDORES DE REFACCIONES Y SELLOS MECANICOS**

Atenas No. 40, Despacho. 101 Col. Juárez

06600 México, D.F.

México Tel: (55) 5592-5858, 5592-5838, 5592-2701, 5566-0602

Fax: (55) 5592-5858

,"COSMOS Online" - Industry Portal' "diresem@prodigy.net.mx

**GRUPO INDUSTRIAL EN TORRES DE ENFRIAMIENTO S.A. de C.V.**

Av. Río Churubusco No. 2181 Col. Agrícola Oriental

08500 México, D.F.

México Tel: (+55) 5756-4552

Fax: (+55) 5756-4552

,"COSMOS Online" - Industry Portal' "fersale@df1.telnet.net.mx

**REDUCTORES JIV de MÉXICO S.A. de C.V.**

Mar Jónico No. 42 Col. Tacuba

11410 México, D.F.

México Tel: (55) 5386-3400, 5386-3928

Fax: (55) 5386-3279, 5386-3340

,"COSMOS Online" - Industry Portal' "redjivventas@avantel.net

**HAZEMAG S.A de C.V.**

M.E. Izaguirre 11-2o. Piso Col. Satélite

53100 Naucalpan, Edo. de Méx.

México Tel: (+55) 5572-9865, 5562-0071, 5572-2280, 5572-9874

Fax: (+55) 5393-7931

Suministro de Equipos y Sistemas de Calidad con Garantía de Fabricación y Funcionamiento

<http://www.hazmex.com>

,"COSMOS Online" - Industry Portal' "ventas@hazmex.com

**COMPAÑÍA GRAINGER DE ESTADOS UNIDOS (U.S.) <http://www.grainger.com> / DAYTON**

Motores Reductores de baja potencia

Cleaver Brooks de México S.A (*calderas*)

Laboratory Water Cooling Tower P.H. Hilton Ltd. Engineering King's Somboine Hants England (*torres de enfriamiento*)

**BIBLIOGRAFÍA GENERAL**

**CAPITULO I**

1. Abundis Luna, Agustín. Estudio técnico y económico para la instalación de una planta de extracción de aceite esencial de limón Tesis para obtener el título de Ingeniero Químico, Facultad de Química, UNAM, México 1988.
2. E. Treybal, Robert. Operaciones de transferencia de masa. 2da. Ed. 1998Mc Graw Hill.
3. Essential oil descriptions: [http:// www.naturesgift.com](http://www.naturesgift.com)  
[http:// www.taoherbfarm.com](http://www.taoherbfarm.com)  
[http:// www.taoherbfarm.com/herbs/herbs/oregano.htm](http://www.taoherbfarm.com/herbs/herbs/oregano.htm)  
[http:// www.vazel.com/spanish/tiposdea.htm](http://www.vazel.com/spanish/tiposdea.htm)
4. García Acuña, Gerardo. Obtención de carvacrol por destilación a partir de aceite esencial de orégano. Tesis para obtener el título de Ingeniero Químico, Facultad de Química, UNAM, México 2001.
5. García Furgardo, Jorge Alberto. Extracción de la pimienta gorda (pimienta diolcal mermill) y del orégano mexicano (lippia graveo lens hbk) empleando CO<sub>2</sub> en el estado supercrítico Tesis de M en C. en Ingeniería Química, México 1995.
6. George T., Austin. Manual de procesos químicos en la industria Tomo II. Mc Graw Hill, México 1988.
7. González, Jorge Damián. Recuperación de aceite esencial de té limón y citronela de las aguas de condensado de la destilación por arrastre de vapor de los mismos. Tesis para obtener el título de Ingeniero Químico, Facultad de Química, UNAM, México 1974.
8. Ibarra Peña, Tomás. Destilaciones por lotes y estudios de los modelos por simulación. Tesis para obtener el título de Ingeniero Químico, Facultad de Química, UNAM, México 1993.
9. Kirk - Othmer. Encyclopedia of Chemical Technology . A To Alkaloids. Fourth edition., Wiley - Interscience Publication , John Wiley and Sons Inc. U. S. A. , 1991
10. Leyva Hernández, Alberto. Extracción de aceites de menta a partir de Toronjil. Tesis para obtener el título de Ingeniero Químico, Facultad de Química, UNAM, México 1988.
11. Mcketta , John J. And William A. Conningham. Encyclopedia of Chemical Processing and Design. Vol. 5. Essential Oils. Marcel Dekker. Inc. , U.S.A., 1977
12. Melendez González, Rubén. Estado actual del conocimiento sobre el orégano en México. Universidad Autónoma Chapingo, México, 1991.

## **BIBLIOGRAFÍA GENERAL**

13. Ramírez Romero, Margarita. Planta de extracción de aceite esencial de orégano en región Nazas, Durango (Factibilidad térmica económica). Tesis para obtener el título de Ingeniero Químico, Facultad de Química, UNAM, México 2002.
14. The guide to Aromatherapy:  
[http:// www.fragrant.demon.co.uk](http://www.fragrant.demon.co.uk)  
[http:// www.agrogestion.cl/oregano/main.htm#20](http://www.agrogestion.cl/oregano/main.htm#20)  
[http:// www.honeywell.es/Hw\\_Awo\\_Legal.htm](http://www.honeywell.es/Hw_Awo_Legal.htm)  
[http:// www.motindustria.com/grupoA.htm](http://www.motindustria.com/grupoA.htm)  
[http:// www.fao.org/inpho/vlibrary/X0041S/X0041S00.htm#contents](http://www.fao.org/inpho/vlibrary/X0041S/X0041S00.htm#contents)  
[http:// www.servilab.lda.htm](http://www.servilab.lda.htm)  
[http:// www.tomal.htm](http://www.tomal.htm)  
[http:// www.burgmann.com](http://www.burgmann.com)
15. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Vol. A1. Abrasives to Aluminum oxide. Fifth completely revised edition. , Deerfield Beach, Florida U. S. A. , 1988
16. Vega Rodríguez, Guillermo, et.al. Extracción y caracterización de aceites esenciales de la hierbabuena y hoja santa. Tesis para obtener el título de Ingeniero Químico, Facultad de Química, UNAM, México 1986.
17. Vilbrandth, F.& Dryden. Ingeniería Química del Diseño de Plantas. Ed.Grijalbo México D.F. 1964.
18. Walas,Stareley M., Chemical Process Equipment Selection and Desing. Editorial Butterworth – Heinenmann. U.S.A. 1970.

### **CAPITULO II y III**

19. Alvarez Fúster, Dr. Constantino. Diseño de equipo, tanques y recipientes. Cuaderno de Posgrado núm. 25, Facultad de Química, UNAM, México 1995.
20. Baquero Franco, J., et.al. Equipos para la industria química y alimentaria. Editorial Alhambra, España 1985.
21. Crane Flujo de Fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. Mc. Graw Hill Book Company Inc. México, 1996.
22. Gael D. Diseño y economía de los procesos de Ingeniería Química. Mc Graw Hill, México 1994
23. Howard F. Rase Ingeniería de Proyecto para plantas de proceso. 6ta. ed. John & Sonc. Inc. México 1979.

## **BIBLIOGRAFÍA GENERAL**

24. Kern, Donald Q. Procesos de transferencia de calor. CECSA, México 1965
25. León Estrada, Juan Manuel. Diseño y cálculo de recipientes a presión. Editorial Compañía Inglesa, México 2001.
26. Ludwing, Ernest E. Appleid Process Design for Chemical and Petrochemical Plants vol.I, Mc Graw – Hill, U.S.A 1979
27. Mc. Cabe Adams, William. Transmisión de calor. Mc Graw Hill Book Company Inc. Madrid 1984.
28. Mc. Cabe Smith. Operaciones Unitarias de la Ingeniería Química. Mc. Graw Hill Book Company Inc. N.Y. 1974.
29. Perry, J. H. Chemical Engineering Handbook. 6ta.ed. Mc Graw-Hill Book Company Inc. Kogakusha Company Limited, Tokio, Japón, 1996.
30. Shibley, Joseph Eduard, Análisis cinemáticos de mecanismos. Mc Graw-Hill, México 1975
31. Walas W. Stanley. Rules of Thumb Selecting and Desinning Equipment. Chemical Engineering March 16, pág. 75 – 81; U.S.A. 1987

### **CAPITULO IV**

32. Baca Urbina, Gabriel. Fundamentos de Ingeniería Económica. McGraw-Hill México, 1994
33. Cámara Nacional de la Industria de Transformación (CANACINTRA)
34. Guthrie, K.M. Capital and Operating costs for 54 Chemical Process. Chemical Engineering, June 1970.
35. Hall, R. S. et.al. Estimating Process Equipment Costs. Chemical Engineering, Nov.21, 1998
36. Mulet, A. A.B. Corripio, L.B. Evans. Estimate costs of distillation and absorption tower via correlations. Chemical Engineering, December 28, 1981
37. Nacional Financiera (NAFINSA)
38. Peters, M.X. et.al. Plant Design and Economics for Chemical Engineers. McGraw-Hill Singapore, 1991
39. Ward, T.J. Cost and Estimating Methods. AIChE, Modular Instruction Series, Module G1.1
40. [http:// www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx)