



# **Diseño de un sistema de extracción de aceites esenciales de naranja por arrastre de vapor para la industria alimenticia.**

**Sebastián Franco Urrego**

Institución Universitaria Pascual Bravo  
Facultad de Ingeniería, Departamento de Mecánica  
Medellín, Colombia  
2023



# **Diseño de un sistema de extracción de aceites esenciales de naranja por arrastre de vapor para la industria alimenticia.**

**Sebastián Franco Urrego**

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Tecnólogo en Mecánica Industrial**

Director:

Ing., Adrián Gómez Zapata

Línea de Investigación:

Materiales

Grupo de Investigación:

GIEN

Institución Universitaria Pascual Bravo  
Facultad de Ingeniería, Departamento de Mecánica  
Medellín, Colombia

2023



## *Dedicatoria*

*Quiero dedicar este trabajo a mi familia, en especial a mi padre, madre y hermanos*

*Padre y madre, gracias por estar presente durante todas las etapas de mi vida, me han apoyado incondicionalmente en todas las decisiones que he tomado, gracias por ser mi guía, consejeros.*

*A mis hermanos les quiero decir que sin ellos no hubiera sido posible todo esto, son mi motivación y mi apoyo. Gracias por estar presentes durante este largo proceso animándome día a día.*

*Lo que importa en la vida no es lo que te ocurre, sino qué recuerdas y cómo lo recuerdas.*

Gabriel García Márquez



# Declaración de obra original

Yo, Sebastián Franco Urrego declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 009 del 15 de junio de 2018 del Consejo Directivo «Por medio del cual se expide el Reglamento sobre propiedad intelectual de la Institución Universitaria Pascual Bravo», y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la institución.

Sebastián Franco Urrego

Fecha 17/11/2023

## **Agradecimientos**

Quiero agradecer a todos los docentes, colaboradores y empleados del cuerpo administrativo de la Institución Universitaria Pascual Bravo por su gran labor, Gracias por compartir sus conocimientos, anécdotas y experiencias con nosotros los estudiantes.

A mis compañeros de carrera por su amistad, apoyo y compañerismo en estos años de estudio.

Quiero agradecer especialmente al Docente Dr. Adrián Augusto Gómez Zapata por su excelente apoyo y la dedicación en la elaboración de este proyecto de investigación.

## Resumen

### **Diseño de un sistema de extracción de aceites esenciales de naranja por arrastre de vapor para la industria alimenticia**

Debido al cultivo extensivo de la naranja que se da en el departamento de Antioquia, y la demanda de productos naturales para la elaboración de saborizantes, conservantes y esencias a base de residuos de la actividad agroindustrial de este fruto, se propone el siguiente diseño de sistema de extracción de aceites esenciales de naranja por arrastre de vapor para la industria alimenticia, el cual permite el aprovechamiento de dicha cáscara y la extracción de subproductos de ella con valor agregado para el mercado alimenticio; a parte de los que se podrían dar en otros sectores como la salud y farmacéutico. El sistema propuesto consta de los tres principales componentes para la extracción como es la caldera, el condensador, y el decantador, y se contempla para una cantidad de procesamiento de cáscara de aproximadamente 40 kg por cada lote de extracción. El diseño conceptual constó del dimensionamiento de los componentes y de algunos accesorios necesarios para el sistema, la definición de las características y de los materiales requeridos para su fabricación, la elaboración de planos en un software CAD, la elaboración de cálculos termodinámicos básicos, la definición de algunos procesos de manufactura para la elaboración de sus partes, y la estimación de algunos costos básicos mayores necesarios para la fabricación del sistema.

**Palabras clave: Aceites esenciales, procesos de extracción, aceite de naranja, residuos sólidos urbanos.**

## **Abstract**

### **Design of essential orange oil extraction system by steam distillation for the food industry**

The design of an essential orange oil extraction system is proposed based on the extensive orange cultivation in the Antioquia department and the demand for natural flavouring, preservatives, and essence products with a high added value obtained from these kinds of residues for the food industry, apart from those that could occur in other sectors such as health and pharmaceuticals. The proposed system consists of three main components: the boiler, the condenser, and the decanter, which have a processing capability of approximately 40 kg for each extraction batch. The conceptual design consisted of the sizing of the components and some accessories necessary for the system, the definition of the characteristics and materials required for its manufacture, the preparation of plans in CAD software, the practice of basic thermodynamic calculations, the purpose of some manufacturing processes to produce its parts, and the estimation of some significant basic costs necessary for the system manufacture.

**Keywords: Essential oils, extraction process, orange oil, solid urban waste.**





# Contenido

	Pág.
<b>Resumen</b> .....	<b>IX</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>X</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>XV</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>XVI</b>
<b>Lista de Símbolos y abreviaturas</b> .....	<b>XVII</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Estado del arte y marco teórico</b> .....	<b>3</b>
1.1 Antecedentes históricos .....	3
1.2 ¿Qué es un aceite esencial y qué lo compone? .....	4
1.3 Métodos de extracción de aceites esenciales.....	5
1.3.1 Extracción de aceite por arrastre de vapor.....	5
1.4 Aceite esencial de naranja .....	7
1.4.1 Árbol de naranja (Citrus sinensis) .....	7
1.4.2 Cultivos en Colombia.....	7
1.4.3 Uso de los aceites esencial de naranja en la industria alimenticia .....	8
1.5 Principios de termodinámica aplicados en la extracción de aceites esenciales ..	9
1.5.1 Conducción.....	10
1.5.2 Convección.....	11
1.5.3 Radiación.....	11
1.6 Cambio de fases de una sustancia pura (Agua) .....	11
<b>2. Desarrollo experimental</b> .....	<b>15</b>
2.1 Metodología de diseño conceptual .....	15
2.2 Cálculos para el sistema de extracción de aceites esenciales por medio de arrastre de vapor húmedo.....	17
<b>3. Resultados</b> .....	<b>19</b>
3.1 Metodología de diseño conceptual .....	20
3.1.1 Recipiente o alambique donde va situado la materia vegetal y el agua .....	21
3.1.2 Fuente de calor.....	21
3.1.3 Ductos conectores .....	21
3.1.4 Intercambiador de calor .....	22
3.1.5 Decantador de florentino.....	22
3.2 Cálculos para el colector diseñado.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

XIV Diseño de un sistema de extracción de aceites esenciales de naranja por arrastre de vapor para la industria alimenticia

---

3.3	Estimación de costos básicos .....	37
<b>4.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>41</b>
	<b>Referencias .....</b>	<b>43</b>

## Lista de figuras

Pág.

**Figura 2-1:** Tipos y parte del fruto de la cáscara de naranja. .... **¡Error! Marcador no definido.**

Nota: Si es requerido, se pueden incluir lista de ilustraciones, graficas, diagramas, dibujos o fotografías. Tenga presente que estas listaS deben ser generadas de forma automatizada utilizando las opciones que proporciona el software de procesamiento de texto.

## Lista de tablas

Pág.

**Tabla 2-1:** Participación de las energías renovables primaria. ....**¡Error! Marcador no definido.**

Nota: Si es requerido, se puede incluir la lista de cuadros, en caso que se utilicen en el desarrollo de la tesis o trabajo de investigación. Tenga presente que estas lista deben ser generadas de forma automatizada utilizando las opciones que proporciona el software de procesamiento de texto.

## Lista de Símbolos y abreviaturas

Esta sección es opcional, dado que existen disciplinas que no manejan símbolos y/o abreviaturas. Se incluyen símbolos generales (con letras latinas y griegas), subíndices, superíndices y abreviaturas (incluir sólo las clases de símbolos que se utilicen). Cada una de estas listas debe estar ubicada en orden alfabético de acuerdo con la primera letra del símbolo (en esta plantilla, el título del tipo de símbolo está en letra Arial de 14 puntos y en negrilla). Para escribir la definición en las tablas, se puede usar la herramienta de referencia cruzada (para textos editados en Microsoft Word). A continuación, se presentan algunos ejemplos.

### Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI
<i>V</i>	<i>Volumen</i>	$m^3$
<i>r</i>	<i>Radio</i>	$m$
<i>t</i>	<i>Temperatura</i>	$^{\circ}C$
<i>m</i>	<i>Masa</i>	$Kg$
<i>c</i>	<i>Capacidad calorifica</i>	$\frac{J}{Kg * ^{\circ}C}$
<i>L</i>	<i>Calor latente</i>	$\frac{J}{Kg}$
<i>Q</i>	<i>Cantidad energia calorifica</i>	$J$
<i>P</i>	<i>Potencia</i>	$W$
<i>W</i>	<i>Trabajo</i>	$J$
<i>T</i>	<i>Tiempo</i>	$seg$
<i>Vg</i>	<i>Volumen especifico</i>	$\frac{m^3}{Kg}$
<i>F</i>	<i>Flujo masico</i>	$\frac{Kg}{m^3 * seg}$
<i>U</i>	<i>Coefficiente transferencia calor</i>	$\frac{W}{m^2 * ^{\circ}C}$
<i>Pr</i>	<i>Numero prandtl</i>	
<i>K</i>	<i>Conductividad termica</i>	$\frac{W}{m * ^{\circ}C}$
<i>Cp</i>	<i>Calor especifico</i>	$\frac{J}{^{\circ}C * Kg}$
<i>Re</i>	<i>Numero reynolds</i>	
<i>Nu</i>	<i>Numero nusselt</i>	



# Introducción

La extracción de aceites esenciales es una práctica que data de hace aproximadamente 3.500 años AC, y que ha venido cobrando importancia a lo largo del tiempo, al igual que han ido en aumento las tecnologías aplicadas para a ello, y los conocimientos generados a partir de dichas prácticas. Cabe mencionar como uno de los hitos más importantes al respecto, la incorporación de la aromaterapia a la medicina natural a inicios del siglo XX a partir de la extracción de aceites esenciales de lavanda, y a partir de ese momento, la aplicación de la técnica para la obtención de aceites de muchas otras variedades vegetales para diferentes sectores económicos tales como la alimentación, el farmacéutico y el cosmético, sólo por mencionar algunos.

Si bien a nivel industrial y para ciertas especies es una tecnología madura, la necesidad de aprovechar y darle un valor agregado a los residuos sólidos urbanos, la extracción de aceites esenciales se ha convertido en una alternativa para la generación de ingresos o sostenimiento económico para hogares que deciden incursionar con aceites de nuevas especies o provenientes de algún tipo de residuo urbano, como es el caso de la cáscara de naranja, donde el departamento de Antioquia destaca por los altos índices de cosecha de dicho fruto.

Con base en experiencias exitosa en la construcción de prototipos para la extracción de aceites esenciales de especies con alto valor para la industria alimenticia y farmacéutica, desarrollados en varias universidades de Colombia y fundamentados en diferentes técnicas; dentro de las cuales se encuentra la de arrastre de vapor, como es el caso de López y Carvajal (E. López y J. M. Carvajal, 2009) de la Universidad Industrial de Santander, Mejía y Ortiz (H. Mejía B., y A. F. Ortiz, 2021) en la Universidad de Antioquia, y Hernández y Romero (A. L. Hernández, y L. Romero B., 2018); sólo por mencionar algunas, se presenta esta propuesta de diseño conceptual de un sistema para la

extracción de aceites esenciales de la cáscara de naranja por arrastre de vapor para la industria alimenticia.

En la primera parte del documento se hablará de la historia de los aceites esenciales y sus orígenes, seguidamente se mencionarán los diferentes métodos de extracciones de los aceites esenciales haciendo énfasis en el método por arrastre de vapor de agua, posteriormente se describirá brevemente la utilización del aceite esencial de la naranja, propiedades y usos en la industria alimenticia, y finalmente, se describirán brevemente los principios termodinámicos que se deben abordar para realizar los cálculos y diseño del equipo de extracción propuesto.

En la segunda parte se abordará el desarrollo experimental y la metodología utilizada para la elaboración del diseño conceptual del sistema de extracción, y la descripción de algunos de los conceptos y fundamentos termodinámicos teóricos necesarios para abordar la temática.

Por último, se presentan los resultados del diseño conceptual que comprenden el dimensionamiento de los principales componentes del sistema, los cálculos termodinámicos básicos, la definición de especificaciones y características de los materiales requeridos, los planos en un software de diseño asistido por computador (CAD, por sus siglas en inglés), y la estimación de costos básicos de los principales componentes del sistema.

# **1.Estado del arte y marco teórico**

A continuación, se presenta una breve descripción de los principales conceptos y fundamentación teórica sobre la cual está basada el funcionamiento del prototipo que se propone diseñar y que se fundamenta en los principios termodinámicos de transferencia de calor, para generar vapor de agua húmedo.

## **1.1 Antecedentes históricos**

Su uso y extracción se remonta a los años 3.500 años antes de Cristo. Los egipcios fueron los primeros en hacer utilización de estos, los utilizaban para aromaterapia con fines religiosos, medicinales y cosméticos. En la parte medicinal se empleaban para la elaboración de elementos cicatrizantes y curativos.

Los egipcios realizaban un proceso primitivo de destilación de los aceites esencias de las diferentes plantas. Calentaban las plantas en ollas de arcilla con la parte de arriba recubierta de lino, el vapor impregnaba los filtros de lino y al escurrirlos se obtenía el aceite esencial.

Más tarde los griegos tomaron la sabiduría medicinal de los egipcios mejorando el sistema de extracción. Estos Consiguieron preservar su fragancia y la pureza de los aceites. Los romanos fueron fervientes de la higiene personal por medio de aromaterapias y fragancias. Los árabes contribuyeron a incluir un sistema de refrigeración donde potenciaba los aceites y disminuían el desperdicio en el proceso.

Ya entrando en el siglo XX, el químico perfumista Rene Maurice Gattefosse incorporó la aromaterapia a la medicina natural. Al sufrir un accidente que generó quemaduras graves

#### 4 Diseño de un sistema de extracción de aceites esenciales de naranja por arrastre de vapor para la industria alimenticia

---

en su mano, al sumergirla en aceites esencial de lavanda, comprobó así sus efectos curativos calmando el dolor, evitando una infección y un mejoramiento en la cicatrización de su herida.

El Dr. Jean Valnet aportó la mayor contribución a la aromaterapia para ser valorada y reconocida como medicina capaz de curar. Durante la II Guerra Mundial utilizaba aceites esenciales para las heridas y quemaduras de los soldados. Conseguía aliviar el daño físico al igual que el psicológico.

En los años cincuenta del siglo XX, la bioquímica francesa Aguerite Maury, comenzó a utilizar los aceites esenciales en terapias de masaje, y fue premiada internacionalmente por sus investigaciones sobre los aceites esenciales y la cosmetología al servicio de la salud. (originalcherry, 2017).

## 1.2 ¿Qué es un aceite esencial y qué lo compone?

El término aceite esencial, presenta dificultad a la hora de encontrar un significado claro y contundente, ya que existen diferentes definiciones desde el punto de vista químico, botánico, espiritual e industrial. Sin embargo, se podría definir como la fracción vegetal aromática más importante, la cual puede contener diferentes mezclas complejas de hasta 100 componentes, producto del metabolismo secundario de las plantas.

Los aceites esenciales generalmente suelen estar compuestos de: Compuestos alifáticos de bajo peso molecular (alcanos, alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres y ácidos), Monoterpenos, sesquiterpenos y fenilpropanos. (M, 2001).

Al momento de realizar el proceso de destilación por arrastre de vapor húmedo de agua, se obtendrá otro subproducto denominado o conocido como hidro lato o agua perfumada, la cual contiene las mismas propiedades del aceite esencial, pero en una proporción más baja, y por ende, mucho más fácil de usar que el mismo aceite esencial por su baja

concentración. Sus principales usos son: tónicos faciales, perfumería, tónico capilar, cosméticos, baños, condimentos alimenticios, medicamentos caseros, etc.

### 1.3 Métodos de extracción de aceites esenciales

Existen diferentes tipos de extracción de aceites esenciales y su utilización depende de la variedad del material vegetal, parte de la planta a emplear, y estabilidad del aceite esencial que se pretende obtener. Dependiendo de las variaciones anteriores se tiene diversas técnicas de extracción, como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Métodos de extracción de aceites esenciales

Tipo de Método	Procedimiento	Productos obtenidos
1. Métodos directos	1.1.2 Extrusión	Aceites esenciales cítricos
	1.2.1 Exhudación	Gomas, resinas, bálsamos
2. Destilación	2.1 Directa	Aceites esenciales y aguas aromáticas
	2.2 Arrastre con vapor de agua	
	2.3 Destilación – maceración (liberación enzimática de agliconas en agua caliente)	
3. Extracción con solventes	3.1.1 Solventes volátiles	Infusiones y resinoides alcohólicos
		Concretos y absolutos
	3.1.2 Solventes fijos (grasas y aceites)	Absolutos de pomadas
		Absolutos de enflorados
	3.2 Extracción con fluidos en estado supercrítico	

**Fuente:** Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA. Introducción a la industria de los aceites esenciales de plantas medicinales y aromáticas. [En línea]. Repositorio institucional SENA. p 18. [Consultado: 18 de marzo del 2023]. Disponible en Internet: <https://goo.gl/FhDulZ>

#### 1.3.1 Extracción de aceite por arrastre de vapor

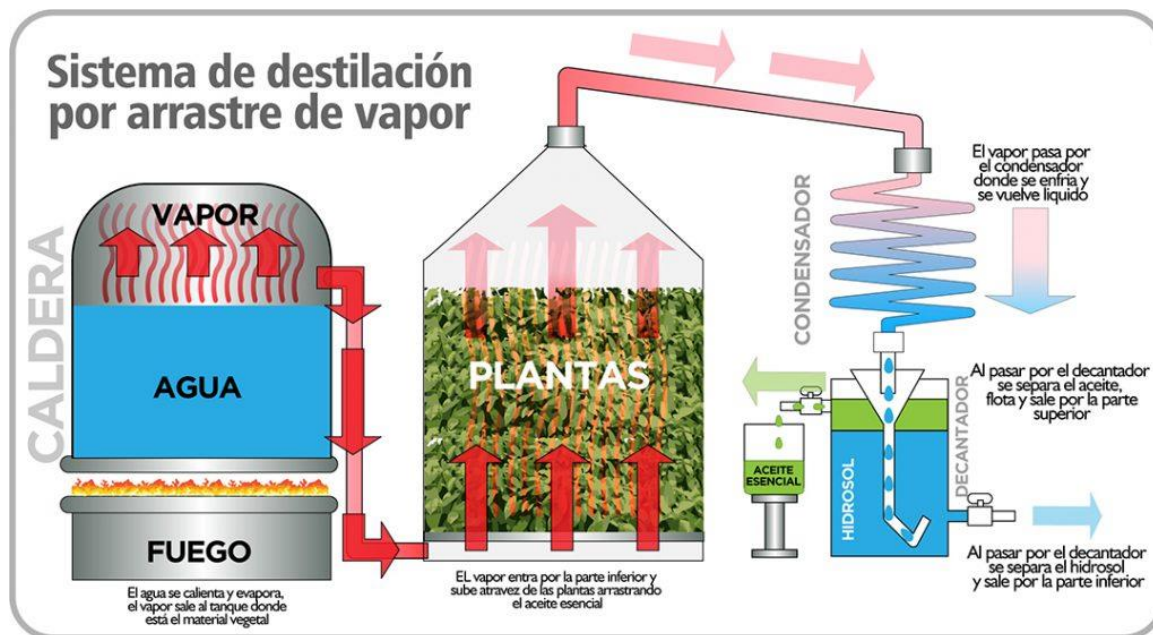
Es uno de los procesos más comunes para extraer aceites esenciales en la industria a nivel mundial, más no es aplicable en flores ni en materiales que se aglutinen. En esta técnica se aprovecha la propiedad que tiene la molécula de agua en estado de vapor para asociarse con la molécula de aceite.

## 6 Diseño de un sistema de extracción de aceites esenciales de naranja por arrastre de vapor para la industria alimenticia

Esta extracción se ejecuta cuando el vapor de agua entra en contacto con el material vegetal y éste libera las esencias, para luego pasar por el condensador. Con el fin de lograr extraer en su totalidad los aceites esenciales se recomienda tener una mayor superficie de contacto entre el vapor y la planta o cáscaras, de esta manera se asegura una mayor eficiencia en el momento de la extracción.

Este proceso consiste en inyectar vapor de agua por medio de una caldera externa, o dentro del mismo recipiente, calentar agua; la cual no puede hacer contacto con la materia vegetal para no aglutinarla. El vapor de agua provoca que los aceites esenciales se difundan desde la membrana de la célula hacia afuera. Estos vapores que salen son condensados por medio de un intercambiador de calor, el cual realiza el proceso de conversión del estado gaseoso a estado líquido, posteriormente el líquido es separado por medio de un decantador, separando el aceite esencial del hidrolato.

En la Figura 1. se puede apreciar el diagrama esquemático del funcionamiento de un sistema de extracción de aceites esenciales por arrastre de vapor y sus principales componentes.



**Figura 1.** Esquema de funcionamiento y diagrama de un sistema de destilación por arrastre de vapor.

**Fuente:** Terragua espíritu natural. [En línea] [Consultado: 18 de marzo del 2023]. Disponible en Internet:

<https://www.terragua.co/blog/que-es-un-aceite-esencial/>

Como se observa en la Figura 1. al final del proceso de destilación por arrastre de vapor de agua húmedo se obtendrán dos componentes diferentes, los cuales serán separados a través del decantador, obteniéndose en la parte superior del mismo el aceite esencial y en la parte inferior el hidrolato o agua perfumada.

## 1.4 Aceite esencial de naranja

### 1.4.1 Árbol de naranja (*Citrus sinensis*)

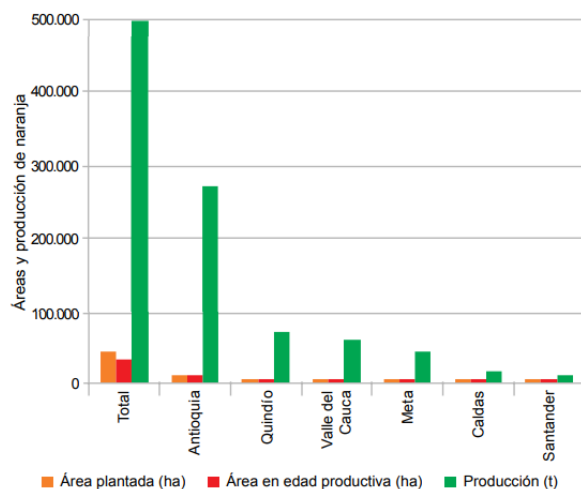
Es un árbol frutal originario de China, traído a occidente por los árabes. Se desarrolla bien en climas suaves y cálidos. Existe una gran variedad, diferenciadas fundamentalmente por la calidad de fruto y el sabor, que varía de dulce a ácido.

Se trata de un árbol de altura mediana que no suele superar los 5 m de altura, aunque en óptimas condiciones de cultivo puede llegar hasta 14 m. Tiene una copa con forma cónica bastante grande y densa. Su tronco es corto, liso y de color grisáceo. Sus hojas tienen formas ovaladas cuyos tamaños oscilan entre 7 y 10 cm, sus ramas generalmente tienen grandes pinchos de aproximadamente 10 cm. (Frutales, 2023)

### 1.4.2 Cultivos en Colombia

En el año 2015 Colombia contaba con 44.4 *kha* sembradas de naranja, de las cuales sólo se encontraban en producción 32.6 *kha*, que produjeron alrededor de 497.2 *kt* de la fruta, con un rendimiento promedio de 15.2 *t* por *ha* al año; siendo el departamento de Antioquia el principal productor con 271 *kt*, seguido por el departamento de Quindío. Estos datos hacen referencia a la variedad más cultivada en Colombia, la cual es la Valenciana seguidos por la Salustiana y Sweety Orange. (DANE, 2016).

En la Figura 2 se observa un diagrama de columnas con la producción de la variedad de naranja Valenciana en el territorio colombiano para el año 2016, donde se puede apreciar que el departamento donde más se cultiva esta variedad es Antioquia, y el de menor producción es Santander.



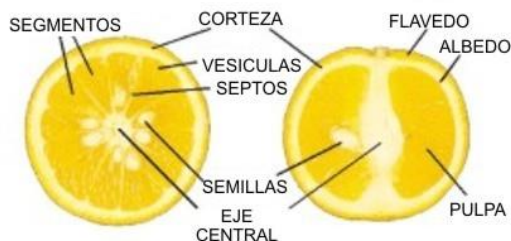
**Figura 2.** Producción de naranja en Colombia (Valenciana). **Fuente:** DANE-ENA (2016). [En línea]. [Consultado: 18 de marzo del 2023]. Disponible en Internet [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuaria/sipsa/Bol\\_Insumos\\_oct\\_2016.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuaria/sipsa/Bol_Insumos_oct_2016.pdf)

### 1.4.3 Uso de los aceites esencial de naranja en la industria alimenticia

Se emplea mayoritariamente para condimentar carnes ya preparadas, embutidos, sopas, queso, etc. También son utilizados en las preparaciones de bebidas alcohólicas y no alcohólicas especialmente como refrescos. Esta esencia también se emplea para la elaboración de caramelos, chocolates y otras golosinas.

Estudios realizados durante años por investigadores irlandeses de los aceites esenciales obtenidos de nueces, orégano, tomillo, canela, romero, y frutas, entre otros, pueden remplazar los conservantes químicos en la carne proporcionada por la industria alimenticias. De estos aceites esenciales se destaca sus compuestos bioactivos como los ácidos fenólicos, terpenos, y flavonoides o aldehídos, en cuya investigación se concluyó que estos pueden actuar como conservante natural y frenar el crecimiento de bacterias patógenas como la *Listeria Monocytogena* en la carne y otros productos cárnicos. (gastronomiaycia, 2021).

En la Figura 3. se observa un esquema de la estructura interna de la naranja a través de un corte longitudinal realizado a esta, donde se nombra cada uno de los componentes que se pueden observar a simple vista y en los cuales se encuentra distribuido el aceite esencial.



**Figura 3.** Estructura de la naranja. **Fuente** técnico agrícola. [En línea]. [Consultado: 18 de marzo del 2023]. Disponible en Internet: <https://www.tecnicoagricola.es/los-frutos-citricos-y-su-fisiologia/>

Dentro de la cascara de naranja se puede encontrar hasta un 1.5% en peso de aceite esencial, el cual contiene como componente principal el monoterpeno D-Limoneno o (1-Metil-4-(1-Metil Etenil)-Ciclohexano), que se diferencia por tener un olor a cítrico. Entre los métodos más utilizados a nivel mundial para la extracción de aceite esencial de naranja se tienen el de arrastre por vapor, hidrodestilación asistida por microondas, y extracción con solvente. Un estudio realizado por Giwa y colaboradores (Giwa, 2018), sobre la extracción de aceite esencial de naranja a nivel de laboratorio por los tres métodos mencionados anteriormente, mostró un rendimiento de 4.4%, 3.47% y 2.54%, demostrando un mayor rendimiento por el método de arrastre por vapor y de menos por disolvente. La extracción por arrastre por vapor se realizó bajo las siguientes condiciones; manteniendo una temperatura de 100° C; punto de ebullición del agua, por 200 minutos, a 1 atm de presión.

## 1.5 Principios de termodinámica aplicados en la extracción de aceites esenciales

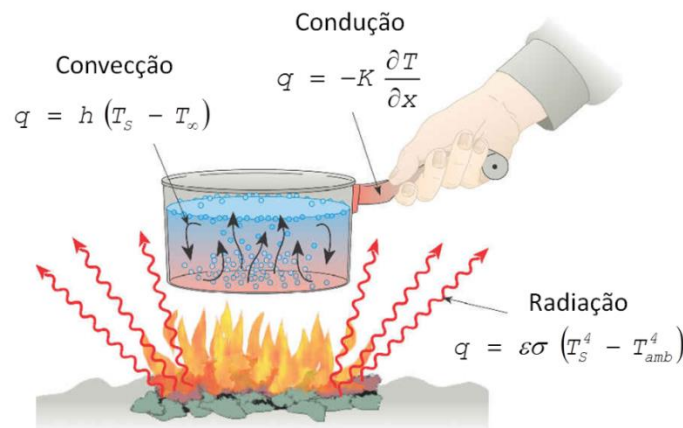
Dentro del proceso de la extracción de aceites esencial, se observar el principio termodinámico denominado transferencia de calor, transferencia térmica o transmisión de calor, fenómeno físico que consiste en ceder energía calórica de un medio a otro.

Este fenómeno ocurre cuando dos sistemas a diferente temperatura se ponen en contacto, permitiendo el flujo de temperatura de un punto mayor a un punto menor, hasta alcanzar un equilibrio térmico. El calor tenderá a transferir a través de los medios

disponibles. Dependiendo de ellos, dicha transferencia se podrá dar a través de tres mecanismos: conducción, convección y radiación.

Estos tres mecanismos se dan en el proceso de destilación ya que, al momento de calentar el agua para convertirla en vapor de agua, se tiene un cambio de temperatura de radiación entre la fuente de calor; que para este trabajo será el gas, el cual transmite su calor al recipiente u olla, para la cual se considera que será en acero inoxidable. Esta a su vez, cede el calor por medio de conducción al agua contenida en ella para hervirla y generar la producción de vapor de agua, que finalmente, se utilizará para la extracción de los aceites esenciales de la cáscara de naranja, los cuales serán condensados por convección por medio de un intercambiador de calor. De esta forma es posible observar el principio de transferencia de calor en dicho proceso. (diferenciador, 2023)

En la Figura 4. se observa una gráfica donde se aprecia el fenómeno de transferencia de calor de dos sistemas a diferente temperatura, en el cual se muestran los tres mecanismos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación, con las respectivas ecuaciones características que describen su comportamiento en función del tiempo.



**Figura 4.** Transferencia de calor. **Fuente:** [fisic.ch](https://www.fisic.ch). [En línea]. [Consultado: 30 de marzo del 2023]. Disponible en Internet: <https://www.fisic.ch/contenidos/termodin%C3%A1mica/trasferencia-del-calor/>

### 1.5.1 Conducción

Es un mecanismo de transferencia de calor que se da cuando dos diferentes medios a diferente temperatura están en contacto, cediendo calor del de mayor temperatura al de menor temperatura. Este mecanismo de transferencia de calor se basa en el movimiento de los átomos. Al tener un cambio de temperatura estos se mueven con una mayor velocidad y empujan a los átomos vecinos transfiriendo calor al otro medio. Esta capacidad de conductividad de un material a otro se conoce como conductividad térmica. (diferenciador, 2023)

## **1.5.2 Convección**

La transferencia de calor por convección se produce por el movimiento de líquido a gases de zona caliente a zona fría. Cuando se calienta un fluido este pierde propiedades y se vuelve menos denso, lo que conlleva a que suba como vapor de agua para luego condensarse por medio del ambiente como las nubes a gran altura naturalmente o por medio de un mecanismo como un intercambiador de calor. (diferenciador, 2023)

## **1.5.3 Radiación**

Esta transferencia se da sin necesidad de que los dos diferentes medios a distinta temperatura entren en contacto como en la conducción. Esta ocurre a través de ondas electromagnéticas, como es la luz visible, el ultravioleta o el infrarrojo, que se propagan por el espacio. Esto se da ya que los cuerpos por sí solos emiten calor por radiación, pero al mismo tiempo absorben calor, dependiendo de la diferencia de temperatura. (diferenciador, 2023)

## **1.6 Cambio de fases de una sustancia pura (Agua)**

Una sustancia pura es aquellas que presentan una composición química firme, lo que lo hace reconocible por sí sola. Una sustancia pura no significa que sea 100% pura, en el

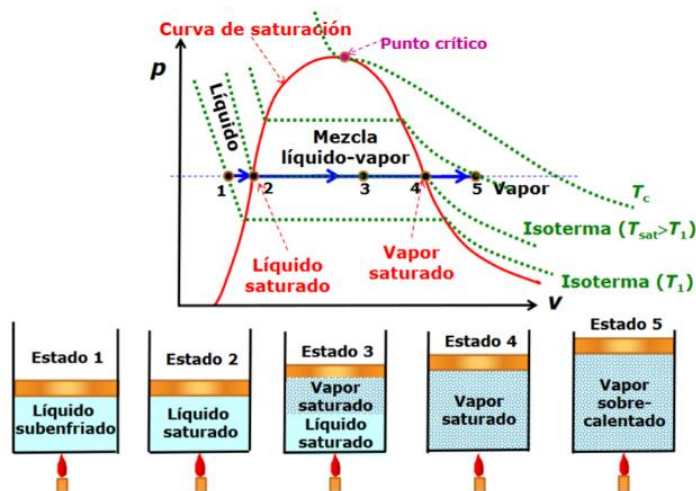
12 Diseño de un sistema de extracción de aceites esenciales de naranja por arrastre de vapor para la industria alimenticia

ambiente están mezclados con otros, se puede identificar como sustancia pura el agua, y se puede observar en sus diferentes cambios de fases mediante el proceso de destilación de aceites esenciales.

Cuando se tiene un líquido subenfriado, el cual está lejos de su punto de ebullición y se encuentra a temperatura ambiente, al aplicarle temperatura se obtiene un líquido saturado el cual se encuentra en su punto límite de ebullición, pero aún se encuentra en estado líquido, lo cual, a la más mínima cantidad de energía suministrada, va a ocasionar que el agua comience a evaporarse, o sea que va a estar al borde del cambio de fase. En este cambio de fase se puede observar ya una mezcla saturada, en la cual se encuentra el agua de forma líquida y gaseosa al mismo tiempo, obteniéndose un vapor húmedo con el cual se trabaja al momento de destilar.

Como todo el sistema se da a una presión constante y es un sistema abierto al ambiente el proceso es isotérmico, dado que se sigue suministrando energía en forma de calor al sistema, pero no habrá un cambio de temperatura, pero como se está dando el cambio de fase cada vez habrá más cantidad de vapor que líquido, lo cual el volumen va a aumentar, y se tendrá un vapor húmedo. (salamarkesa, 2023)

En la Figura 5. se observa el cambio de fases de una sustancia pura y su curva PV.



**Figura 5.** Cambio de fases sustancia pura. **Fuente:** salamarkesa. [En línea]. [Consultado: 03 de abril del 2023]. Disponible en Internet: <https://www.salamarkesa.com/propiedades-sustancias-puras-termodinamica-ejercicios-resueltos/>





## **2.Desarrollo experimental**

A continuación, se presenta una breve descripción de la metodología llevada a cabo para el diseño de un sistema de extracción de aceite esencial de naranja por medio de arrastre de vapor de agua. Dando como resultado los planos de un sistema de extracción de aceites con sustentación de cálculos de su diseño.

### **2.1 Metodología de diseño conceptual**

El diseño conceptual es la parte esencial en la obtención de una solución a un problema de diseño planteado a partir de especificaciones, requisitos, necesidades. El diseño conceptual no tiene una definición precisa o norma para el mismo, dado que tiene diferentes fines u objetivos como lo son la arquitectura, el diseño mecánico, diseño de interiores o diseño industrial. El proceso de diseño conceptual es presidido por una investigación de mercados, problemáticas o necesidades que justifiquen la decisión de emprender el diseño de un producto nuevo.

Al observar una gran cantidad de mercado que tendría este producto a nivel nacional como internacional, dado el crecimiento de las esencias y su utilización en las diferentes industrias tales como de alimentos, cosméticos, aseo, bebidas alcohólicas y no alcohólicas, farmacéutica, y centros de spa y relajación, entre otros. Se procede a realizar una metodología práctica y sencilla de un diseño de extracción el cual cumpla con los estándares de calidad y normas que se utilizan en la industria, tomando como base la regulación sanitaria colombiana de la Ley 9 de 1979, la cual establece las normas para la elaboración y producción de productos hacia el consumidor.

Por esta razón se decidió diseñar sistema de extracción de aceite esencial de naranja por medio de arrastre de vapor húmedo. Método por el cual es el más práctico y sencillo de

aplicar en un sistema de extracción. Dando un mejor resultado al momento de realizar dicha extracción de aceite esencial de naranja

Para el desarrollo del diseño conceptual del prototipo se recurrió a la metodología planteada por Pahl y Beitz, y adicionalmente se abordaron algunos aspectos básicos según lo propuesto por Cross.

El método de Pahl y Beitz, se utiliza en la teoría de sistemas para sustentar la propuesta de trabajo a través de funciones y sub-funciones, cambiando los efectos físicos con las características de materiales, geometrías, entre otros, con el objetivo de dar soluciones a un problema existente.

La metodología de Pahl y Beitz puede estar constituida hasta por nueve etapas según el alcance que se desee, y dentro de estas se puede mencionar, en su respectivo orden las siguientes: determinación de una lista de requerimientos, la identificación del problema o la necesidad, establecimiento de estructuras funcionales, la búsqueda de principios de solución, entre otras, para las cuales se define su resultado y la respectiva descripción, a los cuales, a su vez, se les establece una escala de ponderación.

En la Tabla 1. se describen las nueve etapas que componen el método de Pahl y Beitz con sus respectivos resultados y descripción, y en la Tabla 2. se puede apreciar la escala de ponderación establecida y propuesta para las especificaciones de diseño.

**Tabla 1.** Descripción de la metodología de Pahl y Beitz.

ETAPA		RESULTADO	DESCRIPCIÓN
1	Determinación de la lista de requerimientos	Clasificación de tareas	Recolección de requerimientos y elaboración de listado. Estos requerimientos se pueden transformar en especificaciones de diseño.
2	Identificación de problemas o necesidad	Identificación de problemas a solucionar	Análisis de requerimientos con respecto a la función requerida y el alcance esencial con el fin de refinar el problema
3	Establecimiento de estructuras funcionales	función general y sub-funciones	Los problemas identificados en búsqueda de una solución se transformarán en funciones y sub-funciones.
4	Búsqueda de principios de	Principios de solución a las sub-funciones.	Se determina un principio de solución para cada sub-función y finalmente se forma una

	solución que cumplan las sub-funciones		estructura funcional.
5	Combinación de los principios de solución	Posibles soluciones o alternativas	Combinación de los principios de solución para generar alternativas de solución.
6	Selección de la solución adecuada	Selección de las posibles soluciones o alternativas que satisfacen los criterios de selección.	Por medio de diagramas se eligen las mejores alternativas de solución que satisfacen las funciones y sub-funciones definidas
7	Concreción de la solución final	Conceptos concretos y definidos	Según los criterios de selección se elige la alternativa de solución más adecuada.
8	Evaluación de la solución	Conceptos de satisfacción de los criterios de evaluación.	Evaluación de los aspectos técnicos, ambientales, sociales, éticos y económicos de la alternativa de la solución seleccionada
9	Solución final	Definición del diseño conceptual	Se presenta el diseño conceptual de la alternativa de solución

**Tabla 2.** Escala de ponderación de las especificaciones de diseño.

Ponderación	Significado
1	Deseable
2	Importancia Baja
3	Importancia Media
4	Importancia Alta
5	Muy Importante

## 2.2 Cálculos para el sistema de extracción de aceites esenciales por medio de arrastre de vapor húmedo

Todos los cálculos se realizaron teniendo en cuenta las fórmulas y expresiones de cálculo utilizadas y analizadas en la temática de transferencia de calor, teniendo en cuenta las tablas termodinámicas de sustancias pura y sus cambios de fases.



### 3.Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el proceso del diseño conceptual siguiendo la metodología propuesta por Palh y Beitz acompañados de los cálculos, planos y simulaciones en el software de diseño especializado Solidworks

**Tabla 3.** Requerimientos, especificaciones y valores de diseño de un sistema de extracción de aceite esencial de naranja por medio de arrastre de vapor.

	REQUERIMIENTO	ESPECIFICACIÓN	VALOR
1	El diseño debe presentar una estructura simple y eficiente, resultando en un fácil ensamble de sus partes	Ensamblaje correcto de todas las piezas para evitar problemas de funcionamiento	-
2	El sistema se debe diseñar con materiales de grado alimenticio	Se debe garantizar que los materiales sean grado alimenticio, ya que el sistema va dirigido a la industria alimenticia	Materiales a utilizar acero inoxidable 304
3	Los empaques para la unión de componentes deben ser resistentes a temperaturas de 95° C; temperatura a la cual inicia la ebullición del agua en Medellín	Se debe garantizar un sellado hermético del sistema	Se evitan pérdidas de producto
4	El sistema debe tener indicadores visuales de temperatura, nivel de agua	Se debe garantizar un proceso constante sin variaciones bruscas en cada extracción	Se obtiene normalmente un producto homogéneo

20 Diseño de un sistema de extracción de aceites esenciales de naranja por arrastre de vapor para la industria alimenticia

5	El sistema debe tener un peso ergonómico para proteger la salud de sus usuarios	El sistema consta básicamente de: Recipiente, ductos, intercambiador calor y decantador de florentino	-
6	El prototipo debe ser de fácil mantenimiento	Se pueden limpiar todos sus componentes con facilidad.	-

### 3.1 Metodología de diseño conceptual

Con base en la metodología mencionada anteriormente, se puede apreciar en la Tabla 3. la determinación de requerimientos de diseño del sistema de extracción de aceite esencial de naranja por medio de arrastre de vapor de agua

En la Tabla 4. se aprecia el criterio ponderado de los requerimientos de diseño del sistema de extracción de aceite esencial de naranja por medio de arrastre de vapor de agua

**Tabla 4.** Ponderación de las especificaciones del diseño para la extracción de aceites esenciales por medio de arrastre de vapor.

REQUERIMIENTO		PONDERACIÓN
1	El diseño debe presentar una estructura simple y eficiente, resultando en un fácil ensamble de sus partes	5
2	El sistema se debe diseñar con materiales de grado alimenticio	5
3	Los empaques para la unión de componentes deben ser resistentes a temperaturas de 95° C; temperatura a la cual inicia la ebullición del agua en Medellín	5
4	El sistema debe tener indicadores visuales y manual de manejo	4

5	El sistema debe tener un peso ergonómico para proteger la salud de sus usuarios	3
6	El prototipo debe ser de fácil mantenimiento	4

Con respecto al establecimiento de las alternativas de solución, las funciones y subfunciones de éstas, se presenta los componentes que conforman el sistema de extracción de aceite, dando como finalidad la función y subfunciones de cada elemento dentro del sistema y su conformidad dentro del ciclo.

### **3.1.1 Recipiente o alambique donde va situado la materia vegetal y el agua**

Su función es la de transferir el calor latente de una fuente calorífica hacia la masa de agua interna, pasando de tener un líquido saturado a una mezcla de vapor-agua, dando como fin la circulación del vapor húmedo por la materia vegetal, la cual se encuentra suspendida en una malla fina hecha en acero inoxidable sin ser sumergida dentro del líquido. Este sistema debe de contener visualizadoras de nivel de agua; para evitar dejar el sistema vacío, indicadores de temperatura, drenaje de sobrante de líquido al finalizar el proceso, un sistema de cerrado hermético y debe ser sencillo de manipular.

### **3.1.2 Fuente de calor**

Este debe cumplir la función de trasferir el calor latente hacia el recipiente de una manera uniforme y constante, que se pueda regular la transferencia de calor durante el proceso.

### **3.1.3 Ductos conectores**

Estos son los encargados de conectar los diferentes componentes del sistema de una forma eficaz y simple. Los cuales son el recipiente o alambique, intercambiador de calor y decantador florentino.

### 3.1.4 Intercambiador de calor

Su principal función implica la remoción de calor para realizar la condensación del vapor húmedo a un líquido sub-enfriado.

### 3.1.5 Decantador de florentino

Su función consiste en realizar la separación de la mezcla hidro lato-aceite la cual es el resultado final del proceso de extracción.

**Tabla 5.** Especificaciones y sus correspondientes funciones para el diseño para la extracción de aceites esenciales por medio de arrastre de vapor.

ESPECIFICACIÓN		FUNCIÓN
1	Ensamblaje correcto de todas las piezas para evitar problemas de funcionamiento	Ensamble de prototipo.
2	Se debe garantizar que los materiales sean grado alimenticio, ya que el sistema va dirigido a la industria alimenticia	Evitar la contaminación cruzada de materiales hacia el extracto
3	Se debe garantizar un sellado hermético del sistema	evitar pérdidas del producto dentro del sistema de extracción
4	Se debe garantizar un proceso constante sin variaciones bruscas en cada extracción	Obtener una esencia constante en cada extracción
5	El sistema se divide en 4 secciones, recipiente, ductos, intercambiador calor y decantador de florentino	Fácil manipulación del sistema y transporte
6	Se pueden limpiar todos sus componentes con facilidad.	Realizar mantenimiento periódicamente tras cada extracción

**Tabla 6.** Subfunciones asociadas a cada una de las funciones para el funcionamiento del diseño para la extracción de aceites esenciales por medio de arrastre de vapor.

FUNCIÓN		SUBFUNCIÓN
1	Ensamblaje de prototipo.	Aplicación de soldadura adecuada
2	Evitar la contaminación cruzada de materiales hacia el extracto	Uso de aceros inoxidable
3	evitar pérdidas del producto dentro del sistema de extracción	Aumentar la cantidad aceite extraído en cada proceso
4	Obtener una esencia constante en cada extracción	Obtención de una esencia constante sin variaciones significativas
5	Fácil manipulación del sistema y transporte	Evitar lesiones por manipulación de cargas
6	Realizar mantenimiento periódicamente tras cada extracción	Validar posibles mantenimientos del prototipo.

Con respecto a la etapa de búsqueda de principios de solución, se estableció que estos deben estar conformados por mecanismos, elementos mecánicos, térmicos y fuentes de calor para que satisfagan las funciones y subfunciones planteadas en la Tabla 6.

La Tabla 7. corresponde a un listado de funciones y subfunciones en las cuales se plantean varias alternativas y combinaciones de solución para cada una de ellas, al igual que los diferentes materiales que se podrían seleccionar para las soluciones.

**Tabla 7.** Combinación de principios de solución y selección de materiales para el diseño para la extracción de aceites esenciales por medio de arrastre de vapor.

24 Diseño de un sistema de extracción de aceites esenciales de naranja por arrastre de vapor para la industria alimenticia

FUNCIÓN		SUBFUNCIÓN		PRINCIPIOS DE SOLUCIÓN			
				A	B	C	D
1	Ensamblaje de prototipo	1.1	Aplicar soldadura adecuada.				
				SMAW	MIG	TIG	
2	Evitar la contaminación cruzada de materiales hacia el extracto	2.2	Uso de aceros inoxidables				
				COBRE	INOX 304	INOX 316	ACERO
3	evitar pérdidas del producto dentro del sistema de extracción	3.3	Aumentar la cantidad aceite extraído en cada proceso				
				CAUCHO ESPUMA	EMPAQUE SILICONADO	EMAPQUE EPDM	EMPAQUE DE VITON
4	Obtener una esencia constante en cada extracción	4.4	Obtención de una esencia constante sin variaciones significativas				
				TERMO-METRO	TERMOCUPLA TIPO K	TERMOMETRO ANALOGO	TERMO-METRO DIGITAL
5	Fácil manipulación del sistema y trasporte	5.5	Evitar lesiones por manipulación de cargas				
				BRIDAS	ACOPLE CLAMP	ACOPLES CAMLOSK	-
6	Realizar mantenimiento periódicamente tras cada extracción	6.6	Validar posibles mantenimientos del prototipo.				
				DESTILADOR	INTERCAMBIADOR DE CALOR	DECANTADOR FLORENTINO	-

En la Tabla 7. se puede observar marcados en color verde los principios de solución para las funciones y subfunciones. En color naranja se resaltan los elementos que necesitan mantenimientos preventivos y correctivos. A continuación, se presentarán los argumentos respectivos sobre la selección de la solución y de los materiales:

- Soldadura TIG: Se aplicará soldadura TIG con aporte inox 316L-16 para la fabricación de todos los componentes del sistema tales como recipiente o destilador, intercambiador de calor, decantador florentino y su estructura como tal brindando una mayor resistencia a la tracción en sus puntos de soldadura y

cumpliendo la norma sanitaria de oxidación de los materiales al tener un aporte inox.

- Inox 304– Cobre: Se seleccionan tanto el inox 304 y el cobre ya que por parte del inox 304 nos brinda una alta resistencia a ácidos, bases y cloruros, como la sal evitando corrosión y oxidación en su estructura, este acero se utilizará en la construcción de todos sus componentes. El cobre solo se utilizará en el interior del intercambiador de calor aprovechando sus propiedades antibacterianas y su conductividad térmica extremadamente elevada (385W/(m/k)). (thermtest, 2021)
- Empaques siliconados cruda: Se selecciona este empaque ya que su temperatura de trabajo soporta hasta 180° C, es resistente a los ácidos y las bases, así como el vapor.
- Termómetro análogo: Su selección se deba a su fácil interpretación de la variable y su fácil instalación o manipulación de este, el cual no requiere un mayor mantenimiento o accesorios para su funcionamiento.
- Bridas: El ensamblaje de todos sus componentes se debe de garantizar un sellado completo, por ende, se selecciona el sistema de bridas el cual es fácil de interpretar e instalar, cumpliendo un mejor ajuste en las uniones acompañado de un empaque siliconado, al mismo tiempo su mantenimiento es simple.
- Validar posibles mantenimientos: En color naranja se puede observar los elementos que necesiten mantenimientos preventivos y correctivos. Todos los componentes del sistema requieren una limpieza en cada extracción para evitar sedimentos en la estructura o contaminaciones en sus productos, así garantizamos las BPM (buenas prácticas de manufactura), para la industria alimenticia.

Con respecto a los diseños finales logrados para el prototipo del destilador de aceites esenciales por arreste por vapor y obtenidos a través del software de diseño especializado Solidworks, se pueden apreciar en las Figuras

A continuación, las figuras esquemáticas en 3D para los diferentes sistemas y componentes mencionados anteriormente.

**Figura 4.** Recipiente o destilador con su respectivo plano dimensional

26 Diseño de un sistema de extracción de aceites esenciales de naranja por arrastre de vapor para la industria alimenticia

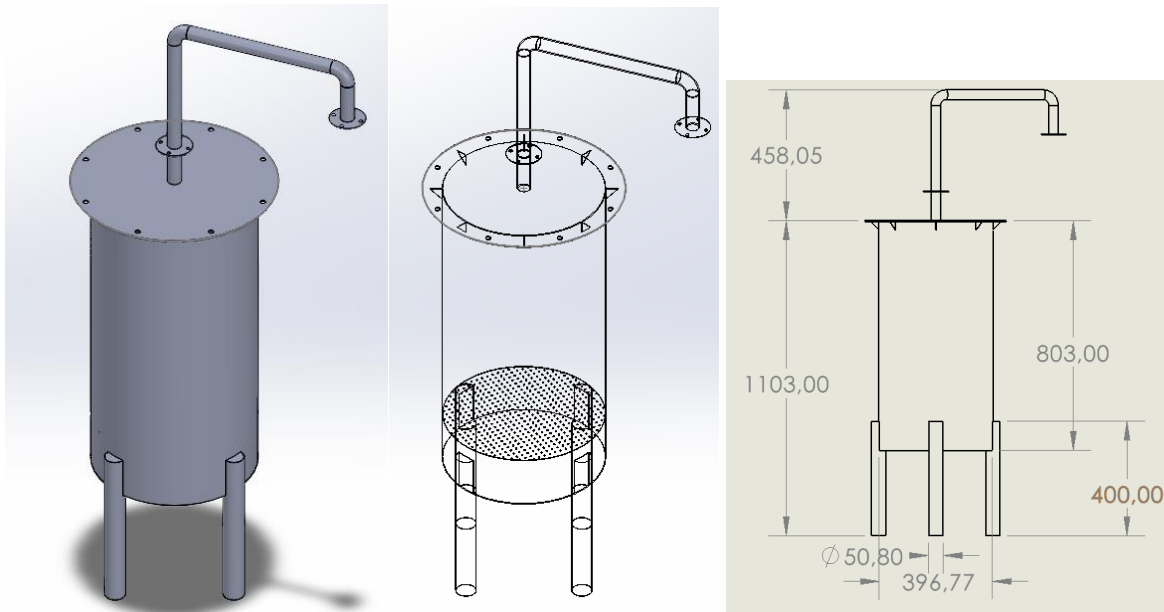
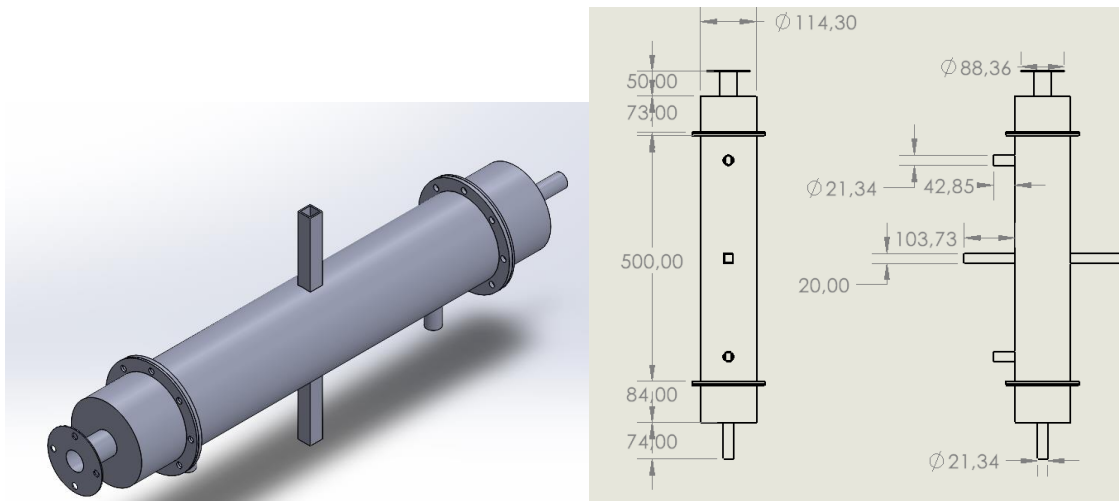
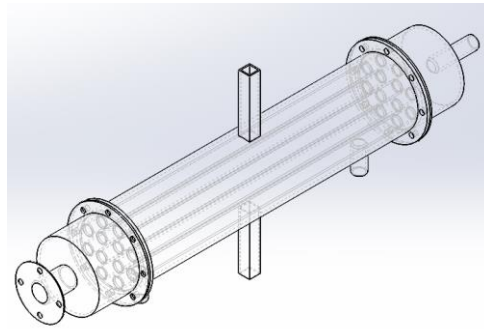
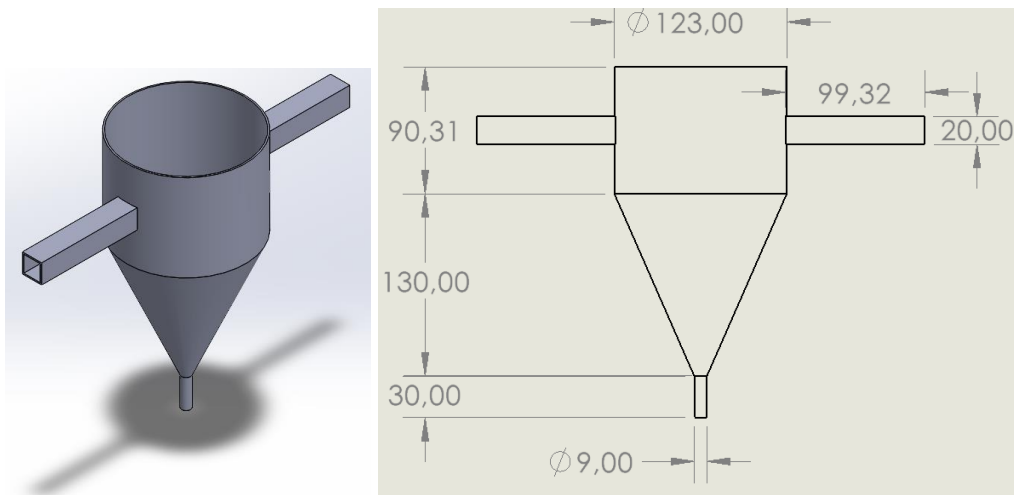


Figura 5. Intercambiador con su respectivo plano dimensional





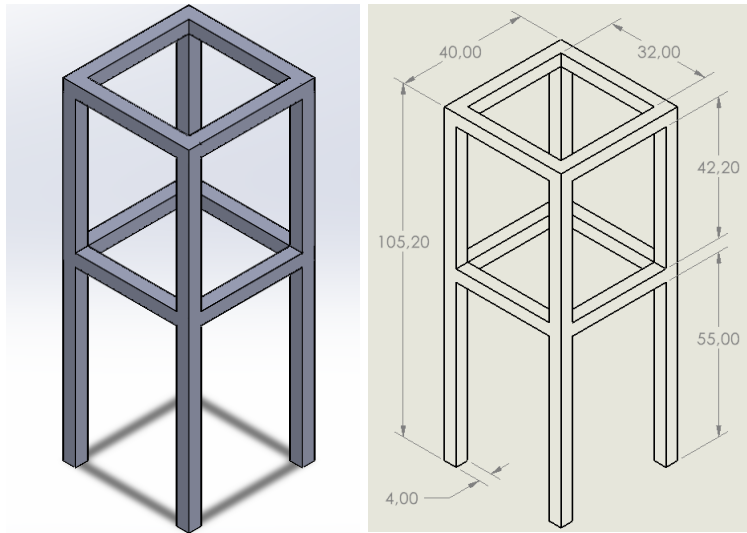
**Figura 6.** Decantador de florentino con su respectivo plano dimensional



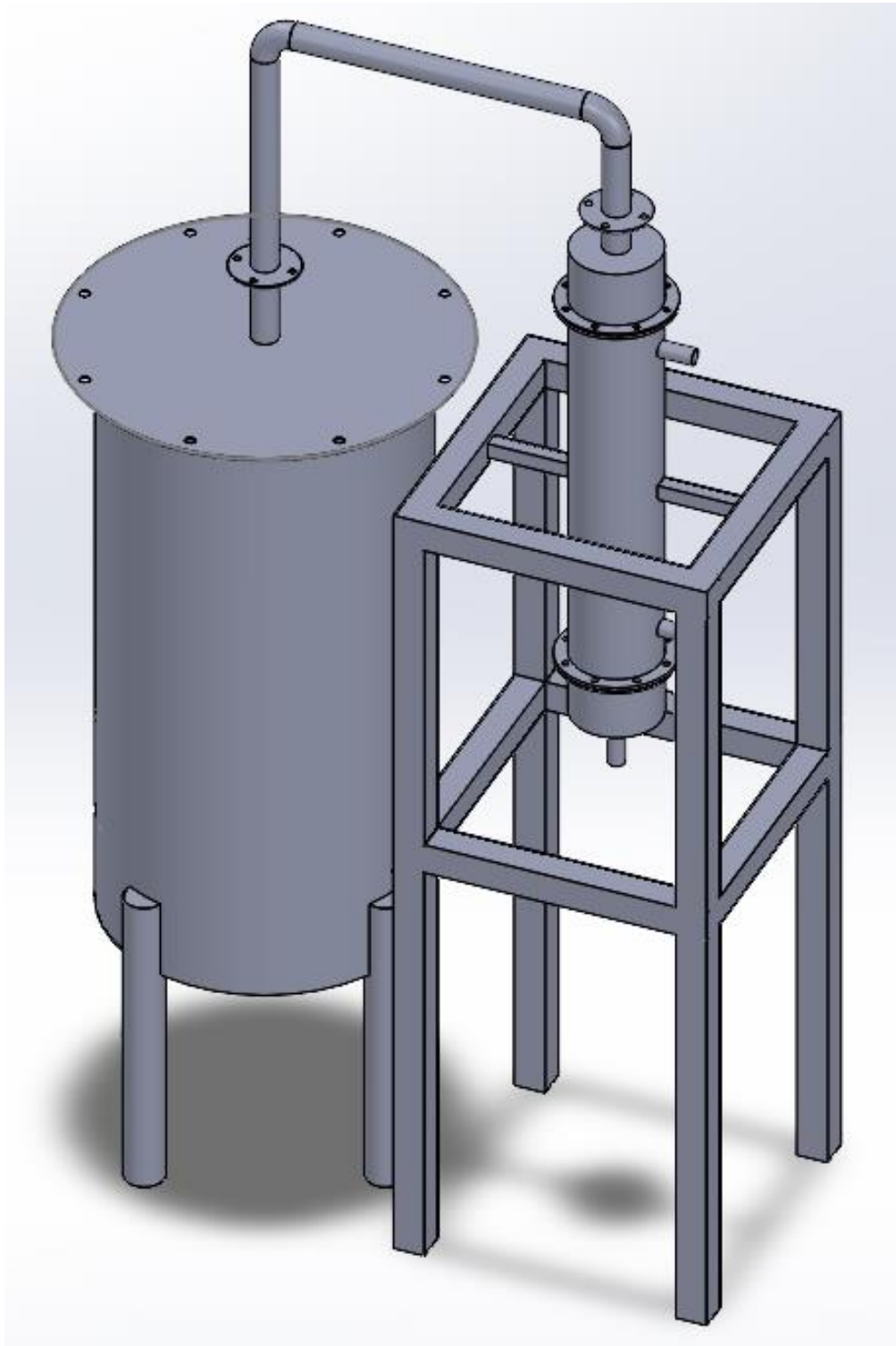
**Figura 7.** estructura con su respectivo plano dimensional

28 Diseño de un sistema de extracción de aceites esenciales de naranja por arrastre de vapor para la industria alimenticia

---



**Figura 8.** Diseño general del diseño de un sistema de extracción de aceites esenciales de naranja por arrastre de vapor para la industria alimenticia



## 3.2 Cálculos para del sistema de extracción de aceites esenciales por arrastre por vapor húmedo

A continuación, se mostrará los cálculos de dimensionamiento de sus tres principales elementos recipiente o destilador, intercambiador de tubo concéntricos a contraflujo y decantador de florentino, teniendo en cuenta una capacidad del recipiente o destilador para 100 litros. (Yunus A. Cengel, 2012), (Nisbett)

### 3.2.1 Cálculo de dimensionamiento del recipiente o destilador

Teniendo en cuenta el diseño del recipiente con forma cilíndrica. Calcularemos las dimensiones con la fórmula de volumen  $V = \pi r^2 h$  dado los siguientes datos

$$\begin{aligned}V &= 100 \text{ litros} = 100.000 \text{ cm}^3 \\r &= 35 \text{ cm} \text{ (radio sugerido por uniformidad)} \\V &= \pi r^2 h\end{aligned}$$

Despejando h de la formula obtenemos nuestra altura del destilador

$$\begin{aligned}h &= \frac{V}{\pi r^2} \\h &= \frac{100.000 \text{ cm}^3}{\pi (35)^2} \\h &= 79.57 \approx 80 \text{ cm}\end{aligned}$$

### 3.2.2 Cálculo de dimensionamiento del intercambiador de calor de tubo concéntricos a contraflujo

En primera instancia se calculará el gasto energético necesario para dicho proceso. Considerando el punto de ebullición del agua en la ciudad de Medellín de 95 °C y dándole una proporción de destilador de 5/4 respectivamente, obteniendo 4 partes de cascara de naranja “80 litros” y 1 parte de agua “20 litros”. Dada la anterior condición se hallará el gasto energético para llevar 20 litros de agua a punto de ebullición y 10 litros a evaporación. Datos requeridos;

$$\begin{aligned}\rho_{\text{agua } 20^\circ\text{C}} &= 0.998 \text{ gr/cm}^3 \\T_{\text{inicial}} &= 25^\circ\text{C} \\C_{p\text{agua}} &= 4186 \text{ J/Kg}^\circ\text{C} \\T_{\text{final}} &= 95^\circ\text{C} \\L_{\text{agua}} &= 2.260.000 \text{ J/Kg}\end{aligned}$$

$$m = 20 \text{ litros} = 20 \text{ Kg}$$

Dada la fórmula de calor específico  $Q1 = mcp\Delta t$ , siendo  $Q1$  cantidad de energía calorífica perdida o ganada (J),  $m$  la masa de la sustancia (Kg),  $cp$  capacidad calorífica de la sustancia  $4186\text{J/Kg}^\circ\text{C}$ ,  $\Delta t$  el cambio de temperatura de la sustancia

$$Q1 = mcp\Delta t$$

$$Q1 = 20\text{Kg} * \frac{4186\text{J}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} * (95 - 25)^\circ\text{C}$$

$$Q1 = 5860400\text{J} = 5.86\text{MJ}$$

Obteniendo  $Q1$  como energía necesaria para llevar a punto de ebullición los 20 litros de agua, dada la fórmula de calor de fusión de evaporización  $Q2 = mL$ , siendo  $Q2$  la cantidad de energía requerida de vaporización,  $L$  el calor latente de la sustancia. Hallaremos la energía requerida para evaporizar los 10 litros de agua para el proceso.

$$Q2 = mL$$

$$Q2 = 10\text{Kg} * 2.260.000\text{J/Kg}$$

$$Q2 = 22600000 = 22.6\text{MJ}$$

$$Q_{total} = Q1 + Q2$$

$$Q_{total} = 5.86\text{MJ} + 22.6\text{MJ}$$

$$Q_{total} = 28.46\text{MJ}$$

Obteniendo  $Q2$  como la energía requerida para evaporar 10 litros de agua, podemos saber el tiempo que transcurre este proceso, sugiriendo una resistencia de 3KW para el sistema. Dada la fórmula de potencia  $P = \frac{W}{t}$ , donde  $P$  es la potencia (W),  $W$  es el trabajo en (J),  $t$  el tiempo (seg).

$$P = \frac{W}{t}$$

$$t = \frac{W}{P}$$

$$t = \frac{22.6\text{MJ}}{3\text{KW}}$$

$$t = 7533.3\text{seg} \approx 2\text{H}$$

Para encontrar el volumen de vapor de 10 litros agua, nos utilizaremos las tablas termodinámicas de sustancias puras para líquido saturado. Dada la ecuación  $V = mVg$ , siendo  $V$  el volumen del vapor ( $m^3$ ),  $m$  la masa de la sustancia (Kg),  $Vg$  volumen específico vapor a  $95^\circ\text{C}$  ( $m^3/\text{Kg}$ ).

$$m = 10\text{Kg}$$

$$Vg = 1.9808 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

32 Diseño de un sistema de extracción de aceites esenciales de naranja por arrastre de vapor para la industria alimenticia

---

$$V = mVg$$
$$V = 10Kg * 1.9808m^3/Kg$$
$$V = 19.808 m^3$$

Dado que se requiere conocer el flujo masico a las entradas del intercambiador de calor de tubo concéntrico a contra flujo, se calculará el flujo masico del vapor de agua húmedo y el flujo masico del agua a contra flujo teniendo como referencia una bomba sumergible con capacidad de 3.2 L/minuto. Datos

$$V_{vapor} = 19.808 m^3$$
$$t = 2H = 7200seg$$
$$\rho_{vapor\ 95^{\circ}C} = 0.6 Kg/m^3$$
$$Q_{agua} = \frac{3.2L}{minuto} = \frac{0.0032m^3}{minutos} = \frac{53x10^{-6}m^3}{seg}$$
$$\rho_{agua\ 25^{\circ}C} = 1000 kg/m^3$$

Dada la fórmula para gasto  $Q = \frac{V}{t}$  siendo  $Q$  el gasto ( $m^3/seg$ ),  $V$  el volumen ( $m^3$ ),  $t$  el tiempo (seg). Y la fórmula de fluido masico  $\dot{m} = \rho * Q$ , siendo  $\dot{m}$  el flujo masico (Kg/seg),  $\rho$  la densidad de la sustancia ( $Kg/m^3$ ),  $Q$  el gasto ( $m^3/seg$ ). Para el flujo masico de vapor de agua húmedo

$$Q = \frac{V}{t}$$
$$Q = \frac{19.808 m^3}{7200seg}$$
$$Q = 0.0027m^3/seg$$
$$\dot{m} = \rho * Q$$
$$\dot{m} = \frac{0.6Kg}{m^3} * \frac{0.0027m^3}{seg}$$
$$\dot{m} = 0.00162Kg/seg$$

Para el flujo masico del agua

$$\dot{m} = \frac{1000Kg}{m^3} * \frac{53x10^{-6}m^3}{seg}$$
$$\dot{m} = 0.053 Kg/seg$$

Tomando como referencia la entrada de los tubos de ½” y 1½” de diámetro de cobre, se hallará el coeficiente total de transferencia de calor “U”. Para calcular el vapor de U, se tomará el sistema a condiciones ideales y a temperaturas constante y ambos fluidos

estarán completamente desarrollado, se despreciará la resistencia térmica del tubo interior ya que el cobre es un superconductor y se asumirá que las propiedades termodinámicas de ambos aflujos van a hacer constante durante el proceso.

Propiedades termodinámicas del Agua a 25 °C

$$\begin{aligned}\rho &= 997 \text{Kg/m}^3 \\ Pr &= 6.130 \\ K &= 0.607 \text{w/m} \cdot ^\circ\text{C} \\ \gamma &= 0.893 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{seg} \\ Cp &= 4180 \text{J/Kg} \cdot ^\circ\text{K}\end{aligned}$$

Propiedades termodinámicas del vapor de agua húmedo a 95 °C

$$\begin{aligned}\rho &= 0.6 \text{Kg/m}^3 \\ Pr &= 1.016 \\ K &= 0.0245 \text{w/m} \cdot ^\circ\text{C} \\ \gamma &= 2.01 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{seg} \\ Cp &= 2010 \text{J/Kg} \cdot ^\circ\text{K}\end{aligned}$$

Donde  $\rho$  es la densidad,  $Pr$  es el número de prandtl,  $K$  es la conductividad térmica,  $\gamma$  Es la viscosidad cinemática,  $Cp$  es la capacidad calorífica. Dada la ecuación general del coeficiente total de transferencia de calor

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_o}$$

Donde  $h_1$  y  $h_o$  coeficiente de transferencia de calor por convención interna y externa. Para  $h_1$  tomando las propiedades termodinámicas del agua y un diámetro de tubo de 1½” tenemos

Diámetro hidráulico para el agua

$$\begin{aligned}Dh &= D_{\text{externo}} - D_{\text{interno}} \\ Dh &= 0.0254 - 0.01278 \\ Dh &= 0.0127\end{aligned}$$

Velocidad promedio del agua

$$v = \frac{m}{\rho A c} = \frac{m}{\rho \frac{\pi Dh^2}{4}}$$

- 34 Diseño de un sistema de extracción de aceites esenciales de naranja por arrastre de vapor para la industria alimenticia
- 

$$v = \frac{0.053 \text{Kg/seg}}{\frac{997 \text{Kg}}{\text{m}^3} * \frac{\pi(0.0127)^2}{4}}$$
$$v = 0.419 \text{m/seg}$$

Cálculo del número de Reynolds del agua

$$Re = \frac{v * Dh}{\gamma}$$
$$Re = \frac{0.419 \frac{\text{m}}{\text{seg}} * 0.0127 \text{m}}{0.893 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{seg}}}$$
$$Re = 5958.90$$
$$Re \geq 4000 \text{ Flujo turbulento}$$

Cálculo de número de Nusselt teniendo en cuenta un flujo turbulento

$$Nu = \frac{hD}{K} = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4}$$
$$Nu = 0.023 (5958.90)^{0.8} (6.130)^{0.4}$$
$$Nu = 49.75$$

Cálculo del coeficiente convención  $h_1$  para el agua

$$h_1 = \frac{K}{D} Nu$$
$$h_1 = \frac{0.607 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}}{0.0127 \text{m}} 49.75$$
$$h_1 = \frac{2377.81 \text{W}}{\text{m}^2 \text{C}}$$

Realizamos el mismo proceso para  $h_0$  tomando las propiedades termodinámicas del vapor de agua húmedo y un diámetro de tubo de  $\frac{1}{2}$ " tenemos.

Diámetro hidráulico para el vapor de agua húmedo

$$Dh = Dt$$
$$Dh = 0.0127$$

Velocidad promedio del vapor de agua húmedo

$$v = \frac{m}{\rho Ac} = \frac{m}{\rho \frac{\pi Dh^2}{4}}$$

$$v = \frac{0.00162 \text{Kg/seg}}{\frac{0.6 \text{Kg}}{\text{m}^3} * \frac{\pi(0.0127)^2}{4}}$$

$$v = 21.31 \text{m/seg}$$

Cálculo del número de Reynolds del vapor agua húmedo

$$Re = \frac{v * Dh}{\gamma}$$

$$Re = \frac{21.31 \frac{\text{m}}{\text{seg}} * 0.0127 \text{m}}{2.1 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{seg}}}$$

$$Re = 12887.4$$

$Re \geq 12887.4$  Flujo turbulento

Cálculo de número de Nusselt teniendo en cuenta un flujo turbulento

$$Nu = \frac{hD}{K} = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4}$$

$$Nu = 0.023 (12887.4)^{0.8} (1.016)^{0.4}$$

$$Nu = 44.93$$

Cálculo del coeficiente convención  $h_0$  para el vapor de agua húmedo

$$h_0 = \frac{K}{D} Nu$$

$$h_0 = \frac{0.0245 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}}{0.0127 \text{m}} 44.93$$

$$h_0 = \frac{86.67 \text{W}}{\text{m}^2 \text{C}}$$

Calculo del coeficiente total de transferencia de calor U

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_0}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h \frac{2377.81 \text{W}}{\text{m}^2 \text{C}} 1} + \frac{1}{\frac{86.67 \text{W}}{\text{m}^2 \text{C}}}}$$

$$U = \frac{83.62 \text{W}}{\text{m}^2 \text{C}}$$

36 Diseño de un sistema de extracción de aceites esenciales de naranja por arrastre de vapor para la industria alimenticia

---

Se determina el calor que va a ceder el vapor de agua húmedo, suponiendo una temperatura constante de salida del vapor de agua húmedo de 30°C según la expresión

$$Q_h = mvC_{pv}(T_{v1} - T_{v2})$$

Obteniendo  $Q_h$  como el calor absorbido o cedido del vapor (W),  $mv$  flujo masico del vapor (Kg/seg),  $C_{pv}$  capacidad calorífica del vapor (KJ/k\*Kg),  $T_{v1}$  y  $T_{v2}$  temperaturas de entrada y salida de vapor húmedo de agua (°C).

$$Q_v = \frac{0.00162 \text{Kg}}{\text{seg}} * \frac{2010 \text{J}}{\text{Kg} * ^\circ\text{K}} (95 - 30)^\circ\text{K}$$

$$Q_v = 211.65 \text{W}$$

Por balance de energías en termodinámica nos indica que  $Q_v = Q_a$  donde este balance nos indica que el flujo de calor de fluido caliente es igual al flujo del calor del fluido frio. Despejando  $T_{a2}$  para hallar la temperatura de salida del fluido frio donde  $Q_a$  como el calor absorbido o cedido del agua.

$$Q_a = maC_{pa}(T_{a1} - T_{a2})$$

$$T_{a2} = T_{a1} + \frac{Q_a}{ma * C_{pa}}$$

$$T_{a2} = 25^\circ\text{C} + \frac{211.65 \text{W}}{\frac{0.053 \text{Kg}}{\text{seg}} * \frac{4180 \text{J}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}}$$

$$T_{a2} = 26^\circ\text{C}$$

Obteniendo ambas temperaturas de entrada y salida de los respectivos fluidos, analizaremos el intercambiador de car por el método de la diferencia de temperaturas media logarítmica a contraflujo tenidno

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\text{Ln}\left(\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}\right)}$$

Donde  $\Delta T_{ml}$  es la diferencia de temperatura media logarítmica

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{v1} - T_{a2}) - (T_{v2} - T_{a1})}{\text{Ln}\left(\frac{T_{v1} - T_{a2}}{T_{v2} - T_{a1}}\right)}$$

$$\Delta T_{ml} = \frac{(95 - 26) - (30 - 25)}{\text{Ln}\left(\frac{69}{5}\right)} * ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{ml} = 24.38^\circ\text{C}$$

A la razón de transferencia de calor en un intercambiador también se puede expresar de una manera análoga a la ley de Newton de enfriamiento.

$$Q = UAs\Delta Tm$$

Donde  $U$  coeficiente total de transferencia de calor,  $As$  área superficial de transferencia de calor,  $\Delta Tm$  diferencia de temperatura media logarítmica de ambos fluidos.

$$As = \frac{Q}{U\Delta Tm}$$

$$As = \frac{211.65W}{\frac{83.62W}{m^2\text{°C}} * 24.38\text{°C}}$$

$$As = 0.103 m^2$$

teniendo el área superficial de transferencia de calor de nuestro tubo de  $\frac{1}{2}$  de cobre, podemos encontrar la longitud de este por medio de a expresión

$$As = 2\pi r(r + h)$$

$$h = \frac{As}{2\pi r} - r$$

$$h = \frac{0.103m^2}{2\pi 0.00635m} - 0.00635m$$

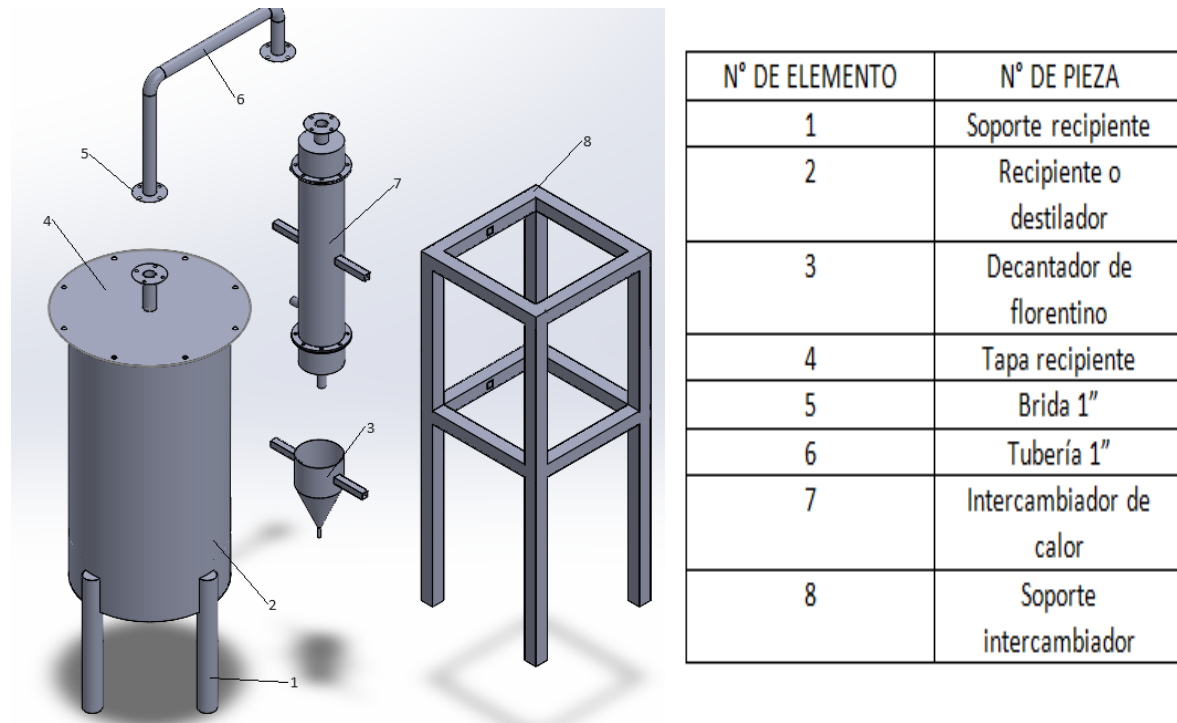
$$h = 2.57m$$

### 3.3 Estimación de costos básicos

Con base en el listado de todos los elementos resultantes del proceso de diseño a través de la metodología adoptada para el desarrollo de este trabajo, se pudo determinar el costo básico para la construcción de un prototipo inicial teniendo en cuenta el costo de los materiales necesarios para la contrición que conforman el conjunto del dispositivo.

En la Figura 16. se puede apreciar el sistema de destilación completo resultante del proceso de diseño y se muestra el listado de los principales componentes propuesto en el presente trabajo de grado. Para dicho sistema se tendrá en cuenta las materias primas para la construcción de cada uno de los componentes. Los cuales se fabricaran en acero inoxidable 304 por su grado alimenticio y tubería de cobre para el intercambiador de calor.

**Figura 16.** Prototipo de un sistema de extracción de aceites esenciales por arrastre por vapor.



En la Tabla 8. se tiene un listado con las principales meterías primas para la construcción del sistema de destilación diseñado con el costo aproximado de cada una de ellas. Se debe tener en cuenta que la fabricación en consumo reduciría su costo por las medidas mínimas las cuales venden ciertos materiales las cuales tendrían un exceso para fabrican un según componente o parte de este.

**Tabla 8.** Listado de materias primas con su respectivo costo a la fecha de entrega del presente trabajo.

Elemento	CANTIDAD	COSTO [\$]
Lamina acero inoxidable calibre 14 1220*2470mm	2	690.000
Brida en acero inoxidable 304 1"	4	143.000
Tubería redonda acero inoxidable 304 50*2500mm	1	145.000
Tubería cuadrada acero inoxidable 40*40*4000mm	2	370.000
Tubería redonda acero inoxidable 304 1"*1200mm	1	130.000
Tubo redondo acero inoxidable 304 4"1000mm	1	215.000
Tubo de cobre ½"*3000mm	1	180.000
Electrodo INOX 308L-16 kilo	1	165.000
Tornillería	1	35.000
Empaque siliconado	1	55.000
Resistencia de 3KW	1	145.000
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 2.403.000</b>



## 4. Conclusiones y recomendaciones

Con base en los resultados obtenidos durante todo el proceso de desarrollo del presente trabajo se puede concluir que:

- Es una alternativa que podría contribuir a explorar un nuevo mercado internacional con materias primas del país.
- Es una opción novedosa relacionada con la explotación y transformación de materias primas del país.
- Es una alternativa viable desde el punto de vista tecnológico y económico.
- Basados a los estudios de pérdida de cosechas de naranja en el país por falta de consumo interno, se podría aprovechar este sobrante en transformación de materia para ampliar la comercialización.
- Se recomienda continuar con este estudio, ya que a través de la profundización en la temática, se podrían tener en cuenta aspectos que posiblemente se hayan pasado por alto en la elaboración de este trabajo y que permitirían el diseño de distintas referencias con diferentes potencias disponibles.
- Los costos iniciales para la fabricación de un sólo prototipo inicial son bajos, lo que lo convierte en una opción muy viable económicamente si se llegase a construir el sistema.



## Referencias

- aromaterapia, A. (21 de 11 de 2020). *alambiqaromaterapia*. Obtenido de <https://www.alambiqaromaterapia.com/rene-maurice-gattefosse/>
- DANE. (2016). *Boletín mensual INSUMOS Y FACTORES ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA*. Obtenido de [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol\\_Insumos\\_oct\\_2016.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_oct_2016.pdf)
- diferenciador. (09 de 04 de 2023). *diferenciador descubre las diferencias y las semejanzas* . Obtenido de <https://www.diferenciador.com/conduccion-conveccion-y-radiacion/>
- Frutales, A. (20 de 03 de 2023). *Arboles Frutales* . Obtenido de <https://arbolesfrutales.org/todo-lo-que-debes-saber-sobre-el-naranja/>
- gastronomiaycia. (05 de 01 de 2021). *gastronomiaycia.republica.com*. Obtenido de <https://gastronomiaycia.republica.com/2021/01/05/los-aceites-esenciales-vegetales-pueden-reemplazar-a-los-conservantes-quimicos-en-la-carne/>
- Giwa, S. O. (junio de 2018). <http://www.arpnjournals.com>. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Abdulwahab-Giwa/publication/322592986\\_Utilizing\\_orange\\_peels\\_for\\_essential\\_oil\\_production/links/5a61a3e64585158bca4a0cc2/Utilizing-orange-peels-for-essential-oil-production.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Abdulwahab-Giwa/publication/322592986_Utilizing_orange_peels_for_essential_oil_production/links/5a61a3e64585158bca4a0cc2/Utilizing-orange-peels-for-essential-oil-production.pdf)
- M, A. M. (2001). *Universidad de Antioquia* . Obtenido de [https://www.med-informatica.com/OBSERVAMED/Descripciones/AceitesEsencialesUdeA\\_esencias2001b.pdf](https://www.med-informatica.com/OBSERVAMED/Descripciones/AceitesEsencialesUdeA_esencias2001b.pdf)
- Nisbett, R. G. (s.f.). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. MCGRAW-HILL.
- originalcherry. (23 de 10 de 2017). <https://www.originalcherry.es/>. Obtenido de <https://www.originalcherry.es/blog/historia-los-aceites-esenciales-2/#:~:text=La%20humanidad%20ya%20utilizaba%20los,protecci%C3%B3n%20contra%20los%20malos%20esp%C3%ADritus.>

44 Diseño de un sistema de extracción de aceites esenciales de naranja por arrastre de vapor para la industria alimenticia

---

salamarkesa. (03 de 04 de 2023). *www.salamarkesa.com*. Obtenido de <https://www.salamarkesa.com/propiedades-sustancias-puras-termodinamica-ejercicios-resueltos/>

thermtest. (30 de 08 de 2021). *thermtest.com*. Obtenido de <https://thermtest.com/latinamerica/efectos-de-la-conductividad-termica-en-la-tecnica-de-coccion#:~:text=El%20cobre%20posee%20un%20valor,metal%20para%20utensilios%20de%20cocina.>

Yunus A. Cengel, M. A. (2012). *Termodinámica*. MCGRAW-HILL.