

Propuesta de diseño ingenieril para construcción de un hidroddestilador, en condiciones eco-sustentable para la obtención de aceites esenciales

Engineering design proposal for the construction of a hydrodistiller, in eco-sustainable conditions to obtain essential oils

Diego Anthony Hurtado-Portocarrero

diego.hurtado.portocarrero@utelvt.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-9417-6979>

Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Ecuador

RESUMEN

Se ha propuesto la estrategia de diseño para un extractor multifuncional para aceites esenciales a nivel de laboratorio experimental (volumen máximo de 5-10 litros efectivos de procesamiento) para el estudio de extracción de aceites esenciales, a partir de especies botánicas que habitan en la provincia de Esmeraldas, con fines de evaluación del proceso extractivo y generación de volúmenes de AE para determinación de actividad biológica y composición. Todo el conjunto de este extractor diseñado consta de: Hervidor, calentador eléctrico (cinta eléctrica), cesta metálica para materiales vegetales, hidroddestilador propiamente dicho, condensador, unidad colectora del producto y aditivos. Para el diseño del extractor propiamente dicho se ha empleado el modelo de extractor de lecho fijo con flujo pistón del vapor o solvente y el modelo Soxhlet empleando diversos materiales vegetales. Se presentan los cálculos y criterios correspondientes para el diseño de cada una de las partes que componen todo el prototipo propuesto de extracción multifuncional a escala para aceites esenciales. Las especificaciones y datos de construcción de las otras unidades se mencionan en el cuadro de resultados, y el esquema de instalación también se describe. Esta propuesta de diseño de unidad prototipo se utilizará para fines constructivos, en tiempo real y experimentales, para desarrollo de trabajos de investigación en procesos de extracción de aceites esenciales y su valoración como aditivos de alto valor agregado en agroquímica, química verde sintética y química ecológica.

Palabras claves: Aceites Esenciales, Diseño, Hidroddestilador, Condiciones Eco-Sustentables.

ABSTRACT

A design strategy has been proposed for a multifunctional extractor for essential oils at experimental laboratory level (maximum volume of 5-10 effective liters of processing) to study the extraction of essential oils from botanical species that live in the province of Esmeraldas, for the purpose of evaluating the extractive process and generating volumes of EO for the determination of biological activity and composition. The whole set of this designed extractor consists of: Kettle, electric heater (electric belt), metal basket for plant materials, hydro distiller-extractor proper, condenser, product collecting unit and additives. For the design of the extractor itself, the fixed-bed extractor model with steam or solvent piston flow and the Soxhlet model using different plant materials have been used. The corresponding calculations and criteria for the design of each of the parts that make up the entire proposed multifunctional extraction prototype for essential oils are presented. The specifications and construction data of the other units are mentioned in the results table, and the installation schemes are also described. This proposed prototype unit design will be used for constructive, real time and experimental purposes for research work on essential oil extraction processes and their valorization as high value-added additives in agrochemistry, synthetic green chemistry and ecological chemistry.

Keywords: Essential Oils, Design, Hydro-Distiller, Eco-Sustainable Conditions.

INTRODUCCIÓN

Los aceites esenciales, incluyendo la diversidad molecular de sus componentes, constituyen una materia prima eco-sustentable de alto valor agregado para la industria química en general. En las actuales condiciones debe destacarse que la industria de extracción, procesamiento y modificación de aceites esenciales, es una de las esferas de la química ingenieril y aplicada de mayor incremento operacional, donde conceptual y tecnológicamente, convergen la química de productos naturales, el diseño tecno-ingenieril y desarrollo de procesos en condiciones eco-sustentables.

En este contexto, el mercado mundial de aceites esenciales alcanzó un valor de 10.300 millones de dólares en 2021. En un estudio de tendencias de desarrollo, el IMARC Group espera que el mercado alcance los 17.600 millones de dólares en 2027.

A escala nacional, en Ecuador, y a escala regional (UTELVT-GIM) constituirá un renglón de singular importancia por su potencialidad como precursores para procesos químicos y desarrollo de formulaciones agroquímicas para control de plagas y vectores (*GIM-FACI seminarios académicos y de vinculación mayo-julio 2022*). Según cifras del Banco Central del Ecuador, de enero a octubre del presente año, se registraron 1,73 millones de dólares en exportaciones de aceites esenciales, lo cual refleja un incremento del 14,6 por ciento en comparación al total de las ventas anuales de 2017, con más de 60 tipos de aceites esenciales extraídos, vía destilación y prensado en frío, de hierbas, árboles y especies aromáticas locales

Considerando estas tendencias y la necesaria potenciación de la visión químico-ingenieril aplicada y del desarrollo de

prototipos polifuncionales, desde la ingeniería química verde y la química verde eco-sustentable, *per se*, la Facultad de Ciencias Técnicas e Ingenierías, FACI, y la carrera de Ingeniería Química, adjuntas a la Universidad Técnica "Luis Vargas Torres" de Esmeraldas, UTLVTE, valoran positivamente contribuir, en tiempo real, al desarrollo de la tecnología química, diseño de unidades funcionales y a la formación del futuro profesional que, críticamente, valore la significación de los procesos químicos y su implementación a escala de laboratorio.

METODOLOGIA

Metodología y métodos para desarrollo de la propuesta de diseño objeto de estudio:

Localización

El presente trabajo de investigación se desarrolló en las dependencias del GIM, Grupo de Investigaciones Multidisciplinarias, adjunto a la Facultad de Ingenierías, de la UTLVTE, Campus "Nuevos Horizontes" durante Abril-Julio de 2022, actualmente ubicado en el galpón 3 de la Carrera de Mecánica.

Para su ejecución no se consideraron costos indirectos ni se utilizaron fuentes de financiamiento externas, solo se implementaron técnicas básicas de autogestión.

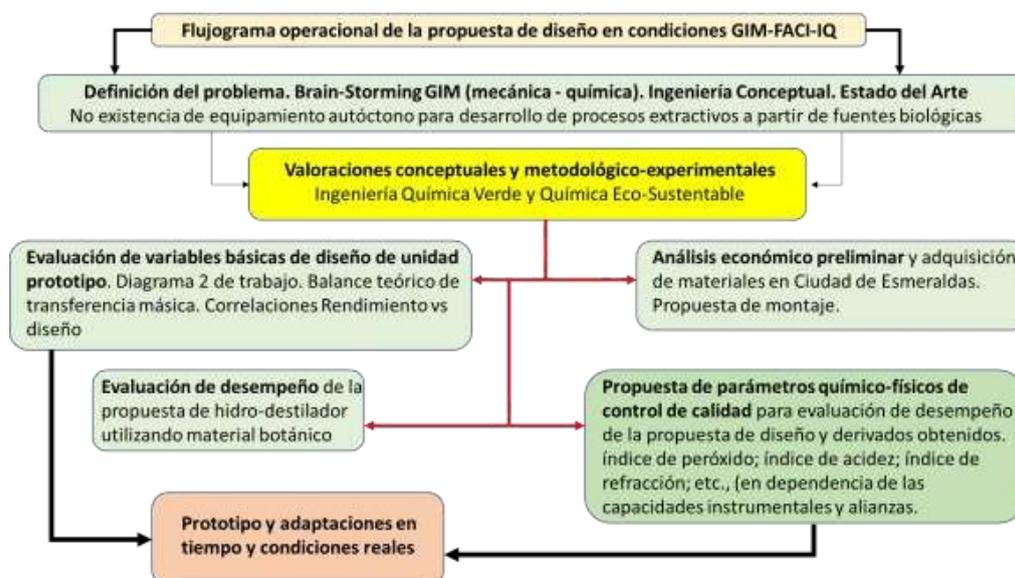
Todas las piezas, conectores, resinas de sellado y dispositivos, se adquirieron en las comercializadoras locales, y ferreterías, de la Ciudad de Esmeraldas. Las herramientas necesarias para la construcción del diseño propuesto incluyen, pero no se limitaron a:

Un taladro eléctrico, sierra de mano, equipo de soldadura.

Resinas termo-resistentes para sellado y pegado en frío.

La conceptualización y el flujograma de operaciones para la ejecución del proyecto, se representa en el siguiente Diagrama, donde se detalla la secuencia de acciones implementadas, fundamentándose en la serie: definición - valoraciones conceptuales - evaluación de variables - análisis técnico-económico básico - evaluación de desempeño según parámetros teóricos - propuesta de prototipo.

Figura 1. Propuesta de prototipo



Elaboración propia

Las especies botánicas utilizadas fueron menta (*Mentha piperita* L.) y jengibre (*Zingiber officinale*). Se adquirieron en el mercado Municipal de Esmeraldas (Olmedo final) en las condiciones de comercialización de esta institución, pero evitando las hojas y rizomas con daño anatómico-morfológico o presencia de microorganismos. Las cantidades de cada especie botánica fueron 250 gramos.

Para el caso de menta, las hojas se lavaron y secaron, conservándose una cantidad equivalente al 20 % del material original sin procesamiento previo. No se aplicaron ni solventes ni formulaciones para tratamiento microbicida ni para

conservación.

Para el caso de los rizomas de jengibre, la muestra se lavó y se secó, cortándose en pequeñas porciones de 2-3 cm. No se aplicaron ni solventes ni formulaciones para tratamiento microbicida. El proceso de secado fue a temperatura ambiente y en condiciones de humedad atmosférica local.

Llene la cámara de ebullición con agua a temperatura ambiente hasta que el nivel del agua esté justo por debajo de la rejilla (~5L). Una vez colocada la rejilla, agregar las hojas de menta. Asegure la tapa de la cámara de ebullición con las abrazaderas. Llène el recipiente del condensador con agua fría, aproximadamente 15-17 0C. Coloque un vaso de precipitados estéril de 1 L debajo de la salida del condensador para recoger la mezcla de hidrosol y aceite. Aplique calor en el fondo de la cámara de ebullición utilizando fuentes eléctricas o de leña durante dos horas para la menta y cuatro horas para el jengibre. El proceso de extracción se continúa hasta que no se obtienen más aceites esenciales

Descripciones y especificaciones de la propuesta de diseño de hidroddestilador GIM- FACI

La propuesta de diseño, para su construcción posterior, de la unidad prototipo de hidroddestilador, consta de cinco componentes principales, como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Presentación de la propuesta de diseño para construcción de hidroddestilador



Fuente: autor

Esta unidad prototipo, a un costo de 137 usd, permite el procesamiento de aprox. 0.5-1.5 Kg de material vegetal triturado o seco pulverizado).

El **componente 1** es la cámara principal o de ebullición, en la que se hierve el agua para producir vapor con el que se trata el material vegetal, o residual agroindustrial, para la obtención de los compuestos volátiles de las especies botánicas de estudio. El recipiente de la cámara principal es una olla de cinco galones (*Comercializadora SuperPlaza, Esmeraldas*) de acero inoxidable modificada.

Para garantizar que no se pierda el vapor generado, la tapa del recipiente y el perímetro exterior del borde de la olla se aislaron, utilizando como sellador de bajo costo un neumático de bicicleta que se pegó al borde exterior de la olla con una masilla resistente al calor (Masilla en formato de pasta fina para Altas Temperaturas Sintex Refractario Negro 300 MI Quilosa con resistencia térmica hasta 1500 °C, en volúmenes de trabajo de 300 mL y densidad de 1.80 g/cm³). Debe destacarse que no se utilizó resina epoxídica termo-resistente debido a su fragilidad en condiciones de humedad elevada y presencia de compuestos con funciones hidroxilo (C- OH) y ceto (C=O) que pueden afectar su estabilidad química durante los procesos de hidro- destilación.

Para desviar, y transportar, el vapor fuera del recipiente principal, se fijó una manguera de ducha (**Componente 2**) a la tapa de la cámara principal. Para sujetar y sostener la manguera, se fijó a la tapa un racor (pieza de metal o material dado que está conformadas por dos roscas internas que están en sentido inverso, y que son muy útiles a la hora de enlazar tuberías entre otros perfiles con forma cilíndrica) de nylon MPT de ½" de diámetro, mediante la perforación de un agujero de ½" en la tapa de acero inoxidable.

Para perforar este orificio, primero se hizo un orificio piloto de ⅛" en la tapa, seguido de un orificio de ½". Se lijó el orificio y luego se atornilló la pieza de unión, que consiste en una pieza macho y otra hembra, con la tapa entre las dos piezas. También se colocaron dos juntas en el borde de la tapa, entre la pieza macho y la hembra, para sellar la unión y la tapa y evitar fugas de vapor.

El **Componente 2** se utilizó para dar al dispositivo cierta flexibilidad en la colocación del intercambiador de calor (**Componentes 3 y 4**). El **componente 2** está unido a la bobina de cobre (**Componente 3**) mediante un adaptador macho de

cobre de 1/2" x 1/2" que se soldó al extremo de la bobina de cobre.

El rebobinado de cobre (**Componente 3**) es de 6 a 9 pies, o 1,80 m y 2.70 m respectivamente, en total que se dobló en cuatro bobinas manualmente. En el otro extremo de la bobina hay un adaptador de cobre CSST x MIPT macho de 1/2" que también fue soldado y luego se ha hecho un agujero de 1/2" en el **componente 4** (cubeta de plástico de 5 galones). El agujero del **componente 4** también fue perforado usando una broca de 1/2" con un agujero piloto de 1/8". Este agujero es donde el extremo de la bobina de cobre con el adaptador macho de cobre y el adaptador hembra de cobre de 1/2" a 1/2" se unen, y es donde el hidrosol (mezcla de agua con aceite esencial y volátiles) y el aceite esencial saldrán al final del proceso.

El **componente 4** también está equipado con una llave de hierro tipo Válvula de 1/2" que se utilizará para vaciar el cubo del agua caliente que se acumula debido al intercambio de calor entre el vapor del serpiente de cobre y el agua del cubo. Esta válvula también se instaló perforando un agujero piloto de 1/8" seguido de una broca de 1/2" para el agujero final.

El **componente 5** es la rejilla que se colocará en la cámara principal (**componente 1**) para elevar el material vegetal por encima del agua hirviendo. Debe considerarse que el diámetro de esta rejilla es menos 1 cm el diámetro del **componente 1**.

Tabla1. Desglose de costos necesarios para la construcción del hidro-destilador considerando la propuesta de diseño de este dispositivo (precios según proveedores locales, Ferreteria Olmedo y Rocafuerte).

Componentes	Sustituciones	Dimensiones	Costo
Cámara de ebullición	Olla de acero inoxidable de 5 galones (18,90 L)	15"x14"x14"	27.00 usd. 19,70% total
Rejilla metálica (gradilla)	Colador por cocción	15"x15"x2"	3.00 usd 2.18% total
Aislamiento	Neumático de bicicleta	14" Circunferencia	5.00 usd 3.6% total
Tubo para distribución del vapor de acero inoxidable	Manguera de ducha domestica	60" longitud	10.00 usd 7.30% total
Intercambiador de calor	Tubo de cobre	3/8" de diámetro x 9"	40.00 usd 29.2 % total
Recipiente de intercambio de calor	Cubeta de plástico con capacidad de 5 galones (18.90 L)	11.75"x11.7"x14.5"	20.00 usd 14.6% total
Accesorios, dispositivos misceláneos	Válvulas, adaptadores y uniones	Válvula de grifo de manguera de 1/2"	
		Adaptador macho de cobre 1/2" x 1/2"	
		"	32.00 usd
		Uniones de Nylon Adaptadores macho y hembra de cobre 1/2"	23.4% total
TOTAL			137.00 usd

Nota: Debe considerarse, además, un 12 % de IVA más un 10 % asociado a cambios súbitos de proveedores locales y precios.

DESARROLLO

Aceites esenciales y compuestos orgánicos volátiles de origen botánico.

Según la AEMPS, (2018), los aceites esenciales son las fracciones líquidas volátiles, generalmente destilables por arrastre con vapor de agua, que contienen las sustancias responsables del aroma de las plantas y que son importantes en la industria cosmética (perfumes y aromatizantes), de alimentos (condimentos y saborizantes) y farmacéutica (saborizantes) obtenidas a partir de una materia prima vegetal definida botánicamente, por destilación con vapor, por destilación seca, o por un proceso mecánico apropiado sin calentamiento. Los aceites esenciales normalmente se separan de la fase acuosa mediante un proceso físico que no afecta significativamente a su composición.

Los estudios fisicoquímicos y de química analítica de compuestos orgánicos volátiles, derivados de las intensivas aplicaciones de los aceites esenciales en medicina, cosmética, control de plagas epidemiológicas y agrícolas, desarrollo de nano-composites y nuevos materiales, síntesis verde eco-sustentable, etc., así como la comprensión de su significación químico-ecológica como componentes defensivos de plantas, microorganismos y animales y su impacto en fenómenos atmosféricos, permitieron establecer que las fracciones más volátiles de muchos aceites esenciales están constituidas por hidrocarburos de fórmula C₁₀H₁₆ denominados terpenos (del Alemán *terpentin* =trementina) y terpenoides (Perveen, 2018;

Almarie, 2020),

Por ejemplo, el mentol, principal componente del aceite de menta, tiene la fórmula $C_{10}H_{20}O$, y el zingibereno, principal componente del aceite de jengibre, tiene la fórmula química $C_{15}H_{24}$.

Métodos de extracción de aceites esenciales

Los métodos de extracción de aceites varían de acuerdo con la naturaleza de la esencia, de sus características y en qué parte de la matriz vegetal se encuentra. Los métodos clásicos son extracción por destilación (en corriente de vapor a presión reducida), por expresión, por extracción mediante grasas o solventes y por extracción con fluidos supercríticos (Attokaran, 2017).

Destilación al vapor

Los aceites esenciales pueden producirse mediante la aplicación de diversos procedimientos químico-físicos, como la extracción con disolventes. Estos métodos que usan mezclas de solventes de diferentes polaridades no son adecuados para nuestro caso de estudio debido a su coste, sus residuos y su complejidad operativa. El principal método artesanal (y escalable) de producción de aceite esencial es la destilación del aceite, a partir de materia prima de origen botánico mediante procesamiento asistido con vapor.

Proceso de destilación de aceite esencial (según Mulvaney, Jill. "Essential Oils and Steam Distillation." Plant Distillation Techniques (2012): 15-19. Journal of the New Zealand Association of Medical Herbalists (AVENA).

La investigación reveló que el vidrio, el cobre y el acero inoxidable son los tres materiales más utilizados para los destiladores de aceites esenciales. Sin embargo, el acero inoxidable es la mejor opción en términos de material de construcción para el destilador porque se considera no reactivo y esto significa que no interferirá con la estructura química de los componentes mayoritarios del aceite o hidrosol de manera que lo haga inseguro para el uso humano.

Mediante los procesos difusionales (sólido-líquido), estas mezclas poli-componentes de monoterpenos y terpenoides pueden extraerse mediante el uso de diferentes métodos de extracción sólido-líquido, que difieren según las propiedades o características de los aceites esenciales de que se trate y de su cantidad.

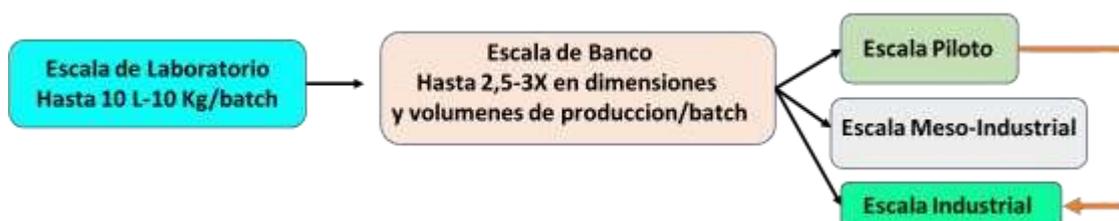
De acuerdo con estos criterios, Duy, (2021) considera los siguientes métodos que son usados industrialmente:

- Extracción por hidrodestilación
- Extracción por exprimición
- Extracción por solventes orgánicos
- Extracción a la grasa
- Extracción por fermentación.
- Procesos extractivos con fluidos supercríticos-CO₂
- Procesos hifenados empleando microondas

Diseño ingenieril de hidrodestiladores y unidades de extracción de aceites esenciales

El diseño tradicional de los prototipos de hidro destiladores-extractores para aceites esenciales se basa en el Diagrama 1:

Diagrama 1. Diseño tradicional de equipos industriales extensive unidades prototipo en Ingeniería Química.



Fuente: Elaborado por el autor, mayo 2022, UTELVT-FACI-GIM, Ecuador

En esta clásica estrategia de diseño y modelado por etapas las crecientes complejidades estructurales, incluyendo los

balances correspondientes de masa y transferencia de calor, asociadas con la intervención de parámetros físicos, son observados gradualmente y, por lo tanto, se incrementan considerablemente los costos, disminuyendo la eficiencia del proceso previamente considerado (Scenna, 1999).

El desarrollo de la filosofía de diseño de unidades prototipos para su aplicación a procesos químicos, y considerando la conceptualización base de las variables de procesos y reacciones químicas, ha permitido la implementación de una visión más "prudente-realista" para minimizar costos e impactos ambientales impredecibles. Esta visión se representa en el Diagrama 2 (Burillo, 2003).

Diagrama 2. Diseño "prudente-realista" de equipos industriales extensivo a unidades prototipo en Ingeniería Química.



Fuente: Elaborado por el autor, octubre 2022, UTELVT, Ecuador.

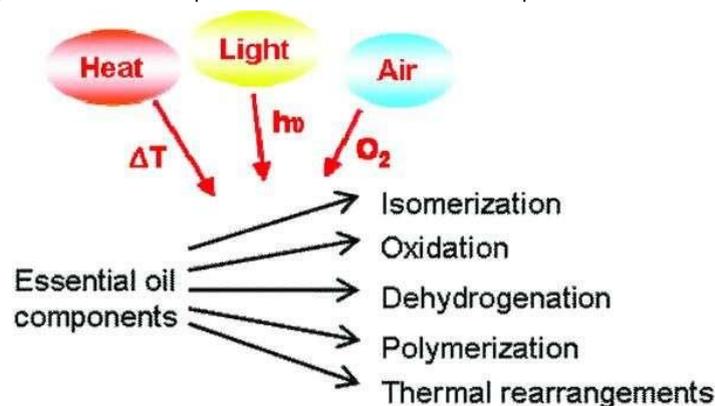
En esta estrategia de propuestas de diseño de unidades prototipo de hidro-destiladores- extractores a nivel de planta, la primera fase incluye el análisis base a escala de laboratorio y banco, y posteriormente se evalúan y comparan las variables de propuesta de diseño, los resultados experimentales y la conceptualización del modelo físico, sino no existe convergencia o correlación de los datos, entonces se modifican los modelos físicos, y a continuación se implementan las predicciones en forma similar en escala piloto. Esta comparación del comportamiento real del prototipo con predicción basada en modelos físicos permite el ajuste de los parámetros del modelo (físico). Por lo tanto, el diseño final no es un proceso *a priori*, sino que está informado y actualizado a través de una realimentación.

Esta estrategia fundamenta la propuesta de diseño presentada para la construcción de un hidro-destilador y su implementación en el GIM, Grupo de Investigaciones Multidisciplinarias de la FACI-UTLVTE.

Química de la calidad de aceites esenciales

Se sabe que los aceites esenciales pierden su calidad a través de los cinco procesos indicados en la Figura siguiente: isomerización, oxidación, deshidrogenación, polimerización y reordenamientos térmicos. Estos procesos se producen cuando el aceite se expone al calor, la luz solar o ultravioleta, agentes metálicos catalíticos, microorganismo o el aire (Alankar, 2009).

Figura 4. Reacciones posibles en aceites esenciales que afectan su calidad.



Fuente: (Tomado, sin modificaciones de Alankar, Shrivastava. "A Review on Peppermint Oil."

Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research 2.2 (2009): 27-33. Web. 26 junio, 2022).

Entre estos procesos, que afectan sensiblemente la calidad de los aceites esenciales, y cualquier metabolito secundario volátil de origen botánico, durante su procedimiento de extracción-obtención, almacenamiento y pre-utilización, se destacan los fenómenos de deshidrogenación, que pueden transcurrir en condiciones de extracción o almacenamiento por la presencia de microorganismos, humedad y sales metálicas, así como los eventos de oxidación e hidro-peroxidación, en condiciones de temperatura y humedad elevadas, que generan, debido a la termo-labilidad de los aceites esenciales

derivados hidroperóxidos inestables y peligrosos, eventos que disminuyen el valor agregado tecnológico de estas materias primas (Turek, 2013).

Modelo básico de transferencia de masa (MBTM). Consideraciones generales o Supuestos de transferencia de masa:

- El sistema es isotérmico e isobárico.
- El lecho de material vegetal de la especie botánica se considera un lote.
- El lecho poroso formado por el material vegetal objeto de proceso es estable. No se produjeron cambios de forma, macroestructura, o disposición durante el proceso.
- La fase de vapor dentro del recipiente de destilación se considera perfectamente mezclada, con flujo constante de vapor.

Todo el aceite contenido en las vesículas del material vegetal objeto de proceso fue extraído durante el proceso.

1. El agua condensada y el aceite esencial eran completamente inmiscibles
2. El vapor que fluye a través del lecho de material vegetal objeto de proceso está completamente libre de aceite (Cerpa, 2008).

RESULTADOS

Evaluación de rendimiento de la propuesta de diseño

Para evaluar el éxito del prototipo, se midió tanto la calidad como la cantidad del aceite esencial generado durante el proceso de hidrodestilación utilizando la propuesta de diseño.

Calidad del producto

Para medir la calidad del aceite esencial y volátil obtenido vía hidrodestilación en las condiciones de estudio, se midieron los valores de índice de peróxido e índice de acidez. El valor del índice de peróxido (VIP) es un parámetro utilizado para cuantificar el grado de oxidación de una muestra de aceite esencial. El valor del índice de acidez (VIA) representa la cantidad de acidez del aceite esencial obtenido, y ambos parámetros indican la calidad del aceite (Paudyal, 2012). Los valores ideales para los análisis de VIP, y VIA están representados por los valores estándar. Los resultados se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 2. Valor de Índice de Acidez (VIA) experimental para jengibre (*Zingiber officinale* L.), muestra Mercado Municipal Esmeraldas en comparación con estándar de referencia

Valor de índice de acidez experimental	Valor de índice de acidez estándar (referencia)
2.2	10.2

Tabla 3. Valor de Índice de Acidez experimental para menta (*mentha piperita* L.), muestra Mercado Municipal Esmeraldas en comparación con estándar de referencia

Valor de índice de acidez experimental	Valor de índice de acidez estándar (referencia)
0.5	2.3

Tabla 4. Valor de Índice de Peróxido (VIP) experimental para jengibre (*Zingiber officinale* L.), muestra Mercado Municipal Esmeraldas en comparación con estándar de referencia

Valor de índice de peróxido experimental	Valor de índice de peróxido estándar (referencia)
0.06	1.3

Tabla 5. Valor de Índice de Peróxido (VIP) experimental para menta (*mentha piperita* L.), muestra Mercado Municipal Esmeraldas en comparación con estándar de referencia

Valor de índice de acidez experimental	Valor de índice de acidez estándar (referencia)
1.3	1.6

Relación volumen de destilado vs tiempo de hidrodestilación.

Tiempo en minutos (min.)	Volumen de hidrosol + aceite esencial (mL)
20	< 100
40	230
60	500
80	900

Como alternativa, para evaluar las fallas y causas potenciales, asociadas al máximo rendimiento, en condiciones reales, de la propuesta de diseño de hidro-destilador, se decidió aplicar, a nivel base, la estrategia de Kepner Tregoe, método KT, (Mulder, 2012), sencilla, y que solo requiere el conocimiento técnico del objeto de estudio.

Las valoraciones (ponderaciones) totales del análisis KT

Las valoraciones (ponderaciones) totales para el análisis KT se determinaron multiplicando el peso de cada criterio por la calificación de cada dispositivo-proceso. El peso y la ponderación se han establecido en una escala de uno a tres, siendo uno la prioridad más baja y tres la más alta. El peso de cada factor se multiplicó por la ponderación otorgada a cada método, y estas cifras se sumaron para obtener la puntuación global. La puntuación global más alta es el indicador de la mejor metodología. Basándose en este análisis KT, la destilación por vapor es el mejor método para el proyecto. La Tabla resume los resultados y la decisión final.

Criterio	Peso	Ponderación	Ponderación	Hidro	Destilación
		(Hidro)	(Vapor)	destilación	con vapor
Rendimiento del aceite esencial (%)	1	1	2	1	2
Calidad del aceite esencial	1	1	2	1	2
Capacidad de implementación y puesta en práctica en condiciones específicas (Laboratorio o Comunidad)	2	2	2	4	4
Asequibilidad constructiva y Accesibilidad a Componentes y misceláneas	3	2	2	6	6
Ergonomía/Seguridad en el funcionamiento y mantenimiento	3	2	2	6	6
Viabilidad operacional para el material vegetal utilizado	2	1	2	2	4
Total				20	24

Desde la visión de asequibilidad y viabilidad, la destilación al vapor es preferible a la hidrodestilación para esta propuesta de proyecto de diseño porque es más rápida (en tiempo) y se utiliza para material vegetal de todo tipo (hierbas, tallos, ramas, material triturado o seco) y no para las flores (Mulaney, 2012).

Evaluación del mejor estado de entrada de la materia prima vegetal

La elección ideal de material botánico como materia prima se fundamenta en su accesibilidad local, sostenibilidad productiva y presentaran propiedades morfológicas útiles para la mejor experiencia en la evaluación del proceso de destilación utilizando el prototipo propuesto. En este contexto, se seleccionaron 2 especies: menta (hojas y tallos pequeños) y jengibre (rizoma, raíz).

Como se muestra en la Tabla anterior, el estado de entrada ideal de la materia prima menta es seco y entero, sin tratamiento previo de trituración o picado. Según (Siddeeg, 2018), el método más utilizado para destilar el aceite de menta es con el material vegetal (hojas y tallos) entero y seco. El razonamiento de esta elección es que se tardaría menos tiempo en liberar los compuestos volátiles de la menta cuando se seca. En un intento de utilización de materia de prima de menta en forma de material triturado-picado durante el proceso de hidrodestilación, el rendimiento del aceite esencial fue muy bajo. El rendimiento del aceite de menta para la destilación al vapor de la menta seca y entera fue mayor que el rendimiento de la menta seca picada para la hidrodestilación, donde los porcentajes de rendimiento fueron del 1,0% y del 0,64% del peso seco, respectivamente (Alankar, 2009; Gavahian, 2015). Basándonos en este análisis, se determinó que la menta seca y entera es el mejor estado de la materia prima vegetal para la destilación al vapor.

Tabla 6. Análisis KT para el estado de materia prima vegetal menta

Función	Peso	Ponderación (entero; seco)	Ponderación (triturado picado; seco)	Material vegetal entero, seco	Material vegetal triturado picado, seco
Rendimiento del aceite esencial (%)	3	3	2	9	6
Calidad del aceite esencial	3	3	2	9	6
Capacidad de implementación y puesta en práctica en condiciones específicas	2	2	2	4	4
(Laboratorio o Comunidad)	1	2	1	2	1
Asequibilidad					
Total				24	17

Tabla 7. Análisis KT para el estado de materia prima vegetal jengibre

Función	Peso	Ponderación (entero; seco)	Ponderación (triturado picado; seco)	Material vegetal entero, seco	Material vegetal triturado picado, seco
Rendimiento del aceite esencial (%)	3	1	2	3	6
Calidad del aceite esencial	3	3	1	9	3
Capacidad de implementación y puesta en práctica en condiciones específicas (Laboratorio o Comunidad)	2	2	2	4	4
Asequibilidad	2	2	2	4	4
Total				20	17

El estado ideal de entrada de la materia prima jengibre (rizoma-raiz) es seco y triturado- picado para utilizar durante la destilación al vapor. Aunque el rendimiento del aceite fue ligeramente inferior cuando se utilizó jengibre seco picado en lugar de jengibre seco molido, la calidad del aceite era mayor cuando se utilizaba jengibre seco picado. Esto tiene que ver con el hecho de que las altas temperaturas pueden sobrecalentar la materia prima de jengibre y generar, o activar proceso de descomposición, degradando así la calidad del aceite esencial obtenido (Fitriady, 2017; Widayat, 2018).

CONCLUSIONES

Se evaluó el estado del arte tomando como referencia de materia prima botánica las especies de *Mentha piperita* L. (menta) y *Zingiber officinale* L. (jengibre). El estudio reveló que, en las condiciones actuales de trabajo GIM-FACI-UTLVTE, el desarrollo de unidades para implementar procesos de destilación, vía hidro-destilación y destilación con vapor, de material vegetal autóctono, constituye una estrategia viable, sustentable y técnicamente escalable, que fortalecería el banco de propuestas químico-ingenieriles

Debe destacarse que, desde el punto de vista constructivo, y en correspondencia con el análisis económico preliminar, todos los procedimientos son sencillos y utilizan recursos y misceláneas asequibles en proveedores y comercializadores locales. La aplicación de un método sencillo de ponderación KT permitió evaluar la versatilidad de la

propuesta de diseño del prototipo.

Se demostró la coherencia del diseño. Paralelamente, los cálculos de balance de masa, cantidad de agua a utilizar durante el proceso de hidrodestilación, y la caracterización fisicoquímica de los aceites obtenidos mediante la determinación de índice de acidez e índice de peróxidos, corroboraron el carácter práctico-escalable y funcionalidad de la propuesta de diseño de hidrodestilador.

REFERENCIAS

- AEMPS, 2018 Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios.
- Alankar, Shrivastava. "A Review on Peppermint Oil." *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research* 2.2 (2009): 27-33. Web. 26 junio, 2022.
- Almarie, A. Roles of Terpenoids in Essential Oils and Its Potential as Natural Weed Killers: Recent Developments. In: de Oliveira, M. a. , Costa, W. A. d. , Silva, S. G. , editors. *Essential Oils - Bioactive Compounds, New Perspectives and Applications* [Internet]. London: IntechOpen; 2020 [cited 2022 Jun 09]. Available from: <https://www.intechopen.com/chapters/72424> doi:10.5772/intechopen.91322.
- Álvarez-Borroto, Reynerio, Stahl, Ullrich, Cabrera-Maldonado, Elvia V., & Rosero- Espín, Marco V.. (2017). Los paradigmas de la ingeniería química: las nuevas fronteras. *Educación química*, 28(4), 196-201. <https://doi.org/10.1016/j.eq.2017.05.002>.
- Amenaghawon, N. A., K. E. Okhueigbe, S. E. Ogbeide, and C. O. Okieimen. "Modeling the Kinetics of Steam Distillation of Essential Oils from Lemon Grass." *International Journal of Applied Science and Engineering* 12.2 (2014): 107-15.
- Anastas, P.T., and Zimmerman, J.B., "Design through the Twelve Principles of Green Engineering", *Env. Sci. and Tech.*, 37, 5, 94A-101A, 2003.
- AOAC 1995. *Official Methods of Analysis of the AOAC*. Ed). Washington, DC, USA. Association of Official Analytical Chemists.
- Armijo, J., et. al. Modelamiento y simulación del proceso de extracción de aceites esenciales mediante la destilación por arrastre con vapor. *Rev. Per. Quím. Ing. Quím.* Vol. 15, N. ° 2, 2012, págs. 19-27.
- Attokaran, M. *Methods of Extraction of Essential Oils*. (2017). *Natural Food Flavors and Colorants*, 26–30. doi:10.1002/9781119114796.ch7.
- Boutekdjiret, C., Bentahar, F., Belabbes, R., & Bessiere, J. M. (2003). Extraction of rosemary essential oil by steam distillation and hydrodistillation. *Flavour and Fragrance Journal*, 18(6), 481-484.
- Burillo, J. (Ed.) *Investigación y experimentación de plantas aromáticas y medicinales en Aragón: Cultivo, transformación y analítica*. Gobierno de Aragón, Dpto. de Agricultura, Dirección General de Tecnología Agraria, Zaragoza, España, 1-150, 2003.
- Bustamante, J., van Stempvoort, S., García-Gallarreta, M., Houghton, J. A., Briers, H. K., Budarin, V. L., ... & Clark, J. H. (2016). Microwave assisted hydro-distillation of essential oils from wet citrus peel waste. *Journal of cleaner production*, 137, 598-605.
- Chenni, M., El Abed, D., Rakotomanomana, N., Fernandez, X., & Chemat, F. (2016). Comparative study of essential oils extracted from Egyptian basil leaves (*Ocimum basilicum* L.) using hydro-distillation and solvent-free microwave extraction. *Molecules*, 21(1), 113.
- Gavahian, M., & Farahnaky, A. (2018). Ohmic-assisted hydrodistillation technology: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 72, 153-161.
- Golmakani, M. T., & Rezaei, K. (2008). Comparison of microwave-assisted hydrodistillation with the traditional hydrodistillation method in the extraction of essential oils from *Thymus vulgaris* L. *Food chemistry*, 109(4), 925-930.
- Jimenez-Carmona, M. M., Ubera, J. L., & De Castro, M. L. (1999). Comparison of continuous subcritical water extraction and hydrodistillation of marjoram essential oil. *Journal of Chromatography A*, 855(2), 625-632.
- Lucchesi, M. E., Chemat, F., & Smadja, J. (2004). Solvent-free microwave extraction of essential oil from aromatic herbs: comparison with conventional hydro-distillation. *Journal of Chromatography a*, 1043(2), 323-327.
- Hien, T. T., Nhan, N. P. T., Nguyen, T. D., Ho, V. T. T., & Bach, L. G. (2018). Optimizing the pomelo oils extraction process by microwave-assisted hydro-distillation using soft computing approaches. In *Solid State Phenomena* (Vol. 279, pp. 217-221). Trans Tech Publications Ltd.
- Wollinger, A., Perrin, É., Chahboun, J., Jeannot, V., Touraud, D., & Kunz, W. (2016). Antioxidant activity of hydro distillation water residues from *Rosmarinus officinalis* L. leaves determined by DPPH assays. *Comptes Rendus Chimie*, 19(6), 754-765.
- Zhao, S., & Zhang, D. (2014). Supercritical CO₂ extraction of Eucalyptus leaves oil and comparison with Soxhlet extraction and hydro-distillation methods. *Separation and Purification Technology*, 133, 443-451.