

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO EXPERIMENTAL PARA DESTILACIÓN POR ARRASTRE DE VAPOR (DAV) DE ACEITES ESENCIALES, Caso: CÁSCARA DE NARANJA DULCE (CITRUS SINESIS)

DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN EXPERIMENTAL EQUIP FOR DISTILLATION DRAG VAPOR (DAV) OF ESSENTIAL OILS, CASE: SWEET ORANGE PEEL (CITRUS SINESIS)

Milenka Hilda Balboa Laura*

RESUMEN	ABSTRACT	RESUMO
Diseño y construcción de un equipo para someter cáscaras de naranja dulce a destilación por arrastre de vapor. Obteniendo como resultado los aceites esenciales de naranja. El generador de vapor opera con un flujo de vapor de arrastre de 2,1 gramos por segundo, presión de 1,15 atm y 97 °C de temperatura. Parámetros que permitieron dimensionar la cámara de arraste para tratar 3kg de materia prima triturada. La construcción de este equipo experimental contribuye al estudio de la destilación por arrastre de vapor, teniendo en cuenta parámetros, variables y técnicas que ayuden a mejorar la eficiencia del proceso. PALABRAS CLAVES: Aceites esenciales, presiones de vapor, procesos de separación con transferencia de masa, destilación por arrastre de vapor. History of the article: Received 10/06/2021. Style review 19/07/2021. Accepted 22/07/2021.	Design and construction one equipment to subject sweet orange peels to steam drag distillation. Obtaining as a result the essential oils of orange. The steam generator operates with a drag steam flow steam 2.1 gram per second, pressure of 1.15 (atm.), and 97 °C of the temperature, parameters what permitted the sizing of the drag chamber for one treated 3kg of material raw. The construction of this experimental equipment contributed to the study of drag steam distillation, taking into account parameters, variables and techniques that aid improved the efficiency of the process. KEYWORDS: Essential oils, vapor pressures, separation processes with mass transfer, stripping steam.	Projeto e construção de um equip para extraer óleos essenciais de laranja, a partir de sus cascas aplicando técnicas destilação por (arrasto) vapor. O gerador de vapor opera com uma vazão de vapor de arrasto de 2,1 gramas por segundo, pressão de 1,15 atm e 97 °C de temperatura; parâmetros que permitem o dimensionamento da câmara de arraste para tratar 3kg de matéria-prima triturada. A construção deste equipamento experimental contribui para o estudo da destilação por (arrasto) vapor, levando em consideração parâmetros, variáveis e técnicas que auxiliam na melhoria da eficiência do processo. PALAVRAS-CHAVE: Os óleos essenciais, pressões de vapor, processos de separação com a transferencia de massa, destilação arrastamento com vapora.

INTRODUCCIÓN

Destilación por arrastre de vapor (DAV) y su principio

La destilación es un proceso físico de separación que usa el calentamiento de materiales líquidos hasta el punto donde uno o varios de sus componentes más volátiles pasan a la fase de vapor y, a continuación, enfriando este vapor, se pueden separar componentes líquidos a través de la condensación.

Cuando se utiliza vapor saturado o sobrecalentado, producido externamente fuera del equipo principal, (caldera, autoclave de presión o un recipiente adecuado), el proceso se denomina destilación por arrastre de vapor (DAV).

Al destilar dos líquidos heterogéneos, como en este caso: agua y aceite esencial, cada uno de estos compuestos ejerce su propia presión de vapor. Cuando las presiones de vapor conjuntas alcanzan la presión exterior, la mezcla hierve.

Así, algunos aceites esenciales con puntos de ebullición altos, pueden evaporar a temperaturas cercanas al punto de ebullición del agua. Esta temperatura será inferior al punto de ebullición del componente más volátil. Por lo tanto, si uno de los líquidos es agua (destilación por arrastre con vapor de agua), y el sistema está a presión atmosférica, se puede separar el compuesto de mayor punto de ebullición a la temperatura de ebullición del agua¹.

En general, la DAV, es útil para separar compuestos que manifiestan las siguientes condiciones:

- Alta volatilidad,
- Inmiscibles en agua,
- Presión de vapor baja,
- Punto de ebullición alto.

Condiciones que son comunes en los aceites esenciales²; mezclas químicas complejas, constituidas principalmente por: terpenos, alcoholes, ésteres, aldehídos aromáticos, fenoles e hidrocarburos. Por lo general, los aceites esenciales se concentran en el interior de la materia vegetal (glándulas, conductos, sacos), compuestos volátiles que sometidos a la acción del vapor de agua, pueden separarse de la materia vegetal.

Bajo esta perspectiva, en el presente trabajo, se detallan aspectos destacados del diseño, construcción y operación de un destilador por arrastre de vapor experimental para obtener el aceite esencial de la cáscara de naranja dulce (citrus sinesis). Tomando en cuenta la disponibilidad de la materia prima y su bajo costo.

DESARROLLO

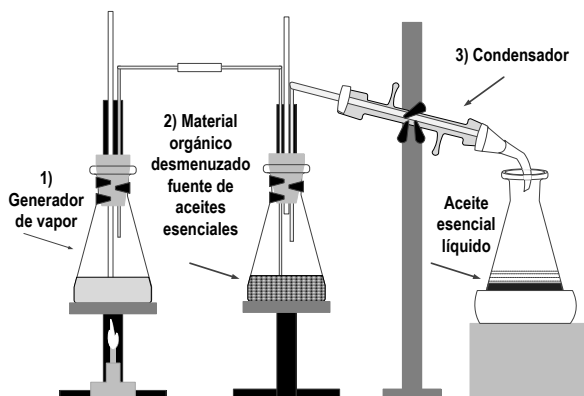
a) Dimensionamiento a escala

Consiste en reproducir las condiciones de operación registradas especialmente en actividades de laboratorio, hacia otras similares generalmente de mayor tamaño, apoyándose en cálculos específicos de la operación.

¹ La temperatura de ebullición de una sustancia, varía con la altitud geográfica del lugar: para el agua a nivel del mar 100 °C y 89 °C a nivel de la ciudad de la Paz.

² Forman parte de las flores, frutos, hojas, raíces, semillas y corteza de los vegetales. Productos naturales de uso en industrias: farmacéuticas, alimenticias y de perfumería principalmente. También, se constituyen en productos alternativos para la elaboración de biopesticidas o bioherbicidas.

La figura 1, muestra el montaje de laboratorio DAV.



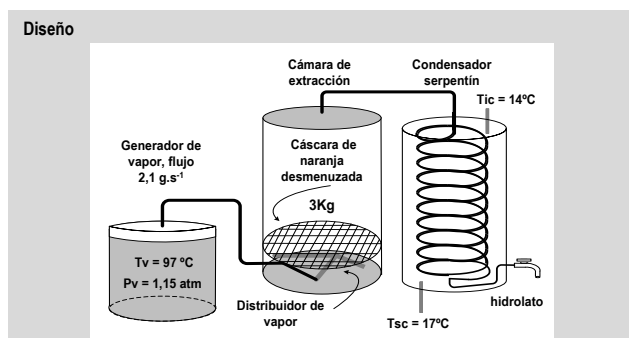
Fuente: Elaboración propia

Figura 1: Componentes laboratorio destilación por arrastre de vapor DAV

En consecuencia, se propuso a partir del montaje de laboratorio, desarrollar un montaje equivalente pero de mayor capacidad, diseñando, construyendo y operando el equipo DAV artesanal para tratar una cantidad definida de materia prima, y a través de su funcionamiento, obtener información sobre los parámetros y variables que rigen este proceso fisicoquímico.

b) Criterios para el diseño y montaje DAV final

Ampliando la capacidad de operación y de acuerdo con las limitaciones materiales del equipo, Se definió la construcción de un DAV para tratar 3 kg de materia prima. De acuerdo con este dato y el trabajo experimental del DAV artesanal, Los componentes del diseño experimental final se muestran en la figura 2.



Construcción equipo DAV



Fuente: Elaboración propia

Figura 2: Esquema y montaje del equipo DAV final

c) Determinación del volumen del alambique

Volumen cilíndrico del alambique, calculado considerando los siguientes datos: diámetro 20 cm, altura 64,36 cm, corresponde a:

$$V_{\text{alambique}} = \pi r^2 h = 20220 \text{ cm}^3$$

Por otra parte la masa promedio de cáscara de naranja fue de 2463,6 g y la masa teórica 3000 g.

En consecuencia, para esta masa el volumen es:

$$V_1/m_1 = V_2/m_2 \\ 20220/2463,6 = V_2/3000, \quad V_2 = 24622,5 \text{ cm}^3$$

Con el dato del volumen obtenido y tomando en cuenta la bibliografía se dio un espacio del 15 porciento adicional al volumen:

$$V_{2 \text{ ampliado}} = 24622,5 \text{ cm}^3 + 0,15(24622,5 \text{ cm}^3) = 28315,9 \text{ cm}^3$$

En consecuencia para este volumen y suponiendo un diámetro de 30 cm la altura del equipo es de:

$$V_{\text{alambique corregido}} = \pi r^2 h = 28315,9 \text{ cm}^3 \\ h = V_{\text{alambique corregido}} / \pi r^2 = 40 \text{ cm}$$

d) Determinación medidas del serpentín

El condensador tipo serpentín por el cual circula el agua de refrigeración. Requiere el cálculo del coeficiente de convección:

$$h_c = \{0,555 [\rho(\rho - \rho_s)gK^3 h_{fg}] / [\mu d(T_g - T_p)]\}^{0,25}$$

Donde:

g = Aceleración de la gravedad = $0,775 \text{ m.s}^{-2}$
 K = Conductividad térmica = $0,68 \text{ W. m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$,
 h_{fg} = Calor latente de condensación
 $h_{fg} = 597,02 - 0,5402 T - 0,0004 T^2 \text{ (}^\circ\text{C)} = \text{Kcal.Kg}^{-1}$,
 μ = Viscosidad = $0,000282 \text{ Pa.s}$,
 d = Diámetro del tubo = $1,6 \text{ (cm)}$,
 T_g = Temperatura del vapor = 87°C ,
 T_p = Temperatura de pared = 85°C ,
 T_v , se aproximada a la $T_{\text{ebullición}}$ del agua en la ciudad de La Paz,
 T_p , temperatura aproximada a la temperatura del vapor.

e) Balance de energía:

$$\dot{w}_{\text{vap}} \cdot h_{fg} = h_c \cdot A \cdot (T_g - T_p) \\ A = \dot{w}_{\text{vap}} \cdot h_{fg} / h_c \cdot (T_g - T_p)$$

A = Área transferencia de calor,
 $\dot{w}_{\text{vap}}$ = flujo másico vapor generado

Área de transferencia en función al número de vueltas del serpentín:

$$A = N_{\text{vueltas}} \cdot (\pi/4 \cdot D_{\text{tubo}}) \cdot (\pi \cdot D_{\text{serpentín}})$$

$$N_{\text{vueltas}} = A / (0,25 \pi^2 \cdot D_{\text{tubo}} \cdot D_{\text{serpentín}})$$

El número de vueltas calculado es de 8,02. Asegurando un condensado más eficiente se incrementa una vuelta más ($N_{\text{vueltas}} = 9$). Finalmente la longitud requerida de tubo para el serpentín corresponde a:

$$L = N_{\text{vueltas}} \pi D_{\text{serpentín}} = [(9)(3,1416) (13,2)] / 100 = 3,7 \text{ m}$$

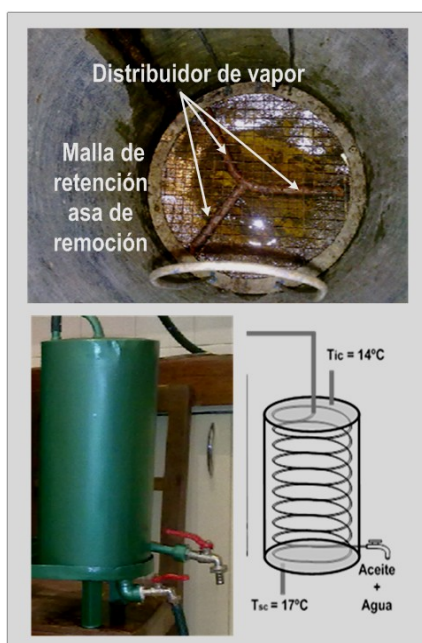
f) Dimensionamiento final

Diámetro del alambique	30 cm
Altura del alambique	40 cm
Diámetro de perforación del distribuidor de vapor, tres tubos divididos con seis perforaciones en cada uno de los tubos	1,44 mm
Diámetro del tubo condensador	1,6 cm
Diámetro del condensador	13,2 cm
Longitud del tubo condensador	3,7 m

g) Generador de vapor y condensador mejorados

Se incorporó un distribuidor de vapor dividido en tres partes. Además se colocó una malla de retención para que no se comprima el vapor en la parte inferior y además facilitar la descarga de materia prima. Ver figura 3.

- En la construcción del condensador se aplicó nueve vueltas, requisito que garantiza alcanzar una mejor refrigeración, y asegura mejores condiciones para el condensado.
- Se incluyó un embudo de separación para recibir el aceite e hidrolato, y así, observar el avance gradual de la extracción.
- También se realizó un corte al equipo en la parte superior que evita la presión contenida, y permite observar el nivel del agua en el condensador.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3: Distribuidor de vapor, condensador de nueve vueltas

h) Parámetros característicos de funcionamiento:

Flujo de vapor	2,1 g.s ⁻¹
Presión de vapor	1,15 atm
Temperatura de vapor	97 °C
Tiempo de vaporización	30 minutos

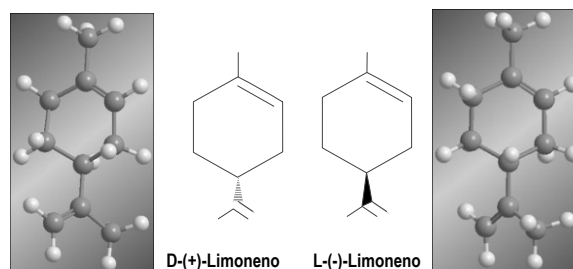
El principio básico para la destilación de dos líquidos mezclados, como el agua y un aceite esencial, establece

que cada uno ejerce su propia presión de vapor como si el otro componente estuviera ausente. Cuando las presiones de vapor combinadas alcanzan la presión del recinto, la mezcla hierve. Es el caso de los aceites esenciales con puntos de ebullición altos que bajo estas circunstancias pueden evaporar a temperaturas próximas al punto de ebullición del agua (87°C ciudad de La Paz), por ejemplo:

- Eugenol 250°C,
- Limoneno 178°C,
- Linalol 198°C,
- Acetato de linalil 220°C.

CONCLUSIONES:

- Se diseñó y construyó un equipo de DAV según los parámetros calculados como se demuestra en el presente artículo.
- El rendimiento promedio del aceite obtenido fue de 0,9314 por ciento respecto al peso de cáscara frescas de naranja.
- El proceso llevado a nivel experimental, demuestra la viabilidad técnica de producción de aceite esencial de naranja con un alto contenido en *L-limoneno* a partir de la cáscara de naranja dulce.



BIBLIOGRAFÍA:

Wankat, C. P., 2008, Ingeniería de procesos de separación, Capítulo 8, pp: 234-235, ISBN: 9789702612810, Editorial Prentice Hall | 2da Edición, México,

Juachim, M., 2005, Producción de naranja en sistemas agroforestales sucesionales en Alto Beni, Bolivia, estudio de caso, pp: 324-325, Bolivia,

Yanez R.L., Lugo, M., 2007, Estudio del aceite esencial de la cáscara de naranja dulce, Revista Facultad de Ciencias Básicas, Volumen 5, p: 4,

Himmelblau, D., 1998, Balance de materia y energía, Editorial Prentice Hall Hispanoamericana S.A., ISBN: 9789688801208, México,

Felder, R., Rousseau, R.W., 2004, Principios fundamentales de los procesos químicos, ISBN: 9681861698 - Editorial Limusa Wiley, 3era Edición, México,

Perry, R.H., 1998, Manual del Ingeniero Químico, Sección 5 Mecánica de Fluidos y partículas. Tomo II, pp: 5-54 y 5-55, Editorial Mc Graw Hill, México,

Yunus, A. C., Transferencia de calor, Convección natural, pp: 466-469, ISBN 9701044843, Editorial McGraw-Hill Interamericana, 2da edición, México,

Fernández, G., 2012, Limoneno, www.quimicaorganica.net, Consulta: 08/06/2021.

(*), La autora es: Licenciada en Química Industrial, Docente Carrera de Química Industrial, Facultad de Tecnología – UMSA.