

Destilación de alcohol etílico empelando energía solar

Chávez Sánchez Sandra*, Terres Peña Hilario, Lizardi Ramos Arturo, López Callejas Raymundo,
Vaca Mier Mabel, Alaníz Chávez Rosa Angélica

Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Energía. Av. San Pablo No. 180, Azcapotzalco, Ciudad de México, C.P. 02200. México.

*Autor para correspondencia: scs@azc.uam.mx

Recibido:

28/febrero/2020

Aceptado:

11/diciembre/2020

Palabras clave:

Destilación solar,
alcohol,
radiación solar

Keywords:

Solar still,
alcohol,
solar radiation

RESUMEN

En este trabajo, se realiza un análisis del proceso de destilación solar de la mezcla de agua desionizada con alcohol etílico al 70%, se ejecutan 5 pruebas experimentales en un destilador solar aletado, siendo el volumen de 1 L y empleando mezclas de 200/800, 400/600, 600/400, 800/200 y 1000/0 ml de alcohol y agua respectivamente, en las cuales se midió el grado de alcohol con un refractómetro alcanzando 16°, 29°, 48°, 50° y 70° en la mezcla. Durante la experimentación se midieron datos de temperatura, radiación solar, volumen destilado y grado de alcohol. Los resultados arrojaron que en los primeros 30 minutos de destilación el grado de alcohol aumenta entre 10° y 14° posteriormente empieza a disminuir, finalmente en cada prueba experimental se destiló el 80% del volumen inicial.

ABSTRACT

In this work, an analysis of the process of solar distillation desionizada water mixture with ethyl alcohol to 70% is performed, five experimental tests run on a finned solar still, the volume of 1 L and using mixtures of 200/800, 400/600, 600/400, 800/200 and 1000/0 ml of alcohol and water, respectively, in which the degree of alcohol was measured with a refractometer reaching 16°, 29°, 48°, 50° and 70° in the mixture. During the experiment, temperature, solar radiation, distilled volume and alcohol grade data were measured. The result showed that in the first 30 minutes of distillation the degree of alcohol increases between 10° and 14° then begins to decrease; finally, in each experimental test 80% of the initial volume was distilled.

Introducción

La destilación de agua y mezclas binarias a través de la utilización de energía solar es un tema cada vez más estudiado y aplicado en muchos países. Experiencias realizadas en todo el mundo demuestran la gran importancia y utilidad de este método de destilación, además de su facilidad de utilización. Sin duda alguna, es más que evidente la necesidad de implementar nuevas tecnologías que permitan el aprovechamiento de la energía disponible, como lo es en este caso la radiación solar. Los equipos utilizados para este tipo de proceso son los denominados destiladores solares, los cuales son objeto de estudio y análisis para el diseño de estructuras que logren resultados de destilación convenientes para su posterior aplicación en diversas áreas. Por otra parte, el alcohol etílico es un líquido transparente con olor característico. Su fórmula química es $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$, además, es una materia prima importante para síntesis, presenta activación con algunos solventes y derivados de celulosa y forma azeótropos binarios y ternarios con el agua y los principales acetatos facilitando procesos de impresión y pintado. También es de gran aplicación en la industria por su bajo contenido de humedad y se utiliza como materia prima en procesos de síntesis orgánica e industria química.

Puede ser producido a partir de productos vegetales naturales como cultivos de azúcar y almidón mediante una técnica de fermentación, de la cual la concentración de alcohol es 10% v/v. Para lograr una mayor concentración, o un alcohol puro, se requiere una gran cantidad de energía durante el proceso de destilación, así el uso y aplicación de los destiladores solares es una alternativa de baja energía para aumentar la concentración de alcohol. Algunos autores han realizado estudios en destilación solar de alcohol, a continuación, se mencionan algunos.

Namprakai y Hirunlabh, (1997), aplican la teoría de Spalding, (1993) y Kiatsiriroat et al., (1986), para predecir la tasa de transferencia de masa en el proceso de destilación solar de alcohol, midieron temperaturas en la superficie de evaporación y condensación, incluyendo la concentración de alcohol en el líquido y en la superficie de evaporación, y modificaron el número de Reynolds, como resultados encuentran una correlación para medir el flujo de transferencia de masa, los resultados previstos se ajustan bien con los resultados experimentales que validan el modelo desarrollado, así la técnica puede ser utilizada para predecir los flujos de masa de alcohol y vapores de agua en el destilador solar. Por otra parte Rattanapol et al., (2013), presentan el desarrollo de un modelo matemático basado en la teoría de convección de Spalding, (1993) y la ley de difusión de Fick para predecir la productividad de etanol en un

destilador solar tipo caseta, emplearon diversas concentraciones de etanol-agua, midiendo su temperatura para estimar el coeficiente de transferencia de masa y la conductancia de transferencia de masa en el destilador, además al recipiente absorbedor le integraron un conjunto de aletas para una destilación de solución de alcohol de 10% v/v, encontraron que la productividad se incrementó en un 15.5%, al realizar la modificación comparado con un destilador convencional. Además, de que la eficiencia predicha por el modelo aumenta hasta en un 46%.

Un estudio reciente de Namprakai y Hirunlabh, (2007), quienes desarrollaron un modelo matemático en estado transitorio para la destilación solar de etanol, basado en el trabajo de Spalding, (1993), para calcular la productividad. El modelo tiene un RMSEs (error cuadrático medio) de 4% y 23% de la temperatura media medida y la productividad. Así, la productividad media fue de 0.33 kg/h cuando la entrada de radiación solar media fue de 1.95 MJ/m²/h. Las concentraciones de destilado simuladas fueron 74, 59 y 24 %v/v para concentraciones de solución de etanol de 50, 30 y 10% v/v. Las medias mensuales de la productividad diaria simulada y la radiación solar diaria total se correlacionaron linealmente. Finalmente encontraron que al aumentar la concentración de la solución de etanol en no más del 80% v/v podría mejorar la productividad.

En la literatura los estudios referentes a la destilación solar de alcohol son muy escasos, es por ello que en este trabajo se busca realizar experimentación para evaluar la capacidad que tiene los destiladores solares en aumentar la concentración de alcohol presente en una mezcla.

Metodología

En este trabajo se utiliza un destilador solar tipo caseta, en el interior se tiene un recipiente absorbedor con una superficie aletada en forma de panel de aluminio pintados de negro mate con un área de 0.23 m², la cubierta de vidrio cuenta con reflectores internos y un ángulo de inclinación de 30° con espesor de 3 mm, esto con la finalidad de garantizar el paso de la radiación solar. El recipiente absorbedor es colocado sobre una base de vidrio de 6 mm y entre las paredes del recipiente absorbedor y la base de vidrio de 6 mm, se tienen 4 canales de vidrio de 3 mm con un ángulo de inclinación de 5° aproximadamente, así el condensado que se adhiere a cada una de las paredes de la cubierta de vidrio es recolectado, por otra parte en la base del vidrio de 6 mm se tienen dos barrenos en contra esquina con un diámetro de 9 mm, donde se coloca una manguera de plástico para la recolección del destilado, figura 1.



Figura 1. Destilador solar tipo caseta con aletas y reflectores internos.

La solución a destilar, se coloca en el recipiente con aletas, el cual absorbe la radiación solar incidente, lo que se traduce en un ligero calentamiento que inmediatamente se transmite al agua, mediante la disposición de superficies aletadas en el destilador solar se logra considerablemente un aumento en la transferencia de calor, además a medida que el Sol sube sobre el horizonte en la mañana, la temperatura del fluido va aumentando, provocando a su vez un incremento en la presión del vapor, el vapor saturado en el interior del dispositivo comienza a condensarse debido a que la superficie interna de la cubierta de vidrio se encuentra a una temperatura menor que la del vapor de agua, la inclinación de la cubierta de vidrio permite que por gravedad las gotas de agua condensada escurran hacia abajo en donde se recolecta por medio de ductos el destilado.

En el destilador solar, se realizaron 5 pruebas experimentales, para ello se prepararon 5 concentraciones de alcohol etílico con agua destilada, dejando fijo el volumen inicial de 1 L, se mezclaron 200/800, 400/600, 600/400, 800/200 y 1000/0 ml de alcohol y agua respectivamente, cabe mencionar se utilizó alcohol etílico desnaturalizado 70°GL antiséptico el cual se encontraba a una temperatura de 15°C, también se usaron 5 termopares tipo K en la superficie de la cubierta de vidrio (T_{vi}), fluido (T_f), recipiente (T_r), aletas (T_{al}) y medio ambiente (T_{amb}) y un piranómetro Eppley modelo 8-48 para la medición de radiación solar, la instrumentación empleada fue mediante módulos ADAM, que sumado a una interface en LabView, se logran registrar las temperaturas y la radiación solar cada 10 minutos durante un intervalo de tiempo de 10:00 am a 14:00 pm, y con ayuda de probetas se midió el destilado cada media hora.

Para llevar a cabo la experimentación, se utilizó un simulador solar, el cual cuenta con las siguientes características: 6 lámparas con focos de halógeno/cuarzo de 500 W, 120 V, además tiene un aparato de encendido y control donde se puede variar la intensidad de las lámparas, esto con la finalidad de simular la radiación solar en el destilador solar. En la figura 2, se muestra el arreglo completo de las pruebas experimentales donde se utilizó el simulador solar. Además, se propuso un sistema de enfriado hacia el destilador solar mediante un ventilador, esto, con el fin de ayudar a la condensación en la cubierta de vidrio.

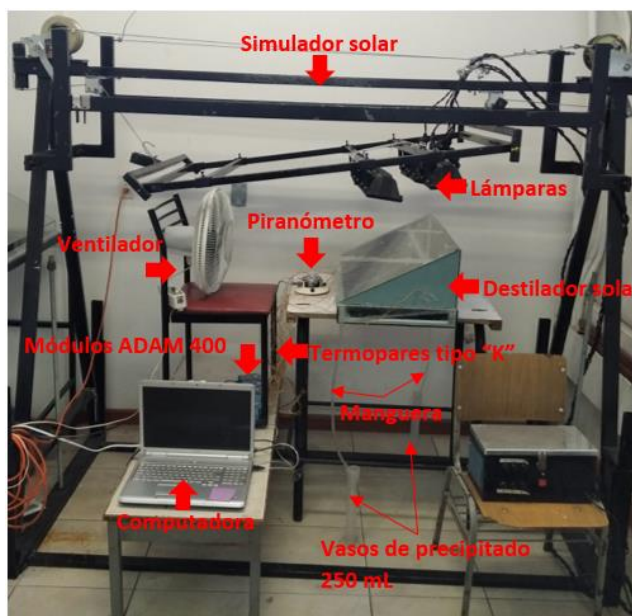


Figura 2. Arreglo para las pruebas experimentales.

Con ayuda de un refractómetro figura 3, se midieron los grados de alcohol a cada una de las muestras, a partir de las 10:30 h, debido a que el proceso de evaporación-condensación del alcohol necesito 30 minutos para obtener un volumen destilado, una vez iniciada la condensación se tomaron pequeñas muestras cada 10 minutos para medir el grado de alcohol.



Figura 3. Refractómetro para alcohol.

Resultados y discusión

Mediante la experimentación llevada a cabo en el destilador solar, se lograron obtener los siguientes resultados, para cada prueba experimental tales como datos de temperatura, radiación solar, volumen destilado y grado de alcohol presente en las muestras.

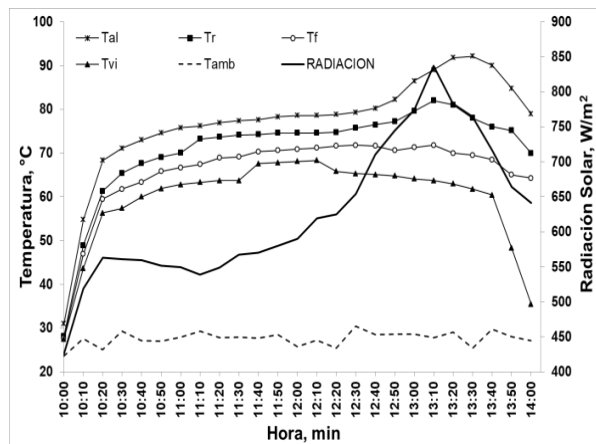


Figura 4. Distribución de temperatura y radiación solar para la prueba experimental con 400 ml de alcohol.

En la figura 4, se muestra el comportamiento de la temperatura en diferentes partes del destilador solar, así como la radiación solar que incidió en él, se observa que conforme va transcurriendo el tiempo la temperatura se va incrementando, alcanzando 90°C en la superficie aletada, posteriormente el recipiente absorbedor alcanza 82°C, el fluido 71°C y la superficie interna de la cubierta de vidrio 67°C, el comportamiento de la radiación solar es variable, ya que se simuló mediante lámparas de halógeno, sin embargo se aprecia que cuando la radiación disminuye las temperaturas se ven afectadas y esto ocurre bajo condiciones reales del medio ambiente. También es importante mencionar que el comportamiento para las demás pruebas experimental es muy similar.

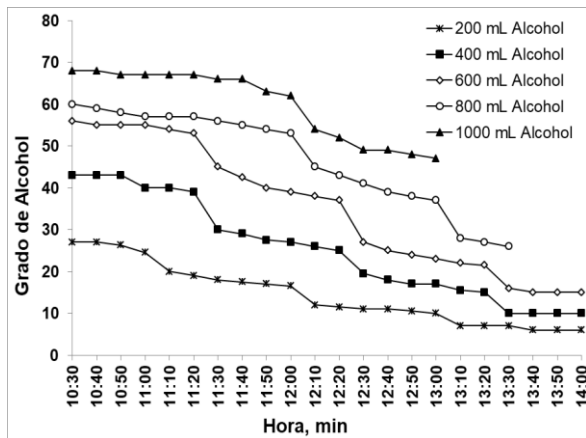


Figura 5. Distribución del grado de alcohol presente en el destilado respecto al tiempo.

Se muestran los grados de alcohol %v/v medidos con el refractómetro para cada muestra experimental, se obtuvieron muestras cada 10 minutos a partir de las 10:30 h, por lo que el proceso de separación de alcohol presente en agua requirió de 30 minutos, para que se iniciara la evaporación y condensación.

Se observa en la figura 5, que el valor máximo de grado de alcohol para todas las pruebas fue a las 10:30 am, posteriormente empezó a disminuir, también se observa que a las 13:30 h para las mezclas con 200/800, 400/600 y 600/400 ml de alcohol y agua, el grado de alcohol se mantiene constante, sin embargo para la prueba con 800/200 ml de alcohol y agua, se detuvo a las 13:30 h debido a que el volumen contenido en el recipiente ya no era suficiente para poder recolectar un destilado, puesto que ya se habían destilado 880 ml de alcohol, lo mismo ocurrió para la prueba 5 que solo contenía 1000 ml de alcohol, la cual a las 13:00 h, se destilaron 840 ml, tal y como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Volumen destilado y %v/v de alcohol para cada prueba experimental.

Hora [min]	Prueba 1		Prueba 2		Prueba 3		Prueba 4		Prueba 5	
	Volumen destilado [ml]	Alcohol [%v/v]	Volumen destilado [ml]	Alcohol [%v/v]	Volumen destilado [ml]	Alcohol [%v/v]	Volumen destilado [ml]	Alcohol [%v/v]	Volumen destilado [ml]	Alcohol [%v/v]
10:00	16		29		48		57		70	
10:30	90	27	100	43	120	56	115	60	78	68
11:00	152	24.5	210	40	250	55.00	230	58	150	68
11:30	320	18	320	30	360	45.00	320	56	400	66
12:00	442	16.5	460	27	500	39.00	480	53	540	62
12:30	560	11	520	19.5	630	27.00	630	41	750	49
13:00	648	10	670	17	710	23.00	850	37	840	47
13:30	701	7	790	10	844	16.00	880	26		
14:00	798	6	842	10	864	15.00				

En la Tabla 1, se muestra el % v/v de alcohol para cada una de las mezclas, adquiriendo valores iniciales de: 16, 29, 48, 57 y 70°, para las mezclas de 200/800, 400/600, 600/400, 800/200 y 1000/0 ml de alcohol y agua respectivamente, una vez iniciada la transferencia de calor en el interior del destilador solar, se obtuvo una muestra a las 10:30 h, registrándose altos contenidos de alcohol siendo estos de: 27, 43, 56, 60 y 68°, para las mezclas de 200/800, 400/600, 600/400, 800/200 y 1000/0 ml de alcohol y agua respectivamente, posteriormente se aprecia tanto en la Figura 5, como en la Tabla 1, que el grado de alcohol comienzan a decrecer rápidamente con el correr de las horas, esto es debido principalmente al aumento en la cantidad de agua presente en el vapor y por el aumento energético recibido por la solución ya que se muestra en la figura 4 que la temperatura de la mezcla alcanza valores por encima de los 70°C, y una ventaja de los destiladores solares es que no se requiere llegar al punto de ebullición del alcohol o del agua para que se inicie la evaporación. Además, se muestra el volumen destilado cada 30 minutos en cada una de las pruebas en donde se aprecia que en todas las pruebas se destilaron al menos 800 ml.

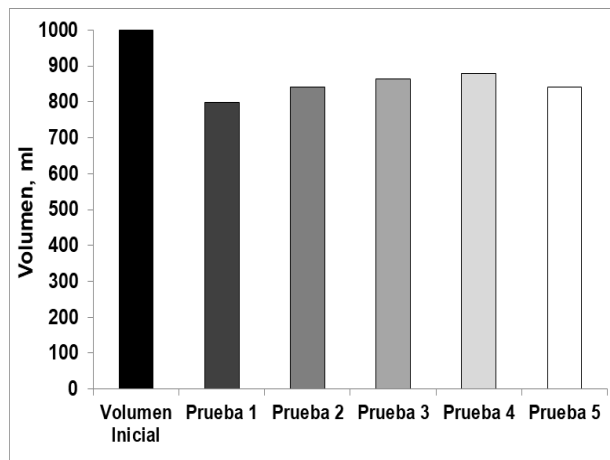


Figura 6. Volumen destilado para cada prueba experimental.

Finalmente en la figura 6, se aprecia el volumen destilado final en cada una de las pruebas, siendo este de 798, 842, 864, 880 y 840 para las mezclas de 200/800 (Prueba 1), 400/600 (Prueba 2), 600/400 (Prueba 3), 800/200 (Prueba 4) y 1000/0 (Prueba 5) ml de alcohol y agua respectivamente, destilándose en promedio el 84.4% del volumen inicial, se aprecia que para la prueba 1 el volumen es ligeramente menor a las demás pruebas y esto se debe a que la muestra contenía más agua que alcohol, por lo que se requería más cantidad de energía para poder evaporarla.

Conclusiones

En este trabajo se concluye que la destilación solar es una alternativa para la recuperación de alcohol presente en mezclas, alcanzando un incremento de 11 a 14 grados de alcohol para la primer hora, posteriormente empieza a disminuir, además el destilador solar tipo caseta con reflectores internos y superficies aletadas tienen una mejor eficiencia en cuanto a la productividad ya que en promedio se destila el 80% de la mezcla, sin importar la cantidad de alcohol presente.

La contribución de este trabajo está en mostrar de manera visual el comportamiento de un destilador solar para separar el alcohol presente en agua, empleando la energía solar, la cual es considerada de bajo costo y puede ser aprovechada y empleada en laboratorios o en el campo industrial, para la recuperación de alcohol, teniendo con ello ahorros en el consumo de energía eléctrica y costo del proceso de destilación, así como la disminución de la contaminación ambiental.

Referencias

- Kiatsiriroat T., Bhattacharaya S.C., Wibulsawas P. (1986). Prediction of Mass Transfer in Solar Still. *Energy*, 11, 881-886.
- Namprakai P., Hirunlabh J. (1997). Ethyl Alcohol Distillation in a Basin Solar Still. *Renewable Energy*, 11, 169-175.
- Namprakai P., Hirunlabh J. (2007). Theoretical and Experimental Studies of an Ethanol basin Solar Still, *Energy*, 32, 2376-2384.
- Rattanapol P.A., Pichai N., Wirut A. (2013). The Thermal Performance of an Ethanol Solar Still with fin plate to Increase Productivity, *Renewable Energy*, 54, 227-234.
- Spalding D. B. (1993). Convective Mass Transfer. Edward Arnold, London.