

ISSN 2444-4995

Volumen 2, Número 6 — Octubre — Diciembre -2016

Revista de Prototipos Tecnológicos

ECORFAN[®]



ECORFAN-Spain

Indización

Google Scholar

Research Gate

REBID

Mendeley

RENIECYT

ECORFAN-Spain

Directorio

Principal

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD.

Director Regional

MIRANDA-GARCIA, Marta. PhD.

Director de la Revista

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC.

Edición de Logística

PERALTA-CASTRO, Enrique. PhD.

Diseñador de Edición

TREJO-RAMOS, Iván. BsC.

Revista de Prototipos Tecnológicos, Volumen 2, Número 6, de Octubre a Diciembre - 2016, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Spain. Calle Matacerquillas 38, CP: 28411. Moralarzal -Madrid. WEB: www.ecorfan.org/spain, revista@ecorfan.org. Editora en Jefe: RAMOS-ESCAMILLA, María, Co-Editor: MIRANDA-GARCÍA, Marta, PhD. ISSN-2444-4936. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA - BOUCHÁN, Imelda, LUNA-SOTO, Vladimir, actualizado al 31 de Diciembre 2016.

Las opiniones expresadas por los autores no reflejan necesariamente las opiniones del editor de la publicación.

Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin permiso del Centro Español de Ciencia y Tecnología.

Consejo Editorial

MARTINEZ-BRAVO, Oscar Mario, PhD

Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica-UNAM-México

ROMAN-KALISCH, Manuel Arturo, PhD

Universidad Autónoma de Yucatán-México

SOUSA-GONZÁLEZ, Eduardo, PhD

Universidad Autónoma de Nuevo León-México

ARANCIBIA-VALVERDE, María Elena, PhD

Universidad Pedagógica Enrique José Varona de la Habana-Cuba

SALINAS-AVILES, Oscar Hilario, PhD

Centro de Investigación en Energía-UNAM-México

DE AZEVEDO-JUNIOR, Wladimir Colman, PhD

Federal University of Mato Grosso-Brazil

PÉREZ-ROBLES, Juan Francisco, PhD

CINVESTAV-IPN-México

PARTIDA-RUVALCABA, Leopoldo, PhD.

Universidad Tecnológica de Culiacán-México

MARTÍNEZ-RIVERA, María de los Ángeles, PhD

Escuela Nacional de Ciencias Biológicas-IP- México

GONZALEZ-TORRIVILLA, Cesar Castor PhD

Universidad Central de Venezuela-Venezuela

DE LA FUENTE-SALCIDO, Norma Margarita, PhD

Universidad Autónoma de Coahuila-México

Consejo Arbitral

MPC, PhD

Universidad de Valladolid- Spain

GGO, PhD

Universidad Autónoma Metropolitana- México

DGS, PhD

Universidad de Guadalajara- México

RLR, PhD

Universidad Autónoma de Sonora-México

CBMT, PhD

Universidad Autónoma de Baja California-México

HGV, BsC

Instituto Nacional de Higiene y Epidemiología-México

GOH, PhD

Facultad de Química, UNAM-México

EZNG, PhD

Instituto Nacional de Cardiología-México

Presentación

ECORFAN, es una revista de investigación que publica artículos en el área de: Prototipos Tecnológicos

En Pro de la Investigación, Docencia, y Formación de los recursos humanos comprometidos con la Ciencia. El contenido de los artículos y opiniones que aparecen en cada número son de los autores y no necesariamente la opinión del Editor en Jefe.

El artículo *Análisis energético y exergético del secado de hierbas aromáticas con energía solar* por TERRES-PEÑA, Hilario, VACA-MIER, Mabel, LIZARDI-RAMOS, Arturo y LOPEZ-CALLEJAS, Raymundo con adscripción en la Universidad Autónoma Metropolitana, como siguiente artículo está *Evaluación numérica de los reflectores internos de una estufa solar tipo caja mediante sus eficiencias termodinámicas de 1ª y 2ª Ley* por TERRES-PEÑA, Hilario, LIZARDI-RAMOS, Arturo, LÓPEZ-CALLEJAS, Raymundo y VACA-MIER, Mabel con adscripción en la Universidad Autónoma Metropolitana, como siguiente artículo e *Construcción de un prototipo funcional de riñón para comprobar teorías sobre la litiasis renal* por MENDOZA-GARCÍA, Alberto, RAMÍREZ-CHÁVEZ, César León y COYOLI-LAZCANO, Alejandro Texcatlipoca con adscripción en la Universidad de Ixtlahuaca , como siguiente artículo está *Diseño de Sistemas con Generación Directa de Vapor con el Uso de Concentradores Solares de Canal Parabólico utilizando el Software SOLEEC* por ENCISO-CONTRERAS, Ernesto, BARBOSA-SALDAÑA, Juan, MORENO-PACHECO, Luis y GUTIÉRREZ-TORRES, Claudia del Carmen, como siguiente artículo está *Tablero didáctico para entrenamiento de interconexión de sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica* por BRION-GONZÁLEZ, Rosa, MEJÍAS-BRIZUELA, Nildia, MORALES-HERNÁNDEZ, Irving y RIVERA-ROJAS, Alejandro con adscripción en la Universidad Politécnica de Sinaloa, como siguiente artículo está *Caracterización de una cocina solar dúplex de tubos evacuados* por GARCÍA-CARRERA, Diana, LUPIAN-UGALDE, Valeria, MARROQUIN-DE JESUS, Ángel y HERNÁNDEZ-RIVERA, Jaime, con adscripción en la Universidad Tecnológica de San Juan del Río, como siguiente artículo está *Diseño, construcción y operación de un equipo piloto de biosecado para residuos agroindustriales* por MÉNDEZ-CARRETO, Carlos, SOLANO-RENTERÍA, María, TORRES-MÓNFI, Ignacio y PÉREZ-SALAS, Anyuli, como siguiente artículo está *Simulación de un Concentrador Solar de Canal Parabólico mediante el Software SolTrace* por MENTADO-ISLAS, Diana, ELIZALDE-CARRIZO, Sandra, JIMÉNEZ-ISLAS, Donaji y AZUARA-JIMÉNEZ, Jorge, con adscripción en el Instituto Tecnológico Superior Huichapan, como siguiente artículo está *Sistema de Destilación Solar para Agua Contaminada* por PATIÑO-JIMÉNEZ, Felipe, RAMÍREZ-COUTIÑO, Víctor y LUJAN-MARTÍNEZ, Miriam con adscripción en la Universidad Tecnológica de Querétaro, como siguiente artículos está *Estudio experimental de una evaporadora solar de alimentos* por CASTILLO-TELLEZ, Beatriz, PILATOWSKY-FIGUEROA, Isaac, CASTILLO-TELLEZ, Margarita y OVANDO-SIERRA, Juan.

Contenido

| Artículo | Página |
|---|--------|
| Análisis energético y exergético del secado de hierbas aromáticas con energía solar TERRES-PEÑA, Hilario, VACA-MIER, Mabel, LIZARDI-RAMOS, Arturo y LOPEZ-CALLEJAS, Raymundo. | 1-9 |
| Evaluación numérica de los reflectores internos de una estufa solar tipo caja mediante sus eficiencias termodinámicas de 1ª y 2ª Ley TERRES-PEÑA, Hilario, LIZARDI-RAMOS, Arturo, LÓPEZ-CALLEJAS, Raymundo y VACA-MIER, Mabel | 10-20 |
| Construcción de un prototipo funcional de riñón para comprobar teorías sobre la litiasis renal MENDOZA-GARCÍA, Alberto, RAMÍREZ-CHÁVEZ, César León y COYOLI-LAZCANO, Alejandro Texcatlipoca | 21-35 |
| Diseño de Sistemas con Generación Directa de Vapor con el Uso de Concentradores Solares de Canal Parabólico utilizando el Software SOLEEC ENCISO-CONTRERAS, Ernesto, BARBOSA-SALDAÑA, Juan, MORENO-PACHECO, Luis y GUTIÉRREZ-TORRES, Claudia del Carmen | 36-45 |
| Tablero didáctico para entrenamiento de interconexión de sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica BRION-GONZÁLEZ, Rosa, MEJÍAS-BRIZUELA, Nildia, MORALES-HERNÁNDEZ, Irving y RIVERA-ROJAS, Alejandro | 46-51 |
| Caracterización de una cocina solar dúplex de tubos evacuados GARCÍA-CARRERA, Diana, LUPIAN-UGALDE, Valeria, MARROQUIN-DE JESUS, Ángel y HERNÁNDEZ-RIVERA, Jaime | 52-60 |
| Diseño, construcción y operación de un equipo piloto de biosecado para residuos agroindustriales MÉNDEZ-CARRETO, Carlos, SOLANO-RENTERÍA, María, TORRES-MÓNFIL, Ignacio y PÉREZ-SALAS, Anyuli | 61-67 |
| Simulación de un Concentrador Solar de Canal Parabólico mediante el Software SolTrace MENTADO-ISLAS, Diana, ELIZALDE-CARRIZO, Sandra, JIMÉNEZ-ISLAS, Donaji y AZUARA-JIMÉNEZ, Jorge | 68-75 |
| Sistema de Destilación Solar para Agua Contaminada PATIÑO-JIMÉNEZ, Felipe, RAMÍREZ-COUTIÑO, Víctor y LUJAN-MARTÍNEZ, Miriam | 76-81 |
| Estudio experimental de una evaporadora solar de alimentos CASTILLO-TELLEZ, Beatriz, PILATOWSKY-FIGUEROA, Isaac, CASTILLO-TELLEZ, Margarita y OVANDO-SIERRA, Juan | 82-89 |

Instrucciones para Autores

Formato de Originalidad

Formato de Autorización

Análisis energético y exergético del secado de hierbas aromáticas con energía solar

TERRES-PEÑA, Hilario*†, VACA-MIER, Mabel, LIZARDI-RAMOS, Arturo y LOPEZ-CALLEJAS, Raymundo.

Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco Departamento de Energía, Área de Termofluidos Av. San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas Del. Azcapotzalco, C.P. 02200, México D. F.

Recibido Octubre 14, 2016; Aceptado Noviembre 18, 2016

Resumen

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos del proceso de secado de hojas de las yerbas aromáticas menta (*Mentha spicata*) y perejil (*Petroselinum hortense*) utilizando un secador solar del tipo indirecto. El contenido inicial de humedad de la menta fue de 5 kg_a/kg_{ms} y después de 7 horas se llegó a 0.043 kg_a/kg_{ms} para el perejil el inicial fue de 3.4 kg_a/kg_{ms} y el final de 0.03 kg_a/kg_{ms}. El modelo que mejor describe esta pérdida de humedad es el logarítmico en ambos casos. La cantidad máxima de energía que el aire ganó a su paso por el colector solar, fue de 520 W y el valor máximo de la que cede en la cámara de secado, fue de 360 W. Con estos valores se obtuvo la Relación de Utilización de Energía (RUE) cuyo intervalo de variación fue de 0.17 a 0.55 %, presentando un máximo valor de 69 %. La eficiencia exergética mínima del proceso fue del 26 %.

Secado, energía solar, análisis de energía y exergía.

Abstract

This paper presents the results of the process of drying of the aromatic herbs, mint leaves (*Mentha spicata*) and parsley (*Petroselinum hortense*) using an indirect-type solar dryer. The initial moisture content of the mint was 5 kg_a/kg_{ms} and after 7 hours it was 0.043 kg_a/kg_{ms}. The initial content for parsley was 3.4 kg_a/kg_{ms} and the final content was of 0.03 kg_a/kg_{ms}. The model that best describes this loss of moisture is the logarithmic in both cases. The maximum amount of energy that the air passing through the solar collector won, was 520 W and the maximum value that the drying chamber transferred was 360 W. With these values the ratio of use of energy (RUE) was obtained, with a range of variation of 0.17 to 0.55%, presenting a maximum value of 69%. Minimum exergetic efficiency of the process was 26%.

Drying, solar energy, energy and exergy analysis.

Citación: TERRES-PEÑA, Hilario, VACA-MIER, Mabel, LIZARDI-RAMOS, Arturo y LOPEZ-CALLEJAS, Raymundo. Análisis energético y exergético del secado de hierbas aromáticas con energía solar. Revista de Prototipos Tecnológicos 2016, 2-6: 1-9

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: tph@correo.azc.uam.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Las hojas frescas o secas de menta (*Mentha spicata* L.) y de perejil (*Petroselinum hortense*) se utilizan en la preparación de algunos platillos, de cosméticos y en la industria farmacéutica. Las hojas de menta son refrescantes, antiasmáticas, antiespasmódicas, estimulantes, diaforéticas, estomacales y también se usan como saborizantes o en infusiones. Las hojas de perejil también se emplean en la cocina, forma parte de los componentes del curry, ensaladas o simplemente como un vegetal (The Columbia Electronic Encyclopedia, 2005). También se utilizan para producir el aceite esencial para perfumes, jabones, cremas y bronceadores de la piel. Las hojas de perejil tienen una gran cantidad de humedad y de microorganismos. Es una planta estacional y en cierta época del año escasea, por lo cual es necesario su conservación por algún método ya sea por secado o congelación, (Soysal, 2004). En México se producen 45 toneladas de menta y 3500 toneladas de perejil, (SIAP, 2015), se estima que aproximadamente el 30 % de esta producción no se comercializa debido a problemas de conservación originados por la naturaleza biológica de estas plantas.

En México el secado de productos agrícolas se realiza principalmente con energía solar a cielo abierto, este procedimiento consiste en colocar el producto sobre el suelo y esperar a que seque. Sin embargo no se tiene algún control sanitario, por que es muy fácil que el producto se contamine, se degrade antes de secarse o se vea afectado por alguna plaga. La utilización de colectores solares del tipo indirecto podría ayudar a evitar estos daños, ya que el aire caliente que se emplea en la operación se filtra antes de hacerlo pasar por el producto a secar.

Además el insumo gratuito de energía para calentamiento del aire es muy atractivo. Para el secado de las hojas de menta y perejil se han utilizado diversos procesos, tales como: el túnel de aire caliente, obteniendo el efecto tanto la temperatura como la velocidad del fluido en el producto y la difusividad efectiva, con la desventaja de los costos asociados al energético empleado para el calentamiento de aire (Doymaz, 2006; Doymaz et al., 2006; Ahmet y Orhan, 2009). Otros procesos emergentes como la técnica de secado en horno de microondas, ofrecen la ventaja de un producto final de mejor calidad, considerando al color como parámetro de evaluación, (Soysal, 2004, Soysal et al., 2006); sin embargo esta técnica tiene el inconveniente de un alto costo, de inversión inicial y de operación.

El objetivo de este trabajo es presentar el análisis energético y exergético del secado de hojas de las yerbas aromáticas menta (*Mentha spicata*) y perejil (*Petroselinum hortense*) en un secador solar del tipo indirecto, además de obtener el modelo de la cinética del proceso de secado utilizando al color como el parámetro determinante de la calidad de los productos obtenidos.

Modelo matemático de las curvas de secado

La relación de humedad se calcula como (López et al., 2009), $RM = (M_t - M_e)/(M_i - M_e)$; donde M_t es el contenido de humedad en el tiempo correspondiente, M_e es el contenido de humedad en equilibrio con el medio ambiente y M_i es el contenido de humedad inicial. Para simplificar este modelo, varios autores prefieren la siguiente simplificación, $RM = M_t/M_i$, en este trabajo también se utiliza esta última expresión. En la misma referencia se puede encontrar una tabla con los modelos matemáticos más empleados y el método estadístico de seleccionarlo.

Análisis energético y exergético

En este análisis se considera que el flujo es permanente, por lo tanto al aplicar la primera ley de la termodinámica al proceso de secado de una capa delgada de hojas del producto (Midilli y Kuçuk, 2003), las cuales están en el interior de la cámara de secado (**Figura 1**), por lo tanto la ecuación de conservación de la masa es:

$$\sum \dot{m}_{as,e} = \sum \dot{m}_{as,s} \quad (1)$$

En la cual $\dot{m}_{as,e}$ es el flujo másico del aire de secado a la entrada de la cámara de secado y $\dot{m}_{as,s}$ es el de salida. Con la consideración de flujo permanente, entonces,

$$\dot{m}_{as,e} = \dot{m}_{as,s} = \dot{m}_{as} \quad (2)$$

La ecuación de conservación de la energía es:

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_{as,s} \left(h_s + \frac{V_s^2}{2} \right) - \sum \dot{m}_{as,e} \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} \right) \quad (3)$$

Donde \dot{Q} es el flujo de calor, \dot{W} es la potencia suministrada, h es la entalpía y $V^2/2$ es la energía cinética. De esta ecuación se despreja, la energía potencial, la energía cinética y únicamente se considerará la potencia eléctrica suministrada al ventilador. La entalpía se calcula con,

$$h = C p_{as} T_{as} + w h_{sat@T} \quad (4)$$

Con Cp como el calor específico, T es la temperatura del aire y w la humedad específica. La energía que ganó el aire a su paso por el colector solar, que será la misma de entrada a la cámara de secado, se determina como,

$$Q_c = \dot{m}_{as} C p_{as} (T_{c,s} - T_{c,e}) \quad (5)$$

La relación de utilización de la energía se determina como:

$$RUE = \frac{\dot{m}_{as} (h_{cs,s} - h_{cs,e})}{\dot{m}_{as} C p_{as} (T_{c,s} - T_{c,e})} \quad (6)$$

RUE , es la relación de utilización de energía y h_{cs} la entalpía del aire en la cámara de secado, ya sea de entrada o salida.

La aplicación de la segunda ley de la termodinámica al volumen de control y realizando las suposiciones adecuadas (Akbulut y Durmus, 2010), se obtiene la pérdida de exergía, dada por,

$$\sum Ex_p = \sum Ex_e - \sum Ex_s \quad (7)$$

La cual será para la entrada,

$$Ex_{cs,e} = \dot{m}_{as} C p_{as} \left[(T_{cs,e} - T_0) - T_0 \ln \frac{T_{cs,e}}{T_0} \right] \quad (8)$$

Y para la salida,

$$Ex_{cs,s} = \dot{m}_{as} C p_{as} \left[(T_{cs,s} - T_0) - T_0 \ln \frac{T_{cs,s}}{T_0} \right] \quad (9)$$

Finalmente la eficiencia exergética, [11] será,

$$\eta_{Ex} = \frac{Ex_e - Ex_s}{Ex_e} \quad (10)$$

El cambio del color del producto se realiza utilizando el método de Hunter, el cual las proporciones entre el negro/blanco, L, rojo/verde, a, amarillo/azul, b, por esta razón también se le conoce con el nombre de método *Lab*, es el más recomendado para la determinación de la calidad de frutas y verduras (Tijskens et al., 2001). De estas mediciones se derivan dos parámetros con los cuales se hace dicha evaluación, el cambio del color dada por, ΔE , y la variación de la tonalidad o *chroma*, se determinan con las siguientes ecuaciones:

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L_t)^2 + (a_0 - a_t)^2 + (b_0 - b_t)^2} \quad (11)$$

$$chroma = \sqrt{a_t^2 + b_t^2} \quad (12)$$

Donde el subíndice 0 indica el valor inicial y *t* el final.

Equipo experimental

El secador solar utilizado en este trabajo se muestra en la Figura 1. Es del tipo indirecto y opera en condiciones de convección natural. El captador tiene una superficie de 15 m². Las dimensiones de la cámara de secado son 0.60 m x 0.60 m x 1.00 m de altura, hay tres charolas en las cuales se coloca el producto a secar, las dimensiones son de 0.45 m x 0.45 m y están separadas una distancia de 0.15 m entre ellas. Entre la salida del colector solar y la cámara de secado se tiene un sedal evitando el paso de impurezas, contenidas en el aire, hacia el producto a secar, López, 2010.

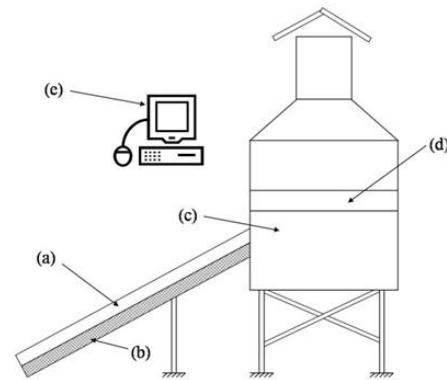


Figura 1 Diagrama del colector solar, a) área de captura; b) medio poroso; c) cámara de secado; d) tres charolas para el producto a secar; e) sistema de adquisición de datos.

La temperatura del aire y del producto a secar en la cámara de aire se realiza con tres termopares tipo K debidamente calibrados y tienen una exactitud de ± 0.1 °C, el primer termopar registra la temperatura del aire a la entrada de la cámara, el segundo está en contacto físico con las hojas a secar y el tercero está a la salida de la misma cámara. La humedad relativa del aire del medio ambiente se midió con higo-termómetro digital EXTECH modelo EA25, con una exactitud de medición de $\pm 0.1\%$, su ubicación fue fuera del colector solar. La velocidad de salida del aire de la cámara de secado se determinó con un termoanemómetro EXTECH modelo AN200, cuya exactitud de medición es de ± 0.01 m/s, está medición se realizó en la chimenea de la cámara que está ubicada en el extremo más alto de la misma. En este mismo lugar hay un ventilador de flujo axial que hace pasar al aire a una velocidad constante de 0.5 m/s en la sección de prueba. La medición de la masa del producto se realizó con una balanza digital SARTORIUS modelo BL1505, con una exactitud de medición de ± 0.01 g, su ubicación es la parte superior de la cámara.

Para la medición de la radiación solar se usó un piranómetro EPPLEY modelo 8-48, con una exactitud de medición de $\pm 1 \text{ W/m}^2$, localizado sobre la cubierta de cristal del colector solar. La medición del color se realizó con el colorímetro PCM/PSM Color Tec con sensor de 20 mm, (la calibración se realizó con su propia placa de cerámica cuyos parámetros son $X = 93.50$, $Y = 0.3114$, $Z = 0.3190$). Todas las variables se registraron utilizando el software Lab-View debidamente programado en intervalos de 10 minutos.

Procedimiento Experimental.

Los manojos de menta y perejil fueron adquiridos directamente en la central de abastos de la Ciudad de México, se lavaron perfectamente y se dejaron en una solución de agua con un germicida comercial de plata coloidal para eliminar las bacterias. Posteriormente las hojas fueron desprendidas de los tallos para obtener el producto a secar, en cada experimento se utilizaron muestras de 50 g para su evaluación. Se realizaron cuatro pruebas con cada producto, tratando en todo momento que las condiciones de evaluación fueran lo más similares posibles. La experimentación se realizó en el mes de mayo de 2015 y el periodo de evaluación fue desde las 10:00 hasta las 17:00 horas.

Resultados obtenidos

Para la evaluación experimental se colocó la muestra de 50 g de las hojas del producto a secar sobre la charola intermedia, se trató que el sensor de temperatura estuviera siempre sobre la superficie de ellas para medir este parámetro; se activó la computadora y se conectaron los medidores de las propiedades a medir descritas en la sección anterior y se inició el software Lab-View para el registro de ellas, el cual se realizó cada 10 minutos.

En el gráfico 1 se muestra el valor de la radiación solar medida en el mismo plano del colector solar, el área bajo la curva es el valor de la energía que se suministró al aire que circula dentro de él, la evaluación se realizó en el mes de mayo de 2015 y el valor fue de $4.415 \text{ kW/m}^2\text{h}$.

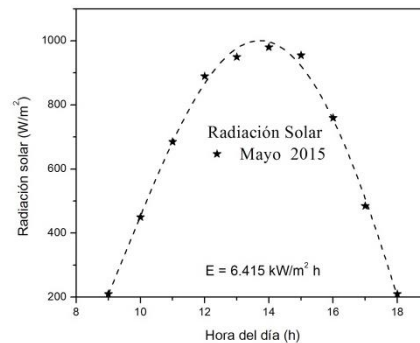


Gráfico 1 Radiación solar incidente sobre el colector solar, mayo de 2015.

El contenido de humedad inicial de la menta fue de 4.8 kga/kgms (kg agua/kg masa seca) y de 3.2 kga/kgms para el perejil, después de 7 horas las muestras terminaron con 0.043 kga/kgms y 0.03 kga/kgms , respectivamente. En la gráfica 2, se presentan ambas curvas. En las primeras cuatro horas la menta perdió el 82 % de su humedad, mientras que el perejil el 93 %, para este producto la evaluación se podría suspender a las 5 horas, ya que a partir de este tiempo la pérdida de humedad fue ya muy lenta, después de la séptima hora los productos ya no registraron variación alguna, por esta razón se suspendió la evaluación en este tiempo.

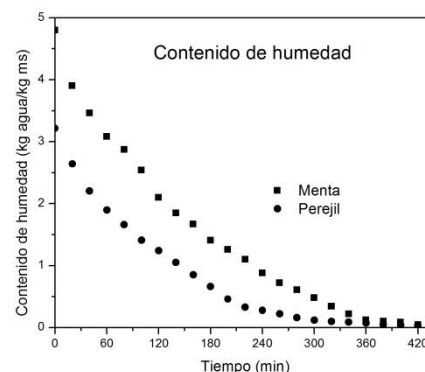


Gráfico 2 Proceso de pérdida de humedad para los dos productos.

Las temperaturas medidas por los sensores del medio ambiente, del aire a la entrada y salida de la cámara de secado y del producto se muestran en la gráfica 3. La temperatura máxima del aire a la entrada de la cámara fue de 65 °C y a la salida, de 59 °C, esto se registró a las 14:00 h, mientras que en el producto fue de 62 °C. La máxima temperatura, a la sombra, del medio ambiente fue de 26.5 °C.

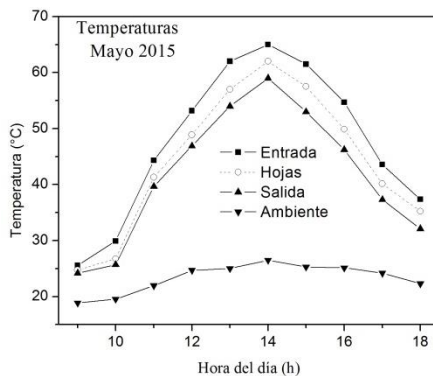


Gráfico 3 Variación de temperaturas del aire y el producto en la cámara de secado y del medio ambiente.

La relación de humedad para las hojas secas se presenta en la gráfica 4, el modelo matemático que mejor representa la cinética de secado de ambos productos es el logarítmico (López, 2009), su ecuación es:

$$RH = ae^{-bt} \quad (11)$$

En la cual RH , es la relación de humedad, a , b son las constantes y t es el tiempo correspondiente, los valores obtenidos del análisis estadístico se anotan en la tabla 1.

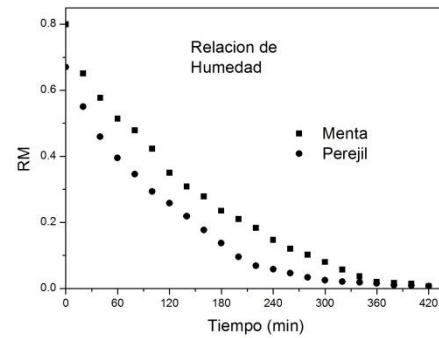


Gráfico 4 Relación de humedad, para los dos productos.

Este modelo se escogió debido que presentó el valor de R^2 más cercano a la unidad y el de χ^2 más pequeño a la unidad con respecto a los otros modelos matemáticos existentes.

| Variable | Menta | Perejil |
|----------|----------|---------|
| a | 0.85 | 0.6941 |
| b | 0.00538 | 0.00786 |
| χ^2 | 0.000022 | 0.00017 |
| R^2 | 0.998 | 0.995 |

Tabla 1 Valores del modelo logarítmico

La cantidad de energía que el aire tiene a la salida del colector solar así como en la cámara de secado se muestra en la gráfica 5. La velocidad promedio del aire en la sección de prueba de 0.02 m² es de aproximadamente 0.5 m/s, por lo tanto el flujo másico del aire es de 0.013 kg/s. Con las expresiones proporcionadas anteriormente se obtienen la cantidad de energía que el aire ganó a su paso por el colector solar, el intervalo varió entre 280-420 W, presentándose como el máximo de 520 W, y la que cedió en la cámara de secado, (el de inicio fue de 50 W y final de 234 W) el valor máximo fue de 360 W. La gráfica muestra los valores obtenidos para el tiempo de evaluación.

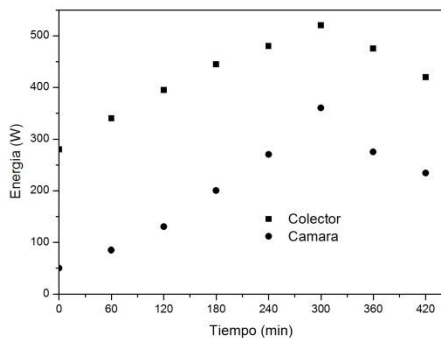
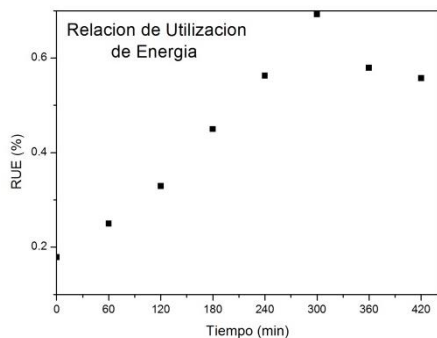


Gráfico 5 Energía del aire, a la salida del colector solar y dentro de la cámara de secado.

Con estos valores y utilizando la ecuación (6) se obtuvo la Relación de Utilización de Energía (*RUE*) mostrada en la gráfica 6. El intervalo de variación fue de 0.17 a 0.55 %, presentando un máximo valor de 69 % y se dio a la hora que había mayor radiación solar y como consecuencia más disponibilidad de energía. Es de apreciarse que la forma que presentan las tres últimas curvas es muy semejante.



Gráfica 6 Relación de utilización de la energía en el proceso de secado de la Menta y el perejil.

La eficiencia exergética que se obtuvo del proceso de secado de las hojas de menta y perejil con el colector solar empleado se presenta en el gráfico 7. El valor máximo se presentó al inicio del proceso, su valor fue de 75 %, y el mínimo, por supuesto se dio a la hora de máxima radiación solar, 26 %, el valor al final de la experimentación fue de 46 %. Estos valores muestran que la eficiencia exergética en la cámara de secado decreció mientras que la energía tomada del colector solar fue mejor aprovechada.

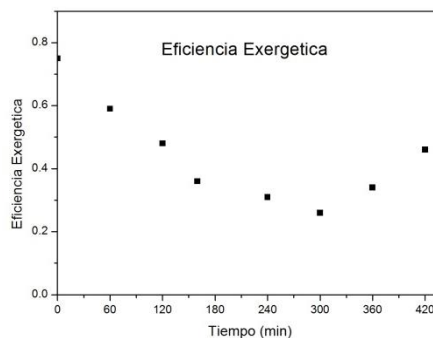


Gráfico 7 Eficiencia exergética del proceso de secado.

El color inicial de las hojas de menta está dado por $L= 47$, $a= -41$ y $b= 48$, después de las 7 horas del proceso de secado sus valores fueron de: $L= 12.5$, $a= -20.4$ y $b= 17.5$, con estos valores se obtiene que el cambio de color fue de $\Delta E = 48.2$ y la variación del *chroma* fue desde 63.1 a 26. Esto indica que si el color inicial de las hojas de menta era de un verde ligeramente oscuro pasó a un verde más oscuro con tendencia al café, la Gráfica 8 muestra estos valores.

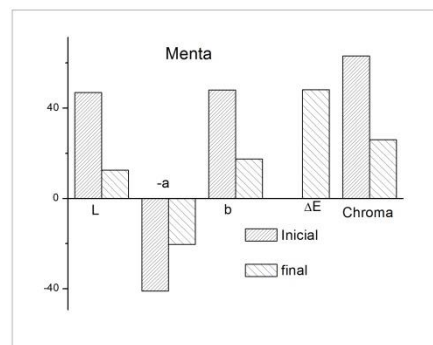


Gráfico 8 Variación del color de las hojas de menta.

Para el caso de las hojas de perejil los valores iniciales del color fueron de $L= 57$, $a= -44$ y $b= 43$ y los finales de $L= 44$, $a= -28.2$ y $b= 31$. Con éstos el cambio del color fue de $\Delta E = 20.13$ y el *chroma* = pasó de 61.52 a 40.18, en este caso el color original era verde pálido y el final fue verde oscuro, en la Gráfica 9 se muestran estos valores.

En ambos casos si se quiere un producto con mejor apariencia de color deberá usarse alguna técnica de blanqueado para conservar sus tonalidades, aunque este proceso es poco utilizado en estos productos.

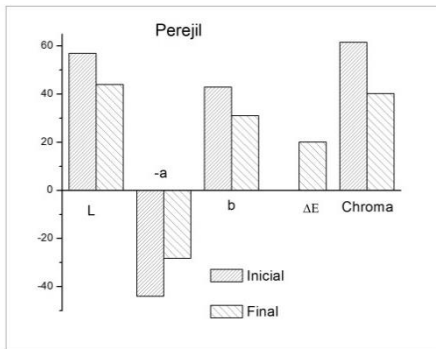


Gráfico 9 Variación del color de las hojas de perejil.

Conclusiones

Se presentan los resultados obtenidos del proceso de secado de hojas de las yerbas aromáticas menta (*Mentha spicata*) y perejil (*Petroselinum hortense*) utilizando un secado solar del tipo indirecto. El contenido inicial de humedad de la menta fue de 5 $\text{kg}_a/\text{kg}_{\text{ms}}$ y después de 7 horas se llegó a 0.043 $\text{kg}_a/\text{kg}_{\text{ms}}$ para el perejil el inicial fue de 3.4 $\text{kg}_a/\text{kg}_{\text{ms}}$ y el final de 0.03 $\text{kg}_a/\text{kg}_{\text{ms}}$. El modelo que mejor describe esta pérdida de humedad es el logarítmico en ambos casos. La cantidad máxima de energía que el aire ganó a su paso por el colector solar, fue de 520 W y el valor máximo de la que cedió en la cámara de secado fue de 360 W. Con estos valores se obtuvo la Relación de Utilización de Energía (RUE) cuyo intervalo de variación fue de 0.17 a 0.55 %, presentando un máximo valor de 69 %. La eficiencia exergética mínima del proceso fue del 26 % y la máxima que se dio al inicio del proceso fue del 75 %. Los cambios de color que se obtuvieron en ambos productos son aceptables, aunque si se requiere una mejor tonalidad deberá emplearse alguna técnica de blanqueado que permita una mejor presentación, en el caso de estos productos por lo general no se utiliza dicho proceso.

Nomenclatura.

| | |
|-------------|------------------------------------|
| a | Relación rojo/verde, constante |
| b | Relación Amarillo/azul, constante |
| C_p | Calor específico |
| E | Color |
| Ex | Exergía |
| h | Entalpía |
| L | Relación negro/blanco |
| Lab | Método de color |
| \dot{m} | Flujo másico |
| RM | Relación de humedad |
| RUE | Relación de utilización de energía |
| T | Temperatura |
| V | Velocidad |
| \dot{Q} | Flujo de calor |
| \dot{W} | Potencia |
| w | Humedad específica |
| η_{Ex} | Eficiencia exergética |
| Subíndice | |
| as | Aire seco |
| c | Colector solar |
| e | Entrada |
| s | Salida |
| sat | Saturación |
| t | Tiempo |
| 0 | Medio ambiente, inicio |

Referencias

- Ahmet Kaya, Orhan Aydın. 2009. An experimental study on drying kinetics of some herbal leaves. *Energy Conversion and Management*, 50, 118–124.
- Akbulut A., Durmus A. 2010. Energy and exergy analyses of thin layer drying of mulberry in a forced solar dryer. *Energy*, 35, 1754–1763.
- Doymaz I. 2006. Thin-layer drying behaviour of mint leaves. *J Food Eng*, 74, 370–375.
- Doymaz I, Tugrul N, Pala M. 2006. Drying characteristics of dill and parsley leaves. *J Food Eng*, 77, 559–565.

López R. 2010. Análisis exergético del secado del nopal. Tesis doctoral, UAM.

y modelado numérico de la cinética del proceso

López R., De Ita A., Vaca M. 2009. Drying of prickly pear cactus cladodes (*Opuntia ficus indica*) in a forced convection tunnel. *Energy Conversion and Management*, 50, 2119-2126.

Midilli A, Kuçuk H. 2003. Energy and exergy analyses of solar drying process of pistachio. *Energy*, 28, 539–556.

SIAP, 2015. Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera, <http://www.sagarpa.gob.mx>.

Soysal, Y. 2004. Microwave drying characteristics of parsley. *Biosystems Engineering*, 89(2), 167–173.

Soysal Y, Oztekin S, Eren O. 2006. Microwave drying of parsley: modelling, kinetics, and energy aspects. *Biosyst Eng*, 93(4), 403–413.

The Columbia Electronic Encyclopedia, 2005. Columbia University Press. Licensed from Columbia University Press.

Tijskens L. M. Schijvens, E. P., Biekman E. S., 2001. Modelling the change in colour of broccoli and green beans during blanching, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, Vol 2, pp. 303-313.

Evaluación numérica de los reflectores internos de una estufa solar tipo caja mediante sus eficiencias termodinámicas de 1ª y 2ª Ley

TERRES-PEÑA, Hilario*†, LIZARDI-RAMOS, Arturo, LÓPEZ-CALLEJAS, Raymundo y VACA-MIER, Mabel.

Universidad Autónoma Metropolitana, Prol. Canal de Miramontes 3855, Tlalpan, Ex Hacienda San Juan de Dios, 14387 Ciudad de México, CDMX, México

Recibido Octubre 7, 2016; Aceptado Noviembre 1, 2016

Resumen

El presente trabajo evalúa distintos materiales empleados como reflectores internos en una estufa solar tipo caja aplicando un modelo matemático, estableciendo como parámetros de evaluación las eficiencias termodinámicas de primera y segunda ley. Los materiales seleccionados como reflectores son aluminio pulido, cobre pulido, pintura blanca acrílica, pintura de aluminio, acero inoxidable 301 pulido y cromo, el criterio de selección de estos materiales es su valor de la absorptividad. El modelo matemático desarrollado es un sistema de ecuaciones diferenciales que se obtiene de balances de energía de transferencia de calor durante el funcionamiento de este dispositivo. La solución numérica utiliza valores de temperatura ambiente y radiación solar, y permite calcular temperaturas en diferentes elementos que integran la estufa solar. Los datos referentes a temperatura ambiente y radiación solar utilizados en la simulación, corresponden a un intervalo de 10:00 a 15:00 horas para un día promedio del mes de febrero en la Ciudad de México. Los valores de las eficiencias de 1ª y 2ª ley corresponden a la estufa solar con reflectores de aluminio pulido. Los resultados logrados son primeros en su tipo y permiten cuantificar el impacto de las superficies reflectoras en el proceso de calentamiento en una estufa solar.

Eficiencia, estufa solar, reflector, radiación solar, simulación

Abstract

This paper evaluates different materials used as internal reflectors in a solar cooker box-type using a mathematical model, efficiencies of first and second law are considered as benchmarks. The materials selected as reflectors are polished aluminum, polished copper, white acrylic paint, aluminum paint, 301-polished stainless steel and chrome, the selection criteria of these materials is the absorptivity value. The mathematical model developed is a system of differential equations obtained from heat transfer energy balance during operation of this device. The solution uses numerical values of solar radiation and ambient temperature, and calculates temperatures in different elements that make up the solar cooker. The ambient temperature and solar radiation data, used in the simulation are for a range from 10:00 to 15:00 hours on an average day February in Mexico City. The efficiencies values of 1st and 2nd laws correspond to solar cooker with polished aluminum reflectors. The results achieved are first of their kind and allow evaluate the impact of reflective surfaces in the heating process in a solar cooker.

Efficiency, solar cooker, reflector, solar radiation, simulation

Citación: TERRES-PEÑA, Hilario, LIZARDI-RAMOS, Arturo, LÓPEZ-CALLEJAS, Raymundo y VACA-MIER, Mabel. Evaluación numérica de los reflectores internos de una estufa solar tipo caja mediante sus eficiencias termodinámicas de 1ª y 2ª Ley. *Revista de Prototipos Tecnológicos* 2016, 2-6: 10-20

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: tph@correo.azc.uam.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

1. Introducción

En el campo de los sistemas de conversión de energía renovables, los dispositivos y equipos utilizados para aprovechar la energía solar son estudiados y mejorados continuamente. Los trabajos desarrollados experimentalmente con dispositivos y equipos solares frecuentemente se ven afectados por su diseño y las condiciones bajo las cuales se lleva a cabo su operación como la temperatura ambiente y la radiación solar, teniendo efectos en los procesos de transferencia de calor que determinan de manera importante las condiciones de operación de dichos dispositivos y equipos.

La simulación numérica es un complemento para el desarrollo experimental, donde la comparación de parámetros como configuraciones geométricas, materiales de construcción y condiciones de trabajo, requeriría de la construcción de varios equipos, lo cual no siempre es práctico y posible dado que se deben hacer inversiones materiales y de tiempo considerables. Una de las alternativas para estudiar las estufas solares ha sido mediante el desarrollo de modelos matemáticos que describan el comportamiento térmico del dispositivo a través de análisis de balance de energía.

El-Sebaili y Domanski, 1994, diseñaron y construyeron una estufa solar tipo caja con reflectores internos, además desarrollaron un modelo matemático para predecir el comportamiento de las temperaturas del dispositivo. Para su validación mostraron que la distribución de temperaturas obtenidas de manera experimental es muy cercana a los resultados numéricos del modelo construido.

Funk y Larson, 1998, presentaron un modelo paramétrico para la operación de una estufa solar con la finalidad de predecir el poder de cocción basado tres parámetros controlados (la superficie de incidencia solar, el coeficiente global de pérdidas de calor y la conductividad térmica de la placa base de absorción) y tres variables no controladas (la radiación incidente, la diferencia de temperatura interior-exterior y el elemento a calentar). En Turquía, Harmim et al. 2012, desarrollaron un modelo matemático de una estufa solar tipo caja equipada con un concentrador parabólico compuesto como reflector externo. Los resultados obtenidos numéricamente predicen el comportamiento térmico del dispositivo, mostrando los alcances que tiene este tipo de estufas.

El método convencional para evaluar estufas solares está basado en un análisis termodinámico. Mediante la 1ª ley de la termodinámica se define la cantidad de energía aprovechada y para determinar la cantidad máxima de energía útil se utiliza la 2ª ley de la termodinámica.

Parka et al. 2014, elaboraron un compendio de metodologías para evaluar dispositivos solares, mostrando que la mayoría de los análisis están basados en análisis energéticos. En base a los parámetros que deben considerarse para el funcionamiento de una estufa solar.

Sexena et al. 2011, construyeron dos prototipos de estufa, a una de ellas se le agregó un reflector externo. Comparando los comportamientos térmicos y las eficiencias de ambas estufas, el dispositivo con el reflector tuvo un mejor aprovechamiento de la energía. Estos resultados tienen como finalidad mejorar los diseños de las estufas solares.

En su trabajo Petela, 2005, presenta detalladamente la metodología para realizar un análisis exergético en una estufa con concentrador parabólico, el modelo matemático considera como parámetros de entrada la geometría de la estufa, la emisividad del concentrador, los coeficientes de transferencia de calor y temperaturas del agua y ambiente, los resultados encontrados fueron relativamente bajos, mostrando que al mejorar alguno de estos parámetros se presentará un incremento en la eficiencia exergética. En Japón, Nishi y Sema 2013, desarrollaron un modelo para estimar la eficiencia exergética de un concentrador solar compuesto bajo condiciones de cielo nublado, el modelo matemático se obtuvo de balances de calor del concentrador y para validarlo llevaron a cabo la medición de temperaturas en algunos puntos de un prototipo simulando condiciones de cielo nublado. Los resultados mostraron la misma fluctuación mostrando la repercusión de la aparición y desaparición de las nubes, en la eficiencia exergética instantánea, este modelo puede utilizarse para el estudio del comportamiento térmico y diseño de colectores solares para su mejora continua.

El objetivo del presente trabajo es evaluar distintos materiales empleados como reflectores internos en una estufa solar tipo caja aplicando un modelo matemático y estableciendo como parámetros de evaluación importantes las eficiencias termodinámicas de primera y segunda ley.

Los materiales que se han seleccionado como superficies reflectoras son: aluminio pulido, cobre pulido, pintura blanca acrílica, pintura de aluminio, acero inoxidable 301 pulido y cromo, el criterio de selección para estos materiales se centra en el valor de la absorptividad solar, mientras más pequeño sea este, la superficie reflectora es mejor.

El modelo matemático desarrollado muestra un sistema de ecuaciones diferenciales que se obtiene de balances de energía en los procesos de transferencia de calor involucrados para el funcionamiento de este dispositivo. La estufa considerada en el presente trabajo, se fabricó en madera, su tapa está compuesta por 2 vidrios, en el interior cuenta con arreglos de reflectores cuya posición respecto a la horizontal está definida y un recipiente que contiene el elemento a calentar, para este caso, agua.

La aplicación de métodos numéricos para el estudio del impacto que tienen los materiales usados como superficies reflectivas y su evaluación mediante eficiencias termodinámicas en una estufa solar tipo caja con reflectores internos no ha sido estudiado en la literatura especializada.

Modelo matemático de la estufa solar tipo caja con reflectores internos

La estufa solar con reflectores internos que se estudia en el presente trabajo, se muestra en la figura 1.

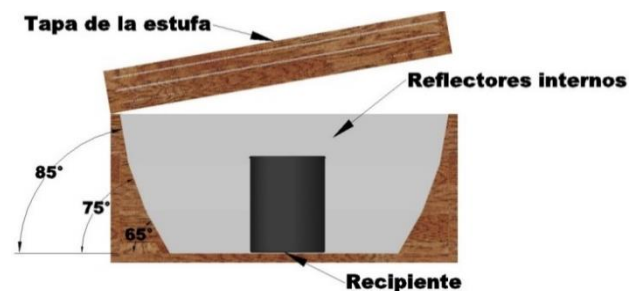


Figura 1 Estufa solar tipo caja con reflectores internos

La estufa solar, en su tapa, cuenta con dos vidrios para reducir las pérdidas de transferencia de calor por conducción y radiación hacia el exterior, además de generar un efecto invernadero en el interior de la estufa. En el interior se dispuso de reflectores colocados en diferentes ángulos para incrementar la radiación solar incidente hacia el recipiente que contiene el fluido a calentar.

El modelo matemático desarrollado para obtener las soluciones mediante simulación numérica lo forma un conjunto de 5 ecuaciones diferenciales no lineales. Este modelo considera las ganancias y pérdidas de calor que se generan de los procesos de transferencia de calor implicados para los vidrios de la tapa, la tapa del recipiente, el recipiente y el fluido a calentar.

El modelo establecido considera el concepto de de sistemas concentrados y asume que las temperaturas de los elementos que constituyen el prototipo físico son prácticamente iguales cuando se asocian a los gradientes que ciertamente ocurren debido a los espesores de los materiales.

La figura 2, muestra la disposición de estos elementos en la estufa solar y las superficies reflectoras evaluadas.

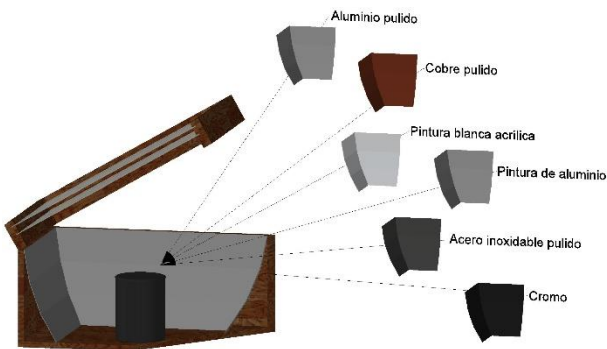


Figura 1 Detalle de la estufa solar y las superficies reflectoras evaluadas.

El desarrollo del modelo matemático puede consultarse en el trabajo de Terres, 2002. En el desarrollo de este modelo se determinaron las siguientes condiciones de frontera:

1. Los coeficientes de transferencia de calor por convección son constantes. Esto tiene como fin facilitar la solución numérica del modelo.

2. El gradiente de temperaturas en el espesor de los vidrios, tapa y recipiente, no es considerado. Reduciendo la cantidad de incógnitas que se deben determinar en el modelo matemático.

3. La radiación solar es normal a la superficie de los cuerpos y no se consideran cambios debidos a la presencia de nubosidades, se considera que la radiación normal al cuerpo tiene mayor concentración de energía que la que se la proporcionada a una determinada inclinación.

4. Las propiedades relativas a la radiación solar: absorptividad, reflectividad y transmisividad son consideradas constantes, ya que las temperaturas que alcanza la estufa solar no modifican las propiedades radiativas de los materiales de construcción.

Las ecuaciones (1) a (5) forman el modelo matemático de la estufa solar con reflectores interiores.

$$m_1 c_1 \frac{dT_1}{dt} = A_1 G \alpha_1 + A_1 \sigma \epsilon_1 (T_1^4 - T_2^4) - A_1 h_{1-2} (T_1 - T_2) - A_1 \sigma \epsilon_1 (T_1^4 - (0.0552 T_{amb}^4)) - A_1 h_{1-amb} (T_1 - T_{amb}) \tag{1}$$

$$m_2 c_2 \frac{dT_2}{dt} = A_2 A_1 G \alpha_2 + A_2 \sigma \epsilon_2 (T_2^4 - T_1^4) - A_2 h_{2-1} (T_2 - T_1) + A_2 \sigma \epsilon_2 (T_2^4 - T_1^4) - A_2 h_{2-3} \left(\frac{T_2 + T_1 + T_3}{3} - T_2 \right) - A_2 \sigma \epsilon_2 (T_2^4 - T_1^4) \tag{2}$$

$$m_3 c_3 \frac{dT_3}{dt} = -A_3 \sigma \epsilon_3 (T_3^4 - T_2^4) + A_3 h_{3-2} (T_3 - T_2) + A_3 G \tau_3^2 \alpha_3 - A_3 h_{3-2} (T_3 - T_2) - A_3 \sigma \epsilon_3 (T_3^4 - T_2^4) \tag{3}$$

$$m_4 c_4 \frac{dT_4}{dt} = -A_4 h_{4-2} \left(\frac{T_3 + T_2 + T_4}{3} - T_4 \right) + 4 \sum_{i=1}^n \rho_i A_{i,2} G \tau_i^2 \cos(90 - \theta_{i,2}) - A_4 \sigma \epsilon_4 (T_4^4 - T_2^4) - A_4 \sigma \epsilon_4 (T_4^4 - T_1^4) - A_4 h_{4-1} (T_4 - T_1) \tag{4}$$

$$m_5 c_5 \frac{dT_5}{dt} = A_5 h_{5-2} (T_5 - T_2) + A_5 \sigma \epsilon_5 (T_5^4 - T_2^4) + A_5 \sigma \epsilon_5 (T_5^4 - T_1^4) + A_5 h_{5-1} (T_5 - T_1) \tag{5}$$

Donde, m , masa, kg, c_p , calor específico a presión constante, kJ/kgK, c_v , calor específico a volumen constante, kJ/kgK, t , tiempo, s, Δt , intervalo de tiempo, s, $\psi_{sistema}$, exergía del sistema, kJ, Q , cantidad de calor transferido, kJ, U , energía interna, kJ, U_0 , energía interna en el punto muerto, kJ, u , energía interna específica, kJ/kg, V , volumen geométrico, m³, V_0 , volumen geométrico en el punto muerto, m³, P , presión, Pa, P_0 , presión en el punto muerto, Pa, T , temperatura, K, T_0 , temperatura en el punto muerto, K, S , entropía, kJ/K, S_0 , entropía en el punto muerto, kJ/K, G , radiación solar incidente, W/m², A_{vi} , área del vidrio, i, m², A_m , área mojada, m², $A_{ref\ n}$, área del reflector n, m², $h_{v1-int1}$, coeficiente de transferencia de calor por convección entre la temperatura exterior del vidrio 1 y la temperatura interior del vidrio 2, W/m²K, h_{v1-amb} , coeficiente de transferencia de calor por convección entre la temperatura exterior del vidrio 1 y la temperatura ambiente, W/m²K, $h_{v2-int1}$, coeficiente de transferencia de calor por convección entre la temperatura interior del vidrio 2 y la temperatura interior del vidrio 1, W/m²K, $h_{v2-int2}$, coeficiente de transferencia de calor por convección entre la temperatura exterior del vidrio 2 y la temperatura del interior de la estufa, W/m²K, h_{t-int2} , coeficiente de transferencia de calor por convección entre la temperatura de la tapa del recipiente y la temperatura del interior de la estufa, W/m²K, h_{t-int3} , coeficiente de transferencia de calor por convección entre la temperatura de la tapa del recipiente y la temperatura del medio definido por la interfaz de la superficie del fluido y la tapa del recipiente, W/m²K, h_{r-int2} , coeficiente de transferencia de calor por convección entre la temperatura del recipiente y la temperatura del interior de la estufa, W/m²K, h_{r-int3} , coeficiente de transferencia de calor por convección entre la temperatura del recipiente y la temperatura del medio definido por la interfaz de la superficie del fluido y la tapa del recipiente.

W/m²K, h_{r-f} , coeficiente de transferencia de calor por convección entre la temperatura del recipiente y la temperatura del fluido, W/m²K, a , absorptividad, e , emisividad, r , reflectividad, τ , transmisividad, h , eficiencia, s , Constante de Stefan-Boltzmann, 5.67×10^{-8} W/m²K⁴, $\theta_{ref\ n}$, Ángulo del reflector n.

La solución al sistema de ecuaciones diferenciales no lineales (1)-(5) fue resuelto aplicando el método Runge-Kutta de cuarto orden. La solución numérica utiliza los valores de la temperatura ambiente y la radiación solar, permitiendo calcular las temperaturas de los diferentes elementos que integran la estufa solar, situación que difiere cuando se emplean modelos matemáticos teóricos de radiación solar, que por su concepción son ideales y no consideran las perturbaciones reales presentes durante el uso del dispositivo en condiciones ambientales no controladas.

Para aplicar el método numérico, se desarrolló un programa de cómputo en lenguaje C++, éste permite el estudio de distintos casos de aplicación para estufas solares tipo caja con reflectores internos; tales como las variaciones en la geometría de construcción, número, disposición y materiales de los reflectores internos y el tipo de fluido a calentar.

La validación del programa que permite solucionar el modelo matemático mostrado en el presente trabajo muestra una diferencia máxima entre los valores experimentales y los obtenidos de forma numérica del 10%. En el trabajo presentado por Terres y Quinto, 2003, se muestra la validación del programa de cómputo y características relevantes para la solución numérica del modelo matemático de la estufa solar.

Análisis de las eficiencias termodinámicas de una estufa solar con reflectores internos

En la tabla 1 se muestran los parámetros geométricos de la estufa solar utilizada para evaluar el efecto que tienen los reflectores interiores en las eficiencias termodinámicas. La geometría de la estufa y la disposición de los reflectores interiores, se definió en base al trabajo presentado por Terres, et al. 2013. En la tabla 2 se muestran las propiedades relativas a la radiación de las superficies reflectoras utilizadas como reflectores interiores, el criterio de selección para estos materiales se centra en el valor de la absorptividad solar, mientras más pequeño sea este, la superficie reflectora es mejor.

| Parametro | | Area |
|------------------------------|-------------|----------------|
| Reflector | Inclinación | m ² |
| 1 | 65 | 0.0357 |
| 2 | 75 | 0.0425 |
| 3 | 85 | 0.0460 |
| Tapa del recipiente | | 0.0314 |
| Recipiente (lateral+base) | | 0.0942 |
| Vidrios de la cubierta 1 - 2 | | 0.2197 |
| Espesor de los vidrios | | 0.003 |

Tabla 1 Parámetros geométricos de la estufa solar evaluada

| Material | α_s | τ_s |
|-----------------------------|------------|----------|
| Aluminio pulido | 0.090 | 0.01 |
| Cobre pulido | 0.180 | 0.08 |
| Cromo | 0.415 | 0.06 |
| Pintura Blanca, acrílica | 0.260 | 0.065 |
| Pintura de Aluminio | 0.300 | 0.07 |
| Acero inoxidable pulido 301 | 0.370 | 0.068 |

Tabla 2 Propiedades relativas a la radiación solar de los materiales utilizados como superficies reflectoras.

Para analizar las eficiencias termodinámicas, se determinaron las siguientes consideraciones:

1. El recipiente que contiene el fluido a calentar se define como sistema cerrado.

2. Las pérdidas de calor hacia el ambiente que rodea el cuerpo de la estufa son despreciadas.

3. El calor específico se considera constante, es decir, $c_v = c_p = c$, para fluidos incompresibles.

4. La distribución de temperaturas en los elementos que integran la estufa, es uniforme.

En base a lo propuesto por Russell y Adebisi, 1993, las eficiencias termodinámicas del recipiente colocado al interior de la estufa son definidas mediante las siguientes ecuaciones:

$$\eta_I = \frac{Q_{\text{sale}}}{Q_{\text{entra}}} \quad (6)$$

$$\eta_{II} = \frac{\Psi_{\text{sistema}}}{Q_{\text{entra}}} \quad (7)$$

La ecuación (6), permite calcular la eficiencia de la 1ª ley.

Donde:

$$Q_{\text{sale}} = m(u_{\text{final}} - u_{\text{inicial}}) \quad (8)$$

$$Q_{\text{entra}} = \frac{A_{v1} G \Delta t}{1000} \quad (9)$$

La eficiencia de 2ª ley mediante exergía se determina mediante la ecuación (7), donde se define:

$$\Psi_{\text{sistema}} = (U - U_0) + P_0(V - V_0) - T(S - S_0) \quad (10)$$

Dado que el fluido es incompresible y se estudia un sistema cerrado, las igualdades que se tienen son:

$$(U-U_0) \approx mc(T-T_0) \tag{11}$$

$$V \approx V_0 \tag{12}$$

$$S-S_0 = mc \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) \tag{13}$$

Las ecuaciones (11) y (13) corresponden al cambio de la energía interna y entropía respectivamente, y son definidas en Russell y Adebisi, 1993. Sustituyendo las ecuaciones (11)-(13) en (10) y simplificando, se tiene:

$$\Psi_{\text{sistema}} = mcT_0 \left[\frac{T}{T_0} - 1 - \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) \right] \tag{14}$$

En la evaluación se utilizaron 1.50 kg de agua como fluido a calentar. Los datos referentes a temperatura ambiente y radiación solar utilizados en la simulación, corresponden al intervalo de las 10:00 a 15:00 horas para un día promedio del mes de febrero en la Ciudad de México.

Los resultados correspondientes a la temperatura del fluido fueron utilizados en las ecuaciones (6) y (7), para calcular las eficiencias termodinámicas de 1a y 2a ley de la estufa solar considerada.

Discusión

En los gráficos 1 a 9 se muestran los resultados obtenidos mediante simulación numérica de la estufa y las superficies selectivas evaluadas, que expresado de manera gráfica permiten visualizar la evolución en el tiempo del comportamiento térmico de las variables que describen el proceso de calentamiento. En el grafico 1 se visualizan los resultados para las temperaturas mayores obtenidas en los diferentes materiales considerados.

Estos resultados se asocian al valor de la absorptividad solar correspondiente al aluminio pulido, el cual es significativamente menor respecto de las otras superficies evaluadas, permitiendo que la fracción de radiación reflejada hacia el recipiente sea mayor.

En el grafico 7 se comparan los resultados numéricos correspondientes a la temperatura del fluido, esto se puede realizar ya que las condiciones ambientales de temperatura y radiación solar que se utilizaron son las mismas para cada caso evaluado.

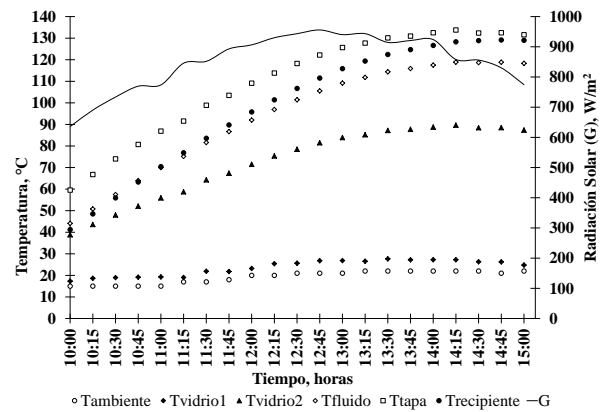


Grafico 1 Resultados numéricos para reflectores de aluminio pulido.

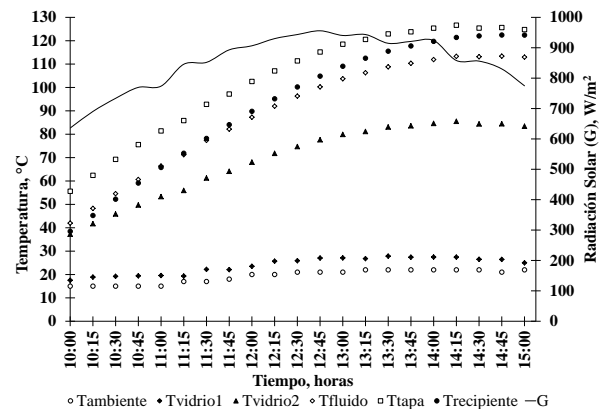


Grafico 2 Resultados numéricos usando reflectores de cobre pulido.

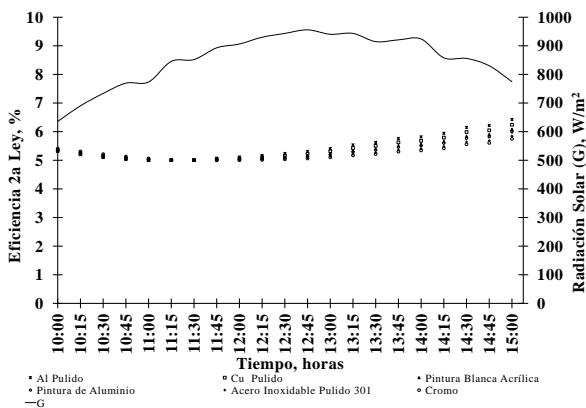


Gráfico 9 Eficiencias de 2ª ley para cada superficie evaluada.

Los gráficos 8 y 9 ilustran el comportamiento de la estufa en función de las eficiencias de 1ª y 2ª ley de la termodinámica. En el gráfico 8 no se contemplan las irreversibilidades presentes durante el proceso de calentamiento, las cuales se deben a las pérdidas en la estufa. Mientras que el gráfico 9 sí considera estos efectos y otros que se asocian a las consideraciones que sustentan el modelo matemático de la estufa solar.

El valor máximo de las eficiencias de 1ª y 2ª ley corresponden a la estufa solar cuyos reflectores interiores son de aluminio pulido, esto se debe a que la absorptividad solar de esta superficie permite reflejar en mayor medida la radiación solar hacia el recipiente, mientras que los valores mínimos corresponden a la estufa solar cuyos reflectores tienen una cobertura de cromo. Para los reflectores de aluminio pulido la máxima eficiencia de 2ª ley que se obtiene es de 6.4 % y el valor máximo de la eficiencia de 1ª ley es de 12.3%, estos valores se alcanzan a las 15:00 horas. En cambio, para los reflectores de cromo, el valor máximo de la eficiencia de 1ª ley es de 9.9% y la máxima eficiencia de 2ª ley que se obtiene es de 5.8 %, para la misma hora.

Estos valores indican que el comportamiento de la estufa solar no se puede representar mediante el valor de la eficiencia de 1ª ley. En cambio, la eficiencia de 2ª ley sí lo representa porque considera el cambio de entropía, lo que caracteriza la irreversibilidad del proceso, y con esto el efecto que tienen las pérdidas de energía durante el proceso de calentamiento en la estufa solar. La eficiencia de 2ª ley es baja debido a que la radiación solar incidente en la estufa no es usada en su totalidad para el calentamiento del fluido, ya que una parte significativa es absorbida por los vidrios de la tapa de la estufa. Esta situación se puede apreciar en el comportamiento de las temperaturas de los vidrios durante el proceso de calentamiento, sobre todo el vidrio 2.

Aunque los resultados muestran el comportamiento térmico de la estufa solar y las eficiencias para una estufa solar con reflectores interiores de distintos materiales, estos pueden ser utilizados para realizar estudios de los mecanismos presentes durante el proceso de calentamiento de la estufa, tal como el efecto de la convección y pérdidas entre los vidrios que forman la tapa, la distribución de temperaturas, densidad y velocidad del aire en el interior de la estufa, que puede llevarse a cabo mediante la aplicación del método de elemento finito (Zienkiewicz, Taylor, Zhu, 1989) utilizando como condiciones de frontera los resultados obtenidos en el presente trabajo.

Conclusiones

La evaluación mostrada en el presente trabajo permite obtener información de las eficiencias termodinámicas de 1ª y 2ª ley, así como del comportamiento térmico de una estufa solar utilizando distintos materiales como reflectores internos.

Mostrando que la simulación numérica es una alternativa o etapa previa del desarrollo experimental, donde la comparación de parámetros como los materiales de construcción, requeriría de la construcción de varios equipos, lo cual no siempre es práctico y posible dado que se deben hacer inversiones materiales y de tiempo considerables.

El modelo matemático y la solución numérica empleados en este trabajo son de gran ayuda para el estudio de estufas solares con reflectores internos de distintos materiales. De esta manera, se puede afirmar que los resultados logrados son primeros en su tipo en el campo de aplicación orientado al estudio de los materiales empleados como reflectores internos de una estufa solar tipo caja, ya que permiten cuantificar el impacto de las superficies reflectoras en el proceso de calentamiento en una estufa solar.

El análisis de 1ª y 2ª ley de la termodinámica muestra en qué medida es aprovechada la radiación solar por una estufa solar tipo caja. Mostrando que el comportamiento de este dispositivo no puede representarse únicamente mediante el valor de la eficiencia de 1ª ley, ya que es necesario tomar en cuenta las irreversibilidades presentes durante el proceso de calentamiento, lo que es representado mediante la 2ª ley.

Finalmente, este trabajo genera elementos en materia de diseño y proporciona herramientas para el estudio de estufas solares tipo caja con reflectores internos.

Referencias

El-Sebaï, A., Domanski, R., 1994. Experimental and Theoretical Investigation of a Box Type Solar Cooker with Multi-Step Inner Reflectors, *Energy* 19 (10) 1011-1021.

Funk, P. A., Larson, D. L., 1998. Parametric model of solar cooker performance, *Solar Energy* 62 (1) 63-68.

Harmim, A., Merzoukb, M., Boukara, M., Amara, M., 2012. Mathematical modeling of a box-type solar cooker employing an asymmetric compound parabolic concentrator, *Solar Energy* 86 (4) 1673-1682.

Parka, S. R., Pandeyb, A. K., Tyagic, V. V., Tyagib, S. K., Tyagi, S. K., 2014. Energy and exergy analysis of typical renewable energy systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 30 (2) 105-123.

Saxena, A., Varunb, Pandeyc, S. P., Srivastavd, G., 2011. thermodynamic review on solar box type cookers, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (8) 3301-3318.

R. Petela, 2005. Exergy analysis of the solar cylindrical-parabolic cooker, *Solar Energy* 79 (6) 221-233.Y.

Nishi, Y., Sema, T., 2013. Estimation of exergy efficiency of compound parabolic concentrator under time-varying cloud cover condition, *Solar Energy* 98 341-348.

Terres, H., 2002. Diseño y evaluación numérica del funcionamiento de estufas solares tipo caja con reflectores interiores, Tesis de Maestría, SEPI-ESIME, IPN, México.

Terres, H., Quinto, P., 2003. Applications of numerical simulation of solar cooker type box with multi – step inner reflector, *Proceedings of ISEC 2003, International Solar Energy Conference, Hawaii, USA, 44060.*

H. Terres, Morales-Gómez, J. R., Lizardi-Ramos, A., López-Callejas, R., Portillo-Vélez, R. de J., 2013. Estudio numérico de eficiencias en estufas solares tipo caja con reflectores internos, *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 29 (2) 122-128.

Russell, L. D., Adebisi, G. A., *Classical Thermodynamics*, Saunders College Publishing, Orlando, Florida, USA, 1993.

Zienkiewicz, O. C., Taylor, R. L., Zhu, J. Z.,
The finite element method. McGrawHill, Vol. I
1989.

Construcción de un prototipo funcional de riñón para comprobar teorías sobre la litiasis renal

MENDOZA-GARCÍA, Alberto*†, RAMÍREZ-CHÁVEZ, César León y COYOLI-LAZCANO, Alejandro Texcatlipoca

Universidad de Ixtlahuaca UICUI, Carretera Ixtlahuaca Jiquipilco, San Pedro, 50740 Ixtlahuaca de Rayón, Méx., México

Recibido Octubre 4, 2016; Aceptado Noviembre 2, 2016

Resumen

Se propone la construcción de un prototipo funcional de riñón para estudiantes de Medicina, que emule y produzca cálculos renales, y comprobar ciertas teorías sobre la litiasis renal, tales como la Teoría de la sobresaturación, la Teoría de la nucleación y la Teoría de la falta de inhibidores. La construcción de este tipo de herramientas de aprendizaje fortalecerá la formación del estudiante de Medicina, permitiéndole relacionar el conocimiento obtenido en clase con una práctica continua y repetitiva de acuerdo a las necesidades de su perfil de egreso. Permitirá una preparación y orientación pedagógica de buenas prácticas profesionales en el campo laboral, construyendo un conocimiento estructurado por medio de la emulación de procesos que realiza un riñón; y con el sentido de orientación de este prototipo, los alumnos de Medicina adquieran las competencias sistemáticas e instrumentales, requeridas por los programas educativos referentes a la fisiología renal. Dentro de los objetivos específicos, se propone conocer el impacto en el proceso enseñanza-aprendizaje de los estudiantes de Medicina, realizar el análisis matemático del funcionamiento del riñón, el diseño y análisis del mecanismo de selección de muestras para la representación de los procesos de filtración desde el plasma sanguíneo hacia la nefrona, reabsorción tubular y secreción tubular.

Herramientas de aprendizaje, Educación, Desarrollo tecnológico, Investigación and Conocimiento

Abstract

Building a working prototype kidney for medical students to emulate and produce kidney stones, and test theories about lithiasis, such as the Theory of supersaturation, the theory of nucleation and the Theory of the lack of it is proposed inhibitors. The construction of this type of learning tools will strengthen the training of medical student, allowing relate the knowledge gained in class with a continuous and repetitive practice according to the needs of their graduation profile. It will also allow preparation and pedagogical guidance of good professional practice in the workplace, building a structured through emulation processes performed a kidney knowledge; and the sense of direction of this prototype; medical students acquire systematic and instrumental skills, required by renal physiology concerning educational programs.

Among the specific objectives, impact on teaching and learning of medical student's process, it is proposed to carry out the mathematical analysis of kidney function, design and analysis of the mechanism of selection of samples for the representation of the processes of filtration from the blood plasma into the nephron, tubular reabsorption and tubular secretion.

Learning tools, Education, Technology Development, Research, and Knowledge

Citación: MENDOZA-GARCÍA, Alberto, RAMÍREZ-CHÁVEZ, César León y COYOLI-LAZCANO, Alejandro Texcatlipoca. Construcción de un prototipo funcional de riñón para comprobar teorías sobre la litiasis renal. Revista de Prototipos Tecnológicos 2016, 2-6: 21-35

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: jose_alberto007@outlook.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En México el problema de la litiasis renal afecta a las personas mayores de 25 años, se estima que la padecen entre 2.5 y cuatro de cada 100, lo doble que hace 10 años; solo por mencionar en el servicio de Urología del HGO se atiende entre 30 y 40 pacientes bajo tratamiento y opera un promedio de seis a diez pacientes de litiasis a la semana, [3]. La construcción de herramientas de aprendizaje constituye una gran oportunidad para la práctica, para el análisis y la retención del conocimiento. Alumnos del área de Medicina necesitan un prototipo funcional de riñón que contribuya a un mejor aprendizaje sobre las teorías de litiasis renal sobre la producción de Litos o piedras como coloquialmente se le conoce, dentro de las variables de estudio se encuentran la temperatura, flujo sanguíneo, presión arterial, índice sobre la concurrencia del lugar donde se ubican los cálculos renales entre otros focos de estudio.

El riñón realiza diferentes funciones de las cuales podemos mencionar: 1.-Excretar los desechos mediante la orina, 2.-Regular la homeostasis que es un conjunto de autorregulación, que conducen al mantenimiento en una relativa constancia en la composición y las propiedades del medio interno del organismo, 3.- Excretar hormonas como la eritropoyetina que estimula la producción de glóbulos rojos por la médula ósea, la hormona renina que regula la presión arterial y encargada de activar el sistema Renina-Angiotensina-Aldosterona responsable de la regulación hídrico y electrolítico así como la presión arterial y el calcitriol en su forma de vitamina D que ayuda a mantener el calcio para los huesos y para el equilibrio químico normal del cuerpo, [1].

El riñón participa en la reabsorción de electrolitos, minerales presentes en la sangre y otros líquidos corporales que llevan una carga eléctrica.

Conocer acerca de los diferentes tipos de procesos para purificar la sangre implica conocer el parénquima renal, parte del riñón que asegura las funciones y está constituido por las nefronas que es la unidad básica del funcionamiento del riñón, produce esencialmente un filtrado prácticamente libre de proteínas a nivel del glomérulo. El glomérulo son diminutos ovillos de capilares situados en el riñón donde se filtra la sangre y se crea la orina, la nefrona dentro de sus funciones realiza la filtración de algunas sustancias que son transferidas desde la sangre hasta las nefronas, realiza la reabsorción de algunas sustancias útiles que son devueltas a la sangre para su reutilización y la secreción cuando el líquido filtrado se mueve a través de la nefrona, gana materiales adicionales como desechos y sustancias en exceso,[1].

La realización de una solución con alto grado de minerales que corresponda con los valores moles del plasma sanguíneo permitirá crear un prototipo funcional capaz de poder emular la filtración glomerular que realiza el riñón, la filtración glomerular depende de factores que estén relacionados entre sí como el flujo de sangre en el glomérulo, la permeabilidad de la pared capilar que es la actúa como un filtro en ella se encuentran los podocitos que son células glomerulares que se encuentran dentro de la función de filtrar sustancias que se encuentran en el flujo sanguíneo, otro factor importante es la presión hidrostática, presión que se ejerce un líquido en reposo sobre un cuerpo sumergido dentro de él, dicha presión se encuentra en el interior de la capsula de Bowman, unidad renal en forma de esfera hueca en la que se realiza el filtrado de las sustancias que se van a excretar y por último la presión osmótica que es la presión ejercida sobre la solución para evitar la entrada,[2].

Existen diferentes tipos de cálculos que deben llevar un proceso diferente para ser erradicados del riñón por lo que el tener un prototipo funcional de riñón se podrá observar la producción del Lito y tener una mejor apreciación y retroalimentación de lo que sucede. La reducción de oportunidades para la enseñanza de los alumnos de Medicina ha generado la necesidad de usar modelos, cadáveres y animales para replicar las situaciones médicas, por lo que se debe de afrontar esta necesidad creando un nuevo tipo de estudiante capaz de enfrentarse a una situación médica real, de esta manera con la ayuda de herramientas de aprendizaje aumentara el interés por el estudio de la Nefrología, es parte de la Medicina que se encarga de la anatomía, fisiología y las enfermedades del riñón, entre otras áreas permitiendo que crezca el desarrollo de herramientas de aprendizaje para Medicina, de esta manera comprender el funcionamiento del cuerpo humano desde lo particular a lo general,[4].

El siguiente artículo se compone de una rigurosa investigación multidisciplinaria que busca la relación de la Ingeniería en Computación con otras áreas como la Medicina, Administración etc., se demostrara mediante la construcción de una herramienta para recaudar información, la necesidad por parte de los estudiantes de Medicina de la Universidad de Ixtlahuaca CUI ante herramientas de aprendizaje.

Demostrar mediante el análisis matemático el funcionamiento del riñón; tomando una pequeña muestra del glomérulo (arteriola) para demostrar la dinámica de fluidos de tal forma que podamos observar las variables que intervienen y así poder representarlas en el prototipo de riñón tales como área, velocidad, distancia contenidas en un diferencial de masa utilizando las ecuaciones de continuidad y de Bernoulli.

Como principio del mecanismo de selección tomaremos la Osmolaridad ya que la base para realizar el filtrado se realiza mediante el intercambio de solutos que atraviesan una barrera llamada membrana de filtración pero no solo es un intercambio sino buscar la fuerza necesaria para detener la osmosis.

En el cuarto apartado se realiza el diseño y análisis del mecanismo de selección de solutos para la representación de los procesos de filtración, reabsorción y secreción del plasma sanguíneo con la finalidad de comprobar ciertas teorías de la litiasis renal, se presentara un proceso de intercambio de solutos de acuerdo a la cantidad que se necesite en cada área mediante Arena simulation.

Metodología

A. Factibilidad del proyecto

El desarrollo de una herramienta para recabar información en los estudiantes de Medicina, tiene como propósito conocer el impacto de herramientas de aprendizaje en su formación profesional de acuerdo a las necesidades de egreso. El foco de estudio se realizó en las instalaciones de la Universidad de Ixtlahuaca CUI en la facultad de Medicina donde participaron 81 alumnos de 1ero, 2do y 3er semestre en este ejercicio.

El análisis presento variables de estudio con respecto al prototipo obteniendo 6 temas de interés para la construcción de la herramienta para recabar información, los temas son:

- Herramientas de aprendizaje en la Facultad de Medicina.
- Características de herramientas aprendizaje en Medicina.
- Impacto de herramientas de aprendizaje sobre estudiantes de Medicina.

- Costo de herramientas de aprendizaje para la facultad de Medicina.
- Beneficio de una herramienta de aprendizaje en alumnos de Medicina.
- Uso de herramientas de aprendizaje en las aulas.

Resultados

Se elaboraron un total de 12 preguntas para conocer el punto de vista de estudiantes de Medicina con el propósito de conocer si el proyecto era factible o no. A continuación se presentan los resultados del cuestionario aplicado en dos preguntas que dieron pie al desarrollo del prototipo funcional de riñón.

Se le preguntó a los Alumnos de la Facultad de Medicina la siguiente pregunta ¿En qué área de la Medicina se usan más las herramientas de aprendizaje?, las opciones que se plantearon fue Urología, Nefrología, Hemodinamia, Hematología y Oncología; se aprecia en la grafico 1 un mayor uso de herramientas de aprendizaje en Nefrología con 30 alumnos a favor, consideran que se utilizan más en el estudio del funcionamiento del riñón. Las áreas de Urología y Oncología mantienen un índice de aprobación de 15 estudiantes y un mínimo de 2 estudiantes con otras áreas.

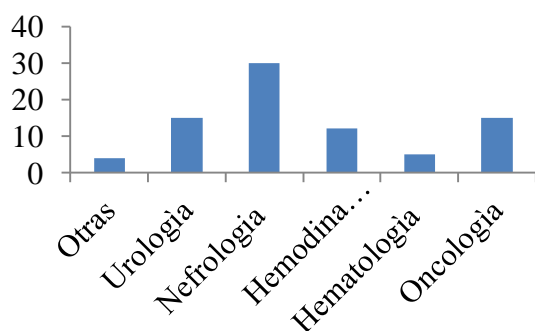


Gráfico 1 Impacto de herramientas de aprendizaje en Medicina.

Se concluye que el área donde se necesitan menos herramientas de aprendizaje son Hematología y Hemodinámica aunque mantienen relación con algunas áreas que tienen un mayor índice de aprobación. La grafica 2 muestra una inclinación hacia el lado izquierdo teniendo así una mayor concentración de datos, un 5% de los alumnos encuestados mencionan que no saben hacia dónde dirigir una herramienta de aprendizaje.

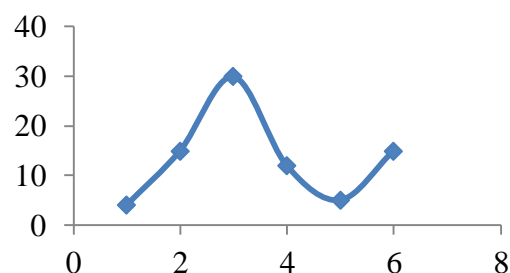


Gráfico 2 Concentración de datos.

Una de las preguntas que se plantearon e interesaron para concentrar más la atención fue ¿En qué porcentaje aumenta las habilidades y destrezas con el uso de herramientas de aprendizaje?, la finalidad que tiene esta pregunta fue conocer la necesidad de los estudiantes de la Universidad de Ixtlahuaca frente el desarrollo de herramientas de aprendizaje en su área. En el grafico 3 se muestra que 18 alumnos consideran que las herramientas de aprendizaje aumentan un 80 % las habilidades y destrezas, Una acumulación de datos se encuentran entre el 0%, 50%, 90% y 100% con una aprobación de entre 8 y 12 estudiantes.

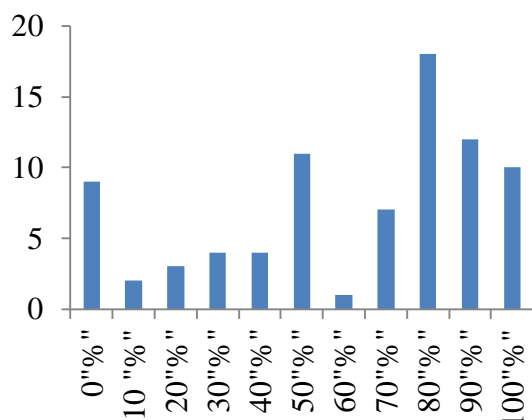


Gráfico 3 Habilidades y destrezas con el uso de herramientas de aprendizaje para estudiantes de Medicina.

El uso de herramientas de aprendizaje en la facultad de Medicina de la Universidad de Ixtlahuaca CUI demuestra que el desarrollo tecnológico urge en el Estado de México exigiendo una mejor planeación y seguimiento en la investigación, tema que carece de variables para su estudio.

B. Análisis matemático

Se debe conocer el análisis matemático del funcionamiento del riñón, tomando una pequeña muestra del glomérulo para demostrar la dinámica de fluidos de tal forma que podamos observar las variables que intervienen y así poder representarlas en el prototipo de riñón. El flujo renal mantiene características como la fluidez dentro de las arteriolas por lo que se desprecia la fuerza de fricción entre la sangre misma y su interacción con las paredes de la arteriola.

Resultados

El flujo de sangre en el glomérulo o flujo renal mantiene diferentes tamaños, tomaremos esta porción del glomérulo que lleva como nombre arteriola aferente figura 1 esta es la encargada de formar los capilares del glomérulo, para demostrar en una simplificación del modelo tomaremos variables de densidad (ρ) posición (r) presión (P) y velocidad (V) posicionadas sobre los ejes x, y, z además del tiempo (t), [6]:

$$P=P(x, y, z, t) \quad (1)$$

$$r=r(x, y, z, t) \quad (2)$$

$$\rho=\rho(x, y, z, t) \quad (3)$$

$$V=V(x, y, z, t) \quad (4)$$

El flujo sanguíneo es constante por lo que en este ejemplo no tendremos desviaciones como en los capilares peritubulares ya que se trabaja desde otra perspectiva. Se aplicó la ecuación de la continuidad para obtener un análisis preciso con respecto al flujo sanguíneo que se realiza a la entrada del glomérulo, para poder explicar la continuidad que tiene el flujo sanguíneo tomaremos dos puntos de referencia de la arteriola aferente; se ha dividido en dos partes para observar las variables que intervienen en la continuidad asignaremos P_1, V_1, A_1, Ds_1 en Dm_1 de igual manera P_2, V_2, A_2, Ds_2 en Dm_2 respectivamente, densidad, una velocidad, área, distancia contenidas en un diferencial de masa para obtener las dos ecuaciones de diferencial de masa.

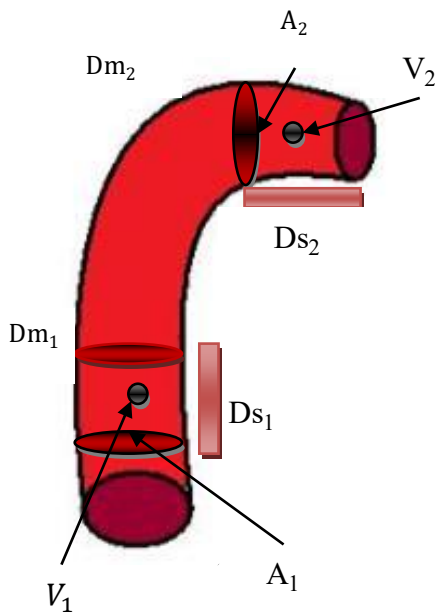


Figura 1 Demostración matemática

Para conocer el diferencial de masa se calculó multiplicando la densidad del punto P_1 por el diferencial de V_1 y analizando sabemos que el diferencial es multiplicar el A_1 por Ds_1 .

$$Dm_1 = P_1 * dV_1 \quad (4)$$

$$Dm_1 = P_1 * A_1 * Ds_1 \quad (5)$$

De igual manera desarrollamos las ecuaciones para el diferencial de masa Dm_2 .

$$Dm_2 = P_2 * dV_2 \quad (6)$$

$$Dm_2 = P_2 * A_2 * Ds_2 \quad (7)$$

El diferencial de tiempo dt está siempre presente en el flujo renal ya que depende de la presión arterial cuando este aumenta o disminuye, por lo que tomaremos un diferencial de tiempo dentro en una distancia.

$$Ds_1 = V_1 * dt \quad (8)$$

$$Ds_2 = V_2 * dt \quad (9)$$

Ahora que tenemos un diferencial de tiempo, una velocidad, un área y una densidad obtenemos la relación entre variables para obtener un diferencial de masa.

$$Dm_1 = P_1 * A_1 * V_1 * dt \quad (10)$$

$$\frac{Dm_1}{dt} = P_1 * A_1 * V_1 \quad (11)$$

$$Dm_2 = P_2 * A_2 * V_2 * dt \quad (12)$$

$$\frac{Dm_2}{dt} = P_2 * A_2 * V_2 \quad (13)$$

Como la ecuación de continuidad dice que el diferencial de masa dada por dos puntos es igual obtenemos una igual masa.

$$\frac{Dm_1}{dt} = \frac{Dm_2}{dt} \quad (14)$$

Ya que se demuestra que Dm_1 Y Dm_2 son iguales tomamos las variables de densidad, área y velocidad para igualarlas, simplificando obtenemos un cambio de área por velocidad, ecuación de continuidad, [6].

$$P_1 A_1 V_1 = P_2 A_2 V_2 \quad (15)$$

$$A_2 V_2 - A_1 V_1 = 0 \quad (16)$$

$$\Delta(AV) = 0 \quad (17)$$

$$AV = \text{Constante} \quad (18)$$

La nefrona está formada por partes importantes para llevar a cabo la regulación iónica de solutos en la sangre, la cápsula de Bowman (Capilares glomerulares), Túbulo contorneado proximal y distal, capilares peritubulares y asa de Henle, [1]; cada uno tiene una área y un volumen diferente por lo que se mostrara un análisis utilizando la ecuación de la continuidad y la ecuación de Bernoulli para observar la diferencia de presión de la asa de Henle.

La asa de Henle se divide en dos partes importantes la entrada proveniente de los capilares peritubulares que tienen una área mayor después va disminuyendo a esto se le llama rama de asa de Henle descendente, este sigue su recorrido hasta incorporarse a la asa de Henle, posee una forma de U de tal forma se une a la asa de Henle ascendente y por último unirse nuevamente con los capilares peritubulares donde seguirá su camino; dependiendo de lo largo de la asa de Henle la orina puede salir más diluida o muy concentrada Figura 2.

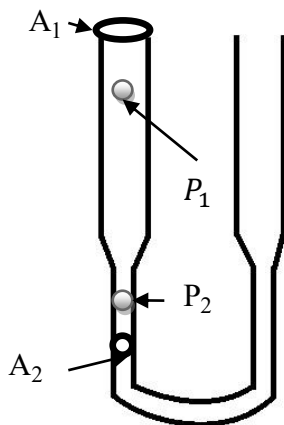


Figura 2 Asa de Henle

Siguiendo con el análisis matemático antes visto procederemos a demostrar la diferencia de presión, tendremos 2 áreas diferentes una de los túbulos peritubulares y la segunda del asa de Henle. Se tiene dos puntos P_1 y P_2 , contamos con áreas A_1 y A_2 ; para el desarrollo es necesario utilizar la ecuación de Bernoulli y la ecuación de la continuidad, [6]. Ecuación de Bernoulli.

$$P + \frac{1}{2} \rho V^2 = \text{CTE} \quad (19)$$

Al tener las dos ecuaciones comenzamos por aplicar la ecuación de la continuidad donde dice que la diferencia de masa debe ser igual en ambas secciones de un trayecto.

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \gg V_2 = \frac{A_1}{A_2} V_1 \quad (20)$$

Podemos observar que para conocer la velocidad V_2 se debe dividir las áreas y multiplicarlo por la velocidad V_1 . Por lo tanto.

$$A_1 > A_2 \\ \frac{A_1}{A_2} > 1$$

Si el resultado de dividir las dos áreas es mayor a uno podemos afirmar que:

$$V_2 > V_1$$

Al aplicar la ecuación de Bernoulli aplicamos la deducción a partir de la primera ecuación y la relación entre los volúmenes.

$$P_1 = \text{CTE} - \frac{1}{2} \rho V_1^2 \quad (21)$$

$$P_2 = \text{CTE} - \frac{1}{2} \rho V_2^2 \quad (22)$$

Por lo tanto

$$P_1 > P_2 \\ V_1 < V_2$$

C. La Osmolaridad plasmática como principio del mecanismo de selección.

El diseño del proceso de selección de solutos tiene la base en la Osmolaridad efectiva que es cuando los solutos atraviesan la membrana de filtración, pero también existen una serie de presiones como la presión osmótica en palabras más claras es la fuerza necesaria para detener la osmosis figura 3.

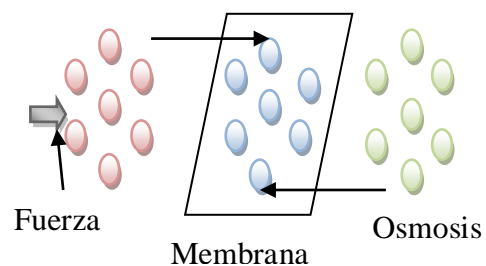


Figura 3 Presión osmótica

Existen medios o solventes de tonicidad dentro de la Osmolaridad como es el caso del medio Hipotónico, el medio posee una menor concentración de solutos lo que aumenta el volumen de una célula otro medio es Isotónico donde es la misma concentración de solutos permitiendo que no exista algún cambio, por último se encuentra el medio Hipertónico, aquel donde el medio posee mayor concentración de solutos y a consecuencia de este proceso deja salir el agua; de igual manera obtendremos un diseño basado en cantidad de solutos disueltas en agua para observar el intercambio o no. Para realizar el equilibrio osmótico se deben tomar en cuenta 4 presiones

1.- Presión capilar (P_c) 2.- Presión intersticial (P_i) 3.- Presión Oncótica (π_p) 4.- Presión Oncótica intersticial (π_{int}), cada una se ubica en una posición diferente figura 4.

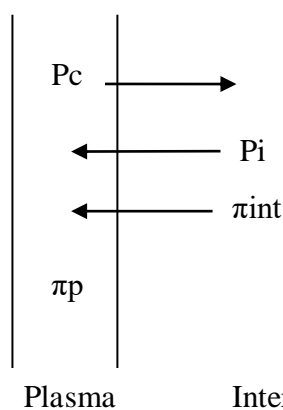
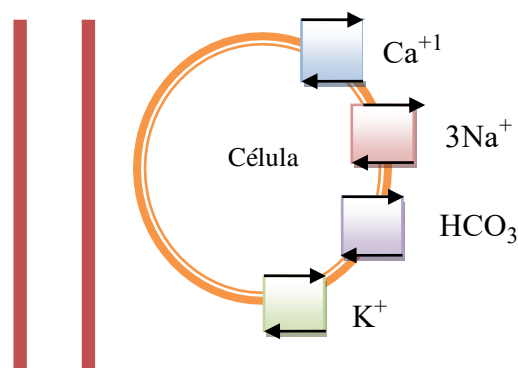


Figura 4 Líquido extracelular (Plasma + Intersticio).

Resultados

Para saber si sale agua del plasma sanguíneo al intersticio se suman las presiones que salen del plasma P_c y π_{int} y se resta con la suma de las presiones del intersticio P_i y π_p . A hora transportemos este principio para mantener el equilibrio osmótico de cada célula, como es bien conocido debe mantenerse un Osmolaridad de 180 MoS en cada celular, tener cierta cantidad de Calcio, Sodio o Fosforo para poder tener un equilibrio y a su vez esta no explote por la acumulación de agua.

En la figura 5 observamos diferentes tipos de válvulas de paso contenidas sobre una solución acuosa, con la finalidad de realizar este intercambio de solutos con el plasma sanguíneo.



Plasma Sanguíneo

Figura 5 Principio de selección de solutos.

D. Diseño y análisis del mecanismo de selección del prototipo funcional de riñón

El plasma sanguíneo que ingresa al glomérulo está formado por una solución rica en minerales, sustancias filtradas, reabsorbidas y excretadas en la orina, las sustancias que componen la solución son agua (180 litros), proteínas (2 g), iones de sodio (579 g), iones de cloruro (640 g), iones de bicarbonato (275 g), Glucosa (162 g), urea (54 g), iones de potasio (29.6 g), ácido úrico (8.5 g) y creatinina (1.6 g), [1]. La cantidad de sustancias que se regresan a la sangre es de agua (178- 179 g), proteínas (1,9 g), iones de sodio (575 g), iones de cloruro (633,7 g), iones de bicarbonato (274,97 g), glucosa (162 g), urea (24 g), iones de potasio (29.6 g), ácido úrico (7,7 g), creatinina (0 g), [1].

Se ha considerado un espacio mesangial lugar que contiene la cápsula glomerular, está formada por una entrada (arteriola aferente) y dos salidas (arteriola eferente y túbulo renal o túbulo colector) figura 6.

Resultados

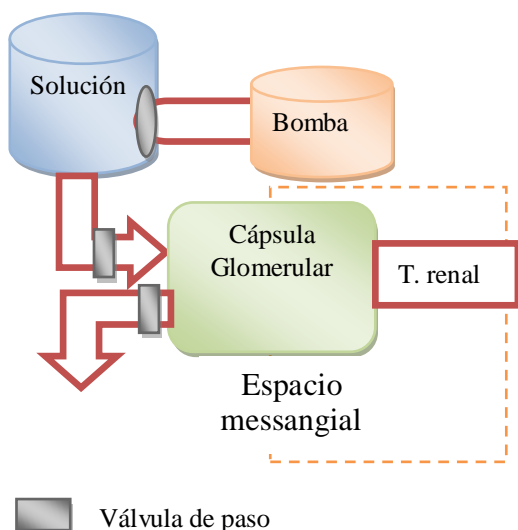


Figura 6 Espacio mesangial.

Al día se filtran 180 L de agua en Hombres y 150 L en Mujeres, 1200 ml entran al glomérulo por min, [1]; las dos válvulas de paso que se colocaron participan en un medio de regulación, el control del diámetro tanto de la arteriola aferente como la arteriola eferente permite una regulación sanguínea glomerular por lo tanto cuando la arteriola aferente presenta una constricción la presión del glomérulo aumenta, es por esa razón que se utilizara válvulas porque no solo aumenta la presión sino que no se realiza una adecuada filtración de los solutos.

Para poder separar los solutos es necesario diseñar una membrana de filtración, esta se compone de 3 capas que a continuación describiremos la primera lleva el nombre de capa de fenestraciones (poros) miden $0,070\ \mu\text{m}$, el segundo es la lámina basal mide $0,050\text{-}0,100\ \mu\text{m}$ y la tercera es la hendidura de filtración con una medida de $0,006\text{-}0,007\ \mu\text{m}$, cada una tiene una membrana de diferente tamaño; figura 7.

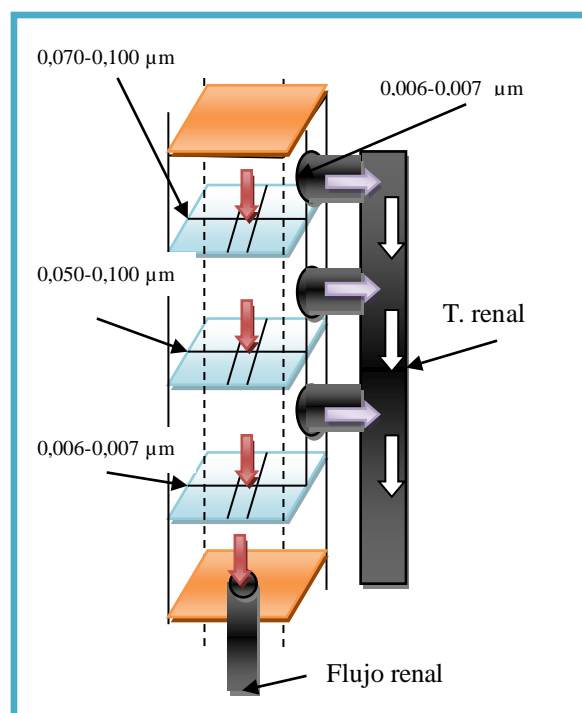


Figura 7 Diseño de la cápsula glomerular.

Como se observa en la figura 7 tenemos tres secciones cada una de estas secciones tiene dos filtros cada uno de diferente tamaño, el filtro que comparten de igual tamaño es de $0,006\text{-}0,007\ \mu\text{m}$ es para filtrar una mayor cantidad de agua ya que en la capsula glomerular se filtra una mayor cantidad de líquido.

El plasma sanguíneo recorre diferentes partes de la nefrona, en cada una se realiza una filtración diferente, se debe pasar primero por la filtración glomerular después el líquido filtrado pasa al túbulo renal, el líquido pasa por 3 espacios 1.-Túbulo contorneado proximal a la cápsula glomerular 2.-Asa de Henle 3.- Túbulo contorneado distal a la cápsula glomerular, figura 8.

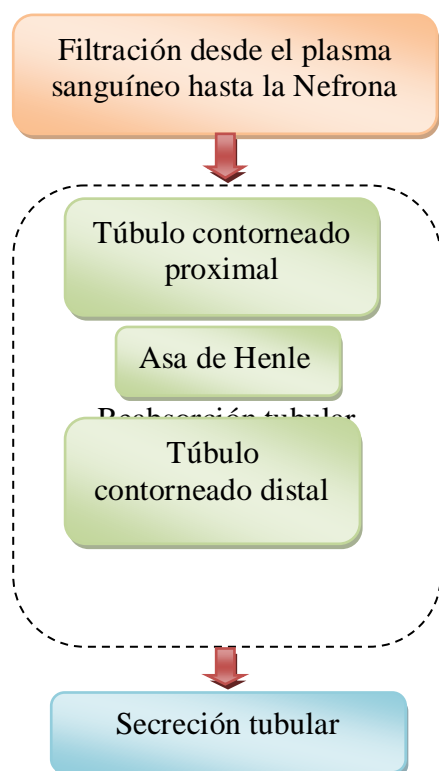


Figura 8 Proceso de filtración.

Se presenta el mecanismo de filtración del túbulo contorneado proximal, en esta etapa se regresa del túbulo renal a la sangre glucosa, aminoácidos, urea e iones de (sodio, potasio, calcio, cloruro, bicarbonato, fosfato), [1] cada uno con un diferente diámetro figura 9.

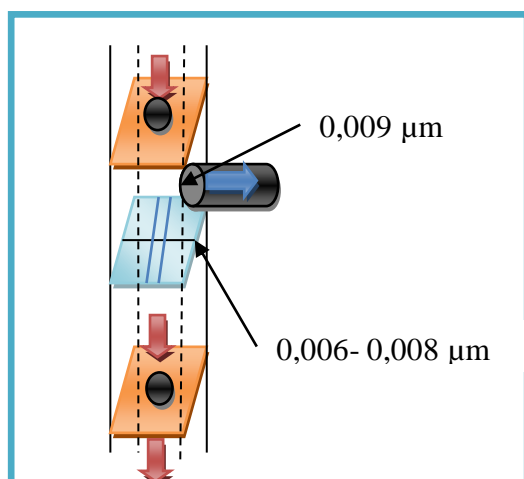


Figura 9 Bomba de sodio.

El mecanismo de filtración para el túbulo contorneado proximal pretende regresar una mayor cantidad de sodio, ya que la cantidad que ingresa al organismo es proporcional a la salida; en la figura 9 usaremos dos membranas una de 0,006- 0,008 μm utilizada para dejar pasar moléculas como calcio, cloruro, potasio debido a su diámetro y una membrana de 0,095 μm para poder filtrar todo el sodio; una bomba de sodio es aquella que se encarga de expulsar sodio.

Para el asa de Henle, túbulo contorneado distal utilizaremos el mismo mecanismo de filtración, pero es importante mencionar que la filtración de agua y de solutos será menor, [1]. En la secreción tubular se excretan hacia el túbulo renal sustancias como desechos, fármacos e iones de desecho; el siguiente mecanismo busca regresar al túbulo renal solutos que no son útiles para el organismo por lo que utilizaremos dos membranas una de 0,006- 0,007 μm y una de 0,008- 0,100 μm con el propósito de filtrar solutos de mayor tamaño y también regresar al plasma sanguíneo una porción de agua.

Para mantener un equilibrio dentro de una célula en el intersticio y el plasma sanguíneo se debe construir un mecanismo de retorno aquel que provea cierta cantidad de solutos de sodio, calcio, cloruro, bicarbonato fosfato para que estas no se llenen de agua y exploten; se debe mantener en 280 moS figura 10.

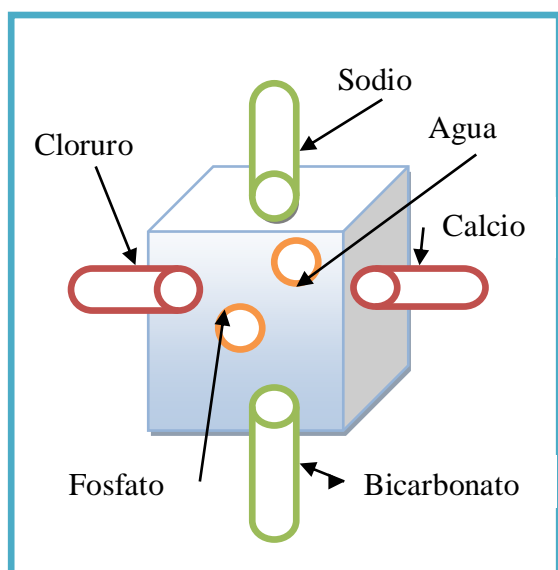


Figura 10 Mecanismo de retorno de solutos.

Cada salida estará controlada por válvulas de paso con una membrana con una cierta medida; es importante mencionar que se utilizarán válvulas solenoide para que puedan ser controladas con la tecnología Arduino, por ejemplo si se requiere una cantidad de solutos de potasio para el organismo se debe activar la válvula de potasio durante un cierto tiempo determinado después este pasará por una membrana de $0,075 \mu\text{m}$ y se cerrará la válvula, este principio es para retroalimentar el proceso de filtración desde la entrada de la arteriola aferente hasta la producción de la orina.

Simulación del mecanismo de filtración en Arena Simulation

Se debe tener conocimiento de la cantidad de solutos que se filtran, se reabsorben y se excreta, también la cantidad de agua que interviene en este proceso; se ha nombrado Mi-Pu-01 a la bomba de minerales que tendrá el prototipo funcional de riñón.

La simulación contará con 6 módulos figura 11, 1.- Bomba de minerales 2.- Filtración en cápsula glomerular 3.- Túbulo contorneado proximal 4.- Asa de Henle 5.- Túbulo contorneado distal 6.- Producción de orina, además de la selección de solutos por cada módulo; existe una retroalimentación por parte del plasma sanguíneo hacia la bomba de minerales antes mencionada mecanismo de retorno de solutos figura 10.

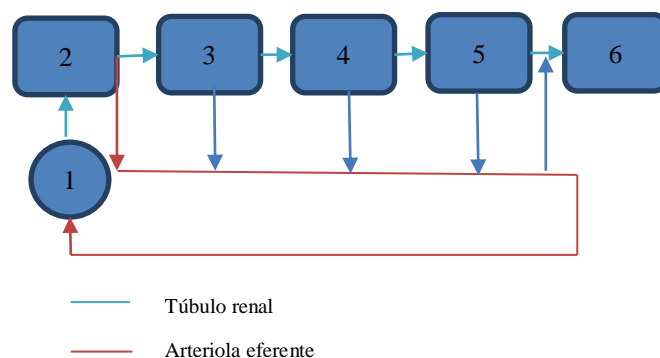


Figura 11 Módulos de filtración, reabsorción y secreción, bomba de minerales.

La bomba de minerales se compone de Agua, proteínas, iones de sodio, iones de cloruro, iones de bicarbonato, iones de potasio, calcio, glucosa, urea, ácido úrico, creatinina, proteínas plasmáticas, células sanguíneas; teniendo como principio la cantidad (g) de cada soluto como se observó en el apartado D. La bomba de minerales tendrá un total de 1751.7 g disueltas en 180 litros de solvente, para principios de simulación cada cierto periodo de tiempo se liberarán cierta cantidad de solutos de esta manera se podrá observar el principio de filtración, reabsorción y secreción [1].

El módulo 2 es la filtración en la cápsula glomerular donde se filtra el 97.5% de los solutos Tabla 1 y agua y 2.5 % no pasa el filtro debido a las macromoléculas antes mencionadas como proteínas plasmáticas y células sanguíneas; en cantidades se filtra 1708.87 g y no se filtran 42.9 g de solutos tabla 1, regresando a la corriente sanguínea.

| Solutos Filtrados | Cantidad Filtrada | Cantidad No filtrada |
|-----------------------|-------------------|----------------------|
| Agua | 179 L | 1 L |
| Proteínas | 1.9 g | 1 g |
| Sodio | 575 g | 4 g |
| Cloruro | 633.7 g | 6.3 g |
| Bicarbonato | 274.97 g | 0.3 g |
| Glucosa | 162 g | 0 g |
| Urea | 24 g | 30 g |
| Potasio | 29.6 g | 0 g |
| Acido | 0 g | 8 g |
| Proteínas Plasmáticas | 0 g | 6.5 g |
| Células sanguíneas | 0 g | 6-7 g |

Tabla 1 Solutos filtrados y no filtrados en la cápsula glomerular.

En el módulo 3 se reabsorben un 70 % de solutos de los cuales se encuentran el potasio, agua, sodio, cloruro, glucosa y proteínas; en el módulo 4 se reabsorben un 29% de los solutos y destacan agua, sodio, cloruro; y por último el módulo 5 reabsorbe un 1% de solutos y estos son sodio y cloruro ya que impermeable esa zona, un 10 % de solutos son aquellos que no se reabsorben es decir que siguen una cadena, el bicarbonato, ácido úrico y urea ya que estos al tener una reacción química daña el cuerpo y por dicha razón son eliminados mediante la orina.

La secreción tubular se realiza liberando solutos que no necesita el plasma sanguíneo, produciendo de esta manera la orina con 44.83 g, podemos observar las siguientes cantidades Tabla 2.

| Solutos en la secreción tubular | Cantidad de solutos |
|---------------------------------|---------------------|
| Agua | 1 L |
| Proteína | 0.1 g |
| Sodio | 4 g |
| Cloruro | 6.3 g |
| Bicarbonato | 0.03 g |
| Urea | 30 g |
| Potasio | 2.0 g |
| Ácido úrico | 0.8 g |
| Creatinina | 1.6 g |

Tabla 2 Cantidad de solutos que conforma a la orina.

Resultados

Arena Simulation comprende el funcionamiento del sistema basado en indicadores clave, tales como rendimiento, tiempo de ciclos, la utilización del equipo y la disponibilidad de recursos; arena simulation puede evaluar las alternativas posibles para determinar el mejor enfoque para optimizar el rendimiento, es bien conocido que arena ofrece la posibilidad de capitalizar el rendimiento de un negocio.

En un primer acercamiento con la simulación del prototipo funcional de riñón se utilizó arena simulation para representar el mecanismo de selección de solutos, a continuación se presenta el desarrollo de esta simulación en este sistema experto demostrando Mi-Pu-01, cápsula glomerular, Túbulo contorneado proximal y distal, Asa de Henle inmersos en los procesos de filtración, reabsorción y secreción tubular.

En 48 horas se filtran 180 litros de agua, aunque existen variaciones como la presencia de presión aferente y eferente; la siguiente simulación muestra una equivalencia es decir que se filtran en 26 min un litro de agua con la cantidad de solutos proporcional al total de solutos que se filtran como se muestra en la tabla 3.

| Soluto equivalente en 26 min | Cantidad de solutos (g) |
|------------------------------|-------------------------|
| Proteínas | 0.108 g |
| Sodio | 3.11 g |
| Cloruro | 3.4 g |
| Bicarbonato | 1.4 g |
| Glucosa | 0.8 g |
| Urea | 0.29 g |
| Potasio | 0.16 g |
| Ácido úrico | 0.046 g |
| Creatinina | 0.008 g |

Tabla 3 Equivalencia de solutos disueltos en 1 litro de agua.

A continuación se presenta en arena simulation los parámetros que se deben contemplar para la configuración de cada soluto, por ejemplo Agua figura 12.

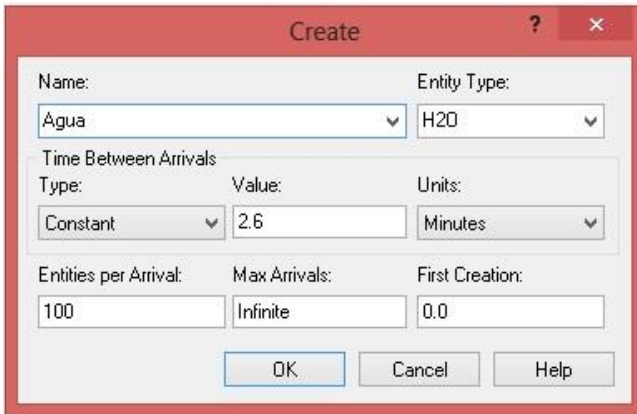


Figura 12 Configuración del soluto Agua en Arena Simulation.

Se asigna un nombre, el nombre del tipo de entidad, después se presenta la configuración del tiempo entre cada llegada, el tipo es constante con un valor de 26 representado en minutos, por cada 26 min 100 iones de soluto saldrán con la finalidad de demostrar 1000 ml de agua; de esta manera se crea cada entidad en total serán 12 entidades figura 13.

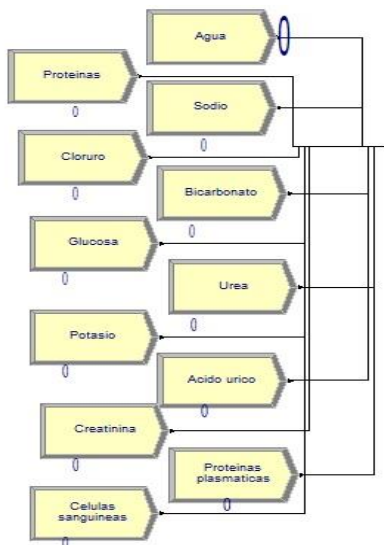


Figura 13 Número de entidades representadas en arena simulation.

En la figura 14 se presenta la representación de la cápsula glomerular, túbulo contorneado proximal, túbulo contorneado distal, asa de Henle se presentan tomando los porcentajes por ejemplo se filtran el 97.5 % de los solutos en la cápsula glomerular, el túbulo contorneado proximal reabsorbe el 70%, el asa de Henle reabsorbe 29 % y el túbulo contorneado distal reabsorbe 1%, por último se secretan 2 % que sumados con la cantidad de solutos que siguen una trayectoria recta dan el 10% que forman parte de la orina; aquellos solutos que son útiles para el cuerpo forma un ciclo es decir que recorren cada parte del cuerpo, pero gracias al mecanismo de retorno de solutos de la figura 10 se compensara la pérdida de algunos solutos porque como cada soluto realiza una función importante este no se debe suprimir por lo tanto cuando exista un nivel bajo este mecanismo se activará.

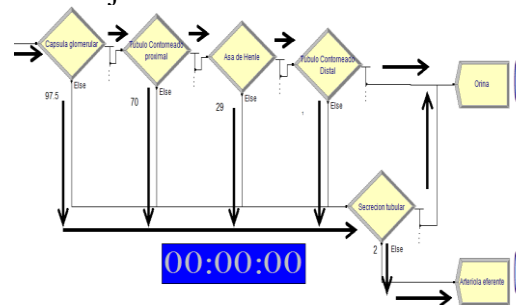


Figura 14 Proceso de reabsorción y secreción tubular

Para cada módulo se presenta la configuración como se muestra en la figura 15.

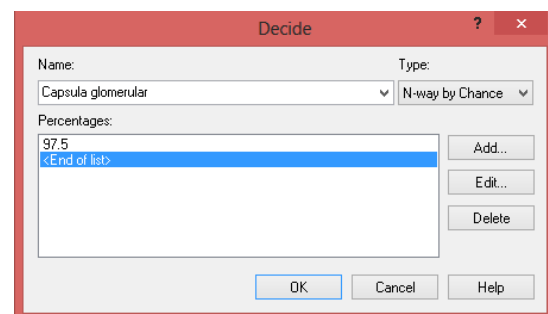


Figura 15 Configuración de cada proceso

Donde se asigna un nombre, un tipo donde seleccionaremos la cantidad de solutos que se filtraran y la cantidad que no. Arena Simulation permite visualizar los resultados con la animación en 2D y 3D.

A continuación se presenta la simulación en arena figura 16 teniendo como parámetros la cantidad de solutos disueltos en un litro de agua además de células sanguíneas, proteínas plasmáticas estas son macromoléculas debido a su tamaño no se filtran y no se reabsorben, aunque en algunos caso el aumento de proteínas causa atrofia miento al riñón causando una mala purificación de la sangre.

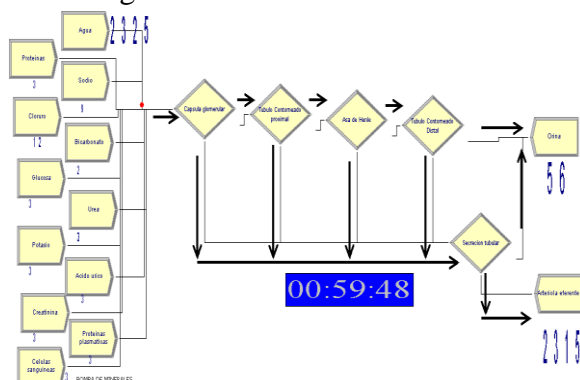


Figura 16 Simulación en Arena Simulation

Se aprecia un reloj para poder observar el ingreso de un nuevo soluto ya que como se planteó cada 26 min ingresarían un total de solutos para representar una porción del total.

Para la formación de cálculos renales o litos se han postulado 3 teorías 1.- Teoría sobre la sobresaturación, aquella que mediante factores como el Ph sanguíneo la concentración de los solutos y la formación de complejos con otros iones determinan la sobresaturación urinaria; 2.- la teoría de la nucleación es aquella donde se incrementa la concentración iónica hasta superar un determinado punto denominado producto de solubilidad, de esta forma existe la posibilidad de iniciar un proceso cristalino; nucleación se refiere a un crecimiento de un cristal sobre otro de estructura similar que le sirve como origen o matriz, por último se encuentra 3.- la teoría de falta de inhibidores establece que la ausencia de inhibidores naturales como magnesio, citrato piro-fosfatos serían los responsables de la producción de cálculos renales.

En la simulación en Arena no se incluyó el calcio ya que se encuentra sobre la mesa la idea de demostrar la reabsorción del calcio de los huesos al torrente sanguíneo y de esta manera producir un efecto sobre la homeostasis o alteración. La construcción del prototipo funcional de riñón permitirá demostrar las teorías sobre la producción de cálculos renales, creando una vinculación prototipo- estudiante para variar las presiones aferente y eferente como presiones que se producen en la cápsula glomerular y los capilares, la cantidad de solutos, la temperatura, la ubicación de un cálculo dentro de una estructura etc.

Conclusiones

El desarrollo de herramientas de aprendizaje para el área de Medicina o incluso para otras áreas abre la puerta para el desarrollo tecnológico en el país, por lo que debemos tomar conciencia y ayudar aquellas personas que como yo buscamos aportar conocimiento; se presentó una propuesta tecnológica que como se observó busca generar conocimiento, un autoaprendizaje y una forma de estudio dinámico. Se tienen planes a futuro con respecto a este prototipo a continuación se menciona algunos de ellos 1.- Desarrollar una interfaz para recibir la información del prototipo y ser interpretada 2.- Utilizar tecnología WIFI para la transmisión de datos y comunicación bilateral entre el prototipo y el sistema que en su momento se planteara etc.

Referencias

- [1] TORTORA, G., & DERRICKSON, B. (2009). *Principios de Anatomía y Fisiología*. México, Madrid, Caracas, Bogotá, Buenos Aires, San Paolo: Panamericana.
- [2] HERNANDO, A. (2013). *Nefrología Clínica*. México, Madrid, Caracas, Bogotá, Buenos Aires, San Paolo: Panamericana.

[3] Rello, M. (07 de Noviembre de 2015). Se disparan casos de cálculos en riñón y las vías urinarias. *Milenio*, pág. 2.

[4] Ruiz Parra, A. I., Ángel Müller, E., & Guevara, O. (2009). LA SIMULACIÓN CLÍNICA Y EL APRENDIZAJE VIRTUAL. TECNOLOGÍAS COMPLEMENTARIAS PARA LA EDUCACIÓN MÉDICA. *Revista de la Facultad de Medicina*, 67-79.

[5] Peña, J. C. (2009). *Nefrología Clínica y Transtornos del agua y los electrolitos*. México: Méndez Editores .

[6] Mott, R. L. (2015). *Mecánica de fluidos*. México: Pearson Educación.

Diseño de Sistemas con Generación Directa de Vapor con el Uso de Concentradores Solares de Canal Parabólico utilizando el Software SOLEEC

ENCISO-CONTRERAS, Ernesto*†, BARBOSA-SALDAÑA, Juan, MORENO-PACHECO, Luis y GUTIÉRREZ-TORRES, Claudia del Carmen.

Recibido Octubre 7, 2016; Aceptado Noviembre 9, 2016

Resumen

El presente trabajo describe el software SOLEEC para el diseño de concentradores solares de canal parabólico (PTC) con sistema de generación directa de vapor (DSG). El tubo absorbedor se divide en 3 partes: precalentamiento, donde el agua ingresa y llega hasta la temperatura de saturación para la presión que se maneje; evaporación a temperatura constante, el líquido en estado de saturación alcanza el estado de vapor saturado; sobrecalentamiento donde el vapor saturado se sobrecalienta hasta la temperatura final que el usuario haya dictado. El software cuenta con 2 interfaces principales, una para evaluación de solo valor de irradiancia solar (W/m^2) (mensual) y otra para evaluación anual, ingresando 12 valores de irradiancia solar (W/m^2). En la interfaz se pueden elegir los principales materiales de construcción de los concentradores PTC, como la superficie reflectiva, superficie selectiva y materiales del tubo absorbedor y tubo transparente, dando como resultados los datos geométricos de la parábola: apertura (m), distancia focal (m), longitud necesaria total del concentrador (m), por otro lado se obtienen datos térmicos para cada sección del tubo absorbedor como son: flujo de calor útil (W), flujo de calor perdido (W), eficiencia térmica (%) y temperaturas del tubo absorbedor y tubo transparente ($^{\circ}C$).

Concentrador solar de canal parabólico, software, SOLEEC

Citación: ENCISO-CONTRERAS, Ernesto, BARBOSA-SALDAÑA, Juan, MORENO-PACHECO, Luis y GUTIÉRREZ-TORRES, Claudia del Carmen. Diseño de Sistemas con Generación Directa de Vapor con el Uso de Concentradores Solares de Canal Parabólico utilizando el Software SOLEEC. Revista de Prototipos Tecnológicos 2016, 2-6: 36-45

Abstract

The present work describes software SOLEEC application for parabolic trough solar collector (PTC) with direct steam generation system (DSG). Absorber tube is divided into three sections: first preheating, where water enters and saturation temperature is reached, for the working pressure managed, in the second section the evaporation process is carried out at constant temperature, the saturated liquid reaches the steam saturation state, at the third section, saturated steam is overheated to the final temperature dictated by the user. The software has two main interfaces, the first one for just one solar irradiance (W/m^2) value assessment (monthly) and the other one for annual assessment, entering 12 solar irradiance values (W/m^2). At the interface, main materials for PTC collector construction can be chosen, such as reflective surface, selective surface, and absorber tube and coating tube materials, giving as results geometric parabolic data: aperture (m), focal distance (m), total collector length (m), on the other hand, thermal data for each section are given such as: heat gain (W), heat losses (W), thermal efficiency (%) and absorber tube and coating tube temperatures ($^{\circ}C$).

Parabolic trough solar collector, software, SOLEEC

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: eencisoc@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Uno de los problemas más serios a los que el mundo se está enfrentando es la sobreexplotación de las fuentes convencionales de energía, lo que conlleva a su escasez y aumento en el precio de los mismos, aunado a lo anterior, la quema de los combustibles fósiles está provocando que la calidad del aire sea de mala calidad afectando la salud de los seres humanos y aumentando considerablemente los gases de efecto invernadero provocando el aumento global de la temperatura en el planeta.

Una solución rentable es el uso de energías alternativas, ya que son limpias y renovables. De las energías renovables que se investigan y utilizan, la energía solar es la que más potencial tiene ya que en tan solo dos días, el planeta recibe una cantidad equivalente a todas las reservas probadas que existen de petróleo, gas y carbón. Esto equivale a 60 veces el consumo anual de la sociedad humana, lo que da una idea del potencial que tiene la energía solar para satisfacer las demandas energéticas del mundo (Arancibia, 2010).

Entre los dispositivos utilizados para captar y aprovechar la energía solar, los concentradores PTC, son la tecnología más avanzada, madura y desarrollada para dispositivos fototérmicos alcanzando temperaturas entre 60 y 400 °C, utilizados principalmente para generación eléctrica y procesos industriales (Kalogirou, 2009).

El sistema de generación directa de vapor (DSG) con el uso de concentradores solares de canal parabólico (PTC) es una opción rentable para la mejora de este tipo de dispositivos. Varios estudios se han realizado acerca del diseño, control, procesos de puesta en marcha y apagado del sistema, el mejor modo de operación y los esfuerzos en el tubo absorbedor debido a las fluctuaciones de la energía solar.

El proyecto DISS es uno de los bancos de pruebas más grandes y que está teniendo resultados satisfactorios colocado en la Plataforma Solar de Almería, España, el cual consiste en un sistema solar de generación de vapor con una longitud de 500m y una potencia máxima de 2 MW, los principales parámetros de diseño consisten en una presión de operación de 100 bar y una temperatura de 400 °C a la salida del concentrador. En el banco de pruebas se investiga la posibilidad de 3 modos de operación, modo directo, modo de recirculación y modo de inyección (Eck, Zarza, Eickhoff, Rheinländer, Valenzuela, 2003).

Otro trabajo desarrollado en la India se enfoca en el diseño y análisis de una planta solar con sistema DSG para 1 MW de potencia, cuyo objetivo principal es estandarizar el tamaño de un concentrador ET-100 para aplicaciones que manejen dicha potencia, en este trabajo se realiza un análisis térmico encontrando el flujo másico de vapor, la temperatura interna del concentrador, la cantidad de calor requerida por unidad de área para las condiciones de salida dadas y la eficiencia térmica del ciclo de vapor. Como datos se tomaron los valores promedio de irradiancia solar y la velocidad del aire para Nueva Delhi, otras tareas también se realizaron como evaluar la tasa de pérdidas de calor hacia el ambiente, el coeficiente de transferencia de calor interno y la temperatura del tubo transparente (Kumar, Chand, Umrao, 2013).

Existen programas de cómputo auxiliares para el cálculo y diseño de algunos procesos involucrados en el desempeño de los concentradores PTC así como también en las plantas solares basadas en el uso de los mismos. Tal es el caso del programa Dymola/Modelica el cual tiene la función de modelar y simplificar un campo de concentradores PTC con sistema DSG, donde el agua entra al campo solar para ser parcialmente evaporada y posteriormente ser transportada a un separador. La masa condensada se hace recircular al inicio del campo solar con flujo másico constante mientras que el vapor saturado es llevado a la sección de sobrecalentamiento la cual consta de otro campo de concentradores del mismo tipo (Birnbaum, Feldhoff, Fitchner, Hirsch, Jöcker, Pitz-Paal, Zimmermann, 2011).

Una herramienta computacional está siendo desarrollada basada en una hoja de cálculo para dimensionar campos de colectores solares con aplicación en generación de calor en procesos industriales. La herramienta requiere la posición geográfica del campo de colectores, datos horarios de irradiación solar (global y difusa), temperatura ambiente, así como también la curva de eficiencia y eficiencia óptica. La herramienta permite formar arreglos serie-paralelo y seleccionar si son planos o de concentración y calcular el volumen del termostanque de manera iterativa de acuerdo al perfil horario de la carga térmica, también se puede determinar la fracción solar y el ahorro de combustible en valor monetario, adicionalmente también calcula la irradiación global, difusa y directa incidentes sobre las superficies con cierta inclinación y orientación (Venegas, Jaramillo, Rodríguez, Sosa, Martín, 2015).

Con un propósito similar y siguiendo las estrategias para el desarrollo tecnológico basado en energías renovables, en el Instituto Politécnico Nacional se optimiza el software SOLEEC, cuya optimización se centra en el diseño de concentradores solares PTC con sistema DGS. En las secciones posteriores se hace una descripción de las interfaces principales para cumplir con dicho propósito y la metodología llevada a cabo.

Metodología

Un concentrador solar de canal parabólico es un dispositivo para concentrar en un área de captación más pequeña la energía proveniente del Sol, consta principalmente de una superficie reflectiva con forma transversal parabólica, donde reflejan los rayos del Sol hacia la línea focal de la parábola en la cual se encuentra el tubo absorbedor, concéntrico al tubo absorbedor se coloca un tubo transparente con alto valor de transmisividad para minimizar las pérdidas convectivas hacia el medio ambiente, el espacio entre ambos tubos generalmente se encuentra evacuado, en el interior del tubo absorbedor se hace pasar un fluido de trabajo, el cual al ingresar al concentrador y ganar energía debido a las irradiancia solar que incide en el tubo absorbedor, aumentando significativamente su temperatura final.

La optimización del software SOLEEC se centra principalmente en la obtención directa de vapor, siendo de igual manera el tema central en el que se enfoca este trabajo. La teoría de flujo bifásico es aplicada en el código del software SOLEEC, específicamente la evaporación forzada en ductos circulares y lisos. Después de revisar algunas correlaciones empíricas para determinar los principales parámetros involucrados en flujo bifásico, se utilizaron las correlaciones siguientes.

En un sistema DSG con el uso de concentradores PTC, el tubo absorbedor debe estar en posición horizontal y la energía incidente sobre el concentrador puede ser considerada como uniforme a lo largo del absorbedor. Si el agua de abastecimiento del concentrador entra con una temperatura inferior a la temperatura de saturación para la presión de trabajo, la temperatura media se ve incrementada hasta conseguir el estado de saturación. Después de este punto, comienza el proceso de nucleación y después de incrementos en la calidad del vapor, comienzan a cambiar los patrones de flujo a evaporación convectiva como puede ser observado en la fig.

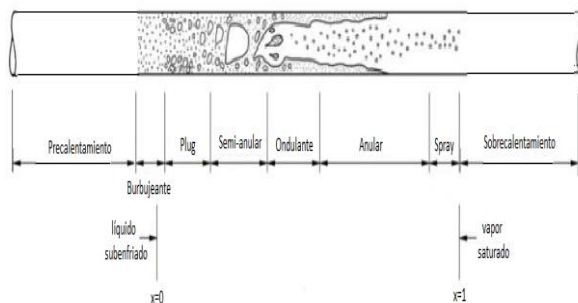


Figura 1 Divisiones del tubo absorbedor para un sistema de generación directa de vapor.

La transferencia de calor de la pared del tubo absorbedor hacia el agua incrementa conforme incrementa la calidad. Para ambos fenómenos, tanto evaporación nucleada como evaporación convectiva, el coeficiente de transferencia de calor es influenciado por la formación de burbujas y la convección en la película de líquido.

Para los casos donde se tiene una gran cantidad de energía de entrada o concentradores demasiado largos, el agua se convierte por completo en vapor y la baja conductividad térmica de este provoca una disminución del coeficiente de transferencia de calor. El máximo valor para el coeficiente de transferencia de calor en la región bifásica se encuentra aproximadamente para una calidad de $x = 0.8$ para una gran rango de condiciones de flujo másico (Odeh, Morrison, Behnia, 1998).

La optimización del software SOLEEC para sistemas DSG consta de un análisis térmico para el fenómeno de evaporación forzada, por lo cual el tubo absorbedor se divide en tres secciones siendo estas: precalentamiento, evaporación y sobrecalentamiento, la figura (2) muestra un diagrama de flujo del procedimiento que se llevará a cabo para la obtención directa de vapor.

Coefficiente de transferencia de calor

La primera y tercera secciones se analizan como flujos totalmente desarrollados de líquido y vapor respectivamente, cuyo coeficiente de transferencia de calor se calcula con la correlación de Dittus-Boelter.

$$h = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \frac{k}{d_{ri}} \quad (1)$$

En la primera sección de precalentamiento el software SOLEEC, mediante procesos iterativos encontrará el flujo másico necesario para llegar desde la temperatura inicial hasta la temperatura de saturación para la presión de trabajo que se esté manejando, de igual manera encontrará la longitud mínima que debe tener el concentrador para poder llegar a la condición dada.

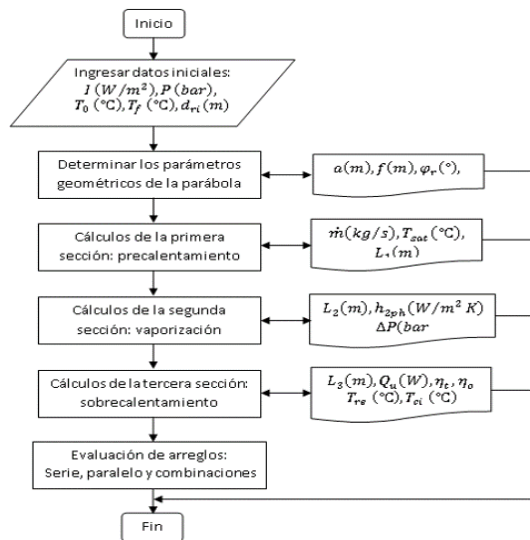


Figura 2 Diagrama de flujo que muestra el procedimiento del software SOLEEC.

En la segunda sección del tubo absorbedor se llevará a cabo el cambio de fase, por lo que se tienen diferentes calidades de vapor a lo largo del segmento. Se iniciará con flujo másico constante, lo cual se calculó en el segmento anterior. Esta sección es la más compleja debido a la formación de patrones de flujo, donde la variable más compleja de obtener es el coeficiente de transferencia de calor, por lo tanto para evaluarlo se debe de determinar el número de Froude (Gunger and Winterton, 1989).

$$Fr = \frac{G^2}{\rho_l^2 g d_{ri}} \quad (2)$$

Si $Fr < 0.04$ ocurre flujo estratificado y el coeficiente de transferencia de calor se determina con la correlación de Shah (Shah, 1982).

$$\frac{h_{2ph}}{h_l} = 3.9 Fr^{0.24} \left(\frac{x}{1-x} \right)^{0.64} \left(\frac{\rho_l}{\rho_g} \right)^{0.4} \quad (3)$$

El coeficiente de transferencia de calor para la fase líquida h_l puede ser calculado con la correlación de Dittus-Boelter modificada asumiendo que la fracción líquida llena completamente el tubo.

$$h_l = 0.023 \left(\frac{G(1-x)d_{ri}}{\mu_l} \right)^{0.8} Pr^{0.4} \frac{k_l}{d_{ri}} \quad (4)$$

Si $Fr > 0.04$ el absorbedor se contiene una película de líquido debido al flujo anular y el coeficiente de transferencia de calor puede ser determinado por la correlación de Chan. El coeficiente de transferencia de calor bifásico tiene dos componentes principales, formación de burbujas $h'_B = h_B S$ y convección $h'_l = h_l F$.

$$h_{2ph} = h'_B + h'_l \quad (5)$$

Para determinar h_B la siguiente correlación es usada (Baehr and Stephan, 2006).

$$h_B = 3800 \left[\frac{q}{20000} \right]^n Fp \quad (6)$$

$$n = 0.9 - 0.3(P_n)^{0.15} \quad (7)$$

$$Fp = 2.55(P_n)^{0.27} \left(9 + \frac{1}{1 - P_n^2} \right) P_n^2 \quad (8)$$

$$P_n = \frac{P}{P_{cr}} \quad (9)$$

Los factores de corrección S y F se calculan con el uso de las siguientes ecuaciones.

$$Bo = \frac{q}{\dot{m}\Delta h_{lg}} \quad (10)$$

$$F = 1 + \frac{(2.4 \times 10^4) Bo^{1.16}}{1 + 1.37 X_{tt}^{-0.85}} \quad (11)$$

$$S = \frac{1}{1 + (1.15 \times 10^{-6}) F^2 Re^{1.17}} \quad (12)$$

$$X_{tt} = \left(\frac{\rho_g}{\rho_l} \right)^{0.5} \left(\frac{\mu_l}{\mu_g} \right)^{0.1} \left(\frac{1-x}{x} \right)^{0.9} \quad (13)$$

Bo es el número de ebullición adimensional y representa una relación entre la masa de vapor generada por unidad de área de transferencia de calor y la densidad de flujo másico por unidad de área.

Una vez que el agua en estado de saturación ha llegado al estado de vapor saturado, la tercera sección del tubo absorbedor se encargará del sobrecalentamiento del vapor. En esta etapa, el vapor se sobrecalienta hasta la condición final de temperatura que haya dictado el usuario, la cual estará en función de la presión de trabajo que se maneje. El software SOLEEC encontrará la longitud mínima para que se llegue a la condición deseada así como la cantidad de vapor producida por el concentrador. El flujo másico se sigue considerando constante y para evaluar el coeficiente de transferencia de calor se usará la correlación de Dittus-Boelter que se mostró en la ec. (1).



Figura 3 Menú principal del software SOLEEC.

Descripción del software SOLEEC

El software SOLEEC es una herramienta computacional auxiliar versátil para el diseño de sistemas solares basados en concentradores PTC, el software está registrado ante el Instituto Nacional de Derechos de Autor con el número 03-2012-070510302900-01, cuenta con distintas opciones para realizar el diseño y evaluación de concentradores PTC, también se puede calcular el recurso solar en cualquier latitud en el planeta que no revase los círculos polares. Los valores de irradiancia solar se pueden calcular en de tres manera: para cada día del año; promedios de irradiancia para un mes específico; y promedios mensuales a lo largo del año, también muestra resultados como gráficas de la declinación terrestre, la constante solar, las horas de insolación diarias a lo largo del año y las horas de puesta y salida del Sol diarias a lo largo del año.

En lo que concierne a los concentradores PTC, en las opciones de diseño se puede elegir de acuerdo al fluido de trabajo, es decir, si el fluido se mantiene en estado líquido, se pueden elegir 3 fluidos distintos, estos son: agua, aceite térmico Therminol VP1 y aceite térmico Syltherm 800, la siguiente opción en la cual se centra el contenido del presente trabajo es el sistema de generación directa de vapor.

La fig. 3 muestra el menú principal del software SOLEEC, donde se pueden observar todas las opciones con que cuenta el software. Para poder ingresar a las opciones donde se encuentra el sistema DSG se debe elegir primero los valores de irradiancia solar que se desean ingresar, es decir, evaluación mensual (1 valor de irradiancia) o evaluación anual (12 valores de irradiancia).

El software cuenta con opciones de diseño y evaluación de concentradores PTC, en la opción de diseño el usuario elige el diámetro del tubo, con medidas de diámetro nominal de 3/4, 1, 2, 3 y 4 pulgadas, también se deben elegir los materiales de construcción del concentrador, es decir, la superficie reflectiva, la superficie selectiva y el material del tubo transparente, en la tabla 1 se muestran los datos que el usuario debe ingresar para poder ejecutar el software.

| Datos que se ingresan | |
|--|-----------------------------|
| Irradiancia solar (1 o 12 valores según sea el caso) | W/m ² |
| Ángulo de incidencia de la irradiación solar | ° |
| Velocidad del aire del medio ambiente | m/s |
| Temperatura ambiente | °C |
| Presión de trabajo del concentrador | bar |
| Temperatura a la que ingresa el agua al concentrador | °C |
| Temperatura a la que se desea que llegue el vapor sobrecalentado al final del concentrador | °C |
| Datos que se eligen | |
| Diámetro del tubo absorbedor de cobre | 3/4, 1, 2, 3 y 4 pulgadas |
| Superficie reflectiva | Aluminio anodizado |
| | Recubrimiento de plata |
| | Acrílico aluminizado |
| Superficie selectiva | Cromo negro |
| | Pintura de sulfato de plomo |
| Tubo transparente | Borosilicato |

Tabla 1 Datos que el usuario debe ingresar al software.

Una vez que se ingresaron los datos correctamente y se oprime el botón de ejecutar, el software SOLEEC muestra los resultados en forma de tablas y gráficas para su fácil interpretación. Se obtienen los datos geométricos de diseño de la parábola, es decir, las medidas mínimas recomendadas y las características térmicas para cada una de las secciones en las que se divide el tubo absorbedor, en la tabla 2 se pueden observar cada uno de los datos que muestra el software SOLEEC al ser ejecutado.

| Datos geométricos | |
|---|------|
| Apertura | m |
| Distancia focal | m |
| Longitud total del concentrador | m |
| Diámetro interno del tubo transparente | m |
| Espesor del tubo transparente | m |
| Eficiencia óptica | % |
| Características térmicas | |
| Precalentamiento | |
| Flujo de calor útil | W |
| Flujo de calor perdido | W |
| Longitud mínima necesaria para llegar a la condición de líquido saturado | m |
| Flujo másico necesario | kg/s |
| Eficiencia térmica | % |
| Temperatura externa del tubo absorbedor | °C |
| Temperatura interna del tubo transparente | °C |
| Evaporación | |
| Flujo de calor útil | W |
| Longitud necesaria del concentrador para llevar a cabo la evaporación y llegar a la condición de vapor saturado | m |
| Eficiencia térmica | % |
| Caída de presión | bar |
| Sobrecalentamiento | |
| Flujo de calor útil | W |
| Flujo de calor perdido | W |
| Longitud necesaria para llegar de la condición de vapor saturado hasta la temperatura final | m |
| Eficiencia térmica | % |
| Gráficas | |
| Flujo de calor perdido en función de la calidad del vapor. | |
| Temperatura externa del tubo absorbedor con respecto a la longitud total del concentrador. | |
| Caída de presión en función de la longitud de la sección de evaporación. | |

Tabla 2 Resultados que muestra el software SOLEEC para la opción de sistema DSG.

La fig. 5 muestra la interfaz para el diseño de concentradores solares PTC con sistema DSG, donde se pueden observar los datos de ingreso y los resultados así como se mencionó anteriormente en las tablas.

Con el uso del software SOLEEC como herramienta auxiliar en el diseño de concentradores PTC con sistema DSG el usuario obtiene datos confiables para su posterior aplicación y análisis.

El flujo de calor útil muestra la energía efectiva que se puede aprovechar a la salida del concentrador solar, por lo que estará en función del tamaño del concentrador y de la aplicación a la cual vaya a ser destinada.

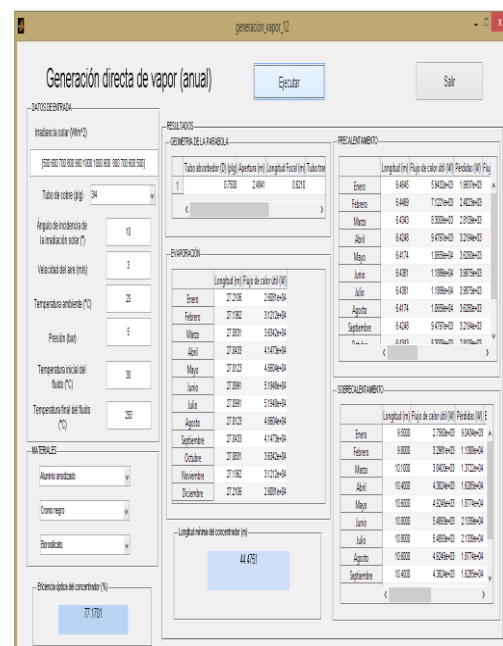


Figura 4 Interfaz para el diseño de concentradores PTC con sistema DSG.

Cada sección en la que se divide el tubo absorbedor tiene características térmicas diferentes, debido al tipo de fenómeno que ocurre con el fluido de trabajo en el interior, por lo tanto, para cada sección será diferente la temperatura externa del tubo absorbedor, la cual está directamente relacionada con el desempeño del material y de la transferencia de calor al interior del concentrador.

De igual manera la temperatura del tubo absorbedor afecta directamente a las pérdidas de calor hacia el medio ambiente, ya que el mecanismo de transferencia de calor por radiación, es el fenómeno que causa la mayor pérdida de calor en un concentrador solar, debido a este mismo fenómeno se ve afectada directamente la eficiencia térmica de cada sección del concentrador solar.

El software SOLEEC cuenta con gran variedad de interfaces con diferentes propósitos, lo que lo convierte en una herramienta versátil, confiable y fácil de utilizar para realizar el diseño o evaluación de una instalación solar basada en concentradores solares de canal parabólico.

Conclusiones

En el presente trabajo se describió la utilidad y versatilidad del software SOLEEC como una herramienta computacional que permite el diseño y evaluación de concentradores solares de canal parabólico con generación directa de vapor.

Para llevar a cabo la tarea principal del software, el tubo absorbedor se divide en 3 secciones principales: en la primera sección de precalentamiento, el agua ingresa al concentrador a una temperatura más baja que la de saturación para que al final de la sección se llegue a dicha temperatura, los parámetros principales a calcular son el flujo másico y la longitud mínima necesaria para llegar a dicha condición.

En la segunda sección se lleva a cabo el proceso de evaporación, siendo la sección más compleja del análisis térmico debido a la formación de patrones de flujo por el cambio de fase, el proceso de evaporación se lleva a cabo a temperatura constante donde el líquido saturado llega a la condición de vapor saturado al final de la sección, por lo que es necesario calcular la longitud mínima manteniendo el flujo másico constante.

Por último, en la tercera sección el vapor saturado se sobrecalienta hasta llegar a la condición final de temperatura impuesto por el usuario, de igual manera se calcula la longitud necesaria manteniendo el flujo másico constante.

El software SOLEEC posee opciones para que el usuario pueda obtener resultados confiables, es fácil de usar y es de fácil interpretación en sus resultados, sin embargo es labor del usuario poseer el conocimiento acerca de este tipo de tecnología solar para darle la aplicación correcta en función de los resultados obtenidos.

Referencias

- Arancibia, C., Best, R., y Brown, (2010). Energía del Sol. Ciencia, 61, 2, 10.
- Kalogirou, S. (2009). Solar energy engineering processes and systems. Nueva York, Elsevier.
- Eck, M., Zarza, E., Eickhoff, M., Rheinländer, J., y Valenzuela, L., (2003). Applied research concerning the direct steam generation in parabolic troughs. Solar Energy, 74.
- Kumar, A., Chand, S., y Umrao, O., P., (2013). Design and analysis for 1MW parabolic trough solar collector plant base don DSG method. International Journal of Engineering Reasearch and Technology, 2.
- Birnbaum, J., Feldhoff, J., Fitchner, M., Hirsch, T., Jöcker, M., Pitz-Paal, R., y Zimmermann, G., (2011). Steam temperatura stability in direct steam generation solar power plant. Solar Energy, 85.
- Venegas, E., Jaramillo, O., A., Rodríguez, N., A., Sosa, F., y Martín, I., R., (2015). Herramienta para el dimensionamiento de sistemas solares para generación de calor en procesos industriales. XXXIX Semana Nacional de Energía Solar.

Odeh, S., D., Morrison, G., L., y Behnia, M., (1998). Modelling of parabolic trough direct steam generation solar collectors. *Solar Energy*, 62, 6.

Gunger, K., E., y Winterton, R., H., (1989). A general correlation for flow boiling in tubes and annuli. *Heat and mass transfer*, 29, 351-358

Shah, M., (1982). Chart correlation for saturated boiling heat transfer: equations and further study. *ASHRAE*, 88.

Baehr, H. D. y Stephan, K. (2006). *Heat and mass transfer*. Springer.

Tablero didáctico para entrenamiento de interconexión de sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica

BRION-GONZÁLEZ, Rosa*†, MEJÍAS-BRIZUELA, Nildia', MORALES-HERNÁNDEZ, Irving'' y RIVERA-ROJAS, Alejandro'.

Maestría en Enseñanza de las Ciencias, Universidad Politécnica de Sinaloa

'Programa Académico de ingeniería en energía, Universidad Politécnica de Sinaloa

''Maestría en Ciencias Aplicadas, Universidad Politécnica de Sinaloa

Recibido Octubre 18, 2016; Aceptado Noviembre 15, 2016

Resumen

La formación de recursos humanos en el sector de energías renovables es de suma importancia para lograr incrementar la producción de energía eléctrica, especialmente la fotovoltaica. En este trabajo se presenta una propuesta didáctica que tiene por objeto desarrollar competencias en los alumnos de la unidad académica de ingeniería en energía y a la vez entrenarlos para cumplir con los estándares de la compañía de suministro de energía eléctrica (Comisión Federal de Electricidad). La propuesta consiste en un tablero para entrenamiento de interconexión a la red eléctrica de sistemas fotovoltaicos que consta de medidor bidireccional, voltímetro, amperímetro, conectores MC4, wattímetro, termómetro, interruptores termomagnéticos, inversor, microinversor, panel fotovoltaico de 100W y tomas de corriente. Se ha trabajado con 40 alumnos de la asignatura Sistemas Fotovoltaicos con Laboratorio y los resultados han sido positivos en lo que respecta a la identificación de instrumentos y entrenamiento para la puesta en funcionamiento de un sistema interconectado a red, el 75% de los estudiantes ha logrado instalar el sistema en su primer intento. De igual forma el tablero permite analizar y evaluar los factores que afectan la producción de energía en este tipo de sistemas tales como, polvo, sombra y temperatura.

Sistema Fotovoltaico, Energías Renovables, Didáctica de las Ciencias

Abstract

The training of human resources in the renewable energy sector is of paramount importance to achieve increasing production of electric energy, especially photovoltaic energy. This paper presents a didactic proposal that aims to develop skills in energy engineering students and simultaneously train them to meet company standards supply electric power (Federal Electricity Commission) is presented. The proposal consists of a board electric for training interconnection to the grid of photovoltaic systems consisting of bidirectional meter, voltmeter, ammeter, MC4 connectors, wattmeter, thermometer, circuit breakers, inverter, micro-inverter, solar panel 100W and sockets. Has worked with 40 students of the subject Photovoltaic Systems Laboratory and the results have been positive with regard to the identification of tools and training for the operation of an interconnected system network, 75% of students have achieved install the system on their first attempt. Likewise, the board electric allows to analyze and evaluate the factors affecting energy production in these systems such as dust, shade and temperature.

Photovoltaic System, Renewable Energy, Science Teaching

Citación: BRION-GONZÁLEZ, Rosa, MEJÍAS-BRIZUELA, Nildia, MORALES-HERNÁNDEZ, Irving y RIVERA-ROJAS, Alejandro'. Tablero didáctico para entrenamiento de interconexión de sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica. Revista de Prototipos Tecnológicos 2016, 2-6: 46-51

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: rbrion@upsin.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Cuando se habla de energía eléctrica se divaga entre el concepto de las grandes empresas de generación eléctrica a base de combustibles fósiles y los altos costos que ésta mantiene. Sin embargo, México, así como otros países se están enfrentando a una transición energética debido a los altos consumos energéticos, añadida la dependencia del país a los combustibles fósiles y a la mínima información y cultura de ahorro y eficiencia en la sociedad, como consecuencia a estos procesos la alternativa apunta a las fuentes alternas de energía, tales como, energía solar, energía eólica, hidroeléctrica, geotérmica, biocombustibles y energía nuclear (Consultores Internacionales, S. C. © 2014).

A pesar de los avances tecnológicos, aún existen paradigmas referentes a las fuentes alternas de energía tales como su funcionamiento, sus costos y sus ventajas. Un ejemplo es la energía solar en América Latina, donde siguen perpetuando los tabú sobre si es efectiva esta fuente y si existen ahorros energéticos y económicos al instalar sistemas fotovoltaicos, a pesar que gran parte de México cuenta con una excelente radiación solar como es el estado de Sinaloa, siguen perpetuando los tabú sobre si es efectiva esta fuente y si existen ahorros energéticos y económicos al instalar sistemas fotovoltaicos, por otro lado se cree que es demasiado el costo de esta tecnología, y es importante resaltar que suele ser elevado el precio porque no hay demanda en el mercado, los sectores han frenado en gran parte el desarrollo de esta fuente debido a la casi nula información que se ha brindado, es por ello que es necesario profundizar en el tema para crear una idea clara del panorama e impulsar al desarrollo de las fuentes alternas de energía (Moro Vallina 2010).

Es lo anterior una de las razones principales de formar profesionales que profundicen en el tema abordando cuestiones sociales, económicas y prácticas. Respaldo por el sistema de educación media superior y superior el cual tiene un enorme interés de formar profesionales competentes y disciplinados en las áreas, para ello se establecen reformas que favorezcan la formación educativa del alumnado (Dirección General de Acreditación, Incorporación y Revalidación 2000).

Es importante que la práctica en la educación de profesionales se lleve a cabo donde el alumno pueda llevar de la teoría a la implementación real, ya sea a nivel laboratorio o a nivel escala donde pueda enfrentarse a áreas de oportunidad y sea capaz de enfrentar y solucionar los detalles no previstos en la planeación, esas practicas llevan al alumno a poner en práctica cada uno de las estrategia de los paradigmas educativos (Tejada Fernández 1999).

Sin embargo, en la actualidad existen instituciones de nivel medio superior y superior que no cuentan con equipos para realizar prácticas experimentales de estos sistemas.

Es por ello que se desarrolló un tablero para entrenamiento de interconexión de sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica que tiene como objeto el desarrollo de competencias en los alumnos de la unidad académica de ingeniería en energía y a la vez entrenarlos para cumplir los estándares de la compañía de suministro de energía eléctrica: (CFE).

Descripción y aplicación

El tablero didáctico para entrenamiento de interconexión de sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica consta de elementos básicos como:

- Medidor bidireccional

- Voltímetro de corriente directa con un rango de 0-200 volts
- Amperímetro de corriente directa con rango de 0-100 Amperes
- Conectores tipo “banana”
- Wattímetro
- Interruptores termomagnéticos
- Microinversor de 600 Watts de potencia
- Microinversor de 250 Watts de potencia
- Panel fotovoltaico de 100 y 250 Watts
- Tomas de corriente para cargas electricas.

El tablero tiene una dimensión de 76 cm de ancho y 61 cm de altura. El diseño del prototipo se realizó con el software Solid Word® para la determinación de las medidas, referentes al peso y dimensiones de cada equipo.

Posteriormente se construyó el tablero el cual tiene como base un soporte de hierro, tomando en consideración los datos anteriores, el espacio de trabajo y el confort del estudiante para un mejor entrenamiento. Es de resaltar, que los componentes propios de un sistema solar fotovoltaico (inversor, medidor bidireccional y todos los demás) se anclan de manera fija a la base diseñada.

Una vez terminado el diseño, se dio lugar al arreglo de conexiones, fue posible la conexión de máximo dos paneles solares fotovoltaicos de 250 Watts de potencia para la práctica del inversor de 600 Watts dando lugar al estudio del comportamiento característico del sistema respecto a la irradiancia solar recibida en el lugar de trabajo.

También, se pueden realizar medidas experimentales de caída de tensión, corriente eléctrica y potencia para evaluar el constante cambio que se genera a través de la irradiancia solar recibida. Finalmente se puede simular el autoabastecimiento de una vivienda residencial si instalara un sistema fotovoltaico interconectado a red.

Un punto importante para todo alumno es verificar previamente los datos técnicos de los instrumentos electricos y verificar que sus rangos de operación coinciden y de esta manera obtener un buen funcionamiento del sistema.

Esquema Eléctrico

Las conexiones serie-paralelo de los circuitos eléctricos correspondientes se muestran en la Figura 1, la cual muestra la configuración para realizar la medida de la diferencia de potencial (voltaje “V”), corriente eléctrica (amperaje “A”), potencia instantánea (watts instantáneos “W”) y potencia por hora (watts hora “Wh”), mediante dispositivos de medición adecuados y haciendo uso de los interruptores de protección eléctrica.

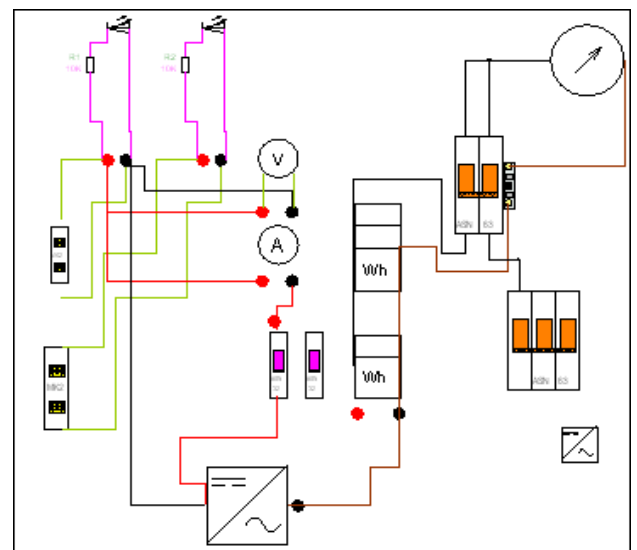


Figura 1 Diagrama eléctrico del sistema fotovoltaico interconectado a red eléctrica diseñado

En lo experimental estas conexiones serán de acuerdo al número de paneles solares fotovoltaicos y las variables que se requieran medir, tales como que tipo de inversor se usara respecto a la diferencia de potencial (V) de trabajo de los paneles fotovoltaicos seleccionados.

Pruebas y Resultados

Se llevo a cabo la medición de la irradiación solar recibida en el lugar de trabajo a lo largo de un día soleado de verano con un radiómetro, para estudiar el comportamiento de la producción de energía eléctrica del sistema fotovoltaico.

En el Grafico 1 se muestran 16 minutos de medición donde se aprecia que la producción energética fotovoltaica es directamente proporcional a la irradiación solar recibida, ya que al disminuir la radiación solar, decae la producción eléctrica sustancialmente.

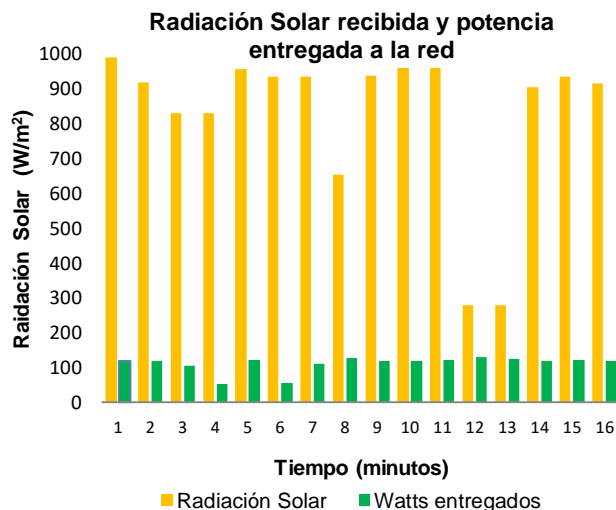


Grafico 1 Energía entregada a red eléctrica respecto a la irradiación solar recibida durante un día soleado de verano.

La caída de la potencia del panel fotovoltaico se debe a que la corriente eléctrica de dichos paneles disminuye a medida que decae la irradiancia solar.

Sin embargo, las variaciones de voltaje son mínimas, interpretándose como constante, lo que permite que los paneles sigan manteniendo un rango de potencial eléctrico adecuado para que funcione el inversor y convierta la energía directa generada por los paneles fotovoltaicos en corriente alterna.

Los constantes cambios en la radiación solar provocan que la producción energética no sea exponencial, por lo tanto habrá lapsos de tiempo en el que la acumulación de energía no será reflejada de manera rápida, de esta manera el estudiante aprende que hay momentos en los que la producción eléctrica decae debido a las condiciones climáticas, dado que no se presenta una sumatoria de la energía suministrada a la red.

La medición de este parámetro eléctrico es de vital importancia ya que es el encargado de dar a conocer la energía total que se estará dejando de consumir de la red eléctrica y con esto determinar qué beneficios económicos se pueden obtener, ya que en lugar de estar consumiendo de la red eléctrica se esta autogenerando parte de la energía eléctrica requerida en el lugar de implementación del sistema fotovoltaico.

En el grafico 2 se muestra la acumulación de energía eléctrica (Kwh) en los 16 minutos de trabajo realizado. Al ser una prueba tan corta se alcanzan solamente 3×10^{-2} Kwh. Cabe mencionar que esta prueba se realizó solamente con un panel solar fotovoltaico de 250 Watts de potencia.

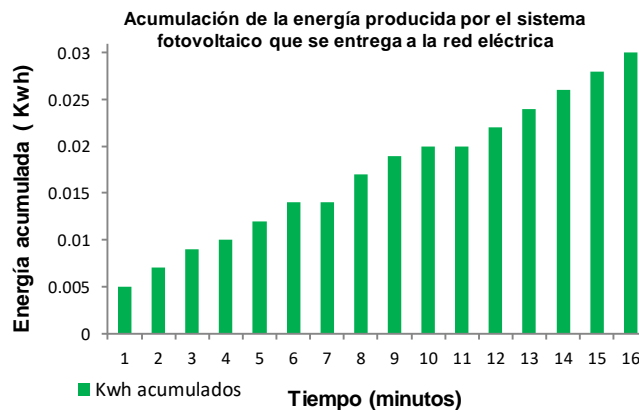


Gráfico 2 Acumulación de Kwh en un lapso de 16 minutos por un panel de 250 watts.

La simulación consiste en ver al prototipo creado como un sistema fotovoltaico interconectado a red en un hogar residencial, con la intención de demostrar al alumnado que cuando se tengan cargas eléctricas conectadas que sean mayor a la producción energética del sistema fotovoltaico se estará consumiendo la energía internamente, y cuando no se tengan aparatos encendidos o su consumo eléctrico sea menor a la energía producida, la energía será inyectada a la red eléctrica mediante el medidor bidireccional.

Para ello se realizaron pruebas con algunos aparatos existentes en el hogar (licuadora, plancha para ropa y taladro). En el gráfico 3 se aprecia la energía producida por el sistema fotovoltaico, la cual es constante; el consumo eléctrico por parte del equipo de trabajo (taladro) y el consumo eléctrico suministrado dado por la red de suministro de energía (Comisión Federal de Electricidad CFE), dejando claro que, en este caso, existe una demanda eléctrica que el sistema fotovoltaico no es capaz de cubrir pero que se suministra por la red eléctrica (CFE).

Esto le permite al estudiante el aprendizaje de las ventajas que presenta un sistema fotovoltaico interconectado frente a un sistema fotovoltaico autónomo o aislado.

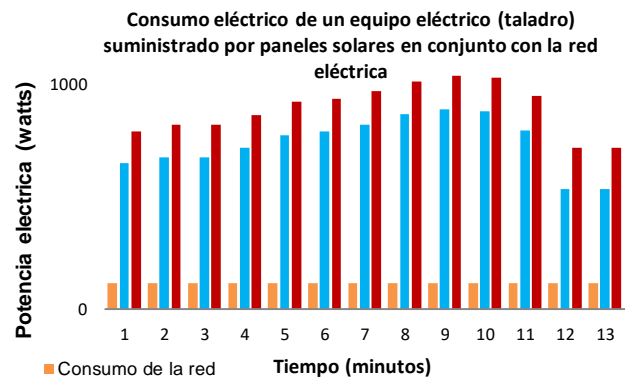


Gráfico 3 Consumo eléctrico de un taladro y su suministro de energía a través de la red eléctrica y un sistema fotovoltaico

Para pruebas finales se tomó a un grupo piloto de estudiantes donde el 50% de la muestra eran estudiantes del programa de ingeniería en energía de la asignatura de sistemas fotovoltaicos los cuales conectaron de manera autónoma el sistema solo con indicaciones, posteriormente el otro 50% de la muestra eran estudiantes de diferentes programas académicos que no tenían conocimientos de los sistemas solares fotovoltaicos interconectados a red. Sin embargo, mediante las instrucciones y diagramas fue posible la conexión del sistema, dando como resultado satisfactorio la implementación del prototipo para fomentar el trabajo teórico llevado a la práctica.

Agradecimientos

Este proyecto de investigación se llevó a cabo gracias al apoyo del Programa para el Desarrollo Profesional de Docentes (PRODEP) bajo la Convocatoria de apoyo a Cuerpos Académicos y con ingresos propios de la Universidad Politécnica de Sinaloa.

Conclusiones

Un tablero eléctrico da las opciones para simular una instalación real, donde se pueden cometer errores y buscar una solución, que es una parte fundamental en el desarrollo académico y profesional de los estudiantes.

El desarrollo de las conexiones eléctricas permite a los alumnos ser capaces de instalar un sistema fotovoltaico domestico, obteniendo habilidades para prevenir y detectar fallas eléctricas, realizar la obtención de energía en un determinado tiempo y determinar cuánto puede ser el ahorro económico y el tiempo de amortización si una persona adquiere un sistema fotovoltaico de esta capacidad u otra.

Referencias

Catells Xavier. ENERGÍAS RENOVABLES. Madrid, España. 2012.

Consultores Internacionales, S. C. ® “TRANSICIÓN ENERGÉTICA”. México, D.F. 2014

Dirección General de Acreditación, Incorporación y Revalidación. LA ESTRUCTURA DEL SISTEMA EDUCATIVO MEXICANO. México 2000.

Moro Vallina M. INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS. Madrid, España 2010.

Tejada Fernández J. ACERCA DE LAS COMPETENCIAS PROFESIONALES. Revista Herramientas 1999.

Caracterización de una cocina solar dúplex de tubos evacuados

GARCÍA-CARRERA, Diana*†, LUPIAN-UGALDE, Valeria, MARROQUIN-DE JESUS, Ángel y HERNÁNDEZ-RIVERA, Jaime.

Universidad Tecnológica de San Juan del Río, División de Química y Energías Renovables, Cuerpo Académico de Energías Renovables. Av. La palma no. 125, Col. Vista Hermosa, San Juan del Río, Qro.

Recibido Octubre 7, 2016; Aceptado Noviembre 3, 2016

Resumen

Se ha caracterizado una cocina solar elaborada a partir de dos tubos evacuados que se utilizan en calentadores solares para calentar agua para uso sanitario, los cuales están colocados sobre unas soportes, en el interior del tubo se ha introducido una charola elaborada con acero inoxidable grado alimenticio, la cual se utiliza para colocar los alimentos a cocinar las cuales cuentan con unas tapas elaboradas con Nylomaq, estos tubos evacuados están colocados sobre una base de aluminio en forma parabólica, los valores de la temperatura en el interior de la charola donde se colocan los alimentos, fueron medidos utilizando un multímetro EXTECH® y una cámara ThermaCAM E45®, la cocina tiene una capacidad para preparar alimentos para dos personas, se han cocinado algunos alimentos tales como; mixiote, pollo en salsa de pipian, fajitas de pollo, frijol, bisteck con papas, se ha horneado pan, entre otros se ha realizado un análisis de su comportamiento y se ha evaluado la efectividad de la cocina solar propuesta.

Energía Solar, Cocina Solar, transferencia de calor, tubos evacuados

Abstract

It has been characterized a solar cooker made from two evacuated tubes used in solar heaters to heat water for domestic use, which are placed on some supports, inside the tube is inserted a tray made from stainless steel food grade, which is used to place the food to be cooked which feature a tapas made with Nylomaq, these evacuated tubes are placed on an aluminum base in a parabolic shape, the values of the temperature inside the tray where you place the food, were measured using a multimeter EXTECH® and an infrared camera ThermaCAM E45®, solar cooking has a capacity to prepare food for two people, they have cooked some foods such as; mixiote, chicken in sauce, chicken fajitas, beans, potatoes bisteck, has baked bread, among others has conducted an analysis of their behavior and assessed the effectiveness of the proposed solar cooker.

Solar energy, Solar cooker, Heat transfer, Evacuated tubes

Citación: GARCÍA-CARRERA, Diana, LUPIAN-UGALDE, Valeria, MARROQUIN-DE JESUS, Ángel y HERNÁNDEZ-RIVERA, Jaime. Caracterización de una cocina solar dúplex de tubos evacuados. Revista de Prototipos Tecnológicos 2016, 2-6: 52-60

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: jesuisdiana18@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En todas las etapas de la vida humana, es importante apuntar hacia la sustentabilidad y el ahorro energético, devolverle al planeta de lo que nos ha proveído, además de que muchas veces el hacerlo puede beneficiar a aquellas poblaciones de escasos recursos, donde es complicado el alcance del gas, electricidad, agua potable, etc.

Las cocinas solares pueden preparar alimentos para su posterior consumo e incluso calentar agua para uso sanitario.

Un equipo de trabajo conformado por dos alumnas y la asesoría de un profesor de la Universidad Tecnológica de San Juan del Río, han caracterizado una cocina solar elaborada con dos tubos evacuados, colocados sobre un soporte, dentro de ella se ha introducido una charola fabricada de acero inoxidable con grado alimenticio. Las cocinas solares que actualmente existen tienen como objetivo el ahorro económico, mayor seguridad en la operación de cocinar y calidad nutricional en los alimentos; la cocina solar que ha sido caracterizada por el equipo de trabajo de la Universidad Tecnológica de San Juan del Río, alcanza el mismo propósito además la implementación de los materiales antes mencionados, trae consigo un importante valor agregado respecto de las cocinas solares ya existentes, ya que la funcionalidad de esta cocina, tiene un alcance de beneficio para dos personas, esto añade portabilidad, menos riesgo de romperse, y facilidad para su limpieza.

El proceso de fabricación se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad, se utilizaron programas como AutoCAD®, una impresora 3D y los servicios de un herrero, el conjunto de todos ellos, ayudaron a completar el trabajo, para comenzar se tomaron medidas, se diseñaron propuestas de la estética del producto y finalmente se imprimieron las bases donde dicha cocina sería instalada.

Para el año 2010 en México el 22% de la población representa a comunidades rurales (INEGI, estudio sobre Volumen y crecimiento, 2010), de la población total el 11.3% no tiene disponibilidad de agua en su hogar, y el 1.8% no tiene acceso a la energía eléctrica (INEGI, censo de población y vivienda, 2010), aunque estos porcentajes no son altos, son representativos, pues más del 20% de la población podría no tener el acceso a una alimentación y vida digna.

Esta propuesta de herramienta resulta viable ya que con ella se aprovecha la alta radiación solar recibida en el altiplano mexicano, y con ella se puede subvencionar una mejor calidad de vida para la población mexicana.

A continuación se desarrollan las siguientes secciones: los materiales que fueron utilizados para la ejecución del proyecto, la metodología en donde se explica el procedimiento llevado a cabo, el funcionamiento de la cocina solar que se ha caracterizado y las pruebas que fueron realizadas para probar dicho funcionamiento. Después del trabajo realizado, se comprobó la efectividad del artefacto, los resultados de dichas experimentaciones se han graficado, de igual manera se han representado en gráficas la radiación recibida por el artefacto durante los días de prueba, la velocidad del viento e imágenes tomadas con cámara infrarroja. Se realizaron diversas pruebas de cocción con diversos alimentos tales como: frijoles, bistec, pollo, magdalenas, caldo de pollo, fajitas de pollo, entre otros.

Materiales y métodos

Medición de la radiación solar

En la tabla 1 se muestran los valores de radiación solar global, temperatura ambiente, humedad relativa y velocidad del viento promediados mensualmente, registrados por la estación meteorológica Davis Vantage Pro2 plus, instalada en el edificio "I" de la Universidad Tecnológica de San Juan del Río, y que es administrada por la Comisión Estatal de Aguas del Estado de Querétaro. Se puede constatar el alto potencial de radiación solar que se tiene en el altiplano mexicano, mismo que se puede utilizar para cocción de alimentos.

| Mes | Temperatura | Humedad relativa | Radiación día-horizont al | Presión atmosférica | Velocidad del viento |
|------------|-------------|------------------|---------------------------|---------------------|----------------------|
| | °C | % | kWh/m ² /d | kPa | m/s |
| Enero | 13.7 | 74.1% | 4.17 | 87.4 | 3.3 |
| Febrero | 15.2 | 68.3% | 5.00 | 87.2 | 3.5 |
| Marzo | 17.9 | 59.1% | 5.85 | 87.1 | 3.9 |
| Abril | 20.3 | 58.2% | 6.15 | 87.0 | 3.8 |
| Mayo | 21.5 | 63.6% | 6.26 | 87.0 | 3.5 |
| Junio | 21.2 | 71.9% | 5.73 | 87.0 | 3.2 |
| Julio | 20.7 | 70.5% | 5.58 | 87.2 | 3.1 |
| Agosto | 20.7 | 71.0% | 5.53 | 87.2 | 2.9 |
| Septiembre | 19.7 | 77.1% | 4.75 | 87.1 | 2.8 |
| Octubre | 17.8 | 79.1% | 4.52 | 87.2 | 2.9 |
| Noviembre | 16.1 | 77.0% | 4.35 | 87.3 | 3.1 |
| Diciembre | 14.0 | 77.0% | 4.00 | 87.4 | 3.1 |
| Annual | 18.2 | 70.6% | 5.16 | 87.2 | 3.3 |

Tabla 1 Datos registrados.

Diseño de cocina solar

La cocina fue diseñada en AutoCAD®, consta de tres partes; 2 tubos evacuados, base y charolas elaboradas con acero inoxidable de grado alimenticio.

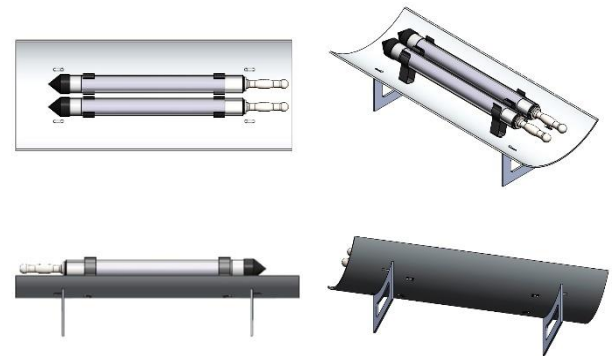


Figura 1 Vistas de la cocina solar dúplex de tubos evacuados.

Caracterización

San Juan del Río se ubica en las coordenadas 20°23' N, 99°59' W, con una altitud de 1920 msnm, una precipitación anual promedio de 450 mm a 630 mm. Se considera que tiene un clima semi seco templado con temperaturas medias anuales entre 16 °C a 18 °C. Se utilizaron dos tubos de cristal de boro silicato al vacío, los cuales son utilizados en calentadores solares para calentar agua para uso sanitario. Cada tubo evacuado consta de dos tubos, uno insertado en el interior del otro de mayor diámetro. El tubo interior tiene una cubierta de aleación de Nitrato de Aluminio. Para la realización del recipiente en donde se coloca la comida, se utilizó una lámina de acero inoxidable grado alimenticio, dicha lámina fue rolada y se le dió la forma de canal parabólico, en los extremos se les colocaron unos círculos de nylonmaq extruido (6/6) "B" (blanco), este material tiene excelentes propiedades mecánicas y tiene uno de los más altos puntos de fusión. Este Nylon también es aprobado para trabajar en contacto directo con los alimentos de consumo humano por la FDA (Food and Drug Administration) de los Estados Unidos de América, estas piezas permiten darle una mejor estética y evitar que existan fugas de calor ya que funcionaría como tapa la cual se sujetó con un clavo de acero inoxidable, se compraron unos mangos de manera que se colocaron enseguida de los círculos de nylonmaq para darle una mejor estética a la charola.

Además se compró una lámina de acero a la cual se le dio una forma parabólica, en esta se colocaron dos bases de hierro, estas bases se pintaron con pintura color negro mate, se compraron tapones de goma especiales para sillas y mesas, con formas cilíndricas de color negro para colocarlas en la parte inferior de la base, para brindarle un mejor sostén a toda la base.

Para que los tubos pudieran estar sujetos sobre la charola, se diseñó en AUTOCAD® unos soportes con la cual se logró que los tubos evacuados tengan un mayor soporte, este diseño se imprimió con la ayuda de una impresora 3D con un material llamado termoplástico de tipo ABS, este material resiste altas temperaturas, de estas bases se imprimieron 4, al igual se diseñó en AutoCAD® un cono del cual se imprimieron 2 del mismo material que las bases, estos conos se colocaron sobre la parte inferior del tubo ya que así se podrá brindar una mayor seguridad sobre la fragilidad del tubo ya que sobre esta parte el tubo finaliza con una pequeña punta, colocando los conos se brinda una mejor estética al igual que una protección mayor hacia los tubos evacuados.

Funcionamiento

La cocina solar se coloca en el exterior orientándola hacia el sur para lograr una mayor captación de los rayos solares. Dentro de las charolas se deposita el alimento a cocer los cuales deben estar cortados en trozos pequeños, las charolas deberán empotrarse dentro de los tubos los cuales forman una cámara de aire el cual es extraído o evacuado, de ahí su nombre, para formar un vacío que evitará la transferencia de calor por convección. El tubo inferior está cubierto con una aleación de Nitrato y Aluminio principalmente, para formar una superficie que captará la radiación solar y convertirá los rayos solares.

Dicho calor se transmite a los alimentos, incrementándose lentamente hasta terminar la cocción, este dispositivo puede alcanzar una temperatura que ronda los 90°C y cuando no tienen agua en su interior alcanza aproximadamente 140°C.

Experimentación

El día 4 de agosto se realizó la primera prueba para confirmar el funcionamiento de la cocina. Aproximadamente 10 min antes de la práctica, la base con los tubos evacuados se colocaron en el exterior. Después se lavaron 20 gramos de frijol de la variedad flor de junio, se colocó agua en la charola, hasta el 50% de su capacidad, se agregó un poco de aceite vegetal comestible y un poco de sal yodada (Fig. 2) posteriormente se sumergieron los frijoles, la charola se colocó en el interior de tubo evacuado. Durante el proceso de cocción se estuvo revisando cada 30 minutos, el nivel de agua, si el nivel disminuía se le agregaba hasta recuperar el nivel inicial.



Figura 2 Cocción de frijoles.

Se realizaron tomas con una cámara ThermoCAM E45 (Fig.3) la cual permitió observar las elevadas variaciones de temperatura. Se utilizó un multímetro EXTECH® que cuenta con un medidor de temperatura frarroja con el cual se tomaban las temperaturas que alcanzaba durante la cocción. Al terminar la cocción de los frijoles la cual tardó 4 horas se realizaron pruebas de degustación por parte de los estudiantes de la carrera de Energías Renovables y profesor asesorado, todos concluyeron que los frijoles habían alcanzado la cocción perfecta y que tenían un buen sabor. Los resultados se muestran en la tabla 2.



Figura 3 Termograma e imagen digital.

| TEMPERATURA (°C) | HORA |
|------------------|-------|
| 40.5 | 11:20 |
| 38.8 | 12:05 |
| 51.5 | 12:30 |
| 65.8 | 01:00 |
| 55.8)) | 01:30 |
| 65.8 | 02:00 |
| 50.8 | 02:30 |
| 65.3 | 03:00 |

Tabla 2 Temperaturas obtenidas con el multímetro EXTECH durante la cocción.

Cabe destacar que este tipo de frijoles también tiene una cocción muy lenta con el método convencional ya que estos son muy duros, se realizó una comparación de temperaturas con los datos que arroja la estación meteorológica registrados por la estación Davis Vantage Pro2 plus, instalada en el edificio "I" de la Universidad Tecnológica de San Juan del Río, tomando de igual manera la velocidad de viento las cuales se muestran en las siguiente tablas 2 y 3 las cuales fueron graficadas (Grafica 1, 2 y 3).

| TEMPERATURA (°C) | HORA |
|------------------|-------|
| 22.2 | 11:28 |
| 23 | 11:43 |
| 23.3 | 11:08 |
| 23.8 | 12:13 |
| 24.4 | 12:28 |
| 24.7 | 12:43 |
| 24.5 | 12:58 |
| 25.6 | 01:13 |
| 25.4 | 01:29 |
| 25.6 | 01:44 |
| 25.9 | 02:14 |
| 26.4 | 02:29 |
| 26.7 | 02:44 |

Tabla 3 Temperaturas obtenidas de la estación meteorológica Davis Vantage Pro2 plus.

| VELOCIDAD km/h | m/s | HORA |
|----------------|--------|-------|
| 0 | 0 | 10:43 |
| 6.4 | 1.7778 | 10:58 |
| 4.8 | 1.3333 | 11:13 |
| 4.8 | 1.3333 | 11:28 |
| 4.8 | 1.3333 | 11:43 |
| 8 | 2.2222 | 11:08 |
| 6.1 | 1.6944 | 12:13 |
| 14.5 | 4.0278 | 12:28 |
| 8 | 2.2222 | 12:43 |
| 6.1 | 1.6944 | 12:58 |
| 2.6 | 0.7222 | 01:13 |
| 14.1 | 3.9167 | 01:29 |
| 9.7 | 2.6944 | 01:44 |
| 6.1 | 1.6944 | 02:14 |
| 16.4 | 4.5556 | 02:29 |
| 2.9 | 0.8056 | 02:44 |

Tabla 4 Valores de velocidad del viento obtenidas de la estación meteorológica Davis Vantage Pro2 plus.

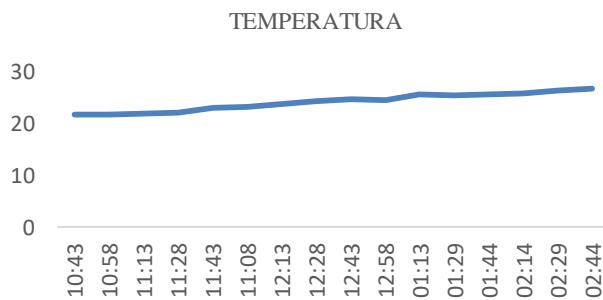


Grafico 1 Temperaturas obtenidas de la estación meteorológica Davis Vantage Pro2 plus.

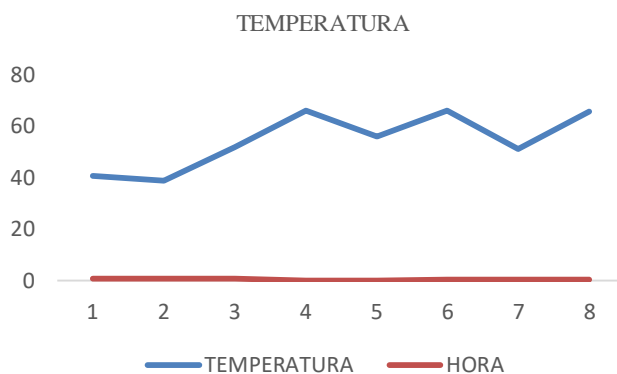


Grafico 2 Temperaturas obtenidas con el multímetro EXTECH durante la cocción.

VELOCIDAD DEL VIENTO

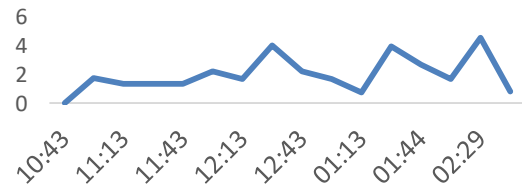


Grafico 3 Valores de velocidad del viento obtenidas de la estación meteorológica Davis Vantage Pro2 plus.

El día 5 de Agosto se realizó nuevamente la prueba pero esta vez con otro tipo de frijoles (Frijoles peruanos) para comparar el tiempo de cocción, cabe destacar que el día estaba semisoleado y la temperatura más alta alcanzada durante el día fue de 25.3 °C y la mínima fue de 14.1 °C, la prueba inició a las 11h30 y culminó a las 14h00. Los resultados los muestran la Tabla 5 y gráfica 4



Figura 4 Termogramas y degustación de alimentos.

| TEMPERATURA (°C) | HORA |
|------------------|-------|
| 17.1 | 11:10 |
| 29.5 | 11:30 |
| 38.8 | 12:00 |
| 38.8 | 12:30 |
| 45.1 | 01:00 |
| 54.4 | 01:30 |
| 35.5 | 02:00 |

Tabla 5 Temperaturas obtenidas con el multímetro EXTECH durante la cocción.

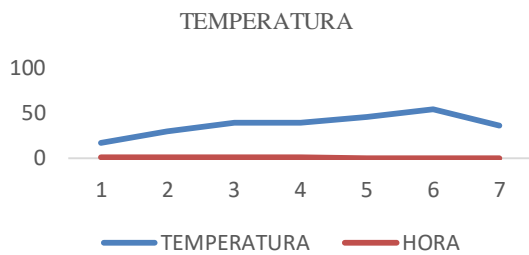


Grafico 4 Temperaturas obtenidas con el multímetro EXTECH durante la cocción.

De igual manera se compraron con los datos de temperaturas con los datos que arrojó la estación meteorológica Davis Vantage Pro2 (Tabla. 6) (Grafica 5).

| TEMPERATURA (°C) | HORA |
|------------------|-------|
| 22.3 | 11:30 |
| 22.5 | 11:45 |
| 22.4 | 12:00 |
| 23.1 | 12:15 |
| 23.1 | 12:30 |
| 22.7 | 12:45 |
| 23.1 | 01:00 |
| 23.7 | 01:15 |
| 23.3 | 01:30 |
| 23.8 | 01:40 |
| 23.8 | 02:00 |

Tabla 6 Temperaturas obtenidas de la estación meteorológica Davis Vantage Pro2 plus.

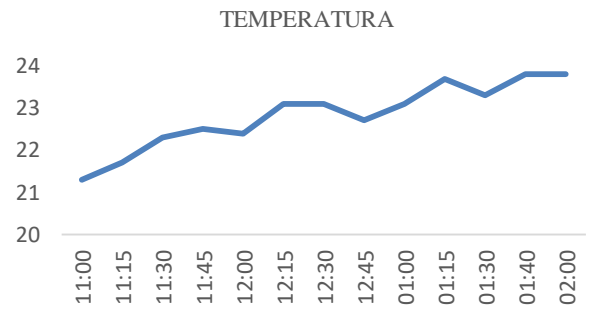


Gráfico 5 Temperaturas obtenidas de la estación meteorológica Davis Vantage Pro2 plus.

Comparando los dos resultados se denota que la cocción esta vez fue más rápida ya que el tipo de frijol (frijol bayo) favorece, recalcando que a pesar de las condiciones climáticas el objetivo se alcanzó, comprobando la efectividad del artefacto. Se realizaron más pruebas con diferentes alimentos como: papas con chorizo, caldo de pollo, fajitas de pollo, bistec con papas, pollo en salsa de pipián, mixiote así como el horneado de magdalenas, con las cuales se tomaron fotografías con cámara digital así como tomas con la cámara ThermaCAME45, de igual manera con un multímetro EXTECH que cuenta con un láser de radiación infrarroja para tomar las temperaturas alcanzadas. Los datos que se obtuvieron se muestran a continuación (Tabla 7) (Grafica 6).

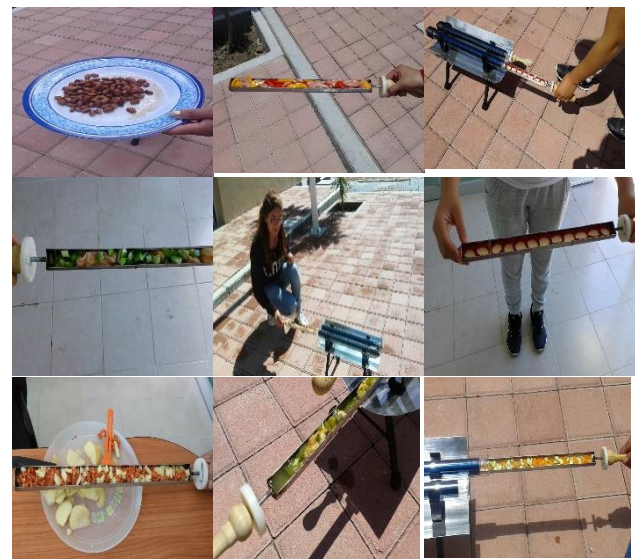


Figura 7 Cocción de diferentes alimentos.

| Recetas | Temperaturas (Multímetro EXTECH) | | Temperaturas Estación meteorológica) | |
|-----------------------|----------------------------------|--------|--------------------------------------|--------|
| | Low | High | Low | High |
| Frijoles flor de mayo | 36.4°C | 51.5°C | 13.1°C | 27.3°C |
| Magdalenas | 26.7°C | 76.4°C | 13.1°C | 27.3°C |
| Frijoles peruanos | 17.1°C | 35.5°C | 14.1°C | 25.3°C |
| Agua | 18.5°C | 62.8°C | 15.7°C | 22.3°C |
| Caldo de pollo | 28.9°C | 59.8°C | 15.2°C | 24.6°C |
| Bistec con papas | 25.3°C | 68.5°C | 13.1°C | 27.4°C |
| Fajitas de pollo | 23.9°C | 50.3°C | 13.9°C | 24.3°C |

Tabla 7 Temperaturas más altas y bajas obtenidas durante la cocción.

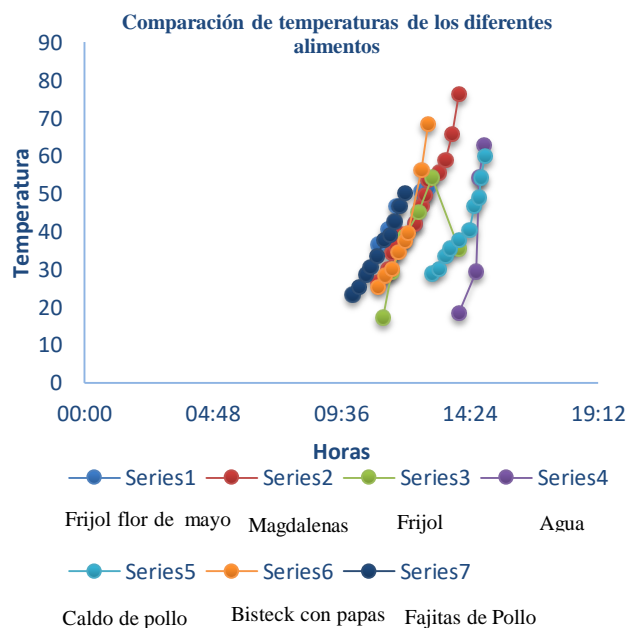


Gráfico 6 Diferentes temperaturas alcanzadas.

En cada experimentación se realizaron pruebas de degustación por parte de los estudiantes de la Universidad Tecnológica de San Juan del Río y profesor asesorado, todos concluyeron que la comida había alcanzado la cocción perfecta y que tenía un buen sabor. Al término de cada experimentación el tubo evacuado se dejaba enfriar para evitar que existiera un choque térmico, ya que estuviera frío se lavaba con jabón líquido y se frotaba con una esponja al igual que las charolas fueron lavadas con los mismos productos.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a CONCYTEQ y al Gobierno del Estado de Querétaro por el apoyo económico brindado para participar en el CIERMMI 2016., a la Universidad Tecnológica de San Juan del Río por las facilidades otorgadas para la realización del presente trabajo, al Dr. Ángel Marroquín de Jesús por sus comentarios y sugerencias que permitieron la mejora del artículo así como la ayuda brindada en la toma de las fotografías de con la cámara infrarroja ThermoCAM E45 y a los estudiantes del grupo ES01SM-15 por su apoyo en la degustación de los alimentos.

Conclusiones

Se han mostrado los resultados al realizar sesiones prácticas con estudiantes de la carrera de Técnico Superior Universitario en Energías Renovables Área Solar, se ha utilizado la cocina solar para la cocción de diversos alimentos, la cual permitió verificar la efectividad del artefacto y que este puede pasar de la práctica a la comercialización.

Referencias

INEGI. (2010). CENSOS DE POBLACION Y VIVIENDA. 2016, de INEGI Sitio web: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/>

Danny Andres Arenas Sánchez Hodman Steven Zapata Castaño. (2011). Libro Interactivo Sobre Energía Solar Y Sus Aplicaciones. Universidad Tecnológica De Pereira Facultad De Tecnología Programa De Tecnología Eléctrica: Pereira.

Almanza, R. (2003): Capítulo 1. Mapas de Irradiación Solar en la República Mexicana. En Ingeniería de la Energía Solar II, Almanza, R., Editor (Universidad Nacional Autónoma de México).

Solar, S. (16 de Julio de 2015). Los colectores solares de tubo de vacío. Obtenido de Portal de energías renovables: <http://www.sitiosolar.com/los-colectores-solares-de-tubo-de-vacio>

Diseño, construcción y operación de un equipo piloto de biosecado para residuos agroindustriales

MENDEZ-CARRETO, Carlos*†, SOLANO-RENTERÍA, María, TORRES-MÓNFI, Ignacio y PÉREZ-SALAS, Anyuli.

Recibido Octubre 28, 2016; Aceptado Noviembre 11, 2016

Resumen

El biosecado es un proceso convectivo de evaporación que reduce el contenido de humedad de la biomasa con una mínima degradación; el calor que se requiere para la evaporación del agua se obtiene de la oxidación de la materia orgánica por la acción de microorganismos aerobios. El objetivo fue construir un equipo de biosecado utilizando materiales reciclados provenientes de la industria de la construcción tomando como dimensión 1m³. El diseño consistió en la construcción de una cámara de fermentación con sistema de medición conectado a termopares para la medición y registros de temperaturas en línea. Las pruebas de funcionamiento se realizaron con cascarilla de cítricos y pulpa de café, con periodos de aireación intermitente (15 min a intervalos de 3 h); las variables consideradas fueron: Volumen, humedad, temperatura y azúcares reductores. El proceso de biosecado de la pulpa de café presentó una fase mesofílica que duró menos de 24 h, seguida de un incremento paulatino de la temperatura superando en algunas zonas los 50°C, se observó una reducción del volumen de trabajo de más del 40% reduciendo la humedad de la pulpa de 70 % a valores cercanos al 50%. Se demostró la factibilidad del uso del equipo para pruebas de biosecado de materiales agroindustriales de desecho.

Biosecado, Fermentación, Biocombustibles, Desechos Agroindustriales

Abstract

The biodrying is a convective evaporation process reduces the moisture content of the biomass with minimal degradation; the heat required for evaporation of water is obtained from the oxidation of organic matter by the action of aerobic microorganisms. The aim was to build an equipment biodrying of 1 m³ using recycled materials from the construction industry. The design consists of the construction of a fermentation chamber with measurement system connected to thermocouples for measuring temperatures and records online. Performance tests were conducted with deseeded citrus and coffee pulp, with periods of intermittent aeration (15 min at intervals of 3 h). The variables considered were volume, moisture, temperature and reducing sugars. The process of biodrying of coffee pulp presented a mesophilic phase which lasted less than 24 h, followed by a gradual increase in temperature in some areas exceeding 50 °C, a reduction in the working volume of over 40% and the moisture coffee pulp was reduced from 70% to values close to 50%. The feasibility of using this test equipment biodrying of agro-industrial waste materials was demonstrated.

Biodrying, Agro-industrial waste, fermentation, Biofuels

Citación: MENDEZ-CARRETO, Carlos, SOLANO-RENTERÍA, María, TORRES-MÓNFI, Ignacio y PÉREZ-SALAS, Anyuli. Diseño, construcción y operación de un equipo piloto de biosecado para residuos agroindustriales. Revista de Prototipos Tecnológicos 2016, 2-6: 61-67

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: cmendezc@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La agroindustria produce una gran cantidad de residuos sólidos que potencialmente son aprovechables para la producción de otros productos o bien en la generación de energía (Sen y Annachhatre, 2015). La principal limitante para el uso de los materiales orgánicos es el alto contenido de humedad que tienen cuando salen del proceso lo que dificulta su aprovechamiento debido a que tienen valor calórico bajo, lo que hace difícil la recuperación de energía (Shao *et al.*, 2010). Adicionalmente debido al alto volumen se dificulta su transporte y su almacenamiento. El secado de los residuos sólidos representa un reto, debido a que aun existe incertidumbre técnica y los costos económicos y energéticos de los métodos convencionales aún pueden ser limitantes (Navaee-Ardeh *et al.*, 2010). El biosecado es una alternativa para resolver estos retos.

El biosecado es un proceso de evaporación convectiva que utiliza el calor producido por las reacciones aerobias de los compuestos orgánicos (Tom *et al.*, 2016). La reducción del contenido de humedad en el proceso de biosecado consiste en la evaporación del agua líquida y en la remoción del vapor de agua por medio del flujo de aire que pasa a través de la matriz del material (He *et al.*, 2013). Los principales parámetros que controlan el proceso son: la aireación, la temperatura alcanzada en la fermentación y el nivel inicial de humedad (Colomer-Mendoza *et al.*, 2012). Entre las ventajas de biosecado estan el aumento relativo del contenido energético del material por la eliminación de la humedad, la reducción del volumen y peso, la reducción de la adhesividad y un aumento en la estabilidad (Velis *et al.*, 2009; Adani *et al.*, 2002).

Se han probado diferentes configuraciones de biosecador, pero a nivel comercial prevalecen los reactores estáticos debido a las limitaciones mecánicas y el gran gasto de energía que supone la fermentación en sustrato sólido (Velis *et al.*, 2009). Por lo anterior el objetivo de este estudio fue diseñar y construir un biosecador de bajo costo que permita reproducir las condiciones de un sistema a escala completa para poder conocer los efectos que tienen diferentes variables sobre la calidad del material procesado. Se probó el equipo usando dos diferentes tipos de material biológico, se realizaron pruebas de funcionamiento y se utilizó pulpa de café como modelo para la operación del equipo.

Metodología

Definición de las características del equipo

Se diseñó un equipo piloto de biosecado de configuración cúbica para operación en continuo. Para facilitar el manejo de los materiales sin afectar el proceso biológico se decidió dimensionar el equipo para un volumen de trabajo de 1 m³. Con el fin de trabajar con 2 lotes de biosecado simultáneamente, el equipo se dividió en dos secciones mediante una placa transversal. Como material de construcción de la cámara de biosecado (fermentador) se utilizaron placas de panel sándwich de acero con poliuretano provenientes de desechos de la industria de la construcción.

Sistema de biosecado

El sistema de biosecado se configuró de acuerdo al gráfico 1. El equipo cuenta con una entrada de aire en la sección inferior del, por medio de un soplador CBS 800 marca Soler & Palau $\frac{3}{4}$ hp, el aire se distribuye al interior de la cámara de biosecado mediante un difusor de aire construido con tubos de PVC (diámetro de 2 plg), con perforaciones, colocados horizontalmente en toda el área inferior del equipo. El material a biosecar se colocó apoyado sobre un panel de varillas de acero (colocadas en paralelo a distancias de 10 cm entre ellas). Este panel en conjunto cuenta con una cuchilla de acero que permite retirar material ya seco, al mismo tiempo que es posible alimentar material húmedo por la parte superior del equipo, lo que a su vez permite la operación en continuo. Para monitorear la temperatura se colocaron cuatro puertos de muestreo de cobre, en una de las cámaras y 3 en la otra, dentro de los cuales se colocaron termopares (JMI-102-211-74-5"-XB/D-2mts-3) conectados en línea a un ordenador (Figura 1). Las temperaturas se registraron de forma continua mediante gráficos con apoyo del software Picolog (Picolog release 5.23.0). El equipo de biosecado incluyó una cubierta de madera conectada a un tubo de escape de gases. Los planos de construcción del equipo se diseñaron con apoyo del programa Autocad (M.49.0.0 AutoCAD 2016).

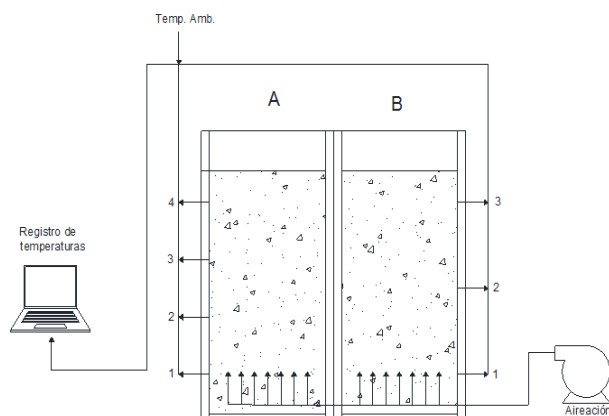


Figura 1 Esquema del proceso de biosecado

Evaluación del funcionamiento del biosecador

a) Pruebas de operación

Se realizaron pruebas preliminares con la finalidad de ajustar las condiciones de funcionamiento (cantidad y duración de la aireación, funcionamiento de equipos y accesorios, reducción del volumen del material), como materia modelo se utilizó cáscara de toronja proveniente del proceso de extracción de jugo (Compañía de cítricos ALTEC).

b) Biosecado de pulpa de café

Se utilizó pulpa de café de la variedad *Coffea arabica* L., procedente del beneficio de café "La Laja" del municipio de Tlaltetela, Veracruz, de la cosecha de febrero de 2016. El proceso se operó de acuerdo al siguiente procedimiento: La pulpa de café se suplementó con 100 g de $(\text{NH}_4)_3(\text{PO}_4)$ por tonelada de material, para incrementar la disponibilidad de nitrógeno inicial, se determinó el contenido de humedad inicial (75%) y se llenaron las dos cámaras de biosecador. Durante las primeras 24 horas el equipo se operó sin aireación, con el objetivo de permitir el desarrollo de microorganismos termofílicos, después de este periodo se le dio aireación intermitente (15 min a intervalos de 3 h). Se tomaron muestras de 500 g cada 24 h, las cuales se secaron en estufa a 70°C durante 24 horas. También se registró el cambio de volumen del material, mediante el uso de una cinta indicadora de nivel colocada en las paredes de las dos cámaras de biosecado.

Análisis físicos y químicos

Se tomaron 20 g de muestra seca, se molieron y se colocaron en matraces con 300 mL de agua, se mantuvieron en agitación durante 2 horas. Se tomaron 30 mL del extracto obtenido y se centrifugaron a 10000 rpm (Hermle Z32HK) durante 20 min.

Se tomaron 0.5 mL de sobrenadante para cuantificar azúcares totales por el método Fenol sulfúrico (DuBois *et al*, 1956).

Resultados

Equipo de biosecado

Se diseñó y construyó un equipo piloto de biosecado de 1 m³ de volumen que se puede operar en sistema en lote o en continuo. El equipo está construido con placas de panel sándwich de acero y poliuretano (Figura 1), cuenta con un sistema de inyección de aire que puede operarse en de forma continua o intermitente. El proceso de biosecado puede ser monitoreado en línea mediante la medición de la temperatura. El control de esta variable permite optimizar el funcionamiento del equipo. De acuerdo con Huiliñir y Villegas (2015) durante el proceso de biosecado, la humedad se reduce como consecuencia del efecto combinado del calor que se desprende como producto de la actividad microbiana y debido al arrastre del vapor de agua como consecuencia de la aireación. Si la aireación es muy alta se arrastrará mayor cantidad de agua, pero se corre el riesgo de que el material se enfríe y se reduzca la actividad microbiana, Por otra parte, si la aireación es muy baja, puede ser insuficiente para estimular el metabolismo de los microorganismos termófilos reduciendo la producción de calor.

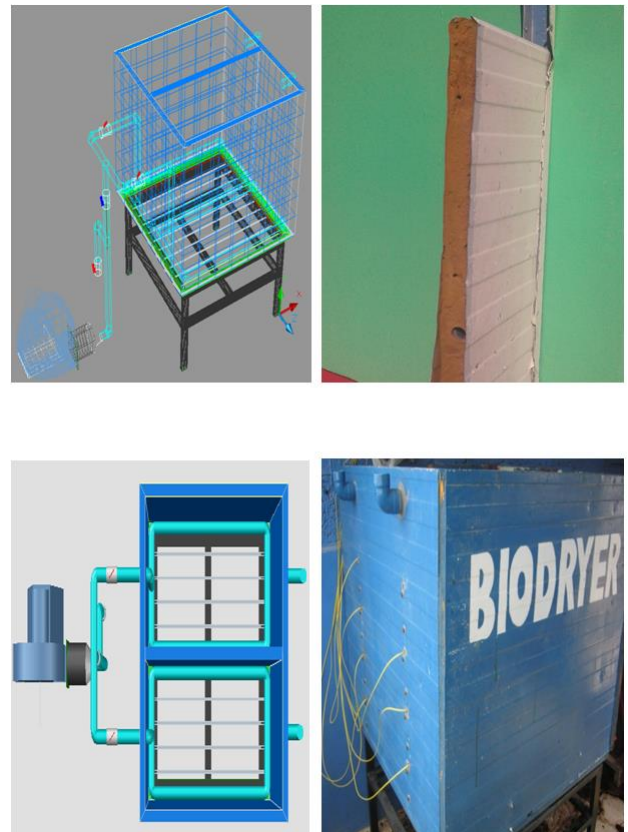


Figura 2 Construcción del equipo de biosecado a) Vista tridimensional, b) Detalle del material de construcción, c) Vista de planta d) Aspecto exterior.

Comportamiento del Volumen durante el biosecado

El volumen durante el proceso mostró una reducción de aproximadamente 8% durante el primer día (Gráfico 2), posteriormente y hasta el día 14 se comportó de forma lineal y se ajustó al siguiente modelo (1):

$$Vol = -2.5048(dia) + 98.2$$

(1)

$$R^2 = 0.9877$$

Lo que implica que por día se reduce aproximadamente 25 L de volumen. A partir del día 15, la reducción del volumen no fue significativa.

Al final del proceso se alcanzó una reducción de hasta el 50% en el volumen final del material. Este resultado es importante ya que una de las principales limitantes para el uso de la biomasa agroindustrial en la generación de bioenergía es el alto costo asociado a la dificultad de transportar y almacenar altos volúmenes debido a la baja cantidad de materia seca (Gráfico 1).

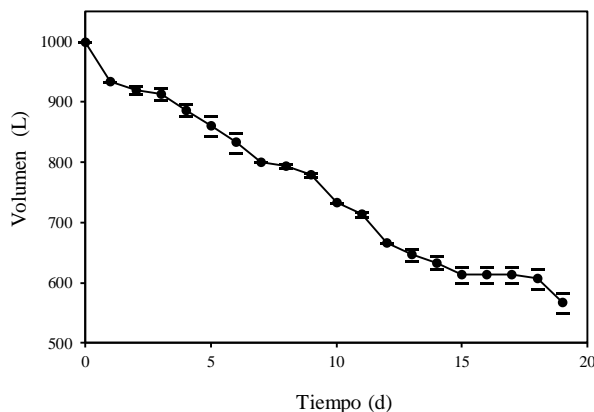


Gráfico 1 Volumen del material dentro del biosecador

Comportamiento de la temperatura

Se midió la temperatura a cuatro diferentes alturas y se observaron tres etapas durante el proceso: a) del inicio y hasta las 50 h se observa un aumento pronunciado de la temperatura consistente con la transición de la presencia y actividad de microorganismos mesófilos a termófilos; b) una segunda etapa que comprende desde las 50 hasta 200 h en donde la temperatura se mantiene estable a niveles mayores de 35°C, c) una tercera etapa en la cual la temperatura desciende hasta valores cercanos a la temperatura ambiente. Este comportamiento es similar a lo reportado por Li-Ming (2010) en el biosecado de residuos sólidos municipales. También se observa que el nivel más bajo presenta la temperatura más baja debido a que está en contacto con el aire fresco y seco que entra y cede el calor para un cambio en el calor sensible del aire y para evaporar el agua y aumentar la humedad relativa del mismo (Gráfico 2).

También se observó que la sección superior se mantiene ligeramente más fría debido a la pérdida de calor por estar expuesta al aire ambiental.

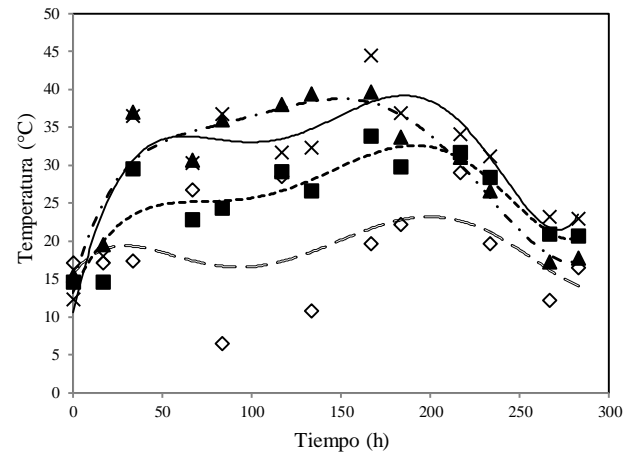


Gráfico 2 Perfil de temperaturas dentro de la masa del material; x: sección superior, ▲ sección media, ■ sección inferior, ◇ temperatura ambiente

Contenido de humedad

El porcentaje de humedad presentó una tendencia lineal decreciente, como se muestra en el siguiente modelo (2):

$$\text{Humedad} = -1.14(\text{dia}) + 72.19 \quad (2)$$

$$R^2 = 0.93$$

Al final de proceso se alcanzó una humedad de 50 %, con lo que se logró reducir un tercio de la humedad inicial (Gráfico 3)

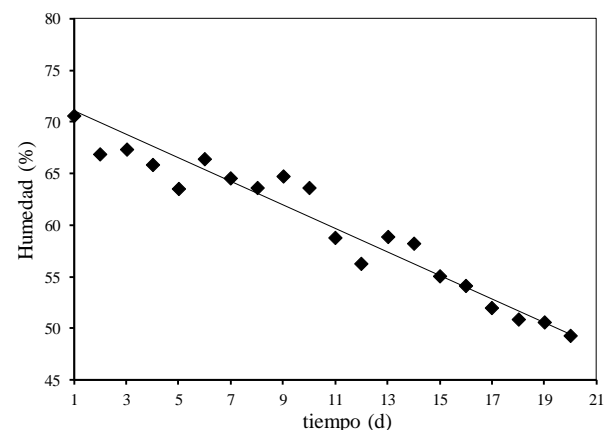


Gráfico 3 Porcentaje de humedad (p/p)

La pérdida de humedad es consistente con las temperaturas altas alcanzadas en el proceso ya con anterioridad se ha mencionado que altas temperaturas permiten que el agua se evapore incrementando la presión de vapor del flujo de aire que pasa a través de la matriz lo que permite que la humedad se desprenda (Zhao, *et al* 2011)

Azúcares totales

La concentración de azúcares totales muestra una disminución hasta el día 10, lo que está acorde con el mantenimiento de la temperatura. Posteriormente la concentración se mantiene estable, asociada a una disminución de la temperatura (Gráfico 4). Con el proceso de biosecado se busca una reducción en la humedad conservando la energía contenida en el material y un buen balance energético del proceso global.

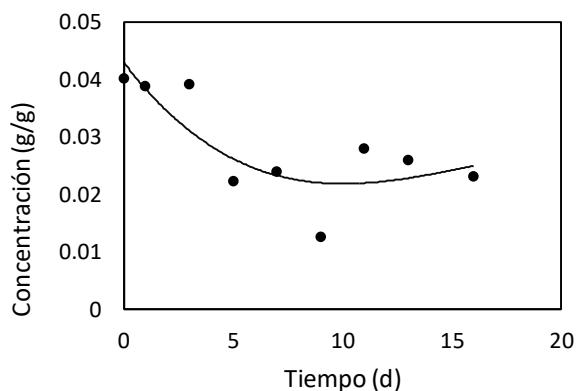


Gráfico 4 Concentración de azúcares totales

Conclusiones

Se logró una reducción de la humedad y del volumen de la pulpa de café que permiten facilitar su manejo y uso en otros procesos. Los resultados obtenidos en el biosecado de materiales de desecho muestran valores y comportamientos similares obtenidos por otros autores, por lo que se concluye que el equipo puede utilizarse para estudiar las variables del proceso de biosecado y obtener información para el diseño de procesos a escala completa.

Referencias

Adani F, Biado D, Calaterra E, Genevine, P. 2002. The influence of biomass temperature on bistabilization-biodrying of municipal solid waste

Colomer-Mendoza F.J, Herrera-Prats L, Robles-Martínez F, Gallardo-Izquierdo A, Piña-Guzmán A.B. 2013. Effect of airflow on biodrying of gardening wastes in reactors. *Journal of Environmental Sciences* 25(5) 865–872

DuBois M, Gill K. A., J K, Hamilton, Rebers P A, Smith F. 1956. Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. *Anal. Chem.* 28(3):350–356

He P, Zhao L, Zheng W, Wu D, Shao L. 2013. Energy Balance of a Biodrying Process for Organic Wastes of High Moisture Content: A Review. *Drying Technology* 31:132–145

Huliñir C, Villegas M. 2015. Simultaneous effect of initial moisture content and airflow rate biodrying of sewage sludge. *Water Research* 8:118-128

Navae-Ardeh S, Bertrand F, Stuart P.R. 2010. Key variables analysis of a novel continuous biodrying process for drying mixed sludge. *Bioresource Technology* 101:3379–3387

Tom A, Pawels R, Haridas A. 2016. Biodrying process: A sustainable technology for treatment of municipal solid waste with high moisture content. *Waste Management* 49:64–72

Sen R, Annachhatre A. 2015. Effect of air flow rate and residence time on biodrying of cassava peel waste. *Int. J. Environmental Technology and Management.* 18 (1):9-29

Shao L, Ma Z, Zhang H, Zhang Q, He P. 2010. Bio-drying and size sorting of municipal solid waste with high water content for improving energy recovery. *Waste Management* 30: 1165–1170

Velis C.A., Longhurst P.J., Drew G.H., Smith R., Pollard S.J.T. 2009. Biodrying for mechanical–biological treatment of wastes: A review of process science and engineering. *Bioresource Technology* 100:2747–2761.

Zhao L, Gu W, He P, Shao L. 2011. Biodegradation potential of bulking agents used in sludge bio-drying and their contribution to bio-generated heat. *Water Research* 45:2322-2330

Simulación de un Concentrador Solar de Canal Parabólico mediante el Software SolTrace

MENTADO-ISLAS, Diana*†, ELIZALDE-CARRIZO, Sandra, JIMÉNEZ-ISLAS, Donaji y AZUARA-JIMÉNEZ, Jorge.

Instituto Tecnológico Superior Huichapan, Domicilio Conocido S/N, Col. El Saucillo, 42411 Huichapan, Hgo., México

Recibido Octubre 13, 2016; Aceptado Noviembre 22, 2016

Resumen

Los Concentradores de Canal Parabólico (CCP) son dispositivos que transfieren energía térmica de la radiación solar en una línea focal. Es difícil describir el fenómeno de recepción y reflexión de los rayos solares que interactúan en él, por eso es recomendable implementar una herramienta de simulación para obtener resultados óptimos. El objetivo de éste trabajo es simular un CCP mediante un software de trazado de rayos considerando diferentes ángulos de borde para seleccionar el de mayor eficiencia óptica. Se definieron los parámetros geométricos más importantes para diseñar el perfil de la parábola. El perfil se trazó en el software SolidWorks 2016. También se analizaron diferentes ángulos de borde, como el de 45°, 80°, 90° y 100°. Se modelaron los concentradores en el software SolTrace mediante una serie de etapas variando los atributos de los elementos, incluyendo la forma, contorno y calidad óptica. Las simulaciones indicaron mediante diagramas de dispersión y mapas de flujo que los concentradores solares con ángulo de borde de 80° y 90° tienen mayor eficiencia óptica, al contabilizar el número de rayos trazados y captados en la superficie del receptor.

Ángulo de borde, Radiación solar, Razón de concentración, Reflectividad, Solar térmica, Soltrace

Abstract

Parabolic Trough Collector (PTC) are devices that transfer thermal energy from solar radiation in a focal line. It is difficult to describe the phenomenon of reception and reflection of solar rays interacting in it, so it is advisable to implement a simulation tool for optimal results. The aim of this work is to simulate PTC by tracing software considering different rim angle to select the higher optical efficiency rays. The most important geometric parameters were defined to design the profile of the parabola. The profile is traced in the SolidWorks software 2016. Different rim angles, such as 45°, 80°, 90° and 100° were also analyzed. Concentrators in software SolTrace modeled through a series of stages by varying the attributes of the elements, including the shape, contour and optical quality. The simulations indicated by scatter diagrams and flow maps solar concentrators with edge angle of 80° and 90° have higher optical efficiency by counting the number of rays traced and captured on the surface of the receiver.

Rim angle, solar radiation, concentration ratio, reflectivity, solar thermal, Soltrace

Citación: MENTADO-ISLAS, Diana, ELIZALDE-CARRIZO, Sandra, JIMÉNEZ-ISLAS, Donaji y AZUARA-JIMÉNEZ, Jorge. Simulación de un Concentrador Solar de Canal Parabólico mediante el Software SolTrace. Revista de Prototipos Tecnológicos 2016, 2-6: 68-75

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: jazuara@iteshu.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El aprovechamiento de las energías renovables es una solución viable para problemas que se presentan ante una situación en condiciones desfavorables de una zona o lugar en específico.

La fuerza del viento, la radiación solar, la biomasa, la energía potencial y cinética del agua, se denominan energías renovables ya que se renuevan continuamente y juegan un papel relevante para proveer energías limpias para las presentes y futuras generaciones (Delgado, 2004).

Existen diversas formas de dar solución a este tipo de problemas aplicando estas tecnologías, sí comparamos el recurso de energía que utilizan, la aplicación más viable sería el sol, ya que es una de las opciones que tiene un mayor número de aplicaciones industriales y México cuenta con un gran potencial solar que no es aprovechado.

Este tipo de energía utiliza al sol como su principal fuente de abastecimiento, donde la transforma en energía solar térmica, existen distintas tecnologías usadas para el aprovechamiento de este tipo de energía, se diferencian principalmente por los dispositivos tan característicos de concentración que emplean, los cuales, redireccionan el componente de la radiación solar que llega a la superficie de captación para hacerla llegar al receptor-absorbedor, donde queda concentrada.

Los sistemas termosolares de concentración permiten un aprovechamiento más eficiente de la radiación solar que los sistemas sin concentración. Sobre todo porque, al alcanzar temperaturas más elevadas, el rendimiento termodinámico que se puede obtener es superior (Haek, 2010).

En la actualidad, hay cuatro principales sistemas termosolares de concentración que pueden clasificarse por la forma en que se enfocan los rayos del sol y la tecnología utilizada para recibir la energía solar. Estos sistemas se clasifican por su geometría de enfoque, ya sea como concentradores de línea de enfoque (colectores cilindro-parabólicos y los colectores lineales Fresnel) o como concentradores de punto de enfoque (sistemas de receptor central, discos parabólicos y sistemas Scheffler). El foco lineal es menos costoso y técnicamente menos difícil, pero no es tan eficiente como el punto de enfoque (EIA, 2010).

Los CCP's son concentradores que transforman la energía solar directa en energía térmica, calentando un fluido de trabajo a altas temperaturas, con una eficiencia del 60-70% (Haek, 2010). El CCP consiste en un espejo cilindro-parabólico que refleja la radiación solar directa, concentrándola sobre un tubo receptor, situado sobre la línea focal de la parábola, por donde circula un fluido receptor, transformándose la radiación solar concentrada en energía térmica en forma de calor sensible del fluido de trabajo, Figura 1 (Duffie and Beckman, 2006).

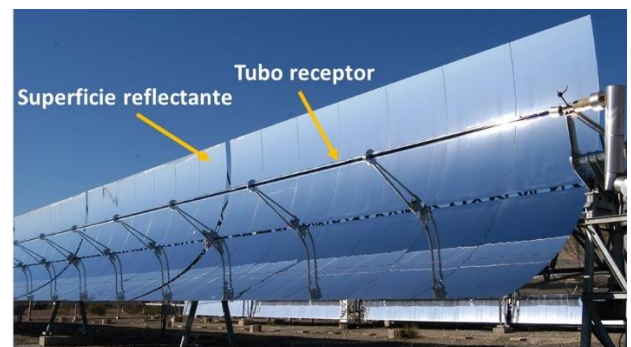


Figura 1 Partes de un Concentrador solar de Canal Parabólico

La concentración óptica de la radiación solar hace que la superficie del tubo absorbedor sea mucho más pequeña que la apertura del captador, lo que reduce significativamente las pérdidas térmicas del concentrador, ya que ésta no sólo es en función de la temperatura media de trabajo del absorbedor, sino también de su superficie, siendo éste el componente caliente del captador (Kalogirou, 2009).

En la metodología se desarrolló el cálculo de las variables geométricas de un CCP, para distintos ángulos de borde. Se usó SolTrace, sistema de diseño óptico que trabaja mediante la geometría solar el cual se basa en la metodología del trazado de rayos (Spencer and Murty, 1962); obteniendo como resultado distintas razones de concentración para cada uno de los ángulos, con la simulación se pudo concluir con cual de ellos se puede conseguir un mejor desempeño óptico.

Metodología a desarrollar

Un CCP es una tecnología que concentra la energía del sol en una lineal focal en el receptor o tubo absorbedor con superficie reflectiva que trabaja con un fluido de trabajo a una altura focal, mediante distintos parámetros geométricos (Kalogirou, 2009).

Para llevar a cabo el diseño óptico se consideró la sección transversal de un CCP como se muestra en la Figura 2, se visualizan parámetros como: eje del colector, concentrador de canal parabólico, receptor, radiación solar, diámetro del receptor (D), radio máximo del concentrador parabólico (r_r), ángulo de borde (φ_r), abertura (W_a), ángulo entre el eje del colector y un haz reflejado en el foco (φ), ángulo medio de aceptación (Θ_m).

La radiación incidente en el borde del reflector del colector, denominado radio máximo del concentrador parabólico r_r , forma un ángulo con la línea central del colector φ_r , el cual se define como el ángulo de borde. En un concentrador ideal, la imagen formada del Sol en el receptor depende sólo de éstos dos parámetros y del tamaño del ángulo que sustenta el Sol visto desde la Tierra.

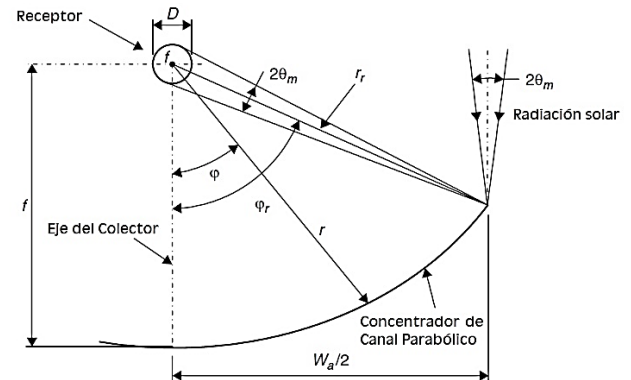


Figura 2 Sección transversal del Concentrador de Canal Parabólico. (Kalogirou, 2009).

Para la simulación se consideró una lámina de aluminio con 95% de reflectividad y con dimensiones de 1200x2440 mm. Tomando en cuenta las dimensiones de la lámina se determinó la altura focal y la abertura de la parábola utilizando las siguientes ecuaciones de diseño (Kalogirou, 2009).

$$H_p = \frac{2s}{\left\{ \sec\left(\frac{\varphi_r}{2}\right) \tan\left(\frac{\varphi_r}{2}\right) + \ln \left[\sec\left(\frac{\varphi_r}{2}\right) + \tan\left(\frac{\varphi_r}{2}\right) \right] \right\}} \quad (1)$$

El lado recto (latus rectum) H_p de la parábola, es decir, la abertura de la parábola en el punto focal de la superficie reflectora está dado por la ecuación 1.

Donde:

S es la longitud de la curva de la superficie reflectora, φ_r es el ángulo de borde.

$$f = H_p/4 \quad (2)$$

Donde:

f es la altura focal.

La abertura está determinada por:

$$W_a = 4f \tan\left(\frac{\varphi_r}{2}\right) \quad (3)$$

Para un receptor tubular, la razón de concentración C , está dada por:

$$C = \frac{A_{ap}}{A_{abs}} = \frac{W_a}{\pi D} \quad (4)$$

En donde A_{ap} es el área de apertura del captador o reflector, A_{abs} es el área de absorción del receptor y D el diámetro del receptor.

Empleando las ecuaciones anteriores se determinaron los parámetros geométricos del concentrador, Tabla 1.

| S (m) | φ (°) | H_p (m) | f (m) | W_a (m) | C |
|--------------------|------------------|--------------|------------|--------------|--------|
| 1.22 | 45 | 2.865 | 0.716 | 1.187 | 14.874 |
| 1.22 | 80 | 1.313 | 0.328 | 1.102 | 13.807 |
| 1.22 | 90 | 1.063 | 0.265 | 1.063 | 13.320 |
| 1.22 | 100 | 0.851 | 0.212 | 1.015 | 12.720 |
| m (metros) | | | | | |
| φ (grados) | | | | | |

Tabla 1 Parámetros geométricos para diferentes ángulos de borde de 45°, 80°, 90°, 100°.

Una vez calculados y definidos los parámetros geométricos del CCP se trazó la parábola en el software Solidworks 2016 (Figura 3), cabe señalar que se dibujaron diferentes perfiles considerando los ángulos de borde de: 45°, 80°, 90° y 100°. A lo largo del documento se trabajó únicamente con un ángulo de borde de 90° para fines prácticos, debido a que tuvo uno de los mejores comportamientos en las simulaciones y de acuerdo a la literatura la propagación del haz reflejado se reduce al mínimo.

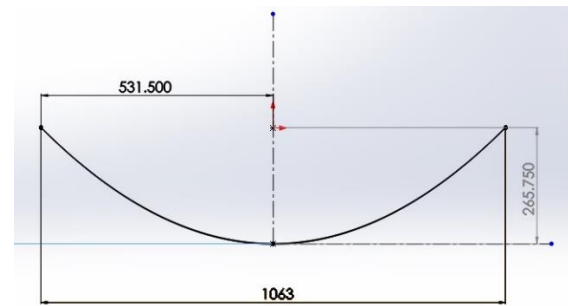


Figura 3 Diseño de la parábola en el software SolidWorks 2016 con ángulo de borde de 90°

Una vez diseñada la parábola y considerando los parámetros geométricos, se realizó la simulación del CCP en el software SolTrace 2012. SolTrace es una herramienta desarrollada por NREL (Laboratorio Nacional de Energía Renovable) para simular sistemas ópticos usados en aplicaciones de concentración solar y analizar su rendimiento (Lewandowski, 2013).

Para llevar a cabo la simulación, es necesario capturar una serie de parámetros y características del concentrador. El conjunto de entradas que define el modelo o análisis se visualiza en la Figura 4:



Figura 4 Conjunto de entradas para simulación en SolTrace

Primero se especificaron los parámetros de forma y posición del sol, se trabajó mediante coordenadas globales y se consideró al sol como un disco perfecto de brillo constante, que visto desde la superficie de la Tierra proyecta un semiángulo de apertura angular de 4.65 mrad, tipo pillbox como lo muestra la Figura 5.

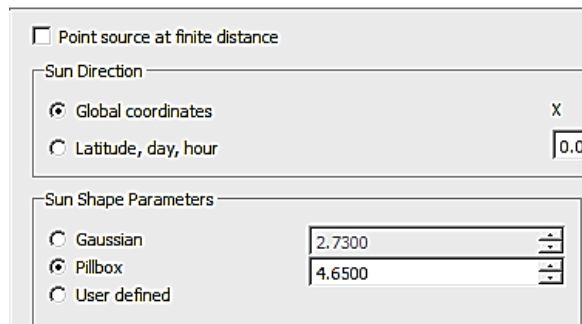


Figura 5. Parámetros de forma y posición del sol

Posteriormente se consideró para el CCP, el diseño de la superficie reflectora y receptora. En la Tabla 2 se visualizan los parámetros para definir las propiedades ópticas de los dos elementos:

| ELEMENTO | Reflectividad | Transmitancia |
|---------------------------------------|---------------|---------------|
| Reflector (Lámina reflectora) | 0.95 | 1.0 |
| Absorbedor/Receptor (Tubo absorbedor) | 0.0 | 0.0 |

Tabla 2 Propiedades ópticas de Reflector y Receptor

Con base en los valores de los parámetros geométricos de la Tabla 1 y el diseño de la parábola de la Figura 3, se creó una etapa de sistema de nombre: CCP en donde se ubicarán la superficie reflejante y el tubo absorbedor en un sistema de coordenadas. Las dimensiones se ingresaron en metros.

Para el reflector se consideró un elemento de abertura y superficie con las siguientes características, Figura 6.

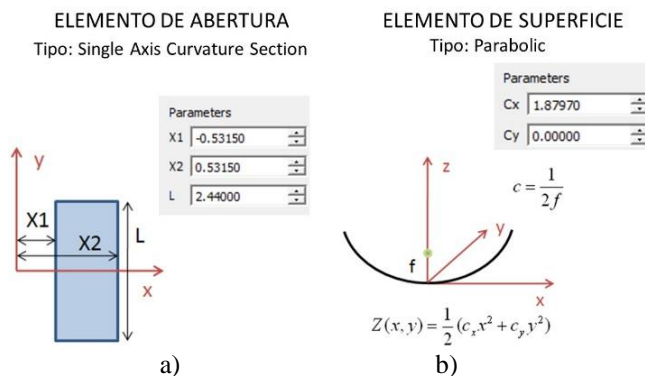


Figura 6 Consideraciones del Reflector

El valor de 0.5315m se encuentra por la ecuación (4), de la siguiente manera:

$$W_a = 4ftan\left(\frac{\phi_r}{2}\right)$$

$$W_a = 4(0.2657)tan\left(\frac{90}{2}\right) = 1.0629m$$

$$\frac{1.0629m}{2} = 0.53145m \approx 0.5315m$$

La longitud de la lámina comercial tiene un valor de 2.44m.

El valor de 1.8797m se obtiene considerando la distancia focal de 0.2657m para un ángulo de borde de 90°.

$$\frac{1}{2 * 0.2657} \approx 1.88m$$

Para el absorbedor se consideraron las siguientes características, considerando un tubo receptor de 1" de diámetro, Figura 7.

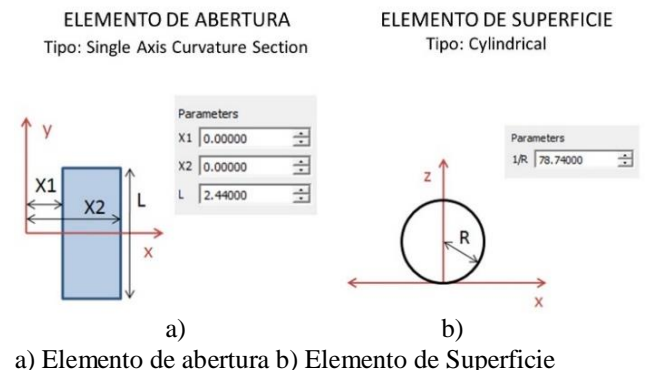


Figura 7 Consideraciones del Receptor

Para la etapa de opciones de trazado se consideró una radiación normal directa (DNI) de 1000 W/m², un número deseado de intersecciones de rayo de 1,000,000 y el número máximo de rayos generados de 100,000,000 para mayor precisión.

La ventaja de SolTrace es que utiliza el método de MonteCarlo para el trazado de rayos, el cual da resultados fiables cuando se utilizan rayos suficientes (Sasa P., Velimir S. and Milorad B., 2016)

Al iniciar nuevo trazado se visualiza el modelo completo del CCP así como la ubicación preestablecida en un sistema coordenado. La etapa generada se compone por una superficie reflectora (lámina reflejante) y una superficie receptora (tubo absorbedor), Figura 8.

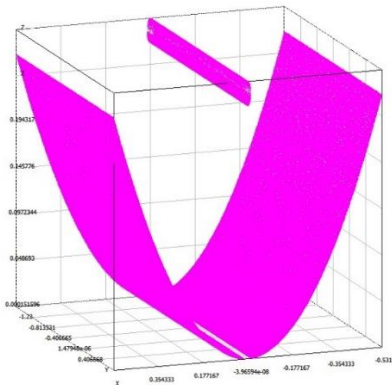


Figura 8 Modelado del CCP DE 90°, compuesto por lámina reflectora y tubo receptor

Del trazado de rayos se obtuvieron gráficas donde se visualiza el número de hits (rayos captados) que inciden tanto en la superficie reflectora como en el tubo absorbedor.

Se realizaron las simulaciones del concentrador con los diferentes ángulos de borde, en la figura 9 se visualiza un CCP con ángulo de 90° debido a que con este valor se tiene la relación de concentración máxima (Kalogirou, 2009).

Resultados

Se realizaron las simulaciones en SolTrace y se estimó el rendimiento óptico del CCP con base en la ecuación 5. Los resultados obtenidos permitieron visualizar el número de rayos interceptados (hits) que incidieron en el reflector y en el receptor.

$$C = \frac{\text{No. de hits interceptados por el receptor}}{\text{No. de hits interceptados por el reflector}} \quad (5)$$

Se muestra el trazado de rayos para un CCP con ángulo de borde de 45°, 80°, 90° y 100°, Figura 9.

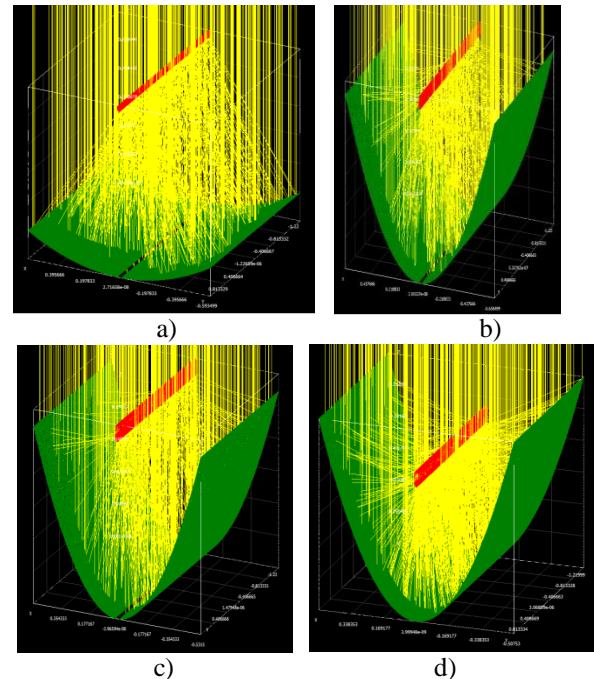


Figura 9 Intercepción de rayos en los componentes del CCP a) $\phi = 45^\circ$, b) $\phi = 80^\circ$, c) $\phi = 90^\circ$ y d) $\phi = 100^\circ$

En la siguiente gráfica se muestran las razones de concentración de los diferentes ángulos de borde de acuerdo a la simulación y la ecuación 5.

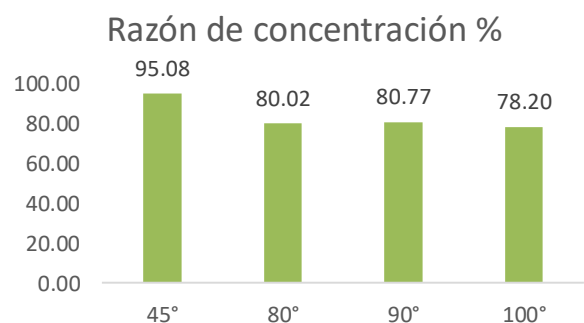


Gráfico 1 Razón de concentración en diferentes ángulos de borde

Como se puede observar en el Gráfico 1, el CCP con un ángulo de borde de 45° presentó mejores resultados de intercepción de rayos con respecto a los demás, sin embargo con este ángulo se tienen mayores pérdidas por convección, ya que la distancia entre el reflector y el receptor ubicado en el punto focal es de alrededor de 0.7116m, dos veces más respecto al CCP de 80° que le sigue en cuanto al valor de la razón de concentración de la Tabla 1.

Las ventajas de usar el software SolidWorks es que permite trazar el perfil de la parábola del CCP con las dimensiones exactas en un sistema coordinado, para introducir posteriormente esos datos en SolTrace, además de poder en un futuro modelar en 3D la superficie reflectora y el ensamblaje completo del concentrador.

El utilizar la herramienta Soltrace proporciona las ventajas de ser un software libre que incluye la capacidad de modelar la reflexión y refracción, incorporar fácilmente la forma del sol y los errores comúnmente descritos en los sistemas ópticos solares, contiene una extensa lista de opciones de contorno e inclinación de superficie y un lenguaje de programación que permite el análisis automatizado de múltiples cambios paramétricos en el sistema.

El utilizar ángulos de borde de 90° y 80° permite tener un buen desempeño óptico en Concentradores solares de Canal Parabólico de acuerdo a las simulaciones en SolTrace y en el análisis teórico.

Conclusiones

La simulación realizada en el software SolTrace fue una herramienta valiosa que permitió realizar un bosquejo del CCP y observar la radiación incidente tanto en el elemento reflector como en el receptor, obteniendo los mapas de flujo solar y el trazado de rayos solares de forma confiable, lo que reduce el tiempo y el trabajo para el análisis de este tipo de dispositivos concentradores.

Referencias

- Delgado, M.L. (2004). Energías renovables, una alternativa racional. Revista Cuenta y Razón. Versión en internet: 19892705. Recuperado de: http://www.centayrazon.org/revista/pdf/135/Num135_003pdf
- Duffie, J.A., Beckman, W.A., (2006). "Solar Engineering of Thermal Processes", third ed. John Wiley & Sons, New York.
- Haek, A. (2010). "Estudio Sectorial: Sector Energías Renovables, Electricidad Termosolar". Agencia de Innovación y Desarrollo de Andalucía IDEA.
- IEA. (2010). Technology roadmap—concentrating solar power. Paris: International Energy Agency. Recuperado de: <http://www.iea.org/papers/2010/csproadmap.pdf>
- Kalogirou, S. (2009). "Solar Energy Engineering", Cyprus Univ. Of Technology. Hardbound.
- Lewandowski, A. (2013). "SolTrace: A ray-tracing Code for Complex Solar Optical System". National Renewable Energy Laboratory.
- Spencer, G., Murty, M. (1962). "General ray-tracing procedure." JOSA 52 (6).

Sasa P., Velimir S. & Milorad B. (2016). Optical Simulation of a Solar Parabolic Collector using Ray-Tracing Software TracePro. ResearchGate. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/269230328>

Sistema de Destilación Solar para Agua Contaminada

PATÍÑO-JIMÉNEZ, Felipe*†, RAMÍREZ-COUTIÑO, Víctor y LUJAN-MARTÍNEZ, Miriam.

Universidad Tecnológica de Querétaro, Av. Pie de la Cuesta 2501, Unidad Nacional, C.P. 76148, Querétaro, Qro. Méx., Teléfono: 442 2096100 al 04.

Recibido Octubre 10, 2016; Aceptado Noviembre 4, 2016

Resumen

El presente proyecto consiste en diseñar y construir un sistema solar para destilación de agua contaminada, el cual podrá ser utilizado para separar contaminantes de este líquido. Hasta ahora, el trabajo consiste en realizar un diseño que integre dos sistemas solares, fotovoltaico y termosolar, los cuales suministrarán calor en dos etapas a un determinado volumen de agua contaminada, para elevar su temperatura a nivel de vapor. En la primera etapa del proceso se pretende que el calentador solar aporte el mayor porcentaje de la energía térmica requerida y, en la segunda etapa, una resistencia eléctrica conectada a un sistema fotovoltaico aporte el complemento de calor requerido para alcanzar temperatura de evaporación. El aporte de calor al agua contaminada en la primera etapa, será mediante un intercambiador de calor lineal concéntrico, del cual se realizará su caracterización para determinar su eficiencia y con ello estimar la capacidad del sistema. El flujo de agua en el intercambiador de calor será a contra corriente, comandado por válvulas hidráulicas controladas eléctricamente.

Sistema solar, sistema híbrido, agua destilada, tratamiento de agua

Abstract

This project is to design and build a solar system for contaminated water distillation, which can be used to separate liquid's contaminants. The job is to make a design that integrates two solar, photovoltaic and solar thermal systems, which will provide heat in two stages at a certain volume of contaminated water to raise its temperature steam level. In the first process stage it is intended to supply solar heater the highest percentage of the required thermal energy and in the second stage, powered electrical resistance of a photovoltaic system supply the heat required supplement to reach evaporation temperature. The heat input to the contaminated water in the first stage, will be through a heat exchanger concentric linear, which characterization is performed to determine their efficiency and thereby estimate the system capacity. The water flow in the heat exchanger is a counter-current, driven it by electrically controlled hydraulic valves.

Solar system, hybrid system, distilled water, treatment water

Citación: PATÍÑO-JIMÉNEZ, Felipe, RAMÍREZ-COUTIÑO, Víctor y LUJAN-MARTÍNEZ, Miriam. Sistema de Destilación Solar para Agua Contaminada. Revista de Prototipos Tecnológicos 2016, 2-6: 76-81

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: fpatino@uteq.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Las grandes cantidades de vertidos líquidos industriales con diversidad de contaminantes generados por diferentes empresas, presume una gran problemática para el ambiente, por lo cual urge la necesidad de implementar sistemas de tratamiento de agua contaminada, y crear nuevas alternativas de los mismos, que contribuyan a reducir la contaminación de este importante líquido, vital para el desarrollo y la supervivencia de la humanidad.

La destilación se convierte en una aplicación importante para la depuración del agua en muchas empresas. Los procesos industriales en los cuales la destilación es viable para una buena solución, son aquellos que generan una alta salinidad, como en la industria alimenticia, galvanoplastia, fabricantes de productos químicos y empresas de pintura, mecanizado y fabricantes de productos orgánicos (Casas, 2008 y Kaifer, 2012).

Hoy en día existen los sistemas de destilación al vacío VACUDEST, con los cuales se pueden separar el agua limpia de los efluentes de origen industrial, esto para reducir el volumen de aguas residuales y, con ello, también se pueden disminuir los costos de gestión de los residuos. Esta tecnología se basa en un principio sencillo de separación de materia en función de las diferencias en el punto de ebullición. Todas las sustancias que tienen un punto de ebullición superior al agua permanecen en los residuos de la evaporación, entre ellos pueden ser metales pesados, sales y aceites; así, el vapor de agua que asciende, está libre de contaminantes. Posteriormente pasa a un sistema de condensación, para que finalmente pueda incorporarse al proceso de producción como agua de proceso (VACUDEST, 2015).

En la Universidad Tecnológica de Querétaro se dio inicio con la construcción de un prototipo que fuera capaz de eliminar los contaminantes presentes en aguas residuales proveniente de procesos de galvanoplastia, este prototipo pretende tratar el agua con un sistema de destilación.

Un sistema solar permite alcanzar el punto de evaporación del agua sin la quema de combustibles fósiles, por lo cual es posible utilizarlo en el tratamiento de aguas residuales, mediante el proceso de destilación, para separar los contaminantes que se adicionan a ella durante su uso en ciertos procesos industriales. Este proyecto tiene como meta, diseñar y construir un sistema solar de destilación de agua, basado en el principio de evaporación, para separar este líquido de los contaminantes industriales adjuntados durante el proceso productivo.

En este proyecto se requieren realizar actividades de ingeniería para diseñar un sistema solar para el tratamiento de aguas contaminadas provenientes de procesos industriales; éste sistema representa un avance tecnológico importante, ya que con él se pretende llevar el agua a punto de ebullición mediante energía solar, lo que logrará evaporarla a un bajo costo energético sin la quema de combustible fósil.

Desarrollo

Hasta ahora el diseño contempla que el calor necesario para llevar el agua contaminada a punto de ebullición, se obtendrá de la hibridación de sistema solar trabajando en 2 etapas.

En la primera se transmitirá calor al agua cruda, que circulará a contraflujo por un intercambiador de calor, proveniente de un calentador solar de colector plano de 250 litros, en la segunda etapa, el agua cruda llegará precalentada a un evaporador, en el cual se alojará una resistencia eléctrica de conectada a un sistema fotovoltaico de 400 watts, que suministrará el calor complementario para alcanzar temperatura de evaporación. El vapor de agua llegará a un condensador por el cual circulará agua a menor temperatura; el producto de la condensación será dirigido a un tanque Rotoplas de 750 litros. El remanente de agua contaminada concentrada será dirigido a un pequeño tanque para almacenar los contaminantes sedimentados. En la siguiente figura se presenta el esquema general del sistema de destilación con todos los componentes necesarios para su operación y control.

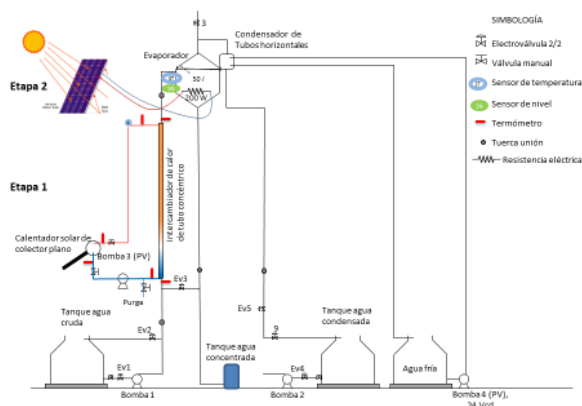


Figura 1 Esquema de sistema de destilación solar.

El calentador solar de agua es llenado a su máxima capacidad para realizar pruebas de ganancia de temperatura, colocando un termómetro en la conexión de entrada y otro en la conexión de salida de agua; al no haber cambio de fase, con esto se obtendrá un valor medio de temperatura. Para esta prueba se tiene considerado medir la irradiación solar directa, como valor de referencia.

Debido a que el intercambiador de calor fue construido en sitio con tubos de cobre y PVC (cobre de 3/4" y PVC de 2"), no se conocen información de sus características funcionales, por lo que será necesario realizar pruebas de caracterización para determinar las mejores condiciones de operación, aunque teóricamente se sabe que para este tipo de intercambiadores, ya sea a contra flujo o en igual dirección, Figura 2, la ganancia de calor será de acuerdo a las ecuaciones de balance térmico.

$$Q = MCp_1(T_1 - T_2) \quad (1)$$

$$q = mCp_2(t_2 - t_1) \quad (2)$$

Q y q, son el calor que se transmite de un fluido a otro (J/s)

M, caudal másico del fluido caliente (kg/s)

m, caudal másico del fluido frío (kg/s)

Cp₁, capacidad calorífica del fluido caliente (J/kg·K)

Cp₂, capacidad calorífica del fluido frío (J/kg·K)

T₁, temperatura inicial del fluido caliente (K)

T₂, temperatura final del fluido caliente (K)

t₁, temperatura inicial del fluido frío (K)

t₂, temperatura final del fluido frío (K)



Figura 2 Configuración geométrica del intercambiador de calor de tubo concéntrico.

Para llevar a cabo las pruebas de caracterización del intercambiador de calor, se implementa un grupo de electroválvulas para dirigir el agua fría y caliente, primero por dentro del cobre y después por fuera de él alternadamente.

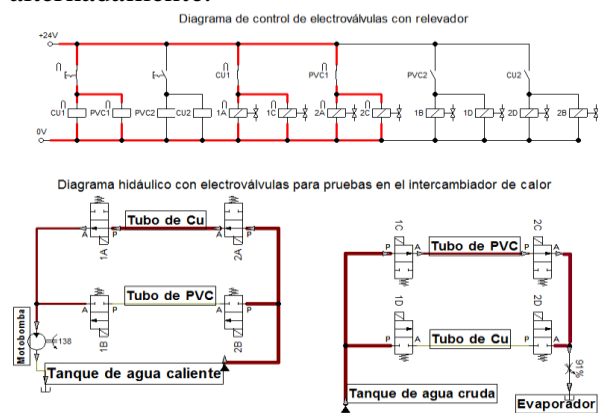


Figura 3 Diagramas de control de electroválvulas e hidráulico para el flujo de agua, caliente por tubo de cobre y fría por el de PVC.

El arreglo de conexiones indicado en el diagrama de control eléctrico, permite controlar 2 grupos de 4 electroválvulas cada uno con 2 relevadores por grupo, los cuales cumplen la función de controlar el flujo de agua fría y caliente de una manera sencilla, tanto por el tubo de cobre como por el de PVC. Cuando las electroválvulas instaladas en el tubo de cobre son activadas, permitirán que el fluido caliente circule por éste, simultáneamente, las electroválvulas que están instaladas en el tubo de PVC, permitirán el flujo de agua fría a contracorriente. Esta acción se cumple en cada extremo del intercambiador de calor para dirigir el agua, caliente o fría, a voluntad por cualquiera de los tubos, como se muestra en los diagramas de las Figuras 3.

Metodología a desarrollar

La ejecución del proyecto se realizará con base en las necesidades de las dos etapas descritas; sin embargo, previo a ellas es necesaria la planeación y gestión de recursos. Primero se gestionan los recursos humanos necesarios para el desarrollo del proyecto con la finalidad de lograr una planeación participativa que conlleve al alcance de los objetivos; aquí también, se gestionan recursos materiales y espacio de trabajo.

Después se procede con el trabajo de campo para integrar y fabricar componentes de acuerdo a diseño.

Finalmente, de acuerdo al diagrama de diseño, Figura 1, en la Etapa 1 el agua caliente fluirá desde el calentador solar hacia la parte alta del intercambiador de calor concéntrico y retorna a él por acción de una motobomba 1 a velocidad controlada. El agua cruda de menor temperatura, depositada en un tinaco de 750 litros, ingresará por la acción de la motobomba 2 en la parte baja del intercambiador concéntrico para ganar temperatura partir del agua caliente que circula a contraflujo; su velocidad será baja y constante para lograr máxima ganancia térmica. En esta etapa se están realizando pruebas de transferencia de calor en el intercambiador para su caracterización y conexión final, por lo que, por ahora se tiene un tinaco elevado para que el agua fría circule por gravedad.

En la Etapa 2, el agua cruda precalentada llega al evaporador y entra en contacto con una resistencia eléctrica, lo que incrementará aún más su temperatura para alcanzar el punto de evaporación. Por ahora, como se muestra en el diagrama de la figura 2, se tiene considerado utilizar un condensador de vapor enfriado por circulación de agua forzada; sin embargo el gasto energético puede superar la capacidad del sistema fotovoltaico.

Resultados

Se integró un equipo de trabajo de dos investigadores y dos alumnos colaborando continua y otros más que colaboran temporalmente.

Con base en el diseño del esquema de la Figura 1, se están realizando actividades de campo para construir las dos etapas del proyecto, Figura 4.



Figura 4 Imágenes de la construcción del sistema solar para destilación de agua.

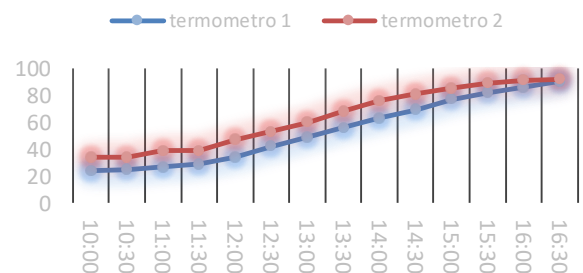
Para caracterizar el intercambiador de calor concéntrico construido a partir de los tubos de PVC y cobre, se han instalado las electroválvulas hidráulicas con base en los diagramas de la figura 3, y próximamente los sensores de temperatura, Figura 5.



Figura 5 Intercambiador de calor con electroválvulas hidráulicas para el control de flujo de agua.

El calentador solar de colector plano fue evaluado para probar hermeticidad y ganancia de temperatura. Termómetros de mercurio colocados en las conexiones de entrada y salida del agua mostraron los cambios de temperatura en el tiempo, las condiciones de irradiación solar en sitio fueron registradas para esta prueba. El gráfico del gráfico 1, elaborado a partir de los datos de los termómetros, muestra el incremento de temperatura en un periodo de 6 horas.

Ganancia de temperatura en tanque de agua



| | | | | | | | |
|----------------------|-----|----|-----|-----|----|-----|-----|
| W/ m ² | 620 | 74 | 849 | 954 | 96 | 924 | 879 |
|----------------------|-----|----|-----|-----|----|-----|-----|

Gráfico 1 Gráfico de ganancia de temperatura en calentador solar.

Conclusiones

Dado que el proyecto está en la etapa de ejecución, el resultado de los objetivos plasmados en la propuesta aún no se concibe, los recursos solicitados están en proceso de adquisición, con ello el desarrollo será muy significativo para cumplir con los objetivos propuestos. En su momento este proyecto será de gran importancia social, industrial y universitaria, considerando que se hace uso de tecnología para aprovechar la energía renovable, solar térmica y fotovoltaica, para eliminar contaminantes de un recurso tan importante para el desarrollo y existencia de las comunidades sociales, el agua. Aunque cuantitativamente no es posible indicar el cumplimiento de los objetivos de este proyecto, en términos cualitativos, éstos se lograrán con la integración de todos los elementos indicados en el diseño de la Figura 1; las evidencias gráficas de las Figuras 4 y 5, demuestra el avance del proyecto. El desempeño del calentador solar se presume bueno, falta evaluar el intercambio de temperatura en el intercambiador de calor de tubo concéntrico.

Agradecimiento

A la Universidad Tecnológica de Querétaro por el apoyo a los investigadores participantes. Al CONCyTEQ por el apoyo bajo el programa de “Nuevos talentos científicos y tecnológicos”

Referencias

[1] CRUZ R., IRIANDA L., BRIONES R., RODRIGUEZ I. (2012). TRATAMIENTO DE LODOS DE GALVANOPLASTIA PARA LA RECUPERACIÓN DE NIQUEL Y CROMO UTILIZANDO UN REACTOR ELECTROQUÍMICO-ELECTROCINÉTICO. VIII SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, BRASIL.

CASAS, O., & SABATÉ, E. (2008). LA EVAPORACIÓN AL VACÍO UNA TECNOLOGÍA PARA LA REDUCCIÓN DE RESIDUOS Y REUTILIZACIÓN DEL AGUA. *TECNOLOGÍA DEL AGUA*, 56-63.

KAIFER, J. (2014). TRATAMIENTOS FÍSICO-QUÍMICOS DE RESIDUOS. *EOI*, 1-46.

RUÍZ, A. (2013). DISEÑO DEL PROCESO DE DESTILACIÓN AL VACÍO . *ASOCIACIÓN ARGENTINA DE INGENIERO QUÍMICOS*, 1-18.

UNAM, I. D. (2015). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO. *SEMINARIO INTERNACIONAL UNAM*, 1-3.

VACUDEST. (2015). TRATAMIENTO SOSTENIBLE DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES. *H2O*, 211-218.

ZALETA, A., ESCALANTE, M., & CAMPOS, R. (2015). CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DEL PROCESO DE DESTILACIÓN DE AGUA CONTAMINADA, USANDO CALOR RESIDUAL DE PROCESOS INDUSTRIALES. . *UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO*, 1-10.

SITIO WEB DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUNYA. “INTERCAMBIADORES DE CALOR”, CAP. 3.

http://www.epsem.upc.edu/intercanviadorsdecalor/castella/dobletub_contracorrent.html, CONSULTADA EN AGOSTO DE 2016.

Estudio experimental de una evaporadora solar de alimentos

CASTILLO-TELLEZ, Beatriz*†, PILATOWSKY-FIGUEROA, Isaac, CASTILLO-TELLEZ, Margarita y OVANDO-SIERRA, Juan.

Recibido Octubre 13, 2016; Aceptado Noviembre 7, 2016

Resumen

La evaporación de agua en los alimentos líquidos es un proceso muy utilizado en la industria alimentaria, principalmente en la obtención de concentrados de jugos, leches, aceites esenciales, entre otros, en los cuales, los consumos energéticos son muy importantes. En el presente trabajo se presenta el diseño, construcción y estudio experimental de una evaporadora para la concentración de alimentos líquidos operada con un sistema de calentamiento solar formado por un banco de captadores solares planos y del tipo evacuado comparados con un calentamiento convencional eléctrico. Las pruebas experimentales se realizaron en el Instituto de Energías Renovables, IER, de la Universidad Nacional Autónoma de México en Temixco, Morelos. México, localizado a 18° 51' de LN y 99° 14' de LO, clima cálido seco, humedad relativa promedio anual 50% y valores de irradiancia máximos promedio de 950 W/m², en donde durante este periodo se registró una variación de la irradiancia solar de 180 a 900 W/m². Los primeros resultados muestran que es posible la evaporación de 3 l agua con una temperatura máxima 58.69°C con captadores planos y 3.51 litros con captadores solares evacuados, con una temperatura máxima de 75°C y finalmente con el sistema auxiliar de calentamiento, se evaporaron 5.40 l.

Evaporación, Colector solar, Energía solar, Sistema auxiliar de calentamiento

Abstract

Evaporation of water liquid food is a process widely used in the food industry, mainly in obtaining concentrated juices, milks, essential oils, honeys agave, among others, in which, the energy consumption are very important. In this paper the design, construction and experimental study of an evaporator for concentration of liquid food operated with solar heating system consists of a bank of flat solar collectors and evacuated type compared with a conventional heating power is presented. Experimental tests were performed at the Institute for Renewable Energy, IER, of the National Autonomous University of Mexico in Temixco, Morelos. Mexico, located at 18°51' LN and 99°14' LO, with warm dry climate with an annual relative humidity average of 50% and values of maximum irradiance average of 950 W/m² irradiance, where during this period variation was recorded solar irradiance of 180-900 W/m². The first results show that it is possible evaporation of 3 l water with a maximum temperature 58.69°C with flat plate collectors and 3.51 liters with solar collectors evacuated, where they reached a maximum temperature of 75°C and finally with the auxiliary heating system, evaporated 5.40 l.

Evaporation, Solar collector, Solar energy, Auxiliary heating system

Citación: CASTILLO-TELLEZ, Beatriz, PILATOWSKY-FIGUEROA, Isaac, CASTILLO-TELLEZ, Margarita y OVANDO-SIERRA, Juan. Estudio experimental de una evaporadora solar de alimentos. Revista de Prototipos Tecnológicos 2016, 2-6: 82-89

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: becat@ier.unam.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Existen muchas razones para evaporar los alimentos, entre ellas, para mejorar las cualidades de los mismos. El equipo para realizar dicho proceso ha sido modificado una y otra vez para lograr objetivos económicos, científicos, de tiempo, (Armerding, 1966) técnicos y de sustentabilidad. Éste proceso proporciona una estabilidad microbiológica y ayuda a reducir costos de transportación y almacenaje. (Singh & Heldman, 2014) y es uno de los más utilizados a gran escala en la industria alimentaria y no es poco común encontrar plantas con capacidades de evaporación de cientos de toneladas de agua por hora. (Romash, 2009).

Los agaves han tenido una gran importancia económica y cultural para numerosos pueblos indígenas y mestizos, que los han aprovechado durante siglos siendo fuente de alimentación, bebida, medicina, combustible, cobijo, ornato, fibras duras extraídas de las hojas (ixtle), abono, construcción de viviendas y elaboración de implementos agrícolas, entre otros usos. (Mendoza, 2007). Los magueyes fueron unas de las primeras plantas aprovechadas por los pobladores de Mesoamérica para alimentarse, de lo cual se hallan restos en cuevas en el valle de Oaxaca, el valle de Tehuacán y en Coahuila. El empleo como alimento y fibras pervive en México desde hace por lo menos siete mil años. En México ha sido considerado el centro de origen y biodiversidad del género debido a la diversidad taxonómica dentro de un territorio. De las 310 especies reportadas, aproximadamente 272 pueden encontrarse en el país (García-Mendoza y Galván, 1995).

Los magueyes productores de pulque en el valle de México son *Agave teometl* Zucc., *A. weberi* Cels., *A. altísima* Jacobi., *A. compliata* Trel., *A. gracillispina* Englem., *A. malliflua* Trel., *A. quitifera* Trel. *A. crassispina* Trel., *A. mapisaga* Trel. *A. americana* L., *A. salmiana* Otto ex Salm. Las zonas productoras de pulque son principalmente Hidalgo, Tlaxcala, Edo. México y Puebla, aunque también se le encuentra marginalmente a San Luis Potosí, Michoacán, Querétaro, Morelos, Guanajuato, Veracruz y Oaxaca (García, 1994; Ramírez y Genti, 1982). El aguamiel es la savia de los magueyes pulqueros; (*Agave atrovirens*, *mapisaga*, *crassispina*, etc) este fluido se produce en las plantas adultas y se obtiene de la etapa previa a la floración. Éste fluido es rico en carbohidratos como inulina, sacarosa y fructosa (Moreno, 2008), además contiene pequeñas cantidades de aminoácidos y vitaminas, (Flores, et al. 1996) y minerales es un jugo vegetal químicamente complejo, sus componentes se ven afectados por el proceso de castración de la planta, la edad, añejamiento, el tiempo en el que es raspado, la época del año, condiciones del suelo, clima de la región entre otros que le confieren una calidad, sabor y acidez peculiar, inclusive si se extrae de la misma especie, el proceso metabólico que efectúa uno y otro agave alteran la composición del aguamiel. (Goddy et al, 2003). La composición química encontrada en los magueyes *mapisaga* se muestra en el gráfico 1.

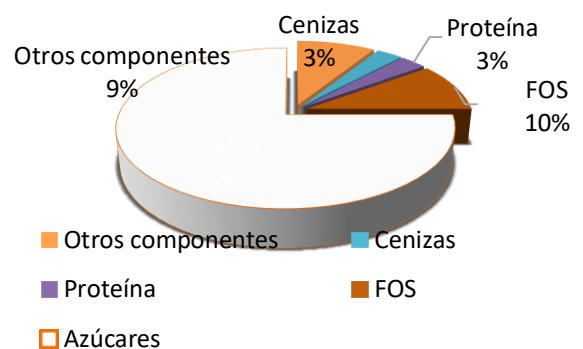


Gráfico 1 Composición del aguamiel.

El aguamiel puede ser considerado como un buen suplemento nutraceútico ya que el consumo de un cuarto de litro de aguamiel provee el 60% de los requerimientos diarios de Hierro y de Zinc de una persona, además de mostrar actividad antioxidante. Su consumo habitual podría corregir las deficiencias nutricionales de hierro y zinc. (Tovar Robles et al, 2011). El aguamiel es una savia fermentable debido a que contiene una flora bacteriana propia del líquido.

Proceso de producción de miel de maguey

El aguamiel es obtenido de los magueyes. La planta es transportada a 20°C hasta 3 horas después de raspada y a 6°C hasta 15 hr después de la raspada. La planta es inspeccionada, mediante una evaluación sensorial (olor, color y sabor característico). Los valores del Brix deben estar entre 0° y 1° y un pH entre 5.5 y 7.2 y no debe tener una consistencia viscosa. Después es calentada a 98°C durante 15 min, deteniendo la fermentación y eliminar los microorganismos. Se deben alcanzar los 65°C lo más rápido posible. Después es enfriada por 4 horas hasta alcanzar 30°C para lograr una sedimentación y eliminación de microorganismos. Ahora viene el proceso de evaporación hasta por 20 horas, alcanzando 80°C al final del proceso. Por último, se realiza un colado-enfriamiento, debiendo llegar a 70 a 72 Brix, sin cristales, sin gomas, color rojizo a café claro pH entre 5.5-7 con su sabor característico, homogeneizándolo y envasándolo y conservándolo a temperaturas no mayores de no mayor a 28°C en un lugar seco y fresco donde no reciba luz solar directa.

El proceso necesita un consumo excesivo de energía. Generalmente se utiliza gas butano y en raras ocasiones, energía eléctrica, por lo tanto, las empresas buscan actualmente una forma de optimizar sus procesos para reducir sus gastos en energía. Se ha propuesto en éste proyecto, sustituir el uso de energías convencionales con energía solar para la evaporación en la producción de aguamiel.

Estudio experimental

En este trabajo, se analiza experimentalmente el proceso de evaporación de agua mediante dos tecnologías solares diferentes y, por otro lado, simulando los medios convencionales con calentamiento eléctrico a temperatura controlada en un rango entre 45°C y 65°C, con lo cual se logró caracterizar el comportamiento térmico de las tecnologías analizadas con el objetivo de determinar las condiciones óptimas del proceso de obtención de miel de agave.

Evaporadora solar de líquidos.

Se diseñó la evaporadora tipo mermita, con tubos horizontales que permiten la circulación natural del vapor de agua, con capacidad de 35 l, colocándose en el interior de ella un intercambiador de calor en forma de espiral dentro del cual circula agua caliente. El calor fluye a través de las paredes del intercambiador, cediéndolo al líquido que se encuentra en la olla, elevando su temperatura y provocando su evaporación. Para reducir las pérdidas de calor, se forró toda la olla con aislante térmico y se cubrió con pintura blanca. Para medir la temperatura del líquido contenido dentro de la olla y, además, permitir la salida de vapor del líquido contenido, se hicieron perforaciones en la tapa de la olla.

Uso de la energía solar.

Para dicho fin, se ha diseñado y construido un prototipo con cuatro configuraciones posibles (figura 2), utilizando tanto energía convencional, como dos diferentes alternativas de tecnologías con energía solar, para comparar la producción de las mismas y verificar si es posible la producción de miel de maguey de mejor calidad, de forma más eficiente, a menor costo económico y sin la quema de combustibles fósiles.

Los sistemas evaluados son los siguientes:

1. Evaporación de agua por medio de un sistema auxiliar
2. Evaporación de agua con tubos evacuados ubicados en serie
3. Evaporación de agua con tubos evacuados ubicados en paralelo
4. Evaporación de agua con colectores planos.

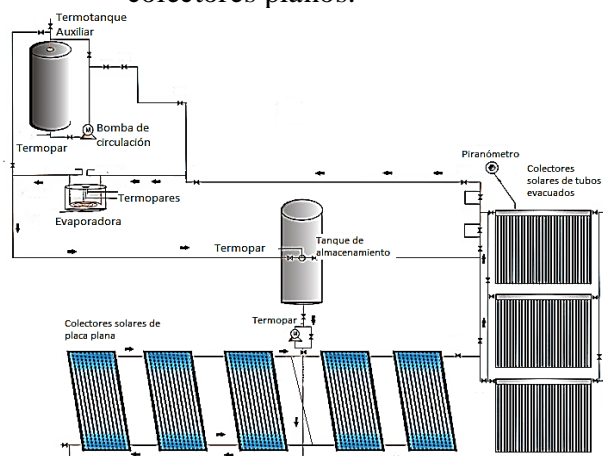


Figura 1 Sistema propuesto para evaporación con sus diferentes configuraciones.

Materiales y Métodos

El reactor de aluminio en el que se coloca el aguamiel contiene un intercambiador de calor en forma de espiral dentro del cual circula agua caliente. El calor fluye a través de las paredes del intercambiador, cediéndolo al líquido que se encuentra en el reactor, elevando su temperatura y provocando su evaporación. Para reducir las pérdidas de calor, se forró toda la olla con aislante térmico y se cubrió con pintura blanca. Para medir la temperatura del líquido contenido dentro de la olla y, además, permitir la salida de vapor del líquido contenido, se hicieron perforaciones en la tapa de la olla. Fueron colocados sensores de temperatura en sitios estratégicos del sistema para dar seguimiento a las evoluciones de temperatura del agua utilizada para sustituir el aguamiel.

La utilización de las diferentes configuraciones se controla mediante las diferentes válvulas en el sistema, direccionando el flujo de agua a través de cada una de ellas.

El sistema auxiliar permite las experimentaciones bajo condiciones controladas, empleando un tanque de almacenamiento de 150 litros con resistencias eléctricas, cuenta con una bomba de recirculación y un banco de dos resistencias térmicas con una potencia de 3 kW que puede controlar la temperatura a 70 °C sugerida durante la evaporación y nos permiten reproducir los sistemas convencionalmente utilizados en la industria de la producción de aguamiel y compararla con las propuestas para disminuir el consumo de energía fósil.

El uso de los colectores evacuados, puede utilizarse direccionando el agua ya sea en serie o en paralelo. Evaporación de agua con colectores evacuados con intercambiadores de calor integrados, con las válvulas de tres vías para el control. Este tipo de colectores resultan particularmente apropiados para aplicaciones de alta temperatura. Por su forma cilíndrica, aprovechan la radiación de manera más efectiva que los colectores planos, al permitir que los rayos de sol incidan de forma perpendicular sobre los tubos durante la mayor parte del día.

Los colectores planos. La cantidad de calor absorbida por el agua depende de la velocidad con la cantidad que se haga pagar este al interior de los tubos, del diseño y de las pérdidas de calor del captador solar plano (Figura 2).



Figura 2 Sistema de colectores ubicados en la plataforma solar del IER-UNAM.

Análisis de resultados y discusión

En la Tabla 1 se muestran los diferentes parámetros y especificaciones con las que se trabajó cada sistema analizado.

| Sistema | Flujo (l/min) | Temperatura inicial (°C) | Temperatura Máxima Alcanzada | Temperatura Final(°C) | Tiempo de prueba (h) |
|---|---------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------|----------------------|
| Sistema auxiliar | 21.44 | 70.20 | 71.05 | 69.61 | 9:00 |
| Sistema de colectores evacuados en serie | 21.44 | 25.26 | 58.72 | 55.35 | 8:00 |
| Sistema de colectores evacuados en paralelo | 21.44 | 42.84 | 59.38 | 53.74 | 8:00 |
| Sistemas de colectores planos en serie | 21.44 | 38.97 | 72.66 | 67.24 | 8:00 |

Tabla 1 Parámetros de las diferentes pruebas realizadas.

Evaporación de agua con el sistema auxiliar

La temperatura inicial del agua de entrada a la evaporadora fue de 70.20 °C, con un flujo de 21.44 l/min. Se procedió a realizar mediciones del líquido evaporado cada hora. La prueba se realizó durante 9:00 horas, llevando la temperatura del interior de la evaporadora hasta 71.05 °C, la temperatura final de salida del agua de la evaporadora fue de 69.6 1.

Como se observa en la figura 4, durante el proceso de calentamiento el sistema se mantuvo estable, el incremento de la temperatura dentro de la evaporadora con respecto al tiempo fue poco significativo, se lograron evaporar 2.15 litros en un tiempo de 45 minutos, lo que representa un 10.03 %, en la figura 3 se observa la evolución de las diferentes temperaturas registradas en el sistema durante el experimento.

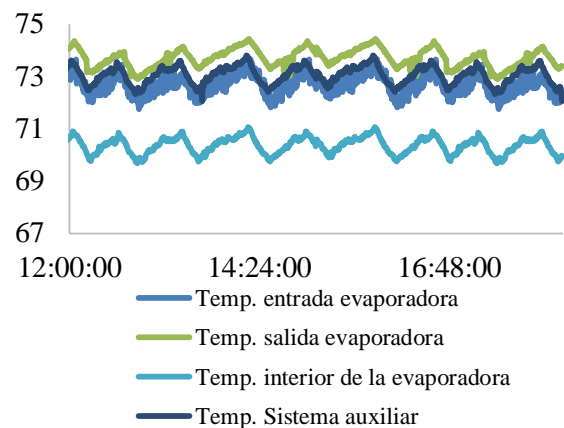


Figura 3 Evolución de las temperaturas dentro del reactor con el sistema auxiliar y a 21.44 l/min.

Como se puede observar en la figura anterior, la temperatura alcanzada en todos los sensores que se están monitoreando tiene un comportamiento uniforme.

Evaporación de agua de colectores de tubos evacuados en serie con flujos de agua de 21.44 l/min.

La temperatura inicial del agua de entrada a la evaporadora fue de 25.26 °C, con un flujo de 21.44 l/min. Se procedió a realizar mediciones del líquido evaporado cada hora. La prueba se realizó durante 8:00 horas, llevando la temperatura del interior de la evaporadora hasta 58.72 °C, la temperatura final de salida del agua de la evaporadora fue de 55.35.

Como se observa en la figura 5, durante el proceso de calentamiento el sistema se mantuvo al principio con incremento en la temperatura y después de las 17:00 ligeramente descendió, el incremento de la temperatura dentro de la evaporadora con respecto al tiempo fue significativo, se lograron evaporar 1.85 litros en un tiempo de 45 minutos, lo que representa un 8.6 %, en la figura 4 se observa la evolución de las diferentes temperaturas registradas en el sistema durante el experimento.

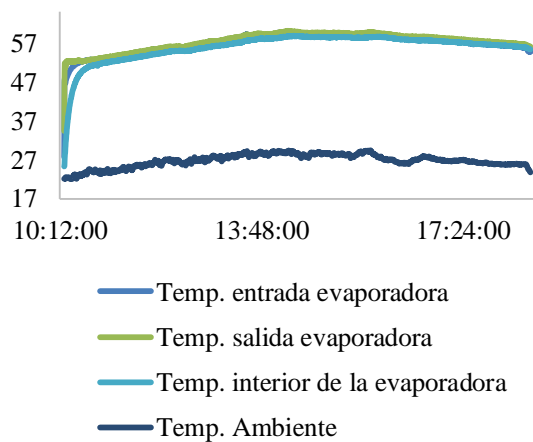


Figura 4 Evolución de la temperatura en el sistema con colectores de tubos evacuados conectados en serie.

Evaporación de agua de colectores de tubos evacuados en paralelo con flujos de agua de 21.44 l/min

La temperatura inicial del agua de entrada a la evaporadora fue de 42.84 °C, con un flujo de 21.44 l/min. Se procedió a realizar mediciones del líquido evaporado cada hora. La prueba se realizó durante 8:00 horas, llevando la temperatura del interior de la evaporadora hasta 59.38 °C, la temperatura final de salida del agua de la evaporadora fue de 53.74 °C.

Como se observa en la figura 6, durante el proceso de calentamiento el sistema se mantuvo mostro una pendiente ligera ascendente durante las primeras horas del día, el incremento de la temperatura dentro de la evaporadora con respecto al tiempo fue más significativo que en los casos anteriores, se lograron evaporar 1.95 litros en un tiempo de 45 minutos, lo que representa un 9.1 %, en la figura 6 se observa la evolución de las diferentes temperaturas registradas en el sistema durante el experimento.

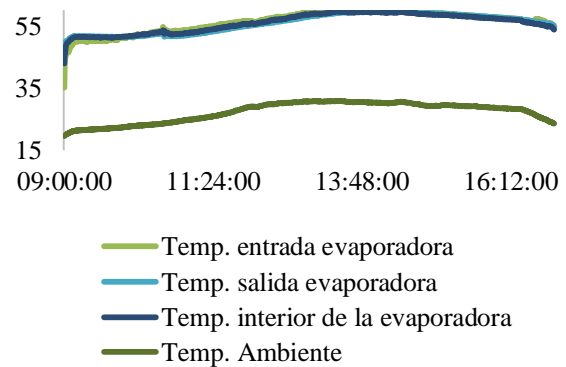


Figura 5 Evolución de la temperatura en el sistema con colectores de tubos evacuados conectados en paralelo con flujo de 21.44 l/min.

También se puede observar en esta figura que las temperaturas alcanzan durante el día hasta 58 °C y 60 °C, sin embargo, al final del día esta temperatura decrece ligeramente, entre 56 °C y 58 °C, este comportamiento no se mostró en los dos casos anteriores.

Evaporación de agua con colectores planos a 21.44 l/min.

La temperatura inicial del agua de entrada a la evaporadora fue de 38.97 °C, con un flujo de 21.44 l/min. Se procedió a realizar mediciones del líquido evaporado cada hora. La prueba se realizó durante 8:00 horas, llevando la temperatura del interior de la evaporadora hasta 72.66 °C, la temperatura final de salida del agua de la evaporadora fue de 67.24.

Como se observa en la figura 7, durante el proceso de calentamiento el sistema se mantuvo estable, el incremento de la temperatura dentro de la evaporadora con respecto al tiempo fue poco significativo, se lograron evaporar 2.6 litros en un tiempo de 45 minutos, lo que representa un 12.13 %, En la figura 7 se observa la evolución de las diferentes temperaturas registradas en el sistema durante el experimento

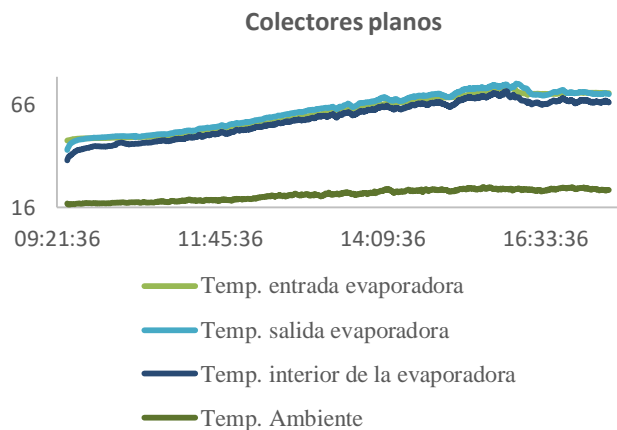


Figura 6 Evolución de la temperatura en el sistema con colectores planos con flujo de 21.44 l/min.

En esta configuración se logró mejor rendimiento en cuanto al aprovechamiento calorífico debido a que los colectores planos de superficies selectivas con el flujo que se manejó alcanzaron temperaturas por arriba de los 76 °C

| Pruebas | Horas | Litros evaporados |
|---|-------|-------------------|
| Evaporación de agua por medio del sistema auxiliar con flujo medio de 21.44 l/min | 09:00 | 2.15 |
| Evaporación de agua por medio de colectores de tubos evacuados al vacío colocados en serie con un flujo de 21.44 l/min. | 08:00 | 1.85 |
| Evaporación de agua por medio de colectores Heat pipe en forma directa a un flujo de 21.44 l/min | 08:00 | 1.95 |
| Evaporación de agua por medio de colectores planos a 21.44 l/min | 08:00 | 2.6 |

Tabla 2

Eficiencias de colectores.

Para determinar la eficiencia de las diversas tecnologías solares analizadas, se tomó como referencia la ecuación de rendimiento que proporciona “Florida Solar Energy Center” (Florida solar energy center, 2008).

$$\eta = 0.94 * 0.873 - 0.01978 \left(\frac{T_m - T_a}{k * G} \right) \tag{1}$$

Donde:

T_m = temperatura media del agua deseada

T_a = temperatura ambiente

G = irradiación promedio

k = factor de corrección por inclinación

La ecuación de eficiencia es afectada por las pérdidas causadas por orientación e inclinación (Solarweb.net, 2006). Por lo anterior, es necesario considerar la irradiancia mediante el valor k y el valor de 0.94 correspondiente a días nublados u otros factores que afecten las condiciones.

La eficiencia del colector bajo las condiciones de la ciudad de Temixco, Morelos es:

| Sistema | Eficiencia |
|---------------------------------|------------|
| Tubos evacuados Paralelo | 62.5 |
| Tubos evacuados en serie planos | 74.18 |
| | 88.5 |

Tabla 3

Conclusiones

El sistema por excelencia sería evaporar con el sistema de colectores planos como se evidencia en los resultados.

La radiación es primordial e importante para los colectores ya que de ello depende para alcanzar óptimas temperaturas, como las obtenidas en los colectores planos.

Aun cuando con condiciones controladas, se consiguen buenas eficiencias de evaporación, se ha demostrado que existe viabilidad técnica para la producción de miel de maguey, logrando superar esta técnica con los colectores planos al alcanzar una producción de vapor mayor.

La mayor eficiencia se logró con los captadores planos (88.5%), seguida de los tubos evacuados en serie (74.18%) y finalmente, tubos evacuados en paralelo (62.5 %).

Referencias

Armerding, G. D. (1966). Evaporation methods as applied to the food industry. In M. B. Co. (Ed.), *Advance in food research* (pp. 305–357). Oakland, California.

Romash, M. M. (2009). Evaporation. *Food Process Engineering and Technology*, 253–276. <http://doi.org/10.1007/978-1-84996-417-3>

Singh, R. P., & Heldman, D. R. (2014). Evaporation. *Introduction to Food Engineering*, 565–592. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-398530-9.00008-5>.

Alternativas, E. (23 de 08 de 2011). unge.gq. Recuperado el 03 de 08 de 2014, de biblioteca digital:<http://www.unge.gq/ftp/biblioteca%20digital/Libro%20Energia%20alternativas/Solar/Solar3%20.pdf> Dspace. (06 de 06 de 2013). cecatherm.com. Recuperado el 03 de 08 de 2014, de Mecanismo de transferencia: <http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/34475/1/Mecanismos%20de%20transmisi%C3%B3n%20de%20calor%20%28CONDUCCION,%20CONVECCION,%20RADIACION%29.pdf>

Ecofisiohort. (2008). ecofisiohort. Recuperado el 22 de mayo de 2014, de <http://www.ecofisiohort.com.ar/wp-content/uploads/2008/10/calor.pdf>

Escobar, L. g. (2007). Colector de canal parabólico para la generación directa de vapor para calor de proceso. Temixco, Morelos: CIE Centro De Investigación De Energía de la UNAM.

Guerrero, I. M. (2002). *La Guía Metas-02-07-TC*. Chile: Metas, S.A. de C.V. Metro logos Asociados.

Guisao, G. (13 de 11 de 2013). slideshare.net. Recuperado el 22 de 06 de 2014, de slideshare.net:

<http://es.slideshare.net/gguisao/instrumentos-medidores-de-temperatura>

Ibáñez plana, M. e. (2005). *Tecnología solar*. Madrid, España: Mundi - prensa.

Jerry D. Wilson, A. J. (2007). Física. Sexta edición. En J. D. Bo Lou, Física. Sexta edición (pág. 367). México: PEARSON EDUCACIÓN, México, 2007.

Mendoza, A. J. (2007). *Agave de México*. México: Jardín Botánico, Instituto de biología. Universidad Nacional Autónoma de México.

<http://www.ecofisiohort.com.ar/wp-content/uploads/2008/10/calor.pdf>

<http://es.slideshare.net/gguisao/instrumentos-medidores-de-temperatura>

<http://medirtemperatura.com/sensor-temperatura.php>

Instrucciones para Autores

[Titulo en Times New Roman y Negritas No.14]

Apellidos en Mayusculas -1er Nombre de Autor †, Apellidos en Mayusculas -2do Nombre de Autor
Correo institucional en Times New Roman No.10 y Cursiva

(Indicar Fecha de Envio:Mes,Dia, Año); Aceptado(Indicar Fecha de Aceptación: Uso Exclusivo de ECORFAN)

Resumen

Titulo

Objetivos, metodología

Contribución

(150-200 palabras)

Abstract

Title

Objectives, methodology

Contribution

(150-200 words)

Keyword

Indicar (3-5) palabras clave en Times New Roman y Negritas No.11

Cita: Apellidos en Mayúsculas -1er Nombre de Autor †, Apellidos en Mayusculas -2do Nombre de Autor. Titulo del Paper. Título de la Revista. 2015, 1-1: 1-11 – [Todo en Times New Roman No.10]

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Instrucciones para Autores

Introducción

Texto redactado en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

¿Cuál es su valor agregado respecto de las demás técnicas?

Enfocar claramente cada una de sus características

Explicar con claridad el problema a solucionar y la hipótesis central.

Explicación de las secciones del artículo

Desarrollo de Secciones y Apartados del Artículo con numeración subsecuente

[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

Desarrollo de Artículos en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

En el *contenido del artículo* todo gráfico, tabla y figura debe ser editable en formatos que permitan modificar tamaño, tipo y número de letra, a efectos de edición, estas deberán estar en alta calidad, no pixeladas y deben ser notables aun reduciendo la imagen a escala.

[Indicando el título en la parte inferior con Times New Roman No.10 y Negrita]

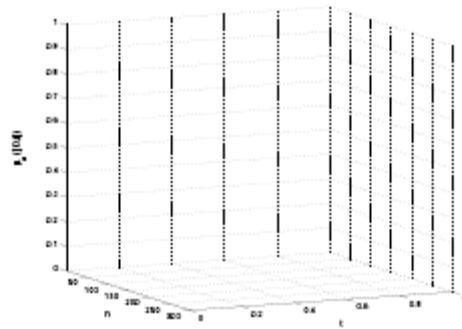


Gráfico 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

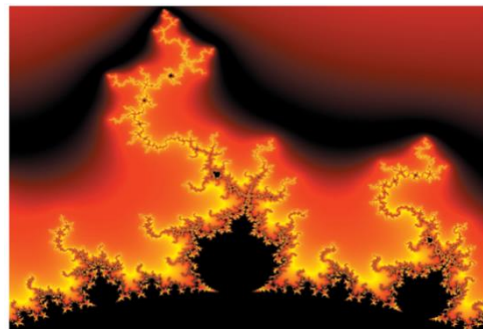


Figura 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

Tabla 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

Cada artículo deberá presentar de manera separada en **3 Carpetas**: a) Figuras, b) Gráficos y c) Tablas en formato .JPG, indicando el número en Negrita y el Titulo secuencial.

Instrucciones para Autores

Para el uso de Ecuaciones, señalar de la siguiente forma:

$$Y_{ij} = \alpha + \sum_{h=1}^r \beta_h X_{hij} + u_j + e_{ij} \quad (1)$$

Deberán ser editables y con numeración alineada en el extremo derecho.

Metodología a desarrollar

Dar el significado de las variables en redacción lineal y es importante la comparación de los criterios usados

Resultados

Los resultados deberán ser por sección del artículo.

Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

Agradecimiento

Indicar si fueron financiados por alguna Institución, Universidad o Empresa.

Conclusiones

Explicar con claridad los resultados obtenidos y las posibilidades de mejora.

Referencias

Utilizar sistema APA. **No** deben estar numerados, tampoco con viñetas, sin embargo en caso necesario de numerar será porque se hace referencia o mención en alguna parte del artículo.

Ficha Técnica

Cada artículo deberá presentar un documento Word (.docx):

Nombre de la Revista

Título del Artículo

Abstract

Keywords

Secciones del Artículo, por ejemplo:

1. *Introducción*
2. *Descripción del método*
3. *Análisis a partir de la regresión por curva de demanda*
4. *Resultados*
5. *Agradecimiento*
6. *Conclusiones*
7. *Referencias*

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencia

Formato de Originalidad



Madrid, España a ____ de ____ del 20 ____

Entiendo y acepto que los resultados de la dictaminación son inapelables por lo que deberán firmar los autores antes de iniciar el proceso de revisión por pares con la reivindicación de ORIGINALIDAD de la siguiente Obra.

Artículo (Article):

Firma (Signature):

Nombre (Name)

Formato de Autorización



Madrid, España a ____ de ____ del 20____

Entiendo y acepto que los resultados de la dictaminación son inapelables. En caso de ser aceptado para su publicación, autorizo a ECORFAN-Spain difundir mi trabajo en las redes electrónicas, reimpresiones, colecciones de artículos, antologías y cualquier otro medio utilizado por él para alcanzar un mayor auditorio.

I understand and accept that the results of evaluation are inappealable. If my article is accepted for publication, I authorize ECORFAN-Spain to reproduce it in electronic data bases, reprints, anthologies or any other media in order to reach a wider audience.

Artículo (Article):

Firma (Signature)

Nombre (Name)

Revista de Prototipos Tecnológicos

