

Diseño de un esterilizador industrial por concentración de energía solar, para alimentos enlatados

pags 67-77

Grupo de investigación en Energías Alternativas
José Alejandro Guerrero Vargas • Andrés Libardo Calderón Mejía••

Recibido: 31 de marzo de 2014 Aceptado: 30 de mayo de 2014

RESUMEN

El presente artículo muestra el diseño de un colector solar térmico, para ser implementado en un autoclave de vapor en un proceso industrial de esterilización de alimentos enlatados, para la ciudad de Bogotá, Colombia. La selección del tipo de colector solar se basó en los parámetros climáticos y de radiación solar de la zona, eligiendo el colector por tubos de vacío con tubo de calor. Para validar el diseño, se llevó a cabo un análisis por elementos finitos en un solo tubo del colector solar, enfocado en el análisis de temperaturas necesarias del proceso, tomando en cuenta la radiación incidente de la zona de estudio en el día de mayor distancia entre el Sol y la Tierra.

Palabras Clave: Energía Solar, Autoclave, Esterilización de Alimentos, Colector Solar.

ABSTRACT

This paper presents the design of a solar thermal collector, to be implemented in a steam autoclave in an industrial sterilization process of canned food, for Bogotá city, Colombia. The type of solar collector is based on weather and solar radiation parameters of the area, choosing the vacuum tube collector with heat pipe. To validate the design, a finite element analysis carried out in a single solar collector tube, focused on the analysis of the process temperatures required, taking account the incident radiation of the study area in the day of larger distance between the Sun and Earth.

Keywords: Solar Energy, Autoclave, Sterilization of Food, Solar Collector.

• Docente investigador de la Universidad de América, ing. mecánico M.Sc. jose.guerrero@investigadores.uamerica.edu.co
•• Estudiante investigador, programa de Ingeniería Mecánica, andres.calderon@estudiantes.uamerica.edu.co

I. INTRODUCCIÓN

El modelo energético desarrollado por la humanidad en las últimas décadas se ha basado principalmente en recursos no renovables como la energía generada del carbón, del petróleo, del gas y la energía nuclear por fisión; produciendo contaminación a gran escala y grandes cambios ambientales. Al establecer la economía en recursos no renovables, con reservas finitas, se crea un sistema económico donde el precio de la fuente energética fluctúa según los niveles de consumo, cantidad de reservas disponibles y la situación política y social de los países extractores y productores (Karacsonyi, 2010) (Domínguez, 2005). Estas características de las energías fósiles han generado crisis económicas y de abastecimiento; por lo que, desde la década del 70, se ha venido avanzando en la producción de sistemas capaces de funcionar con energías alternativas, para ir cambiando el modelo energético utilizado y beneficiar al medio ambiente (Gil, 2008) (Lizcano, 2009). Colombia no se ha quedado lejos de la tendencia de implementación de energías alternativas, actualmente hay una capacidad instalada de 24,1 MW entre energía fotovoltaica, pequeñas estaciones hidroeléctricas y energía eólica (Ruiz & Rodríguez, 2005); además presenta una producción considerable en biocombustibles (Pineda, 2009). Pero, para generar una mayor utilización de energía alternativa, se deben diseñar sistemas que se puedan acoplar a procesos industriales en el país.

El presente trabajo estudia el aprovechamiento de la energía solar térmica, en la ciudad de Bogotá, Colombia. El foco térmico o energía térmica es un componente del espectro electromagnético emitido por el Sol y recibido por la Tierra, el cual puede ser captado, por diferentes métodos y geometrías llamadas colectores (Lara) (Rodríguez, Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas, 2008) (Hernández, Sáenz, & Vallejo, 2010). El colector seleccionado en el presente trabajo es el de tubos de vacío con tubo de calor, se compone de un tubo o tubos de calor (de una alta eficiencia

en conducción térmica) el cual se encuentra dentro de un tubo de vidrio sellado al vacío. El tubo por lo general es de cobre y se encuentra adjunto a una placa absorbente de cobre negro (Kalogirou, 2009).

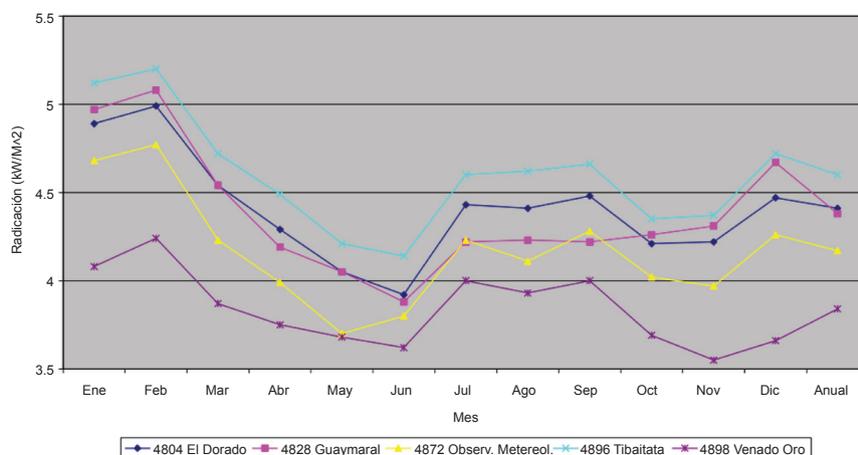
La actividad industrial seleccionada para la adaptación del colector solar es la fase de esterilización de la etapa final del proceso, en la producción de alimentos enlatados. El procedimiento para la fabricación de alimentos enlatados inicia con la inspección y recepción de materia prima, junto con la limpieza, desinfección y selección; luego, se lleva a cabo la precocción o escaldado, la limpieza de las latas, la evacuación de aire, el cerrado de las latas y finalmente la esterilización. La última etapa mencionada, comúnmente, se realiza por medio de autoclaves, los cuales inhiben el crecimiento de microorganismos a través de calor húmedo o seco (De la Mella, Santos, & Yanez, 2009) (Casp & Abril, 2008) (Gutiérrez, 2010) (FSER, 2005) (Saravacos & Kostaropoulos, 2002) (ELLAB, 2010) (Tucker, 2008).

A continuación se contextualizará la energía solar en Bogotá; luego, se hará una descripción del sistema; después, se mostrará la metodología de cálculo; por último, se observará la validación mediante la simulación térmica en ANSYS;

II. ENERGÍA SOLAR EN BOGOTÁ

Bogotá se encuentra localizada en la latitud de $4^{\circ} 6'33''$, longitud de $74^{\circ} 1'$ y una altitud de 2556 m, temperatura promedio de 14°C , y unas características climáticas de nubosidad y frío en algunos momentos del año. La radiación incidente en la ciudad es registrada en tres estaciones meteorológicas de Bogotá (Aeropuerto El Dorado, Escuela de Ingeniería y Departamento de Física de la Universidad Nacional). Los datos de estas estaciones, son procesados estadísticamente para resumir los valores de radiación solar diaria y convertirlos en promedios como se ve en la figura 1 donde se representa en valores mensuales (CORPOEMA, 2010) (Hernández, Sáenz, & Vallejo, 2010).

Fig. 1 Radiación solar mensual promedio en Bogotá. Tomado de (Rodríguez & González, Manual de radiación en Colombia: Radiación sobre superficies horizontales, 1992)



Bogotá presenta una inestabilidad que se observa a través de los meses, para los valores de radiación solar promedio, debido a las épocas de invierno (lluvia y nubosidad) y verano; sin embargo, el rango de variación de radiación solar de la ciudad es mucho menor que el presentado por países como Alemania, E.E.U.U. y Japón, donde se ha desarrollado una campaña exitosa de diseño para sistemas solares (Hernández, Sáenz, & Vallejo, 2010) (Rodríguez & González, Manual de radiación en Colombia: Radiación sobre superficies horizontales, 1992).

A. Recurso solar en Bogotá

Para el cálculo del valor del recurso solar en Bogotá se tomaron los parámetros expuestos en la tabla 1.

Tabla 1. Condiciones iniciales de cálculo de radiación

Variable	Valor
d_n	175 días = 24 de junio
I_{cs}	1365 W/m ²
β	$4.61^\circ + 15^\circ = 19,61^\circ \approx 20^\circ$
α	0.24
b	0.55
ϕ	$4.61 \approx 0,0804$ radianes

Donde d_n es el día más alejado entre el Sol y la Tierra, I_{cs} es la constante solar, se define como el flujo de energía procedente del Sol que llega a la parte superior de la atmósfera por unidad de superficie normal a la dirección de los rayos y cuando la Tierra está a una distancia de 1 U.A. (Unidad Astronómica), β es la suma del grado de inclinación del colector y la latitud del sitio (ϕ), para este tipo de colectores el ángulo recomendado en Bogotá es de 15° con respecto a la horizontal, a y b son constantes empíricas (Pinazo, 1995) (Castro & Colmenar, 2000) (Colombia. Unidad De Planeación Minero Energética (Upme). Instituto De Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), 2005).

El valor de radiación solar incidente, con base en los datos de la tabla 1, se calcula mediante la radiación solar global sobre superficies inclinadas (Colombia. Unidad De Planeación Minero Energética (Upme). Instituto De Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), 2005), como se muestra en la ecuación 1.

$$\bar{H}(\beta) = \bar{R} \times \bar{H} \tag{1}$$

Donde \bar{R} es la relación promedio para superficies inclinadas, y se calcula (Colombia. Unidad De Planeación Minero Energética (Upme).

Instituto De Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), 2005)

$$\bar{R} = \left[\frac{H - H_d}{H} \right] \bar{R}_b + \left(\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \right) \times \frac{(1 + \cos \beta^\circ)}{2} + \bar{r} \times \frac{(1 - \cos \beta)}{2} \tag{2}$$

La variable \bar{r} es el índice de reflectividad del suelo frente al plano receptor y su valor oscila entre 0.2 y 0.3. R_b es el índice de ubicación, en este caso sobre el hemisferio Norte e inclinada y orientada hacia al Sur (Colombia. Unidad De Planeación Minero Energética (Upme). Instituto De Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), 2005).

$$\bar{R}_b = \frac{[\cos(\phi - \beta)\cos(\delta)\sin(\omega_s)] + [(\pi/180)\omega_s \sin(\phi - \beta)\sin(\delta)]}{[\cos(\phi)\cos(\delta)\sin(\omega_s)] + [(\pi/180)\omega_s \sin(\phi - \beta)\sin(\delta)]} \tag{3}$$

La radiación difusa incidente es igual a

$$H_d = k_d \times H \tag{4}$$

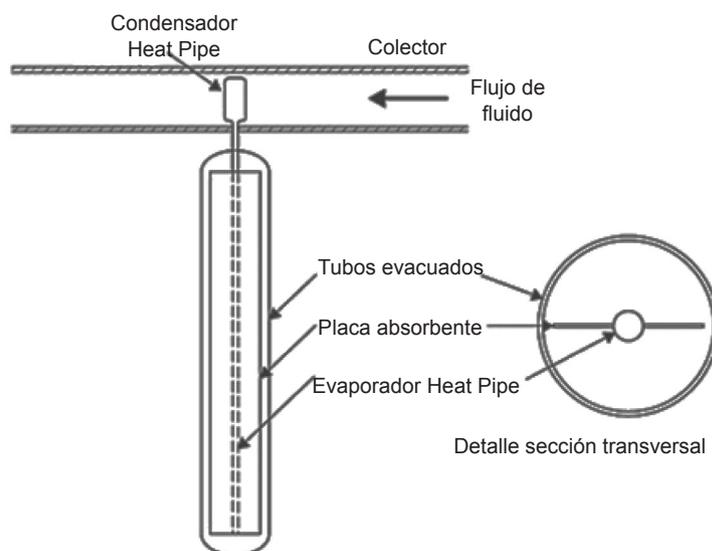
La estimación de la radiación difusa (H_d) se realiza con base al índice de claridad (K_t), debido a que la radiación difusa es una función de este. La correlación empleada y bastante utilizada es

la propuesta por Collares-Pereira y Rabl (Colombia. Unidad De Planeación Minero Energética (Upme). Instituto De Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), 2005). Desarrollando las ecuaciones, se tiene que para el día en que el Sol se encuentra a mayor distancia de la Tierra, la radiación incidente en Bogotá es de 4.38 kWh/m², este valor se divide por el promedio de horas solar al día, el cual se estima en 6 horas, dando como resultado una expresión de potencia sobre el área igual a 731 W/m².

III. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Se utiliza un sistema de captación solar por tubos de vacío por sus características de no pérdida de calor por la noche, debido a que el proceso de transferencia de calor no es reversible, por ser altamente resistente a las heladas, y por contar con mantenimiento y reparación sencilla. Adicional a esto, los colectores de tubo de vacío con tubo de calor tienen la capacidad de aprovechar, como los colectores planos, la radiación solar difusa y directa, pero, a diferencia de los mismos (que su rendimiento es mejor en días soleados), cuenta con una eficiencia mayor en días nublados. La figura 2 muestra las partes que componen el colector (Kalogirou, 2009).

Fig. 2 Colector de tubos de vacío con tubo de calor (Kalogirou, 2009)



LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ENERGÍAS ALTERNATIVAS

Como se nota en la figura 2 en la parte superior se señala un condensador del cual sobresale del tubo de vidrio de vacío y está compuesto de un tubo de metal. Dentro del tubo de calor se encuentra una cantidad de fluido, el cual es el que cumple el ciclo de transferencia de calor al evaporarse y condensarse con el cambio de temperaturas recibidas por la radiación solar; en otras palabras, al recibir la placa absorbente la radiación solar, se calienta y transfiere ese calor al tubo evaporando el fluido interno, el cual por su temperatura asciende hasta donde está la zona de frontera (condensador), aquí el calor latente del fluido evaporado realiza una transferencia de calor al flujo de fluido, cuando ocurre esto se licua el fluido evaporado retornando al fondo del tubo por medio de la gravedad y así reanudando el ciclo.

A. Medidas

Las dimensiones del tubo de vacío se observan en la tabla 2, estos valores son tomados de estándares comerciales.

B. Materiales colector solar

Para el análisis de los diferentes materiales necesarios para el colector se realizó por medio

de un análisis de jerarquización o multicriterio, basado en una calificación cuantitativa de criterios de evaluación establecidos (Roche, 2005). Los materiales seleccionados son:

- Tubos de vidrio: vidrio de borosilicato 3.3.
- Tubo de calor: Cobre.
- Fluido de trabajo dentro del tubo de calor: Agua.
- Fluido de trabajo en el intercambiador: Agua.
- Superficie absorbente: Cobre negro.
- Sello metálico: aleación Kovar.
- Sello de cierre: Silicona.

C. Selección sistema industrial de esterilización (autoclave)

Se realiza el análisis sobre un autoclave horizontal por cargas, que trabaja con vapor saturado. Las propiedades y características se ven en la tabla 3.

Tabla II. Dimensión tubo de vacío

Sección	D_{int} (m)	D_{ext} (m)	Longitud (m)	Área interna (m^2)
Vidrio exterior	0,072	0,075	1,556	0,352
Vidrio interior	0,055	0,058	1,5	0,259
Tubo de calor (evaporador)	0,008	0,00988	1,5	0,03770
Tubo de calor (condensador)	0,014	0,01588	0,1	0,00880

Tabla III. Características autoclave convencional

Modelo		RJD-500
Tanque de esterilización	D _{interno} (mm)	500
	Altura (mm)	800
Volumen del interior del tanque (m ³)		0.2
Canastas para esterilización		1
Consumo de vapor kg/ciclo		85
Temperatura de diseño (C)		147
Presión de diseño (MPa)		0.35
Presión del vapor de Trabajo (MPa)		0.4-0.6
agua de refrigeración - Presión de trabajo (MPa)		0.3
Aire comprimido - Presión de trabajo (MPa)		0.7
Medidas exteriores	L (mm)	1150
	W (mm)	750
	H (mm)	1000

El material del autoclave es acero inoxidable y se compone de un tanque de agua caliente, tanque de agua fría, intercambiador de calor, diferentes tipos de válvula, la bomba, tubo de conexión y semi-automatización del sistema de control. La difusión de calor es rápida y bien distribuida (Hangzhou Huihe Machine Factory Co., Ltd., 2012).

IV. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

Para el desarrollo del siguiente estudio, bajo condiciones estacionarias de operación (Azad, 2008), se consideró que el gradiente de temperatura en la dirección longitudinal del colector es despreciable, que el intercambiador de calor puede absorber todo el calor entregado por el evaporador, que el coeficiente de pérdida de calor total entre el colector y el ambiente es constante y, por último, que la pérdida de calor entre el intercambiador y el ambiente no es significativa.

Como se ha descrito en este trabajo, el tubo de calor consta de dos secciones (evaporador

y condensador), donde el evaporador transfiere calor interna y externamente en forma radial hacia el condensador. En condiciones estacionarias el calor total añadido en el evaporador debe ser rechazado en el condensador (Azad, 2008). Este calor de rechazo en el condensador, representado en temperatura, es el foco de análisis que se realiza en un tubo vacío con tubo de calor para hallar la temperatura de salida del condensador en forma de serie, la ecuación (5) muestra el proceso para hallar la temperatura de un condensador. Los datos utilizados son la temperatura del proceso industrial que es igual a 147 °C, la temperatura de ebullición del agua y la temperatura promedio en Bogotá que son de 92,6 °C y 14 °C respectivamente.

$$T_{c,s1} = T_i + \varepsilon n \left(\frac{P}{1+P} \right) (T_{tc1} - T_i) \quad (5)$$

Donde $T_{c,s1}$ es la temperatura de salida del condensador 1, T_i es la temperatura de entrada, ε es la efectividad, n es el número de condensadores, T_{tc1} es la temperatura de superficie del tubo de calor (ecuación (7)) (Azad, 2008) y P es igual a

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ENERGÍAS ALTERNATIVAS

$$P = \frac{A_{tc1} U_{tc}}{A_c U_{C,S1}} \quad (6)$$

Y la temperatura de superficie del tubo de calor (Azad, 2008) es igual a

$$T_{tc1} = \frac{\frac{I(\tau\alpha)e}{U_L} + T_a + \frac{T_{en,int}\epsilon_1}{(ntu)_{tc1}} \left(\frac{P}{1+P} \right)}{1 + \frac{\epsilon_1}{(ntu)_{tc1}} \left(\frac{P}{1+P} \right)} \quad (7)$$

Donde (I) es la radiación solar, ($\tau\alpha$) es el factor de corrección solar el cual es la transmitancia por lo absorbente del material. La efectividad representada por (ϵ_1) es igual a

$$\epsilon_1 = 1 - e^{-(ntu)_{c1}} \quad (8)$$

Donde

$$(ntu)_{c1} = \frac{A_{c1} U_{c,s1}}{\dot{m} C_p} \quad (9)$$

Donde ($ntu)_{c1}$ es el número de unidades de transferencia de calor en el condensador. A continuación se halla el ($ntu)_{tc1}$ (Azad, 2008), que es igual a

$$(ntu)_{tc1} = \frac{\eta A_{c,ext} U_L}{\dot{m} C_p} \quad (10)$$

Donde el ($A_{c,ext}$) es el área de la superficie absorbente y (U_L) es el coeficiente total de transferencia de calor (Rabl, 1985), el cual está dado por

$$U_L = p U_{abs} \quad (11)$$

El coeficiente de transferencia en el absorbente está dado por

$$U_{abs} = \frac{\dot{q}_{perdida}}{T_{abs} - T_{amb}} \quad (12)$$

El $\dot{q}_{perdida}$ esta se rige bajo la siguiente ecuación:

$$\dot{q}_{perdida} = \frac{\dot{Q}_{abs-cub}}{A_{abs}} \quad (13)$$

El flujo de calor del absorbente a la cubierta es igual al flujo desde la cubierta al ambiente. Asumiendo la combinación del coeficiente de transferencia de calor por radiación y convección, genera que:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{abs-cub} &= A_{abs} \epsilon_{eff} \sigma (T_{abs}^4 - T_{cub}^4) \\ &= A_{cub} h_{amb} (T_{cub} - T_{amb}) \\ &= Q_{cub-amb} \end{aligned} \quad (14)$$

La efectividad de emisividad está dada por

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_1 \epsilon_2}{\epsilon_1 + \epsilon_2 - \epsilon_1 \epsilon_2} \quad (15)$$

Donde ϵ_1 es la efectividad del absorbente y ϵ_2 es la efectividad del vidrio. La eficiencia teórica, usada en la iteración, está dada por

$$\eta_T = \eta_O - \frac{U_L (T_{abs} - T_{amb})}{I} \quad (16)$$

La eficiencia óptica (η_O) está dada por la multiplicación del factor de transmitancia por absorción. La efectividad del colector (Walker & Mahjouri, 2004), está dada por la siguiente ecuación.

$$\eta_{colector} = 0.82 - 2.19 \left(\frac{T_m - T_a}{I} \right) \quad (17)$$

Remplazando los datos y desarrollando las ecuaciones, el valor de temperatura, con res-

pecto a la radiación recibida y a las propiedades de materiales y dimensiones, de un condensador es igual a 288,02 °K. Para hallar el número necesario de tubos se modifica la ecuación (5) como se aprecia en la ecuación 18.

$$T_{c,s(n-1)} = T_{c,(n-1)} + \epsilon n \left(\frac{P_a}{1+P} \right) (T_{tc1} - T_{c,(n-1)}) \quad (18)$$

Desarrollando la serie de condensadores, se obtiene que para el proceso de 147 °C son necesarios 30 tubos de vacío con tubo de calor.

V. SIMULACIÓN TÉRMICA EN ANSYS

La simulación de transferencia de calor se realiza con el software de simulación ANSYS, en el sistema de análisis de flujo de fluido (FLUENT). Se simulan las condiciones de radiación solar en el colector y flujo de agua en el intercambiador, comprobando los cálculos realizados en la anterior sección. El análisis consiste en el comportamiento térmico del agua que fluye en el intercambiador y pasa por los condensadores calentados por energía solar. El proceso se realiza con dos tubos de vacío debido a la complejidad del análisis y al costo computacional del mismo. Las condiciones de frontera empleadas se muestran en la tabla IV.

Tabla IV. Condiciones análisis térmico

Bogotá (Longitud)	74,1°
Bogotá (Latitud)	4,633°
Bogotá (Horario)	GMT -5 horas
Radiación solar	7312 W/m ²
Fecha de ubicación solar	24 de Junio
Brillo solar	6 horas
Temperatura evaporador	509 K
Temperatura entrada intercambiador	287 K
Transmitancia	0,92
Absorción	0,97

La figura 3 muestra el resultado del análisis enfocado en la parte del intercambiador. Se observan valores mínimos de 2.871e002 K (regiones azules) hasta valores máximos de 2.903e002 K (zonas de color rojo), comprobando los datos hallados en la serie de condensadores.

La figura 4 muestra en detalle las superficies de entrada y salida mostrando el cambio de temperatura presentado. El resultado de este análisis comprueba que la temperatura necesaria por el proceso de esterilización de 147 °C será alcanzada con los 30 tubos propuestos.

Fig. 3 Análisis térmico intercambiador

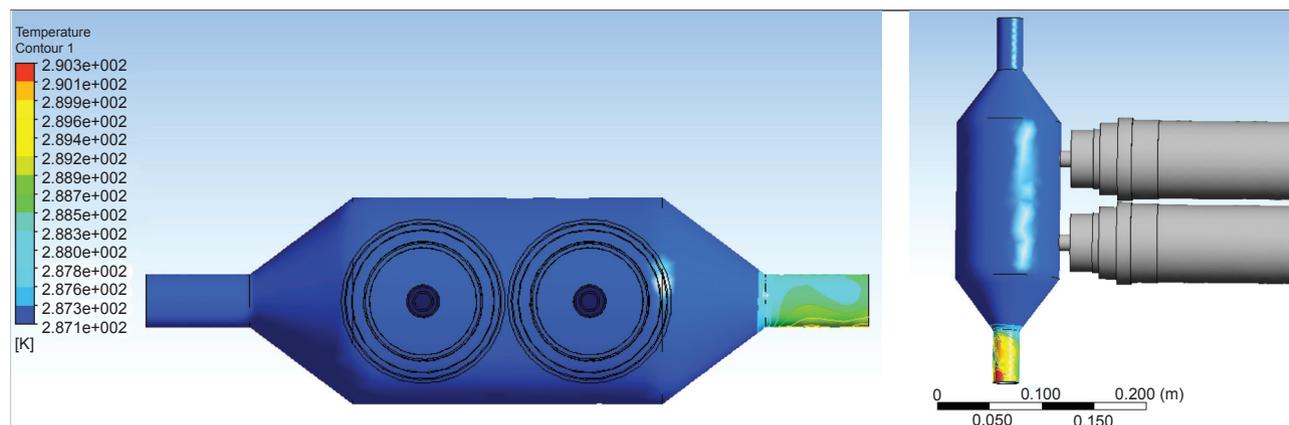
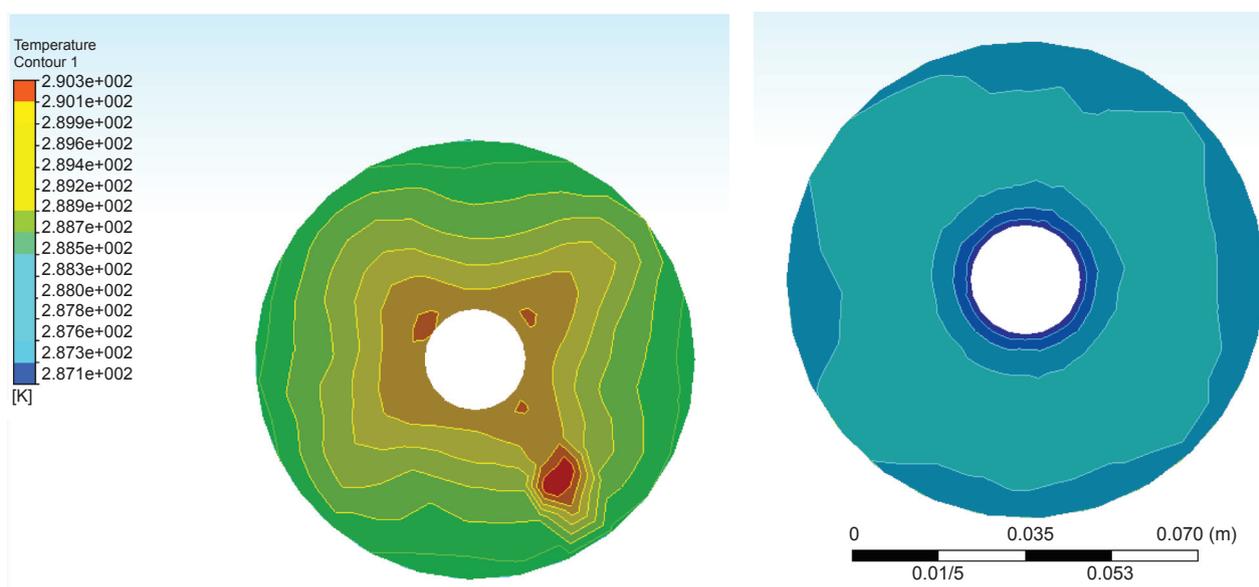


Fig. 4 Detalle del análisis térmico del intercambiador sobre las superficies de entrada y salida

VI. CONCLUSIONES

Se comprobó que Bogotá recibe una aceptable radiación solar, demostrando que es una zona óptima en la elaboración de proyectos solares. Además, el colector de tubos de vacío con tubo de calor propuesto es adecuado para las características geográficas y climáticas de la ciudad. Por lo anterior, se garantiza que lo expuesto en este documento podría funcionar en otros lugares del país donde existan mejores condiciones para la captación solar.

La validación, mediante simulación por el método de elementos finitos, de los cálculos realizados, demuestra el planteamiento correcto de la metodología para el cálculo e implementación de colectores de tubos de vacío en diferentes procesos industriales en Colombia.

Se desarrolló una metodología para el diseño de colectores de tubos de vacío con tubo de

calor, basada en las temperaturas de salida de los condensadores, que puede ser empleada para el diseño de este tipo de colectores en otros procesos. En este proyecto se calcula la cantidad necesaria de tubos para el proceso de esterilización y se verificó la temperatura en el intercambiador mediante una simulación en ANSYS en el sistema de análisis de flujo de fluido (FLUENT), confirmando la veracidad de todos los datos teóricos.

De acuerdo al análisis financiero, basado en el ahorro del combustible que se utilizaría en una caldera convencional, el colector solar genera una rentabilidad económica para su utilización en la industria. Además al no utilizar combustibles fósiles la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera será casi nula, su grado de contaminación está en la construcción del colector, el cual no presentará impactos severos en sus diferentes fases.

REFERENCIAS

- Azad, E. (2008). Theoretical and experimental investigation of heat pipe solar collector.
- Casp, A., & Abril, J. (2008). *Procesos de conservación de alimentos*. España: Mundi-Prensa.
- Castro, M., & Colmenar, A. (2000). *Monografías técnicas de energías renovables: Energía solar térmica de baja temperatura*. Sevilla (España): PROGENSA.
- Colombia. Unidad De Planeación Minero Energética (Upme). Instituto De Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). (2005). *Atlas de radiación solar de Colombia. Características de la radiación solar. Apéndice B*. Bogotá, D.C.: UPME-IDEAM.
- CORPOEMA. (2010). *Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia*. Bogotá, D.C.: Diagnóstico de las FNCE en Colombia.
- De la Mella, R., Santos, R., & Yanez, J. (2009). Conservación de productos cárnicos por calor.
- Domínguez, J. (2005). *Energías alternativas*. España: Equipo Sirius.
- ELLAB. (2010). *RETORT STERILIZATION*. (Hilleroed) Recuperado el 10 de 08 de 2012, de <http://www.ellab.com/Default.aspx?ID=2648>
- FSER. (2005). Thermal Processing Systems for Commercially Sterile and Shelf-Stable Products.
- Gamboa, S. (2010). Métodos de esterilización. *Disponible en internet: http://www.ucv.ve/file_admin/user_upload/facultad_farmacia/catedraMicro/10_M%C3%A9todos_de_esterilizaci%C3%B3n.pdf*.
- Gil, G. (2008). Energías del siglo XXI: de las energías fósiles a las alternativas.
- Gutiérrez, S. (2010). Métodos de esterilización. *Universidad central de Venezuela [en línea]*.
- Hangzhou Huihe Machine Factice Co., Ltd. (2012). *www.made-in-china.com*. Recuperado el 12 de 08 de 2012, de <http://huihejixie.en.made-in-china.com/product/ovAxTzEIFJWp/China-Steam-Canned-Food-Retort.html>
- Hernández, J., Sáenz, E., & Vallejo, W. (2010). Estudio del recurso solar en la ciudad de Bogotá para el diseño de sistemas fotovoltaicos interconectados residenciales.
- Kalogirou, S. (2009). Solar energy engineering: processes and systems.
- Karacsonyi, J. (2010). Panorama energético mundial, un desafío para la ingeniería.
- Lara, M. (s.f.). [Programa televisivo]. Video Energías renovables. Parte 1.
- Lizcano, J. (2009). Futuro y viabilidad de las nuevas energías: la fusión nuclear y las energías renovables.
- Pinazo, J. (1995). *Manual de climatización: Cargas térmicas*. Valencia: Politécnica de Valencia.
- Pineda, C. (2009). Futuro de la electricidad, hidrocarburos y energías alternativas.
- Rabl, A. (1985). *Active Solar Collectors and Their Applications*.
- Roche, H. (2005). *Métodos cuantitativos. Análisis Multicriterio en la toma de decisiones*. Montevideo: CCEE.
- Rodríguez, H. (2008). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. 28.
- Rodríguez, H., & González, F. (1992). *Manual de radiación en Colombia: Radiación sobre superficies horizontales*. Bogotá, D.C.: Universidad Nacional de Colombia.
- Ruiz, B., & Rodríguez, V. (2005). Energy sources in the Colombian Energy policy, analysis and perspectives.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ENERGÍAS ALTERNATIVAS

Saravacos, G., & Kostaropoulos, A. (2002). *Handbook of food processing equipment*. New York: Academic/Plenum Publishers.

Tucker, G. (2008). *Food Biodeterioration and preservation*. Wiley-Blackwell.

Pipe Solar Collectors Applied to the Recirculation Loop in a Federal Building.

Walker, A., & Mahjouri, F. (2004). Evacuated-Tube Heat-