

## ANÁLISIS EXERGÉTICO DEL DESTILADOR SOLAR DE BANDEJA DE FIBRA DE VIDRIO

Susana Fonseca Fonseca\*, Angel Luis Brito Sauvanell\*\*, Ronald Andión Torres\*,  
Eider Perdomo Miranda\*, Maria Isabel Fernandez Parra\*\*

\*Centro de Investigaciones de Energía Solar, \*\* Universidad de Oriente

*Se presenta un prototipo de destilador solar de bandeja, construido de fibra de vidrio con la finalidad de obtener agua destilada para ser empleada en baterías. Se refiere el comportamiento del destilador y se realiza un análisis termodinámico del equipo en cuestión lo que conlleva el desarrollo de balances de masa, energía, entropía y exergía con el objetivo de evaluar el equipo, cuantificar los valores de las energías que se pierden y se ganan con vistas a tener localizadas las mayores pérdidas y mejorar posteriormente su diseño. La productividad del equipo alcanza valores de 350 mL al día, lo cual representa 2,2 L/m<sup>2</sup> día, similar a de otros prototipos desarrollados en el CIES en Santiago de Cuba y en correspondencia a lo que debe esperarse de acuerdo a las condiciones ambientales existentes (nivel de radiación, temperatura ambiente, velocidad del viento). Las ventajas del presente prototipo radican en su mayor resistencia a la intensa acción corrosiva que se manifiesta durante el funcionamiento de los destiladores solares. El balance de entropía permitió determinar la entropía generada en el sistema la cual satisfactoriamente presenta un valor pequeño. El balance exergético a su vez permitió calcular la destrucción de la exergía. Se determinaron las eficiencias energéticas y exergéticas del destilador. La eficiencia energética se encuentra entre los valores esperados, sin embargo la eficiencia exergética tiene un valor pequeño ya que el agua de salida presenta niveles bajos de temperaturas. Es conveniente considerar que no es de interés que este fluido presente altos niveles de energía ya que su utilidad posterior reside en sus posibles usos como agua destilada y no en su posible valor como portador energético.*

**Palabras clave:** destilador solar, análisis energético, agua destilada, destilador de bandeja.

*It is presented a prototype of basin type solar still, made from glass fiber with the aim to obtain distilled water to be used in batteries. It is referred to the behaviour of the distiller and it is realized a thermodynamic analysis of the appliance which leads to the development of balances of mass, energy, entropy with the objective to evaluate it, calculate the energy values that are lost and gathered in order to have focused big losses and to later improve its design. The productivity of the appliance reaches values of 350 mL daily, which represents 2,2 L/m<sup>2</sup> daily, similar to other prototypes developed in the Solar Energy Research Center in Santiago de Cuba, and in correspondence to what is expected according to the existing environment conditions (level of radiation, environment, wind speed). The advantages of the present prototype are on its bigger resistance to the intense corrosion action that take place during the functioning of the solar distillers. The balance of entropy made possible determine the generated entropy in the system which satisfactorily presents a low value. The exergetic balance instead made possible calculate the destruction of the exergy. It was determined the energetic and exergetic efficiencies of the distiller. The energetic efficiency is found between the expected values, however the exergetic efficiency has a low value because the water that comes out has low levels of temperature. It is convenient to consider that is not of interest this fluid having high levels of energy because its later utilities are on its possible uses as distilled water and not on its possible value as energetic provider.*

**Keywords:** solar distiller, energetic analysis, distilled water, basin type solar still.

---

## Introducción

La desalinización o destilación de agua es una necesidad del mundo civilizado. Su consumo se centraliza en las ciudades, fundamentalmente, en el transporte, la industria química, químico farmacéutica y laboratorios en general. En los lugares aislados puede emplearse para el consumo humano y animal.

El agua y las sales se pueden separar por diferentes métodos o procesos físicos, de los cuales han tenido éxito los siguientes: evaporación, congelamiento, ósmosis, destilación por membranas y otros /5/.

De los métodos de depuración de agua para su uso en baterías acumuladoras y otros usos, la utilización de destiladores solares resulta muy adecuada. La fuente energética, la radiación solar, es energía renovable; la calidad del agua obtenida es óptima para lo que se utiliza; la sencillez de los equipos no requiere de personal altamente calificado para su explotación, mantenimiento y reparación; sus costos resultan asequibles, y los volúmenes de agua que se obtienen con estos equipos cubren la demanda (para pequeños volúmenes).

La desalinización o destilación del agua, utilizando como fuente energética la radiación solar, es una técnica ya desarrollada con grandes ventajas económicas, principalmente por el ahorro de electricidad, petróleo, así como por la calidad del agua obtenida para determinados usos.

En el Centro de Investigaciones de Energía Solar (CIES) se ha desarrollado un prototipo de destilador solar con bandeja de fibra de vidrio, con un área de captación de  $0,16 \text{ m}^2$ , con la finalidad de obtener agua destilada para baterías, las cuales tienen un bajo nivel de consumo de agua destilada.

En el presente trabajo se realiza el análisis exergético al referido prototipo con el objetivo de evaluar el equipo, cuantificar las energías que se pierden y se ganan con vistas a mejorar posteriormente su diseño.

## Desarrollo

Los destiladores solares tipo invernadero consisten en una bandeja o batea (en ocasiones oscurecida) aislada térmicamente, donde se almacena el agua a destilar tapada herméticamente con un vidrio liso /5/.

## Descripción

El destilador solar de fibra de vidrio de  $0,16 \text{ m}^2$  de área de captación (ver foto) consta de un depósito construido de fibra de vidrio que contiene el agua a destilar, y tiene paredes de poca altura. Una de las paredes de este recipiente (la posterior) tiene una altura mayor que la otra, para dar la inclinación necesaria al vidrio, y permitir el deslizamiento de las gotas de agua destilada por la superficie interna del mismo hasta la canal de recolección del agua destilada, construida del mismo material y con salida por un tubo de acero inoxidable que se acopla a una manguera unida directamente al pomo de recolección de agua destilada. Tiene, además, un orificio en la parte superior de la pared posterior para la entrada de agua a destilar y uno en la parte inferior para rebozo. En la parte superior, cerrando el equipo se encuentra una cubierta de vidrio inclinada a  $200$  respecto a la horizontal /3/.

El principio de funcionamiento es como sigue: Durante el funcionamiento la radiación solar atraviesa la cubierta y se absorbe en el agua y en el material del fondo del destilador. La energía absorbida calienta el agua salina y la bandeja, y ésta transfiere calor al agua, produciéndose su evaporación, e incrementando la humedad del aire cercano a la superficie del agua, lo que genera corrientes convectivas dentro del destilador. El aire húmedo y caliente sube hacia la cubierta de vidrio, donde parte del vapor de agua se condensa en la superficie interior de la cubierta de vidrio, que enfriado por el aire exterior, favorece su condensación.



Foto 1. El destilador solar de fibra de vidrio.

La pendiente de la cubierta permite el escurrido o deslizamiento del condensado hasta la canal de recolección ya como agua destilada desprovista de sales, y de ésta a un depósito convenientemente protegido de la

contaminación ambiental, quedando las sales concentradas en el fondo. El aislante térmico reduce las pérdidas caloríficas al medio. El vapor condensado debe quedar libre de sustancias contaminantes.

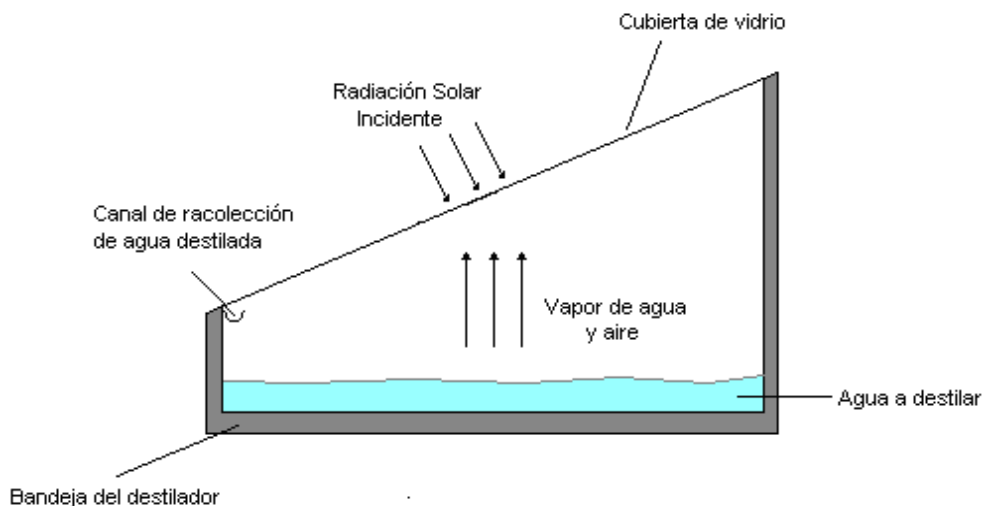


Fig. 1 Esquema de un destilador solar tipo invernadero.

Se realizó la evaluación del destilador midiendo el volumen de agua destilada por el equipo a través del día, los resultados para un día cualquiera del período evaluado se muestran en la siguiente figura.

Como puede observarse, la productividad del equipo alcanza valores de 350 mL al día, lo cual representa una productividad de 2,2 L/m<sup>2</sup> día, similar a la alcanzada por otros prototipos

desarrollados en el CIES, y en correspondencia a lo que debe esperarse de acuerdo con las condiciones ambientales existentes (nivel de radiación, temperatura ambiente, velocidad del viento).

Las ventajas del presente prototipo radican en su mayor resistencia a la intensa acción corrosiva que se manifiesta durante el funcionamiento de los destiladores solares.

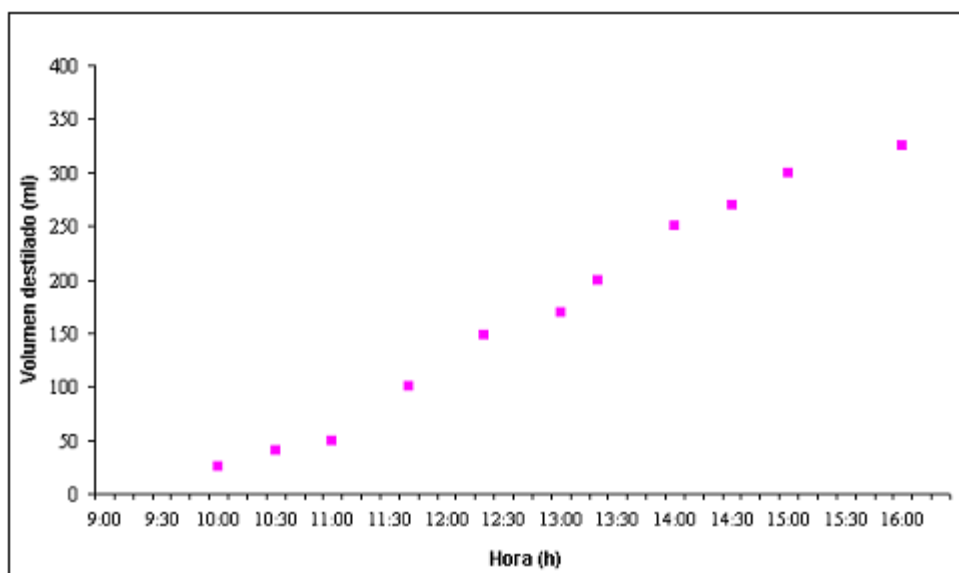


Fig. 2 Volumen acumulado de agua destilada.

## Desarrollo de los cálculos y análisis de los resultados

### ♦ Corrientes en el evaporador

1. Pérdida de calor por la bandeja.
2. Calor del vapor de agua que se evapora.

### 7. Radiación solar que recibe el evaporador.

### 3. Flujo de agua que entra al sistema.

### ♦ Corrientes en el condensador

### 4. Radiación solar que recibe el equipo.

### 5. Pérdida de calor por la cubierta de vidrio.

### 6. Flujo de agua destilada.

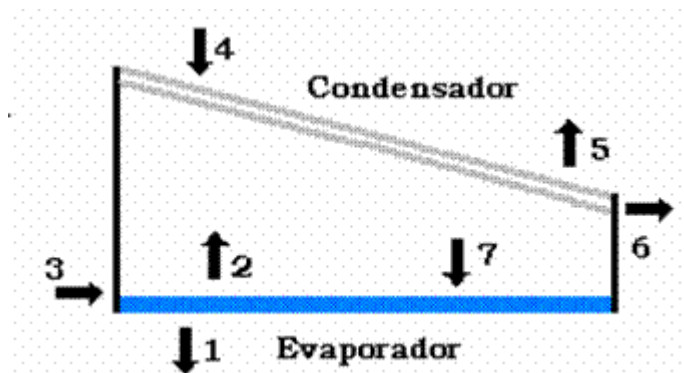


Fig. 3 Esquema del destilador solar, corrientes de flujos en el evaporador y en el condensador.

## Aplicación de la 1<sup>era</sup> ley al destilador

El balance de masa parte de la aplicación de la primera ley de la termodinámica:

Suma de masas de entrada = Suma de masas de salida

### ♦ Balance de masa

$$m_3 = m_{ar} + m_6 \quad (I)$$

$m_3$ : masa de agua que entra (3,2 kg)

$m_{ar}$ : masa de agua remanente (2,85 kg)

$m_6$ : masa de agua que sale (0,35 kg).

$$\underline{\underline{3,2 = 2,80 + 0,35}}$$

El balance térmico al destilador parte de la aplicación de la primera ley de la termodinámica:

♦ **Balance de energía**

Suma energías de entrada = Suma energías de salida

$$\underline{\underline{Q4 = m6 \cdot Cp \cdot T6 + Q1 + Q5 + m_{ar} \cdot Cp \cdot Tar}} \quad \text{(II)}$$

donde:

Q4: Energía solar que llega al destilador

Cp: Calor específico del agua

T6: Temperatura del agua destilada

Q1: Pérdidas de calor por la bandeja

Q5: Pérdidas por cubierta

Tar: Temperatura del agua remanente

$$Q4 = I \cdot A \Rightarrow Q4 = (5108 \text{ W} / \text{m}^2) \cdot (0,16 \text{ m}^2) \Rightarrow Q4 = 817,28 \text{ W} = 0,817 \text{ kW}$$

$$m6 = 0,35 \text{ kg} / 8 \text{ h} \Rightarrow m6 = 0,044 \text{ kg} / \text{h} = 1,21 \cdot 10^{-5} \text{ kg} / \text{s}$$

$$m6 \cdot Cp \cdot T6 = (1,21 \cdot 10^{-5} \text{ kg} / \text{s}) \cdot (4,17 \text{ kJ} / \text{kgK}) \cdot (315 \text{ K}) = \underline{\underline{0,016 \text{ kW}}}$$

$$m_{ar} = 2,85 \text{ kg} / 8 \text{ h} \Rightarrow m_{ar} = 0,35 \text{ kg} / \text{h} = 0,99 \cdot 10^{-5} \text{ kg} / \text{s}$$

$$m_{ar} \cdot Cp \cdot Tar = (0,99 \cdot 10^{-5} \text{ kg} / \text{s}) \cdot (4,17 \text{ kJ} / \text{kgK}) \cdot (308 \text{ K}) = \underline{\underline{0,013 \text{ kW}}}$$

$$Q1 = V_L \cdot A_L \cdot \Delta T_L + V_f \cdot A_f \cdot \Delta T_f$$

$$Q1 = ((1,9 \text{ W} / \text{m}^2 \text{K}) \cdot (0,23 \text{ m}^2) \cdot (328 \text{ K} - 302 \text{ K})) + ((2,32 \text{ W} / \text{m}^2 \text{K}) \cdot (0,16 \text{ m}^2) \cdot (328 \text{ K} - 302 \text{ K}))$$

$$Q1 = 11,362 \text{ W} + 9,651 \text{ W} \Rightarrow Q1 = 21,013 \text{ W} = \underline{\underline{0,021 \text{ kW}}}$$

Sustituyendo en (II)

$$0,817 \text{ kW} = 0,016 \text{ kW} + 0,021 \text{ kW} + Q5 + 0,013 \text{ kW}$$

Despejando las pérdidas por la cubierta de vidrio:

$$Q5 = 0,767 \text{ kW}$$

**Aplicación de la 2da ley al destilador**

Las condiciones del ambiente de referencia son:

$$T_o = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P_o = 1 \text{ atm}$$

El balance de entropía es como sigue:

Suma de entropías de entrada + entropía generada = Suma de entropías de salida

♦ **Balance de entropía**

$$\underline{\underline{S_g + \frac{Q4}{T4} = S6 + \frac{Q1}{T1} + \frac{Q5}{T5}}} \quad \text{(III)}$$

Sg: Entropía generada en el sistema.

T4: Temperatura aparente del sol (6 000 K) (1)

$$\underline{\underline{S6 = S6_{315} - S_o}}$$

S6: Entropía del agua destilada (kJ/kg · K).

S6<sub>315</sub>: Entropía del agua destilada a la temperatura de salida, 315 K. (0,5991 kJ/kg · K). (Steam Table)

S\_o: Entropía del agua destilada a la temperatura de referencia (0,3674 kJ/kg · K). (Steam Table)

T1: Temperatura de la bandeja, K

T5: Temperatura del vidrio, K

$$\underline{S'6 = 0,5991 - 0,3674 \Rightarrow S'6 = 0,2317 \text{ kJ} / \text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\underline{S6 = m6 \cdot S'6}$$

$$\underline{S6 = (1,21 \cdot 10^{-2} \text{ g} / \text{s}) \cdot (0,2317 \text{ J} / \text{gK}) \Rightarrow S6 = 0,2804 \cdot 10^{-2} \text{ W} / \text{K}}$$

$$\underline{S6 = 0,2804 \cdot 10^{-5} \text{ kW} / \text{K}}$$

Sustituyendo en (III):

$$\underline{Sg + (0,817 \text{ kW} / 6000 \text{ K}) = 0,2804 \cdot 10^{-5} \text{ kW} / \text{K} + (0,021 \text{ kW} / 328 \text{ K}) + (0,68 \text{ kW} / 313 \text{ K})}$$

$$\underline{Sg + 0,136 \cdot 10^{-3} = 0,2804 \cdot 10^{-5} + 6,4 \cdot 10^{-5} + 2,17 \cdot 10^{-3}}$$

$$\underline{- Sg = 2,237 \cdot 10^{-3} - 0,136 \cdot 10^{-3} \Rightarrow Sg = 0,00211 \text{ kW} / \text{K}}$$

El balance de exergía es como sigue:

Suma de las exergía de entrada = Suma de las exergías de salida + Destrucción de exergía

◆ **Balance exergía**

$$\underline{B4 + B3 = B6 + B1 + B5 + D} \quad \text{(IV)}$$

$$\underline{B4 = Q4 \cdot \left(1 - \frac{T3}{T4}\right)}$$

B6: Exergía del agua destilada

B1: Exergía de la pérdidas por la bandeja

B5: Exergía de la pérdida por cubierta

D: Destrucción de exergía

$$B4 = 0,817 \text{ kW} \cdot \left(1 - \frac{302 \text{ K}}{6000 \text{ K}}\right) \Rightarrow B4 = 0,776 \text{ kW}$$

T3: Temperatura del agua a la entrada, K.

B4: Exergía de la radiación solar absorbida

B3: Exergía del agua de entrada

$$\bullet B3 = (h_{54^{\circ}\text{C}} - h_{25^{\circ}\text{C}}) - Ta \cdot (S_{54^{\circ}\text{C}} - S_{25^{\circ}\text{C}})$$

$$\underline{h_{54^{\circ}\text{C}} = 226,04 \text{ kJ} / \text{kg}, \quad h_{25^{\circ}\text{C}} = 104,89 \text{ kJ} / \text{kg}}$$

$$\underline{S_{54^{\circ}\text{C}} = 0,7552 \text{ kJ} / \text{kg} \cdot \text{K}, \quad S_{25^{\circ}\text{C}} = 0,3674 \text{ kJ} / \text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\underline{B'3 = (226,04 \text{ kJ} / \text{kg} - 104,89 \text{ kJ} / \text{kg}) - 298 \text{ K} \cdot (0,7552 \text{ kJ} / \text{kg} \cdot \text{K} - 0,3674 \text{ kJ} / \text{kg} \cdot \text{K})}$$

$$\underline{B'3 = 121,15 \text{ J} / \text{g} - 298(0,3878) \text{ J} / \text{g}}$$

$$\underline{B'3 = 121,15 \text{ J} / \text{g} - 115,56 \text{ J} / \text{g}}$$

$$\underline{B'3 = 5,59 \text{ J} / \text{g}}$$

$$\underline{- B3 = m3 \cdot B'3}$$

$$\underline{m6 = 3,2 \text{ kg} / 8 \text{ h} \Rightarrow m3 = 0,4 \text{ kg} / \text{h} = 1,11 \cdot 10^{-4} \text{ kg} / \text{s}}$$

$$\underline{B3 = (0,11 \text{ g} / \text{s}) \cdot (5,59 \text{ J} / \text{g}) \Rightarrow B3 = 0,61 \text{ W} = 0,61 \cdot 10^{-3} \text{ kW}}$$

$$\bullet \quad \underline{B_6 = (h_{42^\circ\text{C}} - h_{25^\circ\text{C}}) - T_a \cdot (S_{42^\circ\text{C}} - S_{25^\circ\text{C}})}$$

$$\underline{B'_6 = (175,91 \text{ kJ/kg} - 104,89 \text{ kJ/kg}) - 298 \text{ K} \cdot (0,60 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} - 0,37 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K})}$$

$$\underline{B'_6 = 71,02 \text{ J/g} - 298 \text{ K} \cdot (0,2317 \text{ J/g}\cdot\text{K})}$$

$$\underline{B'_6 = 71,02 \text{ J/g} - 69,05 \text{ J/g}}$$

$$\underline{B'_6 = 1,97 \text{ J/g}}$$

$$\underline{= B_6 = \dot{m}_6 \cdot B'_6}$$

$$\underline{m_6 = 0,35 \text{ kg/8h} \Rightarrow m_6 = 0,044 \text{ kg/h} = 1,21 \cdot 10^{-5} \text{ kg/s}}$$

$$\underline{B_6 = (1,21 \cdot 10^{-2} \text{ g/s}) \cdot (1,97 \text{ J/g}) \Rightarrow B_6 = 0,02383 \text{ W} = 0,024 \cdot 10^{-3} \text{ kW}}$$

$$\bullet \quad \underline{B_1 = Q_1 \cdot \left(1 - \frac{T_o}{T_f}\right)}$$

$$\underline{B_1 = 0,021 \text{ kW} \cdot \left(1 - \frac{298 \text{ K}}{328 \text{ K}}\right) \Rightarrow B_1 = 1,921 \cdot 10^{-3} \text{ kW}}$$

$$\bullet \quad \underline{B_5 = Q_5 \cdot \left(1 - \frac{T_o}{T_5}\right)}$$

$$\underline{B_5 = 0,68 \text{ kW} \cdot \left(1 - \frac{298 \text{ K}}{313 \text{ K}}\right) \Rightarrow B_5 = 32,588 \cdot 10^{-3} \text{ kW}}$$

Sustituyendo en (IV):

$$\underline{B_4 + B_3 = B_6 + B_1 + B_5 + D}$$

$$0,776 \text{ kW} + 0,61 \cdot 10^{-3} \text{ kW} = 0,000 02 \text{ kW} + 0,02 \cdot 10^{-2} \text{ kW} + 0,032 \text{ kW} + D$$

$$D = 0,777 - 0,034$$

$$D = 0,743 \text{ kW}$$

$D = 0,743 \text{ kW}$ , valor de la destrucción de exergía.

$$\bullet \quad \underline{B'_2 = (h_{\text{VAP}42^\circ\text{C}} - h_{\text{VAP}25^\circ\text{C}}) - T_o \cdot (S_{\text{VAP}42^\circ\text{C}} - S_{\text{VAP}25^\circ\text{C}})}$$

$$\underline{B'_2 = (2577,9 \text{ kJ/kg} - 2547,2 \text{ kJ/kg}) - 298 \text{ K} \cdot (8,2197 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} - 8,5580 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K})}$$

$$\underline{B'_2 = 30,7 \text{ kJ/kg} - 298 \text{ K} \cdot (-0,3383 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K})}$$

$$\underline{B'_2 = 131,51 \text{ J/g}}$$

$$\bullet \quad \underline{B_2 = \dot{m}_2 \cdot B'_2}$$

$$\underline{B_2 = (1,21 \cdot 10^{-2} \text{ g/s}) \cdot (131,51 \text{ J/g}) \Rightarrow B_2 = 1,5913 \text{ W} = 1,59 \cdot 10^{-3} \text{ kW}}$$

$$Q7 = \tau_v \cdot Q4 \quad [1]$$

$$Q7 = (1 - \alpha_v - \rho_v) \cdot Q4$$

$$Q7 = (1 - 0,05 - 0,05) \cdot 0,817$$

$$Q7 = 0,9 \cdot 0,817 \Rightarrow Q7 = 0,735 \text{ kW}$$

$$B7 = Q7 \left( 1 - \frac{T_o}{T4} \right)$$

$$B7 = 0,735 \text{ kW} \left( 1 - \frac{328 \text{ K}}{6000 \text{ K}} \right) \Rightarrow B7 = 0,661 \cdot (0,945) \Rightarrow B7 = 0,695 \text{ kW}$$

### Cálculo de las eficiencias

- **Eficiencia energética**

$$\eta_{exerg} = \frac{En_{UTIL}}{En_{ENTRA}} \quad [2]$$

$$\eta_{exerg} = (350 \text{ g} \cdot 2398 \text{ J/g}) / (0,817 \cdot 3600)$$

$$\eta_{exerg} = 839,3 / 2941,2$$

$$\eta_{exerg} = 0,29 \cdot 100 \Rightarrow \underline{\underline{\eta_{exerg} = 29\%}}$$

donde:

m: masa de agua a la salida (agua evaporada,  
m = 0,35 kg)

$\lambda$ : calor de vaporización para una temperatura  
de 42 C, = 2 398 J/g [4]

H: radiación que llega igual a Q4 = 0,817 kW

- **Eficiencia exergética**

$$\eta_{exerg} = \frac{En_{UTIL}}{En_{ENTRA}}$$

$$\eta_{exerg} = (350 \text{ g} \cdot 2398 \text{ J/g}) / (0,817 \cdot 3600)$$

$$\eta_{exerg} = 839,3 / 2941,2$$

$$\eta_{exerg} = 0,29 \cdot 100 \Rightarrow \underline{\underline{\eta_{exerg} = 29\%}}$$

### Resultados del balance de masa

Tabla 1. Valores obtenidos en el balance de masa

Masa de agua que entra (kg)	Masa de agua remanente (kg)	Masa de agua que sale (kg)
3,20	2,85	0,35

### Resultados del balance energético

Tabla 2. Valores obtenidos en el balance energético

Energía que entra (kW)	Energía remanente (kW)	Energía que sale (kW)	Pérdidas por la bandeja (kW)	Pérdidas por el vidrio (kW)
0,817	0,013	0,016	0,021	0,68

### Resultado del balance de entropía

Tabla 3. Valores obtenidos en el balance de entropía

Entropía generada (kW/K)
0,002 1



---

## Resultados del balance de exergía y eficiencia

Tabla 4. Valores obtenidos en el balance exergético y resultados de la eficiencia energética y exergética

Exergía de la radiación solar (kW)	Exergía del agua que entra (kW)	Exergía del agua que sale (kW)	Exergía de las pérdidas por bandeja (kW)	Exergía de las pérdidas por el vidrio (kW)
0,776	0,000 80	0,000 04	0,002	0,032
Exergía del agua evaporada (kW)	Exergía de la radiación solar que llega al evaporador (kW)	Destrucción de la exergía (kW)	Eficiencia energética (%)	Eficiencia exergética (%)
0,001 39	0,695	0,743	29	0,003

En la tabla 1 se observan los valores obtenidos del balance de masa; en la tabla 2 se encuentran los resultados del balance energético. Como se puede ver, las pérdidas más elevadas están en la cubierta de vidrio con valor de 0,68 kW, mientras que por la bandeja es de 0,021 kW, como es de esperar debido al aislamiento térmico de la bandeja.

El balance de entropía permitió determinar la entropía generada en el sistema, la cual se encuentra en la tabla 3, con un valor pequeño, lo que indica un funcionamiento adecuado del equipo.

Se realizó el balance exergético y se calcularon las exergías de la radiación solar, del agua que entra al destilador, la del agua destilada y las exergías de las pérdidas del equipo, las que se visualizan en la tabla 4, al igual que el valor de la destrucción de exergía, el cual presenta un valor de 0,743 kW. Este valor mientras más pequeño sea, favorecerá las eficiencias de los equipos en general.

Finalmente, se obtuvieron las eficiencias energéticas y exergéticas del destilador, dando como resultado 29 % y 0,003 %, respectivamente. El valor de la eficiencia energética se encuentra entre los valores esperados de estos equipos, el cual generalmente oscila entre el 30 al 55 %.

La eficiencia exergética da un valor pequeño, ya que el agua de salida presenta niveles bajos de temperaturas, aunque en este caso no es de interés que este fluido presente altos niveles de exergía, ya que su utilidad posterior reside en sus

usos como agua destilada, y no en su posible valor como portador energético.

## Conclusiones

- Se realizó un análisis termodinámico del destilador solar de fibra de vidrio, determinándose que la eficiencia energética se encuentra entre los valores esperados de estos dispositivos. El cálculo de la entropía generada muestra que no ocurre una alta generación de entropía, lo que hace pensar que el comportamiento del equipo es adecuado.
- La destrucción de exergía en el equipo es de 0,743; lo que desde el punto de vista termodinámico no es adecuado, por lo que el análisis del destilador debe realizarse con un concepto más amplio que contemple el valor de uso de agua destilada.
- La eficiencia exergética presenta valores pequeños. Con ello se reafirma el concepto de que el valor exergético del agua destilada obtenida radica fundamentalmente en su valor de uso y no en su potencial energético.

## Nomenclaturas

**Q4:** Energía que entra en forma de calor al destilador procedente del sol, kW

**Q7:** Energía solar que entra al destilador, kW

**Cp:** Calor específico del agua, kJ/kg °C

---

**Tas:** Temperatura del agua a la salida del destilador, K

**Q1:** Pérdidas caloríficas por la bandeja, W

**Q2:** Pérdidas caloríficas por la cubierta de vidrio, W

**Tar:** Temperatura del agua remanente en el destilador, K

**I:** Intensidad de la radiación solar, W

**A:** Área de la cubierta del destilador, m<sup>2</sup>

**VL:** Pérdidas globales por los laterales, W/ m<sup>2</sup> K

**AL:** Área del lateral del equipo, m<sup>2</sup>

**TL:** Temperatura de los laterales del equipo, K

**Vf:** Pérdidas globales por el fondo, W/ m<sup>2</sup> K

**Af:** Área del fondo del equipo, m<sup>2</sup>

**Tf:** Temperatura del fondo de destilador, K

**Tv:** Temperatura del vidrio, K

**$\tau$ v:** Transmisividad del vidrio

**$\alpha$ v:** Absorbencia del vidrio

**$\rho$ v:** Reflectividad del vidrio.

## Bibliografía

1. Duffie J. Beckman W, : Solar Engineering of thermal processes, 1997
2. Malik, M. A. *et al.* : Solar distillation, Pergamon Press. Gran Bretaña, 1982.
3. Fonseca S, Diseño, Construcción y prueba de un destilador solar de fibra de vidrio. Memorias del 7mo Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica. México, 2005.
4. Paulov F.K.: Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aparatos en tecnología química, Editorial Mir, 1981.
5. Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. I Jornada Iberoamericana en energías renovables, producción de agua potable para pequeños grupos humanos CYTED. Subprograma VI: Nuevas Fuentes y Uso Racional de la Energía, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, 1999.