

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN DESTILADOR SOLAR DE CASETA

Alfonso Santos Jaimes, Ingeniería Mecánica, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga
Recibido Marzo 4, 2009 – Aceptado abril 14, 2009
<http://dx.doi.org/10.18566/puente.v3n1.a01>

Resumen— En las últimas décadas, se ha acelerado el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan controlar el consumo de energía proveniente de hidrocarburos, debido principalmente a la disminución de las reservas mundiales existentes y su alto grado de contaminación ambiental. Dentro de estas nuevas alternativas se encuentra la energía proveniente de la radiación solar, la cual puede ser utilizada en procesos sencillos como lo es el calentamiento de agua, y complejos como la obtención de energía eléctrica. La presente investigación busca diseñar, construir y caracterizar un destilador solar de caseta, para mejorar la calidad de agua de consumo humano en zonas donde no se cuenta con ningún método de desinfección.

A partir de la determinación de la irradiación solar anual, en la zona metropolitana de Bucaramanga y con la ayuda del software Solid Edge se diseñó un destilador solar, que fuera fácil de construir y permitiera variar parámetros de funcionamiento del sistema para determinar como influyen en la eficiencia térmica del equipo.

Los ensayos realizados permitieron observar como varia la eficiencia térmica del sistema en función del nivel de agua dentro del colector – evaporador; e identificar cual es el impacto del destilador en la desinfección del agua proveniente de las quebradas Mensuli y Palmichala del Municipio de Floridablanca.

Se concluye que el nivel de agua dentro del colector – evaporador del destilador afecta de forma inversa la eficiencia térmica del equipo y su variación es de forma polinomial de tercer grado. Respecto a la desinfección del agua destilada se determina una reducción del 99.95% de los coliformes fecales y totales presentes en la muestra.

Palabras clave— Destilación Solar, Coliformes Totales, Energías Renovables, Desinfección Solar.

Abstract— In recent years, it has been a faster growing of new technologies capable to control fossil fuels consumption due to depletion of world stocks and its contribution to environmental pollutions. One of this new technologies deals with solar energy and its possibility to be used for simple purposes like water heating or very complex like electricity production, this research work looks forward to design built and study a solar distiller in order to improve the water quality for human consumption in areas with no other method available.

The equipment was designed using data for average solar radiation in the area of Bucaramanga and the CAD software sold edge. Performed test allowed to study thermal efficiency as a function of water level inside the equipment. As a major achievement, it was possible to determine that water level is inversely proportional to the thermal efficiency and that is possible to obtain an overall reduction of 99,97% of the fecal and total coliforms in the sample.

Keywords— Solar Distillation, Total Coliforms, Renewable Energies, Solar Disinfection.

I. INTRODUCCIÓN

La energía solar se puede considerar como la fuente del resto de energías alternativas en mayor o menor medida; por ejemplo, de una manera indirecta es la causante del calentamiento de los vientos, lo que origina el movimiento de los mismos, y se aprovechan a través de aerogeneradores eólicos; también calienta las aguas y produce su evaporación, la cual vuelve en forma de precipitación mediante el ciclo del agua y llena los embalses, pudiendo utilizar su energía potencial a través de la energía hidráulica. Por supuesto, se puede obtener un aprovechamiento directo de la energía solar a través de efectos térmicos o fotónicos.

La energía solar térmica es la que aprovecha la radiación infrarroja del sol para generar calor

¹ Magister en Ingeniería Mecánica; Profesor Asistente UPB, Seccional Bucaramanga; Facultad de Ingeniería Mecánica; Miembro Grupo de Investigación GIDETECHMA; asantosj@upbbga.edu.co

que se destina, principalmente, a la producción de agua caliente sanitaria, calefacción y calentamiento del agua en piscinas. Otras aplicaciones menos usuales son la cocción de alimentos, el secado de productos, la desinfección de agua, la refrigeración ó la generación de electricidad mediante vapor de agua. [1]

Los destiladores Solares son sistemas térmicos de aprovechamiento de energía solar, cuya función principal consiste en desinfectar agua a través del mismo principio de operación que utiliza la naturaleza en el ciclo hidrológico: se evapora agua de embalses, ríos, quebradas, etc. y se condensa a través de precipitaciones en forma de lluvia.

El destilador solar se desarrolló inicialmente para utilizarse en islas y en general en regiones áridas costeras para obtener agua potable a partir de agua de mar. Sin embargo, en la búsqueda de tecnologías alternativas para suministrar agua potable a pequeñas comunidades y familias, el destilador solar resulta ser una buena alternativa, no sólo para la remoción de sales presentes en el agua, sino también para eliminar los microorganismos patógenos que ésta pueda contener.

El destilador de caseta es el más conocido y difundido en el mundo y consiste en una caseta de material semitransparente, generalmente vidrio, que se coloca sobre una bandeja que contiene agua a destilar. Por la forma de la caseta y la forma en que ésta atrapa el calor, proveniente de la energía solar, les ha valido el nombre de “destiladores de invernaderos”. El efecto “invernadero” hace que la temperatura del interior se eleve hasta temperaturas del orden de 50 a 600C [2].

Estos equipos cuando tienen láminas de agua de 1,5 a 2 cm. de espesor, bajo condiciones de alta insolación, baja temperatura del aire ambiente y vientos apreciables (2 m/s o más) llegan a producir hasta un máximo de 3 a 5 L de agua destilada por cada metro cuadrado de superficie cada día. El valor característico de producción de los destiladores solares es del orden de 1 m³ de agua por metro cuadrado de captación por año [2].

La mayoría de los estudios realizados a los destiladores solares, muestran una dependencia directa de las condiciones medioambientales

presentes en las zonas donde se desea implementar este tipo de equipos; debido a esto y a la falta de información verificable sobre las condiciones adecuadas de los parámetros de funcionamiento que influyen directamente en la eficiencia del sistema, se hace necesario implementar un prototipo que permita determinar como afecta cada uno de dichos parámetros el aprovechamiento de esta fuente de energía renovable.

La dependencia del grado de desinfección bacteriológica alcanzada con respecto al nivel de agua contenida dentro del colector evaporador, sugiere la utilización de contenedores de hasta 10 cm. de profundidad con el fin de obtener una mayor eficiencia de desinfección en un menor tiempo de exposición solar del equipo [3].

La eficiencia térmica de un destilador solar se define como el cociente entre el calor transferido del evaporador al condensador por el mecanismo de evaporación – condensación, dividido entre la irradiación durante el período de pruebas. Una forma de medir el calor por evaporación condensación, es cuantificar el volumen de destilado y multiplicarlo por su calor latente de evaporación. [4]

Teórica y experimentalmente se ha demostrado que los destiladores de caseta tienen una eficiencia porcentual máxima del orden de 30 a 35% [4], valor que depende no solo de factores atmosféricos como lo son: la magnitud de la irradiación solar, la temperatura ambiente y la velocidad de los vientos, sino también del diseño del destilador solar.

En la medida en que se minimiza la lámina de agua dentro del colector – evaporador, es posible maximizar la producción de destilado; además la diferencia en el tiempo de evaporación de 50 mililitros de agua en láminas de 8 y 12 mm no es considerable, por lo cual recomienda la utilización de niveles de agua de 10 mm dentro del destilador. [5]

La radiación solar en el territorio colombiano oscila entre 2.5 a 7.0 KW/m² día [6], lo que representa un potencial energético que puede ser utilizado con fines de imitar el proceso natural de purificación de agua a través del ciclo hidrológico.

Los destiladores solares son sistemas de fácil funcionamiento y bajo costo, que a través del uso de la energía suministrada por el sol, elevan

la temperatura del agua por un espacio suficiente de tiempo en contenedores acondicionados para lograr la absorción del calor proveniente de la radiación; por tal motivo estos equipos pueden representar una alternativa viable para la desinfección de agua para consumo humano proveniente de fuentes sin ningún tipo de tratamiento de potabilización.

La desinfección es el proceso que se lleva a cabo para eliminar o controlar los microorganismos en el agua, que pudieran afectar negativamente su calidad, causando, entre otras cosas, enfermedades debidas a la actividad microbiana. Debe notarse la diferencia entre desinfección y esterilización, la cual destruye todos los organismos [7].

Recientemente se han llevado a cabo numerosos estudios con el fin de determinar en qué condiciones es posible la desinfección con luz solar. Los resultados de estos estudios demuestran que es posible, sobre todo en lugares ubicados en los trópicos, donde la radiación solar incidente alcanza un cierto nivel ($> 500\text{W/m}^2$), es posible la desinfección de pequeños volúmenes de agua contenidos en envases de vidrio o plástico [8].

Dada las implicaciones de salud asociadas al consumo de agua no apta para la ingesta; se hace necesario desarrollar un equipo de destilación que permita un buen aprovechamiento de la energía disponible, un mayor entendimiento de los fenómenos presentes en la destilación y un impacto positivo en las propiedades microbiológicas del agua desinfectada a través de radiación solar.

Las muestras de agua a destilar son seleccionadas de manera aleatoria y tomadas directamente de las quebradas Mensuli y Palmichala, ubicadas en la zona rural del municipio de Floridablanca (Santander); estas muestras se introducen en el destilador y a través de su evaporación mediante el uso de radiación solar y posterior condensación, pueden mejorar sus características microbiológicas como lo son los coliformes totales y fecales.

II. PROBLEMA O SITUACIÓN DE ESTUDIO

Según el Estudio realizado por la UNICEF “La infancia, el agua y el saneamiento básico en los planes de desarrollo departamentales y municipales, los niños por su tamaño, fisiología y comportamiento, son más vulnerables que los adultos a los riesgos ambientales y más

específicamente a los que están relacionados con la provisión deficiente de agua potable y saneamiento básico. De acuerdo con la organización Panamericana de la Salud, en América Latina el 7 % de las muertes de niños menores de 5 años son causadas por enfermedades asociadas con el agua, mientras que para Colombia dicho indicador es 9% [9].

A pesar que existen medios alternativos que permiten mejorar las condiciones del agua utilizada para la ingesta de las personas, estos sistemas no están siendo utilizados, debido principalmente a la falta de difusión de las ventajas que presentan, entre las cuales se destacan su fácil operación, bajo costo y buena eficiencia térmica.

Uno de los métodos de desinfección más simple y menos costoso para suministrar agua de calidad aceptable para el consumo humano, es la radiación solar. Este método es ideal cuando las condiciones económicas y socioculturales de la comunidad ponen en riesgo la sostenibilidad de otras alternativas de tratamiento y desinfección, como la filtración o el uso de cloro, aún cuando éstas también sean reconocidas como simples y económicas.

La Organización Mundial de la Salud considera la desinfección solar como una opción válida, pero sólo como un “método menor y experimental”. Aún así en áreas donde no hay otro medio disponible para desinfectar el agua, puede mejorar sustancialmente la calidad bacteriológica de la misma.

La mayoría de los estudios realizados a los destiladores solares, muestran una dependencia directa de las condiciones medioambientales presentes en las zonas donde se desea implementar este tipo de equipos; debido a esto y a la falta de información verificable sobre las condiciones adecuadas de los parámetros de funcionamiento que influyen directamente en la eficiencia del sistema, se hace necesario implementar un prototipo que permita determinar como afecta cada uno de dichos parámetros el aprovechamiento de esta fuente de energía renovable. Por tales razones es importante tener información sobre ¿Cuál es la eficiencia térmica promedio de un destilador solar?, ¿Cómo influye la radiación solar, la altura del nivel de agua a destilar y el flujo de agua entre el reservorio y la placa colectora en la eficiencia de un destilador solar? y ¿Cuáles son las mejoras reales en el agua destilada a través del uso de Energía Solar?

III. DISEÑO DEL DESTILADOR SOLAR

El proceso de diseño se dividió en cuatro etapas, la primera consistió en determinar la cantidad de radiación solar presente en el área metropolitana de Bucaramanga; en la segunda etapa se definió los componentes del sistema y su funcionalidad; en la tercera se dimensionó los constituyentes más importantes del destilador, para garantizar las cantidades de agua destilada necesaria y en la última etapa se dibujo a través de Solid Edge la disposición final de cada una de las partes que componen el sistema de destilación.

Radiación Solar en el Área Metropolitana de Bucaramanga

La radiación solar promedio es indispensable para poder dimensionar las partes del destilador solar, entre mayor sea la radiación, menor debe ser el área de exposición para obtener una cantidad de agua de destilado.

Los valores diarios promedio de la radiación solar en el área metropolitana de Bucaramanga fueron tomados de las estaciones de la CDMB ubicadas en la zona centro, la PTAR y la UIS; durante el año 2006 [10]. En la figura 1 se encuentran los valores promedios mensuales y en la figura 2 los valores promedio a lo largo de las 24 horas del día durante el año analizado.

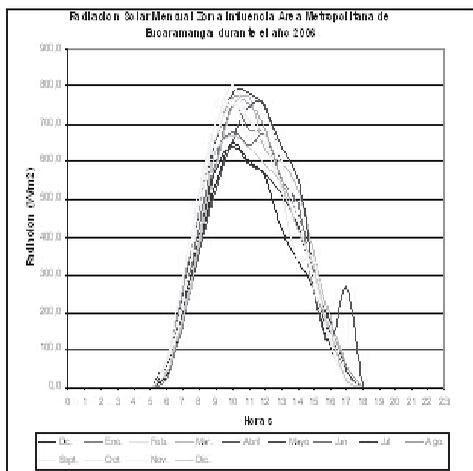


Figura 1. Radiación Solar Mensual Promedio en el Área Metropolitana de Bucaramanga durante el año 2006

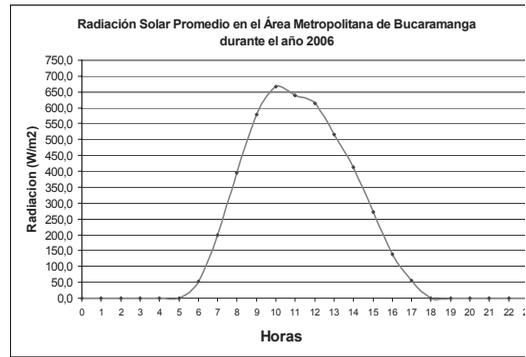


Figura 2. Radiación Solar Anual Promedio en el Área Metropolitana de Bucaramanga durante el año 2006

La radiación solar promedio en el área metropolitana de Bucaramanga durante el año 2006, tuvo un valor máximo de 668 W/m^2 entre las 10:00 y 11:00 de la mañana. Esto indica que a pesar de estar ubicada en la zona ecuatorial de la tierra, factores externos como nubosidad, contaminación ambiental, cambios climáticos, etc. solo permiten aprovechar un 66.6% de la energía disponible en el mejor de los casos.

Las figuras 1 y 2 muestran que las mejores horas de aprovechamiento solar están comprendidas entre las 8:00 de la mañana hasta las 4:00 de la tarde; debido a esto las dimensiones necesarias de un destilador solar deben ser calculadas a partir del valor promedio de la radiación en este intervalo de tiempo.

Componentes del Sistema de Destilación

El prototipo experimental, se basa en un destilador solar de una sola pendiente y dos casetas, cada una de las cuales consta de un colector - evaporador, un condensador, 3 sensores de temperatura y un sistema de circulación de agua; todo montado sobre una estructura metálica.

Colector – Evaporador. Es la parte encargada de acumular el calor originado por la radiación solar y transferirlo al agua a través del fenómeno de conducción; en este recipiente se produce la evaporación del agua a destilar debido a un incremento de la presión de saturación del agua presente en el aire originado por el aumento de temperatura.

Condensador. Se encarga de disminuir la temperatura del aire que entra en contacto con él, para producir una reducción en la cantidad de vapor presente en el aire a través del proceso de condensación.

Sensores de Temperatura. Las temperaturas dentro del destilador dependen directamente de la radiación solar incidente sobre el equipo y de su capacidad de almacenamiento de energía; en un destilador de caseta las temperaturas internas máximas alcanzan los 80 °C.

Sistema de Circulación de Agua. Este sistema consta de bombas, tuberías, válvulas de compuerta, tanques de almacenamiento y mangueras plásticas. Su función consiste en recoger y almacenar el agua destilada

Dimensionamiento del Destilador

La parte que más influye en el volumen de destilado es el colector – evaporador, debido a esto fue la base sobre la cual se diseñó todo el equipo. Este sistema es el encargado de coleccionar la radiación solar y evaporar el agua almacenada dentro de él, se dimensionó según la ecuación 1.

$$\eta_{termica} = \frac{m_d * \Delta H_{vap}}{H_s * A} \Rightarrow A = \frac{m_d * \Delta H_{vap}}{\eta_{termica} * H_s} \quad (1)$$

Los datos tomados para el cálculo son los siguientes:

m_d = masa de destilado requerida; el valor requerido para poder hacer las pruebas bacteriológicas en el laboratorio es de aproximadamente 0.7 kilogramos.

ΔH_{vap} = Calor de vaporización del agua; para una temperatura de 50°C este valor es de 2382 kJ/kg. [10]

$\eta_{termica}$ = eficiencia térmica; la eficiencia típica de un destilador solar de un solo compartimento se acerca al 60% [11], como no se logró conseguir un valor exacto de la eficiencia se asume el 80% del valor aproximado conseguido en la literatura, por lo tanto se define un valor del 48% para la determinación del área requerida.

H_s = irradiación correspondiente al municipio de Floridablanca – Santander; según los datos del IDEAM [12] la irradiación promedio en la zona metropolitana de Bucaramanga es de $529 \text{ W/m}^2 = 11426 \text{ KJ/m}^2$ entre las 9:00 de la mañana y las 3:00 de la tarde; tiempo en el cual se realizarán las pruebas del destilador. Con los datos tomados se tiene:

$$A = \frac{m_d * \Delta H_{vap}}{\eta_{termica} * H_s} \Rightarrow A = \frac{0.7 \text{ kg} * 2382.0 \text{ kJ/kg}}{0.48 * 11426.4 \text{ kJ/m}^2}$$

$$A = \frac{1667.4 \text{ kJ}}{5484.7 \text{ kJ/m}^2}$$

$$A = 0.305 \text{ m}^2$$

Para determinar las dimensiones del colector evaporador se agrega un 20% adicional de área a los cálculos teóricos, con el fin de poder eliminar incertidumbres tomadas a la hora de definir los valores utilizados para el cálculo.

$$A_{colector-evaporador} = 0.305 \text{ m}^2 * 1.2 = 0.365 \text{ m}^2$$

La forma del colector será rectangular, por consiguiente se tiene:

$$0.365 \text{ m}^2 = \text{Ancho} * \text{Largo}$$

Tomando un ancho de la caseta de 0.5 metros, por consiguiente un valor para el colector de 0.47 metros se tiene:

$$0.365 \text{ m}^2 = 0.47 \text{ m} * \text{Largo}$$

$$L = \frac{0.365 \text{ m}^2}{0.47 \text{ m}} = 0.77 \text{ m}$$

La caseta es el recipiente dentro del cual se coloca el sistema colector – evaporador y el condensador es la tapa de esta estructura. Las dimensiones son ligeramente superiores a las del colector – evaporador con el fin de poder introducir y retirar este sistema de forma fácil y rápida. La pendiente de la caseta es de 15° para facilitar el desplazamiento del condensado hacia el tanque de almacenamiento.

Dibujo en Solid Edge del Prototipo de Destilador

La herramienta de CAD (Dibujo Asistido por Computador) Solid Edge, permite dibujar cada uno de los componentes del sistema e integrarlos dentro de una estructura con el fin de visualizar la forma final del equipo

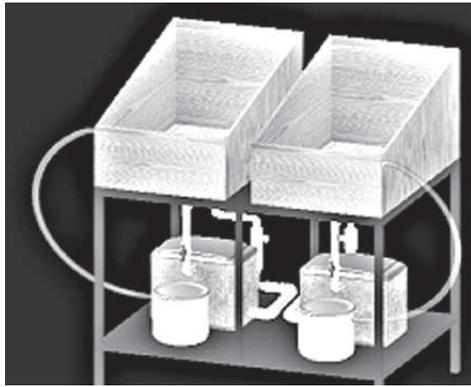


Figura 3. Esquema general de destilador

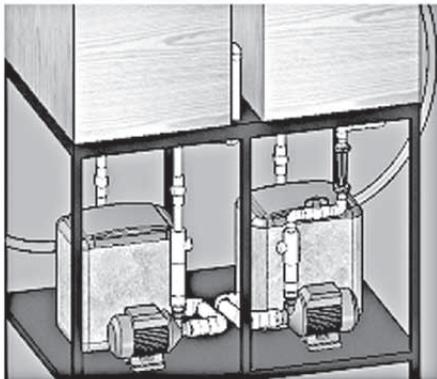


Figura 4. Detalle del Sistema de Bombeo y Circulación de Agua

En la figura 3 se observan las caseta, los tanques de almacenamiento, tuberías y mangueras; además de la disposición de cada uno de ellos dentro de la estructura base del destilador.

En la figura 4 se detalla los sistemas de bombeo y medición de flujo presentes en el prototipo.

El software Solid Edge permitió definir la mejor ubicación de cada una de las partes del destilador con el fin de obtener un equipo compacto y móvil con el fin de facilitar las pruebas.

IV. CONSTRUCCIÓN DEL DESTILADOR

Con base en los dibujos y cálculos realizados se procedió a seleccionar los materiales más adecuados para esta aplicación para su construcción.

En la figuras 5 y 6 se detallan las características finales del destilador de caseta construido.

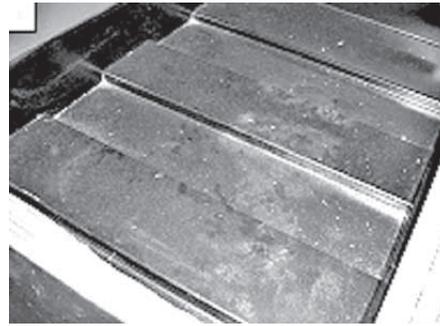


Figura 5 Colector – Evaporador del Destilador Solar

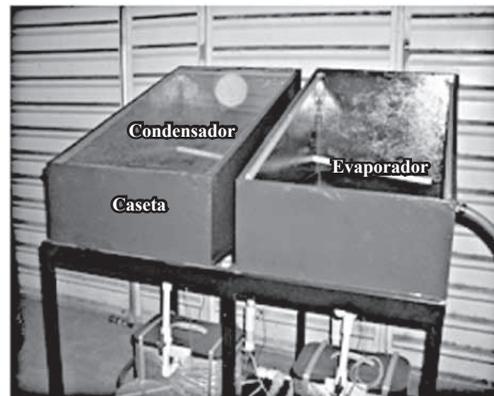


Figura 6 Destilador Solar construido

El colector – evaporador se construyó (figura 5) en lámina de zinc para tener una buena conducción de calor hacia el agua; con un espesor de 1/16” para facilitar su construcción y pintado de color negro mate para mejorar la captación de irradiación solar.

La caseta entamborada² se construyó de madera triplex rellena con fibra de vidrio, para disminuir la pérdida de calor almacenado en su interior hacia el medio ambiente.

El condensador (figura 6), está fabricado de vidrio, material transparente y rígido que permite el paso de la radiación solar y a su vez se encuentra a una temperatura inferior al aire interno de la caseta para permitir la condensación de vapor de agua presente en el medio. Las dimensiones del condensador se pueden observar en el Anexo A; el espesor del vidrio utilizado es de 5 mm.

² Superficies construidas en material resistente y espacio interior vacío o relleno de una material con características diferentes.

La estructura se construyó en tubo de sección rectangular de 2 x 1 pulgada y espesor de 1/16". Estos valores obedecen más a la apariencia estética del destilador ya que desde el punto de vista de esfuerzos los requerimientos son mucho más bajos. Tomando un esfuerzo de fluencia del material de 250 MPa y un peso total del destilador más el agua a destilar de 980 Newton, se tiene según la ecuación 2, un factor de seguridad bajo carga axial de:

$$n = \frac{\sigma_{permisible}}{\sigma_{diseño}} \quad (2)$$

$$n = \frac{125 * 10^6 Pa}{1.06 * 10^6 Pa} = 118$$

El sensor de flujo seleccionado es un rotámetro, cuyo caudal máximo es de 6 L/min y puede ser usado hasta temperaturas de 80 °C. Como las temperaturas máximas que se desean alcanzar con un destilador de caseta no sobrepasan un valor de 80 °C, se decidió utilizar como sensores de temperatura termocuplas tipo J, cuyo rango de medición es de (-200 a 760 °C).

Para el sistema de flujo de agua se seleccionó una bomba que suministrará un bajo caudal, con el fin de tener una velocidad de flujo dentro del colector – evaporador bastante baja. La bomba centrifuga utilizada fue de ¼ caballo de potencia a 110 V. El sistema de distribución se construyó con tubería de Policloruro de Vinilo (PVC) de ½ pulgada de diámetro. Como el máximo caudal (ecuación 3) que se buscaba implementar es de 5 L/min se tiene una velocidad de flujo máximo de:

$$Q = v * A \Rightarrow v = \frac{Q}{A} \quad (3)$$

$$v = \frac{0.005 m^3 / min}{\pi * 0.00635^2 m^2} \Rightarrow v = 0.25 m / min$$

Además de la tubería se utilizó dos válvulas de compuerta para cada colector – evaporador con el fin de poder controlar la cantidad de agua a la entrada del sistema y evitar -en el caso de que no se requiera flujo de agua- que se desplace hacia los tanques de almacenamiento.

Para el almacenamiento del agua que se recircula se utilizó recipientes plásticos a los cuales se les recubrió con fibra de vidrio para evitar pérdidas significativas de calor hacia el

medio ambiente. El agua destilada entregada por el sistema se recolecta mediante canales ubicados en la parte más baja de la caseta y son llevados a tanques plásticos mediante manguera flexible de ½" de diámetro.

V. CARACTERIZACIÓN DEL DESTILADOR

Para caracterizar el equipo se realizaron pruebas en condiciones medioambientales no controladas, con el fin de determinar la eficiencia térmica que alcanza el destilador y el grado de desinfección microbiológica que tiene el destilado después del proceso.

Eficiencia térmica del Destilador

Para determinar la eficiencia térmica del destilador en función del nivel de agua dentro del colector – evaporador se realizaron 5 pruebas para cada una de las siguientes condiciones: 1, 1.5, 2, 3, 5 y 6 cms de nivel de agua.

La información recolectada fue los valores de nivel de agua, temperaturas del vidrio, agua y medio ambiente y la radiación solar presente durante todo el ensayo. Estos valores fueron recolectados cada 5 minutos en un intervalo de 6 horas de 9:00 a.m. a 3:00 p.m. El valor de la cantidad de destilado se recolectaba al final del tiempo de exposición del sistema de destilación.

Las personas encargadas del proceso de recolección fueron estudiantes de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga y toda la información obtenida se procesó a través del software Microsoft Office Excel 2003.

En la tabla 1 se plasman los datos de las eficiencias térmicas obtenidas con el destilador solar construido, además se observa la desviación estándar promedio de las 5 pruebas realizadas para cada nivel de agua dentro del colector – evaporador.

Tabla 1. Eficiencias Térmicas Promedio del Destilador

Nivel (cm)	Eficiencia Térmica Promedio (%)	Desviación Estándar
1	44.4	1.7
1.5	37.7	1.8
2	29.2	2.9
3	20.1	2.1
5	12.4	1.0
6	8.7	1.5

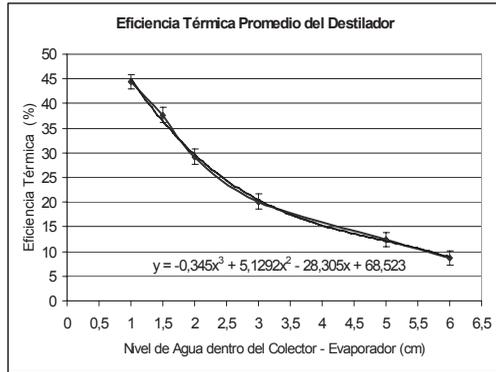


Figura 7. Eficiencia Térmica Promedio del Destilador en Función del Nivel de Agua dentro del Colector – Evaporador.

Este estudio demostró que niveles de agua dentro del colector – evaporador mayores a 1 cm., tienen una fuerte influencia sobre la eficiencia térmica de un destilador solar, la figura 7 muestra un decremento exponencial de la eficiencia en función del nivel de agua dentro del colector, lo cual permite inferir que el diseño de este tipo de equipos de aprovechamiento solar debe estar enfocado en grandes áreas de exposición y bajos niveles de fluido dentro de la bandeja de exposición del sistema.

Desinfección Microbiológica

El agua tratada en el destilador proviene de las quebradas Mensuli y Palmichala, ubicadas en el municipio de Floridablanca – Santander. Las pruebas microbiológicas del agua se realizaron a través del Laboratorio de Análisis químico de aguas residuales de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.

Las pruebas realizadas se dividieron en tres lotes, cada uno de los cuales consta de un ensayo antes y otro después del proceso de destilación, con el fin de poder cuantificar la variación en las características microbiológicas del agua.

Los resultados de los análisis realizados se encuentran plasmados en las tablas 2.

Tabla 2. Propiedades Microbiológicas del Agua Antes y Después de Destilada

Característica	Lote	Valor Antes destilación	Valor Después destilación	% Reducción
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	1	5400	1.8	99.9
	2	1300	0.0	100
	3	1600	0.0	100
	Promedio			99.97
	Desviación Estándar			0.06
Coliformes Totales (NMP/100ml)	1	16000	1.8	99.99
	2	4200	2.0	99.95
	3	5700	2.5	99.96
	Promedio			99.97
	Desviación Estándar			0.02

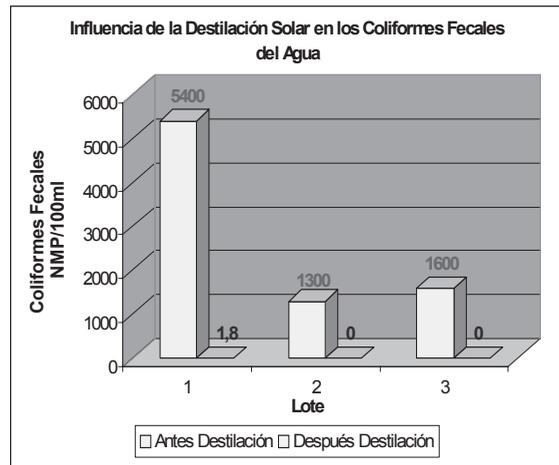


Figura 8. Influencia de la Destilación Solar en los Coliformes Fecales del Agua

El promedio de remoción de coliformes fecales es de 97.11% con concentradores iniciales promedio de 15000 UFC/100 ml. y turbiedades hasta de 100 UNT, además concluye que los coliformes fecales se inactivan más rápidamente que los coliformes totales [9]; en este estudio experimental, se obtiene un promedio de remoción de coliformes fecales de 99.97% (tabla 2) con una concentración inicial máxima de 5400 NMP/100 ml (figura 8).

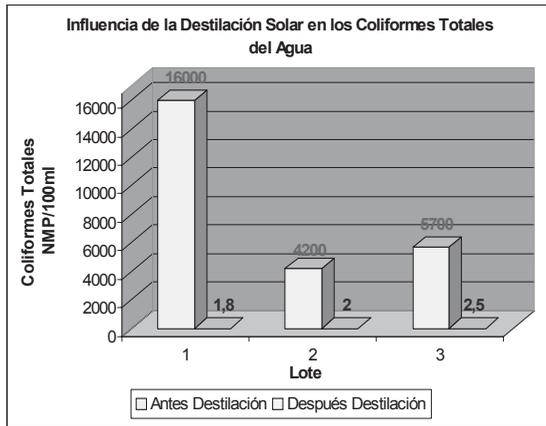


Figura 9. Influencia de la Destilación Solar en los Coliformes Totales de Agua

La Organización Mundial de la Salud, considera la desinfección solar como una opción válida, pero solo como un “método menor y experimental”, porque puede mejorar sustancialmente la calidad bacteriológica de la misma aún sin alcanzar los valores estipulados por los decretos de calidad de agua [6], esto se demostró a través del estudio realizado, debido que a pesar de alcanzar una reducción considerable en coliformes totales y fecales (figura 8 y 9) del agua destilada, no se cumple con los requisitos exigidos por la decreto 475/98, ya que el valor máximo permitido para ambas características es de 0 NMP ó 0 UFC

CONCLUSIONES

La radiación solar en la zona metropolitana de Bucaramanga, durante el año 2006 está comprendida entre las 6:00 de la mañana y las 6:00 de la tarde con un valor promedio de 378.4 W/m² (1362.3 kWh/m²).

La eficiencia térmica del sistema de destilación está influenciada por el nivel de agua dentro del colector – evaporador del equipo de destilación. La eficiencia máxima alcanzada con el destilador construido fue de 44.4% cuando el nivel de agua dentro del colector evaporador es de 1 cm.; este valor disminuye de forma exponencial hasta un valor de 8.7% cuando el nivel del agua es de 6 cm.

La energía solar a través de un sistema de destilación, reduce en un 99.97% el contenido de coliformes fecales y totales en el agua procesada, aunque es una mejora significativa no se cumple con las disposiciones del decreto 475/98 del Ministerio de Desarrollo Económico.

La destilación solar reduce la posibilidad de enfermedades provenientes del consumo de agua de afluentes sin ningún tipo de tratamiento, debido a que la desinfección alcanzada representa una mejora considerable en la reducción de la cantidad de coliformes presentes.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos al soporte dado por la Dirección General de Investigaciones de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga con los fondos asignados al proyecto Código 007-0207-9540 “Diseño y Construcción de un Destilador Solar para la Potabilización de Agua”

BIOGRAFÍA

Alfonso Santos Jaimes

Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, Ingeniero Mecánico de La Universidad Industrial de Santander y Magíster en Ingeniería Mecánica de la Universidad de Los Andes.



Docente de la Facultad de Ingeniería Mecánica en las áreas de Materiales, Diseño de Maquinaria y Sistemas de Calidad. Las líneas de Investigación están orientadas al desarrollo y adaptación de maquinaria, energías renovables y nuevos materiales.

REFERENCIAS

- [1] Boyle Godfrey. Renewable Energy. Power for a Sustainable Future. Oxford University Press in association with the Open University. First published in the United Kingdom 1996.
- [2] Álvarez Manuel. La Destilación Solar, una posibilidad real de utilización en cuba. [En línea] [Consultado 2007]. Disponible en <<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia16/HTML/articulo03.htm>>

- [3] Almeida de Souza Marco A., Gomes Monteiro Patrícia C., Silveira Brandão Cristina C., Bernardes Ricardo S. (1999) Desinfecção solar: proposta de metodologia de estudo de viabilidade e determinação dos parâmetros básicos; *Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental; AIDIS. Desafios para o saneamento ambiental no terceiro milênio*. Rio de Janeiro, pp.1-10.
- [4] Hermosillo Villalobos Juan J. (1995) Potabilización de Agua; *Notas sobre el curso de Energía Solar capítulo 11*. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, Jalisco, p. 131.
- [5] Soares Clarissa, Sens Mauricio L., Emmendoerfer M. (2003). Produção de água potável através de destilação solar natural. En: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes22/cxxxiv.pdf>, pp. 1 - 15; [Consulta: Junio 2006].
- [6] Unidad de Planeación Minero Energética; UPME; Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales; IDEAM. 2005. Atlas de Radiación Solar en Colombia. Disponible en: http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/1_atlas_Radiacion_Solar.pdf . pp. 15-22 [consulta: mayo 2008].
- [7] Hooper, G. Chemical disinfection, in Lorch, W., (Ed.) Handbook of water purification. Second edition. Ellis Harwood series in Water and Wastewater Technology. Chichester, Inglaterra; 1987.
- [8] Márquez Bravo, Lydia G. Desinfección Solar. 1988. p.1-22. En memorias de Simposio Regional sobre Calidad del Agua: Desinfección Efectiva. Lima, CEPISOPS. [Consultado: 2007]. En: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/e/fulltext/simposio/ponen14.pdf>
- [9] Fondo de la Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF), La infancia, el agua y el saneamiento básico en los planes de desarrollo departamentales y municipales: Parte 3. Primera Edición. Colombia 2003.
- [10] CDMB. Red de Monitoreo de Calidad del Aire, estaciones Centro, PTAR y UIS. [En línea] [Consultado 2006]. Disponible en <<http://www.cdm.gov.co/web/conozca/3marcos aireibuca.htm>>
- [11] ÇENGEL Yunus A. y BOLES Michael A. Termodinámica. Capítulo 14: Mezclas de Gas – Vapor y Acondicionamiento de Aire. Editorial Mc Graw Hill, quinta edición. México 2007.
- [12] OJINAGA SANTANA, Lilly y FOSTER, Robert E. Experiencias en el Uso de Destiladores Solares en San Luís de Potosí y Chihuahua. XXV Semana Nacional de Energía Solar – ANES. San Luís de Potosí, México 2001.