

## “CONSTRUCCIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE UN MÓDULO SOLAR MULTIPROPÓSITO PARA AYACUCHO”

JANAMPA QUISPE, Kléber - kléber\_jq@yahoo.es

CERÓN BALBOA, Octavio - ocb4567@hotmail.com

CORTEZ LEDESMA, Nicolás Eusebio - nicortele@hotmail.com

ORÉ GARCÍA, Julio- julioore@yahoo.com

MORALES MORALES, Oswaldo - wal23do@gmail.com

Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Departamento Académico de Matemática y Física

### 2 Conversión Térmica de la Energía Solar

#### RESUMEN

Las aplicaciones de la energía solar térmica y fotovoltaica es una tecnología madura, limpia, alternativa y respetuosa con el medio ambiente. En nuestra ciudad de Ayacucho, no obstante su potencial, hay una escasa cantidad de unidades instaladas sobre todo en el sector familiar. En este trabajo de investigación experimental de innovación tecnológica, se diseña, optimiza y construye un módulo solar multipropósito unifamiliar que integra las diferentes aplicaciones solares térmicas y que acondicionando sus componentes de manera sencilla y versátil, para el uso óptimo de la energía solar en la cocción de alimentos, secado de productos domésticos, calentamiento y destilado de agua. El diseño, optimización y evaluación se basa en el protocolo del CYTED- RICSA sobre el principio de tecnologías apropiadas y ambientalmente responsables. Se ha logrado dimensionar y construir un módulo con temperatura de estancamiento de placa de 174°C, coeficiente global de pérdidas de 9.9 W/m°C, potencia estándar de cocción de alimentos de 87W para una diferencia de temperatura de placa y el medio de 50°C y una eficiencia como destilador del 20%. A su vez, este módulo permitirá ser aprovechado como parte de la difusión de la educación ambiental.

Palabras clave: secador, destilador, cocina solar

#### “CONSTRUCTION AND OPTIMIZATION OF A SOLAR MODULE MULTIPURPOSE FOR AYACUCHO”

#### ABSTRACT

The applications of the thermal and photovoltaic solar energy are mature technology, clean, alternative and respectful a with the environment. In our city of Ayacucho, despite his potential, there is a little amount of units installed mainly in the familiar sector. In this work of experimental investigation of technological innovation, it is designed, it optimizes and it constructs to a solar module single-family multipurpose that Integra the different thermal solar applications and that preparing its components from simple and versatile way, for the optimal use of the solar energy in the food baking, domestic product drying, water heating and distillate. The design, optimization and evaluation are based on the protocol of CYTED- RICSA on the principle of appropriate and environmentally responsible technologies. It has been managed to determine the proportions and to construct a module with temperature of stagnation of plate of 174°C, global coefficient of losses of 9,9 W/moC, standard power of food baking of 87W for a temperature difference of plate and the means of 50°C and an efficiency like filter of 20%. As well, this module will allow to be profiteer like part of the diffusion of the environmental education.

Keywords: Dried solar, distiller solar, cooking solar.

#### INTRODUCCIÓN

La energía es la base de toda actividad humana, por lo que debe ser utilizada con eficiencia y responsabilidad ambiental. El Centro de Conservación de Energía y del Ambiente del Perú ha realizado un diagnóstico de la situación

actual del uso de la energía solar y eólica en el país <sup>(1)</sup>; en ella se muestra que Ayacucho, siendo un departamento donde la energía solar es rentable, sin embargo existe una escasa cantidad de unidades instaladas tanto en las aplicaciones térmicas como fotovoltaicas. De esta escasa cantidad, es el sector familiar el que dispone de la menor capacidad instalada.

La tecnología solar oferta diferentes aplicaciones alternativas, pero el escaso uso de dichas aplicaciones nos muestra que la tecnología solar no es aún una tecnología apropiada por los usuarios tanto de la zona rural como de las zona urbana; más aún si la energía del Sol es económicamente rentable, viable y estable; siendo los sistemas térmicos de bajas temperaturas los que tienen corto tiempo de amortización.

Para lograr un eficiente y responsable aprovechamiento del recurso energético solar, es necesario que desde la unidades familiares se genere una nueva mentalidad, una nueva cultura de uso de las energías renovables; ello puede iniciarse a partir de tecnologías prácticas y sencillas que puedan ser apropiadas por el usuario y que incorporen a su cultura de vida; ello compromete a generar mecanismos de masificación del uso de la tecnología solar orientado dentro de los enfoques de la educación ambiental y desarrollo sostenible.

La energía del sol tiene una ventaja con respecto a otras fuentes. "Se pueden construir dispositivos solares de cualquier tamaño y por ser de tipo modular también se pueden ampliar"<sup>(2)</sup>. En este sentido la mayor parte de las aplicaciones tecnológicas de la energía solar son modulares e independientes. Por lo que el usuario requerirá de varias unidades térmicas para cada aplicación. Nuestra propuesta de módulo solar multipropósito familiar, se caracteriza por integrar las diferentes aplicaciones térmicas como cocina, secador, terma y destilador sobre la base de un colector plano en la que se podrán adaptarse de modo sencillo y versátil las diferentes aplicaciones, para uso doméstico unifamiliar.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **1. MÉTODO**

#### **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO SOLAR MULTIPROPÓSITO**

Se desarrolla sobre el principio de las tecnologías apropiadas al contexto socio cultural y ambiental, teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas de la ciudad de Ayacucho, sobre la base condiciones mínimas de radiación, temperatura y humedad, siguiendo el procedimiento:

- Diseño de las unidades operativas del módulo.
- Construcción y acondicionamiento de las unidades operativas al módulo
- Optimización y evaluación del módulo multipropósito en base a los protocolos de RICSA-CYTED y del RIASEF

### **2. MATERIALES E INSTRUMENTOS**

#### **Materiales:**

- Vidrio simple
- Triplay de 1.5 cm de espesor
- Plancha de tecnopor y poliuretano
- Placa metálica de hierro de 2mm de espesor
- Accesorios y herramientas
- Plancha de aluminio anonizado

#### **Instrumentos**

- Radiómetro :UNI-100mV  $\approx$  1000W/m<sup>2</sup>. Lectura mínima multímetro:10 W/m<sup>2</sup>
- Termocuplas: Cobre – Konstantan. Lectura mínima en el multímetro: 1 °C
- Anemómetro: De copas giratorias. Lectura mínima 0.5 m/s.
- Multímetro Digital. DT 9508

## **RESULTADOS**

### **1. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**

#### **1.1 COLECTOR BASE DEL MÓDULO SOLAR MULTIPROPÓSITO (MSM)**

Integrando el requerimiento energético y geométrico de cada componente del módulo solar multipropósito, se determina la geometría que optimice el uso doméstico de las aplicaciones térmicas como horno, secador, destilador y terma solar. Componentes:

- Caja: Constituido por tripley de 15mm. de espesor.
- Placa absorbedor de radiación solar: Placa de hierro de 1mm de espesor recubierto de una pintura negro mate no reflectante de 59x 50cm.
- Sistema de aislamiento del colector: cubierta de 1.3cm de poliuretano y la caja de tripley. El aislante se reviste con aluminio anonizado de 0.3mm de espesor que su vez funciona como reflector interno.
- Puerta: En la parte superior dispone de una puerta deslizable que se adapta para el caso de secador como un tiro del aire caliente de salida.
- Cubierta de vidrio: En la parte superior lleva una cubierta de doble capa de vidrio SIMPLE (policarbonato transparente) de 3mm de espesor. La separación entre los vidrios es de 1.3mm

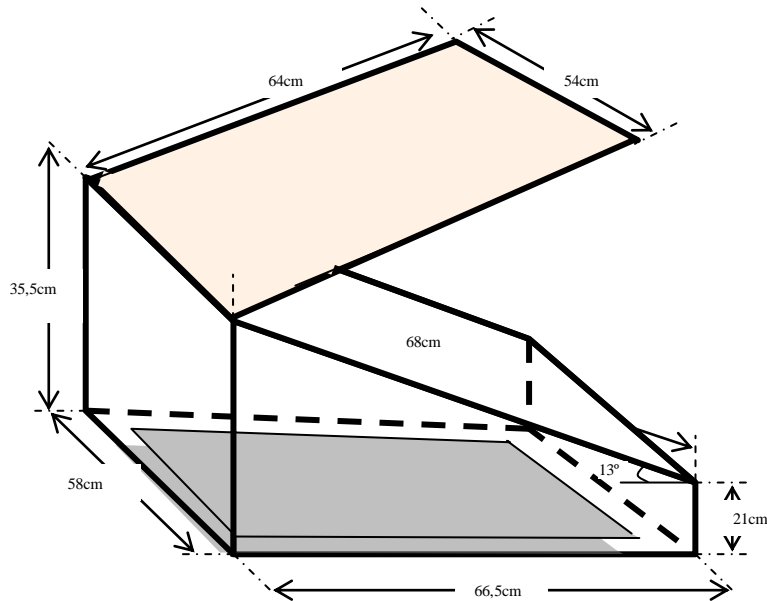


Figura 1. Dimensiones externas de la caja del módulo

- **Acabado final**



Figura 2. Acabado del MSM

## 2. EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE TERMICOS DEL MODULO SOLAR MULTIPROPÓSITO.

### 2.1 EVALUACION TÉMICA DEL COLECTOR BASE DEL MODULO

#### 2.1.1 MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA MÁXIMA SIN CARGA Y OBTENCIÓN DEL PRIMER FACTOR DE MÉRITO $F_1$

El primer factor de mérito, establece la relación entre la eficiencia óptica del colector base y las pérdidas al exterior desde la placa, dicho factor ha sido evaluado sin reorientación de colector hacia la posición del sol. Es importante destacar que una alta eficiencia óptica y un valor bajo de pérdida de calor es deseado.

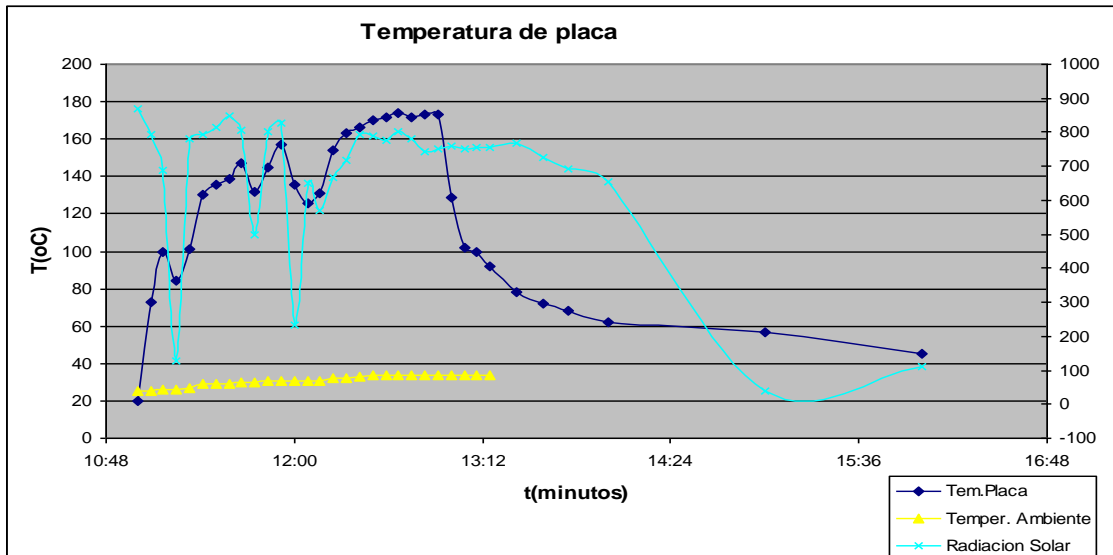


Figura 3. Temperatura de calentamiento y enfriamiento de la placa del colector base 11/03/2010

Se observa que la temperatura de la placa alcanza un valor de 173°C, y permanece estacionaria para una intensidad de radiación solar de 774 W/m<sup>2</sup>.

Tabla 1. Primer factor de mérito F<sub>1</sub> del colector base del módulo

Fecha	11/03/2010
A <sub>ph</sub> (m <sup>2</sup> )	0.54
A <sub>p</sub> (m <sup>2</sup> )	0.31
T <sub>p</sub> (°C)	173
T <sub>a</sub> (°C)	28
G <sub>h</sub> (w/m <sup>2</sup> )	758
F <sub>1</sub>	0.111
Error	0.001

## 2.2 EVALUACION TÉRMICA DE LA COCINA SOLAR

### 2.2.1 SEGUNDO FACTOR DE MERITO F<sub>2</sub>

Se toma en cuenta el tiempo requerido por el agua para alcanzar la temperatura de 80°C a partir de 40°C.

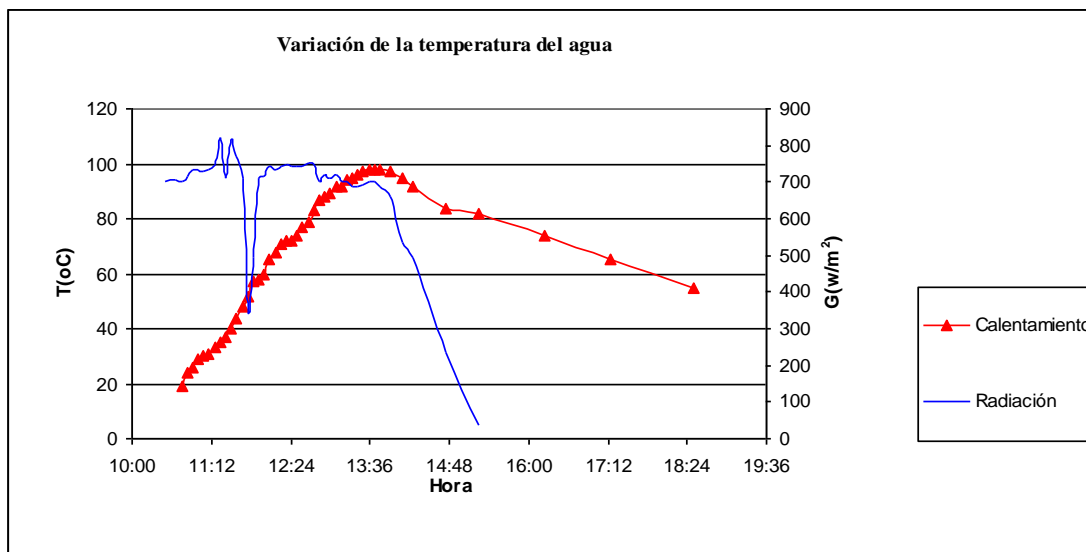


Figura 4 - Temperatura de calentamiento del 3lit. de agua en la cocina solar 13/03/2010

Tabla 2. Características del calentamiento del agua en la cocina solar

Fecha:13 de marzo del 2010	
Rango de temperaturas exteriores durante el ensayo	21 °C - 33 °C
Rango de Radiación solar durante el ensayo	435-822 W/m <sup>2</sup>
Rango de velocidades de viento durante el ensayo	0-2m/s
Temperatura de comienzo	19 °C
Tiempo en alcanzar los 80 °C	120 minutos
Tiempo en alcanzar los 90 °C	145 minutos
Temperatura máxima	98 oC
Tiempo que mantiene la temperatura de ebullición	50 minutos
Tiempo que mantiene los 80 °C sin intervención	90 a 120 minutos
Potencia para la diferencia de 50 °C	87.16 W

Tabla 3 Determinación del segundo factor de mérito de la cocina solar

F <sub>1</sub>	0.111
(MC) <sub>w</sub>	12558
T (s)	4200
T <sub>w1</sub> (°C)	40
T <sub>w2</sub> (°C)	79
T <sub>a</sub> (°C)	28.2
A <sub>p</sub> (m <sup>2</sup> )	0.312
A <sub>ph</sub> (m <sup>2</sup> )	0.536
I <sub>h</sub> (W/m <sup>2</sup> )	703.04
F <sub>2</sub>	0.41

### 2.2.2 POTENCIA DE COCCIÓN EFECTIVA

Se determina la potencia de calentamiento de agua para cada intervalo de 10 minutos. Dicha potencia se estandariza (P<sub>s</sub>) de acuerdo al protocolo RICSA para una radiación de 700w/m<sup>2</sup>.

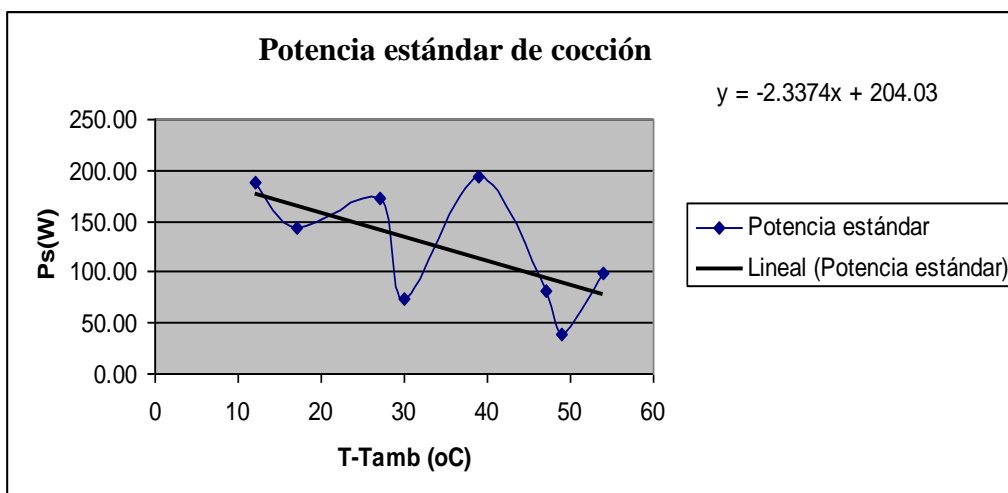


Figura 5 - Potencia estándar de cocción de la cocina solar en el módulo multipropósito en relación a la diferencia de temperatura del agua y del medio ambiente

### 2.3 EVALUACION TÉRMICA DEL SECADOR SOLAR

La temperatura de calentamiento del aire a la salida de la cámara de secado es de 74 °C para una radiación solar promedio 960 W/m<sup>2</sup> de y temperatura ambiente de 31°C y velocidad de viento de 08m/s

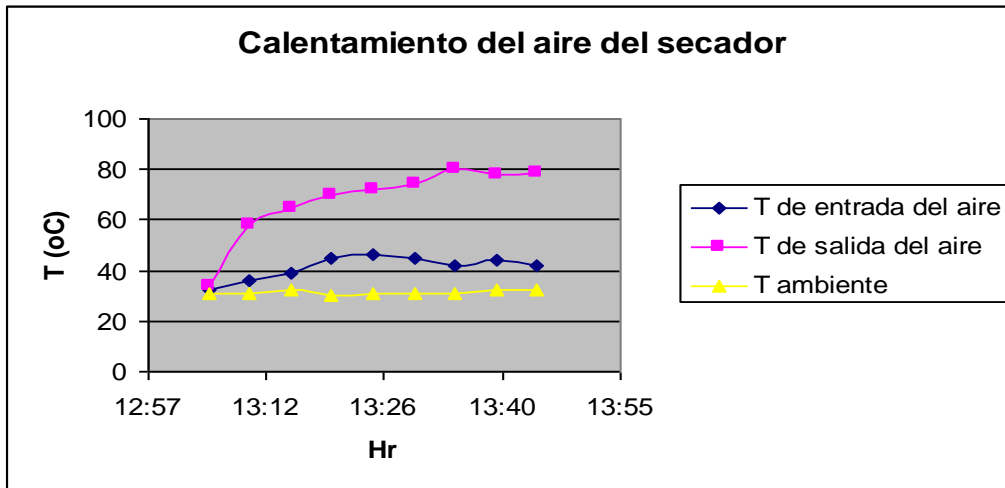


Figura 6 - Curva de calentamiento del aire de la cabina del secador sin carga



Figura 7 - Medida de la temperatura del aire de entrada a la cámara de secado. Módulo solar multipropósito secado plátano como muestra se su funcionamiento

#### 2.4 EVALUACION TÉRMICA DEL DESTILADOR SOLAR

Se coloca 3 litros de agua turbia en una bandeja de 33x50.5cm<sup>2</sup> con 1.5cm de profundidad. Al cabo de 1h inicia el proceso de destilación y condensación. En 6.5h se logra destilar 0.775lit de agua. La eficiencia del destilador merece mejorar aún, pues los rangos establecidos están entre 30 y 40% <sup>(2),3</sup>

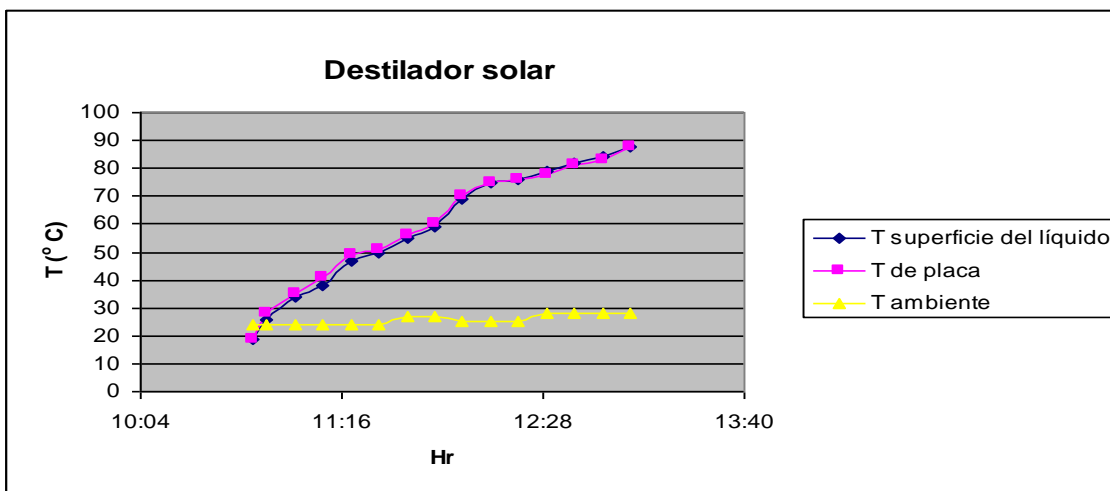


Figura 8 - Curva del calentamiento del agua en la superficie de la bandeja de agua y en la placa colectora



Figura 9 - Colección del agua destilada en un recipiente

### 3. DESARROLLO DE ILUMINACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA CON LED

#### 3.1 CONSTRUCCIÓN DE LÁMPARA-1

Para la lámpara-1, se usaron 24 LED's dispuestos en 8 series en paralelo de 3 diodos cada una ( $8 \times 3 = 24$ ). En este sistema la máxima intensidad es de 20mA por LED (consumo total de  $20 \times 8 = 160\text{mA}$ ) y el voltaje de 12V suministrado por la batería.

El control es realizado por el integrado (LM334), que es capaz de regular la intensidad que atraviesa los LEDs. El transistor PNP (BD136) únicamente aumenta la intensidad que puede suministrar el integrado. Variando la resistencia, mediante el conmutador, se modifica la intensidad y por tanto la luz que suministran los LEDs.



Figura 10 - Lámpara-1 terminada y en funcionamiento.

#### 3.2 CONSTRUCCIÓN DE LÁMPARA-2

Para la lámpara-2, se usaron 12 LED's dispuestos en 4 series en paralelo de 3 diodos cada una ( $4 \times 3 = 12$ ). En este sistema la máxima intensidad es de 25mA por LED (consumo total de  $25 \times 4 = 100\text{mA}$ ) y el voltaje de 12V suministrado por la batería.

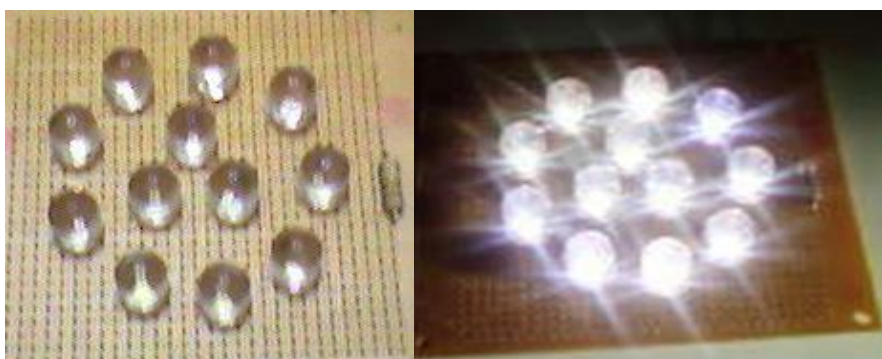


Figura 11- Lámpara-2 terminada y en funcionamiento.

## DISCUSIÓN

El principio del diseño del Módulo Solar Multipropósito (MSM) se centra en la tendencia de las Tecnologías Social y Ambientalmente Apropriadas<sup>(3)</sup> que toma en cuenta modelos sencillos mediante el uso de materiales disponibles de la zona y en concordancia con el contexto sociocultural<sup>(4)</sup>.

Toda aplicación de la energía solar requiere de un colector que capta la energía solar y convierte en energía útil térmica o eléctrica<sup>(5)</sup>. En el diseño del MSM, se integra las diferentes aplicaciones solares térmicas sobre la base de un colector solar plano, que tiene la versatilidad de adaptar el requerimiento de los diferentes componentes térmicos para su uso óptimo como secador, destilador, terma y cocina/horno solar.

La temperatura de estancamiento de la placa colectora de área 0.31m<sup>2</sup> del MSM fue de 174°C para una radiación promedio de 774 W/m<sup>2</sup>, el factor F<sub>1</sub> que caracteriza la eficiencia óptica del colector base y las pérdidas al exterior desde la placa del módulo es de 0.11 ± 0.001, valor que está comprendido dentro de los rangos adecuados establecidos por la propuesta de Mullick<sup>(6)</sup>

### MSM- Destilador

La radiación solar es una técnica potencial para la inactivación y destrucción de bacterias patógenas en el agua por calentamiento<sup>(7)</sup>. El MSM, se adapta como destilador solar elevando la placa colectora sobre la que estará la bandeja de agua a destilar lo más próximo a la cubierta de vidrio, el agua destilada se recoge a través de una canaleta.

El MSM-destilador, inicia el proceso de evaporación-condensación luego de 1 hora, proceso que continúa a una intensidad de la radiación solar promedio de 690 W/m<sup>2</sup> donde la temperatura del agua alcanza valores entre 59 y 85°C. Temperatura que garantiza la desinfección del agua, pues la mayoría de las bacterias mueren entre 40 y 100°C, mientras que las algas, protozoarios y hongos, lo hacen entre los 40 y los 60 °C<sup>(7)</sup>. Igualmente el nivel de seguridad en desinfección es apropiado puesto que el agua ha permanecido a una temperatura promedio de 76° C durante aproximadamente 4 a 5 horas, como exige la OMS<sup>(7)</sup>. La eficiencia de destilación fue del 20%, de 2.5 litros de agua generó 0.775 litros de agua destilada para un área de colector de 0.31 m<sup>2</sup>

### MSM- Cocina solar

La cocina solar del MSM, presenta una potencia media estándar de 87 W a la temperatura diferencia de temperatura de 50°C, un Segundo Factor de Mérito F<sub>2</sub> de 0.41 que nos indica la capacidad de transferencia de calor del colector hacia el agua corresponde al 41% y un coeficiente global de pérdidas de 9.0 W/m<sup>2</sup>°C, lo que nos indica que presenta una rapidez de pérdida de energía térmica de 9W por m<sup>2</sup> y grado centígrado de diferencia de temperatura entre la placa y el medio ambiente.

### MSM- Secador

El secador del MSM, es un secador pasivo de cabina, como sistema pasivo utiliza la circulación natural del aire y dispone de un captador solar de placa plana.

Sin carga, la temperatura del aire alcanza 74°C manteniendo una diferencia de 40° C respecto a la temperatura de entrada del aire, valor óptimo requerido para secado<sup>(8)</sup>. De acuerdo a S. Nadwani<sup>(9)</sup> cuando la temperatura del gabinete de un secador alcanza valores entre 50 y 70°C en ella se pueden secar casi todos los productos a baja escala, es decir para un uso doméstico, como es la orientación del MSM.

En lo referente a la iluminación fotovoltaica mediante LEDs, se ha desarrollado modelo de lámparas para diferentes configuraciones sobre la base de un voltaje de 12V DC generado por un sistema fotovoltaico.

## CONCLUSIONES

1. El MSM es un módulo que integra, sobre la base de un colector solar plano, el uso independiente de un destilador, secador, terma y cocina solar, orientado como una iniciativa *ambientalmente responsables*, dentro del concepto de tecnologías apropiadas.
2. El MSM tiene el colector solar plano de área 0.31m<sup>2</sup> y alcanza una temperatura de estancamiento de placa de 174°C, para una radiación promedio de 774 W/m<sup>2</sup>; el primer factor de mérito F<sub>1</sub> resulta 0.11.
3. En el MSM- Destilador, el agua de profundidad 1.5cm alcanza temperaturas del orden de 60 a 85° C para una radiación solar promedio 690 W/m<sup>2</sup>. La eficiencia media del destilador es de 20%, logrando destilar aproximadamente 0.75 litros por día para un área del colector 0.31 m<sup>2</sup>.
4. El MSM- Cocina solar, presenta una potencia media estándar de cocción de 87 W para una diferencia de temperatura de 50° C. El segundo factor de mérito F<sub>2</sub> de 0.41 y un coeficiente global de pérdidas de 9.0 W/m<sup>2</sup>°C. Mantiene por más de 2horas la temperatura de agua más allá de 80°C sin intervención de la radiación solar.
5. El MSM- secador, es un secador pasivo de cabina con colector solar plano. Sin carga, la temperatura del aire a la salida de la cabina alcanza 74°C, en este rango de temperaturas se puede secar casi todos los productos a baja escala.
6. El sistema de iluminación fotovoltaica mediante LEDs es una posibilidad de iluminación, puesto que los LEDs consumen baja energía y existe una variedad de aplicaciones a las que se puede orientar.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) CENTRO DE CONSERVACION DE ENERGIA Y DEL AMBIENTE (CENERGIA). (2003) Diagnóstico de la situación actual del uso de la energía solar y eólica en el Perú.
- (2) HERMOSILLO, J.J. (1995) Energía Solar. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente. México.
- (3) SERRANO, P (2004).Transferencia de tecnologías para energías renovables. Conceptos y modelos metodológicos. Seminario Internacional Sobre Energía Solar Medio Ambiente y Desarrollo. Cuzco.
- (4) CEUTA – Centro Uruguayo de Tecnologías Apropriadas. (2007).Energías Apropriadas. Energía Solar 2007
- (5) NANDWANI, S.S (2005) Energía solar conceptos básicos y su utilización. Universidad Nacional Heredia. Costa Rica
- (6) FRÍAS, R. A.(2003) Metodologías de análisis térmico de sistemas de cocción solar tipo horno. Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Mecánica.”
- (7) DE LA CRUZ, I.J. (2004) Desinfección de Agua Potable con Radiación Solar. Universidad de las Américas Puebla. Tesis Doctoral.
- (8) MONTERO, I. (2005) Modelado y construcción de un secador solar híbrido para residuos biomásicos. Tesis doctoral Badajoz, Noviembre
- (9) NANDWANI, S. (2006). Energía solar y sus aplicaciones. Universidad Earth, Guácimo, Limón, Costa Rica.