



Sistema de refrigeración solar por absorción para la comunidad de Kumay en Ecuador

Solar absorption refrigeration system for Kumay community in Ecuador

José A. -Romero Paguay
Tania-Carbonell Morales

Recibido: enero de 2014
Aprobado: mayo de 2014

Resumen/ Abstract

En el Ecuador existen muchas zonas aisladas, no electrificadas aún, especialmente en la provincia de Pastaza, en este artículo se presenta un sistema de refrigeración por absorción solar como una alternativa para la climatización de un consultorio médico en la Comunidad de Kumay. Se realiza el cálculo de la estimación de carga térmica en el consultorio médico empleando el software Carrier E20, el cual arroja una necesidad de enfriamiento de 10 kW o 2,84 toneladas de refrigeración (TR). El sistema de refrigeración por absorción con energía solar propuesto está formado por una máquina de absorción, simple efecto de la marca *ClimateWell 10*, con 10 kW de potencia de enfriamiento que utiliza como absorbente el par cloruro de litio y agua, requiriéndose un área de captación de energía solar de 30 m² que será entregada con diez colectores de tubos alvacío marca *Thermomax*, Modelo *Solamax 30*.

Palabras claves: colectores solares; fuentes renovables de energía; refrigeración por absorción, refrigeración solar.

In Ecuador there are many non-electrified remote areas, especially in the province of Pastaza, in this article a solar absorption cooling system is presented as an alternative for the air conditioning of a doctor's office (medical clinic) in Community Kumay. The calculation of the estimated thermal load on the doctor's office is done using the software Carrier E20, which throws a necessity of cooling of 10 kW or 2,84 tons of refrigeration. The solar cooling system consist in an absorption machine of single effect, ClimateWell 10, with 10 kW of cooling power that uses as absorbent the lithium chloride and water pair, this system required an area of reception of solar energy of 30 m² that will be given with 10 vacuum tube collectors Thermomax, Model Solamax 30.

Key Words: solar collectors, renewable energy sources, absorption refrigeration, solar cooling.

INTRODUCCIÓN

El Ecuador tiene como recursos energéticos primarios a los combustibles fósiles: el 82 % de la energía que se consume en el país proviene del petróleo, un 4 % proviene del gas natural, lo que representa que actualmente el 86% de la energía depende de los combustibles fósiles y sólo el 14 % proviene de fuentes renovables de energía, con el 8% hidroenergía y 6 % biomasa en particular leña y caña [1].

Esto ha ocasionado que exista una mayor cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero, lo cual justifica la política adoptada por el país para la diversificación de la matriz energética, declarando la necesidad de incorporar una mayor oferta de energías limpias (renovables) pues hoy día su presencia es muy baja, no existiendo sistemas que aprovechan la energía solar, eólica y geotérmica.

El mapa de radiación solar global del Ecuador muestra que sobre todo el país se reciben valores significativos de radiación solar, con valores promedios entre 3,6 y 5,7 kW.h/m² [2], también se han detectado potenciales significativos de viento y biomasa en diferentes zonas del país.

Por lo antes expuesto y dentro del contexto de incrementar la presencia de fuentes renovables de energía dentro de la matriz energética del Ecuador, resulta interesante pensar en el empleo de tecnologías que aprovechen diferentes fuentes renovables de energía. Se tiene en cuenta “además” que en el Ecuador existen muchas zonas aisladas no electrificadas, sobre todo en la provincia de Pastaza[3]; llevar a cabo proyectos que involucren tecnologías que empleen fuentes renovables de energía y sistemas de refrigeración por sorción, tendría gran impacto social y ambiental.

Siendo una alternativa para las comunidades aisladas y no electrificadas porque permiten incorporar gran diversidad de fuentes energéticas incluyendo las de origen renovable como la energía solar.

De manera que no se encuentran en el Ecuador evidencias de trabajos anteriores en la temática del empleo de energía solar como fuente renovable de energía en sistemas de refrigeración por sorción ni del empleo de tecnologías de refrigeración por sorción.

MATERIALES Y MÉTODOS

Pastaza es una de las provincias del Ecuador con bajo porcentaje de cobertura del servicio eléctrico [4], donde solo el 80,73 % de la provincia está electrificada debido fundamentalmente a su difícil acceso, existiendo muchas comunidades no electrificadas.

La comunidad de Kumay tiene uno de los valores promedio más elevados de radiación solar con 4,8 kW.h/m². Esta comunidad tiene un consultorio médico y una unidad educativa siendo una de las necesidades la climatización del consultorio médico debido a la importancia que tiene este servicio para la comunidad.

La figura 1, muestra el esquema de un sistema de refrigeración por absorción que emplea energía solar [5].



Fig. 1. Sistema de refrigeración solar por absorción.

Fuente: Estado del arte de las distintas tecnologías de refrigeración solar, 2010 [5].

El funcionamiento de una máquina de absorción es posible mediante el intercambio de calor con cuatro focos: generador, absorbedor, condensador y evaporador. La máquina de absorción se puede dividir en dos estados de presión: el de baja presión, donde operan el evaporador y el absorbedor; y el de alta presión, donde trabajan el condensador y el generador o desorbedor. La generación de frío comienza con el bombeo del líquido desde el absorbedor (baja presión) al generador (alta presión). En este elemento se le suministra energía térmica a la temperatura marcada por la máquina. Ese incremento de temperatura provoca, además de un aumento de la presión, la ebullición y evaporación del componente más volátil. Este vapor generado como consecuencia del incremento de temperatura fluye al condensador, mientras que la solución líquida que queda (no se produce la evaporación total, sino una evaporación parcial) vuelve al absorbedor en forma de solución más concentrada. Esta solución más concentrada, que ha recibido energía térmica de la fuente de calor externa cede calor, mediante un intercambiador, a la solución diluida que a su vez pasa del absorbedor al generador. La solución concentrada que sale del absorbedor, la cual ha cedido energía en su zona de alta presión es una solución

concentrada y subenfriada, por lo que a su paso por la válvula de regulación sufrirá una disminución de la presión y en consecuencia una evaporación de agua de la solución. De esta manera se tiene en el absorbedor una solución muy concentrada de la sustancia absorbente y por tanto con gran capacidad de absorber vapor de agua procedente del evaporador. El vapor de agua obtenido en el generador o desorbedor es condensado en el condensador, con la correspondiente cesión de energía al exterior, disponiendo entonces de un líquido caliente a alta presión, que se evaporará al disminuir la presión a su paso por la válvula de expansión de camino al evaporador. Esa evaporación es la que genera el frío que se persigue con el proceso, y sólo es posible si el absorbedor es refrigerado a su vez por un sumidero externo, como una torre de refrigeración. Ese sumidero de calor suele ser común para el absorbedor y el condensador. Después de esa absorción, la solución concentrada que procedía del generador recupera los niveles de concentración para reiniciar el ciclo. Ver figura 2, en la cual aparecen todos los componentes de una máquina de simple efecto.

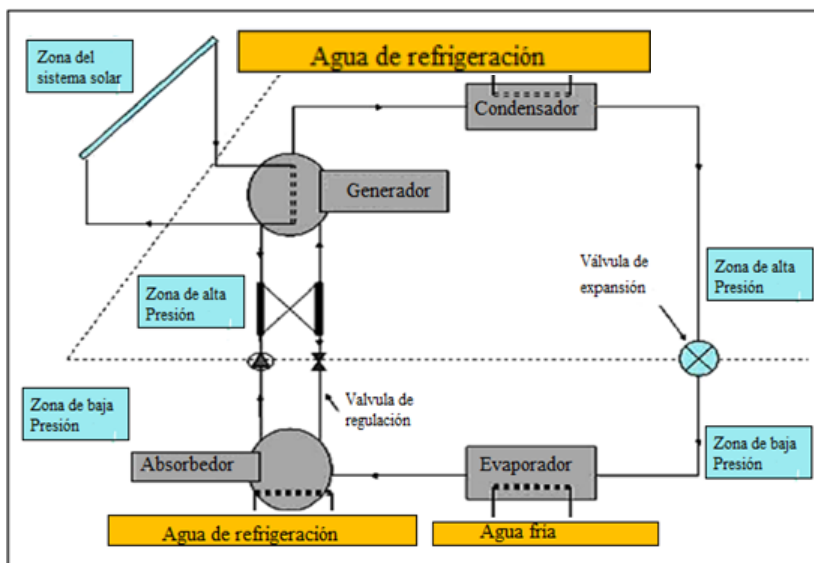


Fig. 2. Esquema de una máquina de absorción simple efecto.
Fuente: Estado del arte de las distintas tecnologías de refrigeración solar, 2010 [5].

En la figura 3, se muestran las diversas tecnologías de captadores solares de baja temperatura disponibles actualmente y que se pueden emplear en un sistema de refrigeración por absorción. La mayoría de las tecnologías utilizan como fluido térmico el agua aunque también es posible la utilización de aire [6].

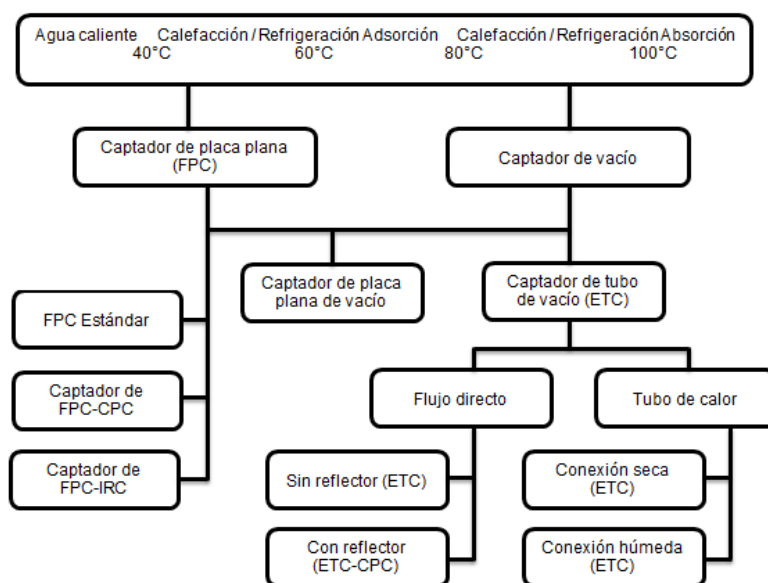


Fig. 3. Clasificación de los captadores térmicos de baja temperatura.

Fuente: Integración de sistemas de refrigeración solar en redes de distrito de frío y de calor, 2010 [6].

A grandes rasgos estos captadores se pueden clasificar en:

- FPC Captadores de placa plana estándar.
- FPC-IRC: Captadores de placa plana integrados
- FPC-CPC: Captadores de placa plana con reflectores ópticos.
- FPC-Aire Captadores de placa plana que utiliza como fluido térmico el aire.
- ETC: Captadores de tubo al vacío estándar.
- ETC – CPC: Captadores de tubo al vacío con reflectores ópticos.

La clase más común son los captadores solares de placa plana, que consiste en un absorbedor metálico y una carcasa de aislamiento cubierto con placas de vidrio. Los captadores de tubo al vacío tienen menor pérdida de calor y un mayor rendimiento a altas temperaturas. Los captadores al vacío se fabrican típicamente en un diseño de tubo de vidrio, es decir, un absorbedor metálico insertado en un tubo de vidrio evacuado, para resistir la diferencia de presión entre el vacío y la atmósfera. Diagramas esquemáticos de estos dos captadores se muestran en la figura 4.

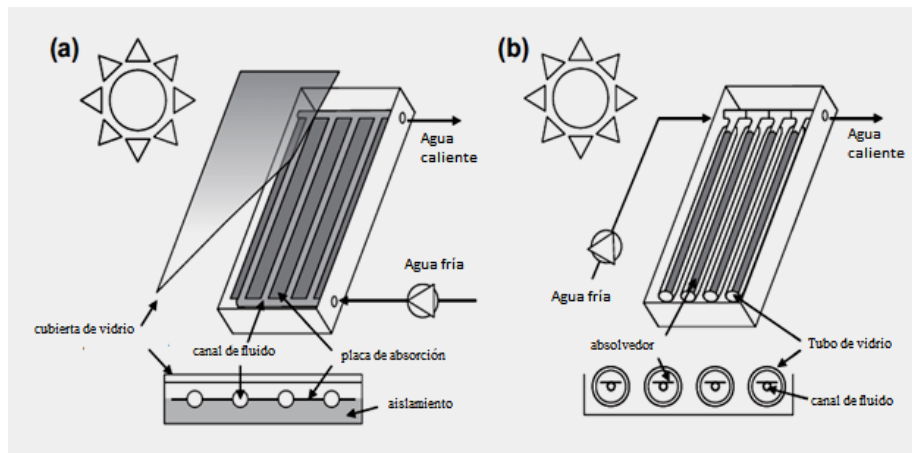


Fig. 4. Captadores solares. (a) Placa plana y (b) tubos al vacío
Fuente: 31 Jornada de refrigeración, 2008 [7].

Para conocer la necesidad de frío del consultorio médico es necesario realizar el cálculo de la carga térmica. Para esto se utilizó el programa informático Carrier; el cual es muy intuitivo y de fácil manejo; además tiene en cuenta muchos parámetros que serían complejos de considerar si los cálculos se realizaran manualmente. Los valores de coeficientes globales fueron tomados de la bibliografía [8], para introducirse al software.

En el cálculo de la carga térmica hay que considerar las condiciones exteriores y las interiores. En la tabla 1, se puede observar el resumen de las condiciones exteriores de cálculo introducidas en el programa.

Tabla1. Condiciones exteriores de cálculo.	
Localidad	Kumay– Pastaza
Altitud	953 msnm
Latitud	0°59'1"
Velocidad del viento	1,9 m/s
Turbiedad atmosférica	Estándar
Materiales circundantes	Estándar
Temperatura seca exterior máxima	30°C
Humedad relativa	65%

Dentro de las condiciones interiores se debe tomar en cuenta que el consultorio médico a climatizar tiene una extensión total de 54 m², distribuidos en una planta, cuenta con cinco ambientes: recepción (19,38 m²), enfermería (8,75 m²), atención médica (8,75 m²), sala de observación (14,00 m²) y baño (3,12 m²); la altura de las paredes en el interior del consultorio médico tiene 2,4 m. El personal de trabajo está constituido por tres

personas, una recepcionista, una enfermera y un médico, los cuales trabajan ocho horas diarias, para este caso se estima un número máximo de 12 personas en la recepción para recibir atención médica.

En el consultorio médico se desea mantener una temperatura en su interior de 24 °C con 60 % de humedad relativa en los ambientes.

Se calcula la carga sensible total y la carga latente total, la suma de estas dos cargas es la carga total existente en el local, según la ecuación (1).

$$Q_{total} = Q_{latente} + Q_{sensible} \quad (1)$$

Donde:

Q_{total} = carga total (kW)

$Q_{latente}$ = carga latente total (kW)

$Q_{sensible}$ = carga sensible total (kW)

Los resultados obtenidos en el proceso de cálculo de carga del consultorio médico, se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados del cálculo de carga.	
Descripción del sistema	Consultorio médico
Carga sensible total del sistema (kW)	5,9
Carga latente total del sistema (kW)	3,2
Carga total (kW)	9,1
Carga total (TR)	2,6
% de carga latente sobre carga total	35,17

En el Consultorio Médico la carga total a vencer es de 9,1kW, lo que equivale a 2,6 toneladas de refrigeración (TR).

Como la energía que se va a utilizar en el sistema de refrigeración por absorción es la energía solar se debe seleccionar la tecnología captadora. Por estudio bibliográfico realizado se justifica la utilización de captadores de tubos al vacío ya que las temperaturas del agua requeridas en el generador de la máquina de absorción son de alrededor de 100°C, y en ese rango de temperaturas los captadores de tubos de vacío ofrecen un mejor desempeño.

Se valoraron los colectores de vacío comercializados por las firmas *Ferrol*, *Viessmann* *Thermomax* las cuales tienen representación comercial en el Ecuador. Seleccionándose el colector (captador) de tubos de vacío *Thermomax* modelo *Solamax 30*; teniendo fundamentalmente, en cuenta su eficiencia, costos de instalación, costos de mantenimiento y disponibilidad.

Este tipo de captadores permiten llegar a temperaturas de hasta 120 °C, utilizan una superficie de captación formada por tuberías con aletas, recubiertos de una superficie selectiva y por donde circula el fluido caloportador. Estos captadores aprovechan el vacío creado en su interior para eliminar pérdidas por convección y aumentar la temperatura del fluido caloportador con menor necesidad de superficie de captación efectiva. Empleando este tipo de captador solar el sistema de refrigeración puede alcanzar un coeficiente de desempeño (COP) alrededor de 0,76.

Para calcular la cantidad de colectores que se necesita, se calcula el área de los colectores solares, empleando la ecuación (2).

$$A_c = \frac{Q_E}{n_c * G * COP_{máquina}} \quad (2)$$

Donde:

Q_E = valor extraído del evaporador (kW)

n_c = eficiencia de los captadores solares

G = irradiación estándar para Ecuador (625 W/m^2)

$COP_{máquina}$ = coeficiente de funcionamiento de la máquina de refrigeración

RESULTADOS

Se considera como equipo de enfriamiento solar de baja potencia, cuando su capacidad de enfriamiento alcanza hasta 30 kW; estos se pueden adquirir en el mercado en las siguientes compañías comercializadoras: *Schüco-International* y *SolarNext* en Alemania; *Sol-ution*, *Gasokol*, y *Startec* en Austria; *SunPowerSystems* y *Solbeo* en Francia; y *Kingspan/Thermomax* en Irlanda.

De acuerdo a la necesidad de enfriamiento en el consultorio médico y según los resultados obtenidos de la carga térmica, se pueden seleccionar las máquinas de absorción de simple efecto de baja potencia de 10 kW que están operando actualmente en el mercado como se resumen en la tabla 3.

Tabla 3. Máquinas de absorción de simple efecto de baja potencia.							
Fabricante	Producto	Q_E (kW)	Disolución	T_C (°C)	COP	Dimensiones (LxDxH)(m)	Peso (kg)
Phoenix	-	10	Li Br / H ₂ O	85/95	0,70	-	-
ClimateWell	ClimateWell 10	10	Li Cl / H ₂ O	90	0,70	1,20x0,80x1,60	875
Sonnenklima	Suninverse 10	10	Li Br / H ₂ O	65/75	0,77	1,13x0,80x1,96	550

Según estudio bibliográfico la mayoría de las instalaciones de refrigeración solar utilizan la máquina *ClimateWell* ocupando el 34% del total del mercado [9]. La máquina de enfriamiento de baja potencia *ClimateWell 10*, tiene la particularidad de que la fuente de calor puede ser proporcionada no solamente por la energía solar sino también por energía proveniente de la biomasa u otra fuente renovable.

Las figuras 5 y 6, muestran el principio de funcionamiento de la máquina de refrigeración por absorción *ClimateWell* seleccionada. En la figura 5, se muestra el sistema que consta de dos contenedores separados e interconectados entre sí en un entorno cerrado, a uno se llama reactor y el otro condensador; el primer contenedor está lleno de la sal cloruro de litio (reactor) y el segundo de agua; a igual temperatura en ambos contenedores el agua es atraída por la sal hasta agotar ésta del condensador. Para mejorar el proceso se extrae el aire para producir vacío, esto acelera el transporte del agua, en vacío el proceso es tan pronunciado que el agua hierve a la misma velocidad que es absorbida por la sal, para que esto suceda hace falta aportar energía. Al aplicar calor al reactor la solución salina comienza a evaporarse, el vapor que se genera retorna al condensador por diferencia de presión dejando por lo tanto sal cristalizada en el reactor; el vapor generado en el reactor ha de ser condensado; para mejorar el proceso de condensación, se conecta el condensador al circuito de disipación para así evacuar el calor y condensar más rápidamente. Cuando se cierra la unión entre condensador y reactor (agua y sal), la energía queda almacenada para su posterior utilización cuando sea necesaria; mientras se mantienen separados el agua de la sal, la energía se mantendrá almacenada.

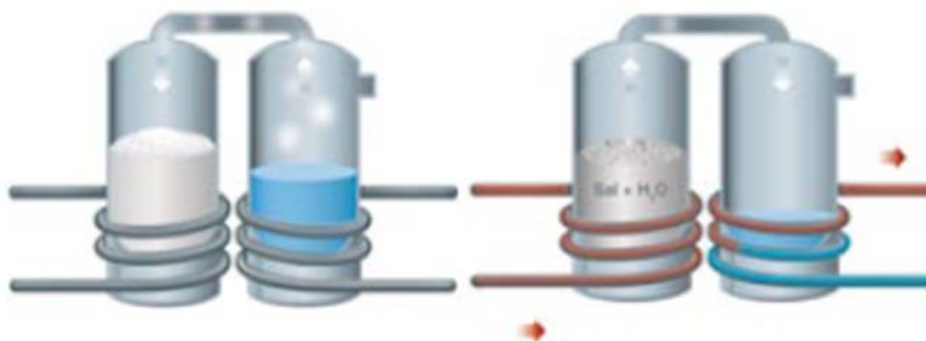


Fig. 5. Principio de funcionamiento de carga de la máquina *ClimateWell*.
 Fuente: Solar coolingeconomics, 2010 [9].

En la figura 6, se muestra la descarga del sistema, al abrir el paso entre ambos contenedores, la sal comenzará a absorber al agua; la energía para evaporar el agua se extrae de la propia agua bajando así la temperatura de éste, la diferencia de temperatura irá aumentando hasta un límite definido por el tipo de sal empleado. Para que el vapor fluya de forma eficiente del condensador al reactor, es necesario disipar el calor que se genera en el reactor; a mayor disipación mayor capacidad de refrigeración. Mediante el uso de intercambiadores en verano se puede refrigerar la vivienda.



Fig. 6. Principio de funcionamiento de descarga de la máquina *ClimateWell*.
 Fuente: Solar coolingeconomics, 2010 [9].

El área de los captadores solares requerida para que funcione dicha máquina, calculada por la ecuación (2), fue de 30,3 m², es decir 30 m². Los captadores de tubo al vacío Solamax 30, tienen un área de absorción de 3,05 m² requiriéndose un total de 10 captadores con estas especificaciones. El esquema del sistema de refrigeración solar por absorción propuesto se indica en la figura 7.

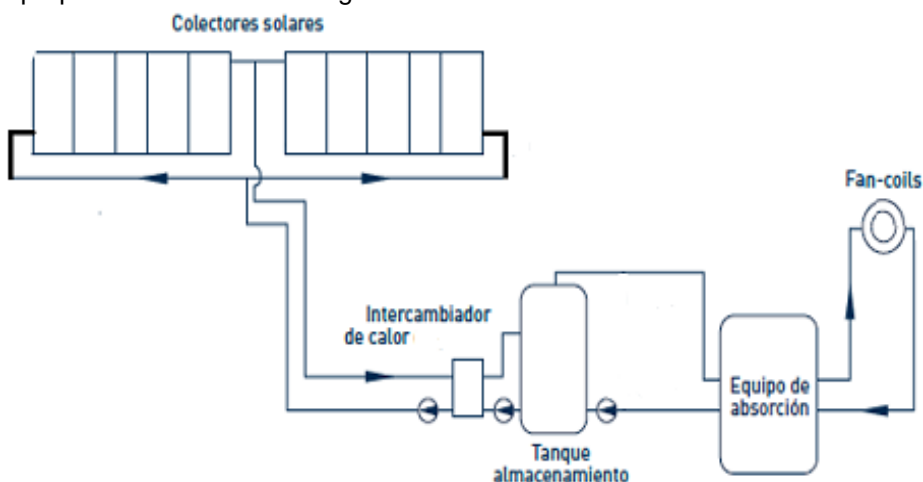


Fig. 7. Sistema de refrigeración solar por absorción.
 Fuente: Solar coolingeconomics, 2010 [9].

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El sistema de enfriamiento solar que se ha propuesto para la comunidad de Kumay está compuesto por: una máquina de refrigeración por absorción, simple efecto, el campo de colectores solares, un intercambiador de calor y un sistema de distribución de aire. Siendo el corazón la máquina de refrigeración *Climate Well 10* y el sistema de captación de energía solar. Los costos específicos de los sistemas de enfriamiento con energía solar han ido disminuyendo con el tiempo, en el año 2007 se encontraban entre 5.000 - 8.000 €/kW, ya en el 2012 el costo oscila alrededor de 3.000 €/kW de forma general.

En la actualidad, y de acuerdo a consultas realizadas a diferentes fabricantes, el costo del sistema de enfriamiento con relación al año 2012 ha disminuido en un 15%; estando en el orden de 2.550 euros el kW, continuará disminuyendo debido a los avances tecnológicos y la optimización de estos sistemas y al perfeccionamiento de las tecnologías que utilizan fuentes renovables de energía, esperando que los próximos años esta tecnología comience a ser factible no solo desde el punto de vista técnico - ambiental sino también económico como ha sucedido con la tecnología solar fotovoltaica.

Para las condiciones del Ecuador, donde será necesario importar la máquina de absorción y el sistema de captación de la energía solar, el costo del sistema de enfriamiento puede incrementarse en un 15 %, estando en el orden de 30.000 euros.

La tecnología de refrigeración solar por absorción no entrega beneficios financieros, pues hoy día el costo de la inversión es alto, siendo más alto que el de un sistema de refrigeración convencional por compresión eléctrica. La razón principal es el alto costo inicial del sistema de captación de la energía solar y de las máquinas de refrigeración por absorción. Pero se valoran los beneficios ambientales, sociales y sus impactos en ese orden los costos se balancean y se justifica el empleo de estos sistemas.

Debido a que la comunidad de Kumay está asentada en la cuenca amazónica, que es una región extremadamente sensible desde el punto de vista ambiental, pues está llena de recursos (agua, flora, fauna, biodiversidad, petróleo, minería entre otros) y con una biodiversidad autóctona e inigualable, emplear tecnologías limpias o de bajo impacto y sobre todo que empleen fuentes renovables de energía tiene gran importancia para el desarrollo de esta zona y es de interés del gobierno ecuatoriano promover proyectos de este tipo, pues se encuentra inmerso en aumentar la presencia de las fuentes renovables de energía en su matriz energética.

CONCLUSIONES

En este trabajo se muestran a los sistemas de refrigeración por absorción con energía solar como a una alternativa para climatizar el consultorio médico de la comunidad de Kumay de la provincia de Pastaza en el Ecuador. En el mismo se propone un sistema de refrigeración por absorción con energía solar, compuesto por una máquina de refrigeración por absorción, marca *Climate Well 10*, simple efecto con 10 kW de potencia, la misma utiliza el par cloruro de litio y agua, como absorbato y absorbente, un sistema de 10 colectores de tubo al vacío comercializados por la firma *Thermomax*, modelo *Solamax* y los sistemas auxiliares.

Con este sistema se mejorará la calidad de vida de los habitantes de la Comunidad de Kumay, pues se generarán empleos, se incrementará el confort y la calidad de los servicios médicos que se prestan en esta instalación. También se generarán nuevos conocimientos en la población por la divulgación y capacitación sobre el empleo de estos sistemas, sobre las fuentes renovables de energía y su empleo que deberá llevarse a cabo en la Comunidad. Desde el punto de vista ambiental estos sistemas se encuentran entre los catalogados como de bajo impacto medioambiental.

REFERENCIAS

[1]. Sistema de Información Económica Energética – Organización Latinoamericana de Desarrollo. SIEE-OLADE. "Estructura de la Oferta de Energía Primaria", febrero 2009, [Consultado: 10 de septiembre 2012]. Disponible en: www.ceda.org.ec/descargas/publicaciones/matriz_energetica_ecuador.pdf.

[2]. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA (INAMHI). "Irradiación solar global anual promedio en el Ecuador", enero 2010, [Consultado: 17 de septiembre 2012], Disponible en: www.inamhi.gob.ec/index.php/paute.

- [3]. CONSEJO NACIONAL DE ELECTRIFICACIÓN (CONELEC). "Plan Nacional de Electrificación 2009-2020, en Cobertura eléctrica nacional a nivel parroquial", enero 2009, [Consultado:10 de septiembre 2012], Disponible en: www.conelec.gob.ec .
- [4].CONSEJO NACIONAL DE ELECTRIFICACIÓN (CONELEC). "Programa Nacional de Electrificación", enero 2013, [Consultado:15 de febrero 2013]. Disponible en:www.conelec.gob.ec/documentos.php?cd=4171&l=1.
- [5]. HERRADOR, M., "Estado del arte de las distintas tecnologías de refrigeración solar". Dr. Moreno; D., [Tesis en opción a Master en Ciencias en Ingeniería Eléctrica], España: Universidad Miguel Hernández, septiembre 2010,[Consultado:10dejunio 2013], Disponible en: http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70166/fichero/Archivo_Cap%EDtulo+3.pdf .
- [6].LÓPEZ, J., "Integración de sistemas de refrigeración solar en redes de distrito de frío y de calor", Tarragona, España:Universitat Rovira I Virgili, junio 2010, [Consultado: 24 de septiembre 2012]. Disponible en: www.tesisexarxa.net .
- [7].KIM, D.; FERREIRA, I., "Solar refrigeration options a state of the art review". En: International Journal of refrigeration, 2008, vol.31, [Consultado: 15 de febrero del 2013] Disponible en: <http://www.journals.elsevier.com/international-journal-of-refrigeration/>.
- [8].CARRIER, L., "Manual de refrigeración y aire acondicionado", Editorial Marcombo S.A, 2007, ISBN: 9788426714992.
- [9].MUGNIER, D.; "Solar cooling economics". En: Task 38, Solar Air. Conditioning and Refrigeration Workshop, SHC. Orlando, 2010, [Consultado: 17 de junio 2013], Disponible en: http://www.rhcplatform.org/fileadmin/2013_RHC_Conference/Presentations/Tuesday_23rd_April/Session_E/1/Daniel_Mugnier.pdf.

AUTORES

José Antonio-Romero Paguay

Ingeniero Mecánico, Máster en Fuentes Renovables de Energía, Docente, Investigador Titular, Universidad Estatal Amazónica, UEA, Puyo, Ecuador.
e-mail: jromero@ceter.cujae.edu.cu

Tania – Carbonell Morales

Ingeniera Química, Doctora en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Centro de Estudios de Tecnologías Energéticas Renovables, CETER, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba.
e-mail: taniac@ceter.cujae.edu.cu