

CLIMATIZACIÓN SOLAR DE EDIFICACIONES

SOLAR AIR CONDITIONING OF BUILDING

Debrayan Bravo Hidalgo^{1}*

¹ Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente. Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez"
Cuatro Caminos, Cienfuegos 59430, Cuba

Recibido: Febrero 11, 2015; Revisado: Marzo 3, 2015; Aceptado: Marzo 16, 2015

RESUMEN

La climatización con energías renovables es una cuestión clave en la política energética de la región. Las altas temperaturas alcanzadas, generalmente atribuidas al cambio climático, y el incremento del nivel de vida de la sociedad, continúan incrementando la demanda energética para establecer las condiciones de confort térmico en las edificaciones.

La climatización solar, aunque contiene una tecnología ya madura, su nivel de introducción en el mercado y su aceptación por parte de los diseñadores de edificaciones, es taxativa. Este trabajo expone la viabilidad de estos proyectos, identifica las barreras de tipo no tecnológicas que dificultan el uso y la implantación de la energía solar para sistemas de climatización, y finalmente, en él se declaran criterios y recomendaciones para superar dichas obstáculos.

Palabras clave: climatización, energía solar térmica, absorción, adsorción.

ABSTRACT

Air Conditioning with renewable energy is a key issue in the region's energy policy. The high temperatures usually attributed to climate change and the increase of the standard of living in society continues increasing energy demand in order to establish the conditions for thermal comfort in buildings.

Solar air conditioning, although it contains a mature technology, its level of market introduction and acceptance by designers of buildings is exhaustive. This paper discusses the feasibility of these projects, identifies non-technological type barriers that hinders such use and implementation of solar energy for air conditioning systems, and finally, it approaches some criteria and recommendations to overcome these obstacles.

Key words: Air Conditioning, thermal solar energy, absorption, adsorption.

Copyright © 2015. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

* Autor para la correspondencia: Debrayan Bravo Hidalgo, Email: dbrayanbh@nauta.cu

1. INTRODUCCIÓN

La producción de energía a partir de la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas natural representaba el 45% de la Huella Ecológica global. La disminución sustancial en la quema de combustibles fósiles y en las emisiones asociadas de dióxido de carbono es vital para evitar un peligroso cambio climático, Stephen (2007).

En la región del Caribe, una edificación destina más del 60% de su demanda energética a satisfacer los requerimientos de climatización. Nuestro país prevé construir 48 mil nuevas habitaciones para el año 2030 en el sector del turismo lo cual demanda un elevado consumo de energía.

La refrigeración con energías renovables representa una cuestión clave en la política energética de países de la región (Martínez y col. 1997).

Las altas temperaturas alcanzadas en el Caribe y generalmente atribuidas al cambio climático, continúan incrementando la demanda energética para producir aire acondicionado durante el verano.

Empleando la energía solar (Figura 1) se pueden reducir los picos de energía eléctrica sustancialmente durante los meses de verano y por consiguiente reducir las emisiones de CO₂.

El calor producido con energía solar es un concepto ampliamente aceptado para la producción de Agua Caliente Sanitaria (A.C.S.) que además está muy bien introducido en el mercado. Sin embargo, el frío solar o refrigeración solar, aunque contiene una tecnología ya madura, su nivel de introducción en el mercado y su aceptación por parte de los diseñadores de edificaciones no industriales son más bien bajos. Esto es debido al número de barreras no tecnológicas a las que tiene que hacer frente, tales como su costo en la inversión inicial que es relativamente más alto que en una instalación de aire acondicionado por compresión mecánica de vapor refrigerante (Govinda et al., 2011).

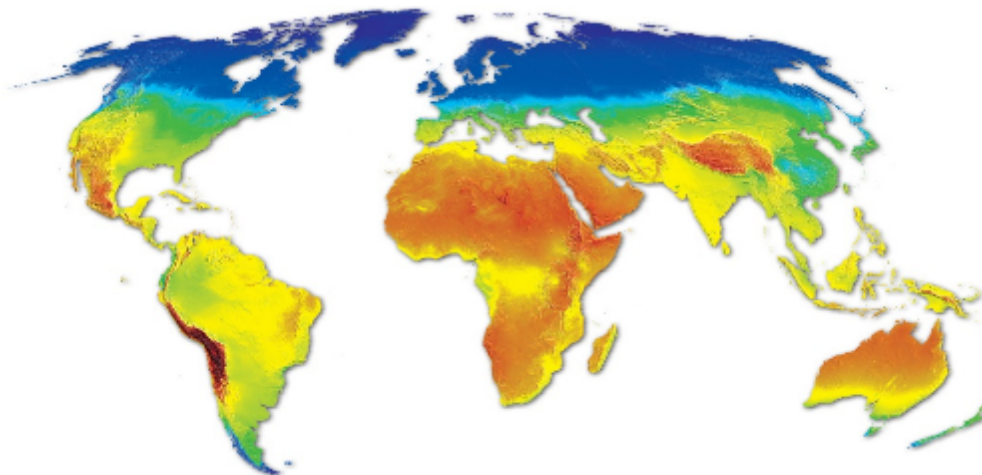


Figura 1. Distribución global de la radiación solar. Fuente: Incainnova.org Building a Solar Energy Innovation System in Peru.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de sistema de aire acondicionado activado con energía solar térmica.

Una instalación típica de climatización solar consta de un campo de captadores solares, un depósito de acumulación térmica, una unidad de control, tuberías, bombas y una

máquina enfriadora accionada térmicamente, como puede verse en la figura 2. La mayoría de los captadores que se utilizan en los sistemas de climatización solar son de una gran eficiencia y están disponibles en el mercado, a menudo captadores de placa plana o captadores tubulares de vacío, Martínez (2005).

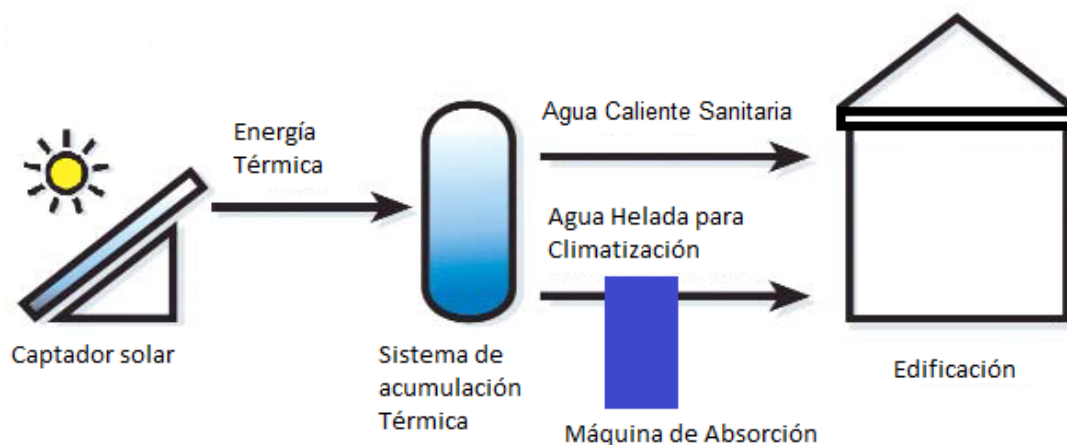


Figura 2. Estructura básica de una instalación de climatización Solar.

Fuente: Elaboración propia.

La energía solar disponible, en forma de radiación solar, es utilizada por un captador solar para calentar a altas temperaturas un fluido, normalmente agua, la cual es dirigida a un depósito de acumulación térmica.

Las enfriadoras son el verdadero núcleo de las plantas de climatización solar, utilizan el fluido caliente de los depósitos de acumulación térmica para producir fluido refrigerado. Entonces este fluido refrigerado puede ser utilizado por una instalación convencional acondicionadora de aire (Bravo y Bermúdez, 2013).

En un día típico, el depósito de acumulación térmica funciona como un depósito de inercia y permite gestionar la absorción de calor durante las horas de radiación solar y derivarla para la refrigeración que pudiera ser necesaria durante un período de tiempo distinto.

En estos diseños pueden emplearse dos tanques de almacenamiento térmico: uno para el almacenamiento de agua caliente producida por el campo solar y otro para el líquido refrigerado producido por la máquina de absorción (enfriadora) (Meriem et al., 2013).

2.2. Captadores solares para instalaciones de frío solar.

Los captadores solares transforman la radiación solar en calor y transfieren ese calor a un medio, el cual se denomina fluidocalo-portador. Es entonces cuando este calor se puede usar para obtener (agua caliente y calefacción), refrigerar y climatizar piscinas. Las tecnologías de climatización solar requieren altas temperaturas del fluido calo-portador (90-150°C) y los captadores capaces de producirlos son los captadores tubulares de vacío y captadores solares de placa plana de alto rendimiento. Estos tipos de captadores solares son los económicamente más viables y por consiguiente los más comúnmente utilizados con estos fines. El campo de captadores solares proporciona agua caliente como fuente de energía a la enfriadora de absorción (Carrera y col. 2011).

Captadores solares de placa plana: Un captador plano típico consta de un absorbedor, una cubierta protectora transparente y una carcasa con aislamiento. El absorbedor está

compuesto habitualmente de una superficie metálica de alta conductividad térmica como puede ser de cobre o aluminio y una parrilla de tubos colectores. La superficie del absorbedor tiene un recubrimiento que permite maximizar la absorción de radiación solar y minimizar la emisión de radiación infrarroja. El aislamiento reduce las pérdidas de calor desde la parte trasera o laterales del captador. La cubierta protectora transparente permite el paso de la radiación solar y también aísla el absorbedor con el fin de impedir el contacto entre éste y el aire frío del exterior del captador. Ver Figura 3. Akira (2012).

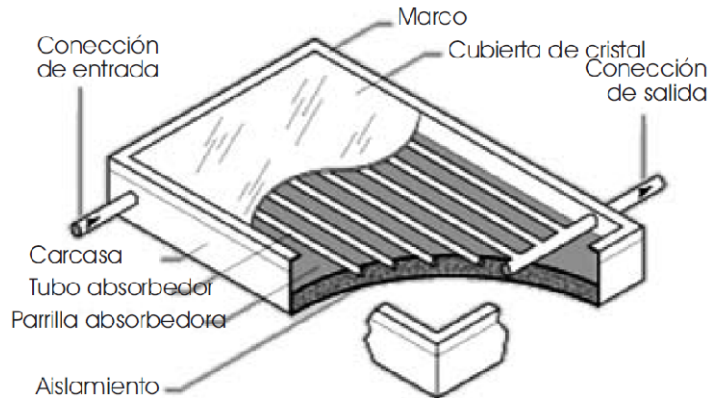


Figura 3. Captadores solares de placa plana. Fuente: www.solcoproject.net

Captadores tubulares de vacío: Los captadores tubulares de vacío están compuestos por un número de tubos de vacío (15 a 30) conectados a un único sistema colector de calor. Cada tubo de vacío está compuesto de dos tubos de vidrio. El tubo exterior y el interior están hechos de un vidrio de borosilicato transparente. El tubo interior está recubierto externamente con una capa selectiva, que ofrece una excelente absorción de radiación solar y una baja emisión de radiación infrarroja. El aire se evacua desde el espacio que se encuentra entre los dos tubos de vidrio para formar un vacío, lo cual elimina las pérdidas térmicas por conductividad y convección.

La presencia de la cámara de vacío evita cualquier pérdida por conducción o convección. Debido a esto, el sistema funcionará incluso con temperaturas ambiente muy bajas a diferencia de los tradicionales captadores de placa plana. El calor absorbido por el Heat pipe se transfiere a un sistema colector por el que circula el agua para calentar un depósito externo. Ver Figura 4. Akira (2012).

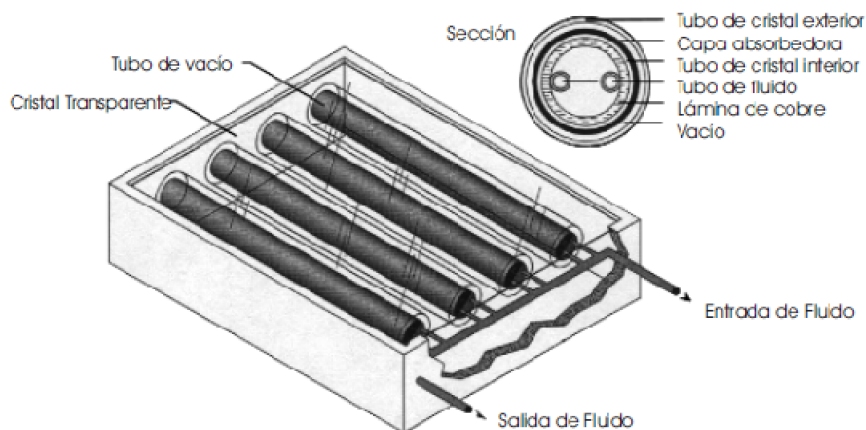


Figura 4. Captador de tubo al vacío. Fuente: www.solcoproject.net

2.3. Máquinas enfriadoras accionadas con energía térmica.

Las enfriadoras son el eje de las plantas de climatización solar. Si los captadores solares suministran la energía de entrada necesaria, las enfriadoras son las máquinas capaces de producir agua fría usando el agua caliente que proviene de los captadores solares.

De manera más precisa, un enfriador accionado con energía térmica es una máquina que extrae el calor de un líquido a través de un ciclo de refrigeración por absorción.

Hay diferentes tipos de enfriadoras: Las de absorción y adsorción han sido utilizadas durante décadas pero siendo accionadas por generadores de vapor u otra fuente de calor (Madveshi et al., 2011).

Enfriadoras de Absorción: El ciclo termodinámico de las enfriadoras de absorción está accionado por una fuente de calor. Este calor es conducido a la enfriadora mediante vapor o agua caliente. El clima soleado de nuestra posición geográfica, garantiza que la energía solar se puede utilizar para producir el agua caliente necesaria.

En comparación con las enfriadoras accionadas eléctricamente, las enfriadoras accionadas térmicamente tienen unos requisitos de potencia eléctrica muy bajos. Como desventaja cabe destacar que requieren de torre de refrigeración y su coeficiente de rendimiento térmico (COP) oscila en el rango 0,6-0,75 (máquinas de efecto simple) a 1-1,2 (máquinas de doble efecto). Sin embargo, las enfriadoras de absorción, desde un punto de vista de eficiencia energética, son más ventajosas que los sistemas convencionales, en los casos en los que se dispone de calor residual o de calor generado con un sistema de energía solar (Martínez y col., 1997). Las enfriadoras de absorción son las más utilizadas, de las accionadas con energía solar térmica. La compresión térmica de un refrigerante se obtiene usando una solución de líquido refrigerante / absorbente y una fuente de calor, de ese modo se sustituye el consumo de energía eléctrica de un compresor mecánico. Para el agua enfriada por encima de los 0°C, como la usada para el aire acondicionado, se aplica una solución líquida H₂O/LiBr con agua como refrigerante. Los componentes principales de una enfriadora de absorción se muestran en la Figura 5 que aparece a continuación.

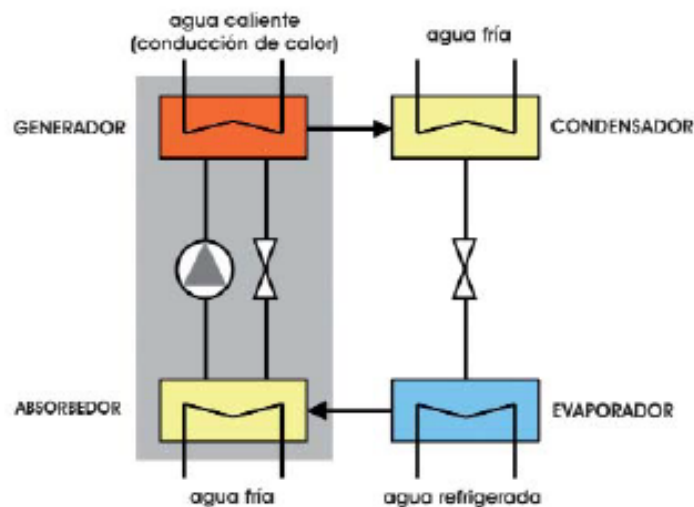


Figura 5. Esquema básico de unas enfriadoras de Absorción. Fuente: www.solcoproject.net

El efecto de enfriamiento está basado en la evaporación del refrigerante (agua) en el evaporador a una presión muy baja. El refrigerante vaporizado se absorbe en el absorbedor, de ese modo se diluye la solución de H₂O/LiBr. Existen pocas enfriadoras de absorción con capacidades por debajo de 50kW (Madveshi et al., 2011).

Enfriadoras de Adsorción: Las enfriadoras de adsorción aplican materiales sólidos de sorción en vez de una solución líquida. Los sistemas que están disponibles en el mercado usan el agua como refrigerante y gel de silicona como material de sorción. Las máquinas está compuestas de dos compartimentos de sorción (señalados con 1 y 2 en la siguiente Figura 6), un evaporador y un condensador. En condiciones típicas de funcionamiento, con una temperatura de unos 80°C, los sistemas obtienen un coeficiente de rendimiento térmico (COP) aproximado de 0,9-1,4, y el funcionamiento es incluso posible con una fuente de calor de temperaturas de aproximadamente 60°C. La capacidad de las enfriadoras varía de 50kW a 500kW (Bogdan et al., 2011).

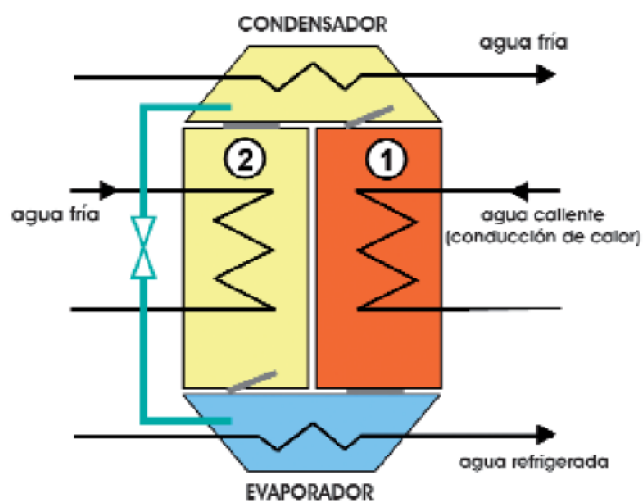


Figura 6. Esquema básico de unas enfriadoras de Adsorción. Fuente: www.solcoproject.net

Tabla 1. Comparación entre las máquinas enfriadores de absorción y las enfriadoras de adsorción

<i>SISTEMAS</i>	<i>ABSORCIÓN</i>	<i>ADSORCIÓN</i>
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> Sólo una parte en movimiento (la bomba) con posibilidad de no tener ninguna parte en movimiento si se trata de un sistema de tamaño pequeño. 	<ul style="list-style-type: none"> No tiene partes en movimiento (excepto las válvulas) Se pueden lograr temperaturas bastante bajas. El COP es bastante alto comparado con otros sistemas que funcionan con energía solar térmica.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> El COP es bajo si se compara con otras tecnologías (oscila entre 0,6-0,75 en máquinas de simple efecto) 	<ul style="list-style-type: none"> Máquinas grandes y pesadas. Requiere presiones muy bajas para su funcionamiento y es difícil

-
- No puede lograr mantener la estanqueidad temperaturas muy bajas en al aire.
 - El sistema es bastante complicado
 - Es muy sensible a las bajas temperaturas, especialmente a la bajada de estas durante la noche.
 - Es un sistema intermitente.
-

El escaso número de fabricantes de enfriadoras accionadas con energía solar dentro del mercado global es una de las razones por las que las plantas enfriadoras solares son todavía pocas, a pesar de las ventajas medio ambientales en términos de bajo consumo eléctrico (Theocharis et al., 2003).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Estudio de viabilidad de los proyectos de climatización solar.

Para desarrollar un proyecto de climatización solar de forma satisfactoria, hay que determinar el interés, tanto desde el punto de vista técnico como desde el punto de vista económico (Carrera y col, 2011).

En el caso de que esta valoración inicial del proyecto sea positiva, comenzaría el estudio en profundidad del proyecto de climatización solar de la edificación. El procedimiento para llevar a cabo dicho estudio sería el siguiente:

- 1) Análisis energético en profundidad, de la instalación: rendimientos, consumos, costos, etc.
- 2) Localización del sistema y establecimiento de las condiciones climáticas locales a lo largo del año (temperaturas medias, mínimas y máximas, radiación solar, etc.)
- 3) Establecimiento de la inclinación y orientación del campo de captadores.
- 4) Decisión de la tecnología solar más adecuada, así como de la configuración hidráulica más oportuna, sobre base de criterios técnicos y económicos.
- 5) Dimensionado de los componentes de la instalación en función del perfil de consumo anual y su homogeneidad diaria y semanal.
- 6) Establecimiento de las prestaciones reales de la instalación a lo largo del año, análisis de perfiles energéticos diarios, mensuales y anuales.
- 7) Realización de planos de implantación detallados de la solución adoptada.
- 8) Realización de un presupuesto detallado de la solución adoptada.
- 9) Estudio económico financiero del proyecto sobre criterios de una explotación a largo plazo, analizando: costos de mantenimiento, costos de fluido calorportador, costos de seguros, costos financieros, etc.
- 10) Realización de una memoria técnica que reúna las características de la solución adoptada.
- 11) Presentación al cliente de la solución tecnológica, definición del titular de la instalación y tipo de contrato.

La implantación de una instalación de climatización solar implica necesariamente el conocimiento energético de la instalación existente, de forma que la instalación solar se

adapte a dicho perfil energético para optimizar sus prestaciones.

3.2. Dificultades a superar para lograr una mayor aceptación de las técnicas de frío solar.

En la actualidad las tecnología de frío solar no es ni tan popular ni está tan desarrollada como debería estarlo. Esta tecnología todavía no está introducida de forma significativa en el mercado del acondicionamiento de aire en la región. Las barreras de tipo no tecnológico que impiden llevar más lejos el conocimiento de esta tecnología y su introducción en el mercado se exponen a continuación:

➤ Concienciación y conocimiento

- Carencia de concienciación por parte de los usuarios potenciales (hoteles, hospitales y otros) sobre las posibilidades y beneficios de utilizar instalaciones de refrigeración solar.
- La mayoría de los técnicos, diseñadores, instaladores y personal de mantenimiento no están familiarizados con la tecnología de refrigeración solar y por lo tanto no las ofertan a los usuarios potenciales.
- La mayoría de los técnicos no están completamente formados en esta tecnología.
- Los proveedores de esta tecnología son principalmente ingenieros e instaladores; ellos necesitan un respaldo adicional en forma de formación, herramientas de diseño (software) y sistemas de control para hacer mejor su trabajo.
- La escasez de soluciones en forma de paquetes es un serio problema no sólo durante la ejecución sino que también durante la vida de la instalación (mantenimiento); la instalación y su funcionamiento necesitan de un conocimiento específico.

➤ Demostración

- Existe un número muy limitado de instalaciones que sirvan de demostración; al final de 2007 habían aproximadamente 300 instalaciones de frío solar operativas en el mundo; sólo unas pocas estaban monitorizadas y como resultado hay información limitada sobre su funcionamiento.

➤ Costos

- Figuras relevantes del mercado reclaman que el alto coste de la inversión limita la extensión de esta tecnología.
- Los sistemas de sorción de hoy son todavía más caros si los comparamos con las enfriadoras convencionales. Esto es más evidente en los casos de enfriadoras de baja escala (para ser utilizadas en viviendas, en pequeños centros comerciales etc). Se requiere un esfuerzo significativo para desarrollar la existencia de esta tecnología y para reducir el coste del sistema.
- El uso de las enfriadoras de sorción requiere en la mayoría de los casos la existencia de torres de refrigeración. Estos elementos están sujetos a una legislación específica para evitar la enfermedad del Legionario. El mantenimiento de estas instalaciones es muy caro y la mayoría de los usuarios prefieren evitarlo.

➤ Disponibilidad en el mercado

- Aunque ha habido un importante incremento en este mercado, todavía hoy es muy limitado el mercado que hay para máquinas de potencias frigoríficas bajas.

➤ **Política e incentivos**

- La reducción de impuestos y otros incentivos financieros para sistemas de energía solar térmica son limitados y claramente no suficientes para promover esta tecnología.
- Es necesaria una guía para sistemas de refrigeración asistidos por energía solar térmica a nivel nacional. Estas instalaciones a menudo son olvidadas en los esquemas de incentivos financieros para plantas de energía solar térmica.

3.3. Recomendaciones para superar las barreras de tipo no tecnológico.

A pesar del hecho de que la adopción de la tecnología solar está reconocida como una respuesta realista a los problemas de tipo energético y medioambiental que están llamando la atención del público, las evaluaciones económicas son a menudo no favorables. Los factores críticos que asegurarán la extensión de los sistemas de refrigeración solar son la madurez tecnológica y la mejora de la viabilidad económica (Ioan y Calin., 2013).

Los análisis económicos de los sistemas de refrigeración solar indican que estos sistemas no serán competitivos comparados con los sistemas de refrigeración convencionales teniendo en cuenta el precio actual de la energía. Se necesita de forma importante tanto incentivos para la inversión como el establecimiento de impuestos que reflejen el coste medioambiental total de los combustibles convencionales. Para superar la multitud de obstáculos y barreras que frenan el desarrollo de la tecnología de refrigeración solar se identificaron las soluciones siguientes:

➤ **Información-difusión**

- Desarrollar una fuerte campaña sobre tecnología de frío solar para crear una amplia concienciación y una nueva y mejor implementación con el mercado, que haga que los asesores y los usuarios potenciales tengan más en cuenta esta tecnología.

➤ **Demostración**

- Es necesario un gran número de proyectos de demostración. Es absolutamente necesario conocer datos reales acerca del comportamiento de plantas monitorizadas. Las instalaciones de frío solar existentes muestran una reducción de su alto costo para la próxima generación de instalaciones de frío solar.

➤ **Formación**

- Deben ofrecerse cursos de formación específica para profesionales (instaladores) y debe incluirse la tecnología de refrigeración solar dentro de la educación que reciben los ingenieros a lo largo de sus carreras. El desarrollo de modelos avanzados y de herramientas de simulación para diseñadores e instaladores es también algo absolutamente necesario.

➤ **Calidad y Método de Trabajo**

- Mejora de los componentes con respecto a su comportamiento (incrementando el COP en el caso de las enfriadoras y mejorando la eficiencia de los captadores solares). Al mismo tiempo esta mejora debe reducir el costo de los componentes para hacer las instalaciones de refrigeración solar algo más atractivas para los usuarios potenciales.
- La estandarización en el campo de las instalaciones de frío solar es necesaria, guías de diseño, pruebas de eficacia y conceptos de mantenimiento deben ser estandarizados.

➤ **Política**

- Incluir la refrigeración solar en los esquemas y subvenciones para energía solar térmica a nivel nacional.
- Todavía hay una necesidad de subvenciones para sostener la implementación de la tecnología de frío solar y para asegurar su introducción efectiva en el mercado de la refrigeración.
- Establecimiento de un proceso de acreditación basado en una formación específica junto con un buen historial de instalaciones exitosas y referencias de otros clientes.

4. CONCLUSIONES

El empleo de la energía solar térmica con fines de climatización en el país es una ruta idónea desde el punto de vista de la eficiencia energética, y de la posición medioambiental responsable.

Hoy en día es una realidad que la solicitudes de climatización solar es realmente baja. Es tanto el origen como la consecuencia la paupérrima introducción de esta tecnología, incluso en países en los que la radiación solar es alta, como sucede en la región del Caribe.

Además se pueden declarar los siguientes puntos:

- En las instalaciones de climatización solar la inversión inicial es superior a la necesaria para instalaciones de climatización convencionales. Por lo que hay relativamente pocas instalaciones activas y esto a su vez hace que se mantenga el precio de los componentes, como las enfriadoras, que ya de por sí es relativamente alto debido a la escasez de economías de escala.
- Existe un déficit de conocimiento especializado en tecnología de frío solar por parte de los diseñadores, instaladores y técnicos, que en su mayoría continúan diseñando y promoviendo las instalaciones convencionales que no hacen uso de la gratuita y abundantes energía solar en nuestro país.
- Los proyectos de ayudas económicas a niveles nacionales son esenciales para superar la barrera económica y hacer la tecnología de climatización solar más competitiva y mejorar la introducción en el mercado Estas ayudas pueden ser en forma de subvenciones, concesiones de préstamos y/o reducción de impuestos.
- La divulgación de información acerca de las ventajas de la tecnología de frío solar es vital. La información y difusión de conocimientos científico-técnico en esta área hará posible que las bondades de estas prácticas lleguen al mayor número posible de usuarios y de este modo maximizar su aceptación.

REFERENCIAS

- Akira, H., Solar Cooling System Using Solar-Driven Hybrid Chiller., Memory of International Refrigeration and Air Conditioning Conference., Purdue University, Indiana, United States of America, 2012, pp. 2366-2374.
- Carrera, A., Sisó, L., Herena, A., Valle, M., Casanova. M., González, D., Evaluación del potencial de climatización con energía solar térmica en edificios., Estudio Técnico PER 2011-2020, Madrid, España, Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, 2011.

- Bravo, D., y Bermúdez, G., Sistema de aire acondicionado activado con energía solar térmica., *Energía y Tú*, Vol. 23, No. 64, oct-dic, 2013, pp. 33-38.
- Bogdan, M., Energy analysis of a solar-assisted ejector cycle air conditioning system with low temperature thermal energy storage., *Renewable Energy*, Vol. 37, No. 3, 2012, pp. 266-276.
- Govinda R., Timilsina, L., Patrick A., A Review of Solar Energy, Markets, Economics and Policies., Policy Research Working Paper 5845, The World Bank Development Research Group Environment and Energy Team., October, 2011.
- Ioan S., Calin S., Review of solar refrigeration and cooling systems., *Energy and Buildings*., Vol. 67, No. 2, 2013, pp. 286–297.
- Madveshi, M.H., Gupta, P.N., Nitin Pal., Use of Solar Energy for Absorption Cooling System to Drive Half-Effect., *International Journal of Thermal Technologies*, Vol.1, No.1, Dec., 2011, pp. 100–106.
- Meriem, S., Moncef, B., Amenallah, G., Energy performance analysis of a solar-cooled building in Tunisia: Passive strategies impact and improvement techniques., *Energy and Buildings*, Vol. 67, No. 4, 2013, pp. 374–386.
- Martínez, P.J., Soto V., Pinazo, J.M., Aplicaciones de la energía solar a la climatización mediante el uso de la tecnología de absorción., *El instalador*, Vol. 21, No. 9, Octubre, 1997, pp. 33-49.
- Martínez, P. J. Diseño y dimensionado de instalaciones de climatización con energía solar., *El instalador*, Vol. 56, No. 37, Abril 2005, pp. 22-29.
- Stephen, A., *Sustainable Development Handbook*., Published by The Fairmont Press, Inc., 2007, pp. 58–62.
- Theocharis, T., Joanna, A., Colin, P., Michalis, K., Dimosthenis, A., Solar cooling technologies in Greece. An economic viability analysis., *Applied Thermal Engineering*, Vol. 23, No. 67, 2003, pp. 1427–1439.