

SINOPSIS DEL ESTADO DE ARTE DE LA CLIMATIZACIÓN MEDIANTE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

Björn Nienborg
 Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Heidenhofstr. 2, 79110 Freiburg, Alemania
 www.ise.fraunhofer.de
 Tel +49-761-4588 0 – Fax +49-761-4588 9333 e-mail: bjoern.nienborg@ise.fraunhofer.de

RESUMEN: En el presente trabajo se presenta una sinopsis del estado de arte de la refrigeración o climatización a base de energía solar térmica. Teniendo en cuenta dicho objetivo se efectuó una extensa revisión de literatura sobre la temática en cuestión. El trabajo contiene una introducción sobre las tecnologías disponibles en el mercado para la refrigeración. Por lo demás se resume la tecnología de sistemas inclusive pautas para el diseño. A continuación se señala tanto el potencial de la tecnología como los problemas por resolver, que se deben mayormente a la complejidad del sistema. El trabajo concluye con una visión general de los sistemas instalados: lugares, rango de potencia y tecnologías empleadas.

Palabras clave: refrigeración solar, climatización solar, máquina de adsorción, máquina de absorción

INTRODUCCIÓN

Cerca de 40% de la demanda de energía final en Europa se destina a edificios, poco más de la mitad en el sector residencial.

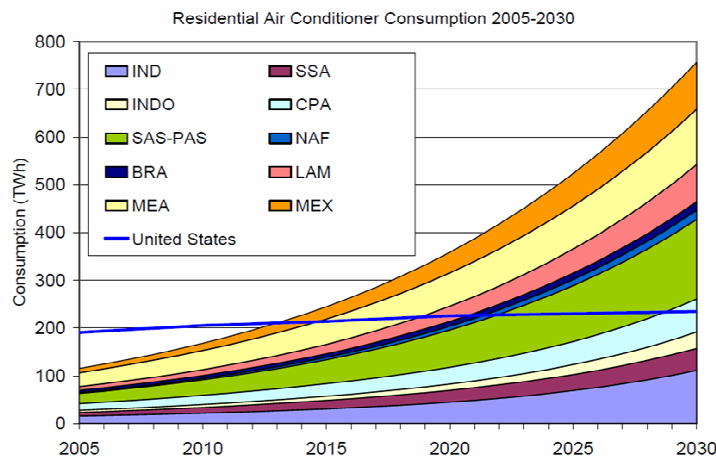


Figura 1: Pronostico de consumo de electricidad para el acondicionamiento de aire en países en vías de desarrollo entre 2005 y 2030; Fuente: McNeil

Por un lado el consumo específico para calefacción por área disminuye como consecuencia de la eficiencia creciente en la producción de calor y en la construcción. Por el otro lado el consumo para climatización en verano sube por la suba en exigencia de confort y las crecientes cargas internas por artefactos eléctricos. Hasta el año 2020 se pronostica un incremento de más de 10% anual en la potencia instalada de acondicionadores de aire en Europa (Europäische Kommission, 2004). Para el consumo en países en vía de desarrollo se estima que la suba será mucho mayor: un 200% en el período de 2005 a 2020 y otro 100% hasta el 2030 (ver gráfico). Como el transcurso de la irradiación solar y de la carga de refrigeración presentan alta coincidencia, en varios institutos en su mayoría europeos se investiga la climatización a base de energía solar térmica – conocido como “refrigeración solar”, “frío solar” o el término inglés “solar cooling”.

METODOLOGÍA

En este trabajo se presenta un resumen del estado de arte de dicha tecnología. Teniendo en cuenta dicho objetivo se sintetizan las experiencias realizadas en varias partes del mundo en los últimos 15 años. La información proviene de trabajos presentados en distintas conferencias internacionales, de artículos de revistas técnicas y de informes de proyectos dedicados al tema. En ese contexto el autor se ve beneficiado de más de 3 años de experiencia profesional trabajando sobre el frío solar en el Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (Alemania), el instituto de investigación en el área de energía solar mas importante de Europa.

TECNOLOGÍA

Básicamente hay dos posibilidades para enfriar o climatizar mediante la energía solar:

- Se utilizan colectores solares para transformar la radiación en calor, el cual acciona un proceso térmico de enfriamiento.
- Un generador fotovoltaico produce electricidad a partir de la radiación solar. Esa energía impulsa el proceso de enfriamiento – generalmente una maquina de compresión.

Debido al alto costo de los módulos fotovoltaicos esta última tecnología se emplea generalmente para aplicaciones especiales, por ejemplo la refrigeración de medicamentos en zonas remotas sin acceso a la red eléctrica. La primera se usa tanto para la climatización de edificios como en procesos industriales. Este trabajo se concentra en aplicaciones solar térmicas para la climatización.

En comparación con la tecnología convencional (eléctrica) de refrigeración por compresión el frío solar conlleva una serie de ventajas. En primer lugar, las máquinas generalmente funcionan con refrigerantes ecológicos. La mayoría utiliza agua, que no tiene potencial de calentamiento global (inglés: Global Warming Potential – GWP), a diferencia de los refrigerantes utilizados en máquinas de refrigeración por compresión (por ejemplo, R134a: GWP = 1300; de Jager, 2005). Como los sistemas requieren energía eléctrica auxiliar únicamente para el funcionamiento de las bombas y la torre de enfriamiento, tienen un consumo significativamente menor – siempre y cuando están bien diseñados. Así, además de los resultantes ahorros de CO₂, alivian la presión sobre la red de energía - en algunos países con altas temperaturas estivales esto inclusive sería una ventaja importante, ya que la operación masiva de aparatos de aire acondicionado eléctrico en el verano a veces lleva a la sobrecarga del sistema eléctrico. Además del frío, los sistemas solar térmicos obviamente pueden proporcionar calor para agua caliente sanitaria y calefacción. Esto reduce aún más la cantidad de emisiones emitidas. Finalmente, otra ventaja es que los niveles de ruido son considerablemente más bajos, dado que las máquinas trabajan sin compresor.

El elemento central de cualquier sistema de refrigeración solar es el proceso de enfriamiento o climatización accionado térmicamente. Todos los equipos disponibles en el mercado actualmente se basan en algún proceso de sorción. En el caso de la adsorción una materia líquida o gaseosa se liga a un material sólido poroso. En el caso de absorción el material es absorbido por un líquido o un sólido (Lalela et al., 2008).

Algunos procesos condicionan el aire de entrada directamente, es decir, se regula la temperatura y la humedad. Por lo general se trata de aire del exterior, que no se recircula, por lo cual se llama proceso (o ciclo) abierto. Sin embargo existe también el denominado proceso (o ciclo) cerrado, en el cual se enfría agua, que circula en un circuito hidráulico cerrado.

Tecnologías nuevas como eyector de chorro de vapor o compresores accionados a vapor no son tratados en este trabajo, ya que se encuentran en estado de investigación y desarrollo y no están disponibles en el mercado (Pollerberg, 2009).

Ciclos abiertos

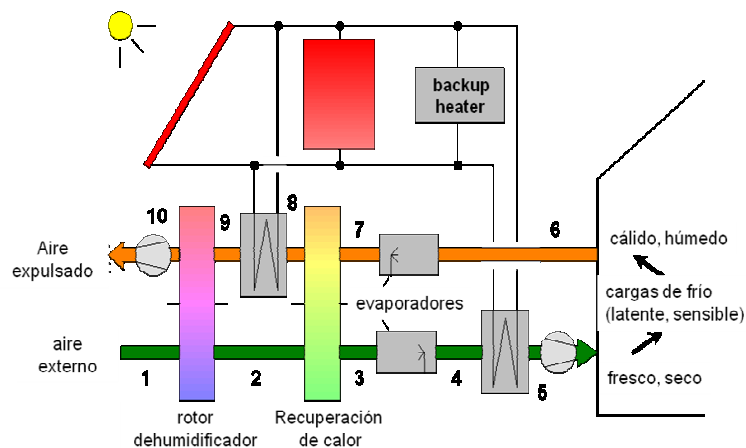


Figura 2: Esquema ejemplar de un sistema abierto de climatización solar mediante rueda desecante; Fuente: Fraunhofer ISE

El aire externo, caliente y húmedo, pasa por el rotor deshumidificador que gira lentamente y así se deshumidifica por adsorción de agua (1-2). Los materiales deshumidificadores empleados usualmente son gel de silicio y cloruro de litio. En ese proceso el aire se calienta por la liberación del calor de adsorción. A continuación pasa por una rueda de recuperación de calor (2-3), resultando en un significativo pre-enfriamiento de la corriente de aire. Luego, a través de un humidificador controlado, el aire es humidificado y de paso enfriado mediante una humidificación controlada (3-4) de acuerdo con los valores deseados de temperatura y humedad. El flujo saliente del edificio es humidificado (6-7) casi hasta el punto de saturación para aprovechar al máximo la capacidad de enfriamiento a fin de conseguir una efectiva recuperación de calor (7-8) o de frío en el canal de suministro de aire (2-3) respectivamente. Por último el aire de escape es calentado a temperaturas entre 45°C y 80°C para así poder regenerar (secar) la rueda de adsorción lo cual permite una operación continua del proceso de deshumidificación (9-10). En este paso se emplea la energía obtenida por el sistema de colectores solares.

Cuando hay poca demanda de acondicionamiento, p.ej. en el periodo de transición entre primavera y verano, el sistema puede trabajar por refrigeración indirecta: el aire de escape es humedecido (6-7) y enfría el aire de entrada a través de la rueda de recuperación de calor (7-8 y 2-3). El rotor desecante y la humidificación del aire de entrada permanecen desactivados.

Durante la temporada de calefacción el sistema permite la recuperación de calor del aire de escape para precalentar el aire de entrada (7-8 y 2-3). Luego el aire puede ser humidificado (3-4) y finalmente calentado por energía solar o el calefón auxiliar (4-5) acorde a las requerimientos de los usuarios (Henning, 2003).

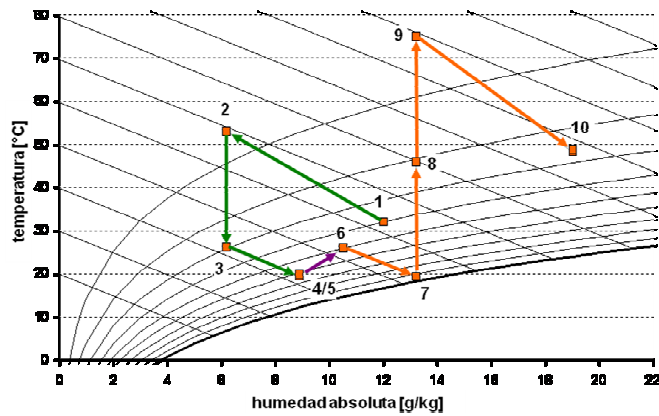


Figura 3: Proceso de climatización solar mediante rueda desecante en diagrama t-x; Fuente: Fraunhofer ISE

Este tipo de sistemas requiere temperaturas de regeneración entre los 50°C y 80°C. Estas pueden ser proporcionadas por colectores planos de agua o de aire. El dimensionamiento del campo de colectores se hace en función del caudal de aire a climatizar. Valores típicos son entre 8m² y 10m² por 1000m³/h capacidad instalada, pero es imprescindible considerar las circunstancias específicas en el planeamiento del sistema. Generalmente se incluye un tanque de almacenamiento al sistema para incrementar el grado de utilización y garantizar cierta independencia en momentos de baja irradiación. Un valor de orientación para el volumen es de 40l a 60l por metro cuadrado de colectores (Henning, 2005; Hindenburg, 2009).

Todos los componentes de los sistemas abiertos con rotor poseen un alto grado de desarrollo y están disponibles en el mercado. Para garantizar la ventaja principal de los sistemas de climatización solar – el bajo consumo de electricidad – es muy importante mantener baja la caída de presión en los ductos de aire y utilizar componentes eléctricos de alta eficiencia. En caso de alta demanda de refrigeración que no puede ser cubierta únicamente por el intercambio de aire, se puede combinar con un sistema de circuito cerrado, p.ej. con un techo frío.

En años recientes se están investigando sistemas de sorción líquida. Estos sistemas ofrecen la ventaja adicional de un acumulador de energía sin pérdidas (Halawa, 2009 y Jaradat, 2009).

Ciclos cerrados - componentes

En el grupo de los sistemas cerrados se emplean los dos procesos mencionados anteriormente de sorción.

Maquinas de Adsorción usan materiales sólidos, higroscópicos como adsorbente (gel de silicio o zeolita) y agua deionizada como refrigerante. Los equipos consisten en cuatro componentes principales: dos cámaras de adsorción, una cámara de condensación y otra de evaporación. Todo el sistema esta evacuado y es interconectado mediante válvulas que se abren por diferencia de presión.

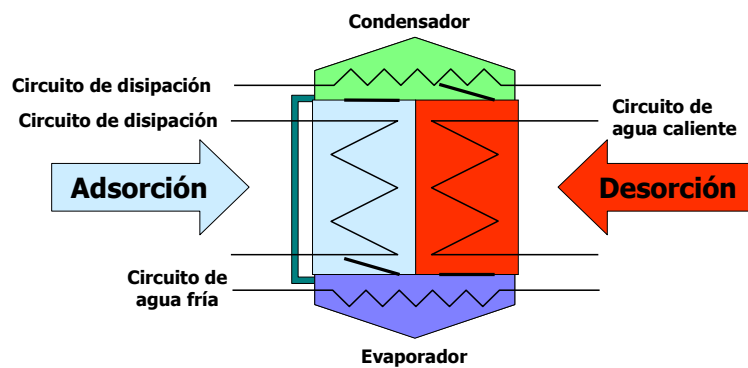


Figura 4: Esquema de funcionamiento de una máquina de adsorción; Fuente: Fraunhofer ISE

Los procesos son los siguientes. En una cámara de adsorción se adsorbe vapor de agua que proviene del evaporador. De esa manera se extrae calor del circuito de agua fría. La entalpía de adsorción es transmitida al circuito de disipación de calor.. Cuando se satura el material adsorbente, hay que regenerarlo, es decir, secarlo. Eso se logra mediante calor, que se obtiene del subsistema solar. El vapor desorbido condensa dentro del condensador y vuelve al evaporador como condensado. El calor de condensación es evacuado al circuito de disipación. Como consecuencia del proceso discontinuo se trabaja con dos cámaras de adsorción. Mientras una adsorbe la otra es regenerada. Durante la conmutación de las cámaras también se realiza un proceso de recuperación de calor transfiriendo calor de la cámara regenerada (caliente) a la cámara adsorbida (fría).

Las maquinas de absorción trabajan con sorbentes líquidos. Hay dos tipos de maquinas disponibles. Unas tienen bromuro de litio (LiBr) como absorbente y agua como refrigerante. Otras utilizan agua como absorbente y amoníaco (NH3) como refrigerante. Por el bajo punto de solidificación del amoníaco, estas últimas pueden proveer temperaturas debajo de los 0°C.

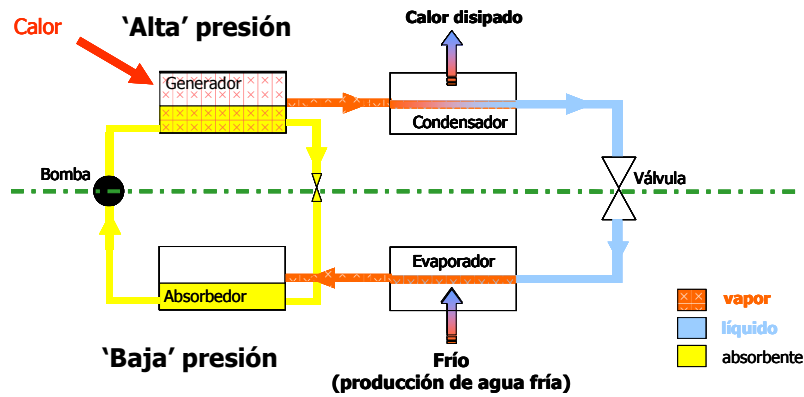


Figura 4: Esquema de funcionamiento de una máquina de absorción con LiBr-H₂O; Fuente: Fraunhofer ISE

El modo de funcionamiento se parece al de la máquina de adsorción con la diferencia que el material sorbente es líquido. El circuito de agua fría es refrigerado por la evaporación del refrigerante dentro de la máquina. El vapor resultante es absorbido en la solución absorbente dentro del absorbedor. Para evitar la dilución continua la mezcla es llevada al generador mediante una bomba. Allí es regenerada con calor. En este caso el vapor continúa hacia el condensador, donde condensa antes de proceder al evaporador. Para que el proceso funcione es necesario mantener dos niveles de presión como es indicado en la figura 4. (Henning, 2003)

Ciclos cerrados - sistema

La manera básica de funcionamiento de un sistema de refrigeración solar es visualizada en la figura 5. El campo de colectores convierte la radiación solar incidente en calor, el cual se almacena en el tanque. De allí se suministra calor a todos los consumidores según la demanda: a la máquina de sorción para refrigeración, a la calefacción y para el calentamiento de agua sanitaria. Cuando la radiación solar es insuficiente (p.ej. un día nublado o en invierno), una caldera convencional puede proporcionar calor. Para que el sistema funcione con eficiencia, es esencial adaptar los componentes mutuamente en la fase de diseño, de instalación y puesta en marcha e implementar un concepto de control contundente.

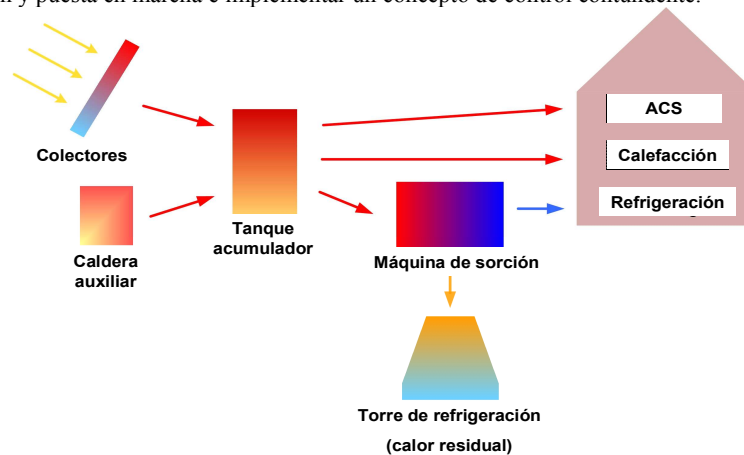


Figura 5: Esquema de funcionamiento de sistema de refrigeración solar con circuito cerrado; Fuente: Fraunhofer ISE

Los colectores planos convencionales pierden eficiencia a elevadas temperaturas. Por eso sirven especialmente en combinación con máquinas de adsorción a base de gel de silicio, que pueden ser operadas a temperaturas relativamente bajas (65 °C). Otros procesos de refrigeración generalmente requieren temperaturas superiores a 75°C. Estas se alcanzan mediante colectores planos avanzados (con recubrimiento antirreflejante y/o acristalamiento doble) o colectores de tubos de vacío. Por lo general se instalan 3m² a 5m² de colectores por kilovatio de capacidad de refrigeración instalada (Fedrizzi, 2010). Éste área es un compromiso entre el grado de cobertura solar por un lado y la limitación del costo de inversión y del riesgo de estancamiento por el otro. Sin embargo las dimensiones exactas del colector dependen de la ubicación y los perfiles de carga en la aplicación y por lo tanto tienen que ser determinados durante el diseño del sistema.

El tanque acumulador es la interfaz central del sistema y tiene que cumplir con requisitos parcialmente contradictorios. Durante la época de climatización debe alcanzar la temperatura de arranque de la máquina de refrigeración rápidamente, por lo cual conviene un volumen pequeño. Por el otro lado se requiere una capacidad de almacenamiento grande para garantizar la operación a pesar de una posible nubosidad momentánea y para la calefacción. Asimismo es deseable mantener una estratificación estable de la temperatura a pesar de los altos caudales. En la práctica los tamaños instalados rondan los 50 litros por metro cuadrado de superficie de colector instalado – igual que en el caso de los sistemas de circuito abierto (Henning, 2003).

El sistema de disipación de calor influye mucho la potencia y la eficiencia de la máquina de refrigeración. En la mayoría de los sistemas, el calor residual es disipado al ambiente mediante torres de refrigeración seca o húmeda. Los primeros son

ideales para climas moderados, donde la temperatura en verano sube sólo ocasionalmente arriba de los 30 ° C. Las torres de refrigeración húmeda tienen la ventaja de que mediante las mismas se pueden obtener temperaturas del agua de disipación debajo de la temperatura exterior. Sin embargo sólo funcionan si la humedad relativa permite el enfriamiento por evaporación. Además no es apropiada en regiones con escasez de agua. Además de no ser apropiadas en regiones con escasez de agua, estas torres de refrigeración húmeda están sujetas a normas estrictas de higiene en algunos países, lo cual hace su operación poco rentable en plantas pequeñas. Las torres de refrigeración híbridas (y secas con nebulización de agua) combinan las ventajas de ambas tecnologías hasta cierta medida. Las cuatro tecnologías tienen en común que el ventilador constituye una parte significativa del consumo de energía auxiliar del sistema de frío solar. Por lo tanto, se recomienda el uso de motores de alta eficiencia (tecnología EC; electronically commutated). Para reducir el consumo de energía aún más, el ventilador también debe ser regulado en función de las condiciones climáticas y la demanda de refrigeración (Clauß et al., 2007). En instalaciones con demanda de refrigeración durante épocas frías la torre de enfriamiento también se puede usar para refrigeración libre (Albert et al., 2009). Dependiendo de las circunstancias específicas también se puede utilizar otras tecnologías para disipar el calor residual. Opciones realizadas incluyen la disipación a la tierra mediante perforaciones, a agua de pozo, a piscinas como calefacción y para pre-calentar agua para otros usos (Moser y Podesser, 2009).

En el circuito de agua fría de la máquina de refrigeración temperaturas moderadas favorecen un alto rendimiento: producir agua fría a 15°C es en general más eficiente que 7°C. Por esta razón se recomienda el uso de superficies radiantes de baja temperatura (p.ej. techo frío) para la distribución. También cuando se emplean convectores de aire, muchas veces se puede trabajar con temperaturas más altas que la dispersión de temperaturas utilizada generalmente para el acondicionamiento de aire (7/12°C). De esa manera se logran eficiencias elevadas. Para este fin los convectores deben dimensionarse de mayor superficie.

Para minimizar el consumo de electricidad auxiliar para las bombas, los diámetros de todos los circuitos hidráulicos deben ejecutarse acorde a las indicaciones de los productores de las máquinas. Además es aconsejable instalar bombas de alta eficiencia. Durante el diseño del sistema es esencial adaptar los componentes mutuamente. El rendimiento de la máquina de refrigeración puede variar significativamente si no trabaja bajo condiciones nominales de operación. Por lo tanto, si el sistema se diseña para condiciones que no sea el punto nominal de operación, hay que averiguar los correspondientes datos de operación. De esta manera se puede p.ej. emplear una torre de refrigeración seca en un clima cálido, si se adapta el área de captación solar.

Evaluación

La eficiencia de las enfriadoras térmicas se expresa mediante el adimensional coeficiente de rendimiento (inglés: Coefficient of Performance, COP). Al igual que en el caso de la eficacia de máquinas de compresión (inglés: Energy Efficiency Ratio, EER), se define como el cociente entre la energía útil producida y la energía utilizada. En este caso: frío producido (como no energía no se produce, en términos de termodinámica sería “calor retirado”) por calor utilizado.

$$COP_{th} = \frac{Q_{frío}}{Q_{calor}} \quad (1)$$

Los valores típicos para máquinas de adsorción y absorción se encuentran entre 0,5 y 0,8. El COP depende mucho de las temperaturas en los tres circuitos hidráulicos de la máquina de refrigeración. Un COP más alto se puede lograr mediante mejor tecnología o a través de medidas operativas (p.ej. temperaturas de agua fría más altas en el circuito de distribución). Esto trae como beneficios una demanda reducida de calor de impulsión del proceso y menos calor residual, lo cual, por último, reduce los costos de inversión y de operación (Henning, 2003).

Para comparar sistemas de frío solar con los convencionales se introdujo el “COP eléctrico (COP_{el})” o la “eficiencia de energía eléctrica”. Para sistemas que proveen únicamente frío se definen como frío útil por electricidad utilizada.

$$COP_{el} = \frac{Q_{frío}}{\sum Q_{el}} \quad (2)$$

Aunque simulaciones detalladas muestran que valores arriba de 20 son posibles, valores alrededor de 10 en sistemas reales son valorados buenos (Nienborg et al., 2009). En sistemas con otros usos térmicos hay que separar los caudales energéticos, lo cual puede ser un proceso muy laborioso susceptible a errores.

$$SF = \frac{Q_{solar}}{Q_{total}} = \frac{Q_{solar}}{Q_{fossil} + Q_{solar}} \quad (3)$$

Si el sistema cuenta con una caldera auxiliar también es interesante determinar la fracción solar (inglés: solar fraction, SF) que define la aportación del sistema solar.

Para comparar la eficiencia energética de un sistema de refrigeración solar con uno convencional se recurre al análisis de la energía primaria (inglés: primary energy, PE) utilizada (Sparber, 2008). La conversión a energía primaria es necesaria porque las dos tecnologías generalmente consumen diferentes tipos de combustibles: la máquina de compresión convencional requiere sólo electricidad, el sistema solar además usa combustible para la caldera auxiliar. El cálculo se efectúa mediante factores de conversión de energía primaria que dependen del tipo de energía y del sistema de generación y distribución.

Valores típicos para Europa son $\varepsilon_{PE,el}=0,36$ kWh_{el}/kWh_{PE} para electricidad y $\varepsilon_{PE,el}=0,9$ kWh_{el}/kWh_{PE} para combustible fósil.

El consumo de energía primaria del sistema convencional que se toma como referencia se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$PE_{ref} = \frac{Q_{frío}}{\varepsilon_{PE,elect}} \frac{1}{EER} \quad (4)$$

En el caso del sistema solar vale la siguiente fórmula:

$$PE_{sol} = \frac{Q_{frío}}{COP_{th}} \cdot \left[\frac{(1-SF)}{\eta_{cald} \cdot \varepsilon_{PE, fos}} + \frac{SF \cdot f_{el, sol}}{\varepsilon_{PE, el}} + \frac{COP_{th} \cdot f_{el, th}}{\varepsilon_{PE, el}} + \frac{f_{el, Dis} \cdot (COP_{th} + 1)}{\varepsilon_{PE, eth}} \right] \quad (5)$$

con:

η_{boiler} : eficiencia de la caldera convencional

$f_{el, sol}$: demanda específica de electricidad del sistema solar por kWh de calor solar generado, en kWh_{el}/kWh_{th}; valor típico 0,02

$f_{el, Dis}$: demanda específica de electricidad por kWh disipado del sistema de disipación, kWh_{el}/kWh_{th}; valor típico 0,03

$f_{el, th}$: demanda específica de electricidad por kWh de frío de la máquina de frío accionada por calor, kWh_{el}/kWh_{th}; valor típico 0,02

Para un análisis más detallado del sistema existen adicionales números de evaluación (Wiemken, 2009). Para determinar si el frío solar es razonable bajo aspectos técnicos, el perfil de demanda es decisivo. Como la operación de la máquina de refrigeración con energía fósil es desfavorable en términos de energía primaria, es importante que haya una buena coherencia entre la irradiación solar y la demanda de frío. Para maximizar el grado de uso se prestan aplicaciones con demanda de calor (p.ej. calefacción y/o agua caliente sanitaria) en épocas sin demanda de refrigeración. Esto generalmente es el caso en casas residenciales y oficinas pequeñas. Si hay demanda de frío durante todo el año, como p.ej. en procesos industriales o para la refrigeración de servidores, el sistema de frío solar puede servir para ahorrar energía en el sistema convencional únicamente ("fuel-saver").

MERCADO PARA EL FRIO SOLAR

El potencial teórico para el frío solar es notable por una serie de razones:

- El mercado para enfriadoras está creciendo a un paso considerable (ver introducción)
- El empeño a limitar el calentamiento global a 2°C requiere alternativas a la tecnología de refrigeración convencional
- Los precios crecientes de los combustibles convencionales como consecuencia del constante aumento en demanda y la simultánea escasez de la oferta fomenta la búsqueda de alternativas

En la gama de potencias media y altas de refrigeración (>20kW) hay una cantidad de productos que existen hace décadas y son altamente confiables. En los últimos años además surgieron una serie de empresas que fabrican equipos con potencias de baja potencia (hasta 20kW, ver lista en el anexo). Sin embargo el mercado real muestra una serie de problemas que impiden la difusión rápida de esta tecnología innovadora: se trata de sistemas con hidráulica complicada que esta poco estandarizada por lo cual son susceptible a errores de diseño, instalación y control. Como consecuencia pueden llegar a tener un consumo de energía auxiliar muy elevado, por lo cual dejaría sin efecto la principal ventaja sobre sistemas convencionales: el ahorro de energía eléctrica (Thür, 2009). Otro problema común es un bajo rendimiento del subsistema solar. De esta manera la producción de frío puede ser insuficiente o con un alto porcentaje de calor a base de energía fósil (Albers, 2007). La falta de estándares a la vez requiere más esfuerzo de planeamiento lo cual incrementa los costos. Además la inversión en tales sistemas es notable. Para sistemas de baja potencia (<20kW) se reportan precios específicos entre 3200 y 5100 euros por kilovatio de potencia frigorífica, lo cual las hace antieconómico en la actualidad (Jakob, 2009). Esto se debe a dos componentes principales: el gran área de colectores necesaria y la máquina de refrigeración. Estas son generalmente producidas con mucho trabajo manual por el pequeño mercado en la actualidad. Otro desafío es el bajo grado de familiaridad de la tecnología en el público general – los clientes potenciales (Theofilidi y Vougiouklakis, 2009a y 2009b).

En consecuencia la imagen del mercado es ambivalente: Por un lado no se ha conseguido el crecimiento y el desarrollo que se esperaba hace unos años atrás. Como consecuencia – y debilitada por la crisis financiera – la PyME alemana Sonnenklima, que fabricaba maquinas de absorción con una potencia de 10kW tuvo que declararse en quiebra en 2009. En el mismo año la empresa española Rotartica que comercializaba maquinas de 4,5kW sobreeseyó la producción.

Por el otro lado dos compañías progresaron a la fabricación en serie: la empresa sueca ClimateWell levantó una fábrica para su máquina CW10 en Olvega, España en 2008. La Alemana Sortech produce sus maquinas ACS08 y la ACS15 en serie en su sede principal (Halle). Varias empresas desarrollaron "solar cooling kits", conjuntos pre-diseñados que consisten en colectores, tanque acumulador, enfriadora y torre de refrigeración para reducir la necesidad de planeamiento.

Además se están llevando a cabo varios proyectos a niveles nacionales o internacional con los objetivos de estandarizar la ingeniería de sistemas para la refrigeración solar, fomentar el intercambio entre distintos actores y promover la tecnología. El más prominente es el Task 38 - Solar Air-Conditioning and Refrigeration en el marco del Programa de Calefacción y Refrigeración Solar (inglés: Solar Heating and Cooling Program, SHC) de la Agencia Internacional de Energía (IEA). En este proyecto colaboran 52 empresas e institutos de once países para llevar la tecnología a la comerciabilidad definitiva.

Así, en la actualidad se registran cerca de 300 sistemas instalados. Según Sparber et al. (2009) se conocen 276 sistemas, entre ellos 163 sistemas de baja potencia. Combinado con los datos de Mesquita (2010), reporta más instalaciones en EEUU, este número se puede elevar a por lo menos 295. En Argentina hubo por lo menos un intento de incorporar el frío solar (Garreta y Lastra, 2007). La parte más grande de los sistemas son instalados en oficinas (38 de los sistemas pequeños y 53% de los grandes). En el caso de los sistemas hasta 20kW siguen las instalaciones para uso residencial, industria y en laboratorios (28%, 8% y 9% respectivamente). Los sistemas con más de 20kW son también empleados para proveer frío a otros servicios, industrias y escuelas (12%, 9% y 9% respectivamente).

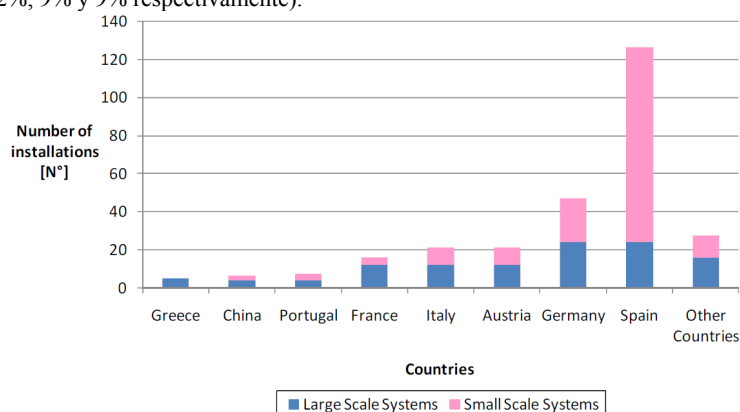


Figura 6: Número total de sistemas de refrigeración solar por tamaño de sistema; Fuente: Sparber et al., 2009

Equipos de circuito abierto se encuentran solamente entre los de potencia alta, en un 16% de los sistemas. Otros 13% trabajan con máquinas de adsorción y los restantes 71% con máquinas de absorción. Con los sistemas de baja potencia el espectro es aun más marcado: el 90% se basan en el proceso de la absorción y solo un 10% en la adsorción.

En Europa se emplean mayormente colectores planos y de tubos de vacío. Estos constituyen cerca del 90% en partes iguales. Las otras tecnologías empleadas son colectores de aire o con reflectores para concentrar la irradiación. En EEUU colectores planos y de tubos de vacío son instalados con la misma frecuencia, pero suman poco más del 50% de los sistemas. Los restantes confían en tecnologías concentradoras como el (I)CPC ((integrated) compound parabolic colector), el parabolic trough colector y el linear fresnel colector.

CONCLUSIONES

En este artículo se da un abarcador resumen de la tecnología de refrigeración solar. La tecnología necesaria esta disponible en el mercado y funciona de manera confiable. Sin embargo aun existen algunas problemáticas por resolver: se requiere una simplificación de los sistemas para reducir la probabilidad de errores de diseño, instalación y control. Al la vez es necesario una fuerte campaña de promoción para introducir la tecnología al mercado. Como con todo producto el tema que decide sobre el éxito o fracaso de la tecnología va a ser el precio – en este punto queda mucho por mejorar para lograr la competitividad con la tecnología convencional a base de compresión eléctrica.

ANEXO

Nombre de empresa	Potencias de refrigeración disponibles	Tecnología	Pais de origen
ClimateWell	4...9kW	Absorción	Suecia
EAW	15kW, 30kW y mas	Absorción	Alemania
Invensor	7kW, 10kW	Adsorción	Alemania
Pink / SolarNext	12kW	Absorción	Austria
Sortech	8kW, 15kW	Adsorción	Alemania
Yasaki	17,5kW, 35kW y mas	Absorción	Alemania

Tabla 1: Fabricantes de máquinas de refrigeración de baja potencia

REFERENCIAS

- Albers J. et al. (2009). Solar-driven adsorption chiller, controlled by hot and cooling water temperature. 3rd International Conference on Solar Air-Conditioning, 30th September – 2. October 2009, Palermo, Italia
- Albers. J. (2007). Erfahrungen aus laufenden Demonstrationsvorhaben und daraus ableitbarer F&E-Bedarf, PtJ-Workshop Solare Klimatisierung, 3. Mai 2007, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik an der Universität Stuttgart
- Clauß V. et al. (2007). A new control strategy for solar driven absorption chillers. 2nd International Conference on Solar Air-Conditioning, 18th.-19th October 2007, Tarragona, España
- de Jager D. et al. (2005). Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System: Issues Related to Hydrofluorocarbons and Perfluorocarbons –Technical Summary, IPCC/TEAP Special Report
- Europäische Kommission (2004). Energie und Verkehr – Bilanz 2000–2004. Luxemburg: Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaft

- Fedrizzi R. (2010). Identification of most promising market and promotion of standardized system configuration for the market entry of small scale combined solar heating & cooling applications; SolarCombi+ Project; EURAC Research, Italia
- Garreta F. y Lastra S. (2007). Energía Solar Térmica en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires – Barreras y posibilidades para su implementación, energiaslimpias.org
- Halawa E. (2009). Thermal Performance of Liquid Desiccant Air-Conditioning in Hot / Humid Climatic Region in South East Asia. 3rd International Conference on Solar Air-Conditioning, 30th September – 2. October 2009, Palermo, Italia
- Henning H-M. (2003). Solar-Assisted Air-Conditioning in Buildings – A Handbook for Planners, Springer, Vienna, Austria
- Henning H-M. (2005). Solare Klimatisierung-Stand der Entwicklung, ERNEUERBARE ENERGIE 2005-02, AEE Intec
- Hindenburg C. (2009). Grundlagen und Systemtechnik der Solare Klimatisierung, Solare Klimatisierung - eine coole Idee wird praxistauglich, Hamburg
- Jakob U. (2009). Entwicklung eines Systemreglers für standarisierete Solar Cooling Kits; Zeitschrift Erneuerbare Energie, Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie, Gleisdorf, Austria
- Jaradat M. (2009). Initial Experiments of a Novel Desiccant Dehumidifier for Industrial and Comfort Air Conditioning Systems. 3rd International Conference on Solar Air-Conditioning, 30th September – 2. October 2009, Palermo, Italia
- Lalena J.N., et al. (2008). Inorganic materials synthesis and fabrication, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, USA
- McNeil M.A. y Letschert V.E. (2008). Future Air Conditioning Energy Consumption in Developing Countries and what can be done about it: The Potential of Efficiency in the Residential Sector. Lawrence Berkeley National Laboratory
- Mesquita L. (2010). State of the art on existing solar heating and cooling systems, AHR Expo – IEA Solar Cooling Workshop, Enero 2010
- Moser H. y Podesser E. (2009). Hygienic aspects of small wet cooling towers – Technical report subtask C, IEA SHC Task 38 Solar Air-Conditioning and Refrigeration
- Nienborg B. et. Al (2009). Virtual case study on small solar cooling systems within the SolarCombi+ project. 3rd International Conference on Solar Air-Conditioning, 30th September – 2. October 2009, Palermo, Italia
- Pollerberg C. (2009). Prototype of solar driven steam jet ejector chiller. 3rd International Conference on Solar Air-Conditioning, 30th September – 2. October 2009, Palermo, Italia
- Sparber W. et al. (2008). Monitoring procedure for solar heating and cooling systems – Technical report subtask C, IEA SHC Task 38 Solar Air-Conditioning and Refrigeration
- Sparber W. et al. (2009). State of the art on existing solar heating and cooling systems – Technical report subtask B, IEA SHC Task 38 Solar Air-Conditioning and Refrigeration
- Theofilidi M. y Vougiouklakis Y. (2009a). SWOT Anlalysis; SolarCombi+ Project; Center for Renewable Energy Sources, Grecia
- Theofilidi M. y Vougiouklakis Y. (2009b). Examination of potential market share and definition of goals; SolarCombi+ Project; Center for Renewable Energy Sources, Grecia
- Thür A. (2009). Solar Heating and Cooling – Townhall Gleisdorf. 3rd International Conference on Solar Air-Conditioning, 30th September – 2. October 2009, Palermo, Italia
- Wiemken E. et al. (2009). Report on the methodology of the virtual case study; SolarCombi+ Project; Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Alemania

ABSTRACT

The present essay provides a comprehensive overview of the state of the art of solar cooling and air-conditioning technology. This objective is met by an extensive literature review. The document contains an introduction to the market available thermally driven cooling technologies. This section is followed by a close insight into the relevant system technology with rules of thumb for the dimensioning. In the next part the market potential is reviewed and problems to be solved – mostly linked to the complexity of the systems – are presented. The article ends with an overview on existing solar cooling systems including the places of installation, ranges of cooling power and used technologies.

Keywords: solar cooling, solar air-conditioning, absorption chiller, adsorption chiller, desiccant and evaporative cooling