

INSTALACIONES DE REFRIGERACIÓN SOLAR POR ABSORCIÓN: ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DINÁMICA

Xavier García Calals – xavi@dfc.icaui.upco.es
Universidad Pontificia Comillas, ETSII del ICAI, Departamento de Fluidos y Calor
C/ Alberto Aguilera 25, 28015 Madrid, España

Resumen. *A pesar de ser España uno de los países de la UE con mayor recurso solar en base anual, la gran variación estacional en la disponibilidad de radiación solar y el periodo relativamente corto de la demanda de calefacción, dificultan alcanzar significantes penetraciones de la energía solar térmica en la cobertura de la demanda de calefacción de los edificios, comprometiendo la viabilidad económica de grandes superficies de captación per cápita, e introduciendo complicaciones técnicas para disipar el exceso de energía disponible en los meses de verano. Por otro lado, en gran parte del territorio español, para mantener unas condiciones adecuadas de bienestar en los edificios, la demanda energética para refrigeración es más importante o del mismo orden que la demanda de calefacción. Por tanto, si queremos conseguir contribuciones significativas de la energía solar a la cobertura de la demanda energética de los edificios, yendo más allá de las pequeñas contribuciones auspiciadas por las Ordenanzas Solares y el Código Técnico de la Edificación, es necesario emplear el aporte solar para cubrir parte de la demanda de refrigeración solar, con lo cual se hace viable al mismo tiempo una mayor cobertura de la demanda de calefacción. Sin embargo, las instalaciones de refrigeración solar presentan peculiaridades respecto a las más conocidas de ACS, e incluso respecto a las de calefacción, que requieren incorporar un mayor grado de detalle y consideraciones adicionales en los procesos de dimensionado y evaluación de actuaciones. En este artículo presentamos algunas conclusiones obtenidas a partir de la simulación dinámica detallada con TRNSYS de algunas de las primeras instalaciones comerciales de climatización solar recientemente implementadas en España.*

Palabras clave: *Refrigeración solar, Absorción, Simulación dinámica, TRNSYS, Energía solar.*

1. INTRODUCCIÓN

La demanda energética para refrigeración con el fin de alcanzar unas condiciones de confort aceptables en verano y parte de la primavera y otoño constituye en nuestro país una componente muy importante de la demanda energética potencial para la operación de los edificios. Hasta la fecha, la internalización de esta demanda energética es muy limitada, de tal forma que los edificios se diseñan prácticamente sin consideraciones ni exigencias normativas alguna al respecto (NBE CT79), e incluso en el próximo Código Técnico de la Edificación las exigencias relativas a las condiciones de refrigeración son considerablemente más limitadas que las asociadas a la temporada de calefacción. Las demandas energéticas para calefacción y

producción de ACS, como exigencias más primarias de bienestar, se encuentran prácticamente desarrolladas, pero el consumo energético del sector de la edificación en nuestro país es de esperar que siga creciendo desde sus niveles considerablemente inferiores a los del resto de países de la UE hasta valores del mismo orden o superiores a medida que los requerimientos de confort en temporada de refrigeración vayan incorporándose a las exigencias de la población.

A lo largo de los últimos años estamos ya asistiendo a una rápida proliferación de equipos de aire acondicionado por compresión mecánica de vapor. Estos equipos de aire acondicionado unifamiliares están generalmente destinados a satisfacer las necesidades de confort sólo en una de las estancias de la vivienda, y además del impacto sobre la capa de ozono asociado al uso de hidrocarburos halogenados como fluidos de trabajo, tienen un bajo rendimiento energético asociado tanto a su pequeño tamaño como a que fueron desarrollados en los años 80 con bajos requerimientos de eficiencia energética. De hecho, a pesar de una limitadísima cobertura de la demanda energética para mantener unas condiciones de confort adecuadas en todo el edificio, con el grado de penetración actual de estos equipos de aire acondicionado, su impacto sobre nuestro sistema energético ya hace unos cuantos años que se está dejando sentir con mucha fuerza mediante unas puntas de demanda muy acusadas, provocando picos de potencia demandada que en los últimos años (2002, 2003 y 2004) están haciendo llegar hasta el límite de sus posibilidades a las redes eléctricas de transporte y distribución en algunas zonas de nuestro país (apagones en zonas levante y sur) y provocando incrementos del precio de la electricidad en el mercado.

En nuestro país hay un abundante recurso solar (1200 – 1800 kW.h/m²-año), pero sin embargo, la fuerte variación estacional de dicho recurso y el gran desfase existente entre la disponibilidad del mismo y la demanda energética de los conceptos internalizados en la edificación (calefacción y ACS), hacen que difícilmente queden justificados técnico-económicamente grandes porcentajes de cobertura de la demanda energética mediante energía solar, conduciendo al aparente sin sentido de que en países como Alemania con un recurso solar muy inferior al nuestro (900 – 1300 kW.h/m²-año) proliferen sistemas solares con una fracción solar muy superior a los de nuestro país.

La superficie de colectores solares instalada en nuestro país, a pesar del significativo incremento experimentado desde 1998 para alcanzar en el año 2003 valores ligeramente superiores a los 0,014 m²/habitante, sigue siendo muy inferior al objetivo nacional del Plan de Fomento (Ministerio Industria y Tecnología, IDAE, Diciembre 1999) de 0,12 m²/habitante para el año 2010 y de los escenarios de (ESTIF, 2003) que para el año 2015 establecen 0,15 – 0,30 m²/hab, y quedan abismalmente alejadas de los potenciales de superficie a instalar en nuestro país, cifrados en 0,64 m²/habitante por (Ministerio Industria y Tecnología, IDAE, Diciembre 1999) y en 2,70 m²/habitante por (ESTIF, 2003).

Las Ordenanzas Solares que actualmente están floreciendo en abundantes municipios de nuestro país, así como las exigencias en cuanto a la energía solar térmica del próximo Código Técnico de la Edificación, proporcionarán sin duda un fuerte impulso a esta tecnología, pero con todo, al estar limitadas al uso de la tecnología para cubrir parcialmente la demanda de ACS siguen representando un porcentaje pequeño de la demanda energética del edificio, que en el caso de considerar la demanda de calefacción y refrigeración queda limitado al 4 – 8 %, valor muy bajo al compararlo con la abundancia del recurso solar disponible.

El uso de la energía solar para refrigerar presenta la ventaja de que el recurso solar y la demanda energética se encuentran en principio mucho mejor acoplados que el recurso solar y la demanda energética para calefacción.

Además, puesto que la refrigeración mediante sistemas de absorción requiere de un aporte de energía térmica, al igual que la cobertura de ACS y calefacción, y puesto que tanto la punta como el consumo energético total para refrigeración son en muchos emplazamientos de nuestro país elevados, los sistemas de refrigeración solar con máquina de absorción permiten en

principio justificar desde un punto de vista técnico-económico la instalación de superficies solares muy superiores al mejorar la utilización anual del sistema solar. Por tanto, además de poder cubrir con energía solar parte de la demanda de refrigeración, este tipo de sistemas con mayor superficie instalada permiten así mismo una cobertura considerablemente superior de la demanda energética para calefacción, conduciendo por tanto a un incremento muy importante de la fracción de energías renovables a la demanda energética del sector de la edificación.

El interés en el uso de la energía solar para alimentar máquinas refrigerantes de absorción ha estado presente desde hace mucho tiempo (Tabor H.Z., 1962) a nivel conceptual, si bien se intuía una limitada penetración en los sistemas de climatización dado el predominio de los sistemas de compresión de vapor. En un principio (Chung R., Duffie J.A., Löff G.O.G., 1963) se exploraron las posibilidades del sistema adaptando máquinas convencionales alimentadas por vapor para poder operar con el agua caliente producida por el campo solar, así como analizando las condiciones de diseño y operación de las máquinas de absorción destinadas a operar con energía solar (Duffie J.A., Sheridan N.R., 1965). A raíz de las crisis de petróleo, cobró interés el uso de la refrigeración solar por absorción para climatización en los países desarrollados (Tabor H.Z., 1982) y empezaron a proliferar análisis teóricos (Butz L.W., Beckman W.A., Duffie J.A., 1974) más detallados, apareciendo los primeros sistemas con un marcado carácter experimental y demostrativo (Oonk R.L., Beckman W.A., Duffie J.A., 1975), (Ward D.S., Löff G.O.G., 1975) y (Karakı S., Brisbane E., Löff G.O.G., 1984). En nuestro país las instalaciones de carácter experimental-demostrativo son más recientes (Izquierdo M., et al., 1997), pero en los últimos años hemos podido asistir a un despegue de las instalaciones comerciales para refrigeración solar (Ajona-Maeztu J.I., 2003), (García-Casals X., 2002, Enero 2004, Marzo 2004).

2. ACOPLAMIENTO SUBSISTEMA SOLAR Y MÁQUINA ABSORCIÓN

La elección para una aplicación dada de la combinación del tipo de campo de colectores solares y máquina de absorción depende de las actuaciones del acoplamiento entre ambos. El planteamiento clásico para expresar este acoplamiento consiste en el análisis de una aproximación del rendimiento de conversión total del sistema de refrigeración solar obtenida como producto del rendimiento del campo solar y el COP de la máquina de absorción en condiciones nominales (Ajona-Maeztu J.I., 2003), (Cámara-Zapata J.M., et al, 2004), que en ocasiones se denomina COP solar o global ($COP_{solar} = COP_N \cdot \eta_{cs}$). Puesto que el rendimiento del campo solar decrece con la temperatura de operación y el COP de la máquina de absorción habitualmente aumenta con la temperatura de alimentación al generador, existe una temperatura óptima de operación que maximiza el rendimiento global de conversión de la energía solar en energía refrigerante. En la Fig.1 mostramos los resultados del análisis de este tipo para el acoplamiento de colectores solares planos y de tubos de vacío con una máquina de absorción de simple efecto.

$$I_T = 900 \text{ W/m}^2 ; T_a = 35 \text{ }^\circ\text{C} ; \phi = 30 \% ; \theta = 10^\circ$$

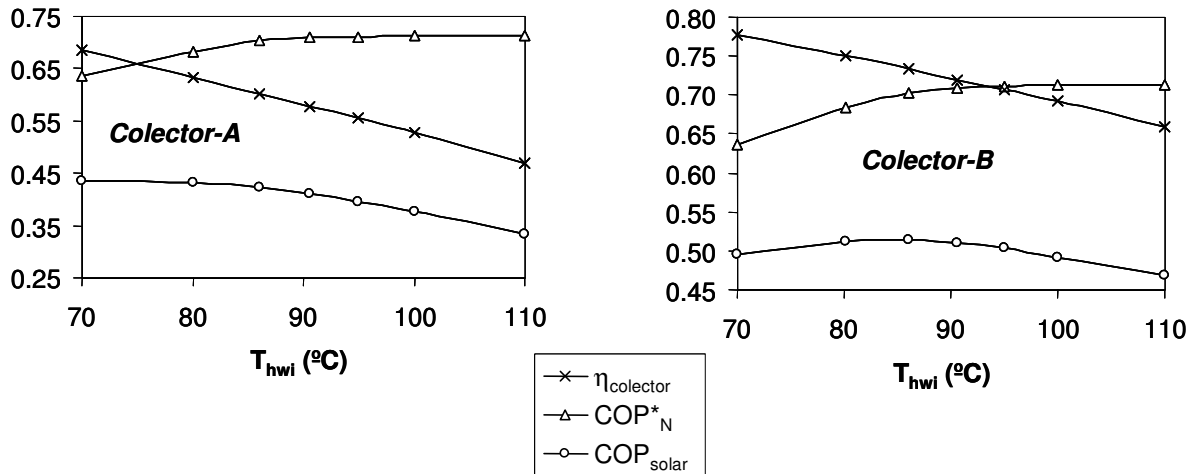


Figura 1 - Acoplamiento en condiciones de diseño reguladas del campo solar y una máquina de absorción comercial de simple efecto ($\text{H}_2\text{O}-\text{BrLi}$) refrigerada por torre, en función de la temperatura de entrada del agua caliente en la máquina de absorción para dos tipos de colectores solares. El colector-A es un colector plano selectivo, y el colector-B es un colector de tubos de vacío. I_T = irradiación solar en plano colector; T_a = temperatura ambiente ; ϕ = humedad realtiva ; θ = ángulo de incidencia.

La temperatura óptima de operación deducida de este tipo de análisis no es una constante, sino que depende de variables como la temperatura ambiente, humedad ambiente, irradiación solar sobre colectores y ángulo de incidencia de la radiación directa, que se modifican significativamente a lo largo de la operación del sistema de refrigeración solar. Por tanto, el operar el sistema de refrigeración solar en las condiciones óptimas deducidas del análisis simplificado anteriormente comentado exigiría de la presencia de un sistema de control del sistema solar con una sofisticación considerablemente superior a la de los sistemas de control habitualmente empleados, por lo que en la práctica, las instalaciones reales no operan a esta temperatura óptima.

Estas consideraciones estáticas aproximadas del acoplamiento entre el campo solar y la máquina de absorción presentan serias deficiencias que las invalidan para valorar el comportamiento real de la instalación. Por un lado, como ya hemos indicado, la ausencia de un sistema de control que modifique la temperatura de operación para funcionar continuamente en las condiciones de máximo $\text{COP}_{\text{solar}}$, hacen que el valor estacional de este parámetro se aparte del óptimo. Por otro lado, en ausencia de regulación del flujo másico por el campo solar, el acoplamiento directo del campo solar con la máquina de absorción conduciría a temperaturas de operación superiores a las correspondientes al valor óptimo mostrado, dado que para estas condiciones el salto de temperaturas en el campo solar es típicamente superior al experimentado en la máquina de absorción. Además, en el sistema real intervienen elementos adicionales que escapan al análisis simplificado del acoplamiento anteriormente presentado (depósito de almacenamiento, tuberías con sus pérdidas térmicas, sistema de control,...), y que por las peculiaridades de las instalaciones de refrigeración solar por absorción tienen por lo general un peso considerablemente superior en las actuaciones finales del sistema que en las instalaciones termosolares convencionales de baja temperatura.

3. PECULIARIDADES REFRIGERACIÓN SOLAR POR ABSORCIÓN

El análisis estático aproximado del acoplamiento entre el subsistema solar y la máquina de absorción tiene limitaciones muy importantes, lo cual, añadido al hecho de que las instalaciones de refrigeración solar por absorción presentan una serie de peculiaridades diferenciales respecto a las otras instalaciones solares, hace que las actuaciones estacionales de estas instalaciones (que son las que realmente tienen interés desde un punto de vista práctico), así como las estrategias adecuadas de operación de las mismas, no puedan determinarse mediante análisis simplificados del estilo de los empleados en las aplicaciones termosolares convencionales de baja temperatura.

El acoplamiento real entre el campo solar y la máquina de absorción, y por tanto el COP_{solar} realmente alcanzado a nivel estacional, depende de las estrategias de operación de cada uno de ellos, de la operación a carga parcial de los equipos, del comportamiento del depósito de almacenamiento térmico situado entre ellos, de la evolución temporal de la carga refrigerante, y en su caso del depósito de almacenamiento de frío entre máquina de absorción y carga, todo ello además afectado por las pérdidas térmicas desde depósitos y tuberías y los consumos eléctricos para mover los fluidos de trabajo por el sistema. La correcta valoración de estos aspectos y su interrelación sólo puede realizarse de forma adecuada mediante una simulación dinámica del sistema extendida a toda su temporada de operación (anual si es un sistema de climatización total), introduciendo para ello los parámetros adecuados para valorar las actuaciones del sistema (García-Casals X., diciembre 2002, enero 2004, marzo 2004). En la Fig.2 mostramos la evolución temporal de temperaturas características al principio de la temporada de refrigeración de una reciente instalación comercial en Murcia, mientras que en la Fig.3 mostramos algunas actuaciones de otra reciente instalación comercial en Sevilla, ambas evaluadas con TRNSYS.

Veamos algunas de las peculiaridades de los sistemas de refrigeración solar que es preciso tener en cuenta y que justifican la divergencia entre las actuaciones reales de los mismos y las estimadas mediante métodos aproximados:

- * Dadas las elevadas temperaturas de operación de la carga, las limitaciones en la presión de funcionamiento del campo solar, y el pequeño salto térmico en la máquina de absorción, la capacidad de almacenamiento térmico aprovechada en la temporada de refrigeración es muy limitada, lo cual hace que la fracción solar alcanzada por el sistema esté muy directamente relacionada con el múltiplo solar empleado en el diseño de la instalación.

- * Para conseguir un desacoplamiento térmico significativo entre campo solar y máquina de absorción sería preciso recurrir a capacidades de almacenamiento muy superiores a las de los sistemas termosolares convencionales de baja temperatura, que resultan difíciles de justificar fuera de la temporada de refrigeración.

- * Las bajas fracciones solares en temporada de refrigeración alcanzadas con diseños limitados por la temporada de calefacción, junto con el elevado nivel térmico de operación en temporada de refrigeración, hacen que los rendimientos de carga del depósito alcancen valores muy inferiores a los de aplicaciones convencionales. Esto se puede ver seriamente agravado por determinadas estrategias de control que conduzcan a elevados tiempos de residencia del fluido caloportador en las tuberías. Por el mismo motivo, el nivel de aislamiento térmico de las tuberías y depósito, así como la distribución de las tuberías adquiere una mayor relevancia que en otras instalaciones.

- * Las elevadas temperaturas de operación, los modos de operación del sistema, la frecuente operación a carga parcial de la máquina de absorción, la naturaleza de la carga refrigerante y las condiciones dinámicas del acoplamiento entre el campo solar y la máquina de absorción a través del depósito de almacenamiento hacen que haya una gran diferencia entre las actuaciones instantáneas y estacionales del sistema.

* La complejidad hidráulica de los esquemas de funcionamiento, junto con los elevados caudales a mover en las instalaciones de refrigeración solar por absorción, hacen que los consumos parásitos para mover los distintos fluidos de trabajo del sistema adquieran una gran importancia, exigiendo un cuidadoso diseño y operación para conseguir un impacto positivo del esquema de refrigeración solar en cuanto a la fracción total de energía renovable para satisfacer la carga. En efecto, los excesivos consumos eléctricos en esquemas diseñados sin estas consideraciones, pueden llegar a invalidar desde un punto de vista global el impacto positivo de la instalación en cuanto a su contribución a reducir el consumo energético de fuentes de energías no renovables.

* A pesar de lo mucho que se insiste entre lo favorable del acoplamiento entre el recurso solar y la demanda energética de refrigeración, las peculiaridades del sistema de refrigeración solar y la naturaleza de la carga de refrigeración pueden hacer que la situación real se aparte significativamente de estas condiciones, y con ello las actuaciones esperadas del sistema. Las instalaciones de refrigeración de edificios del sector servicios operan fundamentalmente durante los días laborables. Las elevadas temperaturas de operación y la consecuentemente baja capacidad de almacenamiento térmico del sistema hacen que en los fines de semana rápidamente se cargue del todo el depósito, permaneciendo con un elevado nivel térmico y obligando a disipar gran parte de la energía solar que podría aportar el campo de colectores durante este periodo, conduciendo a rendimientos estacionales del mismo muy inferiores al rendimiento esperado en condiciones de diseño o al valorado mediante métodos convencionales de estimación de actuaciones. Posteriormente, durante los días laborables, el reducido múltiplo solar al que puede conducir un proceso de dimensionado convencional de la instalación hace que el depósito se descargue rápidamente limitando fuertemente el aporte solar a la carga durante estos días. Esta dinámica puede apreciarse claramente en la Fig.2.

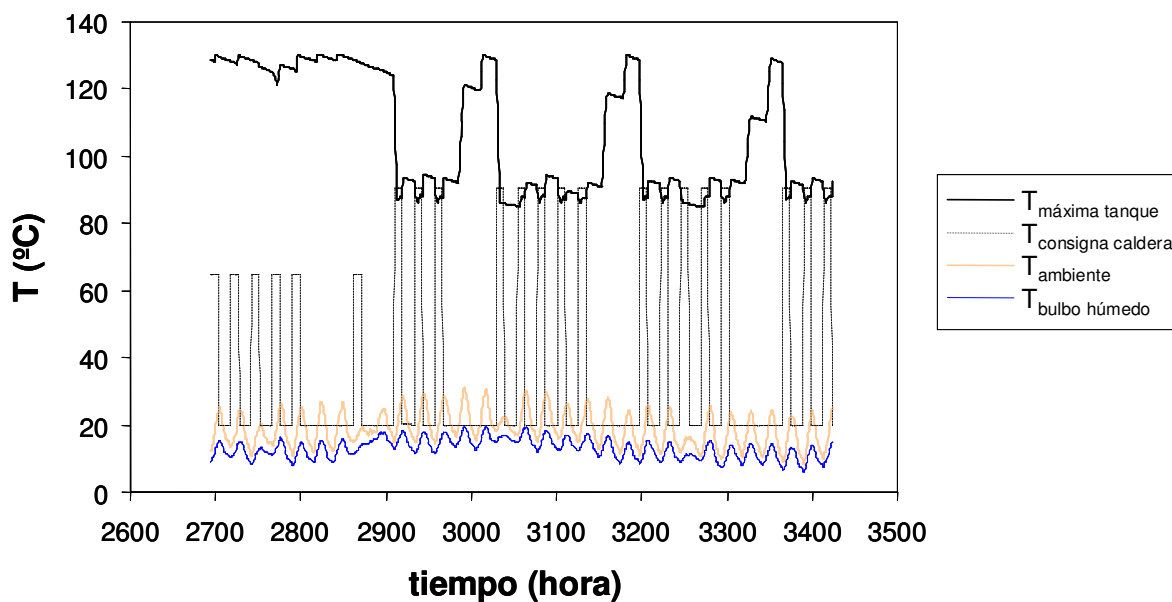


Figura 2- Evolución de temperaturas características (en una reciente instalación comercial de climatización solar en Murcia) durante la última semana de la temporada de calefacción y las tres primeras de la temporada de refrigeración

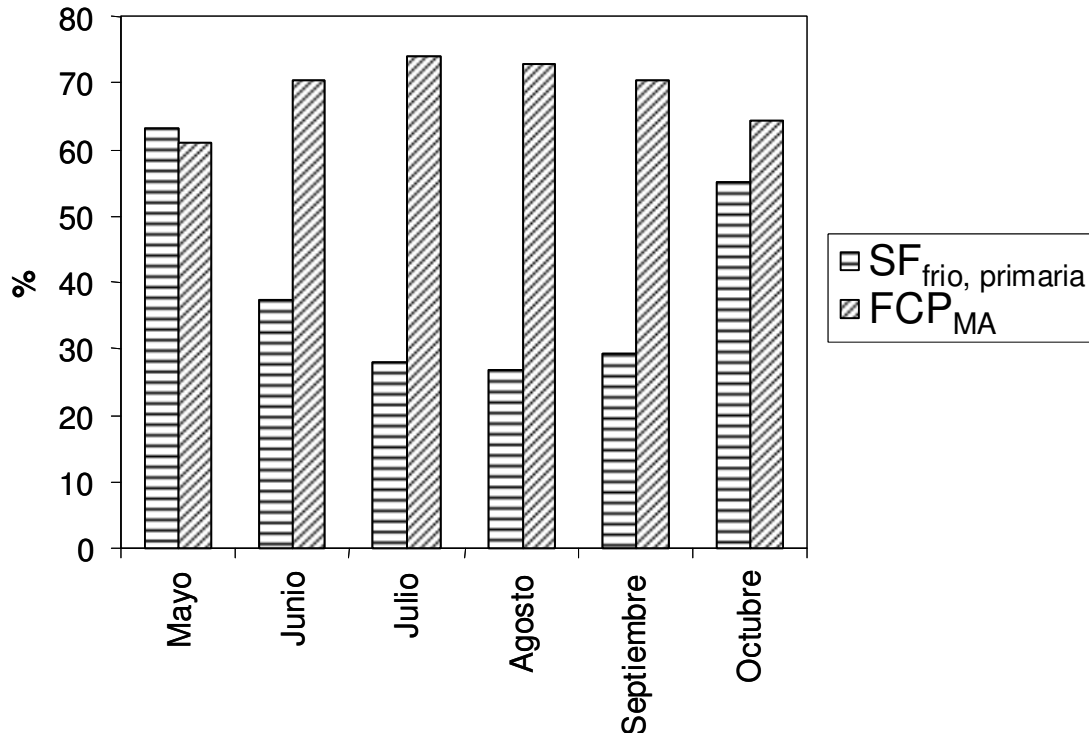


Figura 3 – Evolución mensual a lo largo de la temporada de refrigeración de la fracción solar (SF) y el factor de carga parcial de la máquina de absorción (FCP) de una instalación comercial de climatización solar recientemente instalada en Sevilla.

4. NECESIDADES DESARROLLO MÁQUINAS ABSORCIÓN

Como hemos comentado, los sistemas de refrigeración por absorción solar tienen el potencial de jugar un importante papel tanto al desarrollo del potencial de superficie instalada de colectores solares en nuestro país como a la cobertura del consumo energético con fuentes de energía renovable en un sector tan significativo para el país como es el de la edificación.

Sin embargo, para ello es preciso que el equipo fundamental de estos sistemas, la máquina de absorción, esté a la altura de las circunstancias. Y lo cierto es que en la actualidad este equipo sigue presentando una serie de limitaciones importantes que le pueden hacer perder su oportunidad histórica de ocupar este nicho tecnológico. Veamos algunas de las limitaciones que persisten para el desarrollo del mercado de refrigeración solar por absorción:

- * Costes excesivos de los equipos de refrigeración por absorción, especialmente en los niveles de potencia relevantes para su aplicación al sector de la edificación

- * Falta de disponibilidad comercial de máquinas de absorción apropiadas para aplicaciones solares (alimentadas por agua) en el rango de potencias relevantes para las aplicaciones de climatización en el sector de la edificación.

- * Dependencia de la torre de refrigeración para disipar la energía residual de las máquinas de absorción en la mayoría de aplicaciones.

- * Limitación de reversibilidad para poder operar la máquina de absorción como bomba de calor en la temporada de calefacción.

- * Disponibilidad de una caracterización experimental adecuada de las actuaciones de la máquina de absorción en condiciones distintas a las de diseño y a carga parcial.

De no apresurarse en la resolución de estas limitaciones, la tecnología de refrigeración solar por absorción puede ver cómo pierde este nicho de mercado frente a otras tecnologías. Existen otras opciones de refrigeración basadas en la energía solar. Una de las que actualmente pueden resultar más interesantes en nuestro país es el uso de equipos de aire acondicionados de ciclo de compresión alimentados con electricidad procedente de centrales termosolares. En efecto, la necesidad de introducir criterios de sostenibilidad en nuestro sistema de generación eléctrica junto con el gran potencial de la tecnología termosolar y el momento especialmente favorable para el desarrollo de la misma (García-Casals X., otoño 2004) hacen de esta opción tecnológica una opción interesante para cubrir la demanda energética de refrigeración de nuestros edificios.

Ante la disponibilidad de diversas tecnologías, la opción finalmente adoptada, además de con la disponibilidad tecnológica, estará estrechamente relacionada con los costes de la unidad de refrigeración proporcionada. En la Fig.4 mostramos el coste normalizado de la unidad de refrigeración de una instalación de refrigeración solar basada en colectores planos y máquina de absorción de simple efecto en función de la fracción solar proporcionada por la misma. En la misma figura aparecen los costes asociados al uso de equipos de aire acondicionado por compresión de vapor (tecnología actual con COP = 3 y opción de mejora tecnológica con COP = 5) alimentados con electricidad generada en centrales termosolares. Como podemos ver, los costes significativamente inferiores de esta segunda opción introducen serias restricciones al desarrollo de la tecnología de absorción a no ser que se mejoren los costes de la misma, que para bajas fracciones solares están dominados por los costes de la máquina de absorción mientras que para fracciones solares mayores están dominadas por los costes de los colectores solares.

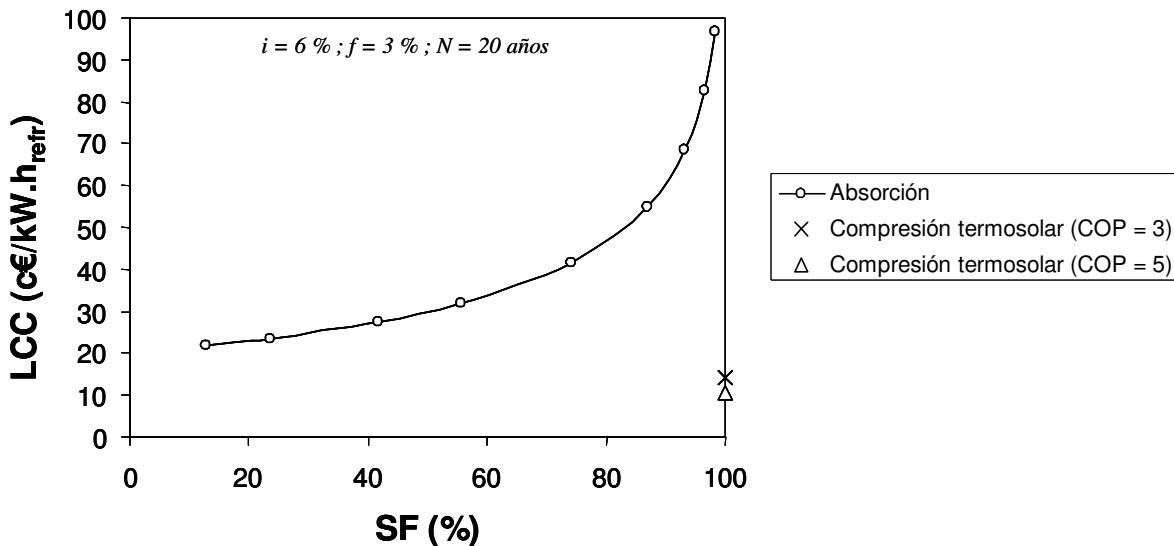


Figura 4 - Coste normalizado (interés del dinero = 6 % ; Tasa inflación = 3 % ; Periodo análisis económico = 20 años) de la unidad de energía de refrigeración en un sistema solar con máquina de absorción de simple efecto y colectores planos en función de la fracción solar alcanzada por el sistema (asociada al múltiplo solar de diseño empleado), asumiendo que todo el coste de la instalación solar recae sobre la aplicación de refrigeración. Se muestra también los costes de la unidad de refrigeración de sistemas solares basados en electricidad de centrales termosolares y sistemas de refrigeración por compresión mecánica de vapor con distintos COP. Se ha considerado un coste normalizado de producción de la electricidad termosolar de $LEC = 25 \text{ c€/kW.h}_e$ con un sobre-coste para el usuario del 15 %.

5. CONCLUSIONES

La refrigeración solar por absorción constituye una alternativa tecnológica interesante para cubrir la creciente demanda energética de climatización de nuestros edificios con criterios de sostenibilidad. Además presenta ventajas adicionales como evitar el uso de los fluidos refrigerantes a base de hidrocarburos halogenados dañinos para la capa de ozono y permitir alcanzar mayores fracciones solares en la cobertura de la carga de calefacción en nuestro país.

Sin embargo, las peculiaridades de los sistemas de refrigeración solar requieren de un análisis considerablemente más detallado que los habitualmente desarrollados en las aplicaciones solares de baja temperatura convencionales para evaluar correctamente sus actuaciones estacionales y proceder al dimensionado y operación adecuados de los mismos.

Por otro lado, en la actualidad persisten ciertos puntos pendientes de resolución por el lado de los fabricantes de máquinas de absorción que dificultan el desarrollo de esta aplicación, y que de no resolverse en breve pueden conducir a que otras opciones de refrigeración solar, como la basada en equipos convencionales de compresión mecánica de vapor alimentados con electricidad de centrales termosolares, acaben ocupando este nicho tecnológico, desplazando quizás definitivamente a la tecnología de refrigeración por absorción. En concreto, se requiere una significativa reducción de costes tanto del sistema de absorción (máquina de absorción y sistema de disipación de energía residual) como de los colectores solares para alcanzar costes de la unidad de energía refrigerante competitivos con otras opciones basadas en energías renovables.

REFERENCIAS

- Ajona-Maeztu J.I., 'Aprovechando el calor del sol para climatizar nuestros edificios', Climatización 2003, Madrid, 26/2-1/3, 2003
- Butz L.W., Beckman W.A., Duffie J.A., 'Simulation of a solar heating and cooling system', Solar Energy, 16, 129, 1974
- Cámara-Zapata J.M., Juan-Igualada J.M., Perea M.C., 'Climatización solar por absorción: Modelización y simulación en la Comunidad de Murcia', ERA SOLAR, nº 119, 59-66, 2004
- Chung R., Duffie J.A., Löff G.O.G., 'A study of a solar air conditioner', Mech. Engr., 85, 31, 1963
- Duffie J.A., Sheridan N.R., 'Lithium Bromide - Water refrigerator for solar operation', Mech. And Chem. Engr. Trans., Inst. Engrs. Australia MC1, 79, 1965
- European Solar Thermal Industry Federation (ESTIF), 'Sun in Action II: A Solar Thermal Strategy for Europe', Abril 2003
- García-Casals X., 'Simulación dinámica, evaluación de actuaciones y optimización de la instalación de climatización (calefacción y refrigeración) con energía solar y máquina de absorción del Laboratorio Tecnológico Regional de Murcia', Informe interno del Instituto de Investigaciones Tecnológicas, IIT-02-085I, Diciembre 2002
- García-Casals X., 'Simulación dinámica de instalaciones solares de climatización (calefacción y refrigeración). Instalación de climatización solar con máquina de absorción y bomba de calor de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía', Informe interno del Instituto de Investigaciones Tecnológicas, IIT-04-003IC, Enero 2004
- García-Casals X., 'Simulation of Solar Heating & Cooling Instalations in Spain', III International TRNSYS User's Day, Barcelona, Marzo 2004
- García-Casals X., 'Generación de Electricidad con centrales Termosolares: Ya va siendo hora', ERA SOLAR, nº122, pp 66-75, Otoño 2004
- Izquierdo M., Hernández F., Martín E., 'Solar cooling in Madrid: Energetic efficiencies', Solar Energy, Vol.60, 367-377, 1997

- Karaki S., Brisbane E., Löff G.O.G., 'Performance of the solar heating and cooling system for the CSU house III- Summer season 1983 and winter season 1983-84', Colorado State University Report SAN 11927-15 to US Department of Energy, 1984
- Ministerio de Industria y Energía, IDAE, 'Plan de Fomento de las Energías Renovables en España', Diciembre 1999
- Oonk R.L., Beckman W.A., Duffie J.A., 'Modelling of the CSU heating/cooling system', Solar Energy, 17, 21, 1975
- Tabor H.Z., 'Solar energy for cooling purposes', Solar Energy, VI (2), p136-141, 1962
- Tabor H.Z., 'Utilization of solar energy for refrigeration and air-conditioning', Int. Inst. Of Refrig., Com.E.1, E.2, Jerusalem, 1982
- Ward D.S., Löff G.O.G., 'Design and construction of a residential solar heating and cooling system', Solar Energy, 17,13, 1975

ABSORPTION SOLAR COOLING INSTALLATIONS: ANALYSIS AND SIMULATION

Abstract. *In spite of being Spain one of the EU countries with highest solar resource in annual basis, the huge seasonal variation in solar radiation availability and the relatively short period with heating demand, make it difficult to reach significant contributions of solar energy to the buildings heating energy demand, compromising the economic viability of big solar collector areas per capita, and introducing technical difficulties for the dissipation of the excess solar energy available in the summer months. On the other hand, in a big deal of the Spanish territory, in order to reach adequate comfort conditions in our buildings, the energy demand for cooling is more important or of the same order than the heating demand. Therefore, if we want to reach significant solar energy contributions to the buildings energy demand, going beyond the limited contributions promoted by the municipal Solar Ordinances and the national Building Technical Code, solar energy use should be extended to make a contribution to cooling energy demand, which at the same time allows to reach a higher contribution to the heating demand. However, solar cooling installations present several peculiarities respect the more known DHW or even heating installations, which require to incorporate a more detailed approach and additional considerations in the design and performance evaluation processes. In this paper we present some conclusions arising from the detailed TRNSYS dynamical simulation of some of the first commercial solar heating & cooling installations recently implemented in Spain.*

Key Words: *Cooling, Absorption, Dynamic Simulations, TRNSYS, Solar energy.*