

ESTUDIO DEL POTENCIAL DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN SOLAR TÉRMICA EN EDIFICIOS CON TECNOLOGÍAS DE BAJO COSTE

Rullan, Pere F., Martínez-Moll, Víctor, Moià-Pol, Andreu*

* Àrea de Ingenieria Mecànica, Grupo Investigación de Ingenieria Energética.
Departamento de Ingenieria Industrial y Construcción, Universitat de les Illes Balears
Cra Valldemossa km 7,5. 07122 Palma de Mallorca. Illes Balears. España
e-mail: andreu.moià@uib.es web: <http://www.uib.es>

<https://doi.org/10.34637/cies2020.1.2015>

RESUMEN

El frío solar tuvo un gran protagonismo en la primera década del 2000, con numerosos estudios y proyectos, pero el alto coste de los sistemas solares y de las máquinas de absorción/adsorción de pequeño tamaño, hicieron que dicha tecnología no fuera viable para pequeña escala. La crisis económica del 2008 y la reducción de costes de la energía fotovoltaica acabaron casi con las nuevas instalaciones en nuestro país y también con algunos fabricantes. La tecnología avanza en todos los ámbitos, por lo que en este artículo se presenta un estudio con nuevos sistemas que ofrecen resultados con unos costes competitivos que puede hacer resurgir dicha tecnología para aplicaciones en los nuevos edificios de cero emisiones. Los últimos años han aparecido algunos modelos de concentrador solar: son escalables por unidades, de manera que se pueden instalar fácilmente, consiguiendo costes de generación inferiores a 30€/MWh (Anson y Rullan 2018), competitivos con cualquier sistema fósil y con captadores convencionales de baja temperatura.

Si a este un sistema solar le añadimos una máquina de absorción o adsorción reversible de bajo coste, se puede llegar a producir calor con rendimientos similares a los sistemas tradicionales de expansión directa con condensación por aire con electricidad. Aunque los sistemas fotovoltaicos combinados con expansión directa tienen una mayor aceptación y penetración en el mercado por su simplicidad, hay varias ventajas inherentes de este sistema alternativo. El almacenamiento, un elemento indispensable en sistemas 100% renovables, tienen costes considerablemente inferiores a sistemas con baterías electroquímicas y puede llegar a marcar la diferencia. La acumulación térmica aún es mucho más económica que la eléctrica (Moià-Pol et al 2017). Se presenta la viabilidad técnica y económica de un nuevo sistema de concentración combinada una máquina de absorción.

PALABRAS CLAVE: Adsorción, Absorción, Concentración, Energía Solar Térmica, Almacenamiento

ABSTRACT

Solar cooling had a great interest in the first decade of 2000, with several studies and projects, but the high cost of such solar systems and their absorption machines made it impossible for small projects to be economically sustainable. The 2008 crisis and the cost reductions in photovoltaic modules stopped nearly all projects and companies. The technology is advancing in all fields. Thus, this article presents an study with new systems that offer results with competitive costs that could put again in the market for zero emission buildings. Last years, several solar concentration units have appeared on the market: they are scalable, easy to install and they achieve Leverage Cost of Energy lower than 30€/MWh (Anson & Rullan 2018), competitive against any fossil fuel and conventional solar collectors.

If an absorption/adsorption chiller is coupled to this low cost solar system, we can produce cooling and heating with efficiencies similar to traditional air-cooled direct expansion using electricity. Even if photovoltaic systems combined with direct expansion have a higher acceptance on the market, there are several inherent advantages to these alternative systems. The energy storage, a crucial element for a 100% renewable system, has typically lower costs compared to electrochemical batteries and can make a difference at the end. Thermal storage is still cheaper than electrochemical storage.

KEYWORDS: Absorption, Adsorption, Concentration, Solar Thermal Energy Storage

INTRODUCCIÓN/INTRODUÇÃO

La demanda de climatización en zonas mediterráneas y en general en el resto de España, tiende a dar más peso a la calefacción que a la refrigeración (aire acondicionado). Si sumamos la contribución de ACS, la combinación calefacción-ACS representa el 60.5% de la demanda. No obstante, el 67% de los hogares mediterráneos dispone de algún sistema de refrigeración, mayoritariamente bomba de calor reversible. En cuanto al uso energético, hasta ahora sólo el 1.1% de la energía se destina a la refrigeración y el 40.9% se destina a la calefacción, aunque estudios recientes prevén un aumento del uso de la refrigeración en Europa (ESTIP) debido al cambio climático, sobre todo en España (Lenz y otros 2017).

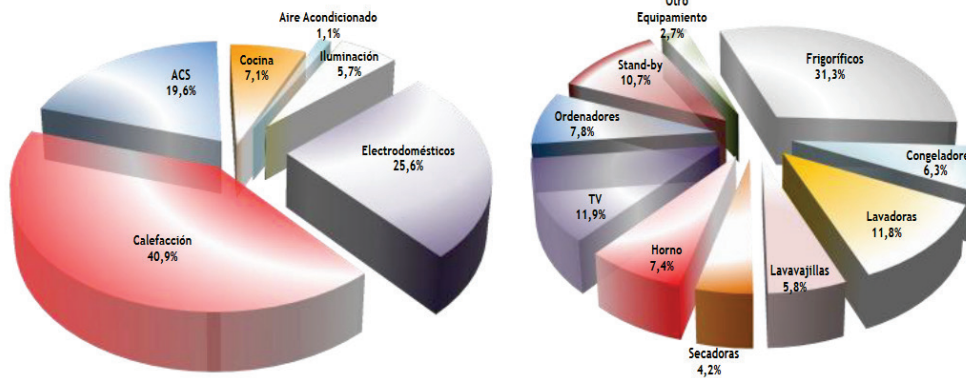


Fig. 1. Consumo de energía en Hogares Mediterráneos

En una instalación de calefacción y refrigeración solar reversible, lo más importante es que la captación sea eficiente todo el año, pero sobre todo en invierno, con unos rendimientos adecuados para que sea viable su instalación. Los sistemas de concentración de bajo coste cumplen con esta premisa, ya que presentan coeficientes de disipación muy inferiores a los sistemas clásicos.

En este artículo se discute la posibilidad de usar máquinas de adsorción o absorción tanto para la generación de frío como calor. Típicamente, son conocidas por tener un COP bajo, de 0.5 a 0.75 para sistemas simples. No obstante, la fuente primaria de energía es calor, la cual goza de un rendimiento superior y es típicamente más barata que la energía eléctrica. Además, utilizar la máquina de adsorción/absorción para calefacción implica que el foco generación se adiciona a la extracción de calor del foco ambiente, por lo que el COP puede ir del 1.5 al 1.75. Esto es debido a que el calor extraído del foco se usa también como calefacción, adicionada al calor usado para usar la máquina. Eso se traduce en un incremento notable de la producción durante el invierno.

El artículo está organizado en los capítulos siguientes: "Generación Solar", la cual aborda la generación de energía primaria necesaria al sistema; "Bomba de calor Térmica", que explica de manera general las características de la conversión de energía solar en energía utilizable para climatización; "Almacenamiento", que discute diferentes métodos sobre cómo almacenar la energía necesaria; "Demanda", la cual incluye la cobertura de producción con la demanda térmica y un resumen técnico-económico. Finalmente, las conclusiones cierran el artículo.

GENERACIÓN SOLAR

Se ha simulado la producción térmica de las siguientes tecnologías disponibles comercialmente: concentración, tubos de vacío y colectores planos basado en datos de certificación Solar Keymark, datos de radiación horario en las Islas Baleares, una temperatura constante del fluido de trabajo a 95°C (suficiente para proporcionar energía a tanto máquinas de absorción como adsorción). La simulación calcula hora a hora la radiación que incide sobre cada colector y calcula la eficiencia en función de la temperatura ambiente en ese instante. Se realiza la simulación durante 11 años para compensar variabilidades anuales.



Fig. 2. Instalaciones de los tipos de sistemas solares estudiados

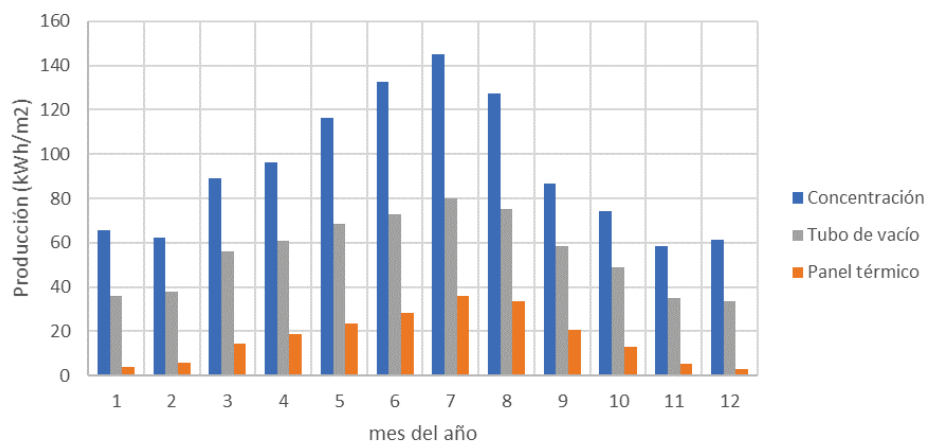


Fig.3. Comparación de 3 sistemas de energía solar térmica en kWh/m².

La producción superficial de los tubos de vacío respecto al sistema de concentración es de alrededor del 55% los meses de invierno. En cambio, el colector plano, solo produce entre un 4 y 10% los meses de invierno. Esto posiciona al sistema de concentración como la solución solar térmica óptima para producir la máxima cantidad de calor a alta temperatura en invierno, para obtener calor a baja temperatura con máquinas de absorción o adsorción.

En comparación a sistemas fotovoltaicos, arios beneficios adicionales son inherentes a los sistemas 100% térmicos: la reciclabilidad de los paneles fotovoltaicos necesita ser probada como rentable y eficiente. En cambio, los sistemas

de concentración están formados en su mayor parte por espejos, acero y aluminio, por lo que la reciclabilidad es de esperar que sea más elevada. Pasa lo mismo para el sistema de almacenamiento, siendo el agua mucho más fácil de reciclar que las células de litio. Además, la energía utilizada para la fabricación de los sistemas fotovoltaicos es 4 veces superior a los sistemas térmicos. Para zonas de generación con presencia de otros elementos que puedan proyectar sombra (antenas de comunicación, chimeneas, barandillas, maquinaria, etc), la fotovoltaica reduce drásticamente su producción, mientras que la energía solar térmica no se ve prácticamente afectada.

Finalmente, los sistemas puramente térmicos, al no usar energía eléctrica, requieren costes de tramitación en España mucho más simplificados en comparación a sistemas fotovoltaicos. A título de ejemplo, se debe realizar un proyecto técnico para potencias superiores a 10kW en sistemas fotovoltaicos, pero no se necesita realizar el mismo proyecto en sistemas térmicos de menos de 70kW. Eso sin mencionar los trámites adicionales de los sistemas eléctricos frente a los térmicos.

BOMBA DE CALOR TÉRMICA

El segundo elemento importante es la máquina de refrigeración, puede ser de absorción o de adsorción. Las dos tienen un mantenimiento casi nulo y pueden trabajar combinadas con los sistemas de concentración solar, para edificios de consumo estacional. Existen diversas tecnologías para adsorción como Zeolite o Gel de Sílice o una de absorción con Bromuro de Litio o Amoníaco. Lo importante es que sea capaz de funcionar en un amplio rango de temperaturas, para poder proporcionar calor a 30-40°C con temperaturas ambiente lo más bajas posible.

Para ello, nos fijamos como ejemplo en una máquina de adsorción de Zeolite y otra de absorción de Bromuro de Litio comercial, cuyas curvas son dadas por el fabricante. Como en toda bomba de calor, el Coeficiente de Operación (COP) se ve afectado por las diferencias en temperaturas. Para calefacción, la temperatura a elegir corresponde al rango de "Recooling temperature". Para refrigeración, "Chilled Water Temperature". En cuanto a la temperatura de suministro de la máquina proveniente de la generación por concentradores solares, se puede alcanzar cualquier punto de funcionamiento del rango indicado.

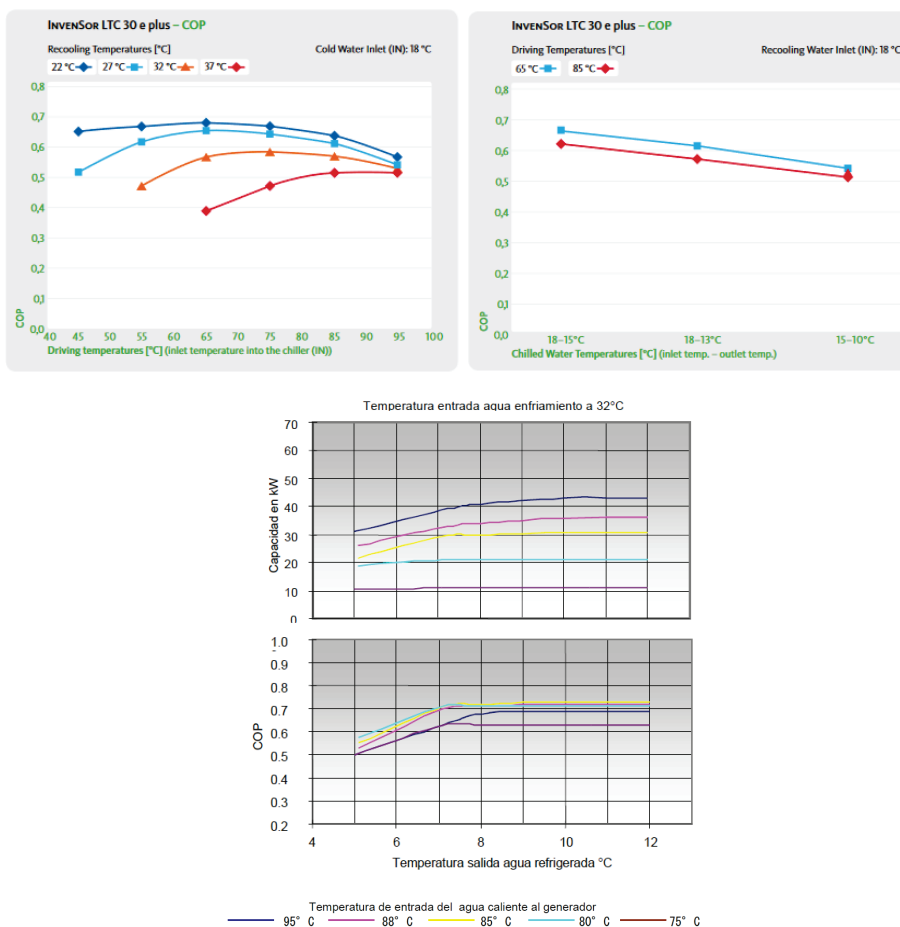


Fig. 4. Comparativa del COP de sistemas de Adsorción y Absorción. Fabricantes InvenSor y Yazaki

El principal problema lo encontramos tanto en el foco frío como el caliente. Es necesario que la máquina pueda evacuar calor en verano, y recoger calor en invierno, por lo que los extremos de temperatura de la localización determinan las condiciones extremas de funcionamiento. En Baleares, la distribución horaria de temperaturas indica que para garantizar un funcionamiento del 95% del tiempo, la máquina debe poder funcionar con una temperatura ambiente de 6.3°C y 31.6°C. Aplicando un delta térmico de 5°C, la máquina debe poder funcionar con sus entradas/salidas a 1.3°C y 36.6°C.

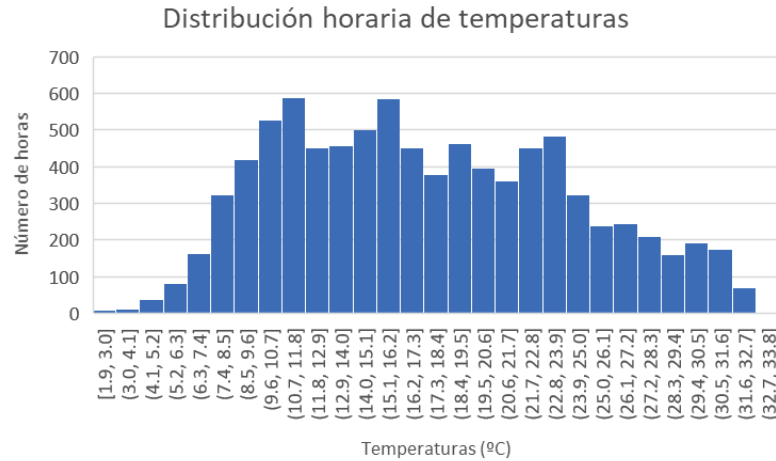


Fig. 5. Distribución anual de temperaturas en Islas Baleares

La única tecnología capaz de poder funcionar a la temperatura es la absorción con Amoniaco, cuyo uso puede presentar discrepancias debido a la toxicidad del amoniaco si se libera de la máquina. No obstante, para el resto de las tecnologías, se debe recurrir a otras alternativas:

- Sistemas de disipación geotérmico o hidrotérmicos: se usa la inercia de la tierra o una gran fuente de agua (como, por ejemplo, una cisterna o una piscina) para evacuar o recuperar calor, con temperaturas más constantes. La potencia a disipar en modo calefacción es bastante baja en comparación al calor que se está produciendo, del orden del 40%.
- Sistemas aerotérmicos funcionando en las horas más templadas del día: Si se dispone de almacenamiento térmico del foco caliente, se pueden apurar 6 grados de diferencia entre día y noche, por lo que los extremos se vuelven 12°C y 26°C ambiente (7°C y 31°C en la máquina) y climatizar las viviendas durante las horas menos extremas. Para ello es necesario un cierto nivel de aislamiento en el edificio vivienda, para conservar el calor que no podrá ser generado durante las horas de más demanda.
- Combinación de las dos anteriores: se dispone de un sistema de evacuación aero y otro geotérmico, lo que permite reducir el coste y/o los requerimientos de este último aún más. Esta solución parece ser la más versátil y permite aumentar la redundancia operativa.

El COP térmico en los extremos de temperaturas de funcionamiento es alrededor de 1.5 en modo calor y 0.6 en modo frío para la absorción, y 1.4 y 0.5 para la adsorción, la ratio de eficiencias está entre 240% y 280%. Es decir, 240% de producción de calor adicional respecto a frío por la misma cantidad de energía solar térmica. Esto compensa la diferencia en producción entre invierno y verano vista anteriormente, y garantiza una producción constante todo el año, lo que permite un dimensionamiento más ajustado tanto de la bomba de calor como del campo solar y poder cubrir las demandas de calefacción, siempre discutidas en los sistemas solares.

Para sistemas mediterráneos, sobre todo en vivienda unifamiliar, por razones de salubridad, ha caído en desuso la cisterna de recogida de aguas pluviales. Una gran parte de las viviendas unifamiliares de las Islas Baleares dispone de estos tanques de almacenamiento inutilizados, por lo que usarlos como foco ambiente de la bomba de calor puede ser un gran ahorro en inversión y revaloriza un bien patrimonial que cada vez queda más en desuso.

Finalmente, estas máquinas presentan mejor sintonía con las directivas europeas sobre gases con alto niveles de efecto invernadero, ya que no poseen ningún gas refrigerante dañino o que cause efecto invernadero para el planeta, a diferencia de la mayoría de sistema de refrigeración convencional. Al no usar fluido alguno, no hay costes operativos de recarga, ya que, en caso de pérdida de presión, no hay fuga de material debido a que trabajan por debajo de la presión atmosférica.

ALMACENAMIENTO

Uno de los elementos clave para asegurar el suministro de energía durante los días que no hay producción es el almacenamiento energético. En sistemas con bomba de calor por compresión, simplemente se puede usar la red eléctrica si esta está disponible, pero incrementando los costes de operación, teniendo que afrontar un coste variable (energía consumida) y un coste fijo (potencia contratada), o almacenar la producción. Se ha elegido tener en cuenta el almacenamiento en el estudio, ya que, si no, la red tiene que encargarse de transmitir o almacenar esa energía. En una sociedad donde el transporte está cada vez más electrificado, resulta beneficioso tener sistemas de almacenamiento económicos desacoplados de la red eléctrica.

El sistema más rentable por excelencia para almacenar energía térmica es el agua, mucho más abundante, ecológica y reciclable que las baterías de litio o de plomo. La densidad energética es más baja, pero sistemas donde el almacenamiento se encuentra debajo de una parte del campo generación pueden ser propuestos, teniendo un impacto nulo sobre el espacio utilizado. Otra opción es instalar una caldera de gas, que se usa relativamente poco, por lo que los costes fijos de la comercializadora son bastante bajos. Ambos sistemas se benefician de un COP de 1.4-1.6, por lo que son mucho más eficientes que sistemas actuales. Si el sistema de almacenamiento está suficientemente dimensionado, el uso de la red o combustible debería ser bastante anecdótico durante el año, por lo que el impacto del sobre coste debería ser bajo.

La siguiente tabla compara a título orientativo el almacenamiento energético del sistema eléctrico con el térmico.

Tabla 1. Comparativa de tipos de almacenamientos

	Sistema con baterías de litio	Tanque de almacenamiento térmico a alta temperatura	Tanque de almacenamiento en salida de bomba de calor
Principal elemento de almacenaje	Células de iones de litio	Agua desmineralizada de 35°C a 95°C	Agua desmineralizada de 55°C a 35°C
Principal elemento de conversión de energía	Inversor/cargador	Intercambiador de placas o serpentín interno	Intercambiador de placas o serpentín interno
Inversión en energía primaria	230-300€/kWh	10-14€/kWh	35-55€/kWh
COP de la conversión	3.1	1.2	1
Inversión energía de climatización	64-83€/kWh	8-12€/kWh	35-55€/kWh
Inversión en potencia	220-280€/kW	4-8€/kW	4-8€/kW
Potencia de climatización disponible asociado al almacenamiento	61-78€/kW	5-10€/kW	4-8€/kW
Número de ciclos	1000-3000 ciclos	Virtualmente infinito	Virtualmente infinito
Densidad energética	130-150 kWh/m ³	40-65 kWh/m ³	15-18 kWh/ m ³
Reciclabilidad	Media	Elevada	Elevada

El rango de temperaturas útil del depósito de inercia usado en el sistema de concentración es muy amplio, ya que desde 95°C hasta 75°C, el calor se usa en la máquina de absorción con un COP de 1.5-1.7. Seguidamente, el calor sigue siendo útil hasta los 35°C, con un COP de '1', usando directamente el calor hacia los suministros. Esto confiere a la unidad de almacenamiento un COP de 1.2. Evidentemente, eso no puede hacerse en el caso de refrigeración.

En cambio, el COP del sistema de litio y bomba de calor es de 2.5-3.1, conversión directa de la energía almacenada en calor o frío. Como el sistema se dimensiona para el caso de calefacción, el COP de 3.1 se escoge como referencia.

En caso de usar una inercia a la salida de la bomba de calor, en el rango de 55 a 35°C, el almacenamiento se realiza de manera sensiblemente más económica, pero con una densidad bastante más baja. Evidentemente, eso tiene un efecto sobre el COP de la bomba de calor, que puede pasar de 3.1 a 2.5.

DEMANDA

La adecuación del sistema y la demanda de calor y frío depende drásticamente en la localización escogida. Para este estudio, se ha escogido las Islas Baleares, la cual se considera bastante templada, con temperaturas extremas menos acentuadas que otras localidades.

Calculando los grados · día para calefacción y refrigeración (Heating/Cooling Degree Days (HDD/CDD)), se obtiene un valor indicativo de la demanda esperada. Estos valores tienen que correlacionarse con la demanda real en energía. Esto permite ver que la demanda en verano está concentrada en los meses de Julio y Agosto, pero esta desciende los meses de Junio y Septiembre, por lo que se necesita refrigerar entre 2 y poco más de 3 meses al año. En cambio, la calefacción es necesaria casi 5 meses del año. Dado que el calor producido en invierno es mucho menor, todo esto decanta la balanza hacia sistemas donde es más eficiente producir calor que frío.

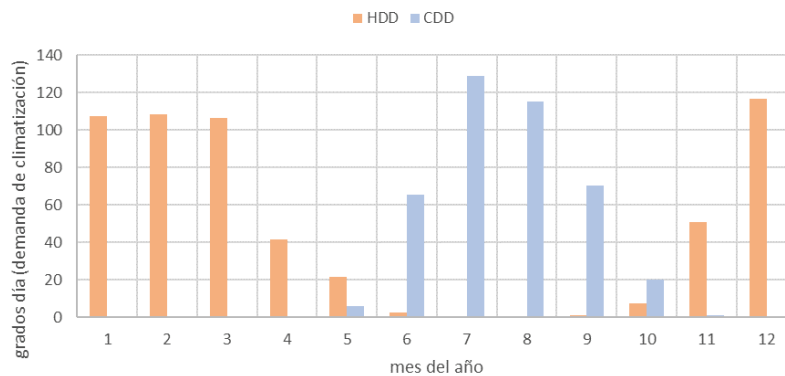


Fig. 6. Sensación térmica en Baleares según Grados Día.

En cuanto a la producción, la siguiente figura combina la producción solar con el COP de la máquina. Como se puede ver con las eficiencias estimadas, la producción de climatización del sistema es superior en invierno que en verano. Esto va en el buen sentido ya que la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) se incrementa también en invierno, por lo que tener excedentes de producción en invierno es muy beneficioso.

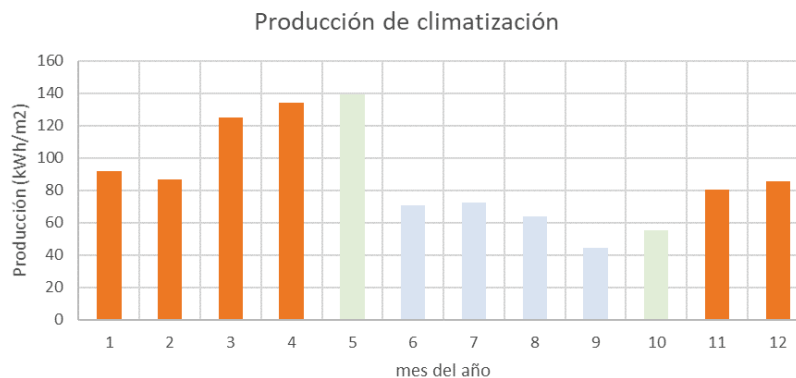


Fig.7. Producción de climatización combinada con una máquina de absorción o adsorción (azul refrigeración, naranja Calefacción, verde mixto con baja demanda) en kWh/m².

Partiendo de la disparidad en demanda energética entre calefacción y refrigeración, el punto a dimensionar viene dado por la producción en Diciembre, tanto para el sistema fotovoltaico como para el térmico.

Con todo esto, se puede calcular un COP ponderado en función de la demanda usando la siguiente ecuación:

$$COP_{medio} = \frac{1}{DD_{tot}} \sum_{mes=1}^{12} DD_{mes} \cdot COP_{mes}$$

Donde,

$$COP_{mes} = \frac{COP_{refrig} \cdot CDD_{mes} + COP_{calent} \cdot HDD_{mes}}{CDD_{mes} + HDD_{mes}}$$

$$DD_{mes} = CDD_{mes} + HDD_{mes}$$

$$DD_{tot} = \sum_{mes=1}^{12} DD_{mes}$$

Aunque simplista, este cálculo permite obtener un COP medio ponderado en función de la demanda.

Tabla 2. COP por meses y por demanda.

Mes	COP mensual	Demanda en Grados Día (DGDmes)
1	1.4	107.30
2	1.4	108.60
3	1.4	106.70
4	1.4	41.90
5	1.2	27.70
6	0.5	67.90
7	0.5	128.90
8	0.5	115.10
9	0.5	71.20
10	0.7	27.50
11	1.4	52.20
12	1.4	116.90
Total	1.02	971.90

En este estudio, el COP medio ponderado es igual a 1,02. Es decir, que el bajo COP en verano combinado con la alta demanda puntualizada en Julio y Agosto, se ven compensados por el alto COP en invierno y la demanda más estable durante más meses, en Diciembre, Enero, Febrero y Marzo, siendo el resultado equivalente a tener una conversión de 1 a 1 en la producción pero virtualmente contar con un almacenamiento estacional, debido al desfase de eficiencias entre verano y invierno.

A simple vista, puede parecer que tener un COP medio ponderado de 1,02 es bajo, en comparación a sistemas por bomba de calor que pueden ir desde 2 a 4. Por ello, cabe tener en cuenta la cadena completa de eficiencias. Si tuviéramos que generar el calor/frío con bomba de calor y energía solar fotovoltaica, la eficiencia global del proceso corresponde al rendimiento de generación (a modo indicativo, 17% entre eficiencia del panel, inversor y transporte), y la eficiencia de la bomba de calor a 3.6 como valor considerado alto. La eficiencia global del sistema fotovoltaico es de 61%.

El sistema de concentración posee un rendimiento de 74.5%, incluyendo las pérdidas térmicas. Corregido con el COP de 1.4, el rendimiento se vuelve 112% en calefacción, o una media de 76.0% en modo combinado. Como se puede ver, el rendimiento global de conversión puede llegar a ser bastante superior a sistemas clásicos de bomba de calor combinados con fotovoltaica.

La siguiente figura ilustra el consumo energético en viviendas mediterráneas para bloques de vivienda y para vivienda unifamiliar. Estos datos se usarán para realizar la comparativa entre ambos sistemas.

Consumo Energético Unitario de la Zona Mediterránea por tipos de Vivienda

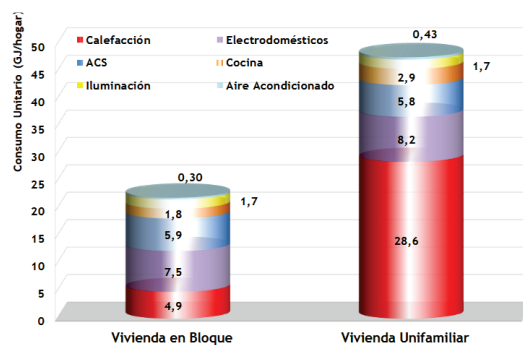


Fig 8. Consumo unitario entre una vivienda en Bloque o aislada en GJ.

Con la demanda cruzada con los grados día antes calculados, se puede estimar la demanda mes a mes y dimensionar el sistema para proporcionar calefacción, tanto para bloques de vivienda como viviendas unifamiliares. Las características principales se pueden ver en la tabla siguiente.

Tabla 3. Resumen comparativo de ambos sistemas tanto en boques de vivienda como en viviendas unifamiliares

	Vivienda unifamiliar		Bloques de vivienda	
	CSP+abs	PV+BC	CSP+abs	PV+BC
Superficie de captación (m ²)	18.3	35.1	3.1	5.0
Potencia pico instalada (kW)	12.83	7.32	2.20	1.05
Superficie ocupada del parque de generación (m ² /vivienda)	40.6	78.0	7.0	11.2
Producción de energía primaria media diciembre (kWh/día)	36.1	20.8	6.2	3.0
Producción media de calefacción en Diciembre (kWh/día)	54.1	54.1	9.3	9.3
Producción media Julio (kWh/día)	85.5	38.6	14.7	5.5
Capacidad de producción media de refrigeración en Julio (kWh/día)	51.3	96.5	8.8	13.9
Potencia nominal individual de calefacción (kW/vivienda) escogida como la demanda máxima diaria volcada durante 4 horas	14.0	14.0	2.4	2.4
Potencia de refrigeración (kW/vivienda)	5.6	14.0	1.0	2.4
Días de autonomía	1.0	1.0	1.0	1.0
Sistema de almacenamiento	Térmico alta temperatura	Térmico baja temperatura	Térmico alta temperatura	Litio
Energía de calefacción almacenada (kWh/vivienda)	54.1	54.1	9.3	9.3
Coste medio del sistema de generación (€/vivienda)	9509	10114	1441	1292
Coste medio de la bomba de calor (€/vivienda)	7788	14531	1186	1915
Coste medio del sistema geotérmico (€/vivienda)	2596	N/A	741	N/A
Coste medio del almacenamiento (€/vivienda)	1073	4175	153	1493
Coste (€/vivienda)	20966	28820	3522	4700
Excedentes de climatización (kWh/vivienda/año)	11642	13656	1003	0
Coste energético sobre demanda climatización (€/kWh) (horizonte temporal 15 años)	0.173	0.238	0.163	0.217
Coste energético incluidos excedentes hacia ACS y electrodomesticos (€/kWh)	0.147	0.176	0.089	0.112
Coste energético incluido todos los excedentes (€/kWh)	0.066	0.078	0.064	0.112
Coste energético sin almacenamiento (caso apoyo a sistema existente) (€/kWh)	0.063	0.067	0.061	0.076

Con todo esto, se puede calcular la superficie de generación necesaria por vivienda de un bloque, que corresponden a 3.1 m² de superficie de captación de concentración o 6.0 m² de panel fotovoltaico. El distanciamiento necesario entre colectores implica que no todo el espacio puede usarse. Se asumen factores de utilización de 45% para ambos, correspondientes a cubiertas transitables o suelo. Cabe destacar que el sombreado aplicado a paneles fotovoltaicos es muy perjudicial, ya que una pequeña sombra puede entorpecer la operación del panel y todo el String. En cambio, el sombreado en sistemas térmicos afecta de manera prácticamente lineal a la producción.

Para un bloque de viviendas típico de 10 apartamentos, el parque de generación corresponde a una superficie ocupada de 70m² y 134m² en la azotea, respectivamente para la concentración y la fotovoltaica, suficiente para abastecer en

calefacción todo el edificio en Diciembre. Un sobredimensionamiento sería necesario para asegurar el abastecimiento y almacenamiento necesarios.

Resalta el hecho de que el uso superficial del parque de generación del sistema de concentración es hasta un 50% más bajo que el sistema fotovoltaico, algo muy importante sobre todo en bloques de vivienda, donde el espacio útil en la azotea es limitado. Además, el coste energético a 15 años es más económico en el sistema de concentración, pudiendo llegar a ser hasta un 20% más económico en vivienda unifamiliar. El sistema de concentración presenta más excedentes. Estos excedentes pueden usarse para incrementar el confort térmico, o pueden ser volcados a una piscina. En este último, la piscina puede servir como foco térmico, alargando la temporada de uso de esta, y ahorrándose los costes de los captadores geotérmicos.

Las tablas siguientes ilustra la producción y excedentes mes a mes de ambos sistemas. En ellas se puede observar cómo los excedentes se incluyen en el balance, tanto para ACS en el caso térmico, como el uso de ACS y electrodomésticos en el sistema fotovoltaico.

Tabla 4. Demanda por meses y producción de climatización de los 2 sistemas en vivienda unifamiliar

Mes	Tipo de climatización predominante	Demanda de climatización (kWh/mes)	Sistema de concentración combinado con absorción		Sistema fotovoltaico combinado con bomba de calor	
			Sobrantes de energía final usada para para ACS en concentración (kWh/mes)	Energía sobrante usada para climatización adicional (kWh/mes)	Energía final usada para ACS y electrodomésticos (kWh/mes)	Energía sobrante usada para climatización adicional (kWh/mes)
1	calefacción	1539.0	134.3	61	205.5	0
2	calefacción	1557.6	96.7	0	234.3	0
3	calefacción	1530.4	134.3	715	363.4	318
4	calefacción	599.5	134.3	1837	363.4	1405
5	calefacción	308.4	134.3	2676	363.4	1973
6	refrigeración	19.5	134.3	1355	363.4	2174
7	refrigeración	39.0	134.3	1471	363.4	2296
8	refrigeración	33.9	134.3	1283	363.4	2135
9	refrigeración	21.0	134.3	852	363.4	1635
10	refrigeración	6.0	134.3	729	363.4	1436
11	calefacción	732.9	134.3	665	363.4	284
12	calefacción	1676.7	0.0	0	0.0	0
Total (GJ)		29.0	29.0	5.2	41.9	13.4
Demanda global (GJ)		29.0	29.0	5.8	N/A	15.7

Tabla 5. Demanda por meses y producción de climatización de los 2 sistemas en bloques de vivienda

Mes	Tipo de climatización predominante	Demanda de climatización (kWh/mes)	Sistema de concentración combinado con absorción		Sistema fotovoltaico combinado con bomba de calor	
			Sobrantes de energía final usada para ACS en concentración (kWh/mes)	Energía sobrante usada para climatización adicional (kWh/mes)	Energía final usada para ACS y electrodomésticos (kWh/mes)	Energía sobrante usada para climatización adicional (kWh/mes)
1	calefacción	263.7	30.0	0	44.9	0
2	calefacción	266.9	16.6	0	57.2	0
3	calefacción	262.2	104.7	0	164.9	0
4	calefacción	102.7	136.6	144	240.1	0
5	calefacción	52.8	136.6	288	277.4	0
6	refrigeración	13.6	136.6	154	292.3	0
7	refrigeración	27.2	136.6	163	296.6	0
8	refrigeración	23.7	136.6	134	286.6	0
9	refrigeración	14.7	136.6	67	255.0	0
10	refrigeración	4.2	136.6	54	244.6	0
11	calefacción	125.6	98.9	0	159.4	0
12	calefacción	287.3	0.0	0	0.0	0
Total (GJ)		5.2	5.2	4.3	3.6	8.3
Demanda global (GJ)		5.2	5.2	5.9	N/A	15.1

CONCLUSIONES

Se ha analizado la viabilidad de un sistema de climatización combinado con concentración solar en el sector residencial en zona climática mediterránea, tanto para viviendas unifamiliares como bloques de vivienda. Se han analizado los diferentes elementos del sistema, incluyendo la demanda y el almacenaje, y se ha comparado a sistemas existentes de bomba de calor con fotovoltaica. Se han abordado tanto las ventajas técnicas, económicas y ambientales, como la utilización del espacio útil.

Aunque las máquinas de absorción son popularmente conocidas como ineficientes, la eficiencia global del sistema es superior a sistemas fotovoltaicos con bombas de calor, pudiendo superar el 100% para el caso de calefacción. Eso repercute en un uso menor del espacio útil. Se observa que, tanto los costes de inversión como el coste energético a 15 años, son inferiores a sistemas fotovoltaicos con bomba de calor y baterías de litio. El espacio necesario para el parque de generación es hasta un 40% inferior si se instala sobre cubierta plana o suelo.

Se han comentado diversas ventajas inherentes de este sistema. Entre ellas, las más importantes son la alta reciclabilidad de todos los elementos del sistema, la ausencia de gases con alto GWP. Además, usar alternativas a sistemas aerotérmicos permite dar un uso a las típicas cisternas, muy propias del archipiélago Balear, despejando fachadas y anulando ruidos de los ventiladores de evacuación propios de las bombas de calor.

El know-how nacional y europeo en cuanto a la tecnología y fabricación de la solar de concentración implica un mayor autoabastecimiento de las tecnologías asociadas a la transición energética. Finalmente, estos sistemas implican menores emisiones en transporte, incluyen sistemas reciclables y implican a los consumidores a almacenar su propia energía de manera económica, disminuyendo el uso de la red eléctrica, la cual va a requerir capacidad para electrificar el parque de transporte.

AGRADECIMENTOS

Agradecimientos a Thermal Cooling Technology y SmartUIB

REFERÊNCIAS

Solar Thermal Vision 2030 Vision of the usage and status of solar thermal energy technology in Europe and the corresponding research topics to make the vision reality. European Solar Thermal Technology Platform (ESTTP)

Balaras C.A. et al. Solar air conditioning in Europe-an overview. Renewable and sustainable energy reviews. 11 (2007) 299-314.

Qu, M., Yin, H., Archer, D.H., 2009. A solar thermal cooling and heating system for a building: Experimental and model based performance analysis and design. Solar Energy 84 (2010) 166-182.

Andreu Moià Pol, Víctor Martínez Moll, Ramon Pujol Nadal and Rashid Nazmitdinov. Study Case of Solar Thermal and Photovoltaic Heat Pump System for Different Weather Conditions. Proceedings of the Eurosun 2014

Christian Wintelera, Ralf Dotta, Thomas Afjeia, Bernd Hafnerb. Seasonal Performance of a Combined Solar, Heat Pump and latent heat storage. SHC 2013.

M.C. Rodríguez-Hidalgo, et al. Domestic hot water consumption vs. solar thermal energy storage: The optimum size of the storage tank. Applied Energy 97 (2012) 897-906.

Polysun. <http://velasolaris.com>

Código Técnico de la Edificación. <http://www.codigotecnico.org/>

Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (R.I.T.E. 2013). www.minetad.gob.es

Cost-effective Concentrated Solar System for High-temperature & High efficiency Thermal Energy Production Rafael Anson. International Conference on Solar Technologies & Hybrid Mini Grids to improve energy access. Palma 2018. Spain.

Andreu Moià Pol, Víctor Martínez Moll, Ramon Pujol Nadal Vincent Canals, Rashid Nazmitdinov, Artem Morzhukhin. Study of Photovoltaics and Solar Thermal for Nearly Zero Energy Mediterranean Villas. Abu Dhabi, United Arab Emirates. Proceedings of SWC-SHC 2017.

Smart Grid and PV driven Heat Pump as Thermal Battery in Small Buildings for optimized Electricity Consumption. Alexander Thür, Toni Calabrese and Wolfgang Streicher. Palma de Mallorca, Spain. Proceedings of Eurosun 2016.

Assessing the 2022 requirement to avoid highly global warming Hydrofluorocarbons in some commercial refrigeration systems. Report From The Commission of 4.8.2017

Leonie Wenz, Anders Levermann y Maximilian Auffhammer, North-south polarization of European electricity consumption under future warming. PNAS Sept. 19, 2017 114 (38) E7910-E7918; <https://doi.org/10.1073/pnas.1704339114>

Regulation (EU) No 517/2014 of the European Parliament and of the Council of 16 April 2014 on fluorinated greenhouse gases and repealing Regulation (EC) No 842/2006 Text with EEA relevance

Gracia Amillo, A.M.; Huld, T. Performance comparison of different models for the estimation of global irradiance on inclined surfaces. Validation of the model implemented in PVGIS. JRC Technical Report EUR 26075 EN, JRC81902, ISBN 978-92-79-32507-6, ISSN 1831-9424, doi:10.2790/91554 2013.

Huld T. and Gracia Amillo A. M. Estimating PV Module Performance over Large Geographical Regions: The Role of Irradiance, Air Temperature, Wind Speed and Solar Spectrum. Energies. 2015 8, 5159-5181.

ESIF-European Solar Industry Federation (1999), SolarKeymark – Implementing the EN Standards and Establishing the CEN/CENELEC Keymark for Solar Thermal Products. Proposal for an ALTENER action. Proposal no. AL/2000/1444.

Análisis del consumo energético del sector residencial en España; Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE); PROYECTO SECH-SPAHOUSEC, 16 de julio de 2011

Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios; Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE); Madrid. Febrero de 2014

M. Izquierdo, R. Lizarte, J.D. Marcos, G. Gutiérrez. Air conditioning using an air-cooled single effect lithium bromide absorption chiller: results of a trial conducted in Madrid in August 2005. *Applied Thermal Engineering*, Elsevier, 2008, 28 (8-9), pp.1074. 10.1016/j.applthermaleng.2007.06.009. hal-00498956