

## **Sistemas de Frío Solar por Absorción para la Industria y para Redes de Frío de Distrito**

Hans Schweiger y Laura Sisó

AIGUASOL Enginyeria, Palau 4, 2º-2ª, 08002 Barcelona (Spain)

tel: +34 93 342 47 55, fax: +34 93 342 47 56

e-mail:laura@aiguasol.com

### **RESUMEN**

Este trabajo recoge algunas experiencias de aplicación de la refrigeración por absorción para instalaciones con gran demanda, como son la industria o las redes de distrito de climatización. Se muestra la disponibilidad de energía solar para aplicaciones industriales en la península Ibérica según diferentes tecnologías de colectores. También se exponen las características principales de los equipos de absorción y las posibilidades de conexión de éstos a sistemas de aprovechamiento solar. Se presentan tres casos de aplicación de esta tecnología: unas bodegas, una maltería y una red de distribución de frío y calor en Barcelona. La viabilidad de sistemas de refrigeración por absorción apoyados por energía solar depende de que la carga de refrigeración sea como mínimo de algunas centenas de kW y de la disponibilidad de calor residual.

### **1. INTRODUCCIÓN**

La creciente demanda de aire acondicionado asociada a la mayor exigencia en las condiciones de confort y el aumento de cargas internas implica un aumento notable de la demanda de electricidad.

Los sistemas de compresión de aire acondicionado utilizan los refrigerantes

perjudiciales para la capa de ozono. Desde 1987 el Protocolo de Montreal suscrito por 134 países, cuya XII Cumbre se celebró en Diciembre de 1999 en Ougadougou (Burkina Faso) establece una serie de acciones para la reducción del uso de estas sustancias.

Otro problema asociado a los sistemas convencionales de aire acondicionado es que las puntas en el consumo de electricidad se producen en las horas de tarifas más altas. Además del coste económico para el consumidor debe considerarse la disponibilidad del recurso en un determinado entorno, que puede dar lugar a cortes del suministro.

El uso de las máquinas de absorción constituye una alternativa a esta problemática debido a que emplea otras sustancias para su operación (agua, amoniaco o bromuro de litio). Por otro lado, otro punto a favor de las ventajas medioambientales de esta tecnología es que es accionado por energía térmica en lugar de eléctrica, pudiendo aprovechar por tanto, calor residual de otros procesos o energía solar.

Este documento presenta algunos aspectos generales sobre los sistemas de producción de frío mediante máquinas de absorción acopladas a sistemas de aprovechamiento de la energía solar térmica y muestra su aplicación en tres proyectos concretos: climatización de unas bodegas, producción de frío y calor para una red de distrito, enfriamiento de aire para germinación en una maltería.

Estos sistemas pueden aplicarse a otros procesos térmicos en que se requiera frío a baja temperatura. Sin embargo, el alcance de este trabajo se ocupa únicamente de la producción de agua fría a 5 - 7 °C.

**Tabla ¡Error!Argumento de modificador desconocido.. Ventajas e inconvenientes de los sistemas de refrigeración solar**

ventajas	inconvenientes
coincidencia de máxima producción solar con máxima demanda	

independencia del suministro eléctrico	necesidad de una caldera de apoyo y seguridad
consumo de energía eléctrica mínimo	
sistema único para producir calefacción y refrigeración	sobrecoste de las máquinas de absorción respecto a las enfriadoras convencionales
sistemas silenciosos	sobrecoste asociado al sistema solar
sustitución de CFC y HCFC	eficiencia de las enfriadoras de absorción inferior al de las enfriadoras de compresión
reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> y otros contaminantes	
sistema único para producir calefacción y refrigeración	

## 2. GENERALIDADES SOBRE EL FRÍO SOLAR POR ABSORCIÓN

Un sistema de producción de climatización solar por absorción puede dividirse en dos sistemas que se trataran separadamente en este capítulo:

- El sistema de producción de frío por absorción
- El sistema de aprovechamiento de la energía solar

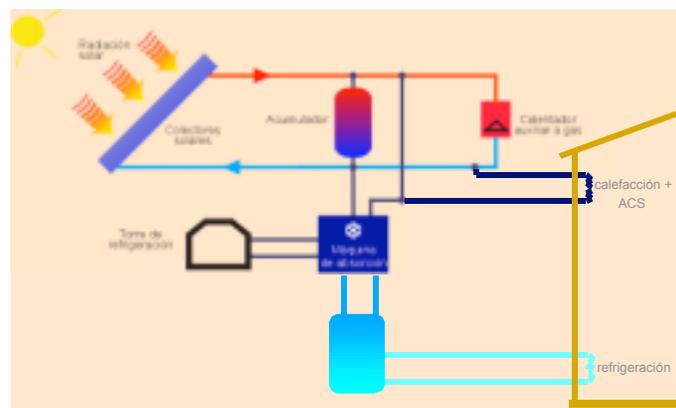


Figura 1. Esquema de sistema de climatización con máquina de absorción apoyado con energía solar

## 2.1 SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE FRÍO POR ABSORCIÓN

La máquina de absorción es una bomba de calor que permite traspasar energía de una fuente a baja temperatura a otra fuente a alta temperatura mediante el consumo adicional de energía térmica. Basa su funcionamiento en la capacidad de determinadas sales y líquidos para absorber a un fluido refrigerante.

En las tablas siguientes se indican las principales tecnologías de los sistemas de absorción.

**Tabla** ¡Error!Argumento de modificador desconocido.. **Tecnología de absorción en función del tipo de absorbente y refrigerante**

	máquina de absorción de bromuro de litio	máquina de absorción de amoníaco
absorbente	LiBr	H <sub>2</sub> O
refrigerante	H <sub>2</sub> O	NH <sub>3</sub>

**Tabla** ¡Error!Argumento de modificador desconocido.. **Tecnología de absorción en función del tipo de ciclo y la energía suministrada al generador**

tipo de energía	simple efecto	doble efecto
gas natural (llama directa)	x	x
agua caliente (70-90°C)	x	
agua sobrecalentada (140 °C)		x
vapor (170 °C)		x



La diferencia entre el ciclo de simple efecto y el de doble efecto radica en la eficiencia, determinada por el COP (*Coeficient of Performance*) o cociente entre el frío generado y la energía térmica consumida por la máquina. Son valores medios habituales un COP = 0.6-0.7 para simple efecto y COP = 1-1.2 para doble efecto.

## 2.2 SISTEMA DE PRODUCCIÓN SOLAR

### 2.2.1 Producción solar anual y análisis económico de los sistemas solares en la Península Ibérica

Dentro del proyecto europeo POSHIP (*“The Potential of Solar Heat in Industrial Processes”*) se llevó a cabo el análisis del potencial de aprovechamiento de la energía solar en la industria de España y Portugal. Se obtuvieron datos de la energía solar disponible y de la producción de calor, así como de los costes asociados a estos sistemas.

La energía solar captada por colectores solares se ha estimado mediante simulación dinámica con TRNSYS para 5 localidades de la península ibérica: Bilbao, Barcelona, Madrid, Lisboa y Huelva. Se ha utilizado METONORM para generar los datos climáticos para un año tipo en cada localidad. La **¡Error!Argumento de modificador desconocido.** muestra la radiación global obtenida.

**Tabla ¡Error!Argumento de modificador desconocido.. Radiación global horizontal en distintas localidades de la Península Ibérica**

**I R  
c a  
c d  
a i  
l a  
i c i  
c ó**

a n  
c g  
l  
o  
b  
a  
l  
h  
o  
ri  
z  
o  
n  
t  
a  
l  
l  
(  
h  
o  
ri  
z  
o  
n  
t  
a  
l)  
k  
W  
h  
/

—	
<b>a</b>	
E	1
i	2
l	9
b	4
a	
c	
E	1
a	4
r	4
c	5
e	
l	
c	
r	
a	
N	1
a	6
d	6
r	4
i	
d	
I	1
i	6
s	8
b	6
c	
a	
E	1



u	8
e	7
l	2
v	
a	

En las figuras adjuntas se muestra la eficiencia de colectores de diferentes tecnologías, así como la producción energética anual por unidad de superficie de colector en función de la temperatura de proceso para las localidades de Barcelona y Huelva.

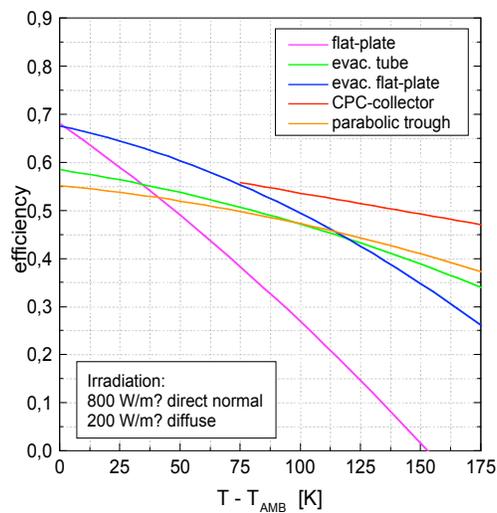
Las tecnologías de colectores consideradas son:

**CPC:** colector de tubo de vacío con concentrador parabólico compuesto

**FPC:** colector plano

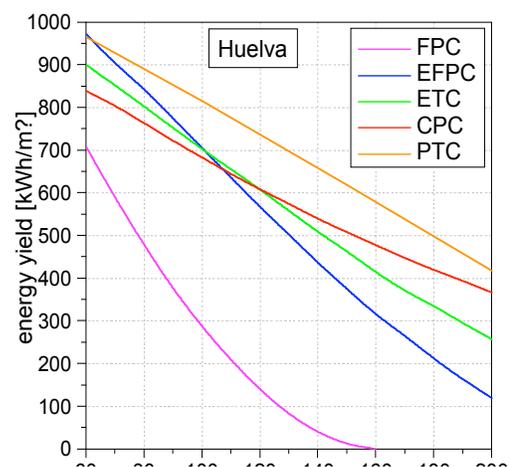
**ETC:** colector de tubo de vacío

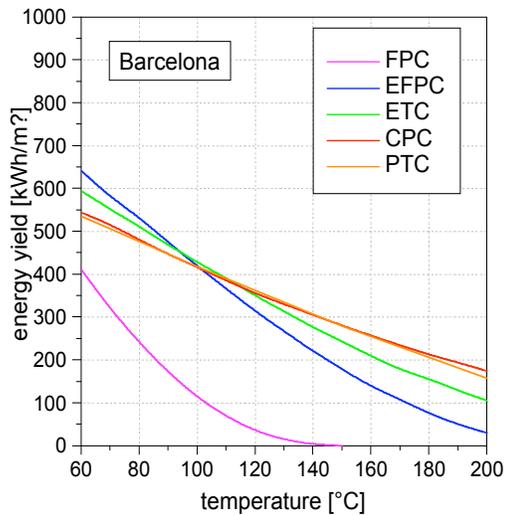
**EFPC:** colector plano evacuado



**PTC:** colector parabólico de seguimiento solar

**Tabla** ¡Error!Argumento de modificador desconocido.. **Eficiencia de colectores estáticos**





**Tabla** ¡Error!Argumento de modificador desconocido.. **Producción solar anual en Barcelona y Huelva**

Las figuras indicadas corresponden a un sistema solar con 100% de utilización de la energía captada, que funciona todo el año sin interrupción y con demanda siempre superior a la producción. Esta aproximación es realista para sistemas industriales con una demanda alta y continua de calor.

Se observa como las tecnologías de colectores estáticos diferentes al colector plano convencional pueden llegar a duplicar la energía disponible. Así, a 100°C en Huelva, un colector plano puede producir 300 kWh/m<sup>2</sup> mientras que un tubo de vacío con CPC llega a los 700 kWh/m<sup>2</sup> a esa temperatura. A unos 60°C esa diferencia queda reducida a 100 kWh/m<sup>2</sup>.

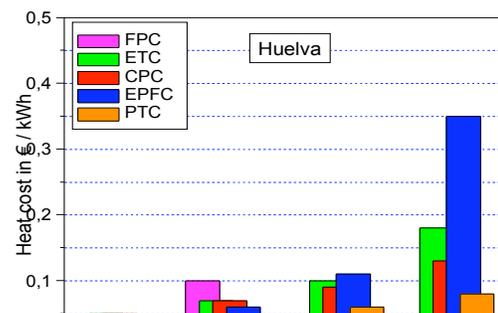
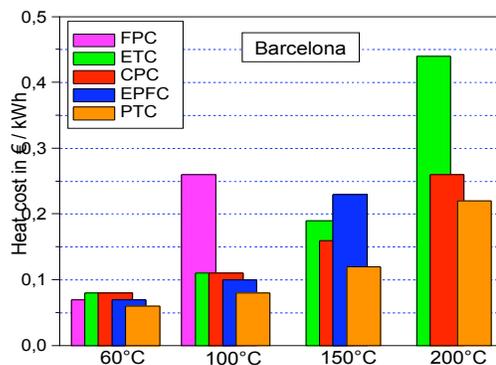
Para los colectores parabólicos de seguimiento solar, la energía obtenida es superior a la de los colectores estáticos. Además, este tipo de colectores es menos sensible a variaciones en la temperatura del absorbedor. Esto es debido a que la baja superficie de captación

provoca una disminución en las pérdidas de calor, respecto a colectores estáticos. Por otro lado, el seguimiento solar permite captar la energía también al amanecer y al atardecer.

Respecto al análisis económico de las distintas tecnologías, la tabla siguiente muestra los costes de los principales sistemas de colectores y las figuras adjuntas indican el coste de la energía solar para dos ciudades distintas (Barcelona y Huelva).

**Tabla 1. Coste del sistema solar por m<sup>2</sup> instalado**

tipo de colector	Costes de inversión de colectores en €/m <sup>2</sup> respecto al área total	Costes de inversión de colectores en €/m <sup>2</sup> respecto al área de absorbedor
tubo de vacío	≤ 350	≤ 500
tubo de vacío +CPC	≤ 350	≤ 370
plano evacuado	≤ 320	≤ 370
parabólico de seguimiento	240	-
plano	≤ 220	≤ 250



**Figura ¡Error!Argumento de modificador desconocido.. Costes del calor en procesos industriales abastecidos por energía solar en Barcelona y Huelva (No se incluyen costes superiores a 0.5 €/kWh)**

### **2.2.2 Tipo de colectores adecuados para el acoplamiento con máquina de absorción**

Como se ha indicado en el capítulo precedente las máquinas de absorción pueden ser alimentadas en el rango de 80-90°C (simple efecto) o bien en el rango de 130-140°C (doble efecto). Para la aplicación en máquinas de doble efecto será necesario trabajar con colectores de tubo de vacío o colectores parabólicos con seguimiento solar. En el caso de máquinas de simple efecto se consigue un buen funcionamiento del sistema con colectores planos selectivos.

Los colectores estáticos más avanzados pueden clasificarse en los grupos siguientes:

- colectores planos selectivos
- colectores tipo CPC (concentrador parabólico compuesto)
- colectores planos evacuados
  - de vacío
  - conteniendo un gas inerte
- colectores con barreras de convección
  - aislamiento transparente en panel de abeja (“honeycomb”)
  - aislamiento de plástico adicional

Para campos de colectores muy extensos, como se pueden dar en aplicaciones industriales, de grandes edificios del sector terciario o de refrigeración de distrito, los colectores parabólicos de seguimiento solar presentan un coste equivalente al de colectores planos de alto rendimiento. La ventaja añadida de esta tecnología es que se pueden alcanzar temperaturas de hasta 250°C con una eficiencia razonable.

**Tabla** ¡Error!Argumento de modificador desconocido.. **Tipo de colectores solares adecuados a los distintos tipos de máquina de absorción**

<b>tipo</b>	<b>simple efecto</b>	<b>doble efecto</b>
COP	0.6 – 0.7	1 - 1.2
Tª agua solar	80 – 90 °C	130-140 °C
tipo de colector óptimo	plano convencional plano selectivo CPC	tubos de vacío colector cilindro parabólico

En el apartado siguiente se presenta una comparativa entre un colector plano selectivo, un CPC y un colector de tubo de vacío valorando el rendimiento energético y el coste de los equipos.

### 2.2.3 Comparativa de diferentes tipos de colectores estáticos

Con el fin de valorar el rendimiento de diferentes tecnologías de colectores se ha realizado una simulación dinámica basada en el software TRNSYS para diferentes tipos de colectores. El análisis se ha realizado en base a los datos climáticos de la localidad de Falset (Tarragona).

Los tipos de colectores solares considerados son:

**CPC:** colector con concentrador parabólico compuesto – CPC (SOLEL CPC 2000)

**FPC:** colector solar plano selectivo (Sonnenkraft FK500)

**ETC:** colector de tubo de vacío

Los parámetros de rendimiento para estos tres colectores están resumidos en la tabla adjunta, según las ecuaciones de rendimiento siguientes:

$$h = c'_0 - (c_1 + c_2 DT) DT/G_T$$

$$c'_0 = c_0 (1 - K/\cos q)$$

**Tabla ¡Error!Argumento de modificador desconocido.. Datos de rendimiento de los colectores solares estudiados. Datos de rendimiento en relación a la superficie absorbidora y en relación a la temperatura media del fluido.  $K = 0.24$  para todos los colectores.**

colector	$c_0$	$c_1$	$c_2$
	-	$W/m^2K$	$10^{-3} W/m^2K^2$
CPC	0.828	2.50	10
FPC	0.79	3.90	9.8
ETC	0.85	1.07	5.0

Mediante simulaciones dinámicas se ha determinado la superficie de colectores solares necesaria para obtener una contribución solar a la demanda de frío de un 60% aproximadamente.

**Tabla ¡Error!Argumento de modificador desconocido.. Aporte solar para sistemas con diferentes tipos de colectores solares**

colector	Superficie absorbedor a	Aporte solar			Fracción solar
		total	frio	calef.	frio
	m <sup>2</sup>	kWh	kWh	kWh	%
CPC	60	20 950	13 443	7 507	58
FPC	100	20 936	13 211	7 726	57
ETC	40	21 408	13 939	7 470	60

Partiendo de costes unitarios para los diferentes colectores (coste de instalador) se han comparado los costes totales para los campos de colectores de tamaños diferentes, según se muestra la tabla siguiente.

Se observa un sobre coste para el campo de colectores solares de 30% de los colectores planos selectivos y 40% de los colectores de tubo de vacío respecto a los colectores de CPC.

**Tabla 1. Comparación de costes**

colector	Superficie absorbedor a	Coste unitario	Coste total colectores	Sobrecoste (*)
	m <sup>2</sup>	Ptas / m <sup>2</sup>	MPta	Ptas
CPC	60	38 000	2.28	-
FPC	100	30 000	3.00	720 000
ETC	40	80 000	3.20	920 000

(\*) Respecto al sistema más económico. Solo coste de material para colectores solares.

El rendimiento de los colectores solares CPC está situado entre el de los colectores planos selectivos y los colectores de tubo de vacío.

El coste de estos colectores, no obstante, es solo ligeramente mayor al de los colectores planos convencionales e inferior al coste de los colectores planos selectivos o de vacío, por lo cual este tipo de colectores es altamente recomendable para sistemas de frío por absorción.

### 3 VIABILIDAD DE SISTEMAS INDUSTRIALES DE FRÍO SOLAR

Las principales ventajas de aplicaciones industriales (y otras aplicaciones de tamaño y consumos grandes como redes de distrito) de frío solar se pueden resumir en lo siguiente:

- Debido a consumos de frío grandes y – en algunos casos continuos durante todo el año – se pueden obtener tiempos de operación largos de los equipos de frío.

- Los campos solares se pueden diseñar cerca del ideal de 100% de utilización – obteniéndose así ahorros energéticos máximos por unidad de superficie de colectores solares.
- El gran tamaño de los sistemas conlleva un coste de instalación unitario de aprox. 50% en comparación con sistemas pequeños (sector doméstico, casas multifamiliares, pequeños hoteles, ...).
- El tamaño grande de las instalaciones hace más viables los sistemas de acumulación (menor relación superficie – volumen) a periodos de tiempo más largos – lo cual permite amortiguar en mayor grado los desfases entre demanda y disponibilidad de la energía solar.
- En muchos casos hay disponibilidad de calor residual o calor de sistemas de cogeneración como fuente auxiliar, por lo cual las fracciones solares pueden ser más bajas que en el caso de utilización de una caldera de apoyo, y por lo tanto el nivel de utilización de la energía solar puede ser superior.

Se presenta a continuación un análisis de viabilidad simple de un sistema de frío solar basado en una demanda de 1 500 MWh/año de frío a ser suministrados por una máquina de 1 MW.

### Datos de partida

demanda energética	MWh/año	Calor equivalente MWh/año
frío	1 500	2 143

precio de la energía de referencia	tarifa aplicada	Pta/kWhútil
gas natural	industrial	5

electricidad	industrial	9
--------------	------------	---

rendimiento de los equipos	COP	rendimiento
caldera	--	90 %
enfriadora de compresión	3.5	--
enfriadora de absorción	0.7	--

calor disponible	
cobertura solar	30 %
calor residual	60 %

**Balance energético comparativo de sistema de absorción solar y sistema de compresión eléctrico**

	Sistema 1: Absorción solar	Sistema 2: Compresión eléctrica
	MWh/año	MWh/año
frío	1 500	1 500
consumo energético		
solar	642 857	0
calor residual	1 285 714	0
gas natural	238 095	0
electricidad	0	428 571
Energía primaria	238 095	1 285 714
<b>Ahorro EP</b>	<b>81 %</b>	--

**Balance económico comparativo de sistema de absorción solar y sistema de compresión eléctrico**

	<b>Sistema 1: Absorción solar</b>	<b>Sistema 2: Compresión eléctrica</b>
inversión total (Pta)	75 000 000	32 000 000
coste energía total (Pta/año)		
gas natural apoyo	1 190 476	0
electricidad	0	3 857 143
<b>ahorro sistema 1/ sistema 2</b>	<b>2 666 667</b>	
<b>pay-back</b>	<b>16.12</b>	

Como elemento clave para ahorrar energía primaria es necesario o una fracción solar alta o calor residual disponible. Por otro lado para ser además económico es necesario un alto porcentaje de calor residual.

Las máquinas de absorción tienen un COP inferior a las de compresión eléctricas por lo cual, el consumo de gas para suministrar calor a una máquina de absorción puede ser del orden de 5 veces superior a la energía primaria consumida en una máquina de compresión.

## **4 APLICACIONES PRÁCTICAS DE FRÍO SOLAR**

### **4.1 Climatización solar de unas bodegas en falset (tarragona)**

El proyecto de las bodegas Mas Martinet en la localidad de Falset (Tarragona) muestra un sistema de climatización de las bodegas mediante energía solar, acoplada a una máquina de absorción para la producción de frío. Las condiciones requeridas oscilan entre los 15 y 18°C a lo largo de todo el año. El sistema auxiliar se basa en una caldera de gas propano. Se utilizará parte del calor generado para producir calefacción y ACS en las oficinas del complejo y calefacción en la casa que existe en las proximidades de las bodegas y donde residen 6 personas.



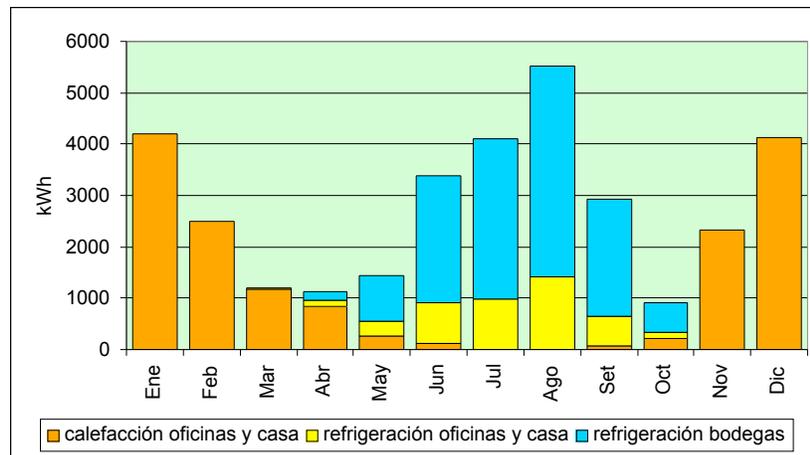
Este proyecto destaca por la necesidad de instalar un sistema solar de refrigeración debido a que no existe suministro eléctrico. Por este motivo se realizó un diseño basado en algunos puntos clave como los que se mencionan a continuación:

- Se complementó la demanda de verano con una demanda en invierno, para sacar el máximo rendimiento de la instalación solar (calefacción en viviendas y oficinas).
- Se diseñó acumulación solar y de la producción de frío, optimizando los volúmenes para obtener un funcionamiento adecuado a las oscilaciones de demanda y de producción solar.

Se prevé el inicio del proyecto ejecutivo correspondiente a esta instalación a finales del 2001. Se espera poder incluirlo dentro de los proyectos de demostración de la Task 25 (“Solar assisted air conditioning in buildings”) de la Agencia Internacional de la Energía, para lo cual se deberá llevar a cabo una monitorización del funcionamiento del sistema durante un año.

#### 4.1.1 Demanda térmica

La demanda térmica de refrigeración y de calefacción se ha determinado mediante simulación dinámica del comportamiento térmico del edificio, utilizando el software TRNSYS. Para ello se han introducido las condiciones climáticas correspondientes a un año tipo de Falset y las características interiores del edificio (características de los cerramientos, cargas internas, infiltraciones, etc.).



**Figura** ¡Error!Argumento de modificador desconocido.. **Demanda de refrigeraci3n y calefacci3n en las bodegas Mas Martinet seg3n c3lculos TRNSYS**

Para el agua caliente sanitaria se ha supuesto un consumo constante a lo largo de todo el a3o de 460 kWh/mes.

Si se considera la demanda equivalente de calor en una m3quina de absorci3n se obtiene la distribuci3n de consumos t3rmicos de la ¡Error!Argumento de modificador desconocido..

#### 4.1.2 Dise3o del sistema solar

Para la predicc3n del aporte energ3tico del sistema solar se efectu3 una simulaci3n din3mica del conjunto del sistema, sobre la base de la distribuci3n anual y diaria de la demanda de refrigeraci3n y calefacci3n resultado de los c3lculos descritos anteriormente, mediante el software TRNSYS.

Los colectores solares recomendados son colectores de concentrador parab3lico compuesto (CPC). Se recomienda una inclinaci3n de los colectores de 30° con orientaci3n al sur. La superficie 3til total de captaci3n ser3 de 61.8 m<sup>2</sup>.

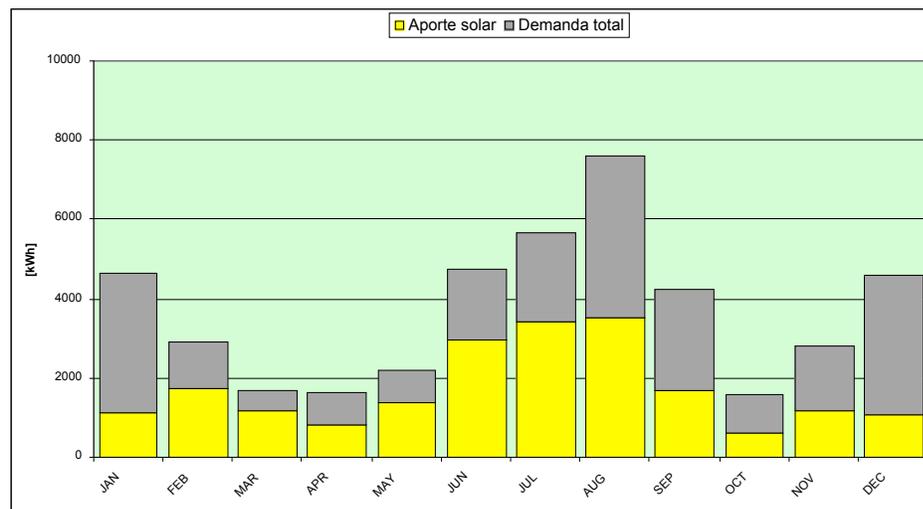
El depósito de acumulación solar es un depósito de 1500 litros, junto con el de 3000 litros de acumulación de frío (ver apartado 4.1.3.) durante el invierno. Es preciso que soporte temperaturas máximas de trabajo de 140°C. Se acoplará al campo de colectores solares mediante un intercambiador exterior de placas.

El diseño del sistema de climatización se ha basado en un aporte de energía solar térmica del 58% de la demanda anual de refrigeración y del 47% de la demanda anual de calefacción.

En la tabla y figuras siguientes se indica la demanda térmica y la fracción que es cubierta mediante aporte solar.

**Tabla** ¡Error!Argumento de modificador desconocido.. **Demanda térmica equivalente total y aporte solar**

	Frío	Calefacción	ACS	Aporte solar	Demanda de calor auxiliar
ENERO	0	4196	460	1160	3496
FEBRERO	0	2493	460	1740	1213
MARZO	49	1178	460	1178	509
ABRIL	354	843	460	843	814
MAYO	1489	259	460	1392	815
JUNIO	4158	129	460	2975	1771
JULIO	5245	10	460	3462	2253
AGOSTO	7193	1	460	3536	4118
SEPTIEMBRE	3706	79	460	1721	2524
OCTUBRE	890	225	460	629	946
NOVIEMBRE	18	2324	460	1200	1602
DICIEMBRE	11	4123	460	1111	3482
<b>SUM</b>	<b>23110</b>	<b>15860</b>	<b>5519</b>	<b>20948</b>	<b>23543</b>



**Figura 4.1.2. Representación gráfica de la demanda térmica total y el aporte solar**

#### 4.1.3 Diseño del sistema de refrigeración con máquina de absorción

El sistema de refrigeración está compuesto por una máquina de absorción, una caldera auxiliar de gas propano y un depósito de almacenamiento de agua fría.

El sistema se diseñó para un aporte solar de 58% (óptimo económico).

La máquina de absorción está sobredimensionada de tal forma que, con un aumento de superficie de colectores solares, en un futuro se pueda cubrir también la demanda de frío en el caso de ampliación de las instalaciones. Ha sido un factor limitante el hecho de que no existiesen máquinas más pequeñas en el mercado.

La máquina de refrigeración recomendada es una máquina YAZAKI WFC10 basada en el ciclo de absorción con Bromuro de Litio / agua, de 35 kW de potencia nominal de frío. La máquina se alimenta con agua caliente de 75 a 100°C de temperatura, y produce agua refrigerada de 8 a 12°C. Es necesario también un enfriamiento para el absorbedor y el condensador con agua a unos 25 - 30°C.

Para el enfriamiento del condensador y el absorbedor de la máquina de absorción se utilizará una torre de refrigeración, con una potencia mínima de 85 kW, o agua fría procedente de una balsa de agua cercana.

La torre funcionará cuando la temperatura de la balsa no sea suficiente para el enfriamiento de la máquina de absorción. En caso de que se pueda garantizar la disponibilidad de agua de la balsa suficiente y a una temperatura inferior a 18°C durante todo el año, se podría eliminar la torre de refrigeración.

Se dispondrá de un depósito de acumulación de agua fría de 3000 litros para cuando la máquina de absorción funcione con el objetivo de amortiguar desfases entre producción y demanda de frío. En funcionamiento de invierno cuando la máquina de absorción no funcione, se utilizará para ampliar la capacidad de acumulación de agua caliente proveniente del sistema solar. Por esto segundo es preciso que el acumulador pueda soportar 140°C de temperatura.

#### 4.1.4 Resumen de las características básicas del diseño del sistema

En la tabla siguiente se muestran las principales características técnicas del sistema de refrigeración solar en las bodegas Mas Martinet en Falset (Tarragona).



**Tabla** ¡Error!Argumento de modificador desconocido.. **Características principales del sistema de frío solar de las bodegas Mas Martinet**

superficie de colectores	62	m <sup>2</sup>
potencia frigorífica máxima	35	kW
acumulación solar	1 500	litros
acumulación frío	3 000	litros
acumulación de ACS	100	litros
potencia de la caldera de apoyo	53	kW
aporte solar		
calefacción + ACS	35	%
frío	58	%

Se prevé una inversión total del proyecto de 8,1 MPta.

#### **4.2 Red de calor y frío con apoyo solar en el forum 2004 en barcelona**

Dentro del proyecto europeo adscrito al Programa ALTENER, denominado BARCELONA RENOVABLE 2004 se pretende analizar la viabilidad y diseñar un sistema de colectores solares térmicos conectados a una red de distrito de calor y frío del área de nueva urbanización Forum 2004.

En esta zona se ubica en la zona noreste de la ciudad y está bordeada por la línea de la costa, la desembocadura del río Besós al este, el área de Diagonal Mar al oeste y el municipio de Sant Adrià de Besos al norte. En ella se va a desarrollar el Forum Universal de las Culturas en el año 2004.

Los edificios que se levantarán en la zona tendrán usos residenciales y comerciales. Existirá un centro de convenciones, hoteles y oficinas. Asimismo se prevé ubicar el

edificadas (hasta el 2004 y posteriormente) así como las demandas de calor y frío asociadas. Dentro de la demanda de calor se incluye calefacción y agua caliente sanitaria.

**Tabla** ¡Error!Argumento de modificador desconocido.. **Superficie útil y demanda térmica en los edificios del Forum 2004**

	<b>Edificación hasta el 2004</b>	<b>Edificación a partir del 2004</b>
superficie útil (m <sup>2</sup> )	272 865	151 622
Demanda calor (MWh/año)	18 241	8 042
Demanda frío (MWh/año)	18 674	7 963

El sistema energético previsto se caracterizará por una central térmica acoplada a una red de distribución que suministrará la demanda de cada edificio.

La energía provendrá del calor residual de la incineradora colindante y de 2 000 m<sup>2</sup> de colectores solares.

La producción de frío se realizará mediante máquinas de absorción centralizadas que se refrigerarán con agua del mar.

La red de distribución se diseñará a 4 tubos, es decir, produciendo calor y frío de forma centralizada y distribuyendo agua caliente y fría hasta los puntos de consumo. Se prevé acumulación térmica solar y de agua fría.

Inicialmente se valoró la posibilidad de realizar un sistema de frío descentralizado, con red de distribución únicamente de calor (2 tubos). En este caso, hubiese existido una máquina de absorción para cada edificio, refrigerada mediante agua de acuífero. En el proyecto se ha evitado la refrigeración con torres por problemas de contaminación por legionella y de impacto visual al tenerlas que ubicar en las azoteas de los edificios. Sin embargo se



analizaron los recursos de agua disponibles en los acuíferos y se concluyó que no eran suficientes.

En el marco del proyecto europeo ALTENER se realizará el diseño de este sistema a través de simulación dinámica mediante el software TRNSYS. Como a aspectos que se analizarán con detalle destacan los siguientes:

- Acoplamiento de distintas máquinas de absorción de simple efecto, absorción de doble efecto y adsorción.
- Acoplamiento del sistema solar para producción de calor y de frío.
- Estudio de viabilidad de un campo solar adicional y descentralizado para un sistema de dessicant cooling, apoyado por calor procedente de la red.

#### **4.3 sistema de trigeneración con aporte solar en malterías**

En el marco del proyecto POSHIP se estudió la viabilidad de un sistema solar de apoyo al sistema de suministro de calor y frío en una maltería en la provincia de Lleida (Cataluña). Los procesos principales consumidores de calor en una maltería son los siguientes:

- calentamiento de aire a temperaturas de aprox. 60°C para el secado de la malta (aprox. 80% del consumo de calor).
- enfriamiento de aire a una temperatura de 15°C para los procesos de germinación (aprox. 20% del consumo de calor equivalente (para producción de frío con máquinas de absorción de simple efecto).

El sistema existente en la fábrica estudia se caracterizó por lo siguiente:

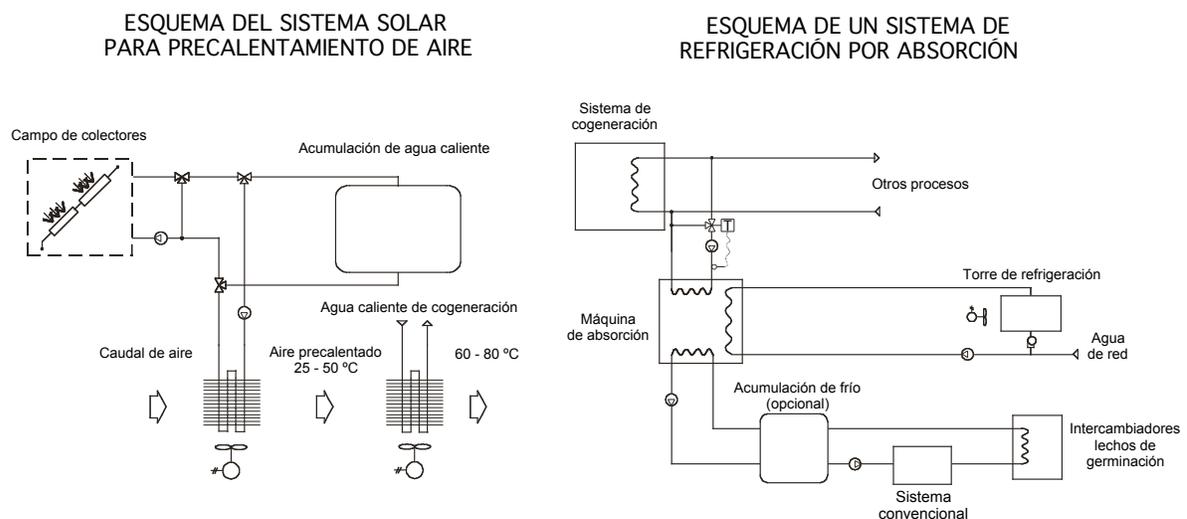
- a) unos motores de cogeneración cubren la demanda de calor para el secado, produciéndose un exceso de calor a una temperatura de 97°C.

Vista esta situación existen dos posibilidades para la aplicación de la energía solar:

La solución “convencional”: Un sistema de frío solar con colectores solares de temperatura media, sustituyendo parte del consumo eléctrico. La rentabilidad de este sistema era escasa, puesto que la demanda de frío solo existe durante 6 meses del año y la producción de calor a temperaturas medias en el clima leridano es reducida.

La solución “integrada”: En lugar de producir calor a media temperatura en un sistema solar, se decidió diseñar un sistema solar para muy baja temperatura (un precalentamiento de aire elevando la temperatura muy poco por encima de la temperatura ambiente. De esta forma se aumenta el exceso de calor procedente del sistema de cogeneración en verano. El nivel de temperatura del calor residual de los motores de cogeneración es ideal para su uso en una máquina de absorción de simple efecto (trigeneración).

El esquema siguiente muestra el proceso propuesto en la Moravia



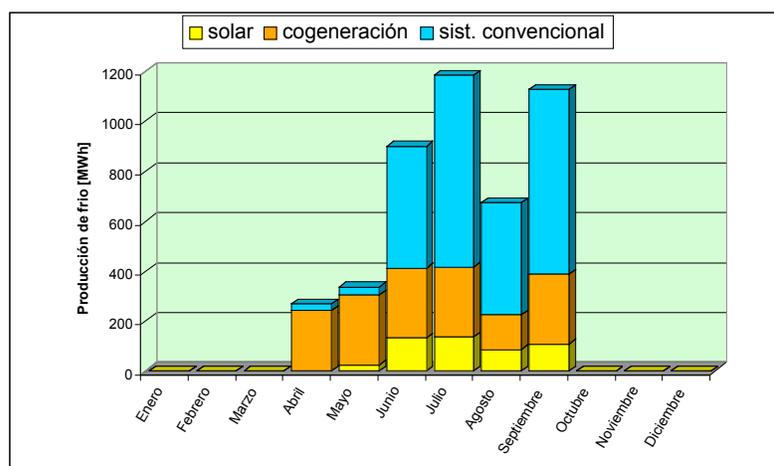
**Figura ¡Error!Argumento de modificador desconocido.. Esquema de la “solución integrada” de sistema solar y de cogeneración con máquina de absorción**

En este caso por lo tanto no se trata de un sistema de frío solar, sino de un sistema de suministro de calor y frío integrado con aporte de energía solar. El campo solar cumple la función de adaptar la curva de la disponibilidad de calor (constante para cogeneración, máximo en verano para la parte solar) a la curva de la demanda, con su máximo en verano por la demanda de refrigeración.

Como características técnicas destaca el hecho de que se obtiene una producción de frío del sistema de absorción de 1989 MWh de frío correspondiendo a un ahorro energético (de electricidad) de 884 MWh<sub>e</sub>, con una demanda restante del sistema convencional de generación de frío de 1111 MWh<sub>e</sub>.

Al ahorro de electricidad se suma el ahorro del consumo de gas natural de la caldera de aproximadamente 1400 MWh de energía final (rendimiento de conversión 85%).

La producción de frío correspondiente al aporte de calor adicional del sistema solar es de 486 MWh de frío, correspondiente a una producción de calor equivalente de 695 MWh o 463 kWh/m<sup>2</sup>.



**Figura** ¡Error!Argumento de modificador desconocido.. **Distribución de la producción de frío en la Moravia**

**Tabla ¡Error!Argumento de modificador desconocido.. Características técnicas e inversión del proyecto la Moravia**

Table with 1 column and 1 row, containing a vertical line.

























## 5 CONCLUSIONES

Como conclusiones del conjunto de trabajos realizados en el campo de la refrigeración solar se puede destacar:

- El ahorro de energía primaria en los sistemas de frío solar por absorción depende de una elevada cobertura solar o bien de la disponibilidad de calor residual. Si se considera el equivalente de electricidad en energía primaria y los rendimientos habituales de máquinas enfriadoras de compresión y absorción se tienen los siguientes resultados:
  - una máquina de compresión tiene una eficiencia 5 veces superior a una máquina de absorción de simple efecto;
  - el consumo de energía primaria de una máquina de absorción de simple efecto alimentada por agua caliente puede ser 1.5 veces superior al consumo de energía primaria en una máquina de compresión. Si se trata de una máquina de doble efecto la relación es del orden de la unidad.
- Los sistemas de frío solar pueden ser económicamente viables a partir de cierto tamaño (varios centenares de kW) porque es entonces cuando el coste relativo de la máquina de absorción es pequeño.

## **6 AGRADECIMIENTOS**

Se agradece la colaboración de los otros colaboradores implicados en el desarrollo de los proyectos POSHIP – “*The Potential of Solar Heat in Industrial Processes*” y BARCELONA RENOVBABLE 2004. Parte de los trabajos relacionados ha sido financiado por la Comisión Europea, DG TREN, Proyecto No. NNE5-1999-0308 (POSHIP) y Proyecto ALTENER No. 4.1030/Z/00-293/2000 (BARCELONA RENOVBABLE 2004) .

## **BIBLIOGRAFÍA**

### **1. *The Potential of Solar Heat in Industrial Processes. A State of the Art Review for Spain and Portugal***

(Hans Schweiger, João Farinha Mendes, Nikolaus Benz, Klaus Hennecke, Germán Prieto, Mercè Cusi, Helder Gonçalves). Presentado en EuroSun 2000 Congress, Copenhagen, June 2000.

### **2. *Información contenida en el Technical Report of POSHIP***

### **3. información contenida en el technical report of poship.**

**(a ser publicado en setiembre 2001).**