

ANEJO XX: CUBIERTA SOLAR- FRÍO POR ABSORCIÓN

ÍNDICE:

	Página
1.- INTRODUCCIÓN	3
2.- GENERALIDADES SOBRE EL FRÍO SOLAR POR ABSORCIÓN	4
2.1.- MÁQUINAS DE SIMPLE EFECTO	4
2.2.- MÁQUINAS DE DOBLE EFECTO	5
2.3.- MÁQUINAS DE PRODUCCIÓN DE FRÍO POR ABSORCIÓN	8
2.4.- TIPO DE CAPTADORES ADECUADOS PARA EL ACOPLAMIENTO CON MÁQUINA DE ABSORCIÓN	9
2.5.- COMPARATIVA DE DIFERENTES TIPOS DE CAPTADORES	11
3.- DIMENSIONADO DEL EQUIPO DE ABSORCIÓN	12
3.1.- DATOS DE PARTIDA	
3.2.- DISEÑO DEL SISTEMA SOLAR	15
3.3.- DISEÑO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN CON MÁQUINA DE ABSORCIÓN	16
4.- BIBLIOGRAFÍA	18

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, amoníaco 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.

En la tabla 1 se muestran ventajas e inconvenientes de los sistemas de refrigeración por absorción.

Tabla 1: Ventajas e inconvenientes de los sistemas de refrigeración por absorción

Ventajas	Inconvenientes
Coincidencia de máxima producción solar con máxima demanda	
Independencia del suministro eléctrico	
Consumo de energía eléctrica mínimo	Necesidad de una caldera de apoyo y seguridad
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 ₂ y otros contaminantes	
Sistema único para producir calefacción y refrigeración	

Fuente: Hans Schweiger y Laura Sisó. Aiguasol

2.- GENERALIDADES SOBRE EL FRÍO SOLAR POR ABSORCIÓN

La alternativa más ecológica a la hora de climatizar un edificio es el empleo de fuentes de energía renovables o el aprovechamiento de excedentes de energía de otros procesos. Para este tipo de aplicaciones se emplean las máquinas de absorción. Estas máquinas se diferencian de las máquinas de climatización por compresión de vapor convencionales en que la fuente exterior de energía necesaria para su funcionamiento es de origen térmico y no eléctrico.

En particular una excelente fuente de energía es la energía solar térmica, en muchas instalaciones se emplea únicamente para la generación de agua caliente sanitaria, presentando importantes excedentes que en muchos casos se disipan directamente al ambiente exterior, especialmente en los meses de verano en los que la demanda de refrigeración es más elevada.

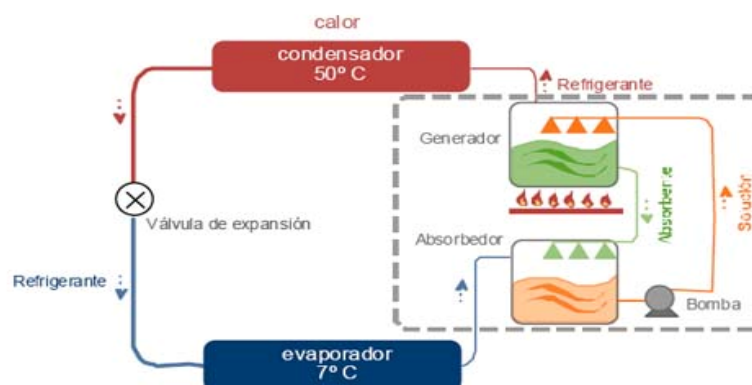
Entre los distintos tipos de máquina de absorción destacan:

- Máquinas de efecto simple amoníaco/agua.
- Máquinas de doble efecto agua/bromuro de litio.

2.1.- Máquinas de simple efecto

Explicaremos en primer lugar el modo de funcionamiento de las máquinas de efecto simple a partir de cada uno de los elementos que la constituyen y que se muestran en el siguiente esquema de la figura 1:

Figura 1. Máquina de absorción de efecto simple.



Fuente: P. Montes

Generador: contiene una solución de amoníaco disuelto en agua a elevada presión (unos 20 bar). Por efecto de la energía térmica exterior aportada al sistema el amoníaco disuelto se vaporiza, separándose del agua. Este vapor generado se dirige hacia el condensador.

Condensador: en este intercambiador el amoníaco se condensa cediendo calor a otro fluido, que puede ser agua o aire.

Válvula de expansión: el amoníaco en estado líquido a presión elevada se expande bajando bruscamente su presión, de manera que pasa a estado bifásico (líquido + vapor).

Evaporador: el amoníaco se evapora absorbiendo energía del circuito de utilización, generalmente agua que alimenta a un conjunto de fan coil que se encargan de climatizar las diferentes estancias.

Absorbedor: el vapor a baja presión pasa a éste disolviéndose de nuevo en el agua procedente del generador.

Bomba: se encarga de circular la mezcla de amoníaco disuelto en agua hacia el generador.

Estas máquinas presentan un COP entre 0.6 y 0.8, requieren de un fluido térmico a una temperatura entre 70-90 °C.

Esta tecnología ofrece una excelente oportunidad para una climatización ecológica aprovechando de la mejor manera la energía solar que tan accesible tenemos en los países mediterráneos

2.2.- Máquinas de doble efecto

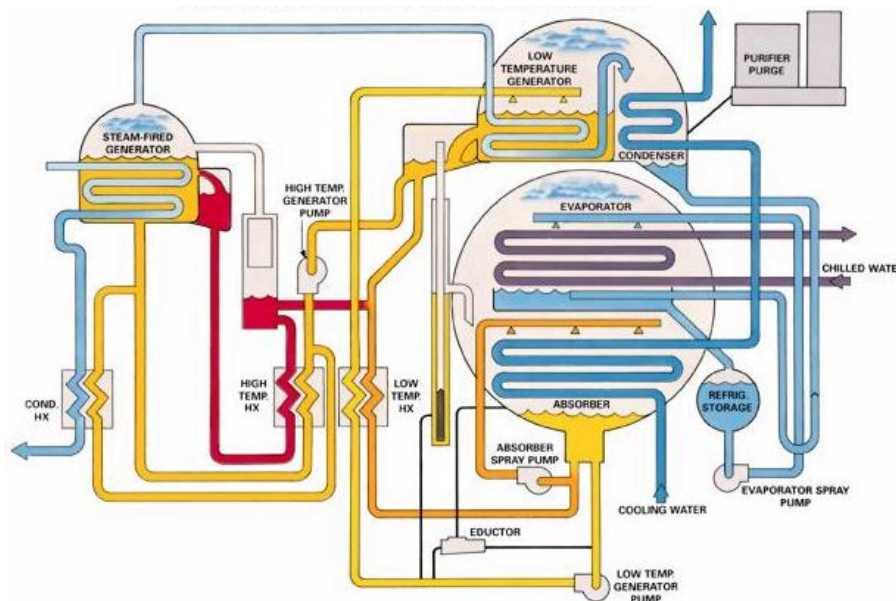
En cuanto a las máquinas de doble efecto su funcionamiento es similar con la salvedad de que el fluido refrigerante en este caso es el agua y el absorbente es una sal (bromuro de litio).

Presenta los mismos elementos que una máquina de simple efecto añadiendo un generador de baja temperatura.

La generación de fluido refrigerante (agua) y la regeneración del absorbente se realiza en 2 etapas distintas, de ahí la denominación de doble efecto.

El siguiente esquema, figura 2, ilustra su funcionamiento:

Figura 2: Máquina de absorción de doble efecto.



Fuente: P. Montes.

La solución concentrada de LiBr es aspirada desde el absorbedor y transportada hacia el generador de baja temperatura. Una vez allí hierve gracias al calor transferido por el refrigerante (vapor de agua) producido por el generador de alta temperatura, liberando vapor de agua y produciendo una solución de LiBr aún más concentrada, parte de la cual es aspirada por una bomba y transportada hasta el generador de alta temperatura y la otra parte vuelve de nuevo al absorbedor pasando antes por un recuperador de baja temperatura donde es enfriada.

En el generador de alta temperatura esta solución concentrada hierve por el efecto de la fuente de calor externa, generando refrigerante a alta temperatura. Como hemos indicado anteriormente este vapor a alta temperatura pierde calor en el generador de baja temperatura, produciéndose una condensación parcial del mismo. Por tanto el generador de baja temperatura actúa también como condensador.

El vapor generado en el generador de baja temperatura fluye hacia el condensador donde cede calor latente al circuito agua de refrigeración cambiando de estado (de vapor a líquido).

El refrigerante producido en los dos generadores, ya en estado líquido, es rociado

mediante unos sprays sobre un intercambiador de tubos, por el interior de los cuales circula agua que es enfriada en este proceso. El agua rociada se evapora en este intercambio de calor, pasando de nuevo al absorbedor donde se encuentra con parte de la solución saturada procedente de los generadores siendo absorbido por ésta.

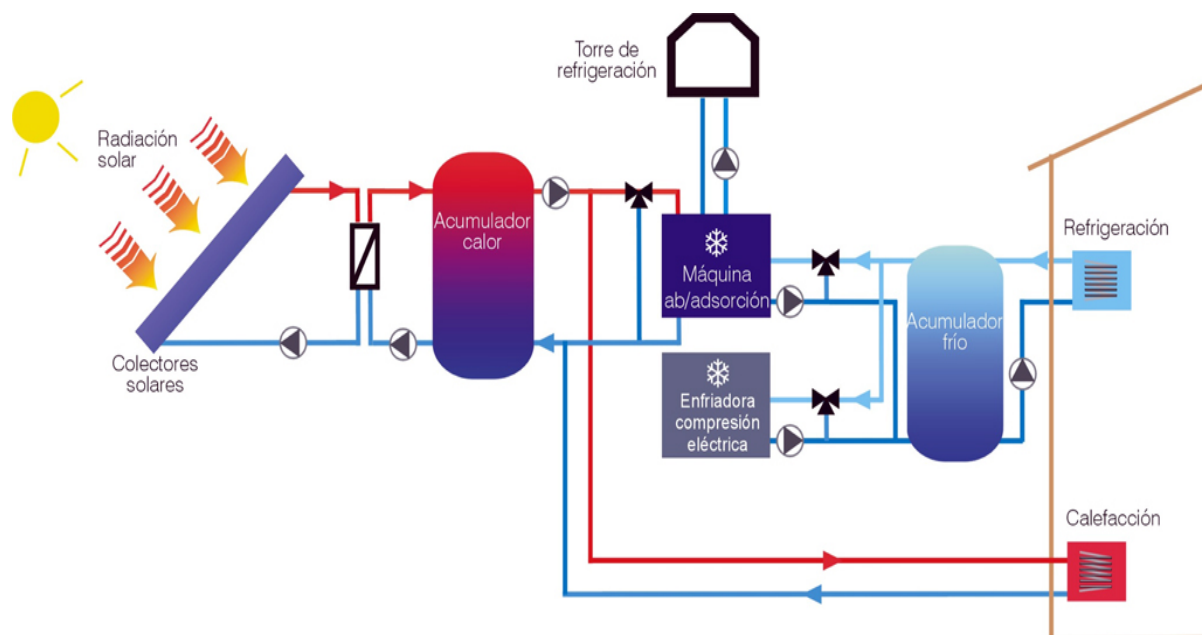
Este proceso un tanto complejo consigue aumentar el COP de la máquina hasta 1 - 1.2. Estas máquinas requieren de un fluido térmico a una temperatura superior a 150 °C. En caso de emplear energía solar térmica se requiere el empleo de captadores parabólicos orientables, por eso no es la tecnología empleada en nuestra instalación.

Un sistema de producción de climatización solar por absorción puede dividirse en dos sistemas:

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

En el figura 3 vemos un esquema de climatización con máquina de absorción apoyado con energía solar

Figura 3: Esquema de sistema de climatización con máquina de absorción apoyado con energía solar



Fuente: Hans Schweiger y Laura Sisó. Aiguasol

2.3.- 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 2: 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 ₂ O
Refrigerante	H ₂ O	NH ₃

Fuente: Hans Schweiger y Laura Sisó. Aiguasol

Tabla 3: 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°)	X	
Agua sobrecalentada (140°)		X
Vapor (170°)		X

Fuente: Hans Schweiger y Laura Sisó. Aiguasol

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.

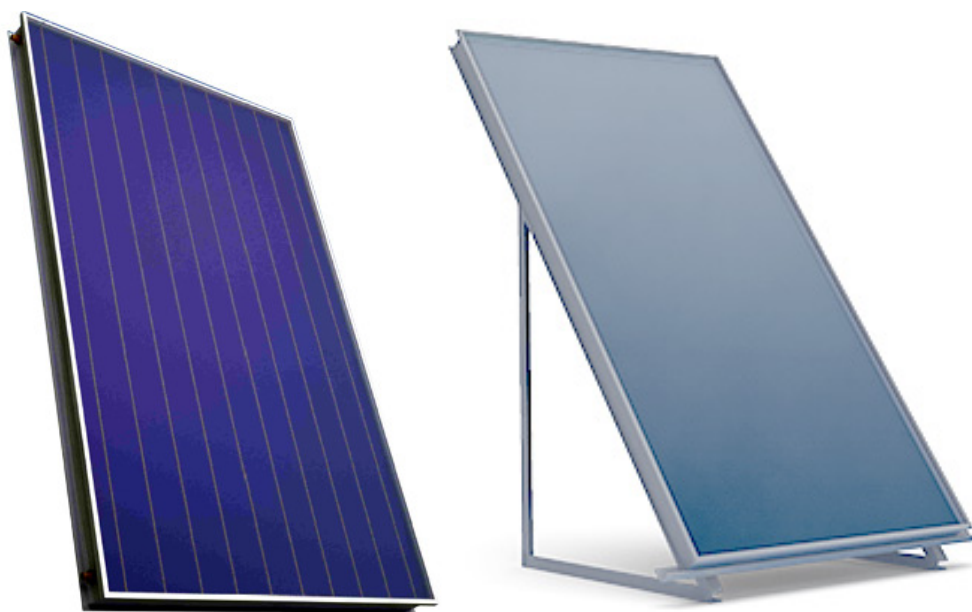
2.4.-Tipo de captadores adecuados para el acoplamiento con máquina de absorción

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 captadores de tubo de vacío o captadores parabólicos con seguimiento solar. En el caso de máquinas de simple efecto se consigue un buen funcionamiento del sistema con captadores planos selectivos.

Los captadores estáticos, sin seguimiento solar, más avanzados pueden clasificarse en los grupos siguientes:

- Captadores planos selectivos, figura 4.

Figura 4: Captadores planos selectivos de diferentes fabricantes



Fuente: Agencia Andaluza de la Energía

- Captadores tipo CPC (concentrador parabólico compuesto), figura 5.

Figura 5: Captadores Cilíndrico parabólico



Fuente: Agencia Andaluza de la Energía

- Captadores planos evacuados, figura 6.
 - de vacío
 - conteniendo un gas inerte

Figura 6: Captadores de tubo de vacío



Fuente: Agencia Andaluza de la Energía

- Captadores con barreras de convección
 - aislamiento transparente en panel de abeja ("honeycomb")
 - aislamiento de plástico adicional

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

En la tabla 5, se muestran los tipos de captadores más adecuados para cada tipo de máquina de absorción.

Tabla 5: Tipo de captadores solares adecuados a los distintos tipos de máquina de absorción

Tipo	Simple efecto	Doble efecto
COP	0,6-0,7	1-1,2
Temperatura de agua solar	80-90°C	130°-140°
Tipo de captador óptimo	Plano convencional Plano selectivo CPC	Tubos de vacío Captador cilindro parabólico

Fuente: Hans Schweiger y Laura Sisó. Aiguasol

2.5.- Comparativa de diferentes tipos de captadores

Con el fin de valorar el rendimiento de diferentes tecnologías de captadores se ha realizado una simulación dinámica basada en el software TRNSYS para diferentes tipos de captadores.

Los tipos de captadores solares considerados son:

- CPC: captadores con concentrador parabólico compuesto – CPC (SOLEL CPC 2000)
- FPC: captador solar plano selectivo (Solaris CP1)
- ETC: captador de tubo de vacío

Los parámetros de rendimiento para estos tres captadores están resumidos en la tabla 6 adjunta, según las ecuaciones de rendimiento siguientes:

$$h = c'0 - (c1 + c2 DT) DT/GT$$

$$c'0 = c0 (1 - K/\cos q)$$

Tabla 6: Rendimiento para estos tres modelos de captadores

Tipo	C ₀	C ₁	C ₂
	-	W/m ² K	10 ⁻³ W/m ² K ²
CPC	0,828	2,5	10
FPC	0,799	3,4	9,8
ETC	0,85	1,07	5,0

Fuente: Hans Schweiger y Laura Sisó. Aiguasol

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

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

Tabla 7: Comparación de costes

Tipo	Superficie absorberdor	Coste Unitario (€/m ²)	Sobrecoste (€)
CPC	60	200	-
FPC	100	150	4000
ETC	40	500	6000

Fuente: Hans Schweiger y Laura Sisó. Aiguasol

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

El coste de estos captadores, es ligeramente mayor al de los captadores planos convencionales e inferior al coste de los captadores planos selectivos o de vacío, por lo que optamos por instalar en nuestra cubierta captadores planos convencionales con rendimientos aceptables pero sin que sean tubos de vacío, por lo cual el modelo SOLARIS CP1 se adaptada perfectamente a estas características.

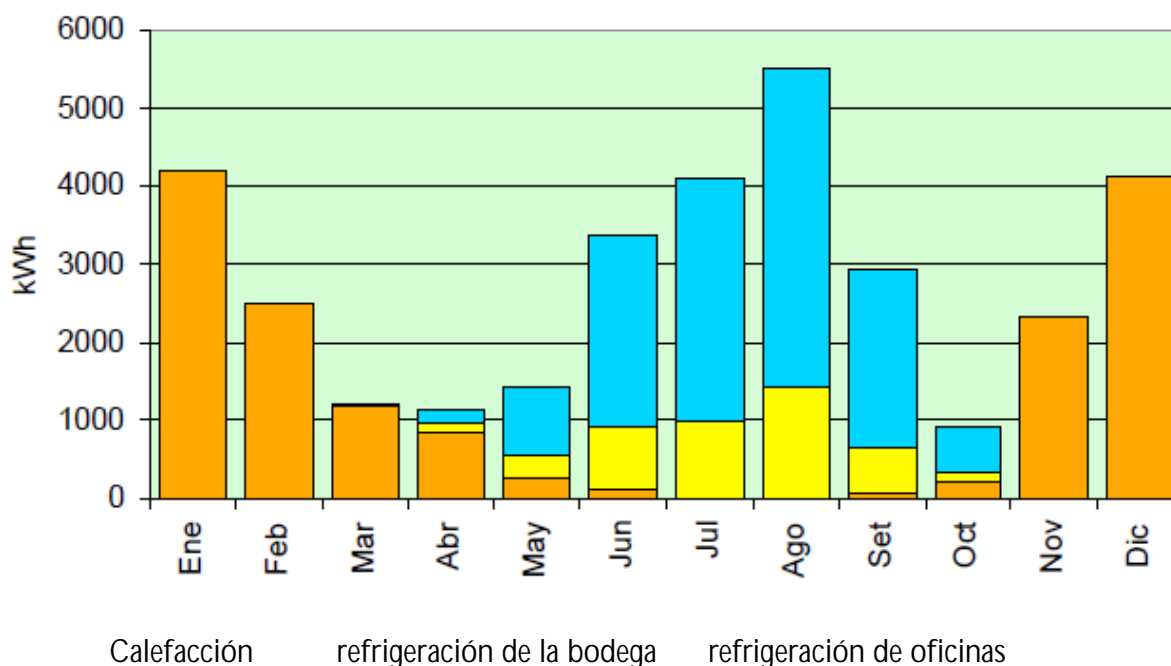
3.- DIMENSIONADO DEL EQUIPO DE ABSORCIÓN

3.1.- Datos de partida

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, aseos, duchas del complejo y calefacción en la bodega.

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 Alhama de Almería y las características interiores del edificio (características de los cerramientos, cargas internas, infiltraciones, etc.). Figura 7.

Figura 7: Demanda de refrigeración y calefacción en la bodega según cálculos TRNSYS



Fuente: Elaboración propia

La demanda de agua caliente sanitaria se justifica en el anejo XIX según fija el CTE en el Documento Básico HE4

3.2.- Diseño del sistema solar

Para la predicción del aporte energético del sistema solar se efectuó una simulación dinámica del conjunto del sistema, sobre la base de la distribución anual y diaria de la demanda de refrigeración y calefacción resultado de los cálculos descritos anteriormente, mediante el software TRNSYS.

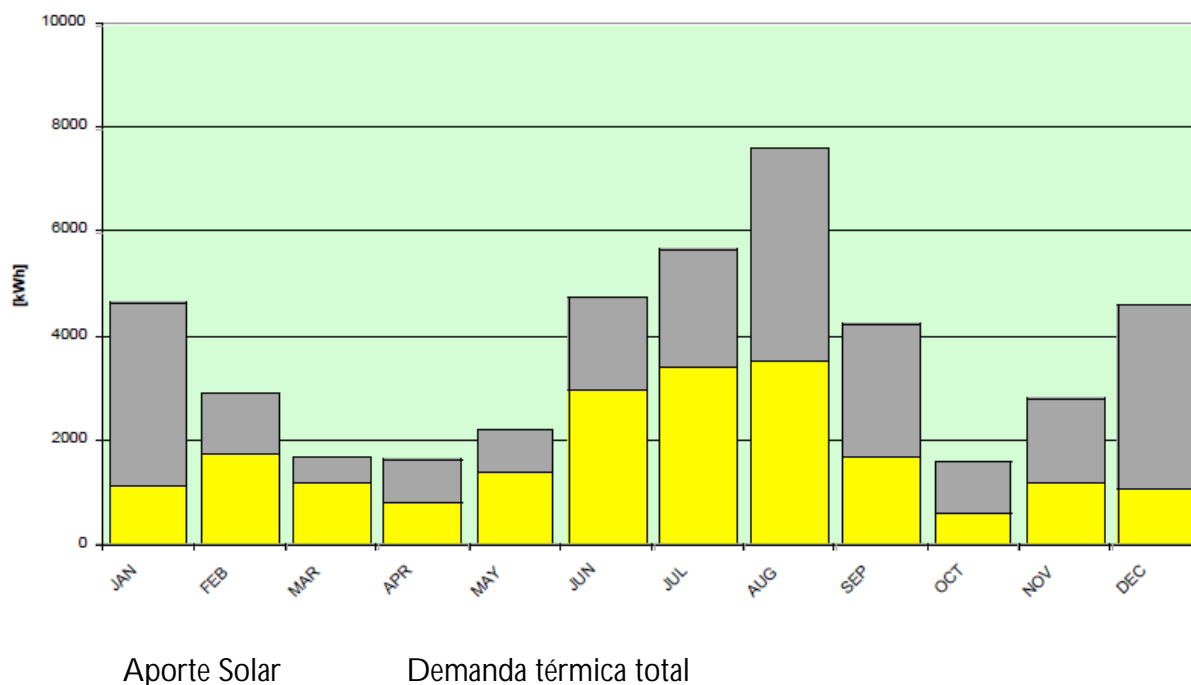
Los captadores solares recomendados son captadores solares planos. Se recomienda una inclinación de los captadores de 45° con orientación al sur. La superficie útil total de captación será de 48.48 m².

El depósito de acumulación solar es un depósito de 200 litros, junto con el de 3000 litros de acumulación de frío durante el invierno. Es preciso que soporte temperaturas máximas de trabajo de 140°C. Se acoplará al campo de captadores 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 figura 8 se representa gráficamente la demanda térmica total y el aporte solar.

Figura 8: Demanda térmica total y el aporte solar



Fuente: Elaboración propia

3.3.- 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 una solución de amoníaco / agua, de 35 kW de potencia nominal de frío. La máquina se alimenta con agua caliente de 75 a 90°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.

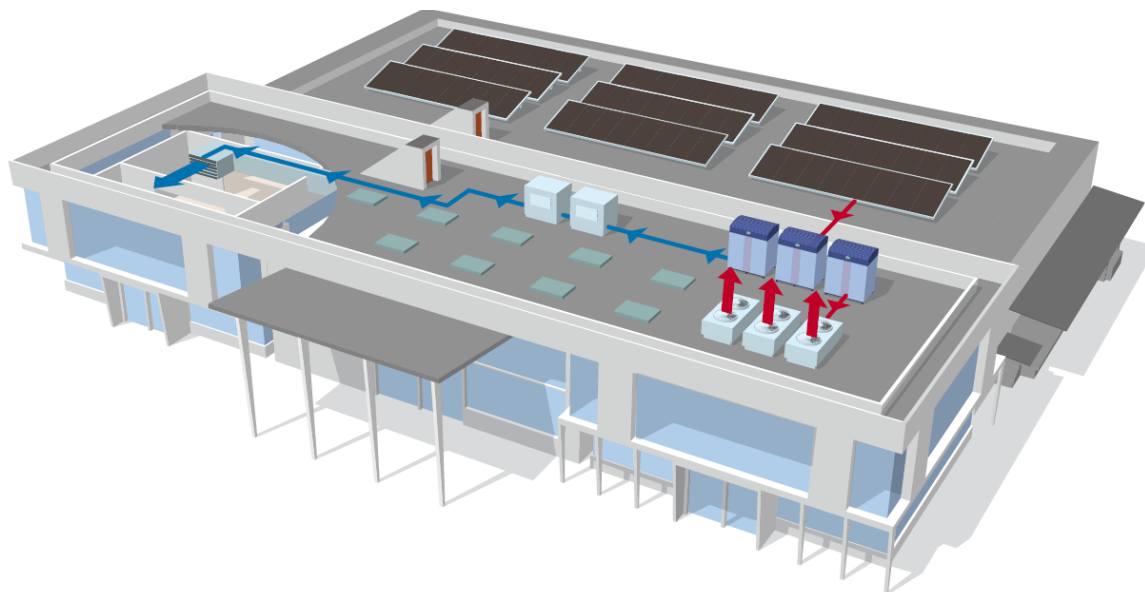
Resumen de las características del equipo de absorción elegido para la instalación:

- 24 captadores Solaris CP1 con estructuras de montaje en aluminio a 45° de inclinación, equivale a una superficie de captación de 48,48m².
- Torre de refrigeración 85kW de potencia mínima.

- Máquina de absorción basada en el ciclo de absorción una solución de amoníaco / agua, de 35 kW de potencia nominal de frío.
- 1 acumulador inerciales VS 3500 Solaris
- Intercambiador exterior de placas
- Grupo de estratificación inercial
- Vaso de expansión
- Anticongelante
- Regulación para 3 circuitos
- Set de bombas para el circuito de agua de refrigeración

En la figura 9 representación esquemática y sencilla de la instalación en cubierta de los captadores solares y del resto de componentes del equipo de absorción

Figura 9: Esquema "tipo" de la instalación de una máquina de absorción



Fuente: Catálogo ClimateWell

Esta instalación incluida en este proyecto es una realidad en algunos edificios españoles como el caso de la Agencia de la Salud Pública en Barcelona, figura 10.

Figura 10: Agencia de la Salud Pública en Barcelona



Fuente: Mireia Salvia

4.- BIBLIOGRAFÍA

Código Técnico de la Edificación (CTE). (2006). Documento Básico Ahorro de Energía. Secretaría de Estado de Viviendas y Actuaciones Urbanas. Ministerio de Fomento. Madrid. España.

HANS SCHWEIGER, et al. (2000). The Potential of Solar Heat in Industrial Processes. A State of the Art Review for Spain and Portugal. Presentado en EuroSun 2000 Congress, Copenhagen.