

Energía de la  
Biomasa

**Biomasa**

**Climatización**



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE INDUSTRIA, TURISMO  
Y COMERCIO



Instituto para la  
Diversificación y  
Ahorro de la Energía



*Energía de la*  
**Biomasa**

# Biomasa

# Climatización

## **TÍTULO**

“Biomasa: Climatización”

## **DIRECCIÓN TÉCNICA**

IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía)

## **ELABORACIÓN TÉCNICA**

ESCAN, S.A.

.....  
Esta publicación ha sido producida por el IDAE y está incluida en su fondo editorial.

Cualquier reproducción, parcial o total, de la presente publicación debe contar con la aprobación por escrito del IDAE.

Depósito Legal: M-27145-2008

ISBN: 978-84-96680-30-2  
.....

## **IDAE**

**Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía**

**c/ Madera, 8**

**E - 28004 - Madrid**

**comunicacion@idae.es**

**www.idae.es**

Madrid, mayo 2008

<b>Introducción</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Sistemas y equipos</b> .....	<b>7</b>
1.1 Ciclo de compresión mecánica .....	8
1.2 Ciclo de absorción .....	10
1.3 Comparación de ambos sistemas .....	13
1.4 Ciclo orgánico de Rankine .....	16
<b>2 Principales parámetros</b> .....	<b>19</b>
2.1 Potencias y consumos .....	19
2.2 Inversiones y costes de mantenimiento .....	23
<b>3 Ejemplos de instalaciones</b> .....	<b>25</b>
3.1 Parque Científico-Tecnológico del Aceite y del Olivar (Geolit) ..	25
3.2 Cabina de energía .....	31
3.3 ETSI Agrónomos de Madrid .....	33
3.4 Planta central de biomasa en Vorarlberg (Austria) .....	35
3.5 Climatización en la Fundació Maresme de Mataró (Barcelona) .....	37
<b>4 Bibliografía y referencias</b> .....	<b>39</b>





## INTRODUCCIÓN

Este documento tiene como principal objetivo presentar diversos sistemas utilizados para dar un servicio de climatización, es decir, calor para calefacción en invierno y agua caliente sanitaria todo el año, y producción de frío generalmente en verano, no solo en el sector industrial sino también en los sectores residencial y terciario.

La demanda eléctrica creciente debida al incremento de máquinas de aire acondicionado de compresión mecánica y su concentración en ciertas franjas horarias, ha planteado ya problemas de capacidad y regulación en el sistema eléctrico. La introducción de sistemas que utilicen energías renovables y se basen en el consumo de energía térmica en lugar de energía eléctrica para su funcionamiento, como es el caso del método de absorción, aparece como una interesante alternativa que puede ofrecer muchas ventajas desde los puntos de vista de eficiencia energética y medioambiental.

En esta publicación se hace referencia fundamentalmente a climatización en edificios. No obstante, muchas de las consideraciones que se recogen pueden tener aplicación en otros ámbitos de mayor demanda de frío como pueden ser granjas, industrias... En algunos casos y zonas, una deficiencia en la electrificación puede justificar la utilización de estos sistemas.





---

# 1 Sistemas y equipos

El acondicionamiento de aire y las técnicas de climatización permiten establecer las condiciones ambientales óptimas en los edificios, ya sea mediante la regulación automática de la temperatura y su grado de humedad, como también de su renovación y purificación a través del intercambio con la atmósfera exterior.

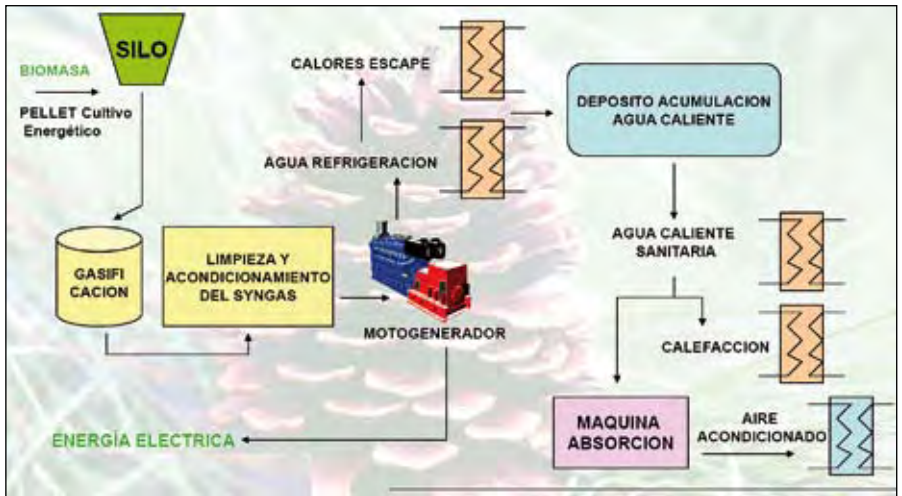
Existen tres factores que actúan sobre las condiciones ambientales de un edificio y sobre las cuales se basa el diseño de un sistema de climatización:

- El clima. La temperatura de radiación y la temperatura ambiental.
- El aire. Su temperatura, velocidad y humedad.
- El factor humano. El nivel de actividad y la vestimenta.

Además de estos factores, los edificios, en función de sus características, materiales constructivos, sus usos, el entorno, etc. van generando en su interior cargas térmicas que deberán ser compensadas por el sistema de climatización para mantener las condiciones de confort térmico.

Las máquinas de absorción pueden ser una alternativa interesante para algunos casos, ya que producen frío a partir de energía térmica y tienen poco consumo eléctrico. Esta energía térmica puede provenir de diferentes fuentes, una de las que está cobrando más fuerza es la biomasa.

Uno de los sistemas que se utilizan en las modernas centrales térmicas para la generación de electricidad con biomasa consiste en transformar la biomasa en un gas que sería el combustible (proceso que se denomina gasificación). Con este combustible se alimenta el motogenerador que produce electricidad y los gases de escape y el agua de refrigeración del motor se aprovechan mediante intercambiadores de calor para producir agua caliente sanitaria, calefacción o producción de frío mediante máquinas de absorción.



*Esquema básico de una central de trigeneración.*

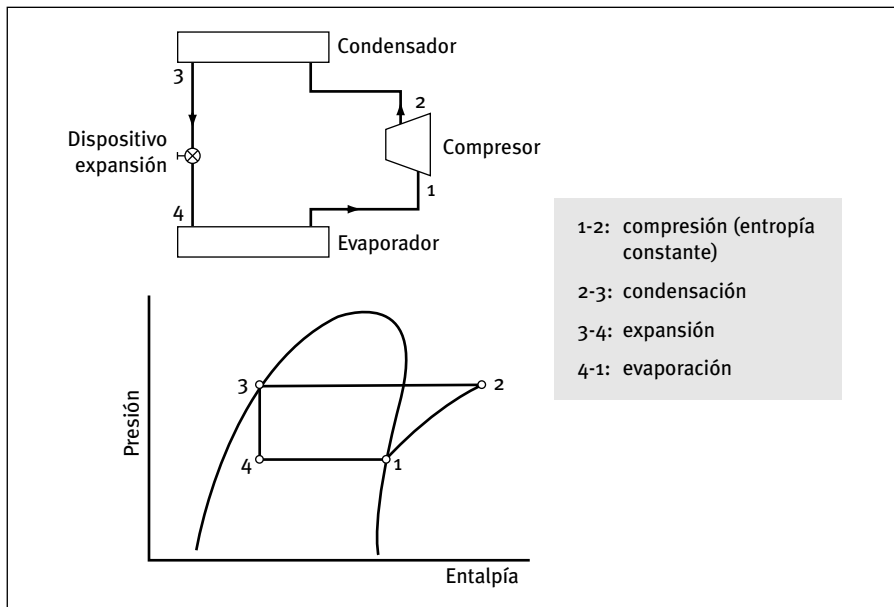
## 1.1 CICLO DE COMPRESIÓN MECÁNICA

Los equipos más empleados en la producción de frío para climatización son los compresores mecánicos. Están instalados en oficinas, hoteles, viviendas, etc.; tienen sin embargo el inconveniente importante de que su consumo de energía eléctrica es elevado.

En los últimos años la venta de este tipo de aparatos ha aumentado considerablemente y ha llevado a unas demandas eléctricas que han batido todas las previsiones.

Para el funcionamiento de un ciclo de compresión de vapor se precisan esencialmente cuatro elementos: compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador.

El compresor comprime un refrigerante que está en forma de vapor saturado a baja temperatura y presión, llevándolo a un estado de mayor presión y entalpía, a expensas de un trabajo externo suministrado al compresor por un elemento motriz, que generalmente es un motor eléctrico. Este vapor se condensa en el condensador hasta el estado de líquido saturado a presión. En una válvula de expansión pasa al estado de vapor húmedo a baja presión y experimenta un enfriamiento que se aprovecha como foco frío. Posteriormente pasa a un evaporador donde toma calor del ambiente (es decir, enfría el ambiente) para evaporarse hasta llegar a vapor saturado. Entonces reinicia nuevamente el ciclo.



### *Ciclo de compresión mecánica.*

Las ventajas de las máquinas de compresión mecánica son:

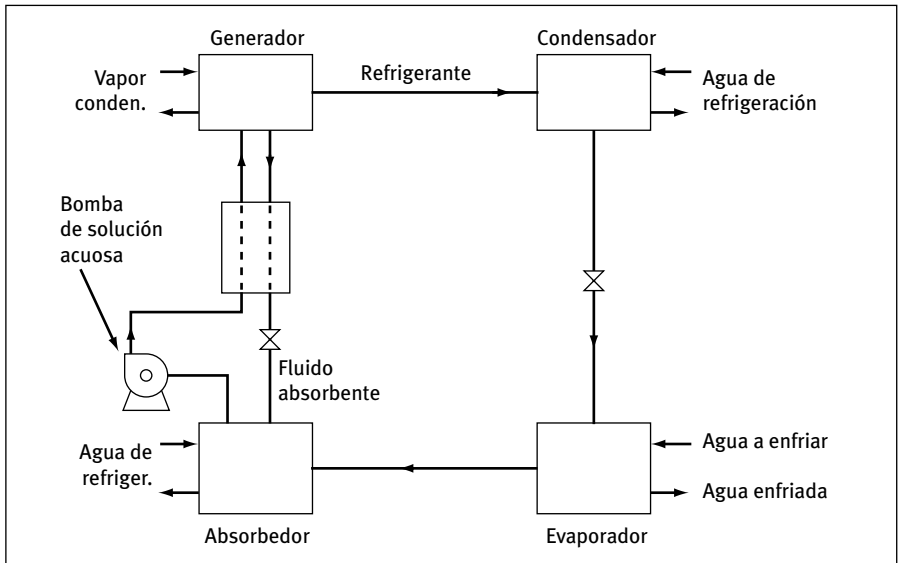
- Altos rendimientos.
- Tecnología instaurada.
- Muy buena implantación en el mercado.
- Aparatos autónomos compactos.
- Producen frío y calor.
- Inversión baja en referencia a otros sistemas.
- Amplia gama de potencias.

## 1.2 CICLO DE ABSORCIÓN

Una alternativa a este tipo de máquinas, basadas en un proceso más antiguo pero en pleno desarrollo, son las máquinas de absorción. El proceso de absorción está volviendo a resurgir debido al creciente interés por la trigeneración, la eficiencia energética y la utilización de energías renovables.

El funcionamiento de una máquina de absorción es similar al de una máquina de compresión mecánica, con la principal diferencia de que el compresor mecánico se sustituye por un “compresor químico”. El compresor de vapor se sustituye por un absorbedor más un generador, disminuyendo así considerablemente el consumo eléctrico, que es el principal inconveniente que tienen los compresores mecánicos.

El sistema de absorción está constituido por elementos que siguen un ciclo termodinámico alimentado térmicamente, de modo que se emplean dos fluidos: un refrigerante y un absorbente. Para climatización (frío a alta temperatura) los dos fluidos que se utilizan son el bromuro de litio y el agua, éste último como refrigerante.



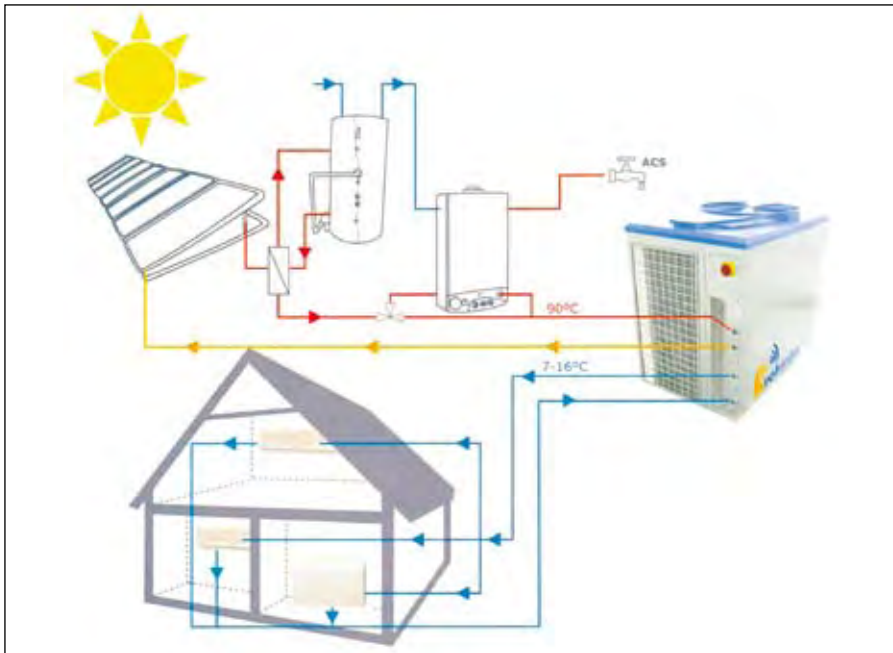
*Esquema del ciclo de absorción de simple efecto.*

En el generador se aumenta la temperatura de la mezcla bromuro de litio-agua de manera que la solución pobre en agua pasa, por diferencia de presión, al absorbedor. Cuando el vapor de agua se disuelve en el absorbedor se desprende calor latente de condensación. La solución diluida se bombea desde la presión

baja de vacío hasta la presión alta en el generador mediante una bomba. La solución diluida se calienta y el agua se evapora abandonando la solución. El vapor de agua se transporta al condensador donde se enfría, se licua y se expande a través de una válvula de expansión, al evaporador. En el evaporador, donde se disminuye la temperatura del agua que se desea enfriar, el refrigerante vuelve a cambiar de estado a vapor y pasa al absorbedor donde vuelve a pasar a mezcla, al juntarse con el bromuro de litio del absorbedor.

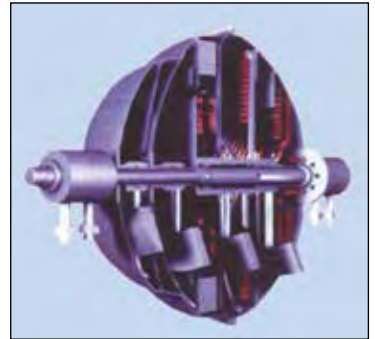
De manera habitual se introduce un intercambiador de calor entre la solución rica y la diluida que permite aumentar el COP (relación entre calor aportado y calor/frío cedido) del proceso.

Dentro de las máquinas de absorción existe una amplia gama de potencias. Hay máquinas de absorción para cubrir las pequeñas demandas de viviendas independientes, viviendas adosadas o locales. Las máquinas de esta gama de potencia son compactas y no precisan torre de enfriamiento ya que pueden extraer la energía del absorbedor y del condensador por disipación seca mediante la incorporación de un ventilador.



*Esquema básico de una instalación de máquina de absorción para una vivienda con energía solar y apoyo con caldera de biomasa.*

Rotártica, empresa española con sede en Basauri, lleva varios años en la investigación, el desarrollo y la fabricación de máquinas de absorción. Ha puesto en el mercado una novedosa y eficaz tecnología: máquinas de absorción intensificadas de rotación. Esta tecnología está basada en un ciclo de absorción que tiene lugar en una cámara rotativa, estanca y sellada al vacío. Esta cámara es la unidad generadora y está formada por absorbedor, generador, condensador y evaporador. Todos ellos giran solidariamente a unas 400 rpm para optimizar los procesos de transferencia de masas y de calor, con lo que el peso y el tamaño de la unidad se reduce considerablemente. De este modo, el rendimiento del sistema se incrementa y se elimina la necesidad de la torre de refrigeración. Éste es un avance importante ya que las torres de refrigeración requieren de un espacio amplio y tienen un mantenimiento costoso. De esta manera se fabrican máquinas autónomas y accesibles para viviendas unifamiliares o locales de medio tamaño que anteriormente sólo podrían disponer de un sistema autónomo por compresión mecánica.



Cámara rotativa estanca formada por absorbedor, generador, condensador y evaporador.

Por otro lado, existen máquinas de absorción capaces de cubrir la demanda de frío de hoteles, centros comerciales o incluso varios edificios de viviendas y oficinas mediante una distribución “*district cooling*”, como la del Parque Científico-Tecnológico del Aceite y del Olivar en Mengíbar (Jaén). Estas máquinas necesitan una instalación de mayor tamaño, incluso pueden llegar a potencias de algunos megavatios.

Las ventajas de las máquinas de absorción son:

- Utilización de energía barata para la producción de frío.
- Consumo eléctrico muy bajo.
- Coste de mantenimiento bajo.
- Alta rentabilidad.
- Impacto ambiental muy bajo.
- Pueden operar como bombas de calor mediante una válvula de tres vías con rendimientos elevados.
- Empleo de una amplia variedad como combustible.
- Amplia gama de potencias.

Una de las ventajas más importantes es la que permite a las máquinas de absorción producir frío a través de calor procedente de energías renovables, como una instalación híbrida solar, una caldera de biomasa, etc., de modo que la emisión de contaminantes sea mucho más baja o incluso nula.

Los sistemas de calefacción y climatización por suelo radiante son sistemas que tienen muy buenos resultados con el uso de máquinas de absorción. En invierno la entrada de agua al suelo radiante suele ser inferior a 40 °C, mientras que en un sistema de calefacción por radiadores se necesita una temperatura superior a 55 °C. Esta diferencia de temperatura supone un ahorro de combustible importante sin disminuir el confort. En verano sucede algo similar: en una instalación de suelo radiante no se necesita agua tan fría para obtener unas buenas condiciones de confort; por lo tanto, supone un ahorro de energía y el consiguiente ahorro económico.

Puede compensar, en aplicaciones de distribución de vapor, el uso de unidades de doble efecto. Este tipo de máquinas necesitan de un calor de mayor temperatura además de una inversión mayor, pero pueden llegar a ser una opción interesante ya que pueden llegar a conseguir un COP superior a la unidad.

### 1.3 COMPARACIÓN DE AMBOS SISTEMAS

Ambos sistemas tienen sus ventajas y sus inconvenientes. A continuación se intenta resumir y debatir dichas diferencias para poder adecuar cada proceso a un tipo de instalación.

En las máquinas de compresión mecánica el COP (parámetro de rendimiento) se calcula como el cociente entre la energía cedida en el evaporador y el trabajo entregado al refrigerante por el compresor, es decir, la energía obtenida del sistema dividida entre la energía aportada al sistema. Si tenemos en cuenta el esquema del ciclo de compresión mecánica del apartado 1.1 el COP se calcula con la siguiente fórmula:

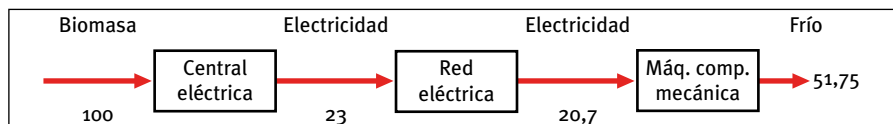
$$COP = \frac{\text{Calor extraído}}{\text{Trabajo compresor}} = \frac{\text{Entalpía (1)} - \text{Entalpía (4)}}{\text{Entalpía (2)} - \text{Entalpía (4)}}$$

Sin embargo, para el ciclo de absorción el COP se calcula con otra fórmula, ya que la energía que se introduce en el proceso no es en forma de trabajo sino en forma de calor:

$$COP = \frac{\text{Efecto refrigerante}}{\text{Entrada calor}}$$

Las máquinas de absorción tienen un COP inferior a la de las máquinas de compresión mecánica; sin embargo, tienen la ventaja que el calor que se entrega al generador puede ser a muy bajo coste, de manera que el proceso sea más rentable. Las máquinas de absorción necesitan una temperatura de funcionamiento superior a los 80 °C para que su rendimiento no sea demasiado bajo, con lo que el calor necesario en el generador podría ser un calor sobrante o producirlo mediante un sistema de bajo coste como, por ejemplo, una caldera de biomasa.

Las máquinas de compresión mecánica tienen un COP real en torno a 2,5. Las máquinas de absorción de simple efecto tienen un COP de aproximadamente 0,7 y las máquinas de doble efecto pueden llegar a 1,1-1,2. Evaluando los dos sistemas de producción de frío hay que considerar que para compresión mecánica hay que analizar el proceso desde que se genera la electricidad hasta que se obtiene el frío. Si con carácter orientativo comparamos ambos sistemas considerando como energía primaria la misma cantidad de biomasa y, para el caso de absorción, la hipótesis de utilización de una máquina de doble efecto, obtenemos los siguientes resultados:

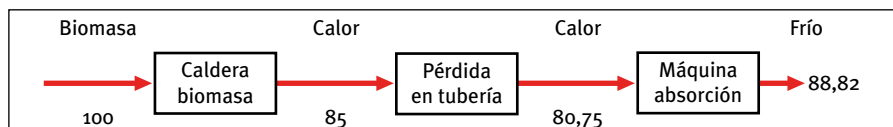


En el esquema se observa que hay que realizar varias transformaciones para producir frío. El consumo eléctrico de las máquinas de compresión mecánica es elevado, lo que supone un coste económico muy a tener en cuenta.

Los rendimientos de las transformaciones sufridas desde que la biomasa entra en la central eléctrica hasta que se obtiene el frío son:

- Central eléctrica ciclo Rankine: se considera rendimiento eléctrico del 23%.
- Red eléctrica: se estiman unas pérdidas del 10%.
- Máquina de compresión mecánica: COP estimado 2,5.

Realizando el mismo esquema para el proceso de absorción el número de transformaciones es el mismo (de biomasa a calor y de calor a frío) pero el proceso es muy diferente. La energía proviene de la biomasa y en la caldera se pueden obtener rendimientos muy elevados (85-90%). Del calor de la caldera se alimenta la máquina de absorción obteniendo frío.





Los rendimientos considerados son:

- Caldera de biomasa: eficiencia del 85-90 %.
- Red de tuberías: pérdidas del 5%.
- Máquina de absorción doble efecto: COP = 1,1.

Por tanto, la producción de frío a partir de biomasa mediante la utilización de máquinas de absorción es mayor que produciendo la energía eléctrica previamente en una central alimentada exclusivamente con este combustible y utilizándola en un compresor mecánico. No obstante, las máquinas de absorción de doble efecto precisan un aporte térmico a alta temperatura y resultan notablemente más caras, tanto en inversión como en mantenimiento, con lo que, teniendo en cuenta el bajo nivel de utilización, puede no compensar. En el caso de máquinas de simple efecto, los rendimientos en producción de frío se aproximan. Por otro lado, en el caso de gasificación de la biomasa y cogeneración, utilizando simultáneamente una máquina de compresión y otra de absorción, la producción de frío mejora.

El proceso de absorción necesita poco consumo de energía eléctrica y sólo requiere energía térmica procedente de la combustión de biomasa o de calores residuales de proceso, que de otra manera serían desperdiciados.

Otro aspecto importante es el impacto ambiental de ambos procesos. Actualmente la producción de energía eléctrica lleva asociado un proceso en el que se liberan contaminantes y gases de efecto invernadero a la atmósfera, ya que utilizan combustibles fósiles como materia prima. Los calores necesarios para las máquinas de absorción pueden proceder de energías renovables como la biomasa, con lo que las emisiones de CO<sub>2</sub> son nulas.

Otro aspecto ambiental es la utilización de refrigerantes perjudiciales para la capa de ozono en las máquinas de compresión mecánica, aunque se están sustituyendo por otros ecológicos.

Las máquinas de absorción de producción de frío a alta temperatura trabajan en vacío, es decir, por debajo de la presión atmosférica. Es por ello que se necesita mantener el vacío en todos los componentes de la máquina y sus uniones para su correcto funcionamiento, lo que implica un incremento en los costes con respecto a las climatizadoras de compresión mecánica. Los materiales que forman la máquina de bromuro de litio-agua deben presentar buena resistencia a la corrosión, lo que supone un coste adicional.

Las máquinas de compresión mecánica tienen a su favor que se trata de aparatos con una consolidación en el mercado español de varios años y con unos resultados más que aceptables en la climatización de viviendas y oficinas.

Por lo general, las máquinas de absorción necesitan una torre de refrigeración para su adecuado funcionamiento. Esto lleva asociado una serie de normativas en cada comunidad y unos costes de mantenimiento. Existen tecnologías en nuestro país para máquinas de pequeñas potencias (máquinas de absorción intensificadas de rotación) en las que se prescinde de la torre de refrigeración, lo que es una gran ventaja, ya que supone un ahorro de costes y espacio importantes.

Variables	Compresión mecánica	Absorción
Rendimiento (COP)	Mayor	Menor
Mantenimiento	Menor	Mayor
Energía consumida	Eléctrica	Varios
Coste energía consumida	Mayor	Menor
Consumo eléctrico	Mayor	Menor
Impacto ambiental	Mayor	Menor
Inversión inicial	Menor	Mayor
Espacio ocupado	Menor	Mayor

#### *Comparación de los sistemas de compresión mecánica y de absorción.*

La tabla anterior compara diferentes aspectos de los dos sistemas con los puntos fuertes y débiles de cada uno de ellos.

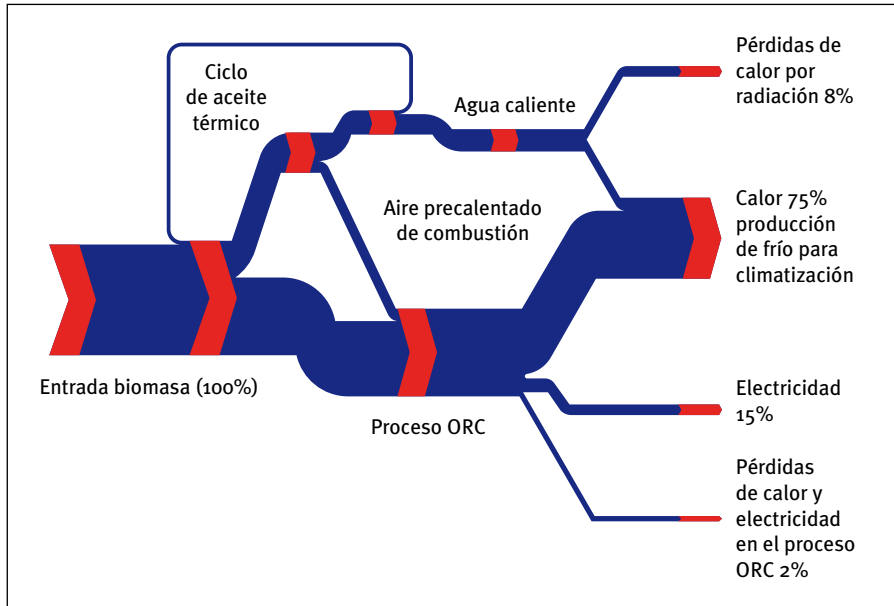
## 1.4 CICLO ORGÁNICO DE RANKINE (ORC)

Dentro de los sistemas de generación de frío, una de las aplicaciones que se está llevando a cabo en los últimos años es la instalación del ciclo orgánico de Rankine en plantas de generación de energía.

Para la generación distribuida con instalaciones de producción de electricidad y calor, es aconsejable este sistema por razones tanto energéticas como económicas, ya que el comportamiento y la eficiencia de estas centrales a carga parcial, entre el 40% y el 85%, es muy importante. Este hecho es una ventaja sustancial de los procesos ORC con respecto a las turbinas de vapor, que tienen una eficiencia muy baja a cargas parciales.

El principio de la generación de energía mediante el proceso del ciclo orgánico de Rankine se corresponde con el convencional de la producción de vapor de agua, con la diferencia que se emplea un fluido con unas propiedades térmicas

diferentes de las del agua, de aquí el nombre de Ciclo Orgánico de Rankine. El proceso ORC es un ciclo cerrado que realiza la transferencia de calor mediante intercambiadores entre el circuito del aceite térmico y un circuito de agua caliente a 80-100 °C, aprovechando el calor residual que se produce en el proceso. Si este calor residual se aprovecha en una máquina de absorción se obtendrá frío para climatización.



*Flujos de energía en un proceso ORC. Fuente: Bios-Bioenergy.*



# 2 Principales parámetros

## 2.1 POTENCIAS Y CONSUMOS

El consumo de energía térmica de cada una de las máquinas está íntegramente relacionado con el rendimiento (COP) de cada una de ellas, tal y como hemos analizado en el apartado anterior. Para este tipo de máquinas de simple efecto el COP es del 0,7.

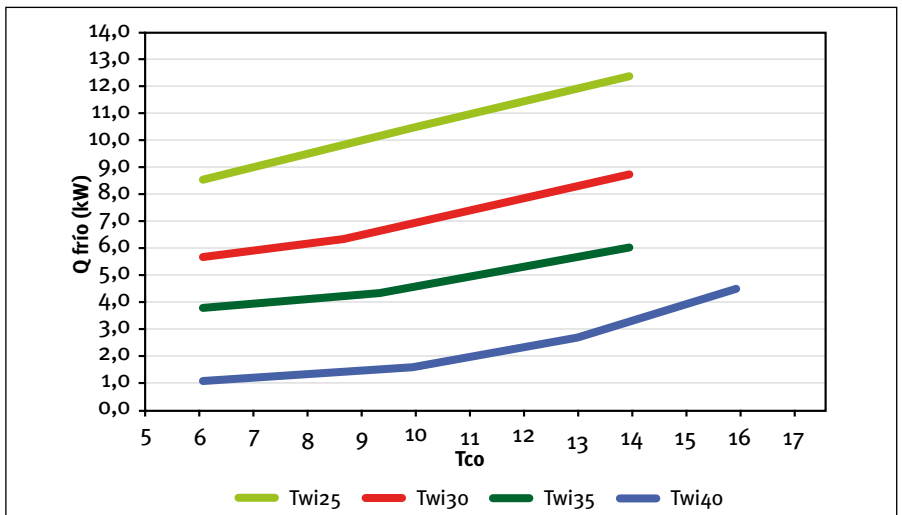
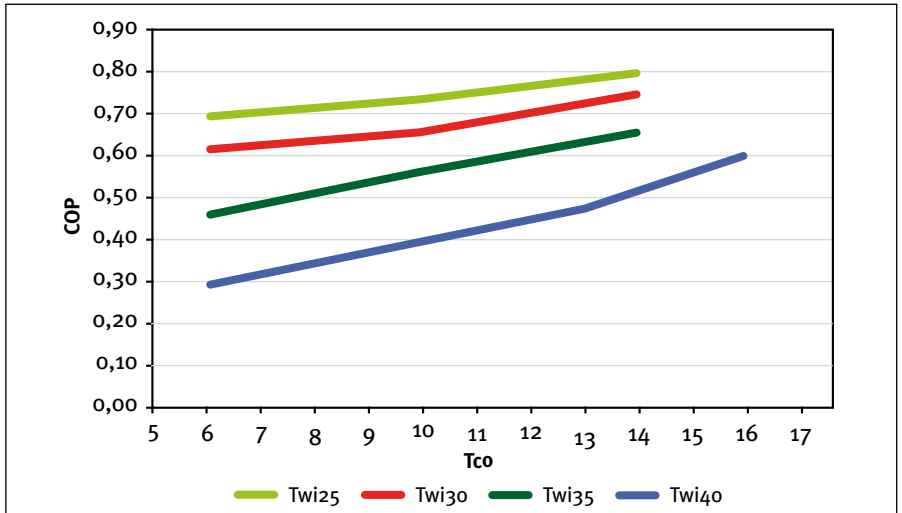
Las máquinas de baja potencia como, las que fabrica y comercializa la empresa española Rotártica, tienen unos rendimientos variables que pueden llegar a ser muy elevados en función de las propiedades de la instalación.

El análisis detenido de las características nos indica que estas máquinas tienen un rendimiento mayor cuanto menor sea la temperatura que nos refrigera la máquina, parece lógico pensar que cuanto mejor evacuemos el calor de la máquina mayor será el rendimiento. Vemos que sucede lo mismo si en vez de enfriar el agua hasta los 5 °C, como necesitaríamos para radiadores, la enfriamos a 15 °C, por ejemplo para una instalación de suelo radiante o de fancoils. Obtenemos rendimientos más elevados y potencias más altas. Es de esperar que una máquina



Figura 2.1: Máquinas de absorción compactas de pequeñas potencias de Rotártica. No necesitan torres de refrigeración.

de absorción de estas características en una instalación por suelo radiante o fancoils es energéticamente más eficiente que un sistema de radiadores, ya que la temperatura que tiene que proporcionar la máquina no es tan baja en verano ni tan alta en invierno, disminuyendo así el consumo de combustible.



**Representación gráfica del COP y de la potencia de las máquinas de absorción Rotártica<sup>1</sup>. Fuente: Rotártica.**

<sup>1</sup> Twi: temperatura de retorno del agua (°C). Tco: temperatura de impulsión del agua (°C).

En los gráficos se confirma que las máquinas pueden alcanzar un COP próximo al 0,8 y una potencia de 12 kW de frío con una disipación adecuada y una buena instalación de climatización que no requiera temperaturas tan bajas para provocar sensación de frío.

Existe en el mercado otro sistema para pequeñas potencias de climatización (tanto para frío como para calor) que es una alternativa a las máquinas de absorción de bromuro de litio-agua. Se trata de Climatewell 10, un equipo de climatización con una nueva tecnología que se denomina absorción en tres estados. Se trata de un equipo de gran eficiencia que cuenta con la capacidad especial de almacenar energía y suministrar tanto frío como calor.

La tecnología patentada de triple fase de absorción permite a Climatewell 10 ser el primer producto en conseguir un almacenamiento e integración de la energía de forma eficiente. El proceso alterna un ciclo entre tres estados de agregación –sólido, líquido y gaseoso– permitiendo una potencia continua de refrigeración o de calefacción. Este equipo trabaja en conjunción con otras fuentes térmicas, tales como la calefacción urbana (a distancia) o sistemas de micro cogeneración.



Equipo de climatización Climatewell 10 con vista de conexiones y depósito de acumulación.

La máquina carece de piezas mecánicas para la generación del frío y calor, como son por ejemplo bombas de circulación.

Climatewell 10 puede operar en tres modos diferentes: carga, calefacción y refrigeración. El modo carga almacena energía secando una sal (cloruro de litio- LiCl) que puede ser utilizada posteriormente cuando sea necesario.

Modo	Capacidad almacenamiento <sup>2</sup> (kWh)	Potencia máxima/ Capacidad <sup>3</sup> (kW)	Eficiencia térmica (%)
Frío	60	10/20	68
Calor	76	25	160

*Características técnicas de Climatewell 10. Fuente: Climatewell.*

Es importante resaltar que la máquina puede cargar y descargar simultáneamente. Esto quiere decir que siempre puede recibir energía térmica y al mismo tiempo suministrar calor o frío (calefacción y refrigeración). El sistema también puede calentar simultáneamente agua caliente sanitaria (ACS) o una piscina.

Para su funcionamiento Climatewell 10 necesita tres circuitos externos:

- Fuente térmica de calor. La caldera de biomasa aporta la temperatura y el caudal suficiente para que la máquina funcione.
- Circuito de distribución. Este circuito es el que recorre dentro de la vivienda (o la zona a climatizar) y se emplea para distribuir el frío y el calor (por ejemplo, suelo radiante, fancoils, etc.).
- Disipador de calor para carga y descarga. Este es el circuito más delicado, y el rendimiento en refrigeración de la máquina depende de este elemento. Cuando una máquina produce frío para un edificio, realmente lo que está haciendo no es “enfriar” sino “robar calor”. Ese calor robado hace falta expulsarlo de alguna manera para que la máquina pueda seguir “robando”. Lo habitual en estos casos es el uso de elementos mecánicos (aerotermos, torres de refrigeración) pero son un poco un contrasentido dado que consumen electricidad (hay que mover los ventiladores internos) para “deshacerse” de una energía que además es lanzada a la atmósfera, por lo que no es utilizada para nada. Es preferible utilizar medios físicos como, por ejemplo, una piscina, sondas geotérmicas (verticales u horizontales), capas freáticas, ríos, lagos, mar... La gran diferencia es que, en vez de tener que mover un elemento mecánico, la

<sup>2</sup> Capacidad máxima de almacenamiento (es decir, incluyendo los dos acumuladores).

<sup>3</sup> Capacidad de refrigeración por acumulador: la capacidad máxima de refrigeración es de 10 kW. Si se utilizan los dos acumuladores en paralelo (modo doble), la potencia de refrigeración máxima es de 20 kW y la potencia máxima de calefacción es de 25 kW.



cesión del calor robado se realiza mediante un intercambio físico por lo que no hay consumo eléctrico (a excepción de la bomba de circulación de ese circuito, que será un consumo mínimo) y además, en algunos casos, sí que se puede valorizar esa energía: por ejemplo, al disipar contra una piscina, se prolonga la temporada de baño.

Climatewell 10 es una máquina de absorción modular que se distingue de las máquinas estándar de absorción de tipo bromuro de litio básicamente en tres aspectos:

- Cuenta con un depósito almacén interno en cada uno de los dos acumuladores. De esta forma, la máquina puede almacenar energía química con una gran densidad. Esta energía puede ser utilizada por consiguiente tanto para enfriar como para calentar. Es importante señalar que lo que se almacena es energía química, y no energía térmica.
- Funciona de manera interdependiente con dos acumuladores en paralelo (acumulador A y acumulador B).
- Ha sido diseñado para emplear unas temperaturas relativamente bajas, con lo que está optimizado para su empleo con energías sobrantes o de bajo coste como biomasa o energía solar.

Climatewell 10 está compuesto por dos acumuladores, cada uno de ellos con un reactor y un condensador/evaporador. Los dos acumuladores pueden funcionar en paralelo, de manera que con la unidad de control se pueden adoptar varias estrategias para que su funcionamiento se adapte a las necesidades del usuario.

Gracias a la ausencia de piezas móviles no existe ningún movimiento en el interior de la máquina, por lo que el mantenimiento se hace casi inexistente. La recomendación que se hace desde el fabricante es una visita anual para garantizar que el vacío no se haya perdido. Ese es todo el mantenimiento que tendría esta máquina.

Existe ya en el mercado la máquina Climatewell de 10 kW de potencia. A partir de los próximos meses se dispondrá de una gama de potencias más amplia (hasta 240 kW), incluso a partir del próximo año se podrán realizar máquinas de cualquier tamaño fabricadas “a medida” bajo pedido.

## 2.2 INVERSIONES Y COSTES DE MANTENIMIENTO

La inversión inicial de una máquina de absorción es elevada; sin embargo, se puede llegar a amortizar a medio plazo, dependiendo de las características de cada instalación.

La diferencia principal entre un sistema y otro, en este aspecto, es que para las máquinas de absorción, por lo general, se necesita una inversión inicial mayor, que se amortiza en el consumo de combustible en un cierto número de años, dependiendo de cada caso, ya que las máquinas de absorción emplean calores residuales o energías de bajo coste para la producción de calor en el generador.

Uno de los combustibles empleados es la biomasa, debido a que se ha avanzado mucho en las eficiencias de las calderas de biomasa en los últimos años y además el combustible es económico.

En el caso de la máquina de absorción de bromuro de litio-agua de Rotártica, de 8 kW de potencia, la inversión inicial de la máquina es de unos 8.000 euros incluyendo el mantenimiento de la máquina (correas, comprobación de caudales, presiones, ruidos, etc.) y la puesta en marcha, además de la garantía íntegra durante dos años. El coste económico de la máquina Climatewell 10 es de unos 15.000 euros, sin contar con el sistema de disipación ni la instalación necesaria en cada caso. Resulta complejo valorar el coste de la instalación ya que pueden existir grandes diferencias en cada caso en función de la fuente de disipación, longitudes de tuberías, tipo de instalación (suelo radiante, radiadores, fancoils, etc.).

Los costes de mantenimiento de una instalación de máquinas de compresión mecánica son muy bajos, ya que no precisa torre de refrigeración ni limpieza de la caldera, como es necesario para máquinas de absorción. Existen instalaciones de máquinas de absorción que también tienen un mantenimiento mínimo y tampoco precisan torre de refrigeración, que es lo que resulta más caro de mantener, con lo que para pequeñas potencias (hasta unos 7 kW) el coste de mantenimiento se puede llegar a igualar en algunos casos al de los equipos de compresión mecánica. Para un análisis más detenido y poder calcular exactamente el periodo de amortización se debe estudiar cada caso concreto.

# 3 Ejemplos de instalaciones

## 3.1 PARQUE CIENTÍFICO-TECNOLÓGICO DEL ACEITE Y DEL OLIVAR (GEOLIT)

El parque Científico-Tecnológico del Aceite y del Olivar es la primera central termo-frigorífica en España, y está situada en Mengíbar (Jaén). Se trata de un centro empresarial y de investigación vinculado al desarrollo sostenible que se encuentra al final de su ejecución. La finalización de la construcción y sus correspondientes pruebas de prestaciones se estiman para el mes de junio de 2008.

Este pionero sistema de climatización ha sido promovido y desarrollado por Geolit Climatización, compañía constituida en 2006 y que ha obtenido el Premio Emprende 2006 otorgado por la confederación de empresarios de Andalucía. En ella participan, además del propio Parque, las sociedades Valoriza Energía, Inverjaén, Agener y Centrales Térmicas y Redes.

La planta es capaz de generar agua caliente y fría para calefacción y aire acondicionado a partir de biomasa procedente de restos de la poda del olivar de la zona, constituyendo un elemento de sensibilización hacia el uso de energías limpias y de respeto al medio ambiente.



Edificio de oficinas Big-bang del Parque Científico-Tecnológico.

La idea del parque es muy sencilla, consta de una planta central situada en un edificio singular y exclusivo donde se encuentran las dos calderas de tecnología Bujo de 3.000 kW térmicos cada una. El silo de almacenamiento tiene una capacidad de 450 m<sup>3</sup>.



Calderas Bujo de agua caliente 2x3 MW térmicos de potencia con parrilla móvil para biomasa. Detrás se observan los multiciclones y los filtros de mangas.

Dentro de esta planta central se sitúan todos los elementos y maquinaria necesarios para la generación de agua caliente y fría, así como los grupos de bombeo utilizados para la impulsión del fluido caloportador hasta los distintos puntos de consumo. A través de una red de tuberías aisladas se lleva el agua fría y caliente a los múltiples usuarios.

El suministro de frío y calor centralizado cubre una superficie de 37.039 m<sup>2</sup>, en su mayor parte oficinas. Este sistema de distribución se conoce como “*district heating and cooling*”, es un sistema muy utilizado en países de Europa como Suecia, Dinamarca o Austria, ya que es un sistema con un rendimiento elevado y permite un importante ahorro de energía.



Maqueta de la distribución del Parque Científico-Tecnológico.

La producción de agua caliente se realiza a través de dos calderas de 3.000 kW de potencia cada una, con las que se cubre sobradamente la demanda de calor de los usuarios, tanto para calefacción como para agua caliente sanitaria, que se ha estimado que va a ser de 2.500 kW. La instalación proporciona un caudal de 103,2 litros/segundo de agua caliente a 105 °C retornando a 80 °C.

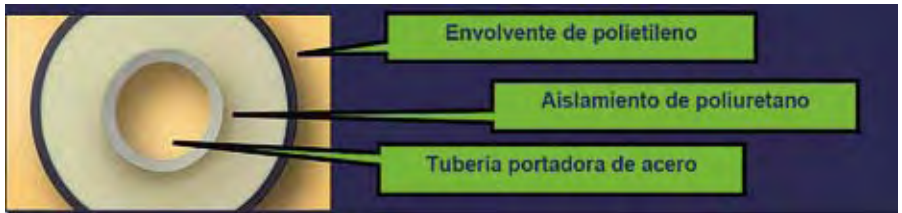
Además, la instalación es capaz de proporcionar la potencia que requieren las máquinas de absorción para producir 4.000 kW de agua fría para climatización. El grupo de enfriadora de máquina de absorción es de bromuro de litio-agua de simple efecto, recibe el agua de las calderas de biomasa a 90 °C y genera agua fría a 5,5 °C retornando a 12 °C.



Máquina de absorción de Carrier de 2 MW instalada en el Parque Científico-Tecnológico.

La central térmica funciona de manera automática, a través de un sistema de control, son los consumos de los usuarios los que marcan la puesta en marcha de los diferentes equipos mediante alteraciones de la red. Estas variaciones son detectadas por el sistema de control, basado en controladores digitales situados en la central y en cada una de las subestaciones térmicas de los distintos edificios.

En la planta central se produce agua caliente y agua fría que es distribuida a las parcelas donde están situados los edificios mediante una red de tubería portadora de acero al carbono preaislada. Esta red está formada por 4 tubos enterrados, dos para agua caliente y dos para agua fría (ida y retorno). Cada tubería tiene una longitud de 1 km con unas pérdidas térmicas y un mantenimiento mínimos y una vida útil larga.



Tubería aislada para el transporte de agua fría y agua caliente.

Cada edificio consta de una arqueta con una subestación térmica que controla el consumo mediante un intercambiador térmico que cederá calor o frío en función de la demanda.



Subestación térmica que controla el consumo de energía térmica.

Se han realizado cálculos estimativos de los consumos que tendrá la planta cuando se instalen todos sus usuarios y se estima que la central va a tener un consumo de 1.600 toneladas al año de hueso de aceituna y restos de poda de olivo en su mayoría, aunque también se pueden emplear residuos forestales y agrícolas o cultivos energéticos, considerado todo como biomasa. Al emplear biomasa como combustible se produce un ahorro de emisiones a la atmósfera de 1.535 toneladas de  $\text{CO}_2$  al año.

También se han realizado los cálculos del ahorro de energía primaria en la instalación. Los resultados obtenidos presentan un ahorro de 500 tep cada año de energía primaria por utilizar biomasa de la zona en lugar de gas natural o gasóleo de calefacción. Se ha considerado un poder calorífico de 3.125 kcal/kg para las 1.600 t/año de biomasa.

A continuación se expone como ejemplo de gestión energética el modelo económico de Geolit Climatización. Se trata de un modelo cuyos precios son orientativos, ya que varían en función de las condiciones de mercado existentes.

Para calefacción, la oferta económica de Geolit Climatización está basada en una fórmula binómica que recoge un término fijo y uno variable con el consumo más un coste por acometida en el primer año de contratación del servicio.

- Coste por acometida. CA = 170 €/kW instalado.
- Consumo de energía. CE = TF + TV.
- Término fijo. TF = 37 €/kW instalado anual.
- Término variable. TV = 76,52 €/MWh.

Análogamente al suministro de calefacción, para refrigeración se repercute al usuario un coste por acometida para el primer año de contratación y un coste que recoge el consumo en base a una fórmula binómica.

- Coste por acometida. CA = 430 €/kW instalado.
- Consumo de energía. CE = TF + TV.
- Término fijo. TF = 43 €/kW instalado anual.
- Término variable. TV = 61 €/MWh.

En base a lo anterior, a continuación se realiza una comparativa económica entre el sistema de calefacción y refrigeración de distrito propuesto por Geolit Climatización, S.L. y descrito en los párrafos anteriores y un sistema convencional individual compuesto por caldera de gas y enfriadora eléctrica. Se parte de un caso base para una oficina de 200 m<sup>2</sup>.

Instalación centralizada		Instalación individual
(€)	Coste Calefacción	(€)
151,87	Coste contratación	38,94
496	Término fijo	65,52
1.050	Término variable	422
-	Pérdidas por rendimiento	190
-	Coste reposición	800
-	Coste mantenimiento	85,5
-	Alquiler contador	13,2
-	Ahorro instalación energías renovables	1.000

(Continuación)

Instalación centralizada		Instalación individual
(€)	Coste Refrigeración	(€)
619,2	Coste contratación	12,89
928	Término fijo	96,94
976	Término variable	588
–	Coste reposición	1.500
–	Coste mantenimiento	85,5
–	Alquiler contador	18,36
4.221,07	TOTAL	4.916,85

**Comparación de costes de una instalación individual y la instalación Geolit. Fuente: Geolit.**

Con esto se demuestra que el servicio ofrecido por la instalación de *district heating & cooling*, además de presentar las ventajas adicionales ya mencionadas, ofrece un ahorro económico al usuario final de un 14%.

La inversión total de estas instalaciones asciende a 4 millones, de los que 2,3 han sido aportados por la Agencia Andaluza de la Energía de la Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa.

Como resumen de esta instalación, las ventajas particulares son:

- Mayor eficiencia energética de la instalación que en instalaciones individuales.
- Ahorro económico para el usuario.
- Eliminación de elementos productores y de almacenaje de energía en el interior de los edificios.
- Suministro directo de la energía al usuario.
- Empleo de energías renovables como combustible.
- Energía autóctona; se emplean recursos procedentes del entorno en el que se consume.
- Creación de nuevas actividades económicas en el entorno y la mejora de rentas.
- Ahorro del uso de combustibles fósiles.
- Ahorro del 100% de las emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Servicio ininterrumpido desde las 6 de la mañana hasta las 12 de la noche durante todo el año, tanto agua fría como caliente.



## 3.2 CABINA DE ENERGÍA

La empresa tecnológica austriaca Energycabin GmbH ha diseñado un sistema innovador para la climatización, calefacción y producción de agua caliente sanitaria, denominado “cabina de energía”. Se trata de una cabina formada por tres módulos: caldera de biomasa, instalación solar térmica y máquina de absorción, ésta última opcional. Para la producción de ACS y calefacción se necesitan dos tanques de almacenamiento de agua caliente, uno para ACS y otro para calefacción y máquina de absorción, dependiendo de las necesidades del usuario. La cabina de energía también necesita para su correcto funcionamiento una torre de refrigeración y varias bombas de circulación, accionadas eléctricamente.



Cabina de 100 kW con almacenamiento de biomasa.

La cabina de energía consiste en un sistema de producción de calor a través de la combinación de biomasa y energía solar térmica. Se puede adaptar de manera sencilla a cualquiera de los emisores de calor existentes en los edificios (radiadores, suelo radiante, fancoils...) reemplazando las calderas tradicionales.

La primera opción de energía es la procedente de los paneles solares, ya que es una energía limpia y gratuita. Si la energía demandada por el sistema es mayor que la que suministran los colectores solares, entonces entra en funcionamiento el módulo de la caldera de biomasa. Éste sólo entrará en funcionamiento cuando se den éstas condiciones, de manera que tiene prioridad la energía solar. De este modo aumenta la rentabilidad de la cabina.

Para la producción de frío la cabina cuenta con una máquina de absorción de bromuro de litio-agua. La energía necesaria para el generador de la máquina proviene de la caldera de biomasa y de la instalación solar. La caldera de biomasa se pondrá en funcionamiento sólo cuando el sistema requiera más energía de la que puede aportar el sistema solar.

Para una buena refrigeración del sistema es necesaria la instalación de una torre de refrigeración, la cual varía dependiendo de la potencia de la máquina de absorción. La gama de potencias frigoríficas varía entre 17 y 210 kW dependiendo de las necesidades del usuario. La relación entre la potencia frigorífica requerida y el tamaño de la instalación solar es la siguiente:

Máquina de absorción	
Potencia frigorífica (kW)	Área de paneles solares (m <sup>2</sup> )
17	50
35	110
70	220
105	330
140	440
210	660

**Relación entre potencia frigorífica de la máquina de absorción y la instalación solar.**

La cabina está formada por módulos, por lo que su instalación es rápida y sencilla. Para un buen rendimiento de los paneles solares y de la torre de refrigeración éstos deben situarse en espacios abiertos, como pueden ser azoteas, teniendo que considerarse esta opción en la etapa de diseño.

El sistema consta de un dispositivo de control automatizado y con una gama de potencias que va desde los 10 kW hasta los 500 kW, con lo que se puede emplear en viviendas unifamiliares, edificios, centros comerciales, e incluso en edificios industriales. En función de la potencia se diseñará una instalación solar más grande y una caldera más potente.

La caldera de biomasa tiene una eficiencia del 92% y está equipada con un depósito para pellets con carga automática, regulada por el sistema de control.

Unas 10.000 “cabinas de energía” se han instalado satisfactoriamente en Estados Unidos. Se trata de un sistema limpio, con una eficiencia elevada de producción centralizada de agua caliente.



Cabina de 30 kW para una vivienda.

### 3.3 ETSI AGRÓNOMOS DE MADRID

La ETSI Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid presenta su planta de Producción y Autoconsumo de Biocombustibles Sólidos: una experiencia pionera en el ámbito universitario, aplicable a una explotación agraria, y energéticamente autosuficiente.

Este centro es el resultado de un novedoso proyecto desarrollado por el Grupo de Agroenergética de la Universidad Politécnica de Madrid, que la Comunidad Autónoma madrileña ha incluido en la segunda Guía de Proyectos Emblemáticos en el Ámbito de la Energía de la región.

Dicho proyecto logra la autosostenibilidad energética de sus laboratorios mediante la biomasa vegetal producida por cultivos energéticos en experimentación en los campos de prácticas de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Como materia prima también aprovecha la biomasa vegetal residual procedente en su mayoría de las podas de viñedos, frutales, árboles ornamentales y restos de cultivos de estos campos.

La experiencia se ha puesto en práctica en la Planta de Producción y Autoconsumo de Biocombustibles Sólidos, lugar de trabajo del Grupo de Agroenergética de la Universidad Politécnica de Madrid.

Las instalaciones incluyen un conjunto de laboratorios y despachos de una superficie aproximada de 200 m<sup>2</sup> y dos invernaderos de investigación de cerca de 500 m<sup>2</sup>, que se han tomado como modelo representativo de lo que podrían ser las dependencias de una explotación agraria.

En el proyecto se contempla la cadena energética completa, desde la producción del biocombustible a su utilización. En la instalación se fabrican pellets para alimentar las tres calderas de biomasa que producen agua caliente para la calefacción de los invernaderos, laboratorios y despachos del Grupo Agroenergética de la ETSI Agrónomos.



Caldera de biomasa que alimenta el equipo de climatización.

En el periodo de verano, mediante un cambio en la posición de las válvulas del circuito de calefacción, la caldera Verner, de 25 kW de potencia, alimenta un sistema de absorción de la firma Climatewell, que sirve para producir la refrigeración de los laboratorios y los despachos. Para ello se utiliza el mismo circuito que para calefacción que alimenta los termoventiladores, para lo cual la instalación se ha realizado con el aislamiento adecuado para evitar condensaciones. Los termoventiladores están dotados de una bandeja de recogida de agua de condensación y de un desagüe.

En esta modalidad, los dos radiadores de la instalación están cerrados, sólo se abren en invierno para calefacción.



Caldera y equipo Climatewell 10 de calefacción y climatización.

Un total de cuatro entidades públicas y seis empresas han participado en este proyecto de producción y autoconsumo de biocombustibles de la ETSI de Agrónomos de Madrid. Entre los organismos públicos colaboradores se encuentran la propia Escuela, la Universidad Politécnica de Madrid, la Comunidad de Madrid y la Unión Europea. Las empresas privadas que han colaborado en el proyecto son: Eneragro, Eleusis Internacional, Mitisas, Sielec, Sistemas D.R. y Uponor.

### 3.4 PLANTA CENTRAL DE BIOMASA EN VORARLBERG (AUSTRIA)

En marzo de 2002 se puso en marcha el proyecto de una central de combustión de biomasa para la producción de electricidad, agua caliente y agua fría.



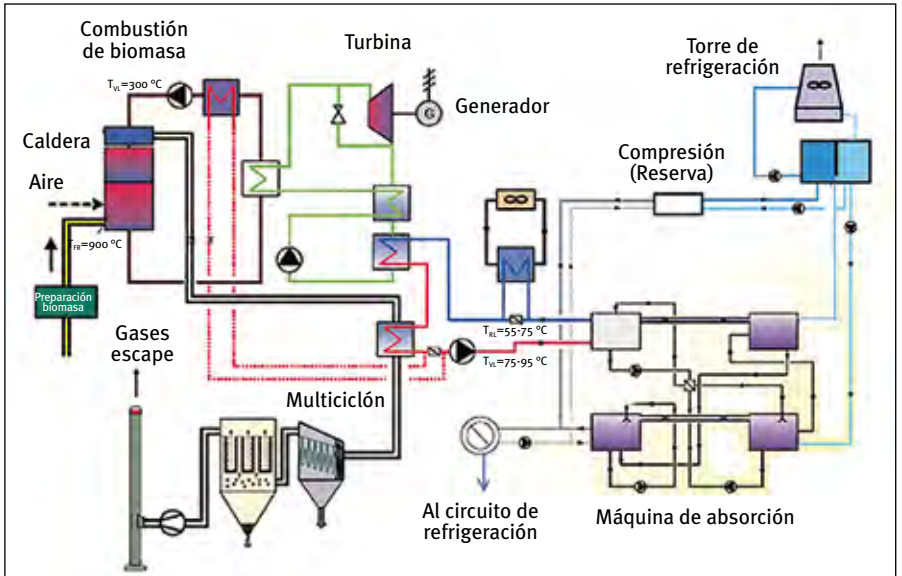
Planta de producción de energía térmica y eléctrica en Vorarlberg (Austria).

La planta ha sido diseñada por la empresa Biostrom y obtiene la energía de la biomasa con una innovadora tecnología denominada Ciclo Orgánico de Rankine (ORC por sus siglas en inglés).

En esta planta la biomasa empleada son restos forestales y representa una combinación de la unión entre la combustión de la biomasa y el ciclo orgánico de Rankine y la máquina de absorción de baja temperatura.

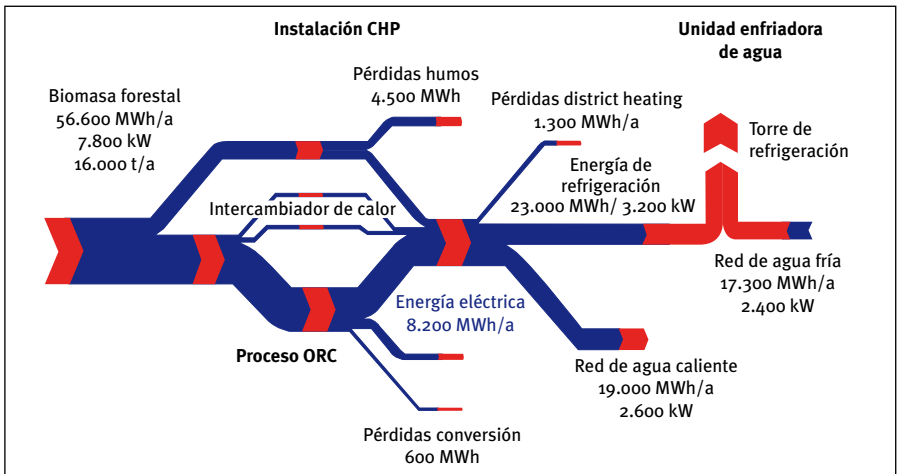
La instalación tiene una potencia nominal de 1.150 kW eléctricos y produce aproximadamente 8.200 MWh al año con energía limpia que es suministrada a la red eléctrica. Además, suministra unos 23.000 MWh/año de agua caliente para la producción de frío a través de una máquina de absorción. La energía restante (aproximadamente unos 19.000 MWh térmicos al año) se emplea para un “*district heating*”.

La planta combina calor, frío y electricidad. La combustión de la biomasa emplea un sistema de bajas emisiones de NO<sub>x</sub> especialmente diseñado para restos forestales. La caldera es de aceite térmico y está equipada con un economizador (capacidad nominal 6.200 kW térmicos) y con un sistema automático de limpieza.



Esquema de la planta en Vorarlberg (Austria). Fuente: Bios-bioenergy.

Además del proceso ORC la máquina de absorción de baja temperatura representa la segunda unidad de importancia de la planta. El calor producido en la planta alimenta a la máquina de absorción de bromuro de litio-agua con una potencia de 2,4 MW térmicos que suministra agua a una temperatura constante de 5 °C.



Esquema energético de la planta en Vorarlberg (Austria). Fuente: Bios-bioenergy.

La planta consigue unos valores que cumplen la normativa europea con respecto a la emisión de gases y partículas a la atmósfera, tanto de CO como de NO<sub>x</sub>.

La central de Vorarlberg fue la primera planta en el mundo de combustión de biomasa que combina calor, frío y electricidad basada en el Ciclo Orgánico de Rankine. Los buenos resultados obtenidos en esta planta pueden tenerse en cuenta para futuros proyectos o instalaciones de este tipo, ya que se puede producir electricidad, frío y calor mediante un combustible alternativo, respetuoso con el medio ambiente, económico y con independencia del exterior.

### 3.5 CLIMATIZACIÓN EN LA FUNDACIÓ MARESME DE MATARÓ (BARCELONA)

La Fundació Maresme, ubicada en la ciudad de Mataró, provincia de Barcelona, es una institución de iniciativa social sin ánimo de lucro para disminuidos psíquicos. En la actualidad, y por necesidades de ampliación del espacio de trabajo, han construido un nuevo edificio donde trasladan toda su actividad.

En el proyecto de este edificio se han tenido en cuenta de forma muy especial la utilización de las energías alternativas y, sobre todo, la biomasa. Este nuevo edificio está totalmente climatizado, con instalación de suelo radiante para calefacción y circuito de aire acondicionado. Para dar servicio a este sistema integral de climatización se ha instalado un conjunto de máquinas que proporcionan calor y frío al edificio durante todo el año según sus necesidades. Todo este conjunto de máquinas utiliza la biomasa como fuente energética.

La biomasa se almacena en un silo con sistema de suelo móvil para alimentación de una caldera marca Danstoker Mod. LH-200 de 200 kW de potencia instalados por L. Solé, S.A. Este sistema, totalmente automático, está equipado con las últimas tecnologías en sistemas de combustión de biomasa, con control modulante, filtración de humos con sistema multiciclón, limpieza automática, extracción automática de cenizas, telecontrol, etc.



Máquina de absorción Thermax modelo LT-3.

La caldera de biomasa da servicio de calor al sistema de suelo radiante para calefacción del edificio y a una máquina de absorción marca Thermax mod. LT-3 suministrada por Absorsistem e instalada por L. Solé, S.A. para dar servicio al sistema de aire acondicionado. El agua se suministra a la máquina frigorífica procedente de la caldera a unos 90 °C y se distribuye en el circuito de frío a una temperatura de unos 10 °C. Esta máquina tiene una potencia de 106 kW frigoríficos, con lo que se cubre la demanda de climatización del edificio. Está conectada a una torre de refrigeración para su correcto funcionamiento.

Con esta instalación se obtiene una climatización integral del edificio que da respuesta durante todo el año, a partir de biomasa, consiguiendo así economizar el consumo de energías convencionales, reducir el nivel de contaminación atmosférica y reducir el periodo de amortización de la instalación.



---

# 4 Bibliografía y referencias

- Absorsistem: [www.absorsistem.com](http://www.absorsistem.com)
- Agener: [www.agener.es](http://www.agener.es)
- Calderas Buyo, S.A.: [www.buyoboiler.com](http://www.buyoboiler.com)
- Climatewell: [www.climatewell.com](http://www.climatewell.com)
- Geolit: [www.geolit.es](http://www.geolit.es)
- Grupo Nova Energía: [www.gruponovaenergia.com](http://www.gruponovaenergia.com)
- ETSI Agrónomos de Madrid: [www.etsia.upm.es](http://www.etsia.upm.es)
- HC Ingeniería: [www.hcingeneria.com](http://www.hcingeneria.com)
- L. Solé: [www.lsole.com](http://www.lsole.com)
- Rotártica: [www.rotartica.com](http://www.rotartica.com)
- Valoriza energía: [www.gruposyv.com](http://www.gruposyv.com)
- Bios-bioenergy: [www.bios-bioenergy.at](http://www.bios-bioenergy.at)





**IDA** Instituto para la  
Diversificación y  
Ahorro de la Energía

c/ Madera, 8 - 28004 Madrid  
Tel.: 91 456 49 00. Fax: 91 523 04 14  
comunicacion@ida.es  
www.ida.es



P.V.P.: 5 € (IVA incluido)