

ÍNDICE

1. SISTEMAS. GENERALIDADES Y CLASIFICACIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

1.2. CLASIFICACIÓN SEGÚN EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN

1.2.1. SISTEMAS AIRE-AIRE

1.2.2. SISTEMAS AIRE-AGUA

1.2.3. SISTEMAS AGUA-AIRE

1.2.4. SISTEMAS AGUA-AGUA

1.3. SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

1.4. CLASIFICACIÓN SEGÚN EL SISTEMA DE EMISIÓN

1.4.1. SISTEMAS TODO REFRIGERANTE

1.4.1.1. SISTEMAS PARTIDOS UNITARIOS (SPLIT)

1.4.1.2. SISTEMAS PARTIDOS MÚLTIPLES (MULTI-SPLIT)

1.4.2. SISTEMAS REFRIGERANTE-AIRE

1.4.3. SISTEMAS TODO AGUA

1.4.4. SISTEMAS AGUA-AIRE

1.4.4.1. SISTEMAS DE INDUCCIÓN

1.4.4.2. SISTEMA DE VENTILOCONVECTORES CON AIRE PRIMARIO

1.4.5. SISTEMAS TODO AIRE

1.4.5.1. PARA UNA SÓLA ZONA

1.4.5.2. PARA VARIAS ZONAS



2. ESTRATEGIAS PARA UN DISEÑO MÁS EFICIENTE

2.1. INTRODUCCIÓN

2.2. SISTEMAS TODO AIRE

2.2.1. EQUIPOS AUTÓNOMOS

2.2.2. UNIDADES DE TRATAMIENTO DE AIRE

2.3. SISTEMAS TODO AGUA Y MIXTOS

2.3.1. GENERACIÓN DE CALOR Y FRÍO

2.3.2. COGENERACIÓN

2.3.2.1. MICROTURBINAS

2.3.3. EQUIPOS DE BOMBEO

2.3.4. CONDENSACIÓN POR AIRE O POR AGUA

2.3.5. AISLAMIENTO TÉRMICO EN CONDUCCIONES

2.3.6. RECUPERACIÓN DE ENERGÍA

2.3.7. APROVECHAMIENTO DE ENERGÍAS RENOVABLES

2.4. SISTEMAS TODO REFRIGERANTE

1. SISTEMAS. GENERALIDADES Y CLASIFICACIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de un sistema de climatización **es proporcionar un ambiente confortable**. Esto se consigue mediante el control simultáneo de la humedad, temperatura, limpieza y distribución del aire en el ambiente, incluyendo también otros factores como el nivel acústico, manteniendo estos factores dentro de los límites que se prescriban para cada caso concreto.

Es importante conocer las necesidades térmicas del edificio a la hora de diseñar una red de climatización, y así conocer el **caudal a suministrar en cada local**. Así pues se tienen que considerar varios flujos de calor que aumentan la temperatura de la sala, como la transmisión de calor, las radiaciones, el aporte interno de las personas, el alumbramiento, las máquinas variadas pero también las infiltraciones debidas a la ventilación.

Toda instalación de climatización se compone de tres partes diferenciadas: **producción térmica, distribución, emisión en los locales**; cuando en un mismo equipo están incluidos todos los elementos se dice que los equipos son **compactos**.

1.2. CLASIFICACIÓN SEGÚN EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN

Hay dos formas de producción por ciclo de **compresión** y por ciclo de **absorción**; la más extendida corresponde al ciclo de compresión. El ciclo de compresión dispone de una zona de **evaporación** y otra de **condensación** unidas mediante el compresor y cerrándose el ciclo mediante una laminación. En la evaporación es donde se produce el frío necesario para la climatización y en la condensación es donde se cede el calor extraído en los locales. Atendiendo a estos factores los equipos de producción se denominan con dos palabras, indicando en primer lugar el medio en el que se realiza la evaporación y después el medio condensante.

La clasificación más interesante de cara a la aplicación en climatización de edificios es la que se corresponde con el **tipo de fluido** encargado de transferir el calor al ambiente circundante tanto en el evaporador como en el condensador. Esta clasificación es la siguiente:



1.2.1. Sistemas Aire-Aire

Su funcionamiento es el siguiente: en invierno se toma calor desde el aire exterior que es bombeado hacia el interior del edificio a la temperatura deseada gracias al cambio de fase del refrigerante. En verano, se toma calor del recinto a climatizar, que tras ser bombeado, es expulsado al ambiente exterior.

El empleo del aire exterior como foco frío de la bomba de calor se debe a que tiene disponibilidad universal, pero supone un contratiempo dado que **el rendimiento de la instalación se encuentra supeditado a las condiciones climatológicas**. A medida que disminuye la temperatura exterior, **disminuye también en coeficiente de prestación COP**.

Es necesario tener en cuenta que la fuente de energía es la electricidad y que el precio de una unidad de energía es mucho mayor que el de la de un combustible de origen fósil para suministrar la misma carga térmica. Por otro lado, la comparación de impacto ambiental por los diferentes usos de energía debe realizarse teniendo en cuenta no sólo aspectos como el COP proporcionado por la bomba de calor, o la energía primaria consumida por unidad de energía eléctrica generada, sino por el rendimiento de los sistemas convencionales de producción de energía.

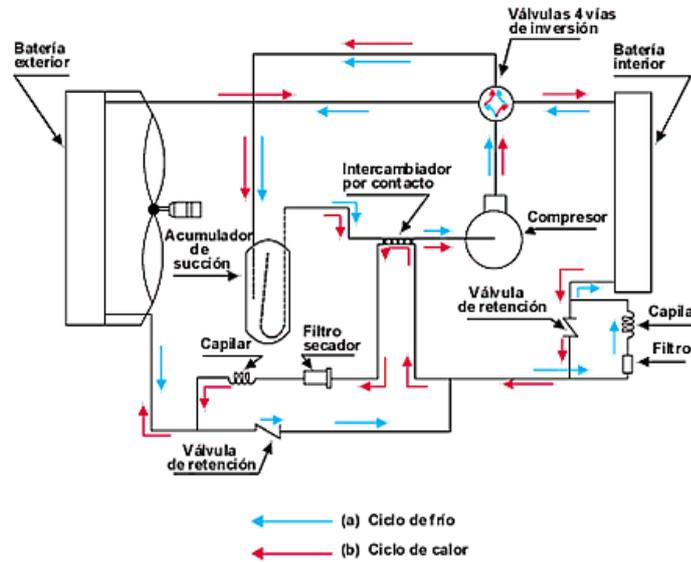


Figura 1. Esquema de un sistema Aire-Aire

1.2.2. Sistemas Aire-Agua

En estas instalaciones la obtención del calor se realiza a partir del aire exterior, transfiriendo esta energía a un condensador de agua donde se suma además de ésta el trabajo del compresor, **calentando agua a una temperatura comprendida entre 30 y 60°C**. Este sistema puede ser empleado para producir tanto calefacción como agua caliente sanitaria.

Son **aparatos no reversibles en cuanto a sus ciclos de funcionamiento**, y sin mecanismos de des-escarche, con un formato de tipo compacto o partido.

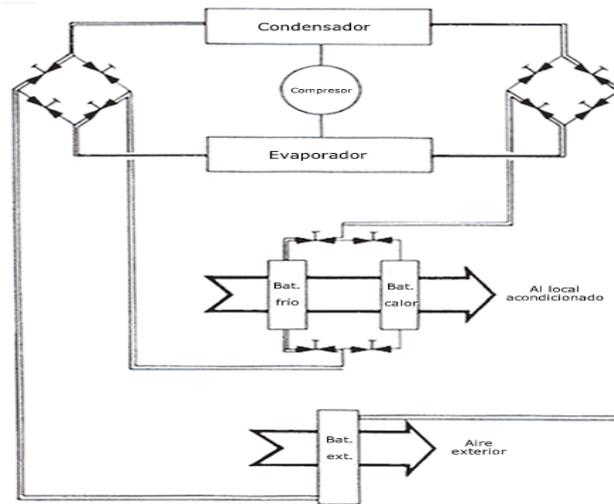


Figura 2. Esquema de un sistema Aire-Agua

1.2.3. Sistemas Agua-Aire

Frente al aire, el agua presenta como fuente energética indudables ventajas entre las que cabe destacar la obtención de **un COP más constante a lo largo del año** como consecuencia de una menor variación en la temperatura.

El nivel de **ruido es mucho menor** dado que las bombas necesarias para la impulsión del agua son más silenciosas que los ventiladores necesarios en los equipos de aire.

Se pone de manifiesto que la mayor complicación de la instalación y la necesidad de contar con grandes cantidades de agua, así como las medidas de control de ésta, implica que la proyección futura parece orientarse hacia **su conjunción con la energía solar**, lo que simplificaría la instalación y proporcionaría un considerable ahorro energético.



Figura 3. Equipo de producción Agua-Aire

1.2.4. Sistemas Agua-Agua

El funcionamiento es similar al de las bombas de calor agua-aire, dado que obtiene la energía de un circuito de agua transfiriendo ésta junto a la consumida por el compresor a otro circuito también de agua a mayor temperatura en el funcionamiento de invierno.

Si se reduce el valor de la temperatura de generación se acercan más las temperaturas de evaporación y de condensación lo que conlleva un incremento en el rendimiento de la bomba de calor.

Al igual que en el caso anterior, el empleo de colectores solares resulta muy adecuado, a pesar de la implícita complicación la instalación.

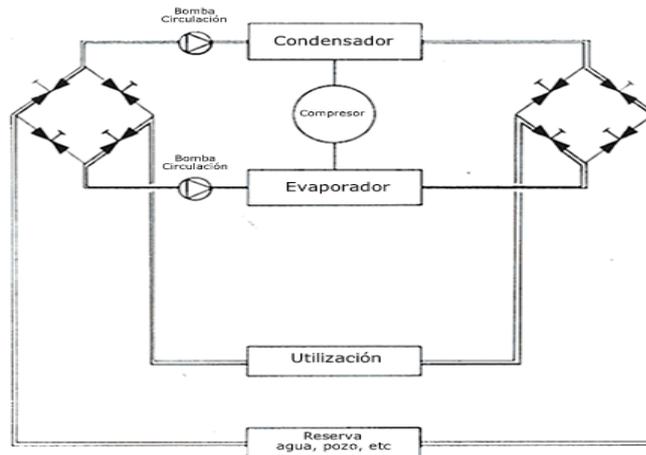


Figura 4. Esquema de un sistema Agua-Agua

1.3. SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

El frío producido en el equipo frigorífico debe ser transportado a los locales a climatizar mediante alguno de los siguientes fluidos: **refrigerante, agua o aire**, empleándose para ello tuberías o conductos, según corresponda.

1.4. CLASIFICACIÓN SEGÚN EL SISTEMA DE EMISIÓN

El frío se emite en los locales a través de rejillas y difusores, que pueden estar incorporadas en los propios equipos, o bien formar parte de una red de conductos de distribución. Lo más habitual es clasificar los sistemas de climatización, según sea el fluido que entra en el local para producir el efecto de enfriamiento o calentamiento.

Según esto, los sistemas pueden ser:

-  **TODO REFRIGERANTE:** Sistemas de expansión directa en el interior del local.
-  **REFRIGERANTE-AIRE:** Al local llega refrigerante y aire.
-  **TODO AGUA:** Al local llega sólo agua.
-  **AGUA - AIRE:** Al local llega aire y agua.
-  **TODO AIRE:** El único fluido que entra en el local es el aire.

Además de la clasificación anterior, se podrían introducir la diferenciación entre los equipos **compactos** o sistemas **centralizados**. A continuación se describen las características más importantes de cada sistema.

1.4.1. Sistemas todo refrigerante

En estos sistemas, **la refrigeración se produce por la expansión directa** de refrigerante en un equipo provisto de **batería aleteada** para este propósito. El aire del local pasa directamente por la batería en la que se **expansiona** el refrigerante, que forma parte pues del sistema frigorífico. De acuerdo con lo anterior, pueden incluirse en este grupo, los aparatos compactos de "ventana", consolas enfriadas por aire o agua, y todos los equipos compactos situados en el interior del local a acondicionar, así como los equipos y sistemas "partidos", en los que la "unidad condensadora", generalmente condensado por aire se encuentra situada a distancia y unida a la "unidad interior" o "climatizadora", por tuberías de refrigerante.

En los últimos tiempos, los sistemas partidos han conocido una extraordinaria evolución y aceptación, tanto en el ámbito doméstico y pequeño comercial.

1.4.1.1. Sistemas partidos unitarios (SPLIT)

Una unidad interior, situada en el local, incorpora la parte del evaporador del circuito frigorífico, incluyendo por tanto **la batería, ventilador de impulsión de aire, filtros y los sistemas de regulación**. Adoptan formas diversas: consola de suelo, de techo, de pared, con envolvente o sin ella, etc. La evolución tecnológica es constante, con mandos a distancia, etc. La unidad condensadora, o "exterior", incorpora el **compresor frigorífico, el condensador**, (generalmente enfriado por aire) y todos los **elementos de seguridad y de**

regulación del sistema frigorífico. La unión entre ambas unidades se realiza mediante **conexiones frigoríficas** con tubería de cobre.

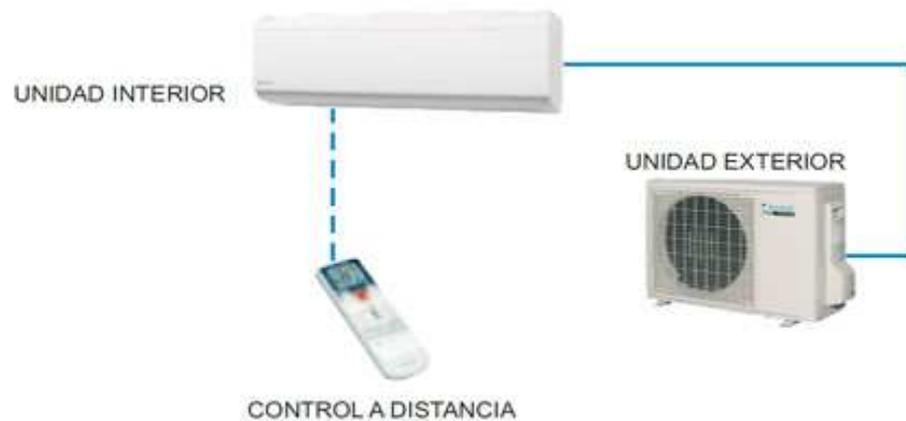


Figura 5. Sistema Unitario (SPLIT)

1.4.1.2. Sistemas partidos múltiples (MULTI-SPLIT)

Son semejantes a los anteriores, pero en los que **una sola unidad condensadora exterior, sirve a varias unidades interiores en paralelo**, que pueden tener control común o independiente. Sistemas de "volumen de refrigerante variable". Son sistemas partidos múltiples muy evolucionados, en los que, gracias a las posibilidades de regulación de la electrónica moderna y a un cuidadoso diseño de los sistemas frigoríficos, se consigue una gran variedad de combinaciones entre "unidades exteriores" e "interiores", tanto en tipos y potencias, como en distancias entre unas y otras. El control estricto de las presiones y temperaturas en el refrigerante y de la circulación del aceite, en combinación con la modulación de la potencia frigorífica de los compresores proporciona una gran elasticidad de funcionamiento. La regulación de la potencia frigorífica se hace frecuentemente por variación de la velocidad de giro del compresor, con un sistema de variación de frecuencia de la corriente de alimentación, lo que permite una adecuación casi total de la potencia producida a la demanda instantánea.

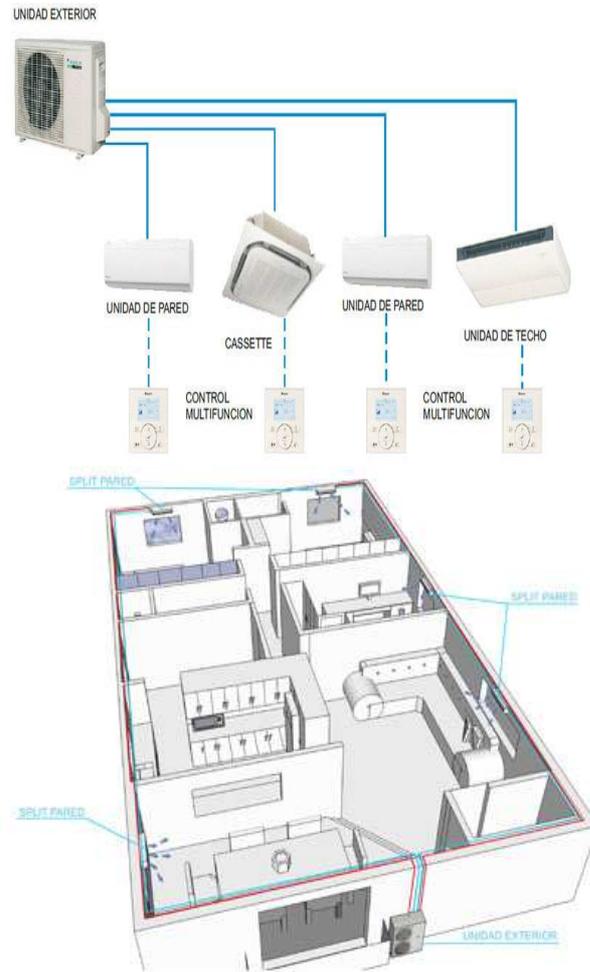


Figura 6. Sistema Unitario (MULTI-SPLIT)

1.4.2. Sistemas refrigerante-aire

Un problema importante de los sistemas todo refrigerante, es que no resuelven el aspecto de la ventilación debiendo proporcionarse la misma de manera independiente. **El sistema consiste en un conjunto de equipos como los descritos anteriormente, complementado con un sistema de aire primario.** El aire primario viene tratado en un climatizador central y repartido a los diferentes locales. **Este aire primario provee las necesidades de ventilación y parte o todas las necesidades de deshumidificación,** según sea el dimensionamiento. En este caso la distribución de aire primario se hace con una red general de conductos y se impulsa a los locales a través de rejillas. El aire primario también puede ser enviado sin tratamiento termohigométrico, y en este caso se impulsa a la aspiración de los equipos interiores, y es en estos en los que se enfría y deshumidifica.

También existe la posibilidad de prever los equipos interiores con una toma de aire exterior directa.

1.4.3. Sistemas todo agua

Son aquellos en los que **el único fluido caloportador que llega al espacio acondicionado desde el exterior es agua**. Para la producción se requieren equipos enfriadores de agua, con condensación por aire o por agua, en este último caso además se requiere la instalación de torres de enfriamiento, para poder a su vez eliminar el calor del agua de condensación, a no ser que se disponga de una fuente continua para el agua de condensación. La cesión del frío al aire del local se realiza en aparatos terminales, que generalmente **son ventilosconvectores (fan-coils)**, que incorporan una batería de tubo aleteado y un ventilador que recircula el aire del local a través de la batería, enfriándolo según la temperatura del agua que se suministra. Los aparatos ventilosconvectores pueden adoptar formas, disposiciones y colocaciones variadas. Desde el más conocido de suelo con envolvente metálica para instalación vista, hasta el oculto sobre el falso techo que aspira e impulsa el aire a través de rejillas, pasando por colocaciones de pared o techo vistos, empotrados en nichos o los más recientes compactos de techo vistos, que incluyen los elementos de difusión. **Generalmente, en el proceso de enfriamiento, se produce también deshumidificación, habiendo necesidad de evacuar el agua formada, lo que en ocasiones presenta dificultades.** Modernamente, existen bombas de elevación del condensado que pueden resolver el problema.

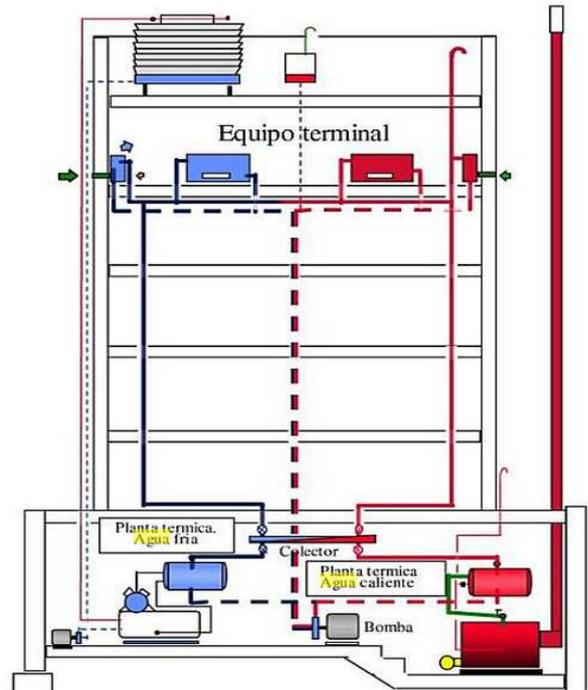


Figura 7. Esquema de un sistema Todo Agua

Las temperaturas del agua de enfriamiento que se envía suelen estar **entre 5 y 10°C**.

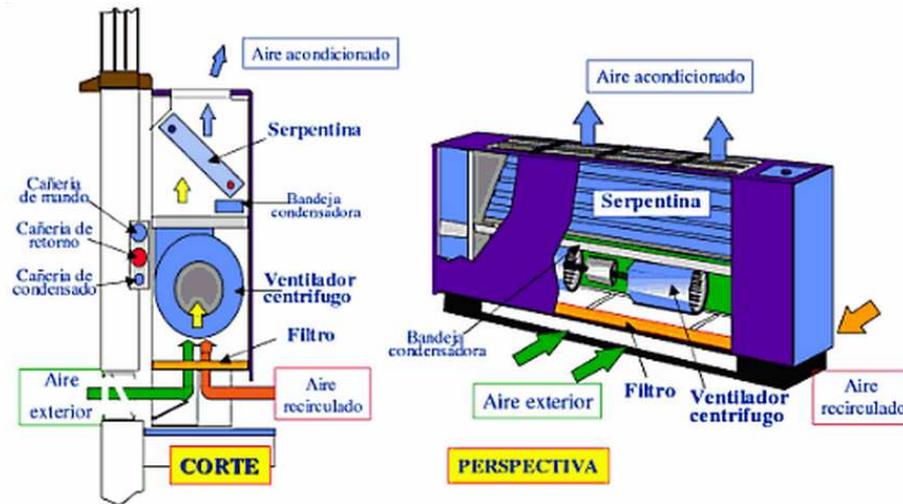


Figura 8. Aparato ventiloconvectores (FANCOILS)

La regulación es individual para cada local, el cual puede estar servido por uno sólo o varios ventiloconvectores. Puede ser todo-nada, actuando con parada y arranque del ventilador o también sobre una válvula motorizada que corta el paso del agua; si la válvula es modulante, se logra una regulación continua dentro de los márgenes de actuación de la regulación. **El sistema todo agua con ventiloconvectores es sencillo y económico si bien no resuelve la ventilación.**

1.4.4. Sistemas Agua-Aire

En estos sistemas, a los locales llegan ambos fluidos, realizando cada uno una función, aunque el diseño admite variantes que diferencian unos de otros.

1.4.4.1. Sistemas de inducción

En este sistema, **los aparatos terminales son "inductores", equipos que no poseen ventilador.** El "aire primario" llega a estos inductores a alta presión (generalmente por conductos de alta velocidad) y sale al exterior por unas toberas sobre un estrechamiento (venturi), que crea en el aparato una zona de baja presión que "induce" un cierto caudal de aire del local (secundario), al que se le hace pasar por una batería, por la que circula agua fría; la mezcla de aire primario y secundario es impulsada al local. Generalmente los inductores suelen estar situados perimetralmente sobre el suelo, impulsando el aire verticalmente hacia arriba. La relación de aire primario a secundario suele estar comprendida entre 1/3 a 1/6. El aire primario provee las necesidades de ventilación de los locales, y frecuentemente de la deshumidificación ya que la mayor parte de la carga latente

procede del aire exterior. El aire secundario, compensa la carga sensible a través de la batería por la que circula agua fría, pero a una temperatura prácticamente igual al punto de rocío del aire, con lo que se evita la condensación de humedad. **Este sistema presenta ventajas tales como proporcionar un mejor control de la humedad y de la ventilación; fue ampliamente utilizado en el pasado, y últimamente está cayendo en desuso.**

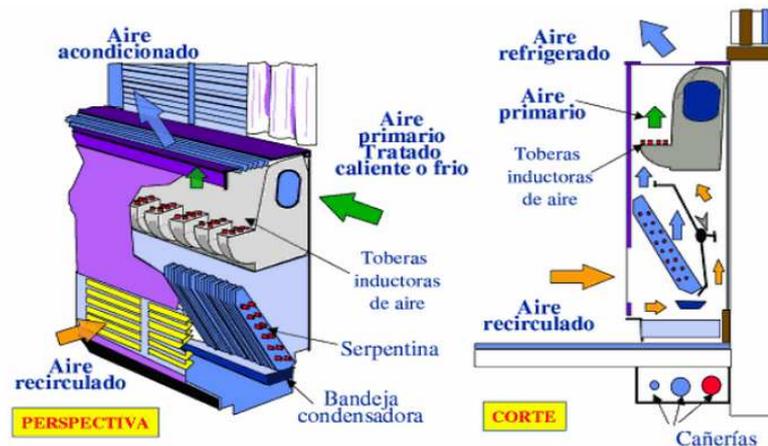


Figura 9. Esquema de un aparato de inducción

1.4.4.2. Sistema de ventiloconvectores con aire primario

Consiste en un sistema a ventiloconvectores como los descritos anteriormente, complementado con un sistema de aire primario. Las soluciones son similares a las indicadas en el caso de sistemas Refrigerante-Agua.

1.4.5. Sistemas todo aire

El único fluido que entra en el espacio acondicionado es el aire. Este aire, proviene del exterior y está ya tratado, es decir, **filtrado, enfriado y deshumidificado**, según las necesidades. El aire puede provenir de una manejadora que a su vez recibe el frío de un productor central (enfriadora de agua), o puede ser un equipo autónomo, que incluye en su interior el sistema de tratamiento de aire y el equipo productor de frío (compresor para expansión directa), o incluso puede ser una manejadora con batería de expansión directa atendida desde un equipo partido. Los sistemas todo-aire, pueden admitir a su vez, las siguientes variantes:

1.4.5.1. Para una sola zona

Sólo existe un local o bien los diferentes locales servidos se considera que tienen siempre la misma carga todos ellos, aunque esto último rara vez se cumple, es frecuente admitir esta imperfección en el diseño, en aras de la economía. La regulación de temperatura puede ser todo-nada, (aportar o no aportar frío), o una regulación continua sobre la temperatura del aire de impulsión o sobre el caudal de éste, y en ambos casos puede ser por actuación sobre el equipo productor (parar o arrancar) o modular (temperatura ambiente, de impulsión, etc). El caudal de aire debe ser el necesario para la máxima carga.

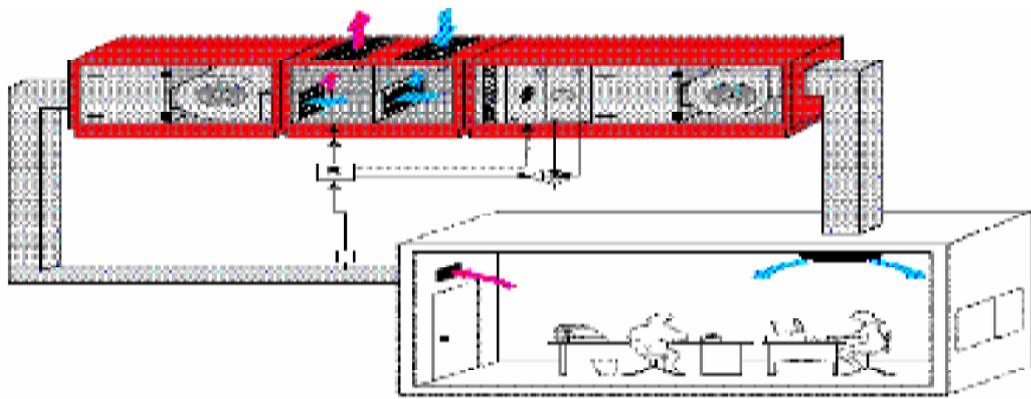


Figura 10. Esquema de un sistema Todo Aire para una sola zona

1.4.5.2. Para varias zonas

Si **el sistema de aire debe servir a varias zonas con cargas distintas**, debe de existir alguna forma de regular la aportación del frío a cada una de ellas según sus propias necesidades. Los sistemas todo-aire, para varias zonas, pueden ser.

- **Sistemas multizona**
- **Sistemas de doble conducto**
- **Sistemas de caudal variable (volumen variable)**

Los **sistemas multizona y de doble conducto tradicionales**, implican frecuentemente la mezcla de aire a distintas temperaturas, lo que es energéticamente gravoso. Igualmente no es posible la aplicación sucesiva de enfriamiento y calentamiento (recalentamiento). Por esta razón, **han caído en desuso**.

Los **sistemas de caudal variable** permiten acondicionar varias zonas con control independiente en cada una de ellas. En los últimos años han experimentado una amplia difusión. **El sistema de volumen variable, permite regular de forma independiente todas las zonas servidas**, el caudal de aire del conjunto deberá ser el correspondiente a la carga máxima simultánea, y no a la suma de las máximas de toda la zona, como suele ser cuando se tratan distintos locales como zona única. El ramal de aire que atiende a una zona, está dotado de un elemento motorizado que modula el caudal que se impulsa a esta zona; cada zona puede constar de una sola salida de aire (rejilla, difusor, etc) o de varias. La modulación del caudal a cada zona puede hacerse de dos modos:

➤ **Por desviación.**

➤ **Por estrangulación.**

La variación por **desviación, consiste en que el elemento regulador, desvía al retorno el caudal no impulsado**. En consecuencia, el sistema es de caudal variable en el local, pero es de caudal constante en el climatizador. La regulación por **estrangulamiento, reduce el caudal en cada ramal, lo que hace que la "característica del circuito total de aire" se modifica**; si no se actúa sobre el ventilador, los caudales de aire que van a otras zonas, se modificarán. Para que esto no ocurra, hay que adaptar el caudal que suministra el ventilador a las necesidades de cada momento. Esto puede hacerse de varias maneras:

➤ **con compuerta en la impulsión**

➤ **con compuerta en la aspiración**

➤ **por variación de velocidad de giro**

La compuerta en la impulsión se emplea poco, pues es la más costosa en energía de accionamiento. La compuerta en la aspiración es más eficiente (en realidad, produce una prerrotación en el aire) y se ha empleado mucho. **Actualmente es ya más frecuente la modificación de la velocidad de rotación del ventilador, por medio de un variador de velocidad por modulación de la frecuencia de la corriente de alimentación al motor**. La señal que se controla es la presión estática a la salida del ventilador, que se mantiene aproximadamente constante, con lo que el caudal que llega a las diferentes zonas apenas es afectado por la modulación de las demás. Una de las cuestiones a tener presente en los sistemas de volumen variable es que, al disminuir el caudal de aire a carga parcial, el

funcionamiento de los elementos de difusión (difusor y rejilla) se ve fuertemente modificado; especialmente en régimen de refrigeración, el aire frío sale a menor velocidad, lo que provoca una rápida caída del chorro, lo cual puede crear molestias a los ocupantes y un deficiente movimiento de aire en el local. **Estas modificaciones en las condiciones de difusión del aire hacen que este sistema esté especialmente indicado en aquellos locales en los que variación de carga no sea grande**, de modo que el caudal de aire no baje nunca por debajo del 50% ó 60% del máximo. Precisamente para conseguir impedir la "caída" de los flujos de aire frío, muchos fabricantes han desarrollado diseños de elementos de difusión, específicamente destinados a sistemas de volumen variable, que consiguen un funcionamiento aceptable con caudales de hasta el 40% del nominal. De la misma manera, existen elementos de difusión, que incorporan en el mismo (rejilla o difusores) el mecanismo de estrangulación de caudal. Por lo que respecta a la regulación, ésta puede ser eléctrica o neumática; algunos fabricantes, utilizan como energía para mover los elementos de desvío o estrangulamiento del aire, la presión del propio aire en los conductos, sin necesidad de aportación de energía externa.

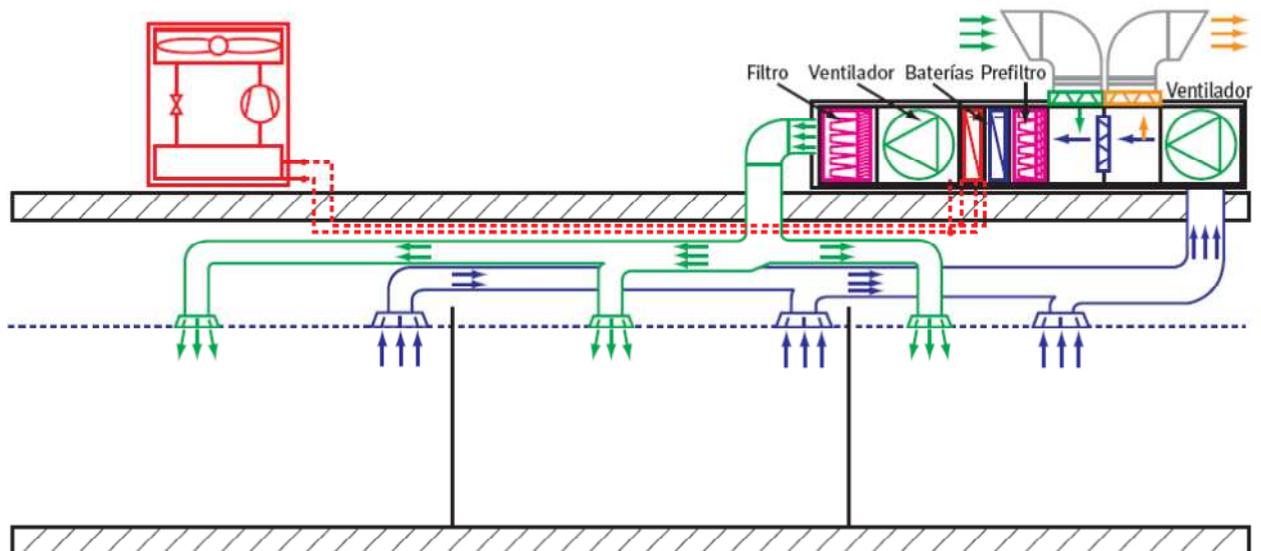


Figura 11. Esquema de un sistema Todo Aire para varias zonas

2. ESTRATEGIAS PARA UN DISEÑO MÁS EFICIENTE

2.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se tratará de analizar las soluciones que se adoptan con más frecuencia en el diseño de instalaciones de climatización, analizando sus ventajas o inconvenientes desde el punto de vista de la eficiencia energética.

Cuando hablamos de estrategias de diseño más eficiente, nos referimos a planteamientos generales que garantizan que la energía se produce con mayor rendimiento, se distribuye con menos consumo asociado al transporte, se aprovecha en lo posible la energía residual, se emplea energía renovable y se ajusta el consumo final en función a la demanda.

Cada problema particular tendrá unos condicionantes que serán los que delimiten las posibilidades a adoptar. Nosotros hablaremos en general y lo aquí comentado, nos servirá para ayudar a decidir el planteamiento que más interese y para justificar la solución que se adopte finalmente.

2.2. SISTEMAS TODO AIRE

En estos sistemas, la energía llega al local a través del aire como fluido calor-portador. Aquí se incluyen fundamentalmente las conocidas Unidades de Tratamiento de Aire y también podemos añadir los equipos autónomos, que si bien no son propiamente un sistema, se considera interesante comentarlos por su gran difusión.

2.2.1. Equipos autónomos

En este tipo de soluciones, la producción de la energía es descentralizada (salvo algunas excepciones que ya comentaremos). En lo que concierne a la producción en ciclo de frío, el índice que mejor nos informará de la eficiencia es el coeficiente EER, en condiciones estándar Eurovent. (Ya se ha comentado la ventaja de exigir la correspondiente certificación Eurovent, como garantía de la fiabilidad de las prestaciones). Para el ciclo de calor, se dispone del COP en condiciones estándar Eurovent. Cuanto mayor sean las demandas de frío o de calor de nuestro problema mayor importancia tendrá un EER alto o un COP alto. En cualquier caso, elegir unos valores mínimos de estos coeficientes, en los equipos referenciados en nuestra especificación, ya establece un objetivo base de eficiencia en la producción.



(Etiquetado que corresponde a equipos certificados por Eurovent)

En concreto, para equipos autónomos de condensación por aire, las condiciones de funcionamiento Eurovent para el cálculo del EER y COP (si bomba de calor), son:

EER: Temperatura seca exterior 35°C. Temperatura interior, seca/húmeda, 27°C/19°C

COP: Temperatura húmeda exterior 6°C. Temperatura seca interior 20°C

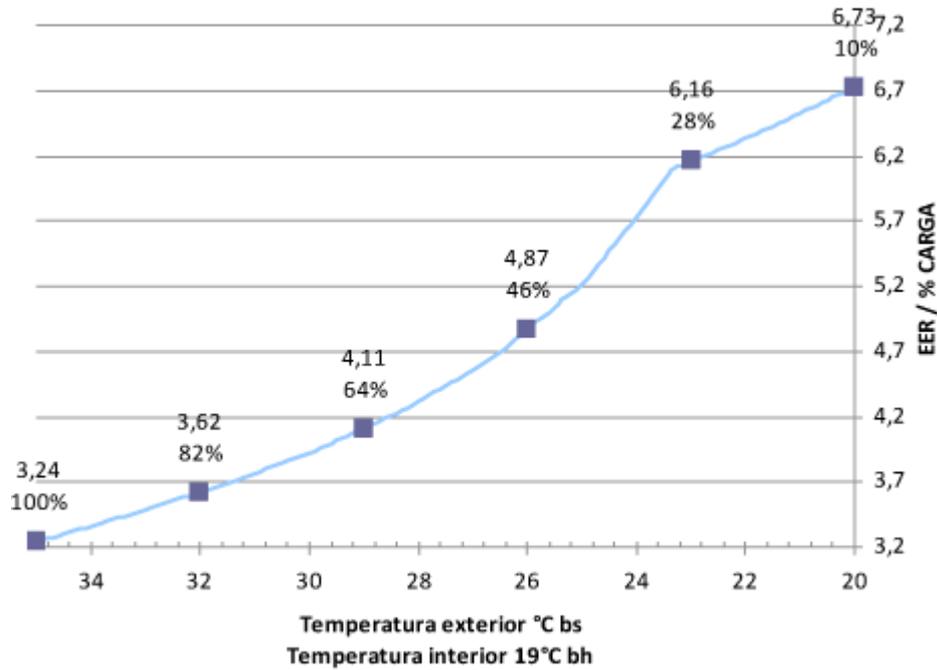
Para equipos autónomos de condensación por agua, las condiciones Eurovent son:

EER: Temp. entrada/salida agua 30°C/35°C. Temp. interior, seca/húmeda, 27°C/19°C

COP: Temp. Entrada agua 15°C. Temperatura seca interior 20°C

En general, podemos afirmar que en estos equipos, la eficiencia mayor la encontramos en los que aplican la tecnología inverter, que permite funcionar al compresor con velocidad variable. Se trata de compresores rotativos o scroll y es importante conocer el campo de funcionamiento del variador de frecuencia. Cuanto mayor es el rango de variación, más amplio es el margen de condiciones de funcionamiento en las que podrá trabajar a baja velocidad, lo que se traduce en una mayor eficiencia estacional. Es decir, que para condiciones de carga parcial, la potencia que entrega el equipo se adapta a la demanda funcionando a menos revoluciones del compresor, lo que permite rendimientos muy superiores. Se recomienda consultar la documentación técnica específica que pueda aportar cada fabricante.

Un ejemplo puede verse en la gráfica de la página siguiente, donde está representada la variación del EER de un equipo inverter, con el porcentaje de carga que se asocia a la variación de la temperatura exterior. Al disminuir ésta, mejora la presión de condensación y en paralelo, al ser menor la demanda de la instalación, se consiguen rendimientos superiores al doble del que se tiene a plena carga.



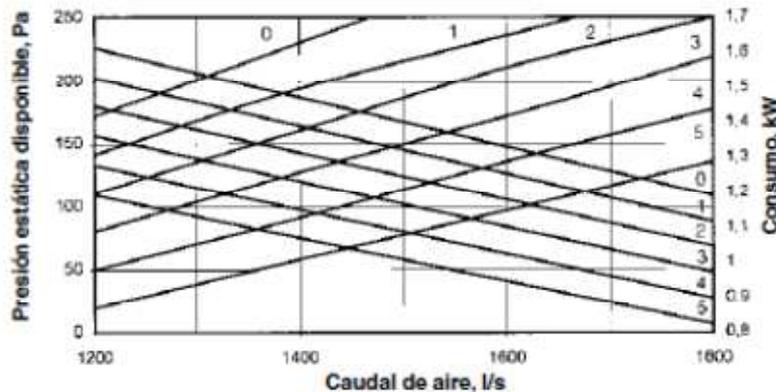
Variación del EER con el porcentaje de carga

Otras consideraciones adicionales, a tener en cuenta, para incrementar la eficiencia en estos equipos autónomos son:

Mejorar en lo posible las condiciones de condensación, previendo distancias, (igual o mayores que las recomendadas en los manuales de instalación), adecuadas para la entrada de aire al condensador. Evitar las recirculaciones de aire de condensación, facilitando la salida del aire al exterior. Preferible el funcionamiento a descarga libre que conducir el aire de condensación (cuando se ubica la unidad exterior en el interior del edificio), ya que el consumo de los ventiladores será menor.

Si son equipos tipo split, procurar la ubicación de la unidad exterior lo más cerca posible de la unidad interior. (Lo contrario disminuye el rendimiento del ciclo frigorífico).

En los equipos diseñados para conducir el aire tratado a través de conductos, la menor pérdida de carga inherente al diseño de éstos disminuirá el consumo del ventilador. Hay casos, en equipos con cierta presión disponible, en que se puede ajustar el punto de funcionamiento del ventilador, normalmente mediante el cambio de poleas o ajuste de la polea regulable. Se ve un ejemplo en la gráfica siguiente:



Curva	Apertura de polea	Estándar r/s
0	Cerrada	19,8
1	1	18,33
2	2	17,58
3	3	16,83
4	4	16,08
5	5	15,33

Curvas de caudal de aire en función del ajuste de la polea

Si la resistencia que ofrece el circuito de ventilación, es inferior a la presión disponible que se tiene en el ventilador, el punto de funcionamiento se desplazará hacia un mayor caudal, con más consumo asociado y probablemente generando ruido innecesario (mayor velocidad en el conducto y en los elementos de difusión). Esto se evita corrigiendo el punto de funcionamiento para obtener el caudal requerido con menos presión disponible. Abriendo la polea regulable se disminuye la velocidad de giro del ventilador.

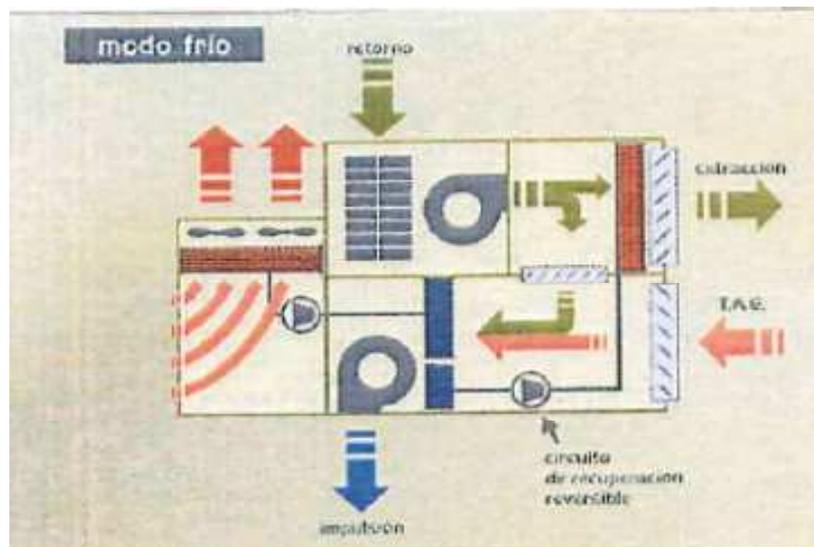
Por ejemplo, si el equipo está diseñado para 1500 l/s y 100 Pa (curva 3), se tiene un consumo de 1,35 Kw. Si el circuito consume sólo 60 Pa, el punto de equilibrio se iría a 1800 l/s con un consumo de 1,6 Kw. Abriendo la polea (curva 5), se consigue el caudal de 1500 l/s, con 60 Pa y un consumo de 1,02 Kw.

Dentro de la tipología de equipos autónomos, los que permiten más opciones que podemos aprovechar para nuestro proyecto son los llamados rooftop, o equipos compactos para cubierta o tejado. Vamos a comentar las que nos parecen más interesantes para nuestro objetivo de mejorar la eficiencia:

- Freecooling. Permite aprovechar las condiciones del aire exterior cuando son favorables respecto al aire de retorno del local. Existen de dos tipos, el llamado de temperatura seca y el entálpico. El de temperatura seca no tiene en cuenta la carga de calor latente que pueda tener el aire exterior. No se recomienda si la ubicación del equipo es cerca de la costa, o de zonas habitualmente con alta humedad. Aparte de obligado por cumplimiento del RITE cuando se superan los 70 Kw de potencia frigorífica, se recomienda hacer una estimación de su posible aplicación para potencias menores. Generalmente será favorable cuando las cargas internas, o la radiación en época intermedia o en invierno, fueren la inversión

térmica. También en aplicaciones con funcionamiento en horas en que las condiciones exteriores sean menores que las interiores del local (habitualmente durante la noche). En los estudios de ahorro energético, no hay que olvidar que el aire introducido en el local por el freecooling habrá que extraerlo por medios mecánicos y supone un consumo de energía adicional, salvo que se haya previsto que se libere el exceso de aire por las puertas y/o compuertas de sobrepresión. (Esta solución minimiza la entrada de aire de infiltración durante el funcionamiento del freecooling). También hay que decir que aunque sea aprovechable el aire exterior, si no es suficiente su energía, para combatir la carga del local, el equipo utilizará alguna etapa de compresores para suplementarla.

- Recuperación de calor. Obligado por cumplimiento del RITE si el caudal de aire exterior es superior a $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ y además se extrae del local por medios mecánicos, es una posibilidad estimable de ahorro energético. Hay que restar al ahorro conseguido en el intercambio de calor el consumo adicional del extractor, que será tanto mayor cuanto más pérdida de carga se produzca en el intercambiador. Hay equipos que disponen de recuperación sólo sensible o total (sensible y latente). Existe una variante adicional ofrecida por algunos fabricantes, en las que el equipo recupera calor del ciclo frigorífico, denominada recuperación activa. Se consigue mediante la incorporación de un circuito frigorífico adicional que aprovecha la energía del aire de expulsión.



Esquema de funcionamiento de la recuperación activa en un rooftop

Al no estar esta solución recogida directamente en el RITE debe justificarse por la vía alternativa de la IT 1.2.2. En este caso la eficiencia se mide por la mejora del EER y COP de los ciclos correspondientes, al favorecer el aire exterior las condiciones de condensación en verano y de evaporación en invierno.

- Incorporación de sondas de CO₂ para control de la ventilación. En la mayoría de los casos los equipos funcionan con el aire exterior ajustado a las condiciones de proyecto más desfavorables. En locales cuya ocupación puede variar sensiblemente, resulta muy conveniente energéticamente ajustar el caudal de ventilación al número de personas. El RITE contempla este control de la calidad del aire interior (IT 1.2.4.3.3). Este es el complemento ideal a la recuperación de calor en este tipo de instalaciones.
- Otras estrategias, como el funcionamiento de freecooling nocturno con locales desocupados, permiten considerables ahorros de energía al permitir que el edificio libere el calor almacenado durante el día.

Hay soluciones que, acopladas a equipos autónomos, conllevan un reparto del aire tratado distribuyéndolo por zonas, de forma que se puede hablar en este caso de producción centralizada. Su funcionamiento se basa en la utilización de controles y compuertas asociadas por cada zona a controlar. La eficiencia de su funcionamiento está asociada al posible ajuste del gasto de energía a la ocupación (compuertas cerradas en zonas desocupadas). En función de las posibilidades que ofrezca el control se puede conseguir otros ahorros, principalmente asociados a la programación automatizada del funcionamiento y a limitación de puntos de consigna. De estas aplicaciones, las que funcionan con caudal variable de aire en las zonas porque utilizan compuertas de acción proporcional, no suelen aprovechar la ventaja de la regulación de caudal en el ventilador de impulsión y recirculan el aire sobrante de las zonas al retorno mediante un bypass. Existen aplicaciones de este tipo que integran equipos con tecnología inverter, caudal variable (selección de varias velocidades), y control proporcional en las compuertas de zona, consiguiendo ahorros en conjunto muy importantes, frente a soluciones convencionales.

2.2.2. Unidades de tratamiento de aire

Al tratarse en este caso de equipos “hechos a medida”, nos permite de algún modo participar en la eficiencia asociada a su funcionamiento, pues definimos las secciones y características de la UTA en cuanto a calidad, prestaciones y limitación de los parámetros que influyen en su rendimiento.

Comenzamos por las características de la envolvente, generalmente panel de tipo sándwich. La norma europea EN 1886:1998 establece los criterios y la clasificación de las envolventes de las UTAS en cuanto a sus características mecánicas (resistencia, estanqueidad y aislamiento).

Mechanical classes in accordance with prEN 1886			
Deflection class	Maximum relative deflection $\text{mm} \times \text{m}^{-1}$	Resistance against maximum fan pressure	Quality
D1	4	Yes	+
D2	10	Yes	↑ -
D3	No requirements	Yes	

Clasificación según la resistencia mecánica

Air leakage classes in accordance with prEN 1886				
Leakage class	Maximum leakage at -400 Pa $\text{l} \times \text{s}^{-1} \times \text{m}^{-2}$	Maximum leakage at +700 Pa $\text{l} \times \text{s}^{-1} \times \text{m}^{-2}$	Maximum filter class acc. to EN 779	Quality
L1	0.15	0.22	Better than F9	+
L2	0.44	0.63	F8-F9	↑ -
L3	1.32	1.90	G1-F7	

Clasificación en cuanto a fugas a presión positiva y/o negativa.

Thermal transmission U according to EN 1886 - 1998 & prEN 1886		
CLASS	HEAT TRANSFER COEFFICIENT [$\text{W} \times \text{m}^{-2} \times \text{K}^{-1}$]	QUALITY
T1	$U \leq 0.5$	+
T2	$0.5 < U \leq 1.0$	↑ -
T3	$1.0 < U \leq 1.4$	
T4	$1.4 < U \leq 2.0$	
T5	No requirements	

Clasificación según el aislamiento

Thermal bridging factor k_b according to EN 1886 - 1998 & prEN 1886			
CLASS	Thermal bridging factor [k_b]		QUALITY
	EN 1886 - 1998	prEN 1886	
TB1	$0.75 < k_b \leq 1.0$	$0.75 \leq k_b < 1.0$	+ ↑ -
TB2	$0.60 < k_b \leq 0.75$	$0.60 \leq k_b < 0.75$	
TB3	$0.45 < k_b \leq 0.60$	$0.45 \leq k_b < 0.60$	
TB4	$0.30 < k_b \leq 0.45$	$0.30 \leq k_b < 0.45$	
TB5	No requirements	No requirements	

Clasificación en cuanto a puentes térmicos

Veamos de cada sección típica en qué podemos actuar para obtener un diseño más eficiente:

- Sección con compuertas. Suelen ser secciones de entrada o salida a la UTA o secciones de mezcla.



Sección de compuertas con álabes opuestos

La caída de presión del aire, con compuertas abiertas, debe ser la menor posible. Aparte, una buena estanqueidad con las compuertas cerradas (cierre con juntas de sellado y solape) minimiza las pérdidas no deseadas. El RITE no plantea límites en la pérdida de presión a través de compuertas.

- Sección de filtros. Los filtros tienen una pérdida de carga intrínseca a su tipología y sobre todo asociada a la cantidad de partículas retenidas (ensuciamiento). El RITE, como referencia, hace mención a la pérdida de carga admitida por el fabricante. Si se prevé algún sistema de alarma e información de la suciedad del filtro se facilita evitar pérdidas de carga mayores de las esperadas y en consecuencia mayores consumos en el ventilador. Suelen ser medidores de presión diferencial (manómetros y presostatos).



Sección de filtros (Bolsa con prefiltro plano)



Presostato

- Sección de baterías de tratamiento. Nos referimos aquí a las baterías de agua y a las de expansión directa. El RITE limita las pérdidas de carga en el aire, a 60 Pa para refrigeración en seco y a 120 Pa para refrigeración con deshumectación. La pérdida de carga en el lado agua no está limitada, pero se recomienda indicar un valor límite inferior a 10-15 m.c.a, lo que puede conseguirse, si es necesario, aumentando el número de circuitos en la batería.

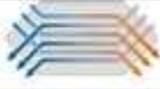
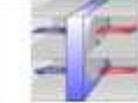


Batería de agua caliente



Batería de agua fría

- Sección de recuperación de calor. Existen básicamente tres tipos. Con recuperadores de placas de flujo cruzado, flujo contracorriente y rotativos. Una clasificación general puede verse en la siguiente figura:

			Eficiencia	Contaminación aire	Dimensiones	Preolo
Flujo Contracorriente			Muy Bueno	Muy Bueno	Depende del caudal	Depende del caudal
Rotativo			Depende de velocidad	Bueno	Muy Bueno	Bueno
Flujo Cruzado			Bueno	Muy Bueno	Depende del caudal	Muy Bueno

	Muy Bueno
	Bueno
	Regular

Características de los recuperadores de calor

El RITE limita la pérdida de carga de 80 Pa a 120 Pa, aunque permite valores superiores en función de las prestaciones del recuperador. De hecho, en la IT 1.2.4.5.2, incluye una tabla con rendimientos mínimos y pérdidas máximas superiores, en función del caudal de aire exterior y del número de horas de funcionamiento de la instalación.

- Sección de atenuadores acústicos. En ocasiones se recurre a dispositivos que reducen el nivel sonoro que generan los motores y ventiladores de estos equipos. Lo mejor es no tener que utilizarlos, ya que siempre conllevan una pérdida de presión, normalmente mayor cuanto más reducen el ruido. Como criterio general se recomienda vigilar la selección del ventilador, a las menores revoluciones posibles, y mantener las velocidades netas de paso, a través de las distintas secciones por debajo de los 2,5 m/s. Además, será favorable dejar un cierto trayecto de conducto, con aislamiento atenuador, a la entrada y salida de la UTA, antes de atravesar el forjado, y que las conexiones se hagan con elementos flexibles. El RITE limita la pérdida de presión en estos dispositivos a 60 Pa, pero admite pérdidas mayores en función de las prestaciones.
- Sección de ventilador. En la selección del ventilador y de su motor asociado es donde se deben ajustar más los criterios de eficiencia, ya que es el principal consumidor de energía. Una vez elegidos los componentes de las demás secciones, se procede a la selección del ventilador y su motor, con los datos de pérdida de carga en el equipo, presión disponible

para el circuito de ventilación y caudal de aire. Hay que tener en cuenta que el rendimiento que interesa es el del conjunto motor-ventilador. Si la transmisión es por correa y poleas se tiene una pérdida adicional intrínseca, que ronda el 10%. Por esta razón es preferible, si se puede, elegir ventiladores con motor directamente acoplado, lo que además resulta más higiénico al no existir desprendimientos de las correas. El RITE limita la potencia específica del conjunto motor-ventilador según la aplicación. Los valores están indicados en la tabla 2.4.2.7 de la IT 1.2.4.2.5. La siguiente figura ilustra un ejemplo de ventilador con motor directamente acoplado:



Ventilador con motor directamente acoplado

Como se comentó en el apartado 2.1, el ajuste del punto de funcionamiento del ventilador es muy importante para no exceder innecesariamente los consumos previstos. Con las unidades de tratamiento de aire todavía cobra más importancia este aspecto, sobre todo por el amplio margen de pérdida de carga que se tiene en los filtros, desde una situación de limpios hasta el límite que se tome como alarma y que obligue a limpiar o cambiar el mismo. Aquí se recomienda el empleo de convertidores de frecuencia para ajuste automático o manual de las revoluciones y en consecuencia del caudal del ventilador, que conlleva un excelente ahorro de energía.

2.3. SISTEMAS TODO AGUA Y MIXTOS

Son aquellos que utilizan el agua como fluido calor-portador (sistemas todo agua), o el agua y el aire (sistemas mixtos). Al haber comentado ya sobre los aspectos que nos interesan en los sistemas todo-aire, nos centraremos ahora en los que afectan a la producción de energía en forma de agua fría y/o agua caliente.

En cuanto a la producción en ciclo de refrigeración, el índice que mejor nos informará de la eficiencia de los equipos es el ESEER, coeficiente de eficiencia energética estacional, según Eurovent. Al estar normalizado, sirve como referencia de comparación entre los diferentes productos que ofrecen los fabricantes. El valor del ESEER se calcula como una media ponderada de los rendimientos a plena carga y a carga parcial, en las siguientes condiciones:

ESEER			
Text°C	Carga %	Tiempo %	EER
35	100	3%	
30	75	33%	
25	50	41%	
20	25	23%	
ESEER kW/kW			

ESEER enfriadoras de condensación por aire

Siendo Text, la temperatura seca del aire de entrada a la batería exterior.

ESEER			
Tagua°C	Carga %	Tiempo %	EER
30	100	3%	
26	75	33%	
22	50	41%	
18	25	23%	
ESEER kW/kW			

ESEER enfriadoras de condensación por agua

Siendo Tagua, la temperatura de entrada del agua a la sección exterior (condensador).

Cálculo del ESSER:

$$\text{ESEER} = \text{EER}_{100\%} \times 0,03 + \text{EER}_{75\%} \times 0,33 + \text{EER}_{50\%} \times 0,41 + \text{EER}_{25\%} \times 0,23$$

Hay otros índices de rendimiento estacional, como el IPLV (Integral Part Load Value), normalizado según ARI (norma americana), que podemos encontrar en alguna documentación técnica.

IPLV			
Text °C	Carga %	Tiempo %	EER
35	100	1%	
26.7	75	42%	
18.3	50	45%	
12.8	25	12%	
IPLV kW/kW			

Integral Part Load Value (IPLV)

Cálculo del IPLV:

$$\text{IPLV} = \text{EER}_{100\%} \times 0,01 + \text{EER}_{75\%} \times 0,42 + \text{EER}_{50\%} \times 0,45 + \text{EER}_{25\%} \times 0,12$$

Es muy importante que fijemos un valor mínimo de estos rendimientos en el proyecto, al representar el valor estacional mucha más información que el rendimiento a plena carga. Salvo en ciertas instalaciones, el funcionamiento a plena carga, ya se ha comentado, se da en un porcentaje de horas muy pequeño.

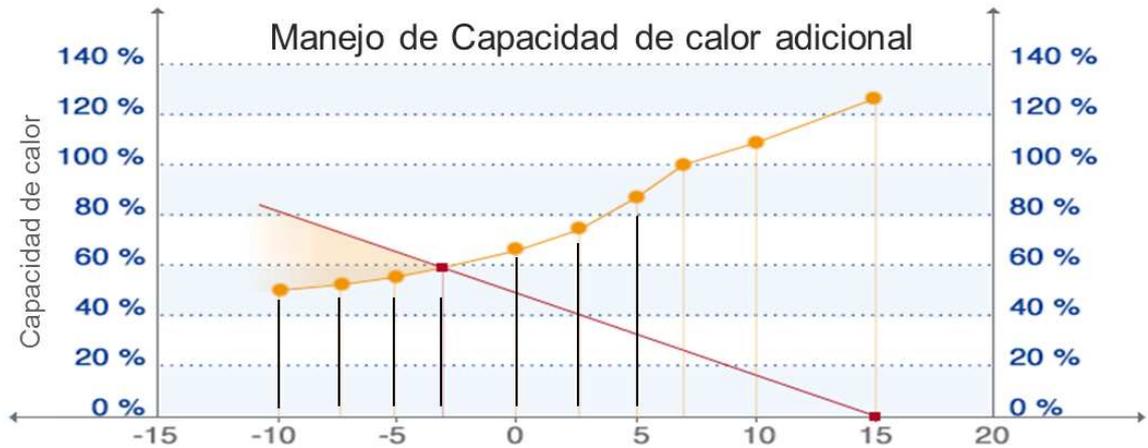
Para la producción en ciclo de calefacción, el índice que nos reporta la eficiencia del equipo generador, cuando es bomba de calor, es el COP, que ya se ha comentado. Aquí no existe, de momento, un parámetro estandarizado para informarnos de la eficiencia estacional, con variaciones a carga parcial. Por tanto, debemos hacer uso de la información del mapa de rendimientos de los equipos, para distintas condiciones de funcionamiento, que los fabricantes deben suministrar. Es importante recordar la conveniencia de utilizar los valores de capacidad calorífica integrada, para tener en cuenta la disminución de rendimiento por los ciclos de desescarche.

Las condiciones estándar Eurovent para bombas de calor aire agua son:

Temperatura entrada/salida agua: 40°C/45°C. Temperatura exterior 7°C /87% HR

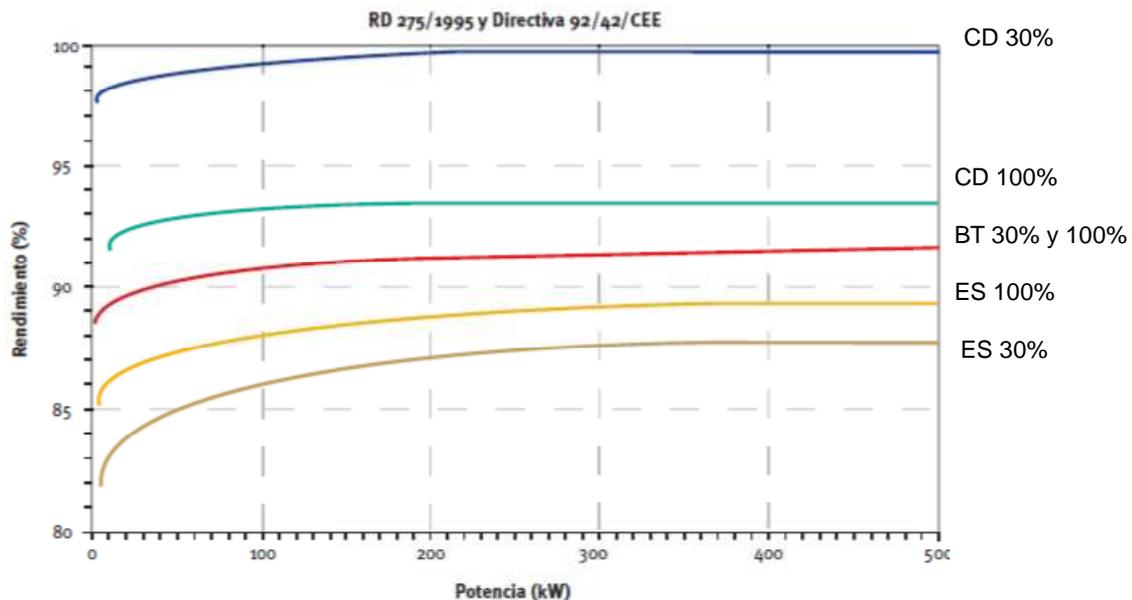
Al ser decreciente el rendimiento de las bombas de calor con la disminución de la temperatura exterior, resulta interesante en climas fríos disponer de otra fuente de energía

para generación de calor, a partir de unas condiciones del ambiente exterior en las que el rendimiento sea bajo. Así mismo, hay que prever una fuente de energía de apoyo en caso de que no se cubra la demanda de calor, situación que se refleja en la gráfica siguiente:



Curva de capacidad calorífica de la bomba de calor frente a carga de calefacción del local

Cuando el generador es una caldera, RITE obliga a cumplir un rendimiento mínimo, a la Temp. media indicada por el fabricante, función del tipo que se trate, caldera estándar (CE), de baja temperatura (BT) o de condensación (CD), al 100% de carga y al 30% de carga, según RD 275/1995. Esto es para calderas con combustibles fósiles líquidos y gaseosos:



Dada la importancia del funcionamiento a carga parcial para el rendimiento medio estacional, se recomienda solicitar al fabricante de la caldera de referencia, los valores de rendimiento desde el 100% al 30% en intervalos de 10%, del conjunto caldera y sistema de

combustión. Con esta información podremos justificar los consumos de energía esperados a lo largo del ciclo de calefacción.

Para calderas de biomasa, se exige un rendimiento mínimo del 75% a plena carga. Este rendimiento es fácilmente superable con la tecnología disponible actualmente, pudiendo llegar a valores superiores al 90%.

Hay que resaltar la conveniencia de trabajar con temperatura del fluido variable en función de la carga, disminuyéndola conforme aumenta la temperatura exterior, consiguiéndose ahorros por menores pérdidas en los circuitos y en la combustión (por menores arranques y paradas del quemador). Esto es sólo factible en las calderas de BT y CD, por tener las convencionales limitada a unos 70°C la temperatura del agua de retorno.

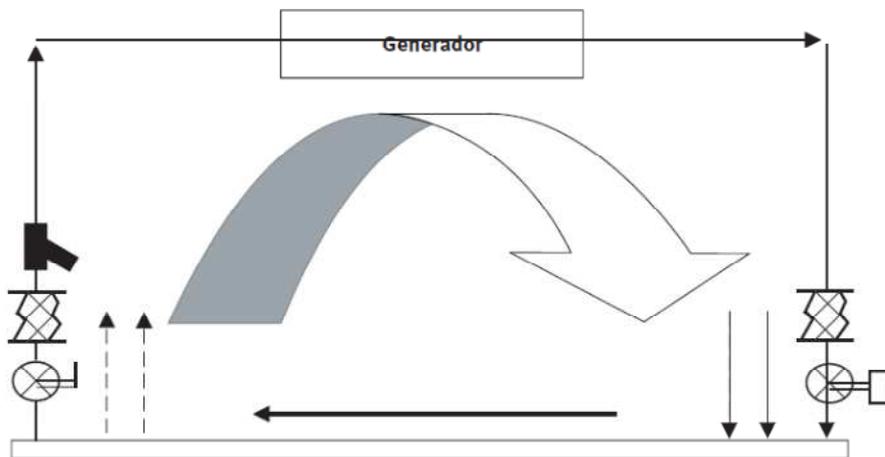
Los generadores de calor con tecnología de condensación, son equipos capaces de ajustarse a la demanda en todo el rango de funcionamiento del equipo y por tanto, los rendimientos estacionales obtenidos son muy superiores. En comparación con calderas convencionales, los ahorros se sitúan entre un 10% y un 15% sobre los consumos de calefacción. En instalaciones antiguas se llega hasta un 30%. Esta tecnología se amortiza en un corto periodo de tiempo, sobre todo, cuando hay un alto consumo de energía. Se ilustra lo anterior en la gráfica siguiente:



2.3.1. Generación de calor y frío

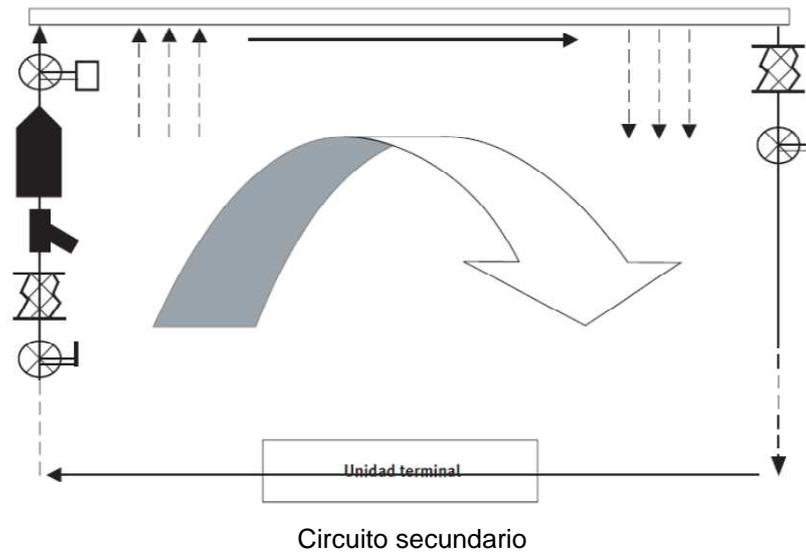
Se dimensionará la potencia de generación en base a cubrir la demanda máxima simultánea, más las pérdidas o ganancias a través de las redes de distribución y el equivalente térmico que restan o aportan los equipos de transporte del fluido.

Con el objetivo de la máxima eficiencia de la generación, se deberá plantear una estrategia de funcionamiento que permita aprovechar el mayor rendimiento del conjunto en cada situación distinta de demanda, contando en cada caso con las unidades y porcentaje de carga parcial individual, que más convenga. Al rendimiento del conjunto es lo que denominan algunos autores como SPLV (System Part Load Value) o rendimiento estacional del sistema. Hay fabricantes que ofrecen soluciones “llave en mano” de este tipo, pero sólo compatibles con sus equipos. Estas estrategias de funcionamiento conducen a sustanciosos ahorros de energía. Se establecen, en general, dos circuitos. Uno primario, con los generadores y sus bombas de circulación asociadas, trabajando contra un colector común, o equilibrador, o bien entre los dos colectores de impulsión y retorno. En este último caso, los colectores deben estar conectados para permitir el transvase de fluido, diferencia entre los caudales de primario y secundario.



Colector común o equilibrador (circuito primario)

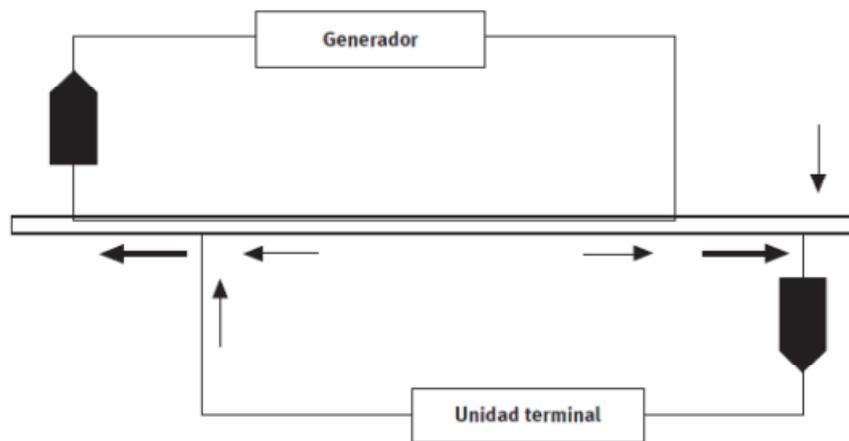
Otro secundario, con los circuitos de bombeo necesarios, trabajando del otro lado del colector equilibrador o de colectores de impulsión y retorno. El criterio empleado en la división de los circuitos secundarios es muy importante en el posible ahorro de energía, para no distribuir innecesariamente el fluido calor-transportador a zonas cuando no haya demanda.



En los esquemas anteriores, por simplicidad, sólo está representado un circuito primario y uno secundario, pero se tendrán tantos como sea necesario.

Es interesante que el grupo de producción trabaje con una señal de temperatura común, que sirva para todos los equipos, y colocada en el colector antes del primero de los circuitos secundarios. Se supone también que las enfriadoras trabajan con control sobre la temperatura de impulsión, dato este muy importante para el buen funcionamiento de las unidades terminales.

Además, para que se haga la mezcla de corrientes de forma adecuada (casos de exceso de caudal en el circuito primario, o exceso de caudal en el circuito secundario), la disposición de las entradas y salidas de los circuitos en el colector equilibrador debe ser como sigue:



Colector equilibrador (circuitos primario y secundario)

Respecto a la selección de tamaños de los equipos de generación, el RITE obliga a instalar un sistema que cubra la demanda mínima esperada durante un día, en caso en que esa demanda mínima sea menor que el límite inferior de parcialización del grupo de producción. Además, si se tiene equipos con bajo rendimiento a baja parcialización, se recomienda seleccionar un equipo de potencia apropiada para funcionar con buen rendimiento a baja carga. Esto también habrá que tenerlo en cuenta cuando se diseñe la estrategia de arranque y parada de los equipos en función de la demanda.

2.3.2. Cogeneración

La cogeneración es una técnica que permite producir calor útil y electricidad en un único proceso mediante turbinas o motores de combustión interna, empleando como energía primaria incluso fuentes de energía renovable o residual, además de los combustibles tradicionales.

La generación de energía eléctrica “in situ”, fomentada por la Directiva 2004/8/CE (véase el RD 616/2007), es muy ventajosa porque permite una reducción importante de las pérdidas de energía eléctrica en la red de transporte, (en grandes redes puede llegar a un 30%) y el aprovechamiento de la energía térmica de refrigeración del aceite lubricante, de la camisa del motor y de los gases de escape (calor útil). El rendimiento energético global de las centrales de cogeneración puede alcanzar un valor del orden del 90%. El calor recuperado puede servir para satisfacer las necesidades de calefacción y refrigeración, éstas últimas mediante máquinas de absorción. En este caso se denomina Trigeneración (electricidad + frío + calor). Para maximizar la recuperación de calor y, al mismo tiempo, alargar las horas anuales de funcionamiento, es necesario almacenar energía térmica, en forma de calor o frío.

Esquema de funcionamiento de una coenergación

GENERACIÓN MEDIANTE UNA PLANTA DE COGENERACIÓN



Balance aproximado de energía de una planta de cogeneración

Existen en el mercado equipos pequeños y con un nivel sonoro aceptable, que alcanzan solamente pocos kW de potencia eléctrica. Estos equipos suelen ponerse en paralelo y acoplarse a sistemas de acumulación de agua caliente, con el fin de aumentar las horas anuales de funcionamiento. Cuando se necesita parcializar, los equipos funcionan de forma escalonada, en modo todo-nada. A esta tecnología se le llama micro-cogeneración. Pueden emplearse en edificios de viviendas para cubrir las necesidades de agua caliente sanitaria y, parcialmente, de calefacción, sustituyendo, ventajosamente, los sistemas de paneles solares térmicos.

Los equipos de unos centenares de kW de potencia eléctrica se denominan sistemas de mini-cogeneración. Estos equipos compiten ventajosamente, tanto desde el punto de vista técnico como económico, en edificios de viviendas con una solución basada en paneles solares térmicos más calderas de gas o gasóleo.

Los equipos de potencias de más de un megavatio se suelen emplear para grandes centrales urbanas.

2.3.2.1. Microturbinas

Dentro de los sistemas de micro y mini cogeneración están los equipos denominados micro turbinas, que según el combustible utilizado, podemos encontrarlas de gas y de vapor.

Las micro turbinas de gas son turbinas de combustión de tamaño pequeño, con potencias que actualmente se sitúan entre 28 y algo más de 200 kW. Están dotadas de generadores

de alta velocidad de imán permanente que pueden girar a la misma velocidad que la turbina de gas, con lo que pueden acoplarse directamente sin necesidad de disponer de un reductor o multiplicador de velocidad. Según el tipo de ciclo termodinámico utilizado las hay de ciclo simple y regenerativo.

En las de ciclo simple, se mezcla el aire comprimido con el combustible y se hace la combustión bajo condiciones de presión constante. Las unidades de ciclo regenerativo usan un intercambiador de calor, con la finalidad de recuperar calor de la corriente de salida de la turbina y transferirla a la corriente de entrada del aire. Esto permite ahorros de combustible entre el 30% y 40%. El hecho de combinar las micro turbinas con equipos de recuperación de energía para transferir el calor al aire de combustión provoca que en estos sistemas pueda llegar a doblarse la eficiencia eléctrica de la micro turbina.

Como ejemplo, podemos ver en la siguiente figura los datos de funcionamiento de una pequeña micro turbina de gas:

Microturbina de gas	
Potencia eléctrica	28 kW
Consumo de gas natural	113 kW
Caudal de gases de escape	0,31 kg/s
Temperatura de gases de escape	271°C
Recuperación de calor	
Potencia térmica recuperada	60 kW
Temperatura agua de entrada	60°C
Temperatura agua de salida	80°C

Los gases de escape de las micro turbinas de gas son generalmente de alta calidad, dado que se encuentran a alta temperatura y libres de aceites. Ello los convierte en un sistema ideal para combinar con equipos de refrigeración para absorción de alta eficiencia (doble efecto) para la producción de frío y, también, para aplicaciones en los invernaderos.

Existen soluciones tecnológicas apropiadas para garantizar el suministro eléctrico y energético, como la micro-trigeneración con turbinas de gas, que ofrece la posibilidad de generar de forma simultánea la electricidad, el calor y el frío necesarios para la correcta climatización de un edificio durante todo el año con ahorro energético y garantía de suministro (con aplicaciones en centros neurálgicos de bancos, hospitales, universidades, etc.)

En la siguiente fotografía se puede ver ejemplo de una instalación, en la Universidad de Toronto, con este tipo de equipos, alcanzándose un rendimiento energético global de más del 80%.



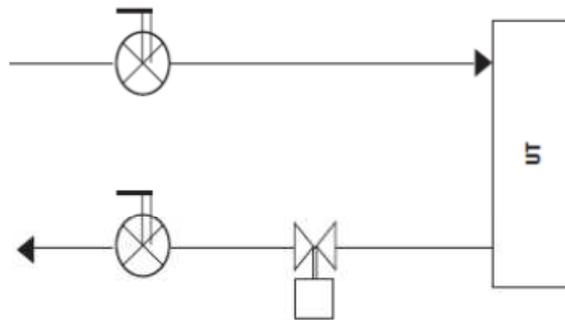
Instalación de trigeneración con turbinas de gas

Aplicaciones con micro turbina de vapor, aprovechan vapor a presión procedente de procesos industriales o de un circuito de distribución urbana (district-heating), producen energía eléctrica y aprovechan la electricidad para alimentar plantas frigoríficas de alta eficiencia y el vapor a baja presión para alimentar enfriadoras de absorción.

Por último comentar que existen dispositivos que actualmente se utilizan para producir energía eléctrica, de forma limpia y con elevado rendimiento, como son las pilas de combustible, y en las que se obtiene calor residual para otros servicios. Las más conocidas son las pilas de hidrógeno, donde se mezcla éste con oxígeno del aire en un electrolito para formar agua, creándose energía eléctrica y calor, con la ventaja adicional de que su funcionamiento es silencioso.

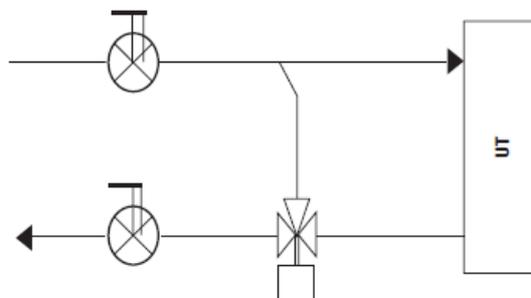
2.3.3. Equipos de bombeo

Ya se comentó, al igual que con los ventiladores, el gran ahorro de energía asociado a vehicular el fluido calor-transportador en función de la demanda, es decir, a trabajar con caudal variable. En el caso que nos ocupa se puede hablar de caudal variable en el primario, en el secundario o en ambos circuitos. El caudal variable en el circuito secundario, obliga a trabajar con válvulas de regulación de dos vías en las unidades terminales, que generalmente, a partir de cierta potencia, serán de acción proporcional.



Unidad terminal con válvula de control de dos vías (caudal variable)

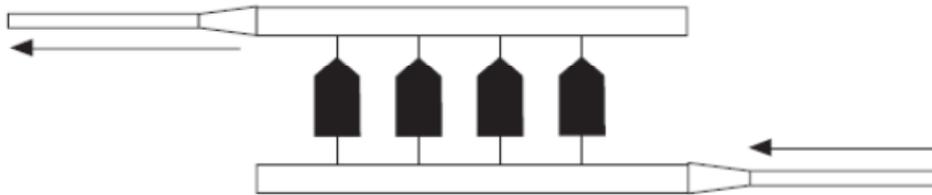
Otra posibilidad consiste en utilizar válvulas de tres vías de acción proporcional. En la figura está representada una de tipo mezcladora, pero en este caso el caudal será constante en el secundario, aunque variable en la unidad terminal:



Unidad terminal con válvula de control de tres vías

Lo preferible es emplear variadores de velocidad en las bombas, que además servirá para ajustar el punto de funcionamiento de las mismas, aunque hay veces que se eligen bombas de varias velocidades o incluso se acude a soluciones con bombas en paralelo para conformar grupos de bombeo de varias etapas. Hay que vigilar que los caudales mínimos que se planteen sean compatibles con los límites establecidos por los fabricantes de las bombas, para permitir su adecuada refrigeración.

Si se opta por el funcionamiento en paralelo con varias bombas, el equilibrio hidráulico del circuito se consigue disponiendo las bombas como indica la siguiente figura:

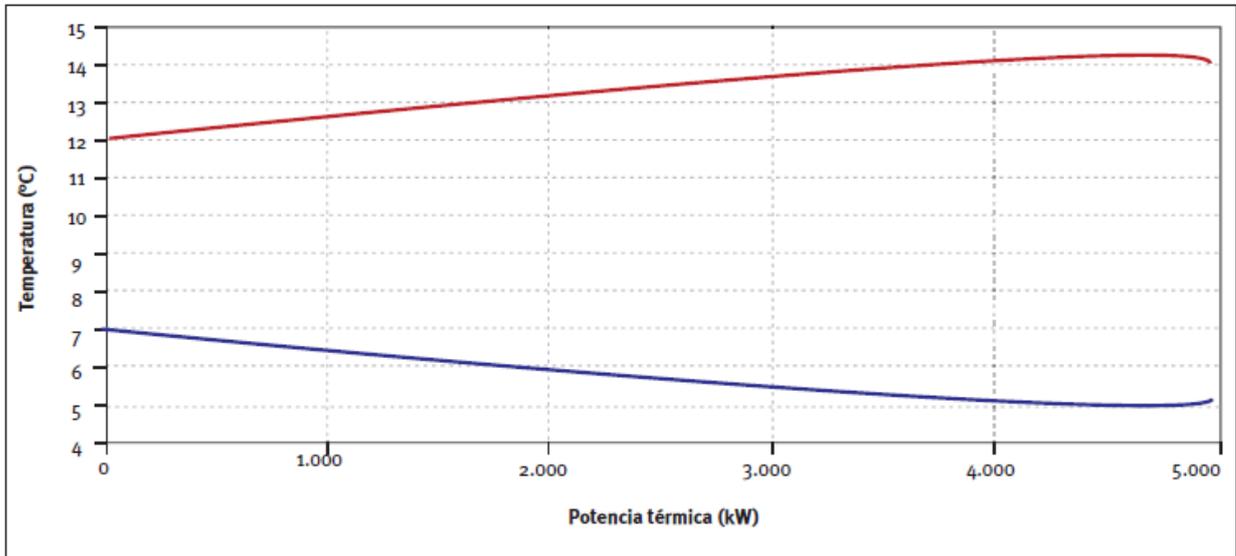


Esquema de conexión de bombas en paralelo

El diseño con caudal variable en el primario, exige conocer muy bien las limitaciones de caudales en los equipos a que obligan los fabricantes. La potencia producida debe ser variable, en la misma proporción que el caudal, si se quiere trabajar con saltos térmicos constantes. Por ello idóneo es que la parcialización sea grande (muchas etapas) o mejor continua (sistemas con compresores de velocidad variable), para aplicaciones con caudal variable por máquina en el primario.

Estrategias de funcionamiento de los equipos, variando la temperatura de consigna en función de la temperatura exterior, (con caudal constante), conllevan ahorros de energía por mejora de rendimiento de los generadores. Conviene comprobar los rendimientos sensible y latente de las unidades terminales, en la nueva situación, por si no se adapta la nueva prestación a la demanda. Sobre todo teniendo en cuenta que al subir la temperatura de entrada del agua a las baterías, aumenta el factor de calor sensible (disminuye la capacidad latente de la batería). La variación de la consigna con la temperatura exterior, es sencillo de implementar si está contemplado, como posibilidad programable, por el sistema de control del propio equipo.

También se recomienda, en grandes instalaciones sobre todo, recurrir a diseños de funcionamiento con saltos térmicos más altos. Por ejemplo, pasar del clásico 7°C-12°C a 6°C-13°C ó 5°C-14°C. Se incluye la gráfica siguiente a modo orientativo:



Propuesta orientativa de trabajo con salto térmico en función de la potencia

La disminución en el rendimiento de los equipos queda compensada, con creces, por el menor consumo debido a la diferencia de caudal. En cuanto a las pérdidas, se puede decir que quedan compensadas por el aumento en el recorrido de impulsión y la disminución en el de retorno.

Por debajo de 5°C, los fabricantes recomiendan añadir sustancias anticongelantes para evitar posible formación de hielo en los evaporadores. Si se hace así, hay que tener en cuenta que disminuye la prestación frigorífica y aumentan los consumos del equipo y del sistema de bombeo.

Esta estrategia no es válida para cuando se trate de equipos de absorción, los que disminuyen drásticamente su rendimiento al bajar la consigna de salida del evaporador y además no admiten generalmente temperaturas de salida inferiores a 5°C.

2.3.4. Condensación por agua o por aire

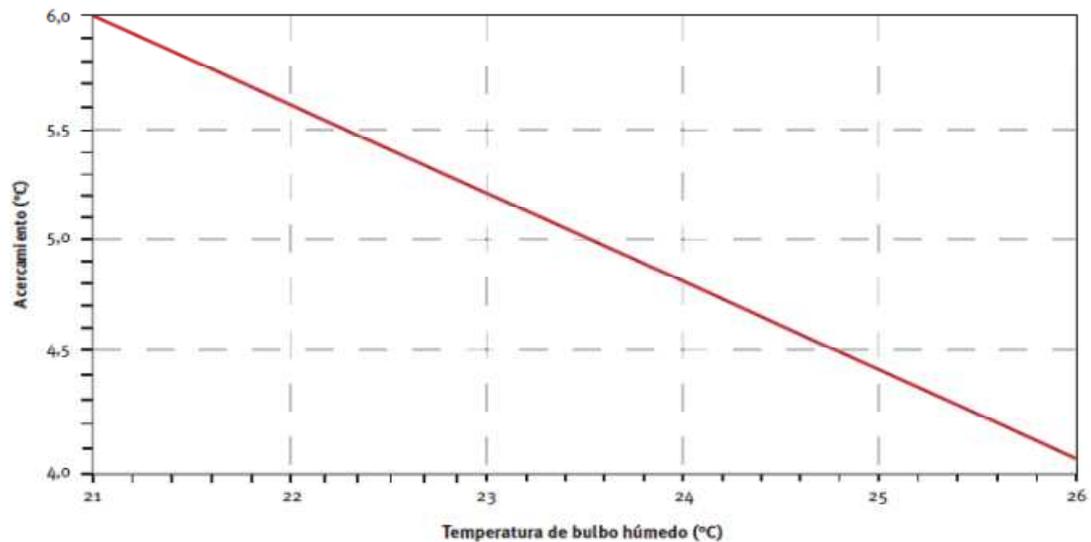
Desde un punto de vista de eficiencia, estrictamente pensando en la eficiencia del ciclo frigorífico, la condensación por agua permite trabajar a los equipos con presiones menores y en consecuencia con mejor rendimiento. De cualquier manera, cada caso debe estudiarse por separado y no podemos dar una afirmación válida para todos, aunque la reflexión que

hagamos después de este apartado nos dará bastante información para después elegir lo que más conviene.

En la decisión a tomar sobre el tipo de condensación a emplear se suelen tener en consideración diversos factores:

- Tamaño de la instalación. En general podemos decir que la condensación por agua no se suele utilizar por debajo de una determinada potencia, aproximadamente unos 300-400 kW. Aquí hay que descontar las instalaciones de geotermia, que emplean agua del subsuelo, bien en directo o bien con intercambiadores en el terreno. En estos casos pueden ser sensiblemente menores.
- Espacio disponible en el edificio. Si se utilizan torres de refrigeración, seguramente necesitaremos más espacio, ya que habrá que ubicar éstas en la cubierta y los grupos de producción en sala de máquinas en el interior.
- Gasto de agua. Si se emplean torres de refrigeración hay que tener en cuenta que habrá un gasto de agua, debido a tres factores principalmente que son, la evaporación inherente al intercambio térmico entre el aire y el agua, las fugas por arrastre de gotas (< 0,05% según UNE100030) y la purga de agua del circuito, que debe hacerse para mantener las concentraciones de sólidos en caso de que no se empleen aditivos. De todos, el que es más importante es la evaporación, que puede estimarse (litros/h) como la potencia en Kcal/h de la torre dividida por el calor latente de vaporización del agua a 30°C.
- Problemas asociados a la bacteria Legionella. Aunque existe una normativa actualizada al respecto (RD 865/2003) que establece los criterios y actuaciones para prevenir y controlar la legionelosis, algunas Propiedades son remisas a la utilización de torres de recuperación para evitar el riesgo, que no debe existir, si se cumple lo estipulado y se mantiene correctamente la instalación.
- Climatología. La ventaja principal de la utilización de agua es que permite mantener temperaturas de condensación 10°C-11°C por encima de la temperatura de salida de la torre (dependerá de los caudales de trabajo en el condensador y en la torre), estando ésta última relacionada con la temperatura húmeda del aire ambiente. (Se llama aproximación, o acercamiento, a la diferencia entre la temperatura de salida del agua de torre y la temperatura de bulbo húmedo del aire). Cuanto menor sea la humedad relativa ambiente (mayor diferencia entre la temperatura seca y la húmeda del aire), más interesante será

emplear agua para condensación, y mejor se justificará energéticamente la elección a falta de otras consideraciones. La aproximación para seleccionar la torre incidirá en la eficiencia del funcionamiento, por lo que se acaba de explicar. No se suelen utilizar valores por debajo de los 3°C, por llevar a tamaños muy grandes y no ser justificable la inversión. La gráfica siguiente puede utilizarse a modo orientativo:



Propuesta orientativa de acercamiento en la torre en función de la temperatura húmeda

En cuanto al tipo de torre, se empleará con preferencia las de tiro inducido (ventilador aspirando de la torre) y con motores de bajo consumo. Para optimizar la eficiencia del conjunto torre-condensador, se variará la temperatura de consigna de la torre conforme baje la temperatura húmeda ambiente, hasta el límite recomendado por el fabricante de la maquinaria frigorífica. Esto se hará empleando variadores de velocidad en los ventiladores (preferentemente) o actuando sobre las etapas/velocidades del ventilador.

Aparte de estas consideraciones, haciendo una simulación energética del funcionamiento de los equipos (grupos de producción, bombas y torres) en los dos casos de condensación por agua o por aire, será la siempre mejor forma de comprobar que nuestra elección es la más eficiente.

2.3.5. Aislamiento térmico en conducciones

Estamos obligados a aislar las conducciones (tuberías, conductos de aire, depósitos y equipos) para no superar un máximo de pérdidas al vehicular los fluidos calor portadores. El RITE obliga a que las pérdidas por este concepto sean inferiores al 4% de la potencia

transportada. Aunque los espesores de aislamiento deberán ser mayores cuando la conducción transcurre por el exterior, debemos procurar que el recorrido en lo posible se haga por dentro del edificio, alejado de fuentes de calor, para minimizar las pérdidas.

Estrategias como utilizar temperatura de impulsión variable con la temperatura ambiente exterior, permite ahorros en pérdidas por conducciones, haciendo que éstas sean proporcionales a la demanda y disminuyendo las que son debidas a la disponibilidad del servicio.

Comentar aquí la idoneidad de dimensionar los depósitos de inercia a lo estrictamente necesario, tratando de evitar volúmenes exagerados. Sobre todo si la instalación es de funcionamiento intermitente y aunque esté bien aislada, se gastará energía para compensar esas pérdidas cada vez que se arranque.

2.3.6. Recuperación de energía

En los sistemas mixtos de condensación por agua, el RITE plantea que se diseñe el circuito de forma que sea posible el enfriamiento gratuito mediante el uso de torres de refrigeración. Al ser conveniente mantener limpio el circuito, se obliga a usar torres de circuito cerrado, donde el agua no está en contacto con el ambiente y el enfriamiento es del tipo indirecto. Esto será viable si se tiene demanda de refrigeración con temperaturas exteriores bajas, lo que no suele ser frecuente. Ya se comentó en un capítulo anterior que existen soluciones en el mercado, que posibilitan el freecooling de la enfriadora sin recurrir a torres de refrigeración. En caso de usar torres, hay que prever la protección anti congelación del circuito, con aditivos al agua o calentadores de tuberías (ojo con la energía adicional consumida en este caso).

En los sistemas mixtos de condensación por aire, el RITE plantea utilizar una batería en serie con el evaporador y desviar con una válvula el fluido a esa batería para intercambio con el aire ambiente y enfriar el agua total o parcialmente, de forma gratuita, antes de pasar por el evaporador.

En las instalaciones que tengan demanda simultánea de frío y de calor, aunque éste no sea para climatización, resulta muy rentable aprovechar el calor residual de la condensación, incorporando opciones de recuperación de calor en la enfriadora. Ya se ha visto en capítulo anterior que se puede recuperar parte del calor o todo el calor de condensación, según sea la opción elegida, y que se tendrán que contabilizar los consumos de los equipos de bombeo

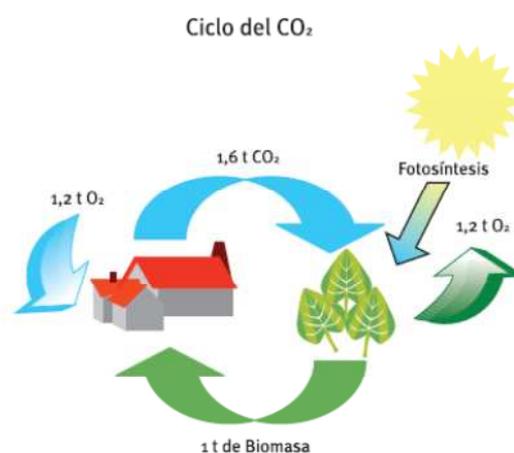
adicionales. También hay que observar que las condiciones de trabajo de los equipos de producción pueden ser diferentes, con peor rendimiento frigorífico, para mantener niveles apropiados de temperatura del agua en la recuperación.

2.3.7. Aprovechamiento de energías renovables

La consideración de energía renovable se aplica a la que proviene del sol, sea para aprovechamiento térmico o fotovoltaico, la eólica, la biomasa, la geotermia y la hidráulica. Para nuestro curso, en principio, las que tendremos en consideración son la solar térmica, la biomasa y la geotermia, por razones de amplitud del mismo.

El empleo de energía solar térmica está incluido en el Código Técnico de la Edificación, para producción de ACS (Documento HE4). Se establece obligatoriamente una contribución mínima, en función a la zona climática y al consumo de agua, que puede ser sustituida por otras técnicas que utilicen energías renovables como la biomasa o recuperación de calor residual como ya se ha comentado en la cogeneración, condensación de enfriadoras..., etc. En cualquier caso habrá que justificar que la producción anual de CO₂ del método elegido no supera a la que corresponde al sistema exigido por el CTE o se tomen medidas que supongan un ahorro energético equivalente al obtenido por la solución con energía solar.

El uso de la biomasa tiene la ventaja de que está considerada como cero emisiones de CO₂, ya que se supone compensada la emisión correspondiente a la combustión con la eliminación durante su vida como materia orgánica (esto se conoce también como “ciclo neutro de CO₂”). Actualmente, las aplicaciones con más difusión son la calefacción en pequeñas calderas domésticas, calderas en instalaciones industriales (industria agroalimentaria) y alguna instalación urbana centralizada (district heating).



También hay ejemplos de instalaciones, combinando la caldera de biomasa con planta enfriadora de absorción por agua caliente. El gran inconveniente, aparte de la inversión inicial, es tener que disponer de espacio suficiente para almacenamiento del combustible, la eliminación de los residuos y facilitar el traslado hasta el punto de consumo.

El uso de la geotermia que está más a nuestro alcance es la se denomina de baja temperatura, y que permite aprovechar las condiciones de temperatura del subsuelo, como foco de energía para ceder o absorber calor. Existen aplicaciones con poca difusión y uso limitado, que consisten en enterrar el intercambiador condensador- evaporador para eliminar- captar calor en el ciclo frigorífico. Son instalaciones pequeñas y necesitan disponer de una superficie al exterior considerable para llevarse a cabo.

Lo más habitual es disponer de un intercambiador por el que circula un fluido (generalmente agua con o sin anticongelante), y que se coloca debajo del terreno de forma horizontal o vertical. El fluido se hace circular por el intercambiador del terreno y después por un intercambiador en paralelo con el grupo frigorífico geotérmico. La energía captada o cedida al terreno es la que necesita el grupo frigorífico para calentar o enfriar la instalación que se trate. Estas aplicaciones son las llamadas de circuito cerrado y permiten conseguir rendimientos altos y muy estables de los grupos frigoríficos, al variar poco la temperatura del terreno (se puede considerar constante durante todo el año entre 10m y 100m de profundidad). Hay que resaltar que, para no saturar el terreno, debe estar compensada la energía que se cede con la que se capta del suelo. Si no se da esta circunstancia conviene apoyar la instalación con otro sistema, que funcione el tiempo necesario para conseguir acercarnos el citado equilibrio energético.

Las aplicaciones en las que se aprovecha el agua subterránea son las llamadas de circuito abierto. El agua del subsuelo se hace pasar en directo por el intercambiador en paralelo con el grupo frigorífico geotérmico. El método práctico consiste en hacer dos perforaciones con suficiente separación, una para tomar el agua de entrada al intercambiador y otra para inyectar el agua de salida.

2.4. SISTEMAS TODO REFRIGERANTE

Los sistemas todo refrigerante o también llamados de flujo variable de refrigerante, se han extendido ampliamente por reunir una serie de características, entre las que están la eficiencia de funcionamiento y el ahorro asociado a su configuración de múltiples unidades terminales. Encontramos cada vez más, instalaciones de mediana y gran potencia, que se

resuelven con estos sistemas, lo que hasta hace poco no era frecuente, seguramente por los límites asociados a las longitudes de líneas, diferencias de altura admisible entre las unidades exteriores y las interiores y quizá también, la inversión inicial intrínseca a esta tecnología, que ha ido cambiando con el tiempo.

Cuando elijamos un sistema VRF para nuestro proyecto, debemos acceder a la documentación técnica interna, que debe disponer todo fabricante, donde podremos ver con detalle el funcionamiento de los grupos exteriores en diferentes condiciones. En el mercado hay bastante diferencia en cuanto a la tecnología inverter que emplean unos y otros (escalones de frecuencia, tipología de compresor, rango de variación del inverter y número de compresores con velocidad variable). Esa diferencia se plasma en el comportamiento de los grupos exteriores a carga parcial, que es básico para conseguir un funcionamiento eficiente durante todo el ciclo.

Otro detalle que debemos consultar son los consumos asociados a los ventiladores de las unidades interiores. Aquí podemos encontrar diferencias que, aplicadas al número de horas de funcionamiento y al número de unidades interiores, suponen gastos de energía nada despreciables.

Aunque ya se dijo en otro capítulo, recordamos las pérdidas de energía asociadas a las longitudes de las líneas frigoríficas, que debemos tener en cuenta para la selección de los equipos y en nuestra justificación de la solución desde la perspectiva de la eficiencia.

Por último, comentar que hay nuevos avances que se refieren a la regulación de la temperatura de impulsión, en función de la temperatura exterior. Esto es parecido a lo que ya se vio para los sistemas mixtos aire agua y se traduce en ahorros de energía en el funcionamiento a carga parcial, al permitir que mejoren las condiciones de evaporación y condensación y por tanto el rendimiento del ciclo frigorífico.