



IMPULSO A LA REVOLUCIÓN DEL BAJO CONSUMO  
CON UN NUEVO SISTEMA PREDICTIVO

# Tecnología para **control** y **eficiencia** energética en enfriadoras y bombas de calor

El mercado propone soluciones que promueven la construcción sostenible en términos de eficiencia energética, de acuerdo con los requisitos de la "arquitectura verde". Son sistemas diseñados con la tecnología que permite reducir la necesidad de energía de la instalación HVAC, pero sin perjudicar el confort del edificio al que da servicio.



**A**daptative Function Plus es un software de control tipo predictivo, creado gracias a la colaboración con los departamentos de Física Técnica y de Ingeniería de la Información de la Universidad de Padua. La nueva lógica permite que el grupo frigorífico aprenda desde la instalación los datos sobre la carga y la inercia de la misma, elaborando y optimizando los parámetros para reducir el consumo energético de las enfriadoras y bombas de calor.

Tradicionalmente, la lógica de control de las enfriadoras de agua y de las bombas

de calor ha ignorado la dinámica de la carga de la instalación. En su lugar, regulaban su funcionamiento en función de la temperatura de agua de retorno con el fin de mantener constante el funcionamiento de la enfriadora o de la bomba de calor.

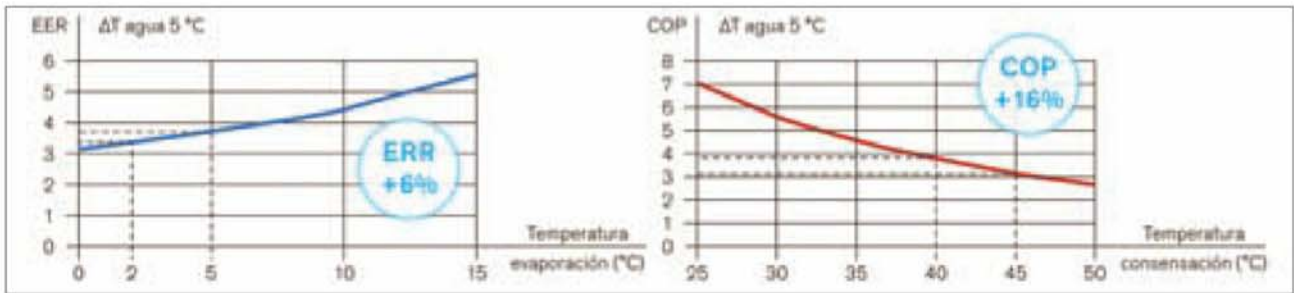
La lógica de regulación de la unidad de refrigeración ha tenido cuatro fases históricas:

**Hasta 1990**, la regulación electromecánica no estaba en disposición de proteger la unidad de refrigeración, necesitaba actuar externamente trabajando sobre la inercia de la instalación o sobre el contenido de agua, imposibilitando regular el diferencial del compresor, por lo que el control de la temperatura de impulsión era totalmente insuficiente.

**En 1990** se da entrada a la electrónica junto con el microprocesador, incorporando una serie de ventajas tanto desde el punto de vista de protección

de la unidad de refrigeración como de la precisión, llegando a controlar dos aspectos fundamentales: número máximo de encendidos del compresor que variará en función de la inercia de la instalación y del porcentual de funcionamiento, y horas de funcionamiento del compresor. Esta regulación impedía al compresor realizar dos arranques en un mismo intervalo de tiempo, aunque se empezaba a obtener una cierta precisión en el control, permitiendo mediante el microprocesador cambiar el diferencial para adaptarlo al salto térmico del evaporador con el objetivo de disponer de una regulación óptima al menos en las condiciones nominales. El límite se centraba en el error que se podría llegar a producir al tener que introducir manualmente el valor del diferencial.

**En 2000** se incorpora un nuevo concepto, el sistema autoadaptativo. El microprocesador aprende durante el funcionamiento de la instalación, mejorando tanto la protección de la unidad de refrigeración como la precisión del control actuando principalmente sobre el diferencial. En este caso se centra también en el aspecto que nos faltaba, el tiempo mínimo de arranque del compresor.



↑ Figura 1. La eficiencia de una máquina está íntimamente ligada a las temperaturas de salida del agua del evaporador (enfriadora) y del condensador (bomba de calor).

La lógica autoadaptativa mide siempre el salto térmico del evaporador y marca el diferencial, eliminando el error humano, permitiendo controlar la temperatura media de impulsión. Esta precisión existe solamente si la inercia de la instalación es suficientemente elevada, adaptándose a la variación de las condiciones, aunque sigue sin ser capaz de interactuar de manera activa; es decir, tiene un comportamiento pasivo.

**En 2008**, después de varios años de investigación se desarrolla un nuevo sistema predictivo (Adaptative Function Plus). En este caso, el sistema de regulación asume un comportamiento activo, permitiendo que el grupo frigorífico efectúe una adaptación automática a la instalación de la que depende.

Durante las fases iniciales de funcionamiento, las unidades con AF+ aprenden las características de las inercias térmicas que regulan la dinámica de la instalación, elaborando informes relativos a la evolución de la temperatura del agua, pudiendo efectuar una estimación de las características físicas de la instalación y, en consecuencia, obteniendo el valor óptimo de los parámetros a utilizar para el control.

Al final de esta fase inicial de aprendizaje automático se realiza una rápida adecuación de los parámetros del control con cualquier modificación del circuito hidráulico y, por lo tanto, del contenido del agua de la instalación, pudiendo reducir considerablemente el consumo de las enfriadoras y bombas de calor.

El nuevo software de control está desarrollado con el objetivo de obtener el máximo confort en todas las condiciones de carga y las mejores prestaciones en términos de eficiencia energética, existiendo dos posibles modos de funcionamiento: modo “ahorro energético” y modo “precisión”.

#### Modo “ahorro energético”

Tanto las enfriadoras como las bombas de calor funcionan a plena potencia solo unas pocas horas al año, del 2% al 3%. La potencia necesaria para suplir las cargas térmicas diferirá en gran medida de la potencia nominal de la máquina, viéndose obligada a trabajar a cargas parciales durante la mayor parte del tiempo.

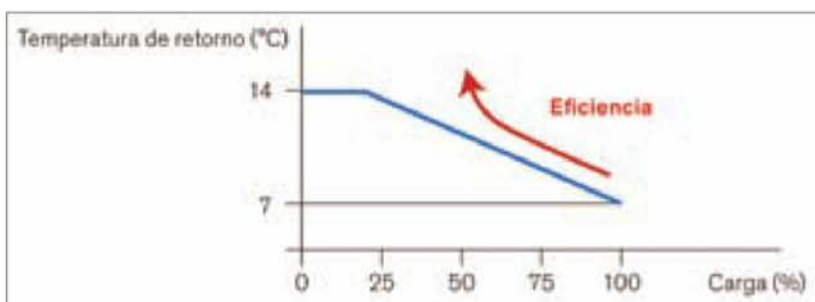
Por esta razón, la capacidad de funcionamiento a cargas parciales afectará de forma drástica a los rendimientos y

consumos estacionales. Ver figura 1, “La eficiencia de una máquina está íntimamente ligada a las temperaturas de salida del agua del evaporador (enfriadora) y del condensador (bomba de calor)”.

¿Cómo actúa la lógica del sistema predictivo ante estas situaciones? La unidad recibe la información de la temperatura del agua de retorno y de impulsión para calcular las condiciones de carga gracias a una especial función matemática. La lógica de control varía la temperatura de consigna a medida que las cargas térmicas disminuyen, aumentando el rendimiento de la máquina y adecuando la temperatura del agua a condiciones de máxima eficiencia y confort. Figura 2, “La variación del punto de consigna ha sido desarrollada según las directrices de confort establecidas en la norma EN ISO 7730”.

Para evitar posibles alteraciones en el confort, durante las fases iniciales de funcionamiento la función especial Auto-tuning permite aprender las características de las inercias térmicas que regulan la dinámica de la instalación. La función, que se activa automáticamente la primera vez que se enciende la unidad, efectúa algunos ciclos de funcionamiento preestablecidos, durante los cuales se procesa la información correspondiente a la evolución de las temperaturas del agua. De esta manera se puede efectuar una estimación de las características físicas de la instalación y, en consecuencia, identificar el valor óptimo de los parámetros que se deben utilizar para el control.

Un algoritmo de adaptación utiliza dicho cálculo para modificar los valores y la posición de los umbrales de arranque y apagado de los compresores; la gestión optimizada de los arranques del compresor garantiza la máxima



↑ Figura 2. La variación del punto de consigna ha sido desarrollada según las directrices de confort establecidas en la norma EN ISO 7730.



## Fases históricas de la lógica de regulación de la unidad de refrigeración

### • Hasta 1990

#### Control de la temperatura de impulsión insuficiente.

La regulación electromecánica no estaba en disposición de proteger la unidad de refrigeración.

### • 1990

#### Entrada de la electrónica junto con el microprocesador.

Protección de la unidad de refrigeración y de la precisión.

### • 2000

#### Se incorpora el sistema autoadaptativo.

Mejora de la protección de la unidad de refrigeración, precisión del control y tiempo mínimo de arranque del compresor.

### • 2008

#### Nuevo sistema predictivo, Adaptive Function Plus.

El sistema de regulación asume un comportamiento activo. El grupo frigorífico efectúa una adaptación automática a la instalación de la que depende. ■

precisión en el agua suministrada, atenuando la oscilación alrededor del valor del punto de consigna.

El control compensará la posible falta de una inercia propia de un depósito de acumulación actuando como “amortiguador” de la señal de control, evitando arranques y apagados a destiempo del compresor y reduciendo la desviación media respecto al valor de punto de consigna. Ver figura 3, “Evoluciones de la temperatura del agua a la salida de la enfriadora considerando una condición de carga en utilización del 80%”.

### Modo “precisión”

En este caso, la unidad trabaja con una consigna fija y, gracias al control sobre la temperatura del agua de impulsión y a la evolucionada lógica de regulación, se puede garantizar, para cargas comprendidas entre el 50% y el 100%, una diferencia media a lo largo del tiempo de unos  $\pm 1,5^\circ\text{C}$  respecto al valor de punto de consigna frente a una diferencia media a lo largo del tiempo de unos

$\pm 3^\circ\text{C}$  que normalmente se obtiene con control estándar en el retorno.

Por lo tanto, se garantiza precisión y fiabilidad en todas las aplicaciones en las que es necesario tener un regulador que garantice con mayor precisión un valor constante de la temperatura del agua suministrada y cuando se produzcan especiales necesidades de control de la humedad en el ambiente. Ver figura 4, “Evolución de las desviaciones de temperatura del agua respecto al punto de consigna fijado para diferentes fracciones de carga”.

### Método simplificado para el cálculo del ahorro energético con AF+

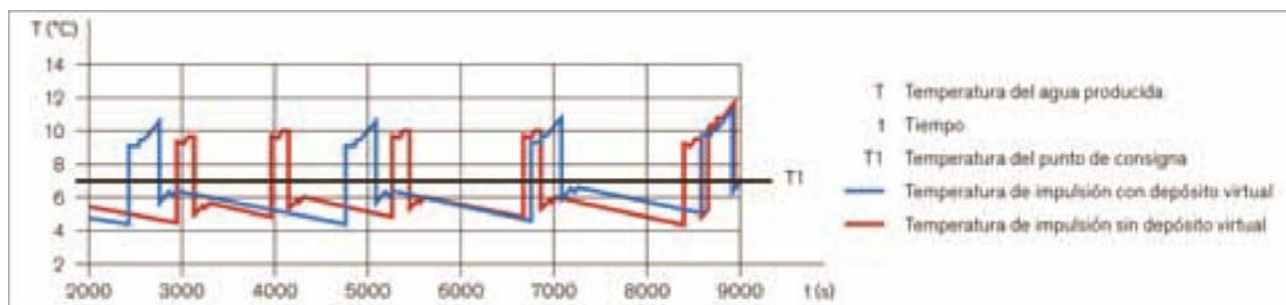
Los análisis dinámicos para el cálculo de los consumos energéticos de un grupo frigorífico en un sistema edificio-instalación son, en general, demasiado elaborados para su uso en la comparación rápida de máquinas frigoríficas distintas, ya que requieren una serie de datos que no siempre están a disposición del proyectista.

Para un cálculo rápido, determinaremos los ahorros energéticos usando una máquina equipada con AF+ con respecto a una máquina tradicional mediante las siguientes fórmulas:

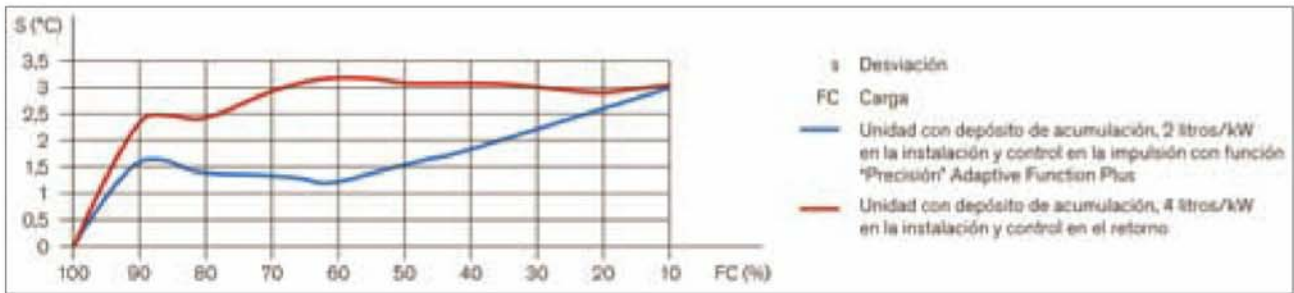
$$E = 0,54 \times N \times C / \text{ESEER}$$

$$E = 0,54 \times N \times C / \text{ESEER+}$$

en las que **E** es la energía eléctrica absorbida por el grupo frigorífico equipado



↑ Figura 3. Evoluciones de la temperatura del agua a la salida de la enfriadora considerando una condición de carga en utilización del 80%.



↑ Figura 4. Evolución de las desviaciones de temperatura del agua respecto al punto de consigna fijado para diferentes fracciones de carga.



↑ Figura 5. Análisis efectuado para un edificio con oficinas en la ciudad de Milán, comparando el funcionamiento de una bomba de calor reversible con dos compresores trabajando con control tradicional y punto de consigna fijo (7 °C en verano y 45 °C en Invierno) y una unidad con tres etapas de parcialización, AF+ y punto de consigna variable (rango entre 7-14 °C en verano y entre 35 °C y 45 °C en invierno)

con AF+ (kWh); **N**, el número de horas de funcionamiento del grupo frigorífico; **C**, el rendimiento frigorífico nominal del grupo frigorífico (kW); **ESEER**, eficiencia media estacional Eurovent; y **ESEER+**: eficiencia media estacional del grupo frigorífico equipado con AF+.

A igualdad de rendimiento frigorífico nominal y suponiendo el mismo número de horas de funcionamiento de los dos grupos frigoríficos con controles distintos, la energía eléctrica absorbida será mayor cuanto menor sea la eficiencia estacional del grupo. Para simplificar, mostramos un ejemplo de cálculo con la misma máquina, en este caso una enfriadora aire/agua con una potencia frigorífica nominal de 60 kW, pero con los diferentes controles.

#### Control tradicional:

$$E = (0,54 \times 1200 \times 59,2) / 4,38 = 8.758,4 \text{ kW/h}$$

#### Modos de funcionamiento del nuevo sistema predictivo

- Modo Ahorro Energético.
- Modo Precisión.

#### Ventajas del software de control tipo predictivo

- Gran capacidad de ahorro energético.
- Reducción de emisión de sustancias contaminantes al medio ambiente.

#### Con control AF+:

$$E = (0,54 \times 1200 \times 59,2) / 5,04 = 7611,4 \text{ kW/h}$$

siendo **N**: 8 h/día x (5 meses x 30 días/mes). Por lo tanto, teniendo en cuenta la adaptación del punto de consigna de la enfriadora a las distintas condiciones de carga parcial, obtenemos unos ahorros energéticos del 13%. Este ahorro podrá variar en función de la época estacional en la que nos encontremos (figura 5, "Análisis efectuado para un edificio con oficinas en la ciudad de Milán (...)").

Como conclusión, con el sistema AF+, Rhoss (firma distribuida en exclusiva por Sedical en nuestro país) pretende mejorar las prestaciones energéticas del sistema edificio-instalación. Gracias a su capacidad de ahorro energético, con niveles que suponen un gran salto cualitativo, reduce la emisión de sustancias contaminantes al medio ambiente sin necesidad de encarecer la máquina por uso de materiales especiales, llegando a conseguir la revolución del bajo consumo. ●