



Climatización eficiente (II)

Climatización radiante frente a superficies refrescantes

José Ramón Ferrer y Josep Castellà

Director General y Director Técnico de Zehnder Group Ibérica IC, S.A.



Como climatización radiante se entiende la gestión total del ambiente térmico tanto en verano como en invierno. Los sistemas de climatización radiante son tecnológicamente capaces de garantizar el confort térmico el día más caluroso del año independientemente del nivel de humedad exterior y de la humedad generada en el interior. Estos sistemas son los líderes tanto en el aspecto de la eficiencia energética como, especialmente, en el del confort.

Introducción

Las condiciones de confort para el cuerpo humano están ligadas a los modos de eliminación del calor metabólico, ya que es necesario mantener inalterada la condición térmica interna del cuerpo en torno a los 37° C (homotermia). Cualquier condición que produzca la alteración de estas condiciones implica para el cuerpo humano una reacción que intenta restablecer las condiciones originales, activando uno de los modos de intercambio disponibles en ese momento o, normalmente, un conjunto de ellos (sistema de termorregulación).

Cualquier situación de desequilibrio térmico nos provocará sensación de frío o calor. Solo el equilibrio nos acerca a la situación de confort. Sin embargo, para obtener una situación de confort real es necesario atender no solo al equilibrio térmico sino a la proporción de intercambio térmico entre los distintos modos presentes en la naturaleza: radiación, convección, evaporación y transmisión.

Confort térmico

La cantidad de calor metabólico del cuerpo humano, en condiciones de actividad sedentaria (oficina, casa, actividades ligeras), varía de 130 a 150 W. Para mantener la situación de equilibrio térmico, el cuerpo humano debe evacuar este calor metabólico vía uno o varios de los modos de intercambio. El máximo grado de confort se da cuando ese equilibrio térmico se consigue con una proporción ideal de intercambio de calor entre los distintos modos:

45-55 %

RADIACIÓN: por diferencia de temperatura entre los cuerpos.

25-30 %

CONVECCIÓN: debido a la temperatura y velocidad del aire.

15-25 %

EVAPORACIÓN: calor liberado por respiración y sudoración.

3-5%

CONDUCCIÓN: por diferencia de temperatura mediante contacto.

Teniendo en cuenta que nuestras posibilidades de modificar los efectos térmicos de la respiración o el contacto son escasos, la climatización de confort se centra en la gestión del intercambio de calor por radiación y por convección (80% del intercambio ideal).

Climatización de confort y temperatura operativa

La Temperatura Operativa es la temperatura que el cuerpo humano siente. Esta temperatura que sentimos puede ser muy diferente de la temperatura que marca el termómetro (Temperatura del Aire). De hecho la norma ISO 7243 define la Temperatura Operativa T_o como la media entre la Temperatura del Aire (la del termómetro) y la Temperatura Radiante:

Según ISO 7243:
$$T_o = \frac{T_a + T_r}{2}$$

El ejemplo más claro es la “sensación térmica” que se tiene en la terraza de una estación de esquí un día soleado:



Figura 1. Muy alto confort térmico, a pesar de que la temperatura del aire es de 0°C. Esto es debido a que la alta temperatura radiante compensa la baja temperatura del aire y la temperatura operativa resultante ofrece el necesario equilibrio térmico.

Confort térmico y temperatura radiante

En la anterior estación de esquí el grado de confort térmico es muy elevado a pesar de que el termómetro marque 0°C (T_a) debido a la alta temperatura radiante ($T_r = 50^\circ \text{C}$). En este caso se hace evidente que el cuerpo humano siente la Temperatura Operativa ($T_o = 25^\circ \text{C}$) y no la Temperatura del Aire (0°C). Ver Figura 2.

El ejemplo contrario se da ese mismo atardecer, cuando al cerrar la estación de esquí cogemos el coche de vuelta. La Temperatura Radiante disminuye mucho y nosotros ponemos en marcha la calefacción del coche por aire caliente. Conseguimos el equilibrio térmico (misma Temperatura Operativa) pero el grado de confort es muy inferior (el aire caliente molesta).

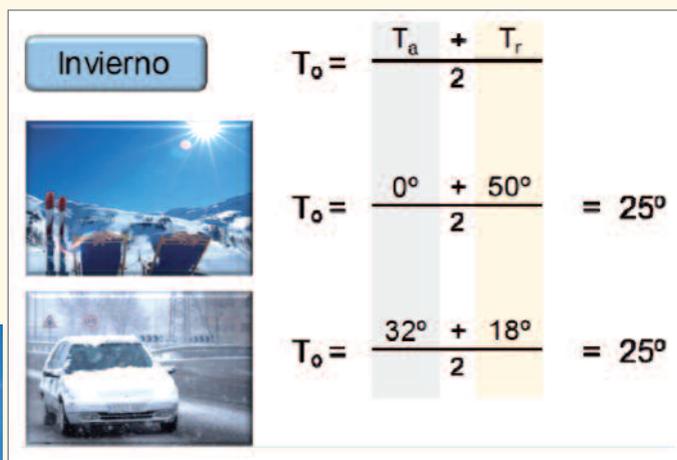


Figura 2. Diferentes grados de confort térmico en invierno. A pesar de que en ambos casos la temperatura operativa es la misma y el equilibrio térmico es el mismo, cuando calentamos por radiación el confort térmico es mucho más elevado.

En verano también se dan estas diferencias de confort térmico. Cualquier oficina con aire acondicionado es ejemplo de discusiones por la temperatura de consigna, por la sequedad del aire, por las corrientes de aire, por el movimiento de polvo, etc. El equilibrio térmico se consigue por la impulsión de aire frío mientras que las ventanas, paredes, iluminación, ordenadores, etc. aumentan la temperatura radiante.



Climatización eficiente (II)

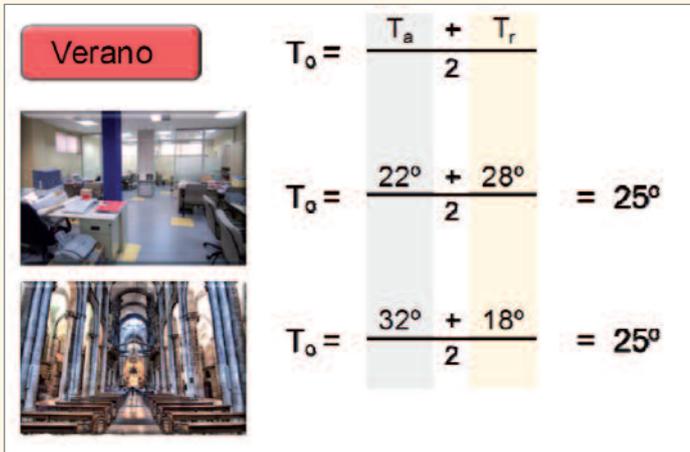


Figura 3. Diferentes grados de confort térmico en verano. A pesar de que en ambos casos la temperatura operativa es la misma y el equilibrio térmico es el mismo, cuando climatizamos (enfriamos) por radiación el confort térmico es mucho más elevado.

Sin embargo, este mismo verano, haciendo turismo por cualquier ciudad española al llegar a mediodía, acalorados, entramos en la Catedral y el confort térmico que obtenemos es fantástico. Las puertas están abiertas (3 x 4 m), con lo que la temperatura del aire es la misma del exterior, pero la temperatura radiante es muy inferior. La piedra de paredes y columnas no sobrepasa los 18° C. El confort es total.

Cuando decimos que enfriamos por radiación estamos diciendo que reducimos la Temperatura Radiante T_r . Y es claro que al confort real se llega gestionando mucho más la temperatura radiante que la temperatura del aire. Esto no es novedad en calefacción. Todo el mundo sabe que los sistemas radiantes en calefacción (sistemas radiantes superficiales o radiadores de baja convección) proporcionan mayor grado de confort. Lo que es nuevo es hablar de climatización radiante y no solo de “refrescamiento”. La climatización radiante debe gestionar de forma avanzada el punto de rocío y únicamente sistemas de última generación son capaces de garantizar una verdadera climatización radiante en verano.

Climatización radiante y punto de rocío

El principal escollo para el desarrollo de sistemas radiantes en frío es el punto de rocío. La potencia de cualquier sistema radiante es directamente proporcional a la diferencia de temperaturas (Δt) entre la temperatura de funcionamiento de la superficie y la temperatura operativa. Si tal como veíamos, buscamos una Temperatura Operativa de 25° C, cuanto menor sea la temperatura de impulsión del sistema, más efectivo será. Veamos como tratan este aspecto los diferentes sistemas actuales:

Sistemas “refrescantes” sin gestión de la humedad

Son los más habituales. No disponen de deshumidificadores por lo que no gestionan la humedad. Impulsan agua fría a temperaturas que se mantienen alrededor de 2°-3° por encima del punto de rocío. De esta forma en situaciones normales de verano, con temperaturas de 33°C y humedades del 55% (punto ② del gráfico) el punto de rocío es a 23 °C. Como tienen un mínimo de 2° C de margen de seguridad, su temperatura teórica de funcionamiento sería de 25° C y por lo tanto $\Delta t = 0$ y dejan de “refrescar”. Obviamente conforme sube la humedad estos sistemas dejan de funcionar antes.

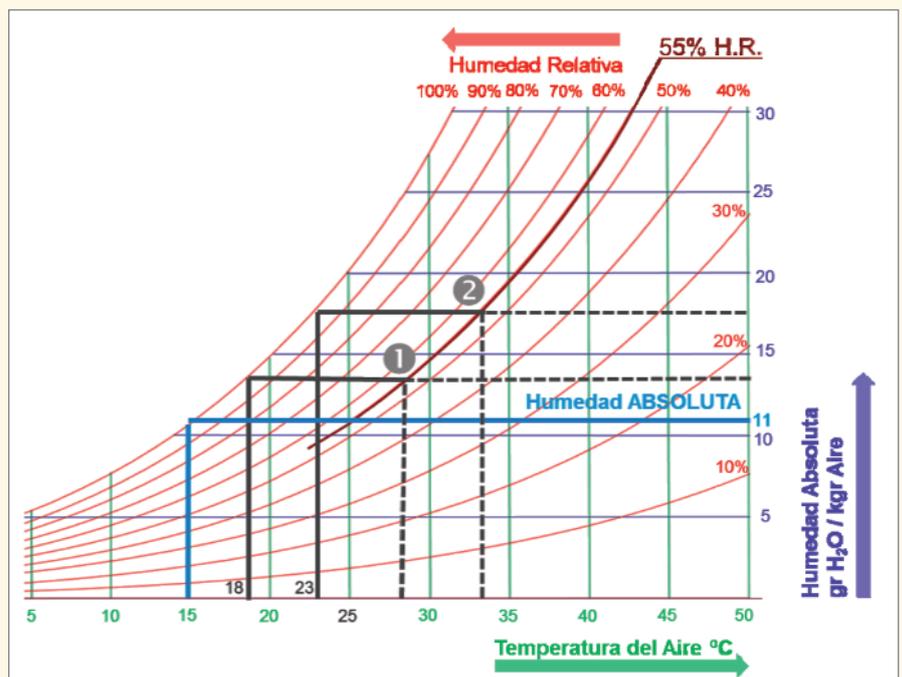


Figura 4. Diagrama psicrométrico. El punto ① corresponde a una situación de verano suave (28°C y 55 % Hr). El punto ② corresponde a una situación de verano normal 33° C y 55 % Hr.



Sistemas radiantes con gestión de la humedad

Son sistemas más evolucionados que gestionan la humedad relativa. De esta forma aunque la humedad suba (por ejemplo, por la respiración de las personas, por la cocina, por el baño, etc.) el sistema deshumidifica hasta mantener el valor del 55% Hr. Además, como existe una gestión real de la humedad las superficies se pueden mantener a temperaturas cercanas al punto de rocío. Sin embargo, trabajar únicamente con la Humedad Relativa implica tener un punto de rocío variable que crece con la temperatura. Eso hace que cuanto más calor hace menos potente es nuestro sistema.

De esta forma en el punto ❶ se podría trabajar con un Δt significativo ($\Delta t = 25^\circ - 18^\circ = 7^\circ\text{C}$). Sin embargo, cuando estamos en el punto ❷, con 33°C y 55% Hr, muy normal en verano, el Δt se reduce mucho; $\Delta t = 25^\circ - 23^\circ = 2^\circ\text{C}$. En esta situación la potencia del sistema se diluye y por lo tanto el "refrescamiento" es casi nulo.

Sistemas de climatización radiante

Son sistemas de última generación. Gestionan no sólo la Humedad Relativa sino también la Humedad Absoluta. De esta forma mantienen la humedad absoluta controlada y pueden mantener el punto de rocío estable. Así pueden llegar a maximizar el Δt manteniendo siempre la potencia del sistema. Para una Humedad Absoluta de $H_a = 11\text{ gr/kg}$ el punto de rocío es a 15°C . De esta forma el Δt sería $\Delta t = 25^\circ - 15^\circ = 10^\circ\text{C}$.

Comparando para el punto ❶ (verano "suave") vemos que este sistema es un 42% más potente que otros sistemas que solo controlan la humedad relativa:

$$\text{Punto ❶: } \frac{\Delta t \text{ Zehnder NestSystems}}{\Delta t \text{ Otros sistemas}} = \frac{\Delta t = 25^\circ - 15^\circ = 10^\circ}{\Delta t = 25^\circ - 18^\circ = 7^\circ} = \frac{10^\circ}{7^\circ} = 142\%$$

Esta diferencia crece enormemente conforme aumenta la temperatura. De esta forma, para el punto ❷ (verano "normal") se observa claramente que este sistema es 5 veces más potente que los sistemas que únicamente controlan la humedad relativa:

$$\text{Punto ❷: } \frac{\Delta t \text{ Zehnder NestSystems}}{\Delta t \text{ Otros sistemas}} = \frac{\Delta t = 25^\circ - 15^\circ = 10^\circ}{\Delta t = 25^\circ - 23^\circ = 2^\circ} = \frac{10^\circ}{2^\circ} = 500\%$$

El sistema debe ser capaz de gestionar cada estancia de forma independiente, excluyendo estancias con valores de humedades "fuera de rango" sin disminuir la climatización del resto de la vivienda.

De esta forma los sistemas de climatización radiante SI que mantienen la potencia en pleno verano y son la solución para una climatización de calidad.

Algoritmos de control

Hemos visto que la clave de la potencia de los sistemas radiantes, que permite disfrutar de una verdadera climatización y no un simple refrescamiento, está en la gestión de la Humedad Absoluta, y no solo la Relativa. Pero esta gestión es compleja.

Desentenderse de la humedad relativa por cuestiones de maximización de potencia nos llevaría a problemas de confort por falta de humedad. Para poder realizar una buena gestión, los algoritmos de control de la humedad deben tener en cuenta las velocidades de variación de ambas humedades así como las aceleraciones (por ejemplo, por la apertura de una ventana). Además, el sistema debe ser capaz de gestionar cada estancia de forma independiente, excluyendo estancias con valores de humedades "fuera de rango" (por ejemplo, una cocina en el momento de cocinar) sin disminuir la climatización del resto de la vivienda.

Obviamente, tanto la gestión paralela de humedades absoluta y relativa, sus velocidades y aceleraciones, sus rangos admisibles y los algoritmos que los controlan forman parte del know-how de cada sistema y son exclusivos de cada marca.

En definitiva, la verdadera climatización radiante es el sistema de mayor confort en la climatización y está a nuestra disposición, pero solamente si el sistema que lo soporte está lo suficientemente avanzado, y no todos los sistemas disponen del suficiente know-how. **Z**