

Psicometría y aire acondicionado



Los avances de la climatización tienen su origen en la necesidad de proporcionar unas condiciones ambientales óptimas que permitan a las personas mantener una sensación agradable en el entorno en el que se encuentran. También fue de gran importancia la Revolución industrial porque se hizo necesario establecer indicadores concretos de temperatura y de humedad para el desarrollo de determinadas industrias como, por ejemplo, la textil. En el estudio del aire acondicionado, no solo es importante tener en cuenta la temperatura del local que queremos climatizar, sino que también influirán factores (humedad, entalpía del aire, etc.) que determinan las condiciones óptimas para desarrollar una actividad.

4

Contenidos

- 4.1. Psicometría
- 4.2. Diagrama psicométrico
- 4.3. Procesos de tratamiento de aire
- 4.4. Unidad de tratamiento de aire
- 4.5. Cálculo de cargas térmicas de refrigeración
- Resumen
- Actividades finales

Objetivos

- Reconocer la importancia del aire acondicionado.
- Distinguir las diferentes propiedades del aire húmedo.
- Clasificar los procesos de tratamiento del aire.
- Conocer el cálculo de cargas térmicas.

4.1. Psicometría

En el estudio del aire acondicionado, no solo es importante tener en cuenta la temperatura del local que queremos climatizar, sino también otros factores que determinan la sensación de confort de las personas que se encuentran en dicho local, estos factores son: la humedad, la renovación del aire y la ausencia de contaminación en el mismo. El cuerpo de una persona siempre trata de mantenerse en el rango que llamamos *confort térmico*, por ello, cuando siente calor, aumenta la circulación de la sangre en la superficie de la piel, así como la sudoración, y el cuerpo consigue eliminar calor. En caso contrario, cuando siente frío, lo que busca es aumentar la resistencia térmica de la piel y se produce el efecto que cotidianamente expresamos como «ponerse la piel de gallina». Las condiciones óptimas de confort para el ser humano están entre 21 y 25 °C y entre el 40 y el 60 % de humedad relativa (de acuerdo con el RITE).



Figura 4.1. La humedad del aire se condensa formando el rocío sobre las hojas

Pero ¿qué es la psicometría? Para entenderlo, mejor vamos a ver primero una serie de conceptos:

- **Aire atmosférico.** Es una mezcla de gases (78 % nitrógeno, 21 % oxígeno y otros gases) con vapor de agua y otras sustancias (contaminantes, polvo, etc.).
- **Aire seco.** Se trata de una mezcla de gases en ausencia de agua.
- **Aire húmedo.** Se trata de una mezcla de gases con vapor de agua.

Este último, el aire húmedo, será el que empleemos para la psicometría y el estudio del aire acondicionado, de forma que se llama *psicometría* al «estudio de las propiedades del aire húmedo».

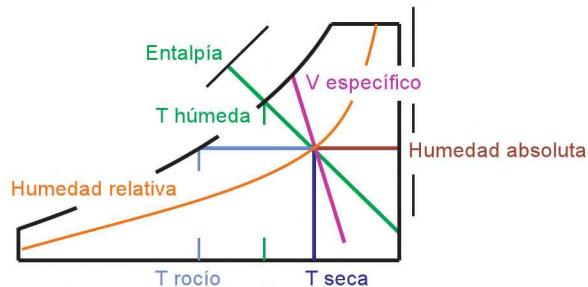


Figura 4.2. Identificación de las propiedades del aire húmedo en un diagrama psicométrico

SABÍAS QUE...

Psicometría deriva de las palabras *psico*, «frío», y *metria*, «medida», y nos da una medida del frío en función de la temperatura y de la humedad.

4.2. Diagrama psicométrico

Las propiedades del aire húmedo se representan en el diagrama psicométrico, de forma que, conociendo dos propiedades, podemos determinar todas las demás. Los parámetros del aire húmedo son los siguientes:

- **Humedad absoluta o específica (W).** Es la relación entre la masa de vapor de agua y la masa de aire seco.

$$W = \frac{M_{\text{vapor agua}}}{M_{\text{aire seco}}} (\text{g/kg})$$

En el diagrama psicométrico, se representa en el eje vertical.

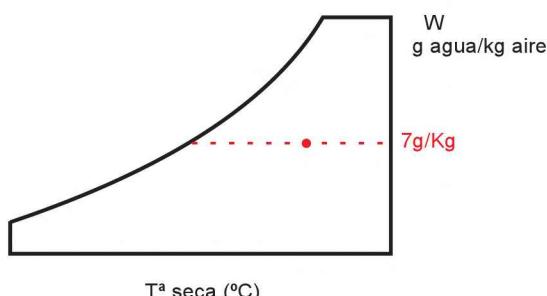


Figura 4.3. Línea de humedad absoluta

- **Humedad relativa (Hr).** Es el cociente entre la presión de vapor del aire húmedo y la presión de vapor saturado.

$$Hr = \frac{p_{\text{vapor agua}}}{p_{\text{vapor agua saturado}}}$$

Al multiplicarlo por 100 nos dará el resultado en tanto por ciento. Cuanto más próximo este su valor al 100 %, nos indica que el vapor de agua está más cerca de condensarse, pero no significa que tenga un mayor porcentaje de vapor de agua.

RECUERDA

Cuanto más cerca se este de la saturación, más próximo está el vapor de agua a cambiar de estado y a condensarse. Esto es lo que ocurre en un día con niebla.

En el diagrama psicométrico, viene representado por curvas que atraviesan el diagrama. Encima de cada curva, aparece un número que enumera el porcentaje de humedad y la curva más a la derecha representa el 100 %.

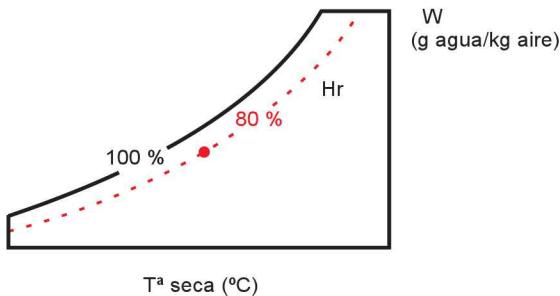


Figura 4.4. Línea de humedad relativa

Normalmente, la humedad relativa se mide con un aparato llamado *psicrómetro*, que consiste en un termómetro de bulbo seco y otro de bulbo húmedo (el bulbo del termómetro se encuentra envuelto en una gasa húmeda). La diferencia entre las dos temperaturas da como resultado la humedad relativa.

- **Temperatura de bulbo seco (Ts).** Se trata de la temperatura medida con un termómetro normal. Su unidad es el °C.

En el diagrama, se mide sobre el eje horizontal.

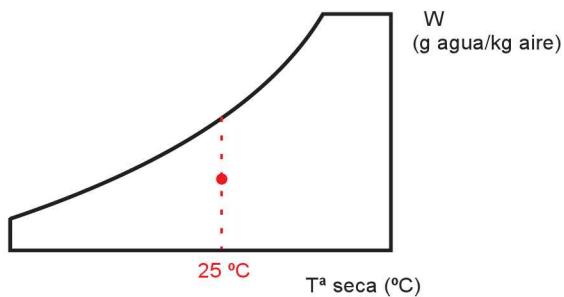


Figura 4.5. Línea de temperatura seca

- **Temperatura de bulbo húmedo (Th).** Se trata de la temperatura medida con un termómetro que tiene su bulbo envuelto con una gasa humedecida. Su unidad es el °C.

En el diagrama, se mide trazando una perpendicular al eje de entalpía que atraviese el punto. Esa recta se corta con la línea de saturación y el punto de corte nos indicará el valor de Th al trazar una vertical que nos permita dar el valor de temperatura sobre el eje horizontal de la gráfica.

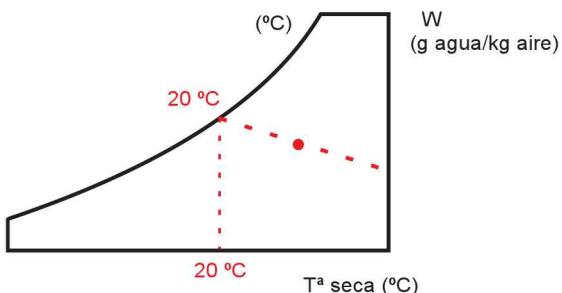


Figura 4.6. Línea de temperatura húmeda

- **Temperatura de rocío (Tr).** Es la temperatura a la que comienza la condensación del vapor de agua contenido en el aire. Su unidad es el °C.

En el diagrama, se representa buscando el punto de corte de la humedad absoluta con la curva de saturación. A partir de ese punto y trazando una vertical, se medirá la temperatura sobre el eje horizontal de la gráfica.

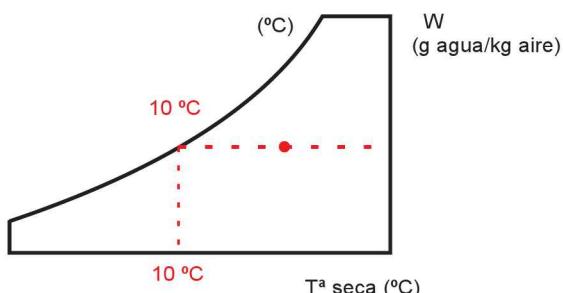


Figura 4.7. Línea de temperatura de rocío

- **Volumen específico (V_{esp}).** Es el volumen que ocupa la unidad de masa de aire.

$$V_{esp} = V/M \text{ (m}^3/\text{kg)}$$

En el diagrama, viene representado por las líneas inclinadas hacia la derecha que atraviesan el gráfico.

La densidad (d) es la inversa al volumen específico.

$$d = 1/V_{esp} \text{ (kg/m}^3)$$

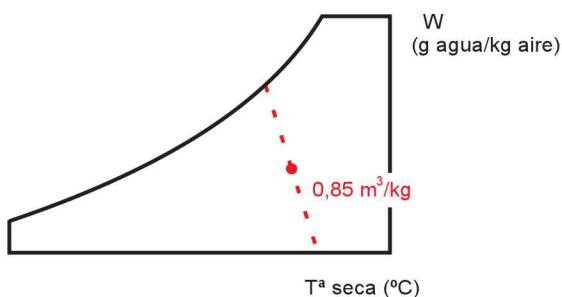


Figura 4.8. Línea de volumen específico

- Entalpía del aire húmedo (h).** Nos indica el contenido total de calor del aire. El calor total es la suma de calor sensible y de calor latente. Sus unidades son los kJ/kg de aire o las kcal/kg.

En el diagrama, se miden sobre un eje inclinado que se encuentra en la parte izquierda de la gráfica. Para hallar el valor de entalpía de un punto, debe trazarse una línea perpendicular al eje de entalpías que atraviese por dicho punto.

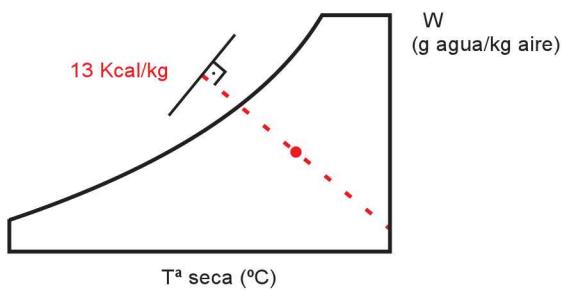


Figura 4.9. Línea de entalpía

- Factor de calor sensible (FCS).** Es la relación entre el calor sensible y el calor total.

En el diagrama, su escala se encuentra representada en vertical en la parte derecha de la gráfica. Para hallar el valor FCS de una transformación, debe trazarse una línea paralela que pase por el punto focal. El punto focal está a 26 °C y un 50 % Hr, que se toma como referencia.

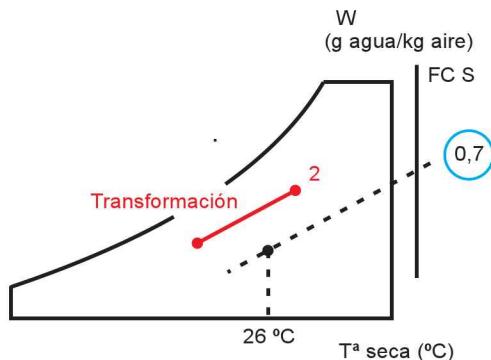


Figura 4.10. Representación del factor de calor sensible

Actividad resuelta

- 4.1. Un día de verano en Madrid, se registraron los siguientes datos meteorológicos: temperatura 35 °C, presión 101,325 kPa, humedad relativa del aire de un 25 %. Calcula:

- La humedad específica.
- La temperatura de rocío.
- La temperatura húmeda.

Solución:

- Como podemos observar en el diagrama, tendremos 9 g/kg.

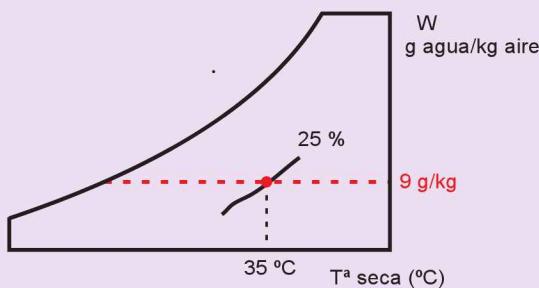


Figura 4.11. Cálculo de la humedad específica

- La temperatura de rocío será de 12 °C.

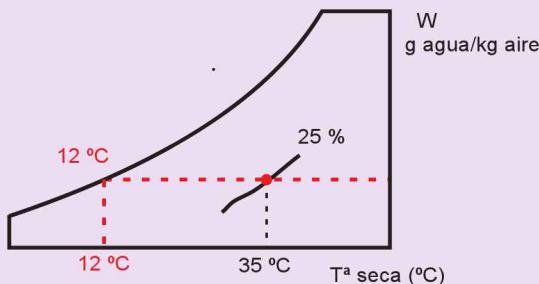


Figura 4.12. Cálculo de la temperatura de rocío

- La temperatura húmeda será de 20 °C.

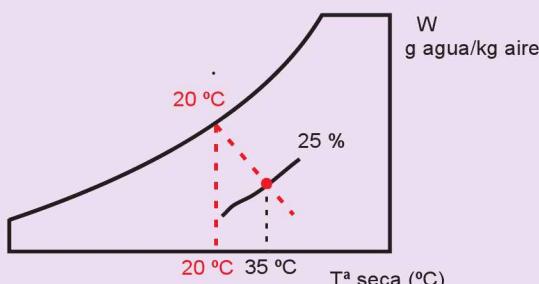


Figura 4.13. Cálculo de la temperatura húmeda

SABÍAS QUE...

Carrier fue el gran inventor del aire acondicionado. Descubrió la relación entre temperatura y humedad, que se recoge en los diagramas psicométricos o de Carrier, al contemplar la niebla. Creó la compañía de aire acondicionado más importante y que continúa en la actualidad: Carrier Engineering Corporation. En 1920, Carrier crea el primer equipo de aire acondicionado tipo ventana, aunque, debido a la segunda guerra mundial, no se comercializaría hasta años más tarde.

Actividad propuesta

- 4.1.** Si tenemos una temperatura de 22 °C y una humedad relativa del 55 %, calcula la humedad específica y la temperatura húmeda.

Actividad propuesta

- 4.2.** Si la temperatura seca es de 25 °C y la temperatura húmeda es de 15 °C, averigua la humedad específica y la humedad relativa.

Actividad resuelta

- 4.2.** En la habitación de una vivienda, tenemos las siguientes condiciones: temperatura a 22 °C y humedad relativa del 50 %. Sabiendo que la temperatura en la superficie exterior de la ventana es de 15 °C. ¿Se producirá condensación en el interior de la ventana?

Solución:

Necesitamos ver si el punto de rocío con las condiciones interiores de la habitación es mayor o menor que la temperatura en la superficie de la ventana. Si el punto de rocío es mayor, nos indica que sí se producirá condensación.

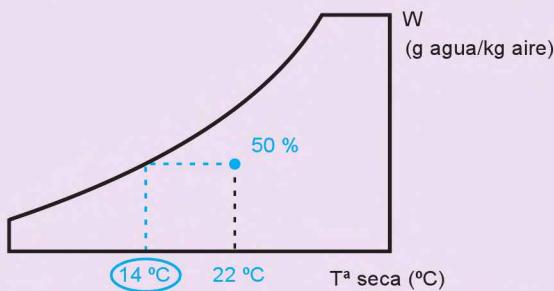


Figura 4.14. Cálculo de la temperatura de rocío

Puesto que la temperatura de rocío es de 14 °C, sabemos que no condensará ya que está por debajo de los 15 °C que teníamos en la superficie de la ventana.

Actividad resuelta

- 4.3.** En un equipo de tratamiento de aire, se transforma aire a 35 °C y al 40 % de humedad relativa en aire a 22 °C y al 55 % de humedad relativa. ¿Cuál será el FCS del proceso? ¿Cuál será la humedad específica final?

Solución:

Lo primero será dibujar la transformación sobre el diagrama psicométrico.

Para hallar el FCS, trazamos una paralela a la transformación que pase por el punto focal que se encuentra a 26 °C y al 50 % de humedad relativa.

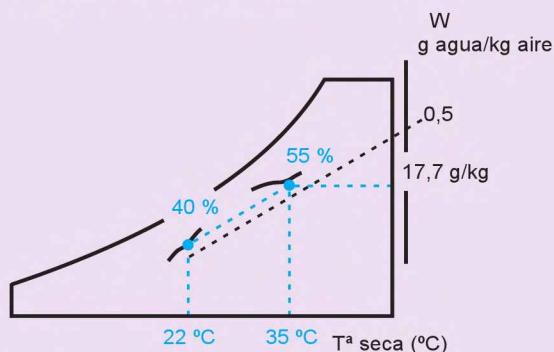


Figura 4.15. Cálculo del FCS

Con ello, obtenemos un FCS de 0,5 y una humedad específica de 17,7 g/kg.



Figura 4.16. Equipo de tratamiento de aire

Actividad propuesta

- 4.3.** Si tenemos aire con unas condiciones de 18 °C y de 5 g/kg de humedad específica y queremos aumentar su temperatura hasta los 25 °C de forma que FCS sea 0,6, determina cuál será la humedad del aire.

4.3. Procesos de tratamiento de aire

¿Cómo conseguimos que el aire alcance las condiciones de confort deseadas? Para ello, debemos someter el aire a distintos tratamientos que permitirán transformar las propiedades del aire húmedo. Estos tratamientos son los siguientes:

- **Mezcla de dos caudales de aire húmedo.** Es uno de los procesos básicos que tiene lugar en el aire acondicionado. Se lleva a cabo en una caja de mezcla. Mezclamos dos volúmenes de aire a distintas temperaturas y humedades y tenemos como resultado otro volumen mezcla de los dos, con nuevas condiciones de temperatura y de humedad.

$$V_{3(\text{mezcla})} = V_1 + V_2$$

El punto de la mezcla estará situado sobre la línea que une los dos puntos correspondientes a los dos volúmenes de aire de partida. La situación de ese punto de mezcla sobre la recta podemos determinarlo por proporcionalidad entre rectas:

$$\frac{V_1}{V_3} = \frac{(T_3 - T_2)}{(T_1 - T_2)}$$

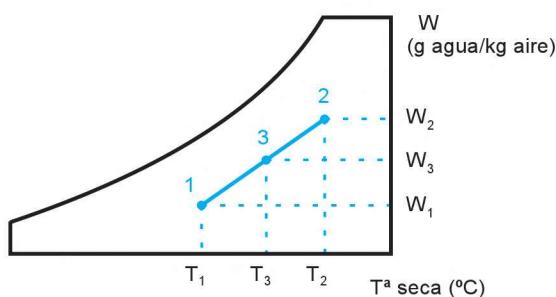


Figura 4.17. Mezcla de dos caudales de aire húmedo

Actividad propuesta

- 4.4. Halla las condiciones de una mezcla de dos caudales con las siguientes características:

- $T_s = 18^\circ\text{C}$; $H_r = 70\%$ y caudal de $200 \text{ m}^3/\text{h}$.
- $T_s = 25^\circ\text{C}$; $W = 10 \text{ g/kg}$ y caudal de $1.000 \text{ m}^3/\text{h}$.

Para ello, indica: la temperatura seca, la temperatura húmeda, la humedad relativa y la humedad absoluta.

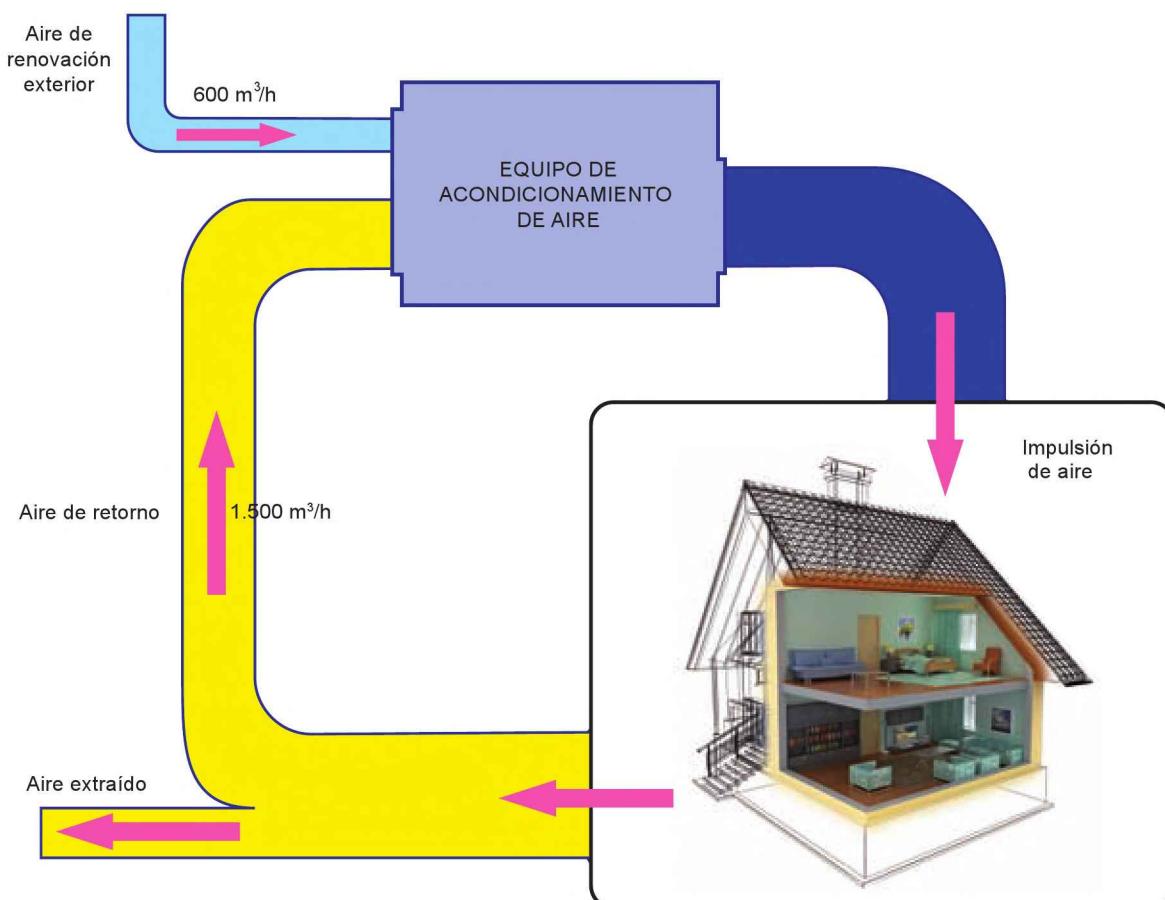


Figura 4.18. Mezcla de caudal de aire de retorno y de renovación

Actividad resuelta

4.4. A una caja de mezclas de un equipo de acondicionamiento de aire, llegan dos caudales de aire, uno a 30 °C y al 70 % de humedad relativa y otro a 22 °C y al 60 % de humedad relativa. Sabiendo que los caudales son de 600 m³/h y de 1.500 m³/h, respectivamente. ¿Cuáles serán las características de la mezcla? Para responder, indica las siguientes variables:

- Temperatura seca.
- Temperatura húmeda.
- Humedad absoluta.
- Humedad relativa.

Solución:

Lo primero será calcular el caudal total de la mezcla. Después, dibujaremos los dos puntos que representan los caudales de entrada (1 y 2) y, sobre la recta que une esos dos puntos, se encontrará el punto de mezcla (3).

$$V_{\text{total}} = 600 \text{ m}^3/\text{h} + 1.500 \text{ m}^3/\text{h} = 2.100 \text{ m}^3/\text{h}$$

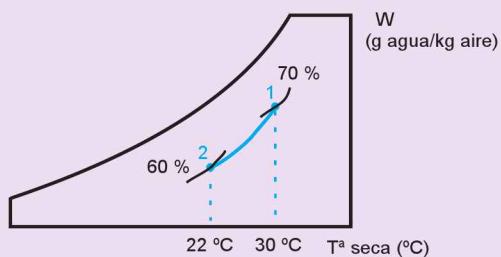


Figura 4.19. Representación de los dos caudales de entrada (punto 1 y 2)

El punto de la recta en la que se encuentra la mezcla se determina por proporcionalidad de segmentos, de tal forma que tenemos:

$$\frac{V_1}{V_3} = \frac{(T_3 - T_2)}{(T_1 - T_2)}$$

$$T_3 = \left(\frac{V_1}{V_3} \right) \times (T_1 - T_2) + T_2$$

$$T_3 = (600/2.100) \times (30 - 22) + 22 = 24,32 \text{ °C}$$

A partir de esta temperatura de 24,32 °C, que será la temperatura seca de la mezcla, podemos determinar sobre el diagrama las restantes propiedades.

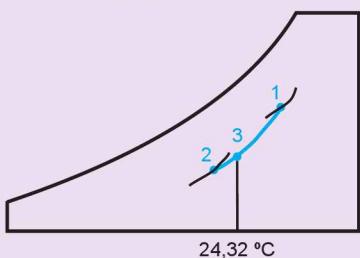


Figura 4.20. Cálculo de la temperatura de la mezcla

- 24,32 °C.
- 20 °C.
- 13 g/kg.
- 67 %.

- **Calentamiento sensible.** En este proceso, se aumenta la temperatura de un caudal de aire sin quitar o añadir humedad. Por tanto, mantendremos constante la humedad absoluta.

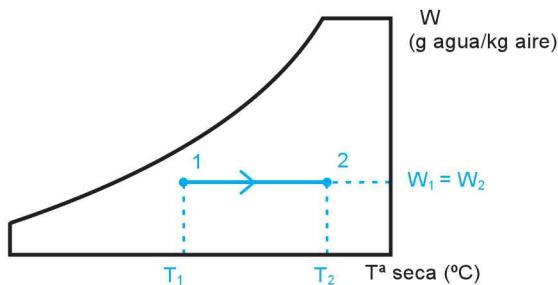


Figura 4.21. Calentamiento sensible

Actividad propuesta

4.5. A una masa de aire de una temperatura de 20 °C y de una humedad del 50 %, se le realiza un calentamiento sensible hasta alcanzar una temperatura de 28 °C. Señala cuál será la variación de entalpía que se produce.

- **Enfriamiento sensible.** Consiste en disminuir la temperatura del aire sin variar la humedad del mismo. Disminuye la temperatura y la entalpía, aumenta la humedad relativa y se mantiene constante la humedad específica.

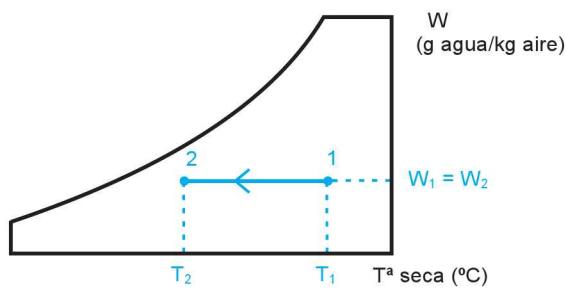


Figura 4.22. Enfriamiento sensible

- **Humidificación sin variación de temperatura.** Aumenta el contenido de humedad sin variar la temperatura seca del aire.

RECUERDA

La variación de entalpía en un calentamiento sensible es debida al calor por incremento de temperatura (calor sensible) y no habrá, por tanto, variación de calor latente porque no se produce cambio de estado (no se incrementa el contenido de humedad del aire).

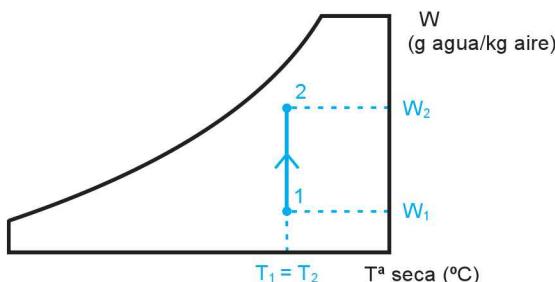


Figura 4.23. Humidificación sin variación de temperatura

En caso de ir desde el punto 2 al 1, tendríamos una **deshumidificación sin variación de temperatura**, es decir, disminuiría el contenido de vapor de agua del aire.

- **Humidificación sin aporte o retirada de calor.** Aumenta la humedad absoluta del aire sin que se produzca variación en la entalpía. Si aumentamos su humedad hasta llegar a que el vapor de agua comience a condensarse, el aire final estaría a la temperatura de saturación.

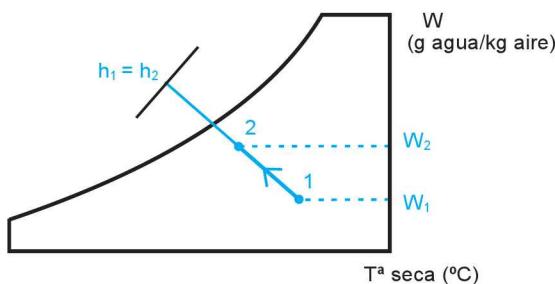


Figura 4.24. Humidificación sin aporte de calor

Una **deshumidificación sin variación de entalpía** se produce si pasamos el aire de las condiciones del punto 2 hasta las condiciones del punto 1.

- **Humidificación con aporte o retirada de calor.** Se trata de un aumento del contenido de humedad del

aire con una variación de la entalpía. Si se aporta calor, se produce un aumento de la entalpía y, si se quita calor, disminuye.

- **Humidificación con calentamiento.** Se produce aporte de calor y aumentamos el contenido de humedad del aire. En el caso de ir del punto 2 al 1, tendríamos **deshumidificación con enfriamiento** (Figura 4.25.).

Actividad propuesta

- 4.6. Calcula la cantidad de agua que hay que añadir para pasar aire atmosférico de 2 °C y al 70 % de humedad a 26 °C y al 40 % de humedad.

Actividad propuesta

- 4.7. En una industria textil, se produce un tratamiento de aire en el que el proceso es una humidificación sin aporte ni pérdida de calor. El aire de salida sale a temperatura de vapor saturado. Indica la temperatura húmeda y la humedad absoluta para los casos en los que las condiciones del aire de entrada sea:

- $T_s = 33 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $H_r = 50 \text{ \%}$.
- $T_s = 29 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $W = 8,5 \text{ g/kg}$.
- $H_r = 35 \text{ \%}$ y $W = 10 \text{ g/kg}$.

SABÍAS QUE...

Las primeras industrias en aplicar los equipos de acondicionamiento de aire fueron las textiles (debido a la importancia de la humedad para las telas e hilos). Más adelante, su utilización se extendería a industrias del tabaco, a laboratorios farmacéuticos y a la panadería para, finalmente, emplearse en todos los ámbitos.

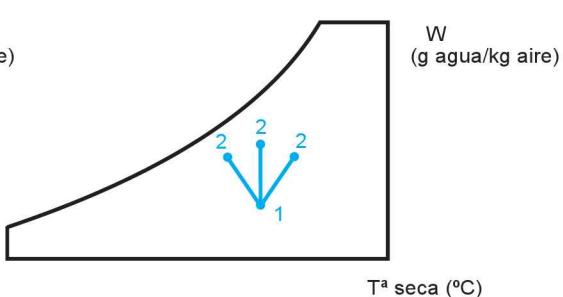
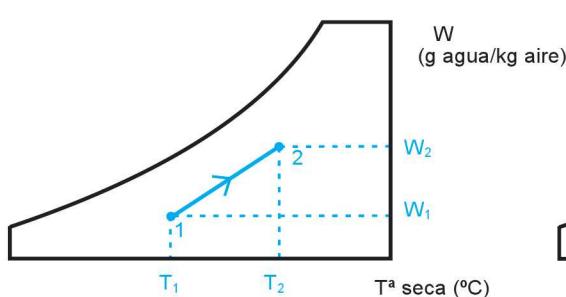


Figura 4.25. Humidificación con calentamiento

Actividad resuelta

4.5. Para las siguientes condiciones: 40 °C, presión de 101,325 kPa y humedad relativa del aire del 30 %. Se desea calcular:

- La humedad específica.
- La temperatura de rocío.
- La temperatura húmeda.
- El calor a evacuar en 1 kg de aire para alcanzar la temperatura de rocío.
- La cantidad de agua a añadir a 1 kg de aire para alcanzar la temperatura húmeda.

Solución:

- 14,1 g/kg.
- 19,2 °C.
- 25,2 °C.

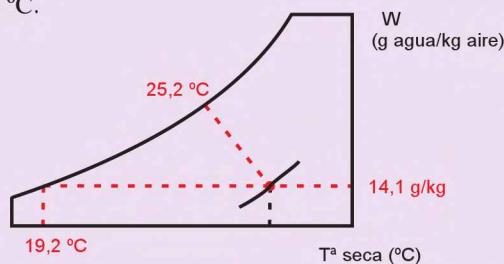


Figura 4.26. Cálculo de la humedad específica, la temperatura de rocío y la temperatura húmeda

- Para calcular el calor a evacuar, tendremos que ver el valor de entalpía en cada punto.

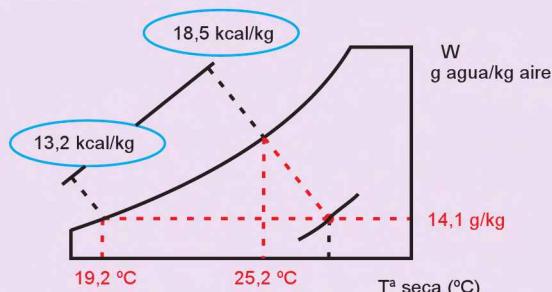


Figura 4.27. Cálculo del calor a evacuar

El incremento de entalpía será de $18,5 - 13,2 = 5,3$ kcal/kg.

Por lo tanto, el calor a evacuar será de 5,3 kcal.

- Para calcularlo, tendremos que ver la humedad específica para cada punto.

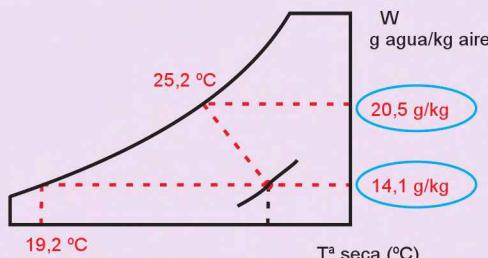


Figura 4.28. Cálculo de la humedad a aportar

El incremento de humedad será de $20,5 - 14,1 = 6,4$ g/kg.

Por lo tanto, la humedad a añadir será de 6,4 g de agua.



Figura 4.29. Unidad de tratamiento de aire (a)

4.4. Unidad de tratamiento de aire

Cuando tenemos sistemas centralizados en los que queremos climatizar por aire, se emplean las Unidades de Tratamiento de Aire (UTA), que suelen ir colocadas en las cubiertas de los edificios. En ellas, se llevarán a cabo distintos procesos para tratar el aire con el objetivo de obtener un volumen de aire con las condiciones deseadas de temperatura y de humedad.



Figura 4.30. Unidad de tratamiento de aire (b)

Una UTA puede estar compuesta por:

1. Caja de mezcla. Se mezclan dos caudales de aire, uno que es **aire de retorno** del local a climatizar y el otro que es **aire exterior**. Pero ¿por qué no se utiliza solo aire exterior? La respuesta la tenemos si pensamos en el ahorro de energía. Si puede aprovecharse la energía del aire que ya ha sido tratado, obtendremos una mejora de la eficiencia. La razón de introducir aire del exterior es la necesidad de renovar el aire del local a climatizar.

Así pues, en la caja de mezcla, tendremos un proceso de mezcla de dos caudales de aire húmedo.

2. Compuerta de admisión de aire exterior. Entrada de aire del exterior para ser tratado.

3. Compuesta de retorno de aire. Normalmente, cuenta con un ventilador para facilitar el movimiento del aire.

4. Batería de enfriamiento. Cuando se hace necesario disminuir la temperatura del aire resultante de la mezcla.

5. Batería de calentamiento. Cuando se hace necesario aumentar la temperatura del aire resultante de la mezcla.

6. Batería de humidificación. Cuando se hace necesario aumentar la humedad del aire tratado.

7. Filtro. Dependiendo de la aplicación, los tipos de filtros que se necesitan son diferentes. Por ejemplo, en el caso de los quirófanos de los hospitales, estos filtros serán específicos.

8. Compuesta de aire de impulsión. Es el aire en condiciones de entrar en el local una vez que ha pasado por los distintos tratamientos. Suele contar con un ventilador.

La combinación de varias de las anteriores etapas permite adaptar la UTA a las necesidades concretas del local a climatizar.

En las unidades de tratamiento de aire, partimos de dos volúmenes de entrada: uno del exterior y otro del local. Cabe preguntarnos ¿en qué proporciones entrarán cada uno de ellos? Esto nos lleva a un nuevo concepto, el **enfriamiento gratuito o free-cooling**, este consiste en poder variar el caudal de aire de entrada exterior mediante compuestas motorizadas de tal forma que, dependiendo de las condiciones del aire exterior, permitamos entrar un mayor o menor caudal del mismo. Por ejemplo, si queremos impulsar aire a un local a 18 °C y la temperatura del aire exterior es de 18 °C, impulsaremos todo el aire del exterior, que no necesitará ningún tratamiento, y no lo mezclaremos con el aire de retorno, que será expulsado al exterior. Por el contrario, si la temperatura exterior es de 30 °C (en mayo, por ejemplo), mezclaremos el aire del exterior con el de retorno de forma que tan solo expulsemos al exterior la cantidad mínima que permita la renovación de aire.

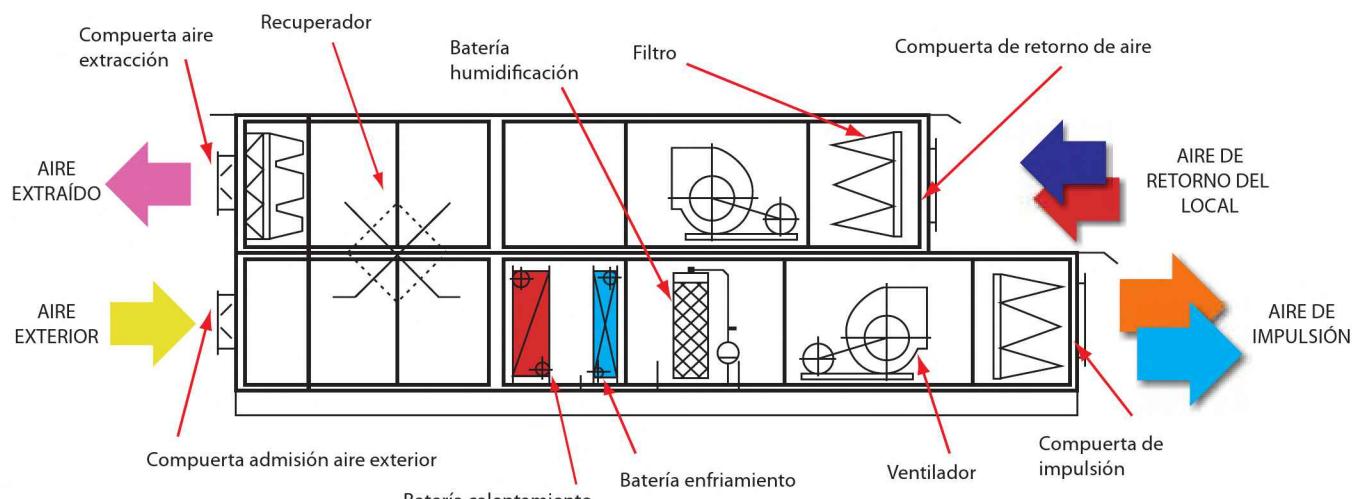


Figura 4.31. Esquema de unidad de tratamiento de aire

Otra opción para mejorar la eficiencia energética de estos equipos son los **recuperadores entálpicos**. Estos permiten recuperar energía del aire de expulsión del local antes de que llegue a la calle, para conseguirlo, se cruzan los caudales de aire de expulsión y del aire exterior sin que se mezclen, pero sí intercambiando su energía. De esta forma, por ejemplo, si queremos tener dentro del local 18 °C y el aire de entrada está a 30 °C y el aire de salida del local a 20 °C, se aprovecha la energía del aire de salida a 20 °C para enfriar el aire de entrada a 30 °C. De esta forma, el aire que tenemos que tratar estará a una temperatura por debajo de los 30 °C. Existen dos tipos de recuperadores entálpicos:

1. De flujos cruzados.
2. Rotativos.

Actividad propuesta

4.8. Una UTA trata el aire de una sala de reuniones de un edificio de oficinas. Se conocen los siguientes datos:

- Condiciones de la sala: $T_s = 17^\circ\text{C}$ y $H_r = 90\%$.
- Caudal de aire de retorno que entra a la UTA = $40 \text{ m}^3/\text{h}$, con una temperatura $T_s = 27^\circ\text{C}$ y una temperatura $T_h = 18^\circ\text{C}$.
- Caudal de aire exterior que entra al climatizador = $15 \text{ m}^3/\text{h}$, con temperatura $T_s = 34^\circ\text{C}$ y temperatura $T_h = 24^\circ\text{C}$.

Se pide que:

- Calcule el punto de mezcla de aire resultante y el punto de salida del aire de la UTA.
- Identifiques qué tipo de procesos se producen.
- Indique las propiedades del aire que se encuentra en el local.

4.5. Cálculo de cargas térmicas de refrigeración

Cuando quiere climatizarse un local en verano, es necesario extraer el calor que pueda entrar en el por diversas causas, como puede ser por la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior, por los elementos que se encuentren dentro del local que aporten calor, etc. La suma de todos estos calores por unidad de tiempo es lo que llamamos *carga térmica* y sirve para determinar la potencia de los equipos a instalar.

Para valorar las cargas térmicas, los datos de partida serán los siguientes:

1. Condiciones exteriores. Datos de la localidad:

- Temperatura exterior de bulbo seco (°C).
- Temperatura exterior de bulbo húmedo (°C).
- Humedad relativa.
- Altitud.
- Latitud.
- Oscilación térmica diaria de la temperatura (OMD).
- Oscilación térmica media anual (OMA).

La oscilación media diaria de temperatura (OMD) es la diferencia entre las temperaturas medias mínimas y máximas durante el verano. La OMA es la diferencia térmica de temperaturas entre verano e invierno.

Para la toma de estos datos, pueden utilizarse las normas UNE o las tablas recogidas en las guías técnicas de ahorro y de eficiencia energética en climatización del IDAE (Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía).



a)



b)

Figura 4.32. Recuperador rotativo (a) y de flujos cruzados (b)

Tabla 4.1. Temperaturas de las guías del IDAE para el cálculo de cargas térmicas de refrigeración

Ubicación	Temperatura seca (°C)	Temperatura húmeda (°C)	OMD (°C)	OMA (°C)
A Coruña	23,0	19,2	10,8	21,6
Álava	27,9	20,9	20,0	36,4
Albacete	33,0	19,3	18,8	40,4
Alicante	30,2	23,1	11,8	29,2
Almería	30,8	21,2	11,7	27,9
Asturias	24,2	20,5	13,6	28,0
Ávila	29,4	17,7	16,8	38,6
Badajoz	35,2	22,5	19,7	39,4
Baleares	31,0	23,2	15,6	33,5
Barcelona	28,9	24,1	9,2	29,7
Burgos	29,5	19,2	21,5	39,0
Cáceres	34,8	21,0	16,6	37,7
Cádiz	31,2	22,5	15,6	32,0
Cantabria	23,2	20,0	9,2	22,0
Castellón	30,4	23,5	11,4	29,6
Ciudad Real	34,8	21,4	17,8	40,2
Córdoba	36,8	23,4	20,2	39,9
Cuenca	31,7	18,7	16,9	39,1
Girona	30,6	21,9	17,2	37,2
Guipúzcoa	26,9	21,9	14,7	31,3
Granada	34,0	20,3	18,5	38,8
Guadalajara	30,2	19,4	22,3	43,6
Huesca	31,7	21,1	16,1	39,3
Jaén	33,9	22,5	13,0	35,2
La Rioja	31,2	21,3	19,2	38,2
Las Palmas	28,4	21,9	10,5	18,7
León	28,4	18,3	16,9	36,8
Lugo	26,0	20,1	20,3	34,6
Lleida	32,4	22,0	17,2	40,0
Madrid	34,0	20,6	18,6	40,4
Málaga	31,2	21,7	14,7	30,8
Melilla	29,0	21,4	9,8	24,6
Murcia	30,3	23,9	9,1	26,4
Navarra	30,6	22,4	17,9	36,9
Palencia	29,1	18,5	17,7	37,4
Ourense	31,7	22,1	21,5	38,5
Pontevedra	27,5	21,3	16,1	29,4
Salamanca	30,6	19,1	20,9	39,4
S. C. Tenerife	26,4	22,4	7,0	14,1

Tabla 4.1. Temperaturas de las guías del IDAE (*continuación*)

Ubicación	Temperatura seca (°C)	Temperatura húmeda (°C)	OMD (°C)	OMA (°C)
Segovia	30,6	17,9	16,0	38,6
Sevilla	35,6	23,2	19,2	38,4
Soria	29,3	18,3	19,6	38,8
Tarragona	29,7	21,8	13,2	33,2
Teruel	31,0	19,4	21,5	42,1
Toledo	35,1	20,6	17,6	40,5
Valencia	30,2	23,3	12,3	28,5
Valladolid	31,4	19,0	19,1	38,9
Vizcaya	26,8	20,6	16,3	31,4
Zamora	31,4	19,8	18,5	39,2
Zaragoza	32,8	21,5	17,1	39,2

Tabla 4.2. Humedades relativas medias de las guías del IDAE para el cálculo de cargas térmicas de refrigeración

Ubicación	Humedad relativa (%)	Ubicación	Humedad relativa (%)
A Coruña	77	Las Palmas	77,2
Álava	96	León	89,2
Albacete	70,4	Lugo	95,6
Alicante	78	Lleida	95,5
Almería	67	Madrid	69
Asturias	89	Málaga	81
Ávila	85,3	Melilla	80
Badajoz	92	Murcia	80
Baleares	80	Navarra	87
Barcelona	64	Palencia	85
Burgos	91,6	Ourense	95
Cáceres	84	Pontevedra	78
Cádiz	78	Salamanca	94,6
Cantabria	81	S.C.Tenerife	70
Castellón	64	Segovia	85,1
Ciudad Real	89	Sevilla	79,4
Córdoba	90	Soria	84,2
Cuenca	78,9	Tarragona	83
Girona	86	Teruel	94
Guipúzcoa	90	Toledo	82
Granada	84	Valencia	73,1
Guadalajara	91	Valladolid	89
Huesca	86,3	Vizcaya	89
Jaén	74,7	Zamora	94,6
La Rioja	93	Zaragoza	89

RECUERDA

Existen cargas térmicas internas y externas. Las externas son debidas a la entrada o a la salida de calor a través de las paredes o de los cerramientos, de las ventanas, de la radiación, de las infiltraciones, de la ventilación o de otras causas. Las internas son debidas al calor de las personas, a la iluminación, etc. También podemos clasificarlas como cargas térmicas latentes y sensibles. Las cargas latentes son las que producen variaciones en la humedad y, por el contrario, las sensibles producen variaciones en la temperatura.

Las tablas indican las condiciones más desfavorables a las 15 horas solares de los meses de julio y de agosto. En caso de tener que corregirlos por ser distinta hora o fecha, se adjuntan tablas.

2. Condiciones interiores. Vienen recogidas en el RITE. Nos indican los valores de temperatura y de humedad relativa para verano e invierno. En el caso de la refrigeración, tan solo nos interesan las condiciones de verano, que son:

- Temperatura: entre 23 y 25 °C.
- Humedad relativa: entre el 45 y el 60 %.

3. Condiciones del local. También es necesario conocer las características constructivas y de funcionalidad del local, tales como:

- Materiales constructivos.
- Orientación de las paredes.
- Ocupación.
- Iluminación y/o maquinaria si hubiere.
- Horario de funcionamiento.
- Renovaciones de aire.

A partir de las anteriores condiciones, pueden calcularse las cargas térmicas, que serán las siguientes:

- A través de los cerramientos.
- A través de cristales (ventanas, lucernarios o claraboyas).
- Por ocupación de personas en el local.
- Por iluminación y/o maquinaria.
- Por infiltraciones del aire.

4.5.1. Cargas térmicas a través de cerramientos

El calor que se transmite a través de las paredes, suelos y techos del local (siendo cerramientos exteriores si están en contacto con el aire de la calle e interiores si dan a otro

local) puede ser por radiación, conducción o convección como veremos a continuación:

• Radiación y transmisión en cerramientos exteriores. Se trata del calor que llega a través de la radiación solar y que se transmite a través de las paredes, de los suelos y de los techos del local a climatizar. Se trata de calor sensible puesto que es debido a un incremento de la temperatura. Se calcula a partir de la fórmula siguiente:

$$Q_{\text{cerramiento exterior}} = K \times S \times DTE$$

Donde K es el coeficiente de transmisión del cerramiento, pudiendo ser pared, suelo o techo ($\frac{W}{m^2 \times K}$),

S es la superficie del cerramiento (m^2) y DTE es la diferencia térmica equivalente (sus valores son en función de la orientación, la densidad y la hora solar. La hora solar será la hora del día para la que se hace el cálculo. Se trata de elegir la hora en la que la carga térmica sea más alta. Como, a priori, no puede saberse con exactitud, normalmente, se elige la que suponemos que va resultar más desfavorable, las 15 horas).

• Transmisión en cerramientos interiores. Al igual que el anterior, se trata de calor sensible porque se debe al incremento de temperatura. Se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$Q_{\text{cerramiento interior}} = K \times S \times \Delta T$$

Siendo K el coeficiente de transmisión del cerramiento, que puede ser pared, suelo o techo ($W/m^2 \times K$), S la superficie del cerramiento (m^2) y ΔT el incremento de temperatura entre el interior y el exterior (K).

4.5.2. Cargas térmicas a través de cristales

Las persianas, cortinas, lamas o pantallas atenúan la radiación solar que llega a los vidrios. Las persianas o toldos exteriores son mejores que los interiores porque reflejan y disipan el calor al exterior.

• Radiación solar en superficies acristaladas. Es el calor que llega por radiación a las superficies acristaladas. Se calcula de la siguiente forma:

$$Q_{\text{radiación vidrio}} = S \times R \times F$$

Siendo S la superficie acristalada (m^2), R la radiación solar unitaria (W/m^2) y F el factor de corrección (en caso de tener vidrios con características o condiciones particulares).

• Transmisión en superficies acristaladas. Se trata de una carga sensible que se produce por transmisión de calor por conducción a través del cristal. Se calcula a través de la fórmula:

$$Q_{\text{transmisión vidrio}} = K \times S \times \Delta T$$

Donde K es el coeficiente de transmisión del vidrio, que puede ser pared, suelo o techo ($\text{W/m}^2 \times \text{K}$), S es la superficie del vidrio (m^2) y ΔT es el incremento de temperatura entre el interior y el exterior (K).

■■■ 4.5.3. Cargas térmicas por ocupación de personas en el local

Las personas aportan calor latente a través de los procesos de respiración y de transpiración y calor sensible debido a las variaciones de temperatura. Por tanto, debemos calcular ambos:

- **Calor latente por ocupación.** Se calcula a partir de la fórmula:

$$Q_{\text{latente ocupación}} = N \times Q_{\text{latente}}$$

Siendo N el número de personas que ocupan el local y Q_{latente} el calor latente unitario producido por las personas (W).

- **Calor sensible por ocupación.** Se calcula a partir de la fórmula:

$$Q_{\text{sensible ocupación}} = N \times Q_{\text{sensible}}$$

Siendo N el número de personas que ocupan el local y Q_{sensible} el calor sensible unitario producido por las personas (W).

■■■ 4.5.4. Cargas térmicas por iluminación y/o maquinaria

La iluminación es una fuente de calor sensible. El calor se transmite por conducción, convección y radiación. Se calcula a partir de la potencia eléctrica y depende del tipo de lámpara que tengamos:

- **Para lámparas incandescentes.**

$$Q_{\text{iluminación incandescente}} = P_{\text{incandescente}} \times N_{\text{incandescente}} \times 0,86$$

Siendo $P_{\text{incandescente}}$ la potencia eléctrica de las lámparas incandescentes (W) y $N_{\text{incandescente}}$ el número de lámparas incandescentes.

- **Para lámparas fluorescentes.**

$$Q_{\text{iluminación fluorescente}} = P_{\text{fluorescente}} \times N_{\text{fluorescente}} \times 1,25$$

Siendo $P_{\text{fluorescente}}$ la potencia eléctrica de las lámparas fluorescentes (W) y $N_{\text{fluorescente}}$ el número de lámparas fluorescentes.

En caso de tener motores eléctricos u otras posibles fuentes de calor, también deberán añadirse al cálculo. Para el caso concreto **de motores eléctricos**, el cálculo se hace a partir de la siguiente fórmula:

$$Q_{\text{motor}} = P_{\text{motor}} \times (1 - \text{rendimiento motor})$$

Siendo P_{motor} la potencia eléctrica del motor (W).

■■■ 4.5.5. Cargas térmicas por ventilación e infiltraciones del aire

Al igual que las personas, las cargas térmicas por ventilación e infiltraciones pueden ser cargas latentes y cargas sensibles:

- **Calor latente por infiltraciones del aire.** Se calcula a partir de la fórmula:

$$Q_{\text{latente infiltraciones}} = \text{caudal} \times \Delta W \times 0,72$$

Siendo *caudal* el caudal de aire nuevo que entra (m^3) y ΔW el incremento de humedades absolutas interior y exterior (g/kg), es decir, $\Delta W = W_e - W_i$.

- **Calor sensible por infiltraciones del aire.** Se calcula a partir de la fórmula:

$$Q_{\text{sensible infiltraciones}} = \text{caudal} \times \Delta T \times 0,35$$

Siendo *caudal* el caudal de aire nuevo que entra (m^3) y ΔT el incremento de temperaturas interior y exterior (g/kg), $\Delta T = T_e - T_i$.

■■■ 4.5.6. Cargas térmicas totales

El total de cargas será la suma de todas las calculadas hasta ese momento.

Tabla 4.3. Resumen de cargas térmicas

	Cargas térmicas	Sensibles	Latentes
A través de cerramientos.	Radiación y transmisión en cerramientos exteriores.	Sí	NO
	Transmisión en cerramientos interiores.	Sí	NO
A través de cristales.	Radiación solar en superficies acristaladas.	Sí	NO
	Transmisión en superficies acristaladas.	Sí	NO
Por ocupación de personas en el local.		Sí	Sí
Por iluminación y/o maquinaria.		Sí	NO
Por ventilación e infiltraciones de aire.		Sí	Sí

- La psicometría se ocupa del estudio de las propiedades del aire húmedo. Las propiedades del aire húmedo se representan en el diagrama psicométrico. Estas propiedades son las siguientes: humedad absoluta o específica (W), humedad relativa (H_r), temperatura de bulbo seco (T_s), temperatura de bulbo húmedo (T_h), temperatura de rocío (T_r), volumen específico (V_{esp}), entalpía del aire húmedo (h) y factor de calor sensible (FCS).
- Para conseguir que el aire alcance las condiciones de confort deseadas, debemos someterlo a distintos tratamientos que permitirán transformar las propiedades del aire húmedo. Estos tratamientos son los siguientes: mezcla de dos caudales de aire húmedo, calentamiento sensible, enfriamiento sensible, humidificación/deshumidificación sin variación de temperatura, humidificación sin aporte o retirada de calor, humidificación con aporte o retirada de calor.
- En las Unidades de Tratamiento de Aire (UTA), se llevan a cabo distintos procesos para tratar el aire con el objetivo de obtener un volumen de aire con las condiciones deseadas de temperatura y de humedad.
- Una UTA puede estar compuesta por: la caja de mezcla, la compuerta de admisión aire exterior, la compuesta de retorno de aire, la batería de enfriamiento, la batería de calentamiento, la batería de humidificación, el filtro y la compuesta de aire de impulsión. La combinación de varias de las anteriores etapas permite adaptar la UTA a las necesidades concretas del local a climatizar.
- El enfriamiento gratuito o *free-cooling* consiste en poder variar el caudal de aire de entrada exterior de una UTA mediante compuestas motorizadas de tal forma que, dependiendo de las condiciones del aire exterior, permitamos entrar un mayor o menor caudal de aire en la UTA.
- Los recuperadores entálpicos permiten recuperar energía del aire de expulsión del local antes de que llegue a la calle. Para ello, cruzan los caudales del aire de expulsión y del aire exterior sin que se mezclen, pero habiendo intercambiado su energía.
- La carga térmica es el calor por unidad de tiempo que entra en el local y sirve para determinar la potencia de los equipos a instalar de forma que se alcancen las condiciones de temperatura y de humedad deseadas en el local.
- A partir de las condiciones interiores, exteriores y del local, se calculan las cargas térmicas de refrigeración, que serán las siguientes:
 - **A través de los cerramientos.** Radiación y transmisión en cerramientos exteriores y transmisión en cerramientos interiores.
 - **A través de cristales (ventanas, lucernarios o claraboyas).** Radiación solar en superficies acristaladas y transmisión en superficies acristaladas.
 - **Por ocupación de personas en el local.** Calor latente por ocupación y calor sensible por ocupación.
 - **Por iluminación y/o maquinaria.** Para lámparas incandescentes y para lámparas fluorescentes.
 - **Por infiltraciones del aire.** Calor latente por infiltraciones del aire y calor sensible por infiltraciones del aire.

Actividades de comprobación

- 4.1.** El nombre del diagrama que determina las condiciones del aire es :
- Diagrama de Mollier.
 - Diagrama psicométrico.
 - Diagrama p-h.
 - Diagrama entálpico.
- 4.2.** La densidad del aire a 15 °C y a una humedad relativa del 55 % es:
- De 1,22 kg/m³.
 - De 0,82 kg/m³.
 - De 1 kg/m³.
 - De 2,3 kg/m³.
- 4.3.** El volumen específico de una masa de aire a 21 °C y de un humedad relativa del 45 % es:
- De 0,835 m³/kg.
 - De 0,9 m³/kg.
 - De 1,20 m³/kg.
 - De 2,4 m³/kg.
- 4.4.** Señala la afirmación incorrecta. En el proceso de calentamiento sensible:
- Mantenemos constante la humedad absoluta.
 - Se aumenta la temperatura de un caudal de aire sin quitar o añadir humedad.
 - Se produce un aumento de la entalpía.
 - El volumen específico se mantiene constante.
- 4.5.** El psicrómetro es un aparato que sirve para medir:
- La temperatura de bulbo seco.
 - La temperatura de bulbo húmedo.
 - La humedad relativa.
 - La humedad absoluta.
- 4.6.** El proceso en el que aumenta el contenido de humedad sin variar la temperatura seca del aire es:
- El enfriamiento sensible.
- 4.7.** La humidificación sin variación de entalpía.
- La humidificación sin variación de entalpía.
 - La deshumidificación sin variación de temperatura.
 - La humidificación sin variación de temperatura.
- 4.8.** Señala la respuesta correcta:
- En la caja de mezcla de una UTA, se lleva a cabo un aumento de la humedad del aire.
 - El caudal de salida de la caja de mezcla de una UTA es el caudal de entrada exterior menos el caudal de retorno.
 - La temperatura de salida de la caja de mezcla de una UTA es siempre la temperatura del aire de retorno del local.
 - El caudal resultante en una caja de mezcla de una UTA es la suma del aire exterior más el de retorno.
- 4.9.** Para saber si es necesario colocar un recuperador entálpico en una UTA, es necesario saber:
- La potencia necesaria.
 - La temperatura del aire exterior.
 - La temperatura del aire del local.
 - Ninguna es correcta.
- 4.10.** Para realizar el cálculo de cargas térmicas de un local, es necesario conocer:
- Las condiciones de temperatura y de humedad interiores del local.
 - Las condiciones interiores, exteriores y las características del local.
 - Las condiciones de humedad exteriores.
 - Ninguna es correcta.
- 4.11.** La colocación de persianas hace que las cargas térmicas a través de cristales:
- Aumente.
 - Disminuya.
 - No afecta a la carga térmica.
 - Ninguna es correcta.

Actividades de aplicación

- 4.11.** Calcula la cantidad de agua que hay que añadir para pasar aire atmosférico de 2 °C y al 60 % de humedad a 26 °C y al 40 % de humedad.
- 4.12.** A una caja de mezclas de un equipo de acondicionamiento de aire, llegan dos caudales de aire, uno a 20 °C y al 60 % de humedad relativa y otro a 18 °C y al 55 %

de humedad relativa. Sabiendo que los caudales son de 700 m³/h y de 1.500 m³/h, respectivamente. Determina los siguientes valores para la mezcla resultante: temperatura seca, temperatura húmeda, humedad absoluta y humedad relativa.

- 4.13.** Por la parte superior de una torre de refrigeración, entran 50 m³/h de agua a 45 °C y se desea que el agua de salida descienda su temperatura en 25 °C. Para ello, el aire que entra por la parte inferior está a 25 °C y al 50 % de humedad y saldrá por la parte superior saturado a 30 °C.

Averigua la densidad del aire a la entrada y a la salida.

- 4.14.** En un proceso típico de acondicionamiento de aire, se requiere que, dentro del recinto, el aire llegue a las siguientes condiciones: de 11 °C de temperatura seca y del 90 % de humedad relativa. El ventilador del equipo tiene una capacidad para impulsar 60 m³/min. El aire de retorno sale del recinto con una temperatura seca de 27 °C y una temperatura húmeda de 18 °C. El aire exterior tiene unas condiciones de 34 °C de temperatura seca y 24 °C de temperatura húmeda. Para obtener las condiciones deseadas en el recinto, la mezcla de aire debe llegar al equipo con una temperatura seca de 30 °C.

- Indica qué cantidad de aire de retorno debe recircularse.

- Establece qué cantidad de aire exterior debe mezclarse con el aire de retorno.

- 4.15.** Explica los procesos de tratamiento del aire que existen.
- 4.16.** A un secador de alimentos, llega aire a una temperatura de 35 °C y una temperatura de rocío de 15,6 °C. Usa el diagrama psicométrico y determina: la humedad absoluta, la humedad relativa y el volumen específico.
- 4.17.** Un flujo de 10 m³/s de aire húmedo a 30 °C y al 80 % de humedad relativa se calienta hasta 50 °C de tal forma que, durante su calentamiento, la humedad absoluta permanece constante. Usa el diagrama psicométrico y calcula la cantidad de energía térmica requerida para efectuar el calentamiento.
- 4.18.** Busca fabricantes de unidades de tratamiento de aire e indica las baterías que les colocan (frío, calor, humidificación, etc.).
- 4.19.** Un caudal de 500 m³/s de aire a 50 °C y una temperatura de bulbo húmedo de 30 °C se mezcla con aire exterior que está a 15 °C y al 50 % de humedad relativa. La mezcla resultante tiene una temperatura de 25 °C.

Calcula la humedad absoluta de la mezcla resultante, el caudal de aire exterior y el caudal de mezcla resultante.

Actividades de ampliación

- 4.20.** Las unidades de tratamiento de aire son climatizadores destinados a tratar grandes caudales de aire y son empleados en multitud de aplicaciones, como puede ser en gimnasios, en hospitales, etc. En el caso concreto de los hospitales, la normativa nos indica los caudales mínimos de renovación de aire exterior dependiendo del uso del local, como podemos ver a continuación:

Área	Tipo de local	Caudal mínimo de aire exterior m ³ /(hm ²)	T [°] min. (°C)	T [°] máx. (°C)	Hr (%)	Presión sonora máxima dB(A)
Quirófanos	Quirófanos tipo A y B, incluso accidentes y partos.	Se recomienda que la totalidad del aire impulsado sea del exterior.	22	26	45-55	40
	Pasillos, almacén, material estéril, entrada y salida.	15	22	26	45-55	40
	Sala despertar.	15	22	26	45-55	35
Partos	Paritorios.	15	24	26	45-55	40
	Pasillos.	10	24	26	45-55	40

Averigua cuál es el rango de valores entre los que debe estar el contenido de humedad en cada uno de los locales de la tabla.

- 4.21.** Los filtros utilizados en los climatizadores tienen diferentes clases de filtración (F6, F7, F8, etc.) en función de la calidad de aire exterior y de la calidad de aire interior exigida. Busca en el RITE en qué situaciones se emplean cada una de las clases de filtración y realiza una tabla resumen con los datos obtenidos.