

TRABAJO PRÁCTICO:

EVOLUCIÓN PSICROMÉTRICA DEL AIRE EN UNA UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AIRE (UTA)

OBJETIVOS

- Conocer e identificar los elementos que componen la unidad de tratamiento de aire.
- Identificar los procesos y su influencia en el flujo de la mezcla, aire húmedo, y sus componentes, en función de los elementos activos en la instalación.
- Analizar la evolución de las propiedades psicrométricas del aire a partir de las medidas registradas experimentalmente.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

El tratamiento o acondicionamiento del aire tiene como propósito el alcanzar unas determinadas condiciones ambientales en un espacio cerrado, actuando sobre una serie de factores. En función de la finalidad, el acondicionamiento de un local puede ser doméstico, si se persigue el confort de las personas que ocupan dicho espacio, o industrial, cuando se busca adaptar las condiciones ambientales del local a un determinado proceso que vaya a tener lugar en el mismo (secado, refrigeración, conservación...).

Los parámetros que tienen mayor influencia en el confort térmico son la humedad, la temperatura y las corrientes de aire.

Para conseguir el bienestar térmico global de las personas, la temperatura operativa ha de estar, en época de invierno (calefacción) entre los 20 °C y los 24°C, y en época de verano (refrigeración) entre los 23 °C y los 26°C.

Asimismo, para alcanzar el bienestar térmico y evitar la excesiva humedad de la piel y la sequedad de la piel y las mucosas, la humedad relativa del aire debe estar entre el 30% y el 70%.

Por otro lado, la velocidad del aire tiene también una influencia determinante en la sensación de confort de las personas. En ocasiones, el malestar térmico puede tener origen en las corrientes de aire, así como diferencias notables de la temperatura del aire a la altura de las distintas partes del cuerpo.

Aire húmedo

El aire atmosférico está compuesto por una mezcla de gases: nitrógeno, oxígeno, argón, y otros gases en menor concentración, que se consideran de composición constante, y vapor de agua, cuyo contenido en el aire atmosférico es variable.

Se considera por tanto al aire húmedo como una mezcla formada por aire seco y vapor de agua. Será este el medio sobre el que se realicen los procesos de acondicionamiento.

El aire húmedo en fase gaseosa se comportará como una mezcla de gases ideales en la zona de trabajo que se va a considerar.

Para determinar las propiedades termodinámicas del aire es preciso conocer, según establece la ley de Gibbs, al menos tres propiedades. Se describirán a continuación las propiedades fundamentales del aire, las variables psicrométricas.

Variables psicrométricas

- Temperatura de bulbo seco (T_{bs} , o T) es la temperatura tomada por un termómetro de cualquier tipo situado en el seno del aire húmedo; generalmente se conoce como temperatura ambiente.
- Temperatura de rocío (T_r) es la temperatura que leería el termómetro, situado en el seno del mismo aire saturado a la presión parcial de vapor constante. Es decir: sería la mínima temperatura a la que podríamos enfriar el aire húmedo sin que se produjera condensación, manteniéndose constante la presión.
- Temperatura de saturación adiabática ($T_{sat ad}$), es la temperatura tomada por un termómetro de cualquier tipo, situado en el seno del aire previamente saturado adiabáticamente.

- Temperatura de bulbo húmedo (Tbh), se mide en un termómetro cuyo bulbo se ha encamisado con una mecha humedecida en agua. La corriente de aire, al pasar alrededor del mismo, se satura y el calor de vaporización del agua incorporada a dicha corriente de aire hace descender la temperatura indicada en el termómetro hasta un valor que se denomina temperatura de bulbo húmedo. Aunque este concepto de temperatura es diferente al de temperatura de saturación adiabática, en los diagramas psicrométricos se observa que alcanzan valores similares en los procesos de acondicionamiento de aire a temperatura moderada.
- Humedad específica (w): es la masa de vapor por unidad de masa de aire seco:

$$w = \frac{m_v}{m_{as}} = 0.622 * \frac{P_{sat}(t)}{P - P_{sat}(t)}$$

kg de vapor/kg de aire seco

Donde P es la presión ambiental y $P_{sat}(t)$ es la presión de saturación del agua a la temperatura medida.

- Humedad relativa (ϕ): es la relación que existe entre la presión parcial del vapor de un aire húmedo y la que se tiene en caso de saturación a la misma temperatura.

$$\phi = \frac{P_v}{P_{v sat}} \Big|_T$$

- Entalpía de aire seco (h_a): se considerará el aire seco como gas ideal, pudiendo expresar su entalpía como:

$$h_{as} = c_{p \text{ aire}} * t_i$$

Donde:

$c_{p \text{ aire}}$ = capacidad calorífica específica del aire seco a presión constante = 1,004 kJ/Kg°C

t_i = temperatura del aire (temperatura de bulbo seco).

El origen de entalpías se considera, en acondicionamiento de aire, el de 0°C, por eso (T-Tref) = $t(^{\circ}\text{C})$.

- Entalpía del vapor (h_v): se calcula con la siguiente expresión

$$h_v = r_0 + c_{p\text{ agua } v} * t_i$$

Donde:

$c_{p\text{ agua } v}$ = capacidad calorífica específica a presión constante del vapor de agua = 1,86 kJ/kg°C

t_i = temperatura del aire (temperatura de bulbo seco)

r_0 = entalpía de vaporización del agua = 2500 kJ/kg

Se toma como referencia el agua líquida a la temperatura del punto triple del agua.

- Entalpía del aire húmedo (h_{1+wi}) (sin condensado líquido o sólido) es la suma de las entalpías de aire seco y del vapor, multiplicada esta última por la humedad específica en el punto de medición.

$$\begin{aligned} h_{1+wi} &= \frac{m_{as} * h_{as} + m_v * h_v}{m_{as}} = h_{as} + w_i * h_v \\ &= c_{p\text{ aire}} * t_i + w_i * (r_0 + c_{p\text{ agua } v} * t_i) \end{aligned}$$

- Entalpía del agua condensada ($h_{w\text{ liq}}$): se calcula mediante la expresión:

$$h_{w\text{ liq}} = c_{p\text{ agua liq}} * t_i$$

Donde:

$c_{p\text{ agua liq}}$ = capacidad calorífica específica a presión constante del agua en estado líquido = 4,19 kJ/kg°C

Diagrama psicrométrico

Mediante las ecuaciones anteriores, se pueden conocer todas las propiedades termodinámicas del aire húmedo, y con ellas realizar balances de masa y energía a fin de calcular los flujos intercambiados en cada proceso.

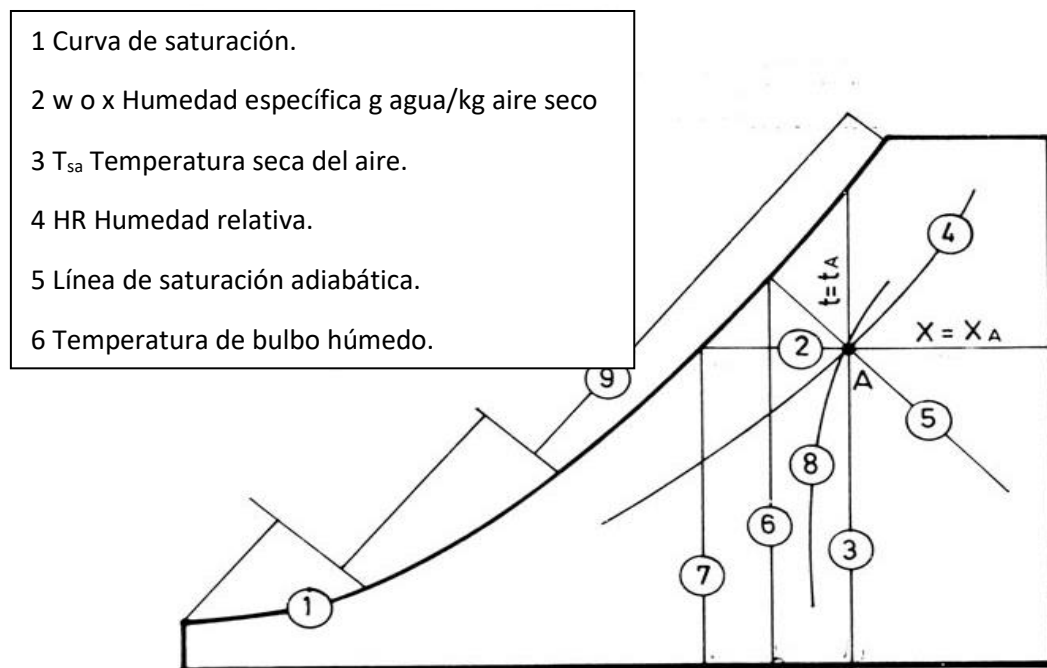
Se puede plantear de forma gráfica la evolución de cada proceso, entrando con las variables calculadas o medidas del aire húmedo, mediante el diagrama psicrométrico.

Existen varios tipos de diagramas psicrométricos, que varían en función de las coordenadas utilizadas. Un determinado estado termodinámico de aire húmedo

queda determinado si se conocen dos propiedades independientes además de su presión (determinada por la altitud sobre el nivel del mar).

El que se utilizará en el desarrollo de la práctica es el diagrama de Carrier, que tiene por coordenadas la temperatura de bulbo seco y la humedad específica; a la presión correspondiente a 750 m sobre el nivel del mar (admisible para la localidad de Valladolid).

A continuación se muestra un esquema con las distintas propiedades reflejadas en el diagrama psicrométrico numeradas y reflejadas en el mismo:



DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

La Unidad de Tratamiento de Aire consta de los siguientes elementos:

- Ventilador: impulsará el flujo de aire a lo largo de toda la unidad.
- Resistencia de precalentamiento: de 1 kW de potencia, calentará el flujo de aire que circule por ella.
- Humidificador: dispone de una cubeta en la que se verterá una cantidad de agua suficiente para que la resistencia que se encuentra en el interior permanezca cubierta durante todo el ensayo. De este modo se estará incorporando vapor de agua al flujo de aire que circula por la instalación, es decir, se está llevando a cabo un proceso de humidificación.

- Bomba de calor: Dispone de dos modos de funcionamiento, calor o frío. En función de cuál de ellos se active, se estará realizando un calentamiento o un enfriamiento del flujo de aire, respectivamente.



Figura 1: Vista frontal de la unidad de tratamiento de aire

Para llevar a cabo el registro de los valores experimentales en los ensayos que van a realizarse, se dispone de 4 sondas que medirán la temperatura y humedad relativa. Su distribución a lo largo de la instalación es la siguiente:

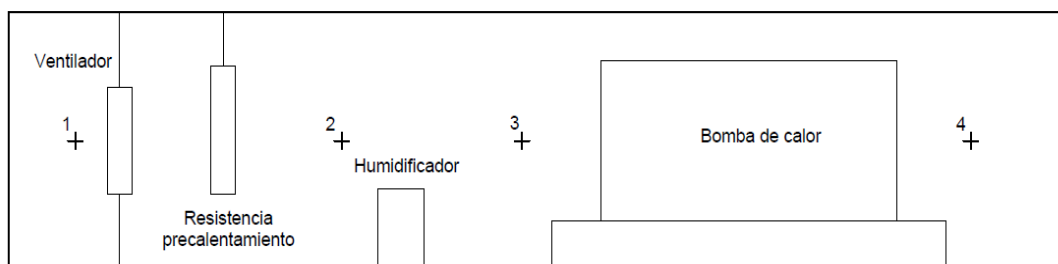


Figura 2: Esquema de la instalación.

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA: Toma de datos

Se realizarán 4 ensayos en los que se registrarán los valores de temperatura y humedad relativa proporcionados por las sondas, transcurridos 20 minutos desde el inicio del funcionamiento del equipo, en cada caso.

Es muy importante respetar el orden en que se han planteado los ensayos, ya que de realizarse de forma diferente, los valores registrados se verían polucionados por las experiencias anteriores.

Entre ensayos es necesario ventilar el conducto para volver a las condiciones de partida en el menor tiempo posible. Para ello se pueden quitar las pantallas de acceso al interior del equipo y activar el ventilador para favorecer el flujo del aire.

Es conveniente permanecer alejado del equipo durante su funcionamiento, a fin de alterar lo mínimo posible las mediciones que se realicen.

Deberá anotarse también el dato de presión atmosférica en el laboratorio.

- **Ensayo 1: Ventilador y resistencia de precalentamiento activos.**
Se llevará a cabo este ensayo de control a fin de calcular el flujo de aire que circula por la instalación.

	Sonda 1	Sonda 2	Sonda 3	Sonda 4
Ø (%)				
t (°C)				

- **Ensayo 2: Ventilador, resistencia de precalentamiento y bomba de calor en modo calor activos.**

	Sonda 1	Sonda 2	Sonda 3	Sonda 4
Ø (%)				
t (°C)				

- **Ensayo 3: Ventilador, resistencia de precalentamiento y bomba de calor en modo frío activos.**

	Sonda 1	Sonda 2	Sonda 3	Sonda 4
ϕ (%)				
t (°C)				

- **Ensayo 4: Ventilador, resistencia de precalentamiento, humidificador y bomba de calor en modo frío activos.**

Es importante tener en cuenta que la resistencia del humidificador ha de permanecer cubierta de agua durante los 20 minutos de duración del ensayo, por lo que habrá que contar con al menos, 3,5 litros de agua en la cubeta.

	Sonda 1	Sonda 2	Sonda 3	Sonda 4
ϕ (%)				
t (°C)				

TRATAMIENTO DE DATOS

Con los datos obtenidos durante los ensayos, habrán de realizarse los siguientes cálculos:

- 1) Cálculo del flujo de aire que circula por la instalación (evaluarlo a partir de la potencia de calentamiento de la resistencia de precalentamiento).

ENSAYO 1: Ventilador + resistencia precalentamiento	
\dot{m}_a (kg/s)	

- 2) Verificar que en el ensayo 2 no ha habido cambios en la cantidad de vapor de agua que contiene el aire húmedo entre los puntos 3 y

4.(aplicar el factor de corrección necesario para ajustar las humedades específicas en 3 y 4).

- 3) Cálculo del calor intercambiado entre 3 y 4 en el ensayo 2. (con los valores tras las correcciones que se hayan realizado para el cálculo anterior).

ENSAYO 2: Ventilador + resistencia precal + B.C. modo CALOR	
$\dot{q}_{3 \rightarrow 4}$ (kW)	

- 4) Cálculo del flujo de agua condensada retirada del flujo de aire húmedo en el proceso de enfriamiento del ensayo 3 (en el caso de que se observe una disminución significativa de la humedad específica entre 3 y 4).
- 5) Cálculo del flujo de calor retirado por la bomba de calor en el ensayo 3.

ENSAYO 3: Ventilador + resistencia precal + B.C. modo FRÍO	
$\dot{m}_{w\ cond}$ (kg/s)	
$\dot{q}_{3 \rightarrow 4}$ (kW)	

- 6) Cálculo del flujo de agua evaporada en el humidificador durante el ensayo 4.
- 7) Cálculo del flujo de calor entre los puntos 2 y 3 durante el ensayo 4.(habrá de tenerse en cuenta que la cubeta del humidificador se encuentra en el interior de la instalación, por lo que al calentarse no solo contribuirá con el agua evaporada, sino calentando también el flujo de aire).
- 8) Cálculo del flujo de agua condensada retirada del flujo de aire húmedo en el proceso de enfriamiento del ensayo 4.
- 9) Cálculo del flujo de calor retirado por la bomba de calor en el ensayo 4.

**ENSAYO 4: Ventilador + resistencia precal
+Humidificador + B.C. modo FRÍO**

$\dot{m}_{w\text{ evap}}$ (kg/s)	
$\dot{q}_{2 \rightarrow 3}$ (kW)	
$\dot{m}_{w\text{ cond}}$ (kg/s)	
$\dot{q}_{3 \rightarrow 4}$ (kW)	

Habrán de interpretarse los resultados obtenidos en cuanto a los signos de los flujos de calor obtenidos, así como a la magnitud de las cantidades de agua condensadas cuando la bomba de calor está enfriando, verificando la evolución del proceso en un diagrama psicrométrico.

