

12. PSICROMETRÍA

1. INTRODUCCIÓN	2
2. PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL AIRE	2
3. APARATOS Y DIAGRAMAS PSICROMÉTRICOS	2
Temperatura del aire húmedo	2
• Normal.....	2
• Húmeda.....	2
• Rocío.....	2
Medición de humedad	3
Higrómetro	3
Psicrómetro	3
Ábacos psicrométricos (diagrama de Carrier)	3
4. DIAGRAMA PSICROMÉTRICO	4
• Humedad absoluta o específica (W)	4
• Humedad relativa (Hr)	4
• Temperatura de bulbo seco (Ts).....	5
• Temperatura de bulbo húmedo (Th)	5
• Temperatura de rocío (Tr).....	6
• Volumen específico de aire seco (V esp).....	6
• Entalpía del aire húmedo (h)	7
• Factor de calor sensible (FCS).....	7
5. PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AIRE	8

1. INTRODUCCIÓN

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 trata de mantenerse en una situación de confort térmico, las condiciones óptimas de confort según el RITE son entre 21º y 25ºC y entre el 40% y el 60% de humedad relativa.

Estación	T operativa (°C)	HR (%)	V aire (m/s)
Verano	23 – 25	45 - 60	0,18 – 0,24
Invierno	21 - 23	40 - 50	0,15 – 0,20

Se define psicrometría como la ciencia que estudia las propiedades termodinámicas del aire húmedo y el efecto de la humedad atmosférica sobre los materiales y el confort humano, así como los métodos para controlar las características térmicas del aire húmedo. Es decir, Psicrometría es el estudio de las propiedades del aire húmedo.

2. PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL AIRE

El aire es una mezcla de gases incolora, inodora e insípida que rodea a la tierra.

- **Aire atmosférico**, es una mezcla de gases:

Oxígeno → 21%

Nitrógeno → 78%

Gases raros → 1%

- **Aire seco**

Es aire puro que contiene sólo los elementos anteriores y no contiene vapor de agua, es decir, es una mezcla de gases en ausencia de agua.

- **Aire húmedo**

Es una mezcla de gases con vapor de agua.

En los ambientes cerrados con personas en su interior, el contenido de vapor de agua en el aire va aumentando.

- **Aire saturado**

Es aire húmedo que contiene la máxima cantidad de vapor de agua por Kg de aire seco a una determinada temperatura. (100% Humedad)

3. APARATOS Y DIAGRAMAS PSICROMÉTRICOS

Temperatura del aire húmedo

A la hora de conocer las características y comportamiento del aire húmedo se deben estudiar tres tipos de temperaturas.

- **Normal**

Es la temperatura del aire tomada por un termómetro ordinario aislado de toda radiación térmica. También se denomina temperatura seca o **temperatura de bulbo seco**.

- **Húmeda**

Es la temperatura del aire tomada por un termómetro ordinario cuyo bulbo se ha recubierto de una gasa llena de agua. La temperatura que aparece se denomina **temperatura húmeda o de bulbo húmedo**. La temperatura mostrada en el termómetro de bulbo húmedo es menor que la del termómetro de bulbo seco en condiciones de menos del 100% de H relativa.

Si el aire estuviese saturado con humedad (100% hr), la lectura de la temperatura en el termómetro de bulbo húmedo, sería la misma que la del termómetro de bulbo seco.

- **Rocío**

Es la temperatura a la que el aire húmedo enfriado lentamente llega a su saturación (condensación). Esta temperatura se mide con un higrómetro de punto de rocío.

El **punto de rocío** es el punto de 100% de humedad y se define como: la temperatura debajo de la cual el vapor de agua en el aire comienza a condensarse.

Cuando la Hr es de 100% (saturación), las temperaturas de bulbo seco, bulbo húmedo y del punto de rocío son todas la misma

Medición de humedad.

Para medir la humedad del aire se utilizan los higrómetros y los psicrómetros.

Higrómetro

Son de **lectura directa**, es decir marcan directamente la humedad del aire.

- **Higrómetro de cabello:** Utiliza el alargamiento que experimenta el cabello con la humedad.
- **Higrómetro electrónico:** El elemento sensible se comporta como una resistencia eléctrica y el valor de esta resistencia varía de acuerdo con la humedad del aire. La variación de la resistencia se traduce por la modificación proporcional de la intensidad de corriente que alimenta el amplificador transistorizado, que motiva, a su salida, la visualización del valor de la humedad relativa en una pantalla de dígitos.

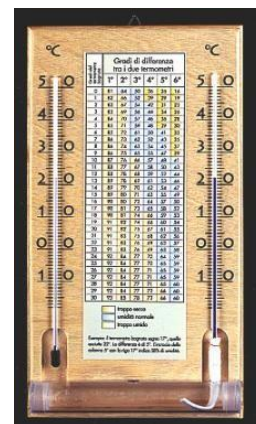


Psicrómetro.

Los psicrómetros son aparatos que miden de **forma indirecta** la humedad relativa del aire. Se suelen usar normalmente en las mediciones de frío industrial. El psicrómetro está formado por un conjunto de dos termómetros, uno de ellos de mercurio denominado de bulbo seco y otro del mismo tipo pero con el bulbo recubierto por una gasa empapada en agua y suficientemente ventilado. Este es el termómetro húmedo.

La diferencia de temperaturas a través de un ábaco psicrométrico nos da la humedad del aire o a través de la fórmula:

$$H_r = \left(1 - 3 \cdot \frac{T - T_h}{T + 18} \right) \cdot 100$$



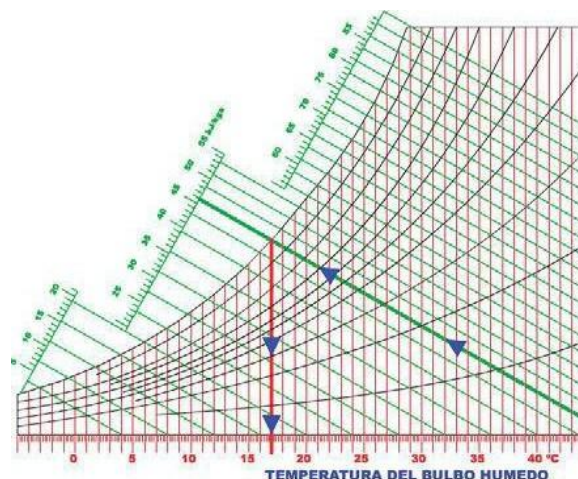
Ábacos psicrométricos (diagrama de Carrier)

Los ábacos o cartas psicrométricas son representaciones gráficas que permiten obtener magnitudes fundamentales del aire húmedo de forma sencilla.

Básicamente la carta psicrométrica muestra la relación entre cuatro propiedades fundamentales del aire:

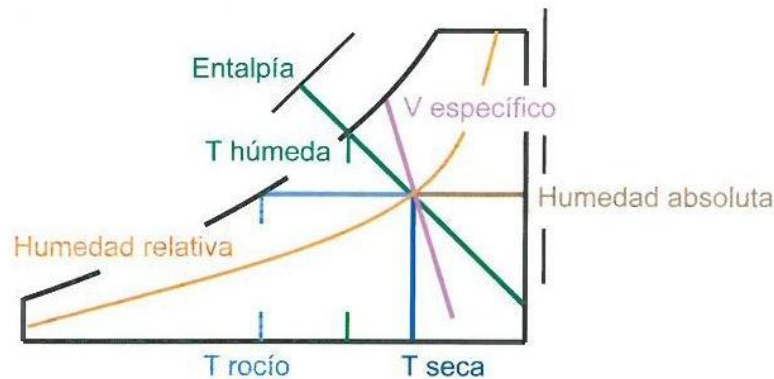
- Temperatura de bulbo seco.
- Temperatura de bulbo húmedo.
- Humedad absoluta
- Humedad relativa.

Si se conocen dos cualesquiera de esas propiedades mediante la carta psicrométrica pueden conocerse directamente las otras propiedades.



4. DIAGRAMA PSICROMÉTRICO

Las propiedades del aire húmedo se representan en el diagrama psicrométrico, de forma que, conociendo dos propiedades podemos determinar todas las demás.



En el diagrama psicrométrico podemos identificar las propiedades del aire húmedo

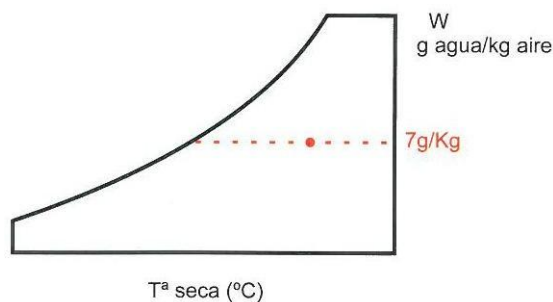
Los parámetros del aire húmedo son:

- **Humedad absoluta o específica (W)**

Es la relación entre la masa (gr) de vapor de agua que hay por cada Kg de aire seco. Es el término utilizado para, describir la presencia de vapor de agua en el aire

$$W = M_{\text{vapor agua}} / M_{\text{aire seco}}$$

(Se mide en gr/Kg)



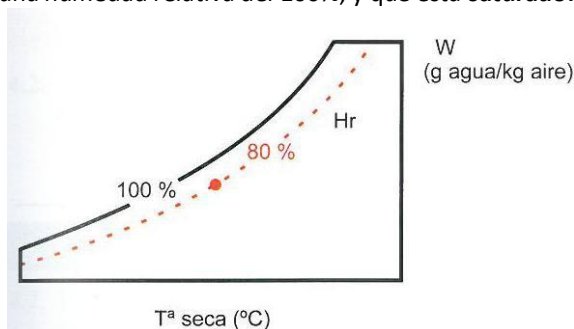
Línea de Humedad absoluta.

- **Humedad relativa (Hr)**

Se denomina humedad relativa al porcentaje de agua que tiene el aire, respecto al máximo que puede tener a una determinada temperatura.

$$Hr(\%) = \frac{H_{\text{absoluta}}}{H_{\text{saturada}}} \times 100$$

El aire normal ambiente no suele transportar el máximo de agua posible, sino que suele estar más seco. Si un aire tiene la mitad del agua **que puede tener**, decimos que tiene una **humedad relativa del 50%**. Si tiene el **máximo de agua**, decimos que tiene una humedad relativa del 100%, y que está **saturado**.



Línea de humedad relativa.

También podemos expresarlo de la siguiente forma: La humedad relativa del aire es la relación entre la presión de vapor de agua del aire húmedo y la presión de vapor saturado. La máxima cantidad de vapor agua que puede tener el aire depende de la temperatura, es decir, la Hr depende de la temperatura. El valor de humedad absoluta no es fijo, sino que depende de la temperatura del aire. A más temperatura de aire, más cantidad de agua admite..

$$Hr = P_{\text{vapor agua}} / P_{\text{vapor agua saturado}}$$

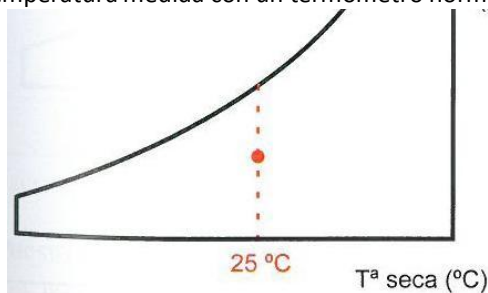
EJERCICIO:

Si tenemos aire a 10° C, con 7,6 gr/kg sabemos que se encuentra saturado (humedad relativa 100%). Si lo calentamos a 32° C, calcula su humedad relativa. Calcula también a 24 y a 50 grados.

Normalmente, la H relativa se mide con un aparato que se llama psicrómetro, que consiste en un termómetro de bulbo seco y otro de bulbo húmedo (el bulbo del termómetro está envuelto en una gasa húmeda). La diferencia entre las 2 temperaturas da como resultado la H relativa.

- **Temperatura de bulbo seco (Ts)**

Se trata de la temperatura medida con un termómetro normal. Su unidad es el °C.

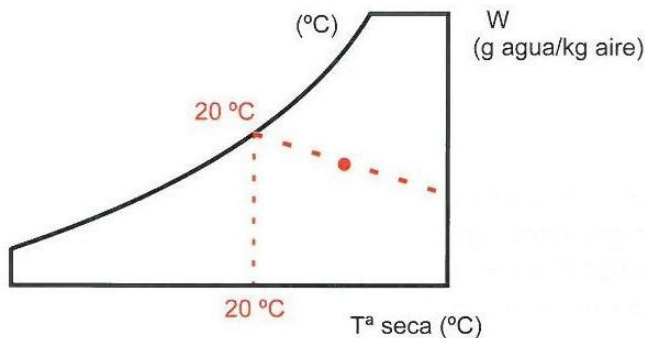


Línea de temperatura seca

EJERCICIO: Encontrar la HUMEDAD ABSOLUTA para unas condiciones de aire a 25° C y 60% de humedad.

- **Temperatura de bulbo húmedo (Th)**

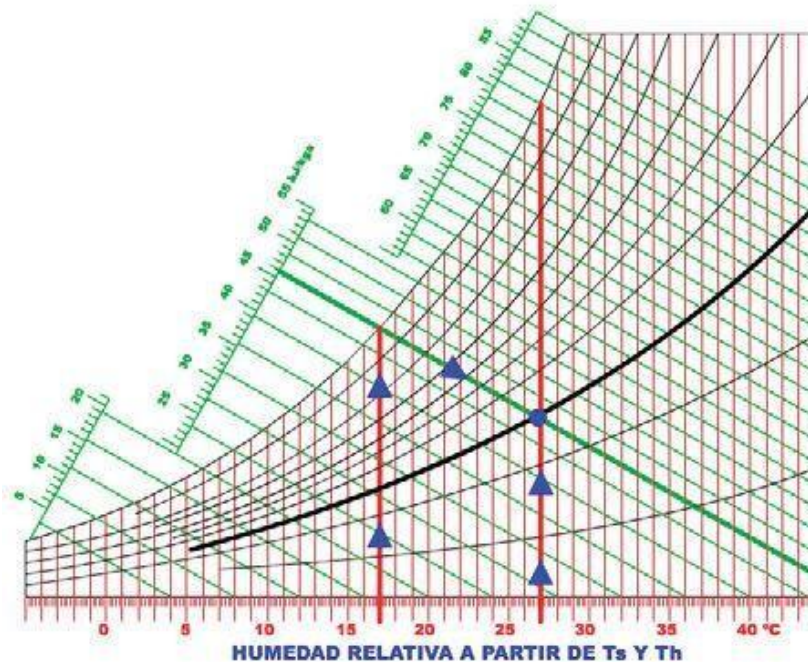
Se trata de la temperatura medida con un termómetro cuyo bulbo está envuelto en una gasa humedecida. Su unidad es el °C.



Línea de temperatura húmeda

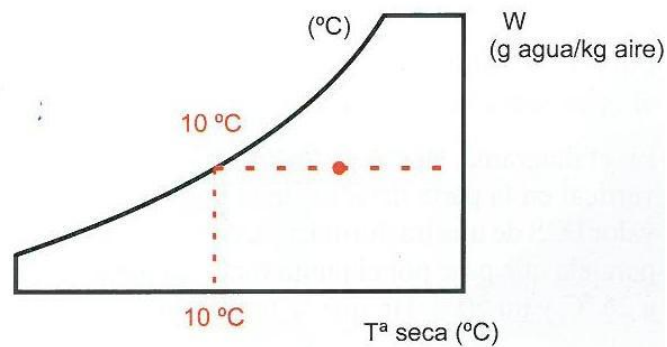
Con humedad 100% coincide la temperatura seca y húmeda.

Conociendo la T_s y la T_h , la intersección entre ambas nos da la humedad relativa en %, y hacia la derecha leeremos la humedad absoluta en gr/kg. Aunque existen aparatos denominados **higrómetros**, que nos indican directamente la humedad relativa en % y la absoluta en gr/kg.



- **Temperatura de rocío (T_r)**

Se trata de la temperatura a la que comienza la condensación del vapor de agua contenido en el aire. También es el punto de 100% de humedad. Su unidad es el °C.



Línea de temperatura de rocío

EJERCICIO: Calcula para aire a 24° C y Hr 30%, la temperatura del punto de rocío:

EJERCICIO: Calcula para aire a 25° C y Hr 60%, la temperatura del punto de rocío:

- **Volumen específico de aire seco (V_{esp})**

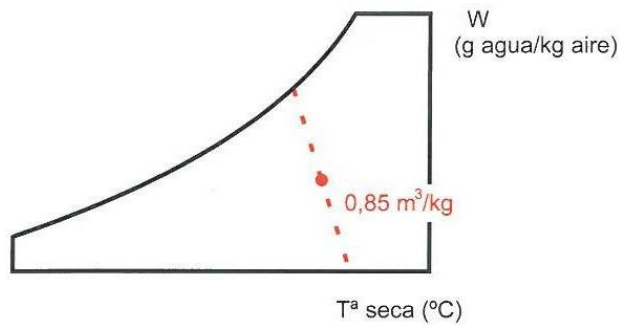
Es el volumen que ocupa la unidad de masa de aire

$$V_{esp} = \text{Volumen} / \text{Masa (m}^3/\text{kg)}$$

Para realizar los cálculos de humedad, etc., se utiliza el aire normalizado, que a 20° C tiene un volumen específico de 1,20 m³/kg. (Para pasar un caudal de m³/h a kg/h lo dividiremos por el volumen específico del aire, que es 1,2)

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

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

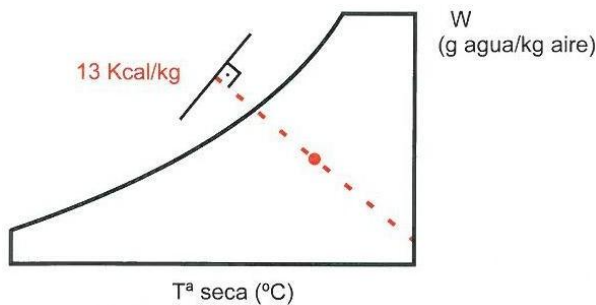


Línea de volumen específico

• 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 del aire. Sus unidades son KJ/kg de aire o Kcal/kg.

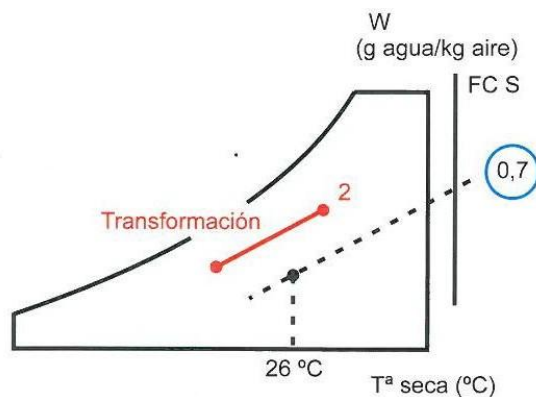
- **Calor sensible** es el necesario para cambiar la temperatura del aire.
- **Calor latente** es el necesario para evaporar el agua (hay que aportar calor), o condensar el agua (hay que quitar calor). En Climatización tenemos que tener claro que la potencia frigorífica de una máquina de aire acondicionado se reparte entre enfriar el aire (calor sensible), y quitarle humedad (calor latente).



Línea de entalpía

• Factor de calor sensible (FCS)

Es la relación entre el calor sensible y el calor total.



Representación del factor de calor sensible 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

5. PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AIRE

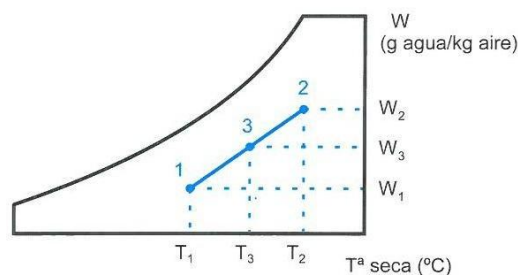
Para conseguir que el aire alcance las condiciones de confort deseadas, debemos someter el aire a distintos tratamientos que permitirán transformar las propiedades del aire húmedo. Estos tratamientos son:

- **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 tenemos como resultado otro volumen mezcla de los dos, con nuevas condiciones de temperatura y humedad.

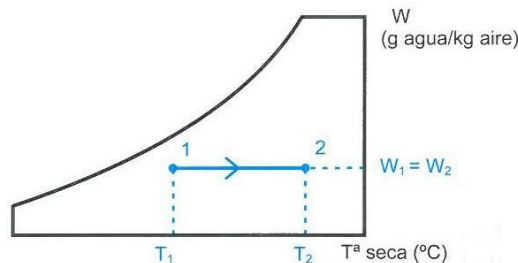
$$V_3 (\text{mezcla}) = V_1 + V_2$$

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:

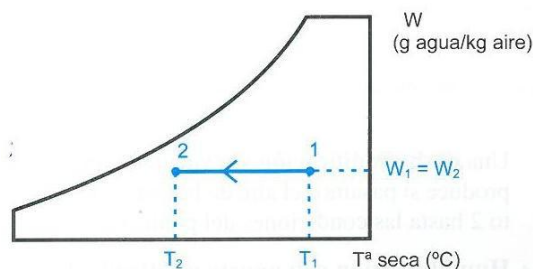
$$V_1 / V_3 = (T_3 - T_2) / (T_1 - T_2)$$



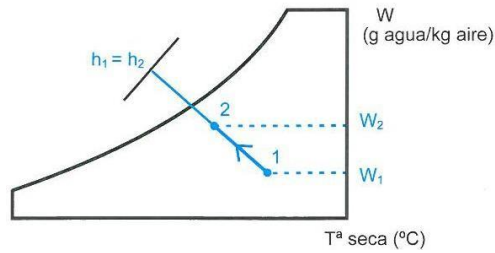
- **Calentamiento sensible.** En este proceso, se aumenta la temperatura de un caudal de aire sin quitar o añadir humedad. Por tanto mantendremos constante la humedad absoluta.



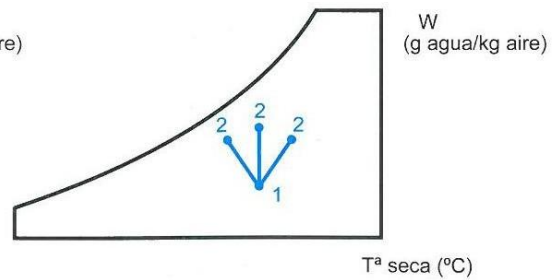
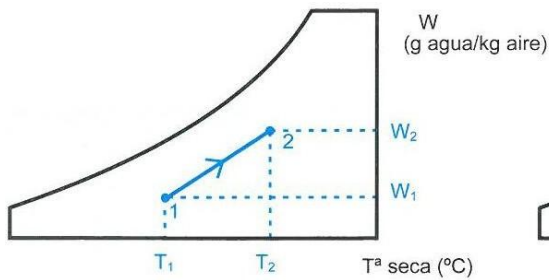
- **Enfriamiento sensible.** En este proceso, se disminuye la temperatura de aire sin variar la humedad del mismo. Disminuye la temperatura y la entalpía, aumenta la Humedad relativa y se mantiene constante la humedad absoluta o específica.



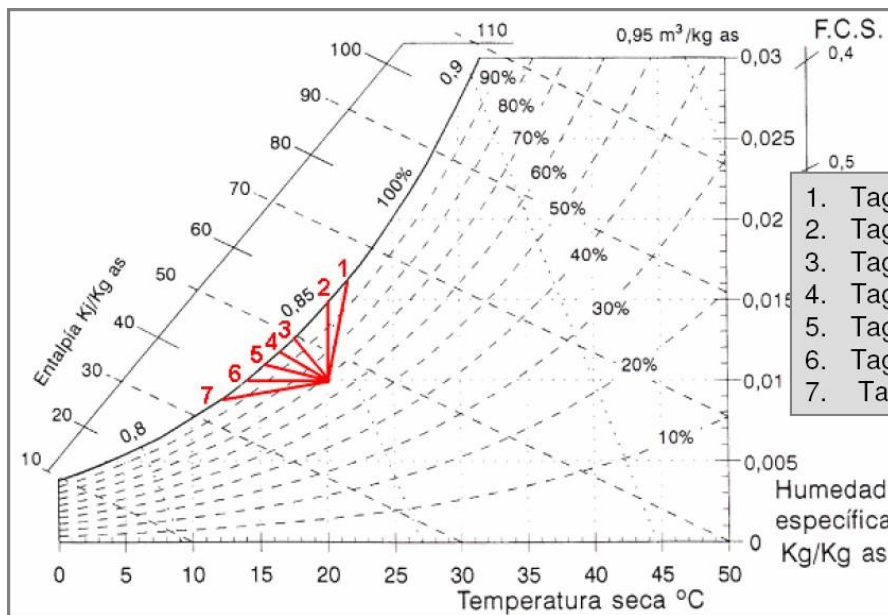
- **Humidificación sin variación de temperatura.** Aumenta el contenido de humedad sin variar la temperatura seca del aire.
- **Humidificación sin aporte o retirada de calor.** Aumenta la humedad absoluta del aire sin que se produzca variación en la entalpía. Si aumentamos su humedad hasta llegar a que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



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



Pueden pasar varios casos:



1. $T_{ag} > T_s$
2. $T_{ag} = T_s$
3. $T_{ag} < T_s, T_{ag} > T_h$
4. $T_{ag} = T_h$
5. $T_{ag} < T_h, T_{ag} > T_r$
6. $T_{ag} = T_r$
7. $T_{ag} < T_r$

20

DIAGRAMA PSICROMÉTRICO

Temperaturas normales

Presión barométrica 101,325 kPa

Al nivel del mar

