

Psicrometría

El aire que nos rodea es "aire húmedo", contiene **vapor de agua**

La **psicrometría** estudia las propiedades de la mezcla aire-vapor

Dentro de las **propiedades del aire** se habla de las propiedades del aire seco (as), del vapor de agua (va), y de la mezcla: el aire húmedo (ah)

Las propiedades del **aire seco**:

- El volumen:
$$V_{as} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg.as}} \right] = \frac{R_{as} \left[\frac{29,27 \text{ m}^3}{\text{kg K}} \right] T \left[\text{K} \right]}{p_{as} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]}$$

- El calor específico; $f(T, p)$, a 760 mm.Hg:
$$c_{p,as} = 0,24 \left[\frac{\text{kCal}}{\text{kg K}} \right] = 1 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \right]$$

- La entalpía:
$$h_{as} = 0,24 (T - T_a) \left[\frac{\text{kCal}}{\text{kg}} \right] = (T - T_a) \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

Si se referencia a 0°C y 760 mm.Hg
siendo T la temperatura de bulbo seco en °C

$$h_{as} = 0,24 T \left[\frac{\text{kCal}}{\text{kg}} \right] = T \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

Las propiedades del **vapor de agua**:

• El volumen:
$$V_{va} \left[\frac{m^3}{kg.va} \right] = \frac{R_{va} [47,1 m/K] T [K]}{p_{va} [kg/m^2]}$$

• El calor específico:
$$c_{p va} = 0,46 \left[\frac{kCal}{kg K} \right] = 1,86 \left[\frac{kJ}{kg K} \right]$$

• La entalpía:
$$h_{va} = (595 + 0,46 T) W \left[\frac{kCal}{kg} \right] = (2.501 + 1,86 T) W \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

W la humedad específica del aire (kg va / kg as)
595 el calor latente de evaporación [kCal/kg]

Las propiedades de la **mezcla**:

• El volumen:
$$V_{ah} = V_{as} = V_{va}$$

• La presión total:
$$p_{ah} = p_{as} + p_{va}$$

• La entalpía:
$$h_{ah} = h_{as} + h_{va} =$$

$$= (0,24 T) + [(595 + 0,46 T) w] \left[\frac{kCal}{kg} \right] =$$

$$= T + (2.501 + 1,86 T) W \left[\frac{kJ}{kg} \right] \quad 4$$

- **HUMEDAD ABSOLUTA:** cantidad de vapor de agua en el aire
- **HUMEDAD RELATIVA:** cantidad de vapor de agua en el aire comparada con la cantidad máxima posible para una dada temperatura

$$HR\% = \frac{P_w}{P_{w,sat}(T)}$$

- **PUNTO DE ROCÍO:** temperatura correspondiente a la saturación del aire con vapor de agua
- A mayor temperatura del aire, la cantidad de vapor de agua que puede retener aumenta

Temperaturas de bulbo seco y húmedo

Temperatura de bulbo seco: La temperatura de bulbo seco del aire es la temperatura que se mide con un termómetro ordinario, un termómetro de vidrio con mercurio, con el bulbo seco.

Temperatura de bulbo húmedo: es aquella que se mide con un termómetro ordinario con el bulbo cubierto por un pabilo humedecido con agua limpia, haciéndole circular aire. El aire circulado evaporará parte del agua del pabilo para tratar de saturarse; el calor necesario para que se evapore el agua es tomado del agua restante del pabilo que al permanecer húmeda, disminuirá su temperatura hasta un límite. A este límite se le llama temperatura de “bulbo húmedo”.

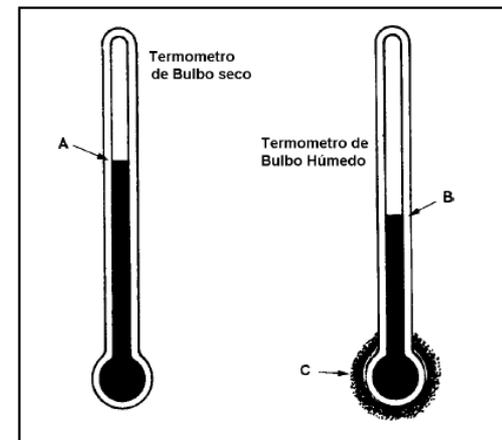
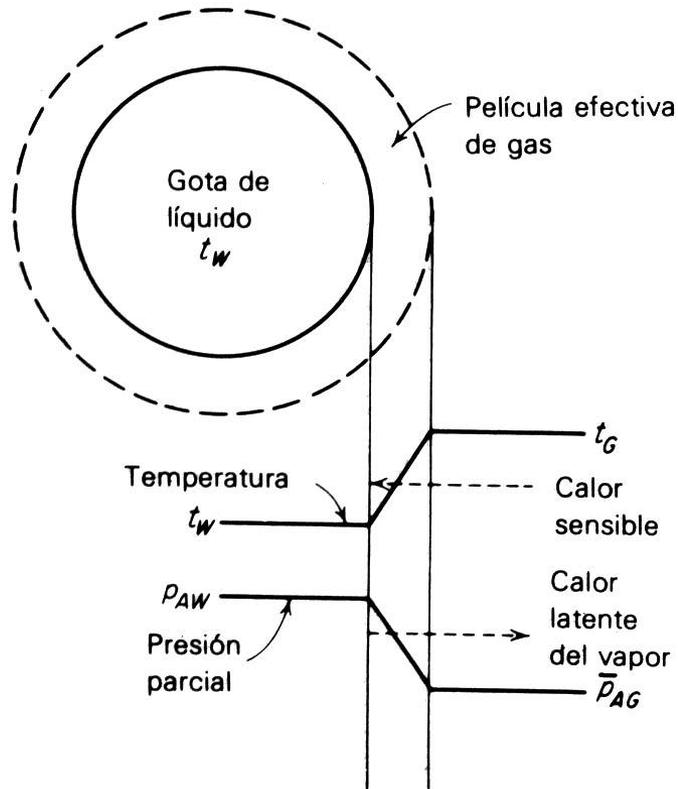


Tabla 13.7 - Termómetros de bulbo seco y bulbo húmedo

Temperatura de bulbo húmedo

Si $t_w > t_{\text{rocio}}$ del gas

Mezcla vapor-gas $\begin{cases} t_G & = \text{temperatura de bulbo seco} \\ \bar{p}_{AG} & = \text{presión parcial de vapor} \\ Y' & = \text{humedad absoluta} \end{cases}$



La temperatura de bulbo húmedo **es la temperatura en estado estacionario** alcanzada por una pequeña cantidad de líquido que se evapora en una gran cantidad de una mezcla vapor-gas no saturada.

En condiciones apropiadamente controladas, dicha temperatura puede utilizarse para medir la humedad de la mezcla

Finalmente la rapidez de transferencia de calor del gas al líquido será igual a la rapidez de necesidad de calor para la evaporación, y la temperatura del líquido permanecerá constante en algún valor bajo, la temperatura de bulbo húmedo t_w .

Temperatura de bulbo seco, T_{BS} (T_{aire})

Temperatura de bulbo húmedo, T_{BH} (T_{agua})

$T_{BS} = T_{BH} \Rightarrow$ aire saturado

$T_{BS} > T_{BH} \Rightarrow$ aire no saturado

$(T_{BS} - T_{BH})$ en tablas \rightarrow HR

$\left\{ \begin{array}{l} \text{Si } (T_{BS} \gg T_{BH}) \Rightarrow \text{HR baja} \\ \text{Si } (T_{BS} \approx T_{BH}) \Rightarrow \text{HR alta} \end{array} \right.$

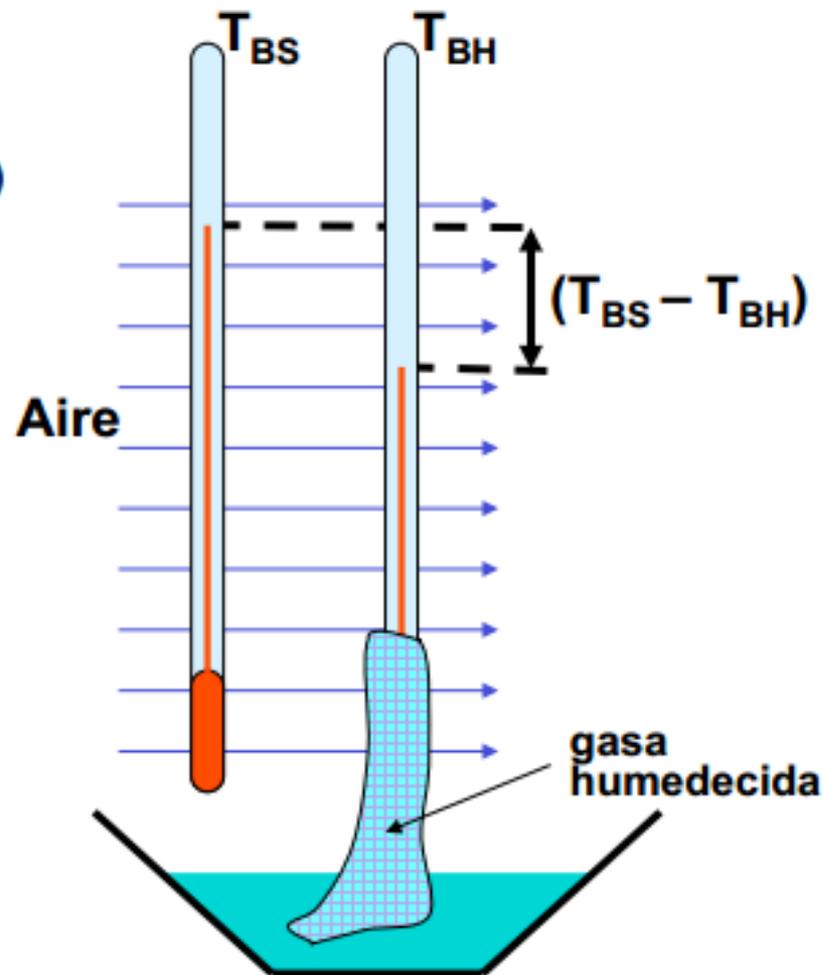


Diagrama Psicrométrico

Es el empleado para resolver los problemas del aire húmedo
Hay que considerar la presión (altitud)

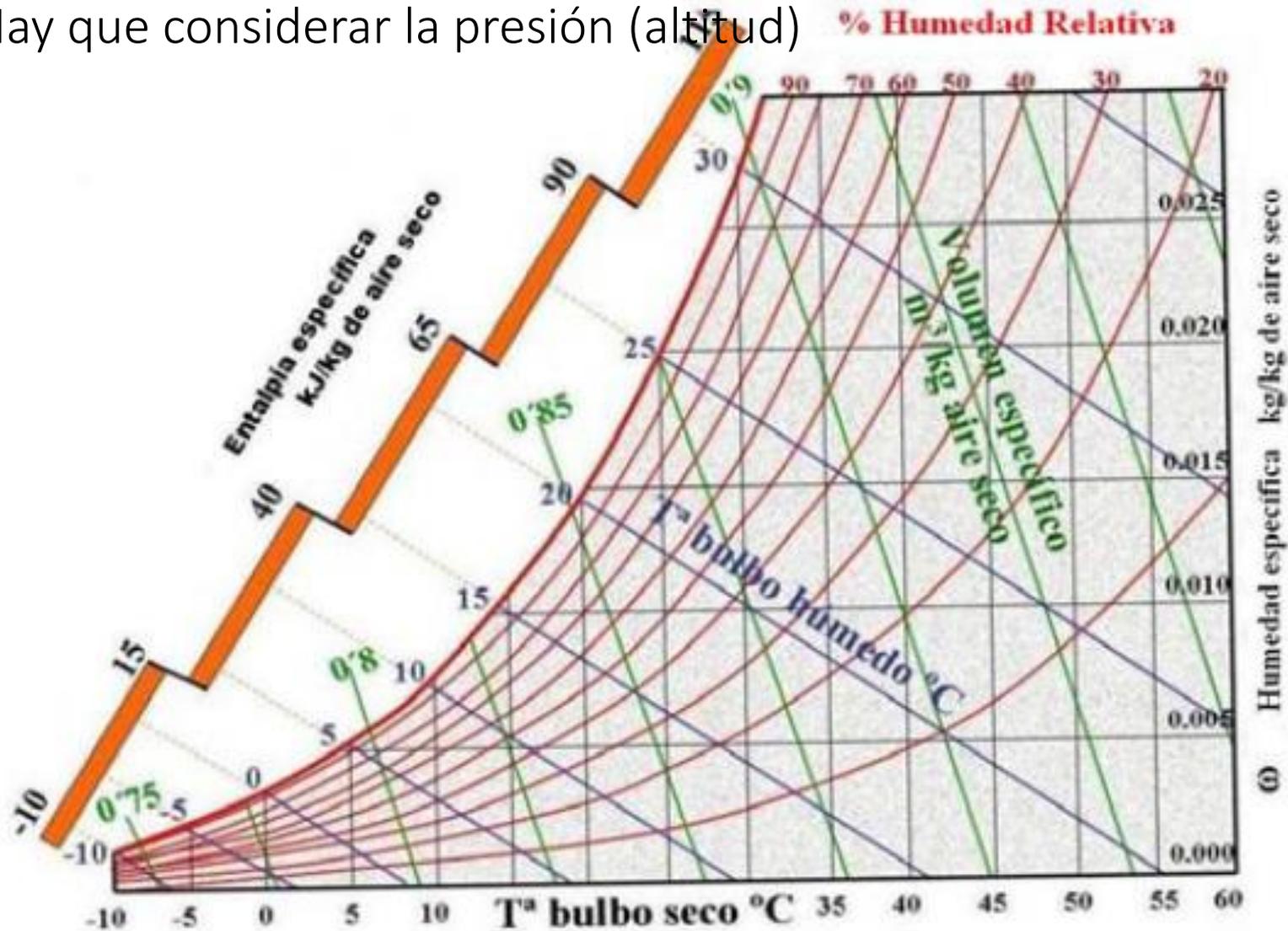


Diagrama Psicrométrico aire-agua

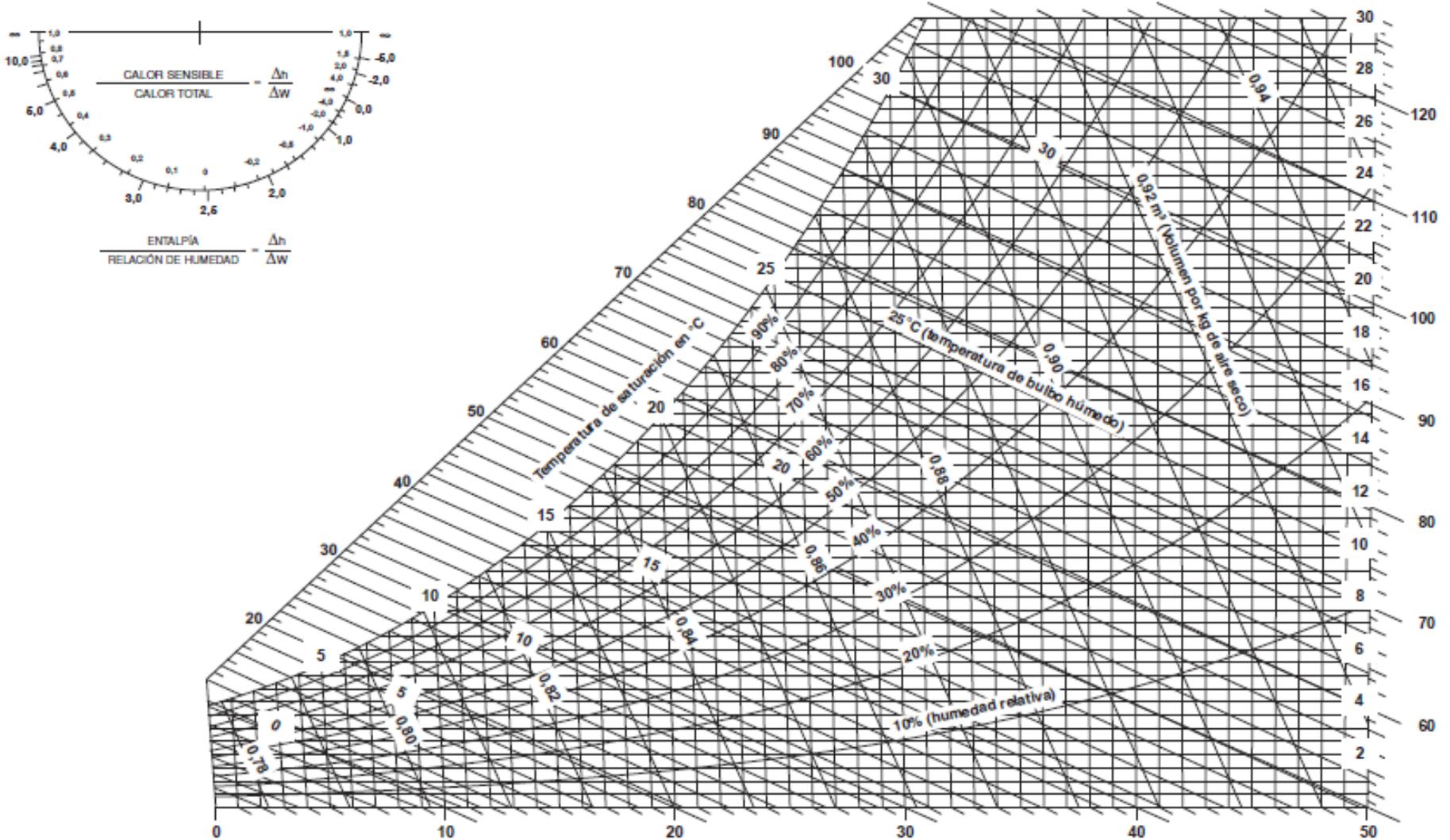
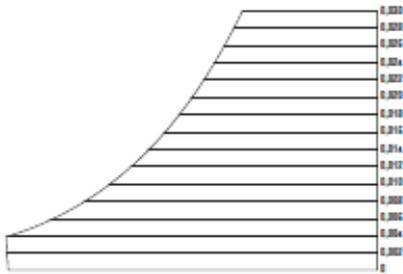


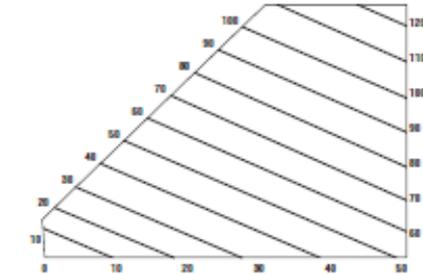
Diagrama Psicrométrico

El gráfico psicrométrico es la representación gráfica de las propiedades termodinámicas que tienen un impacto en el aire húmedo.

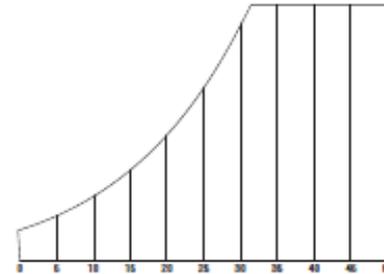
Consta de ocho componentes principales:



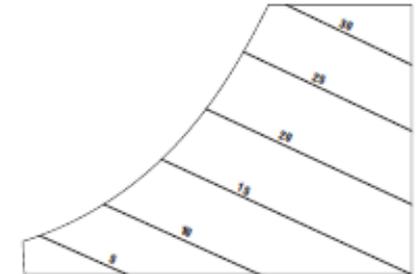
1. Los valores de la relación de humedad se trazan verticalmente a lo largo del margen derecho, empezando por 0 kg/kg de aire seco en la parte inferior y ampliando a 0,03 kg/kg de aire seco en la parte superior.



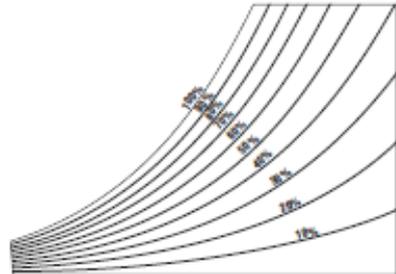
2. Entalpía, o el calor total, se traza con líneas oblicuas, a intervalos de 10 kJ/kg de aire seco, ampliando desde el extremo superior izquierdo hasta el inferior derecho.



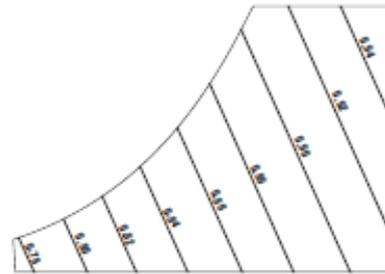
3. Las líneas de temperatura de bulbo seco se trazan verticalmente a intervalos de 1°C.



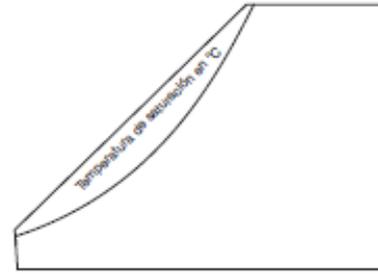
4. Las líneas de temperatura de bulbo húmedo se indican oblicuamente y caen casi paralelas a las líneas de entalpía. Se muestran a intervalos de 1°C.



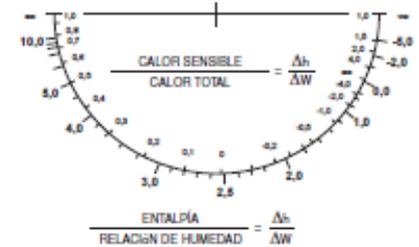
5. Las líneas de humedad relativa se curvan en el gráfico desde la izquierda hasta la derecha a intervalos del 10%. Empiezan en la parte inferior en el 10% y terminan en la superior con la curva de saturación (100%).



6. Las líneas de volumen que indican metro cúbico por kilogramo de aire seco se trazan a intervalos de 0,01 m³.

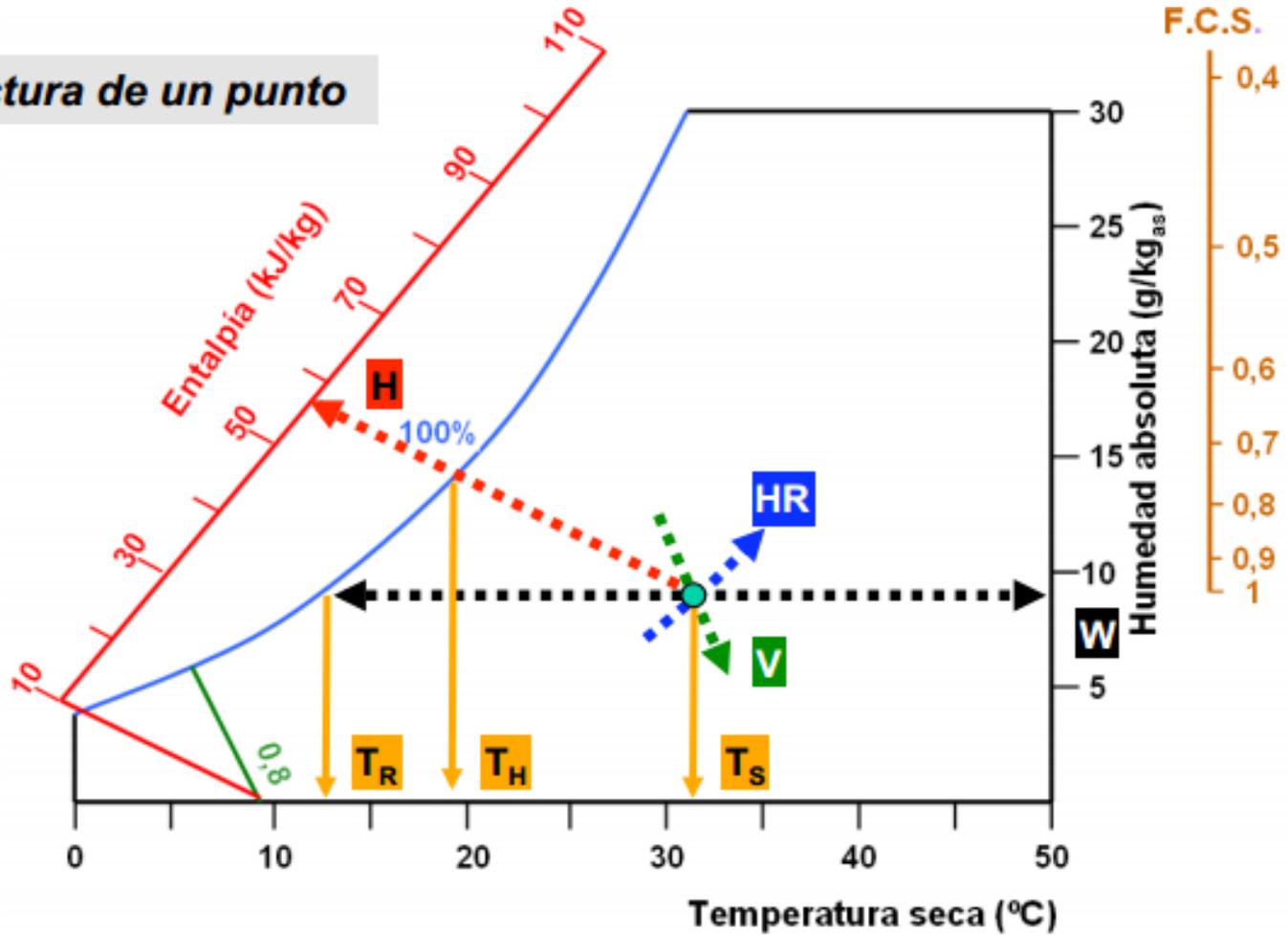


7. La región de dos fases incluye un área estrecha y rayada a la izquierda de la región de saturación que indica una mezcla de agua condensada en equilibrio.



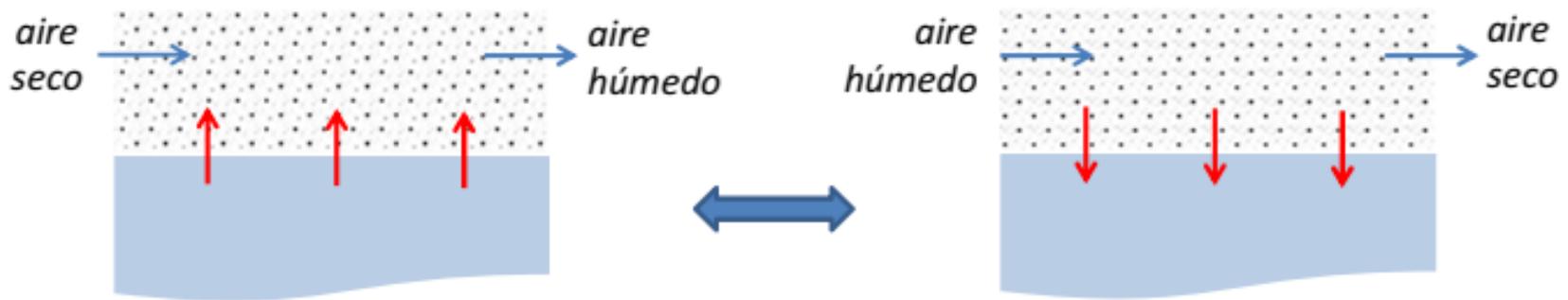
8. El semicírculo graduado en la parte superior izquierda del gráfico contiene dos escalas. Una es para la relación de diferencia de entalpía. La otra es para la relación de calor sensible respecto al calor total. El semicírculo graduado establece el ángulo de una línea en el gráfico junto a la cual se seguirá un proceso.

Lectura de un punto



OPERACIONES AIRE-AGUA

- HUMIDIFICACIÓN / DESHUMIDIFICACIÓN DE AIRE



- ENFRIAMIENTO DE AGUA

Efecto de enfriamiento por evaporación (pérdida de calor latente)
Ejemplo: efluentes acuosos calientes

Parámetro clave \longrightarrow Humedad relativa : %HR (T,P)

Equipo deshumidificador

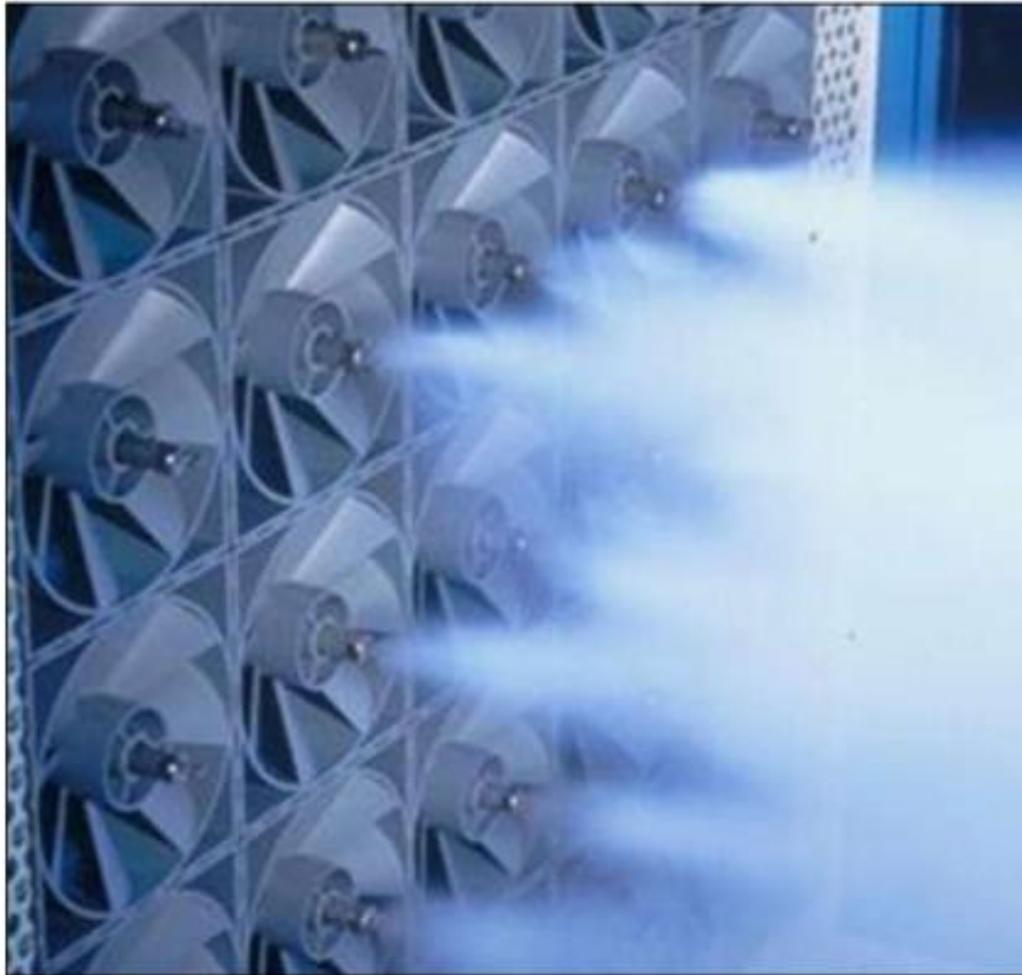
AIRE SECO
sin variar la temperatura



**HUMEDAD
AMBIENTAL**

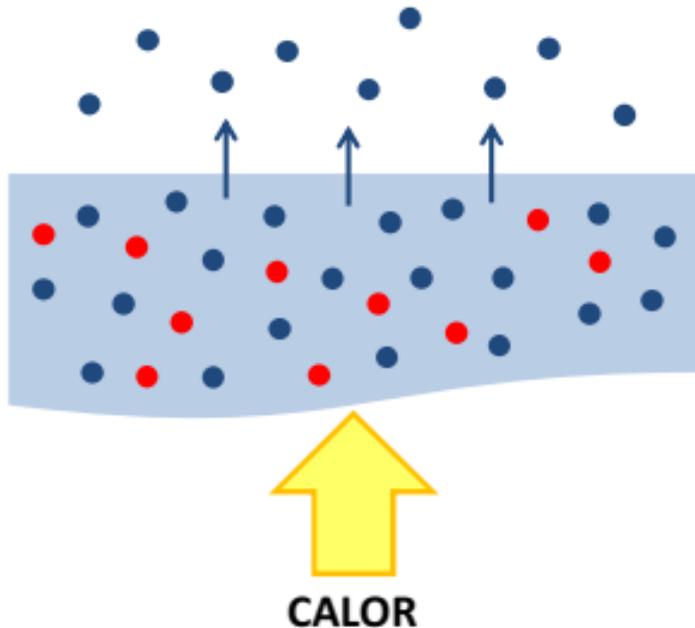
- ① Compresor hermético
- ② Ventilador
- ③ Batería caliente: condensador
- ④ Batería fría: Evaporador
- ⑤ Escarcha de agua
- ⑥ Cubeto de recogida de agua
- ⑦ Filtro de aire

Humidificación por spray



EVAPORACIÓN

Eliminación de agua (u otro solvente) de una solución para incrementar su concentración, mediante aplicación de calor y/o reducción de presión (vacío)



- Solute no volátil
- El vapor es solvente puro
- Puede producirse precipitación del soluto (saturación)
- Trabajar bajo vacío permite reducir la T de ebullición

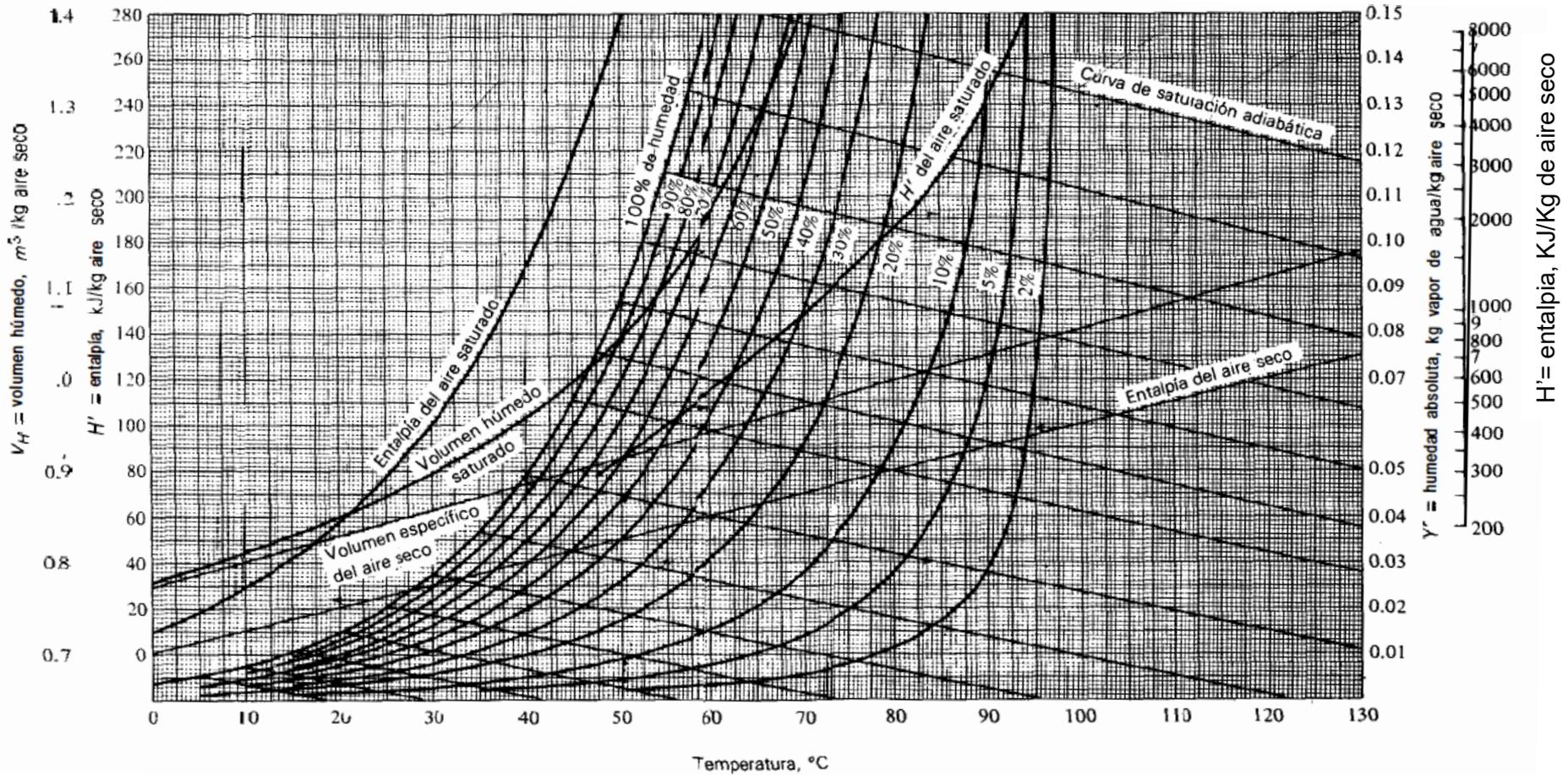
El producto deseado puede ser:

El soluto (pero más concentrado)

El solvente (ej: desalinización de agua de mar)

Diagrama Psicrométrico (1 atm)

15



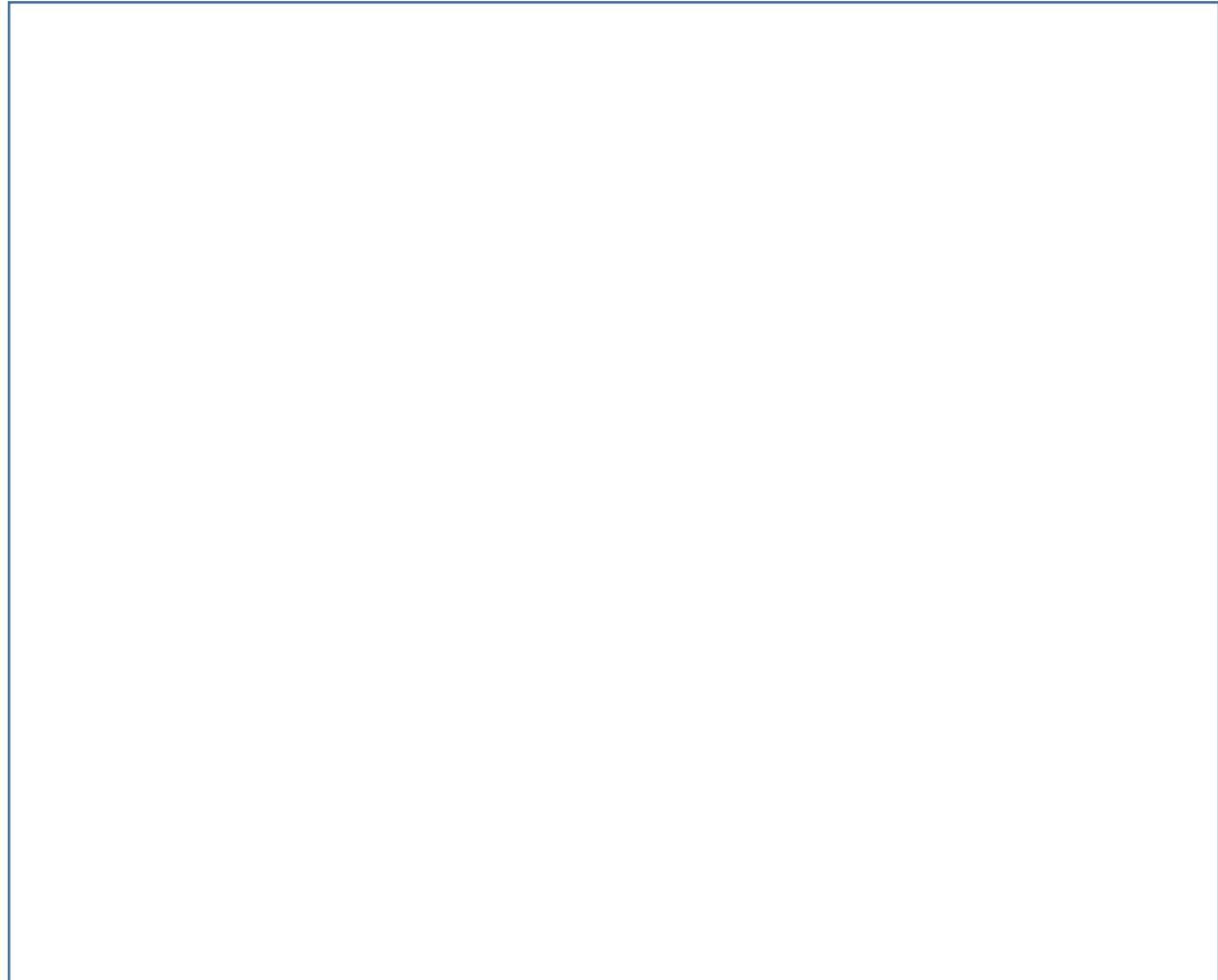
Ej: Mezcla aire-agua a $T_G=55^\circ\text{C}$ con $Y'=0.030$ a 1 atm

Ejemplo de uso de la carta psicrométrica

Ej: Mezcla aire-agua a $T_G=55^\circ\text{C}$ e $Y'=0.030$ a 1 atm

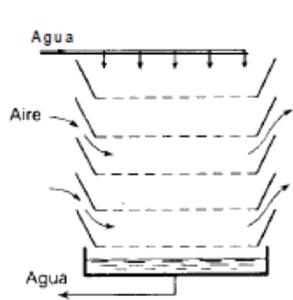
Encontrar/calcular:

- ✓ Humedad %
- ✓ Humedad de saturación a 55°C
- ✓ Humedad molal absoluta
- ✓ P_{parcial} del vapor de agua
- ✓ Humedad relativa
- ✓ Punto de rocío
- ✓ Volumen húmedo
- ✓ Calor húmedo
- ✓ Entalpia

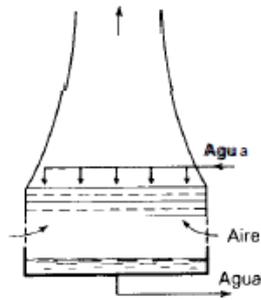




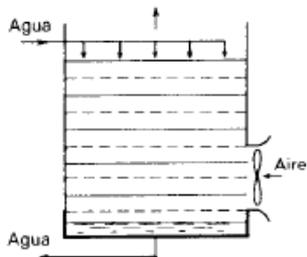
Torre de enfriamiento



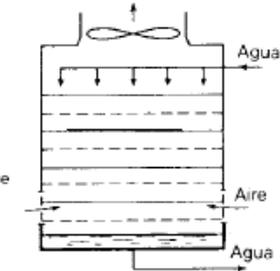
(a) Atmosférica



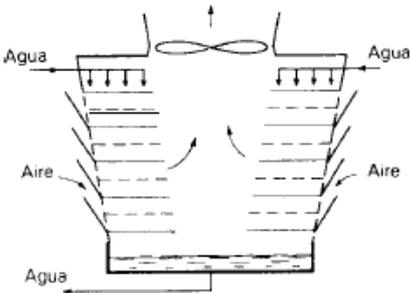
(b) Tiro natural



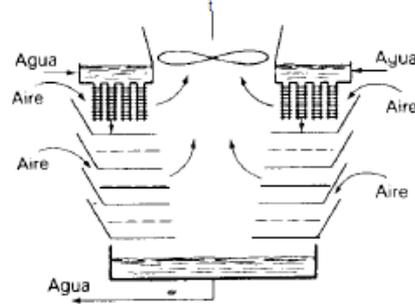
(c) Tiro forzado



(d) Tiro inducido a contracorriente



(e) Tiro inducido a flujo transversal



(f) Torre molada-seca

