

TD. T7.- Psicrometría

Las transparencias son el material de apoyo del profesor para impartir la clase. No son apuntes de la asignatura. Al alumno le pueden servir como guía para recopilar información (libros, ...) y elaborar sus propios apuntes

Departamento: Ingeniería Eléctrica y Energética
Area: Máquinas y Motores Térmicos

CARLOS J RENEDO renedoc@unican.es
Despachos: ETSN 236 / ETSIIT S-3 28
<http://personales.unican.es/renedoc/index.htm>
Tlfn: ETSN 942 20 13 44 / ETSIIT 942 20 13 82

1

TD. T7.- Psicrometría

Objetivos:

Conocimiento de las propiedades del aire húmedo, y sus transformaciones. Se presenta el diagrama psicrométrico, mostrando su potencial en la resolución rápida de problemas

El tema incluye una práctica de simulación de propiedades del aire húmedo y transformaciones psicrométricas

2

- 1.- Introducción
- 2.- Cuestiones Básicas de Psicrometría
- 3.- El Diagrama Psicrométrico
- 4.- Transformaciones Psicrométricas

1.- Introducción

El aire es un gas que envuelve la Tierra, está compuesto de una mezcla de varios gases, prácticamente siempre en la misma proporción

Componente	Símb.	% Vol	% Peso
Nitrógeno	N ₂	78,08	75,518
Oxígeno	O ₂	20,94	23,128
Argón	Ar	0,0934	1,287
Dióxido de Carbono	CO ₂	0,00315	0,46
Otros		0,0145	0,0178

T = 0 °C, p = 760 mm Hg

3

2.- Cuestiones básicas de psicrometría (I)

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 (vapor), y de la mezcla: el aire húmedo (ah)

Las propiedades del **aire seco**:

- El volumen específico:
$$v_{as} \left[\frac{m^3}{kg_{as}} \right] = \frac{R_{as} [287 J \cdot kg_{as} / K] \cdot T [K]}{p_{as} [Pa]}$$

- El calor específico; f(T, p), a 760 mm.Hg:
$$c_{p,as} = 0,24 \left[\frac{kcal}{kg_{as} \cdot K} \right] = 1,006 \left[\frac{kJ}{kg_{as} \cdot K} \right]$$

- La entalpía:
$$h_{as} = 0,24 \cdot (T - T_a) \left[\frac{kcal}{kg_{as}} \right] = 1,006 \cdot (T - T_a) \left[\frac{kJ}{kg_{as}} \right]$$

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

$$h_{as} = 0,24 \cdot T \left[\frac{kcal}{kg_{as}} \right] = T \left[\frac{kJ}{kg_{as}} \right]$$

4

2.- Cuestiones básicas de psicrometría (II)

Las propiedades del **vapor de agua**:

• El volumen específico:
$$v_{\text{vapor}} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg}_{\text{vapor}}} \right] = \frac{R_{\text{vapor}} [47,1 \text{ m}^3/\text{K}] T [\text{K}]}{p_{\text{vapor}} [\text{kg}_{\text{vapor}}/\text{m}^2]}$$

• El calor específico:
$$c_{p \text{ vapor}} = 0,46 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kg}_{\text{vapor}} \cdot \text{K}} \right] = 1,86 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{\text{vapor}} \cdot \text{K}} \right]$$

• La entalpía:
$$h_{\text{vapor}} = (595 + 0,46 \cdot T_{\text{vapor}} [^{\circ}\text{C}]) \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kg}_{\text{vapor}}} \right] = (2.501 + 1,86 \cdot T_{\text{vapor}} [^{\circ}\text{C}]) \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{\text{vapor}}} \right]$$

595 y 2.501 son el calor latente de evaporación en [kcal/kg] y [kJ/kg]

2.- Cuestiones básicas de psicrometría (III)

Las propiedades de la **mezcla (aire húmedo)**:

• El volumen:
$$V_{\text{ah}} = V_{\text{as}} = V_{\text{vapor}}$$

• La presión total:
$$p_{\text{ah}} = p_{\text{as}} + p_{\text{vapor}}$$

• El calor específico:
$$c_{p \text{ ah}} = 0,24 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kg}_{\text{as}} \cdot \text{K}} \right] + 0,46 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kg}_{\text{vapor}} \cdot \text{K}} \right] \cdot W =$$

$$= 1,006 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{\text{as}} \cdot \text{K}} \right] + 1,86 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{\text{vapor}} \cdot \text{K}} \right] \cdot W$$

Siendo W el contenido en humedad del aire (kg_{vapor}/kg_{as})

El contenido "normal" del aire ambiente en humedad es del orden de 10 g de vapor de agua por 1 kg de aire, se puede aproximar por:

$$c_{p \text{ ah}} \approx 1,024 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{\text{as}} \cdot \text{K}} \right]$$

• La entalpía:
$$h_{\text{aire húmedo}} = h_{\text{as}} + h_{\text{vapor}} = (0,24 \cdot T) + [(595 + 0,46 \cdot T) \cdot W] [\text{kcal}/\text{kg}_{\text{as}}] =$$

$$= 1,006 \cdot T + [(2.501 + 1,86 \cdot T) \cdot W] [\text{kJ}/\text{kg}_{\text{as}}] =$$

$$h_{\text{ah}} \approx 1,024 \cdot T + 2.501 \cdot W [\text{kJ}/\text{kg}_{\text{as}}]$$

2.- Cuestiones básicas de psicrometría (IV)

Aire saturado: $p_v = p_{sat}(T)$ $\log(p_v) = 7,5 \frac{T_{sat}}{(T_{sat} + 273) - 35,85} + 2,7858$ p_v en Pa y T_{sat} en °C

Temperatura de rocío: $T \Rightarrow p_{actual} = p_{sat}$

Humedad específica (x): es la cantidad de vapor de agua por masa de aire, [kg vapor agua / kg aire seco] $x = 0,622 \cdot \frac{p_v}{p - p_v}$

Humedad relativa (ϕ , HR): la relación entre p_v y p_{sat} en % $\phi = HR = \frac{p_v}{p_{vs}} \cdot 100$

Saturación adiabática: aporte de agua hasta la sat. en una cámara térmicamente aislada $h_s = h_0 + (w_s - w_0) \cdot h'_1$
 h'_1 (la del agua de aporte)

Temperatura de bulbo húmedo: es la T_{sat} adiabática

2.- Cuestiones básicas de psicrometría (IV)

Aire saturado: $p_v = p_{sat}(T)$ $\log(p_v) = 7,5 \frac{T_{sat}}{(T_{sat} + 273) - 35,85} + 2,7858$ p_v en Pa y T_{sat} en °C

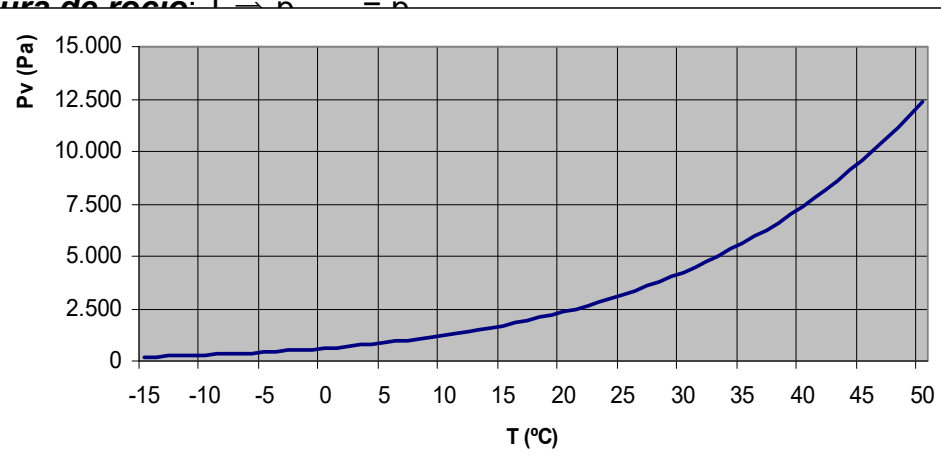
Temperatura de rocío: $T \Rightarrow p_{actual} = p_{sat}$

Humedad específica (x): es la cantidad de vapor de agua por masa de aire, [kg vapor agua / kg aire seco]

Humedad relativa (ϕ , HR): la relación entre p_v y p_{sat} en %

Saturación adiabática: aporte de agua hasta la sat. en una cámara térmicamente aislada

Temperatura de bulbo húmedo: es la T_{sat} adiabática



2.- Cuestiones básicas de psicrometría (V)

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

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

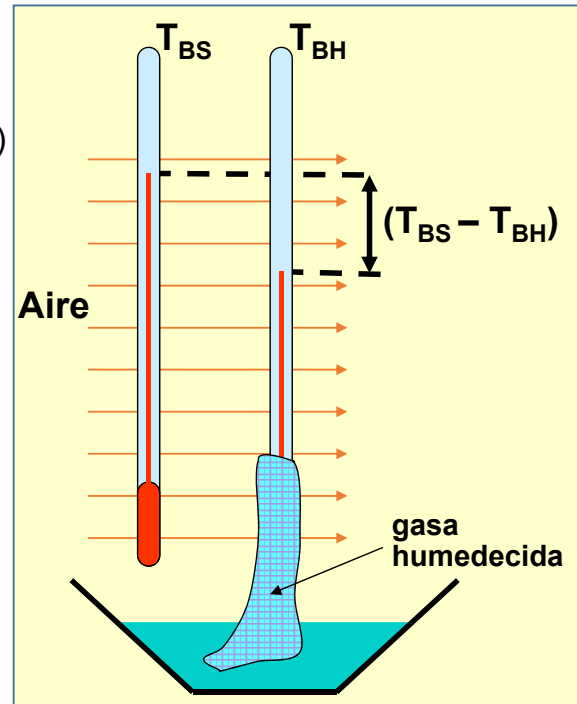
$T_{BS} = T_{BH} \Rightarrow$ aire saturado

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

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

Si $(T_{BS} \gg T_{BH}) \Rightarrow$ HR baja

Si $(T_{BS} \approx T_{BH}) \Rightarrow$ HR alta



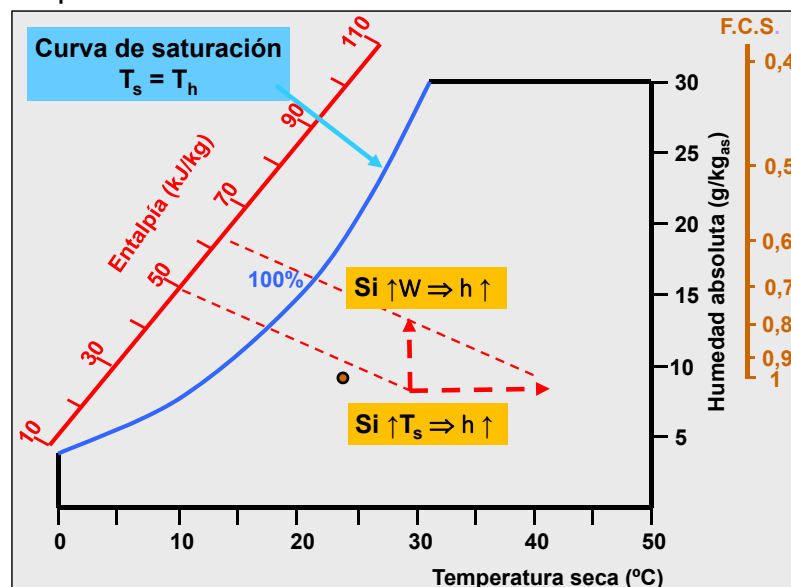
3.- El diagrama psicrométrico (I)

Es el empleado para resolver los problemas del aire húmedo

Hay que considerar la presión (altitud)

$$P [\text{Pa}] = 101.325 \cdot (1 - 2,2610^{-5} H [\text{m}])^{5,26}$$

Existen diferentes tipos



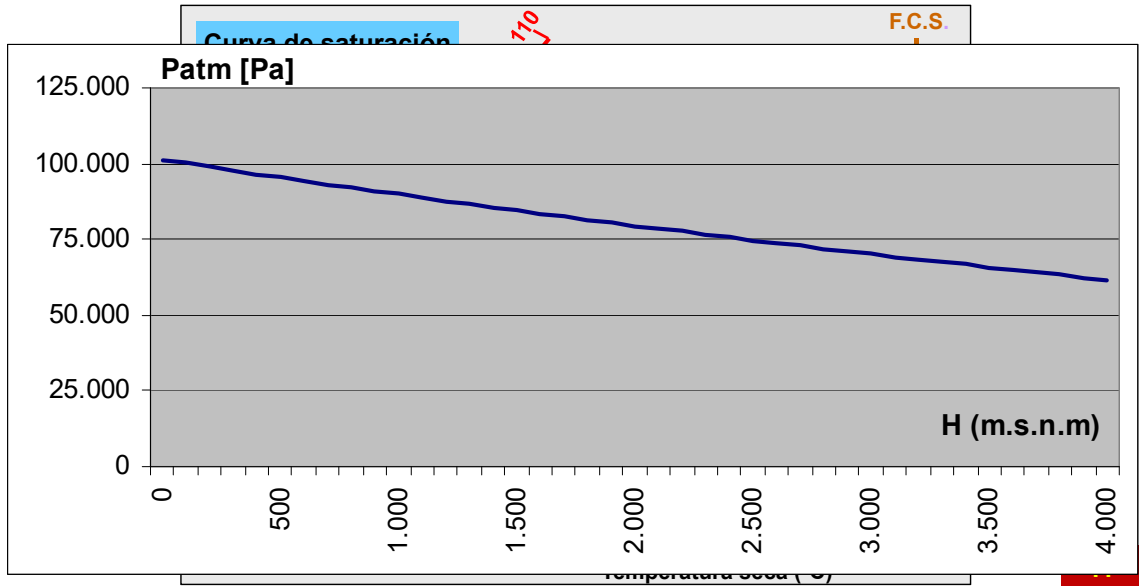
3.- El diagrama psicrométrico (I)

Es el empleado para resolver los problemas del aire húmedo

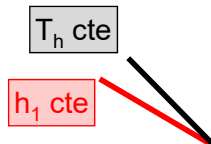
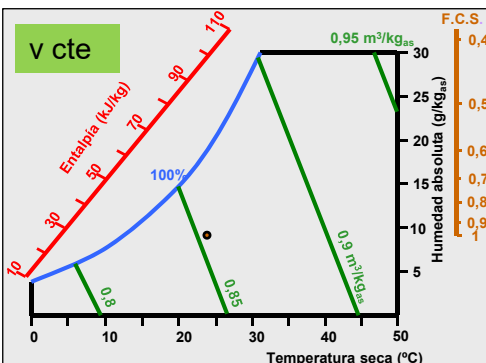
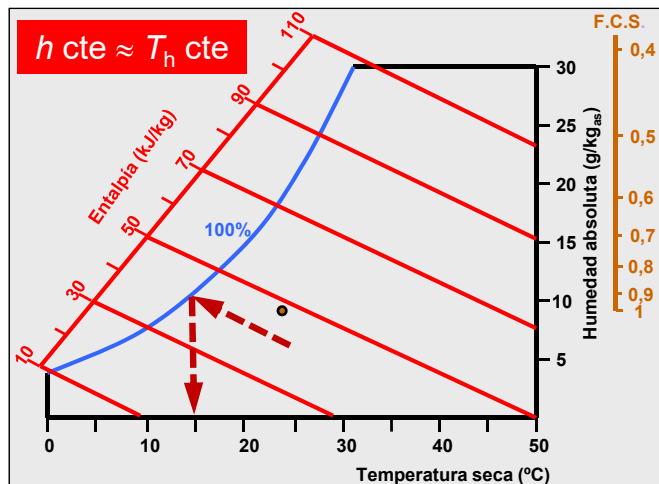
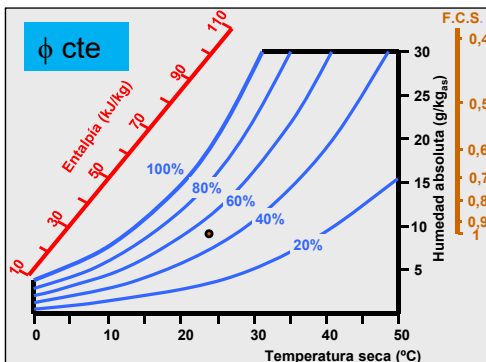
Hay que considerar la presión (altitud)

$$P [\text{Pa}] = 101.325 \cdot (1 - 2,2610^{-5} H [\text{m}])^{5,26}$$

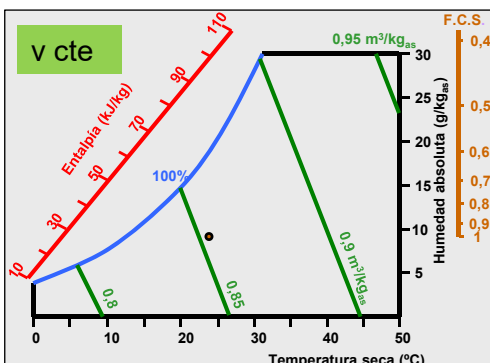
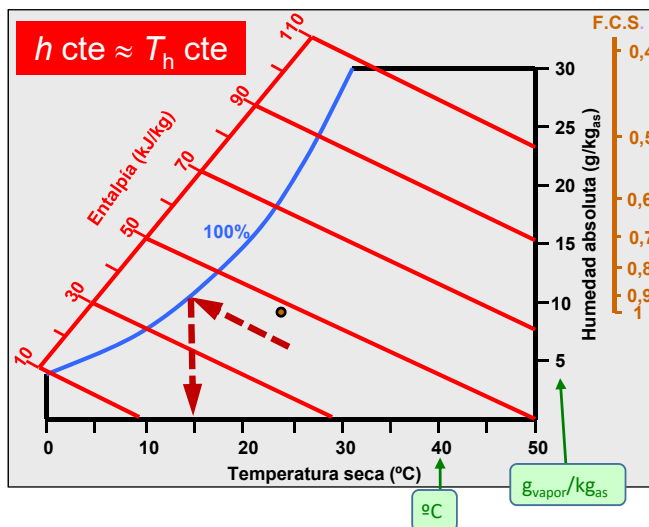
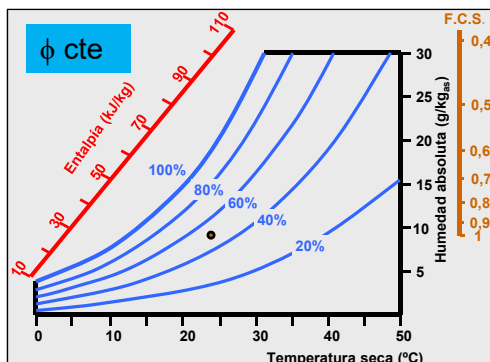
Existen diferentes tipos



3.- El diagrama psicrométrico (II)



3.- El diagrama psicrométrico (II)



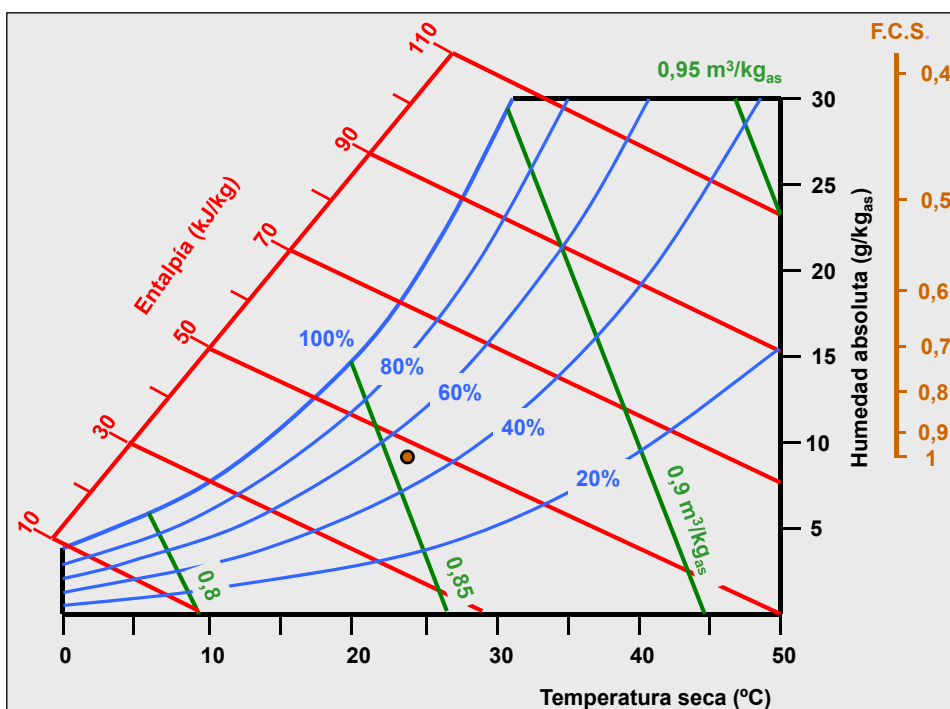
$T_h \text{ cte}$
 $h_1 \text{ cte}$

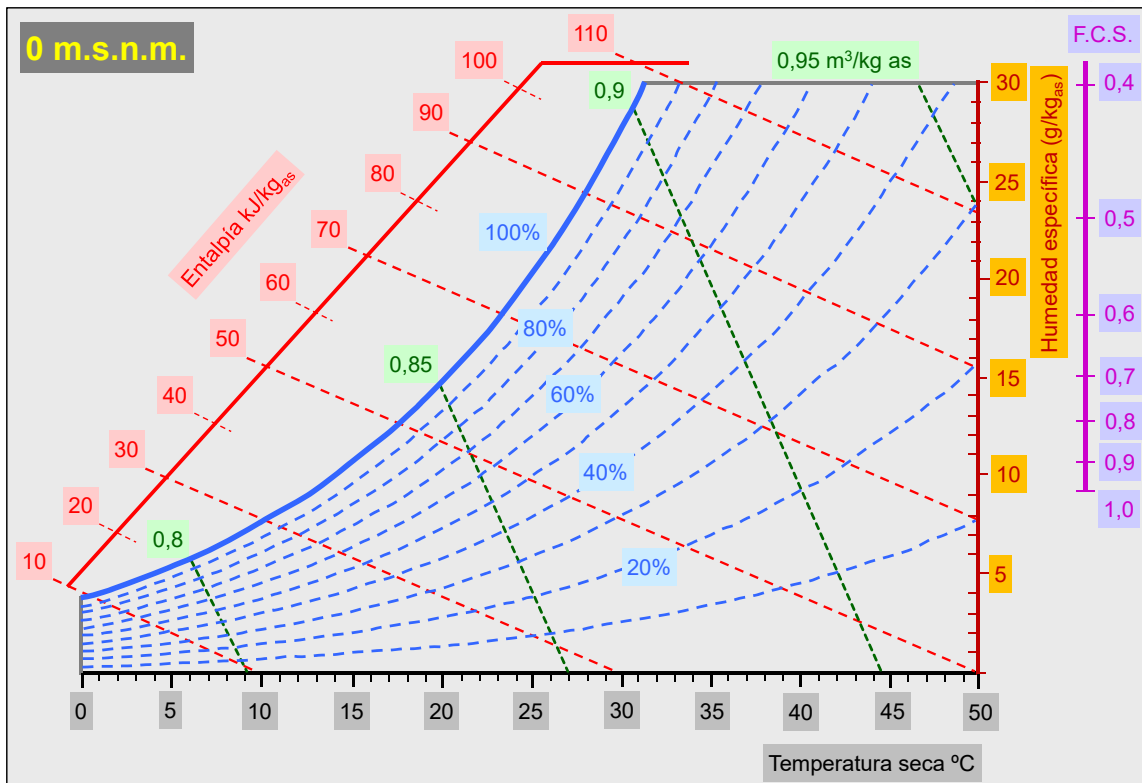
$$h_{ah} = 1,006 \cdot T + [(2.501 + 1,86 \cdot T) \cdot W] \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{as}} \right]$$

$$h_{ah} \approx 1,024 \cdot T + 2.501 \cdot W \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{as}} \right]$$

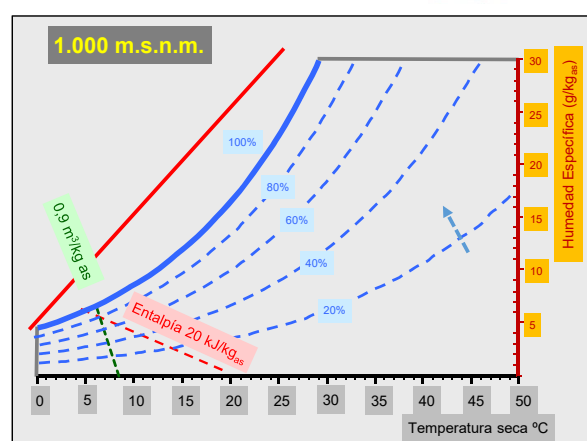
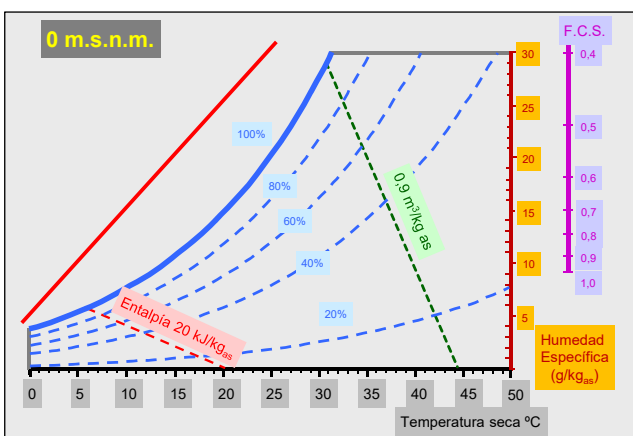
13

3.- El diagrama psicrométrico (II)





15



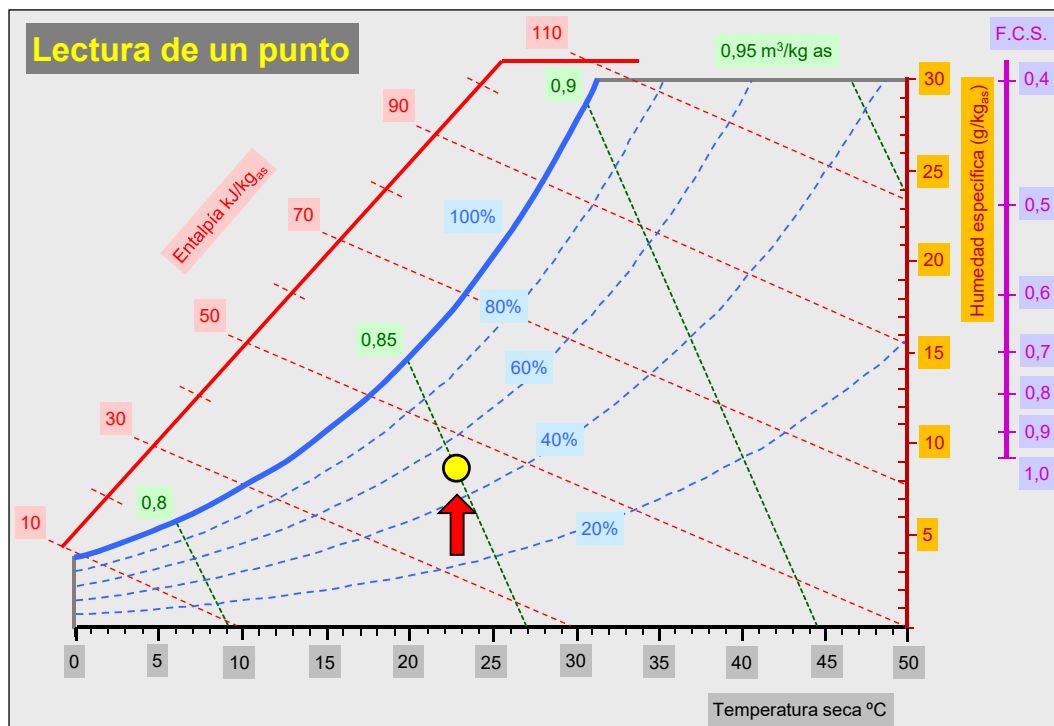
Al aumentar la altitud:

- El aire es capaz de contener algo más de humedad
- Disminuye la densidad del aire (aumenta el volumen específico)
Para tener la misma masa hace falta que el aire esté más frío
- Las líneas de h cte "no se mueven" si no lo hacen los ejes de T y W

$$h_{ah} \approx 1,024 \cdot T + 2.501 \cdot W \text{ [kJ/kg}_{as}]$$

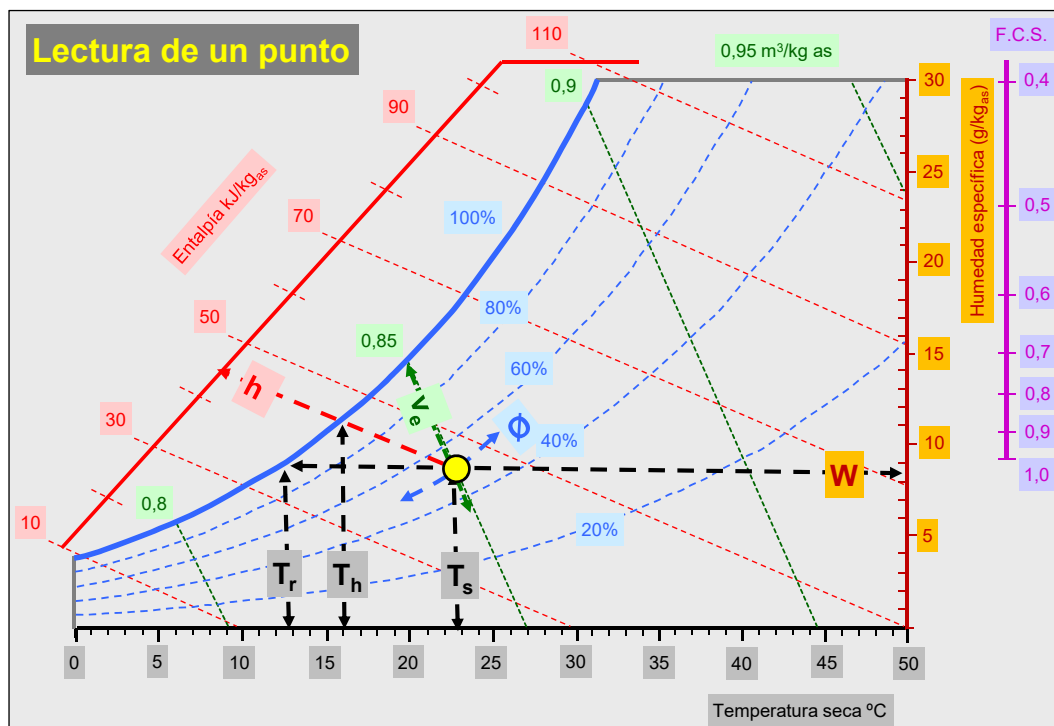
16

3.- El diagrama psicrométrico (III)



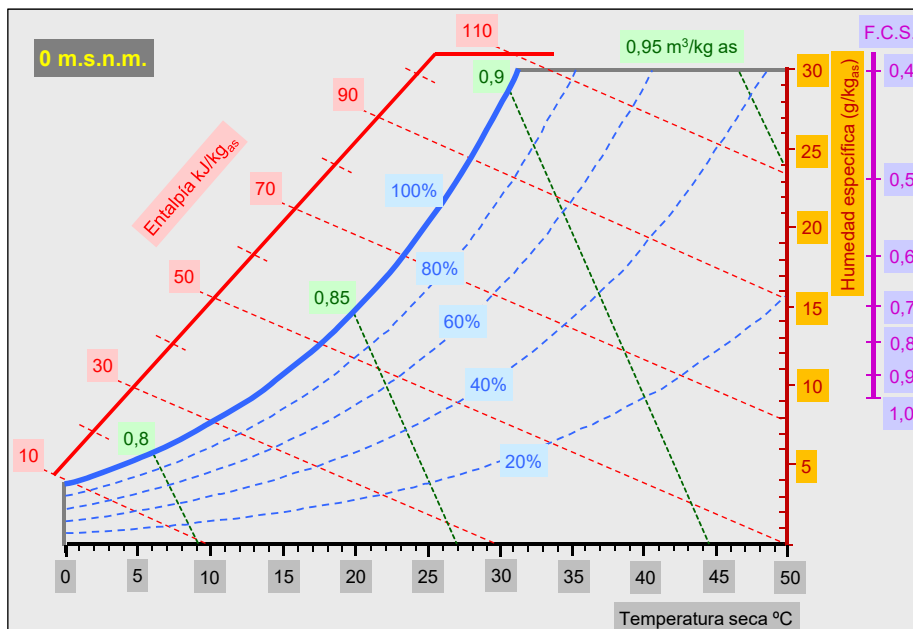
17

3.- El diagrama psicrométrico (III)

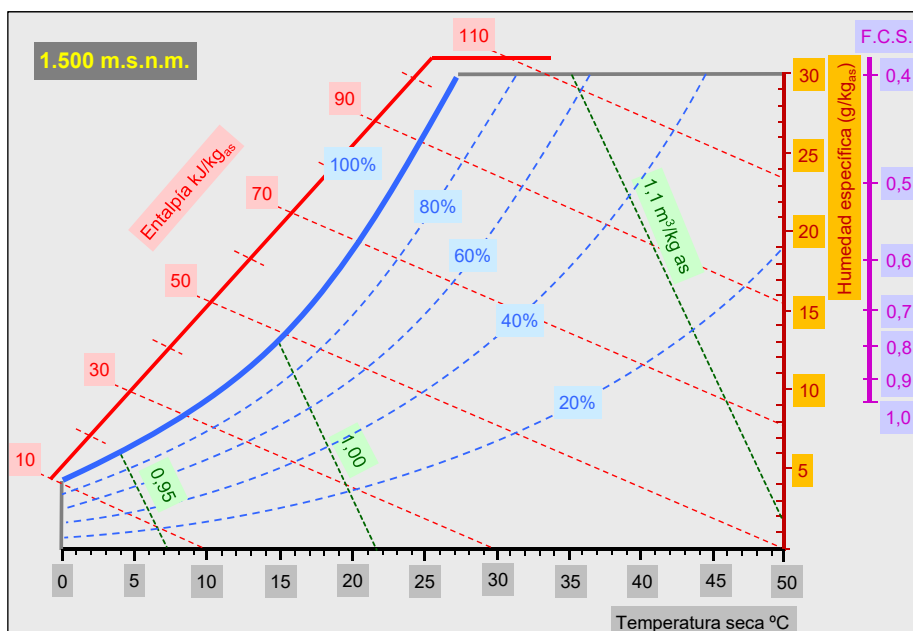


18

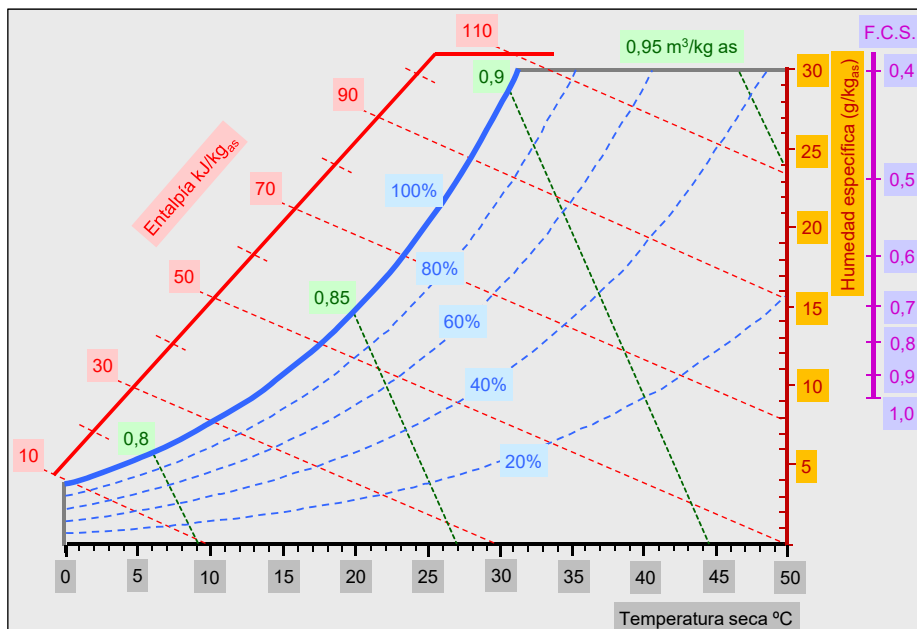
Propiedades del aire húmedo a nivel del mar si su T_s es 30°C y T_h 23°C



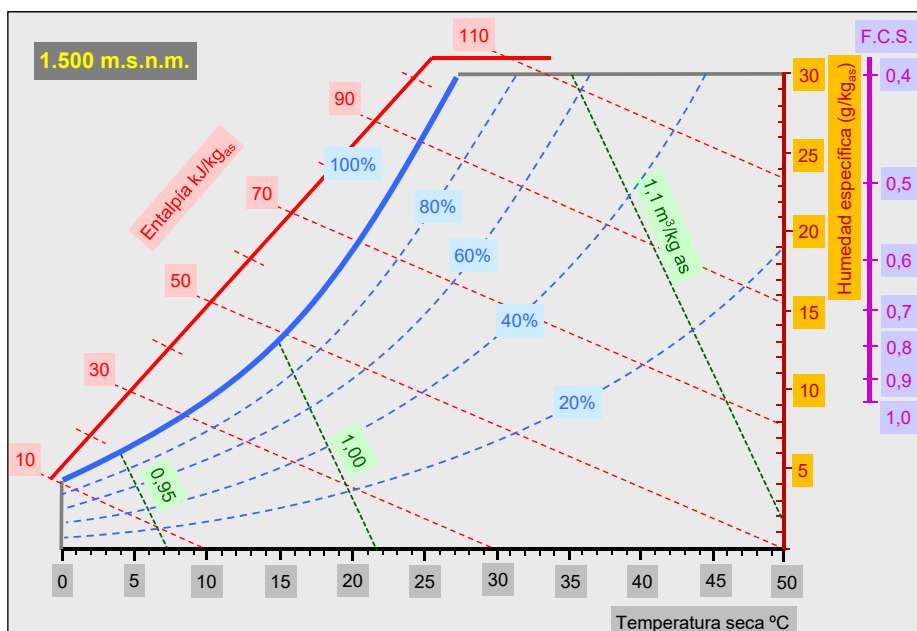
Propiedades del aire húmedo a **1.500 m.s.n.m.** si su T_s es 30°C y T_h 23°C



Propiedades del aire húmedo a nivel del mar si su Ts es 5°C y Ø 85%

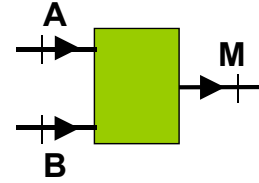
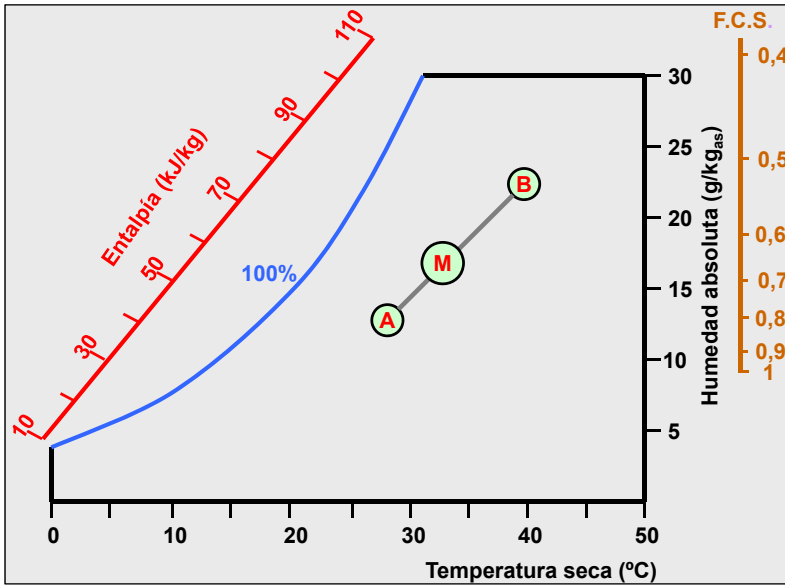


Propiedades del aire húmedo a **1.500 m.s.n.m.** si su Ts es 5°C y Ø 85%



4.- Las transformaciones psicrométricas (I)

Mezcla adiabática de dos masas de aire (A y B) con distinta humedad la mezcla (M) situada en la recta que une los dos puntos

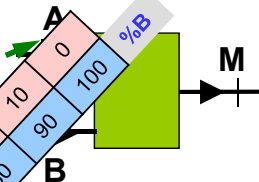
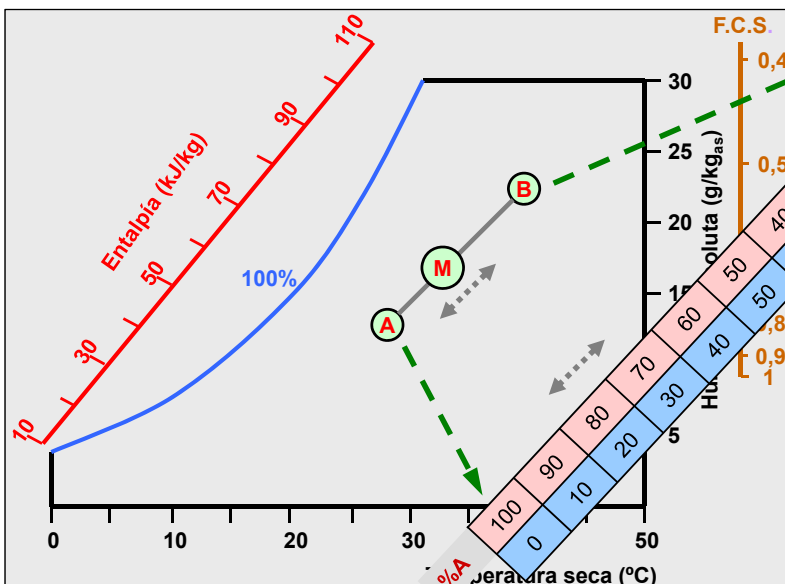


G es la masa de aire (kg)
 w humedad absoluta
 h la entalpía

$$\begin{aligned} G_A + G_B &= G_M \\ G_A \cdot w_A + G_B \cdot w_B &= G_M \cdot w_M \\ G_A \cdot h_A + G_B \cdot h_B &= G_M \cdot h_M \end{aligned}$$

4.- Las transformaciones psicrométricas (I)

Mezcla adiabática de dos masas de aire (A y B) con distinta humedad la mezcla (M) situada en la recta que une los dos puntos



G es la masa de aire (kg)
 w humedad absoluta
 h la entalpía

$$\begin{aligned} G_A + G_B &= G_M \\ G_A \cdot w_A + G_B \cdot w_B &= G_M \cdot w_M \\ G_A \cdot h_A + G_B \cdot h_B &= G_M \cdot h_M \end{aligned}$$

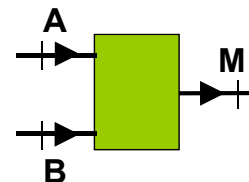
4.- Las transformaciones psicrométricas (I)

Mezcla adiabática de dos masas de aire (A y B) con distinta humedad la mezcla (M) situada en la recta que une los dos puntos

$$G_A \cdot w_A + G_B \cdot w_B = G_M \cdot w_M \quad w_M = \frac{G_A \cdot w_A + G_B \cdot w_B}{G_M}$$

$$G_A \cdot h_A + G_B \cdot h_B = G_M \cdot h_M \quad h_M = \frac{G_A \cdot h_A + G_B \cdot h_B}{G_M}$$

$$T_{sM} = \frac{G_A \cdot T_{sA} \cdot (Cp_{as} + w_A \cdot Cp_v) + G_B \cdot T_{sB} \cdot (Cp_{as} + w_B \cdot Cp_v)}{G_M \cdot (Cp_{as} + w_M \cdot Cp_v)}$$



G es la masa de aire (kg)
w humedad absoluta
h la entalpía

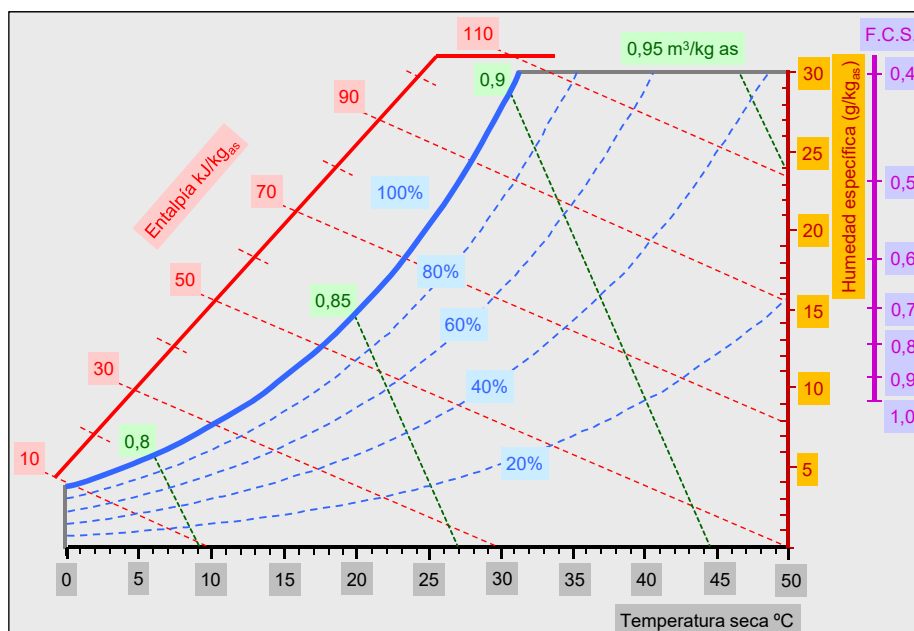
$$\begin{aligned} G_A + G_B &= G_M \\ G_A \cdot w_A + G_B \cdot w_B &= G_M \cdot w_M \\ G_A \cdot h_A + G_B \cdot h_B &= G_M \cdot h_M \end{aligned}$$

Y si se considera que la T_h y la h son "equivalentes":

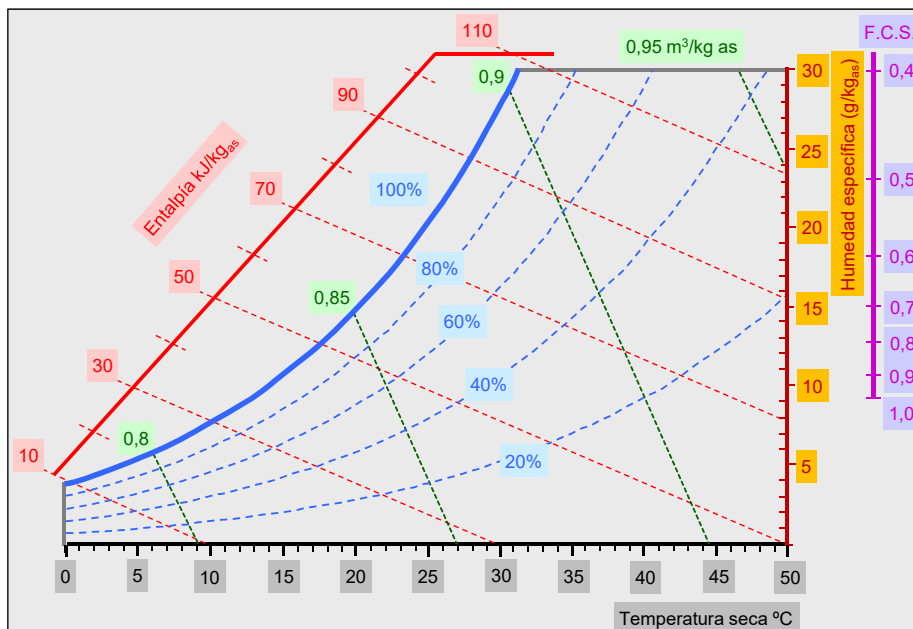
$$Cp_{as} + w_i \cdot Cp_v \approx Cp_{as} \quad 1 [kJ/kg^\circ C] + 0,01 \frac{kg}{kg_{as}} \cdot 1,86 [kJ/kg^\circ C] \approx 1 [kJ/kg^\circ C]$$

$$T_{sM} \approx \frac{G_A \cdot T_{sA} + G_B \cdot T_{sB}}{G_M}$$

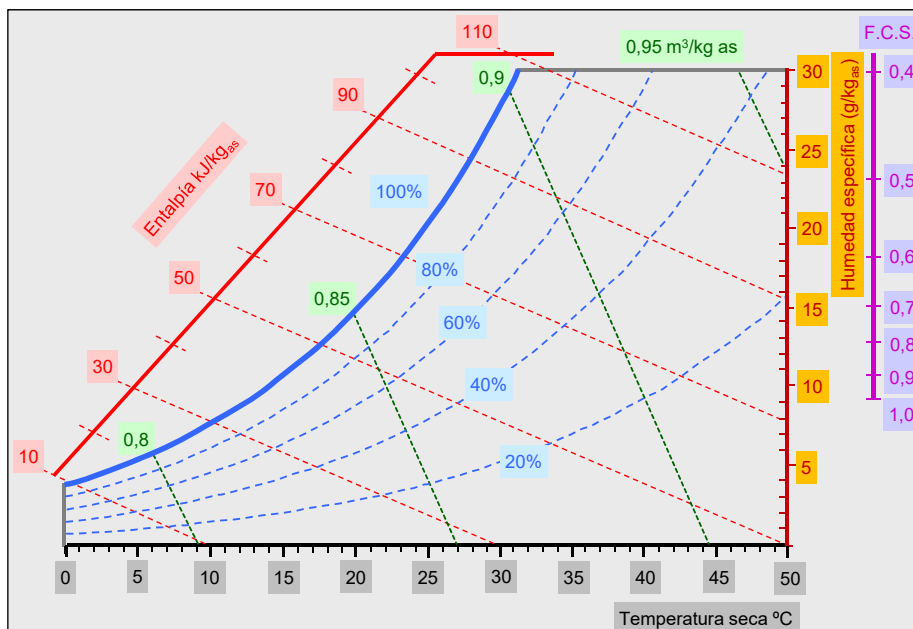
Mezcla a nivel del mar de 2.000 kg/h de aire con T_s de 22°C y ϕ 60%, y 1.000 kg/h con T_s de 32°C y ϕ 70%



Mezcla a nivel del mar de 2.000 m^3/h de aire con T_s de 22°C y ϕ 60%, y 1.000 m^3/h con T_s de 32°C y ϕ 70%



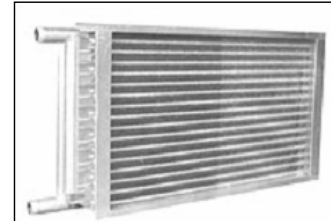
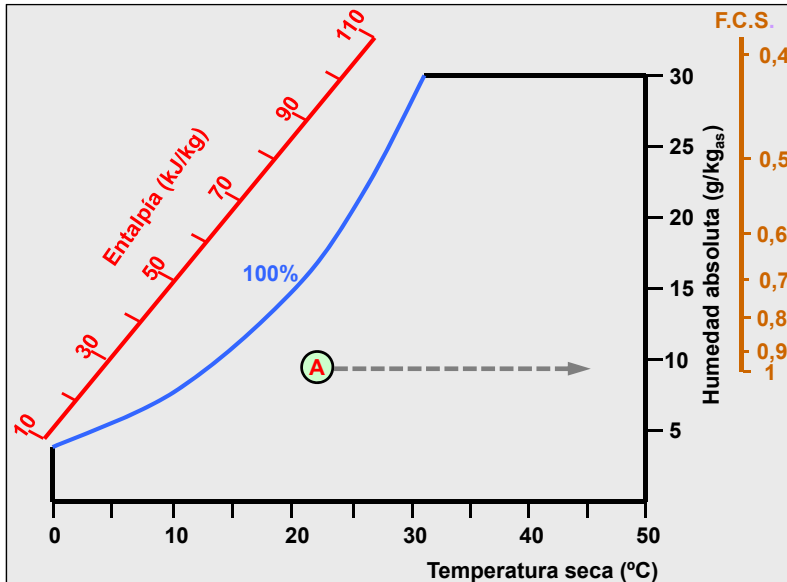
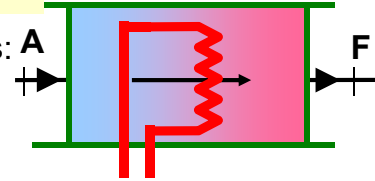
Mezcla a nivel del mar de 2.000 kg/h de aire con T_s de 32°C y ϕ 90%, y 1.000 kg/h con T_s de 0°C y ϕ 80%



4.- Las transformaciones psicrométricas (II)

Calentamiento sensible, no varia W; hay dos opciones:

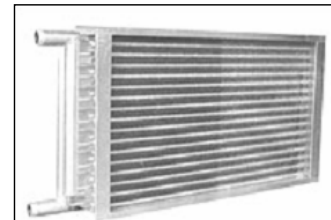
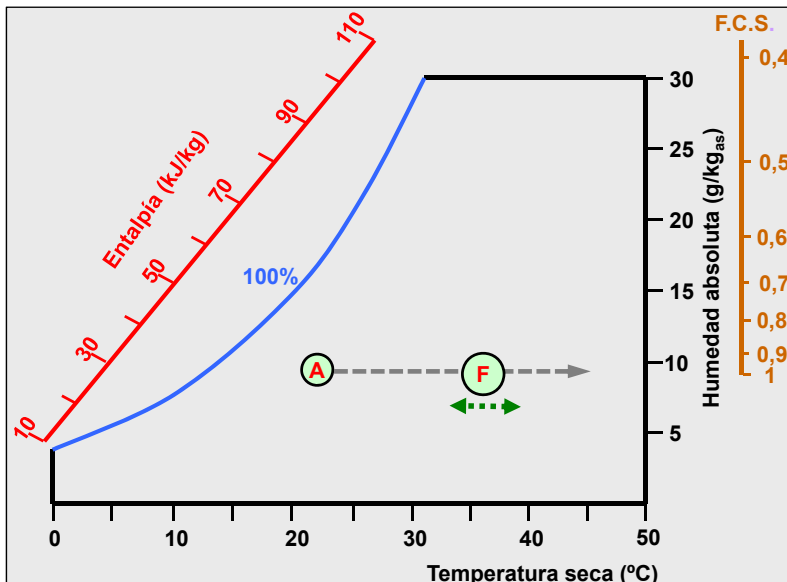
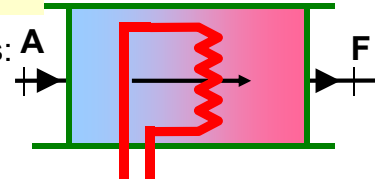
- Paso por una batería caliente (T superficie cte)
- Paso por una resistencia eléctrica (Q cte)



4.- Las transformaciones psicrométricas (II)

Calentamiento sensible, no varia W; hay dos opciones:

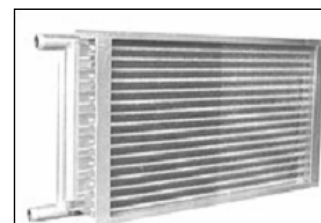
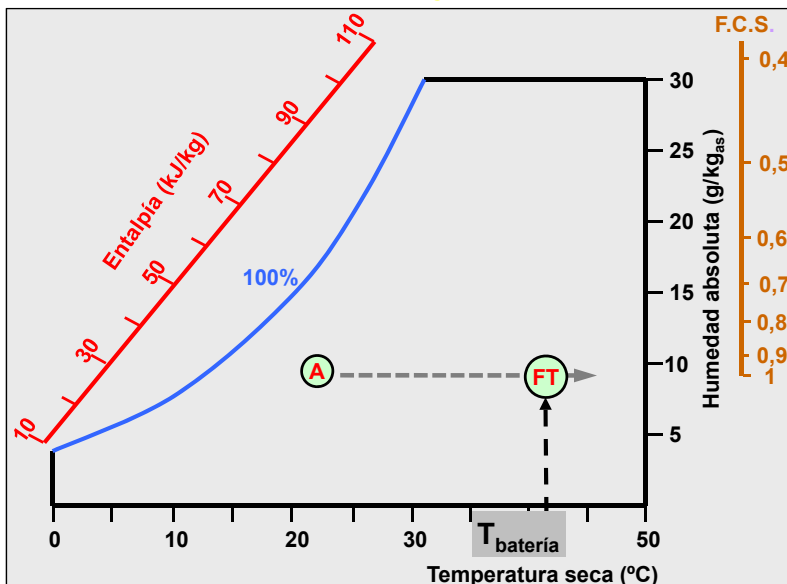
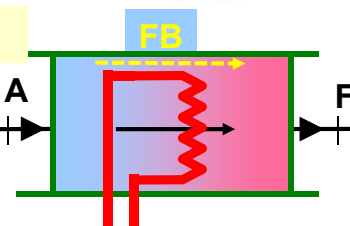
- Paso por una **batería caliente** (T superficie cte)
- Teóricamente el aire alcanza la T de la batería



4.- Las transformaciones psicrométricas (II)

Calentamiento sensible, no varia W; hay dos opciones:

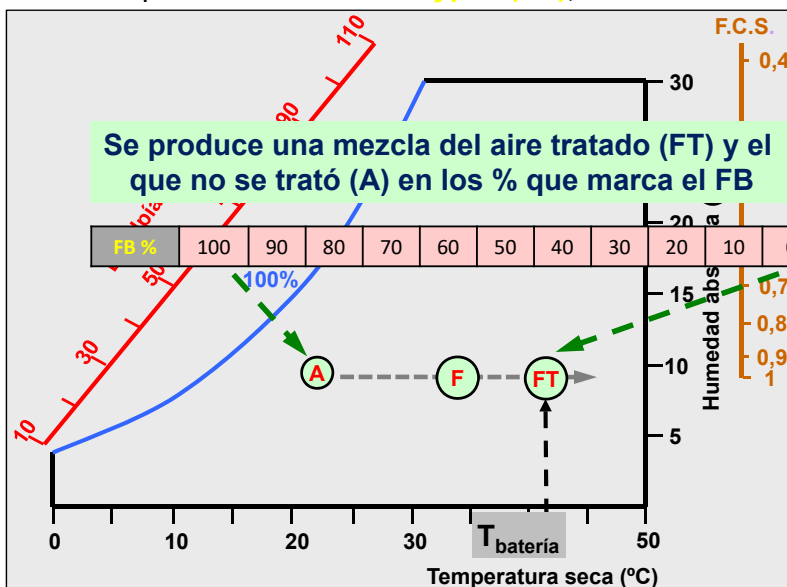
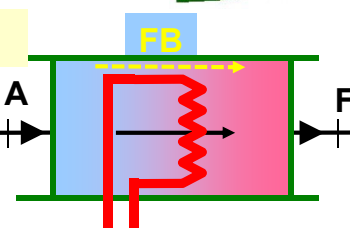
- Paso por una **batería caliente** (T superficie cte)
Teóricamente el aire alcanza la T de la batería
Pero aparece el **Factor de Bypass (FB)**, aire no tratado



4.- Las transformaciones psicrométricas (II)

Calentamiento sensible, no varia W; hay dos opciones:

- Paso por una **batería caliente** (T superficie cte)
Teóricamente el aire alcanza la T de la batería
Pero aparece el **Factor de Bypass (FB)**, aire no tratado



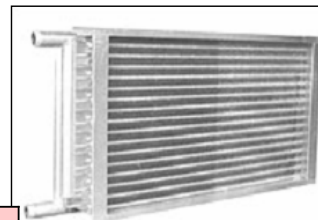
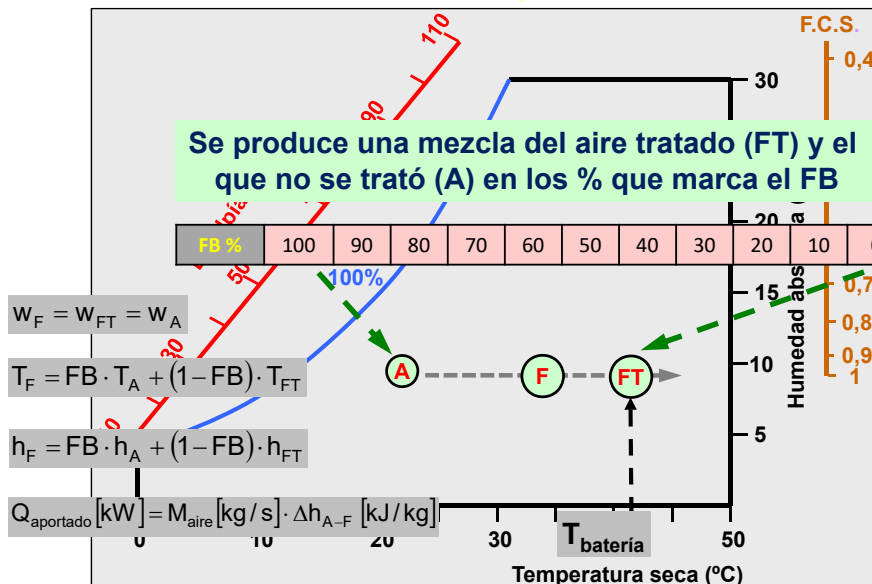
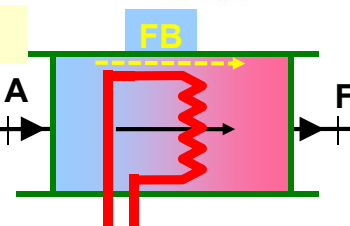
$$FB = \frac{M_{\text{aire no tratada}}}{M_{\text{aire total}}}$$

- nº filas
- Aletas
- Separación entre filas
- Separación entre aletas
- Velocidad del aire

4.- Las transformaciones psicrométricas (II)

Calentamiento sensible, no varia W; hay dos opciones:

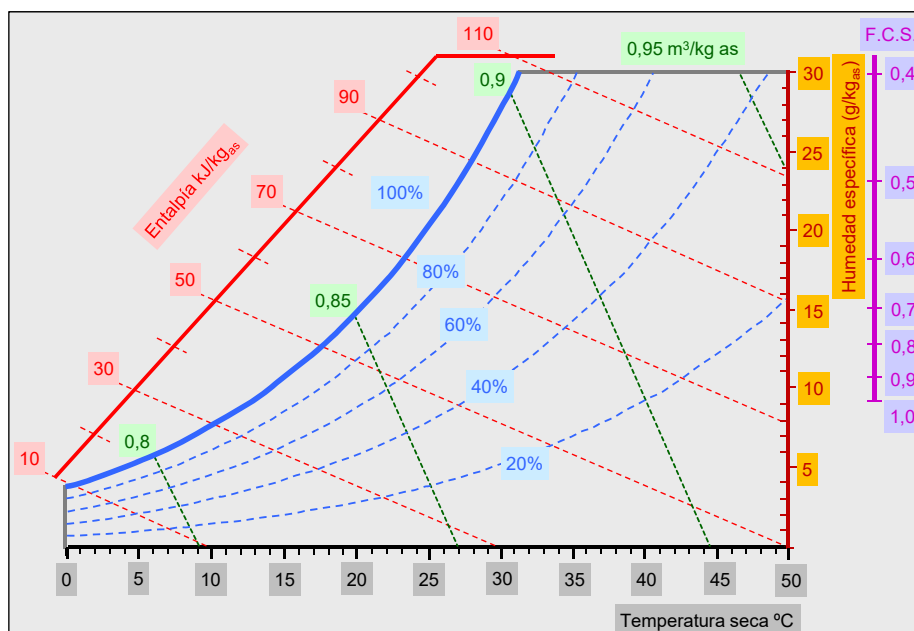
- Paso por una **batería caliente** (T superficie cte)
- Teóricamente el aire alcanza la T de la batería
- Pero aparece el **Factor de Bypass (FB)**, aire no tratado



$$FB = \frac{M_{aire\ no\ tratada}}{M_{aire\ total}}$$

- nº filas
- Aletas
- Separación entre filas
- Separación entre aletas
- Velocidad del aire

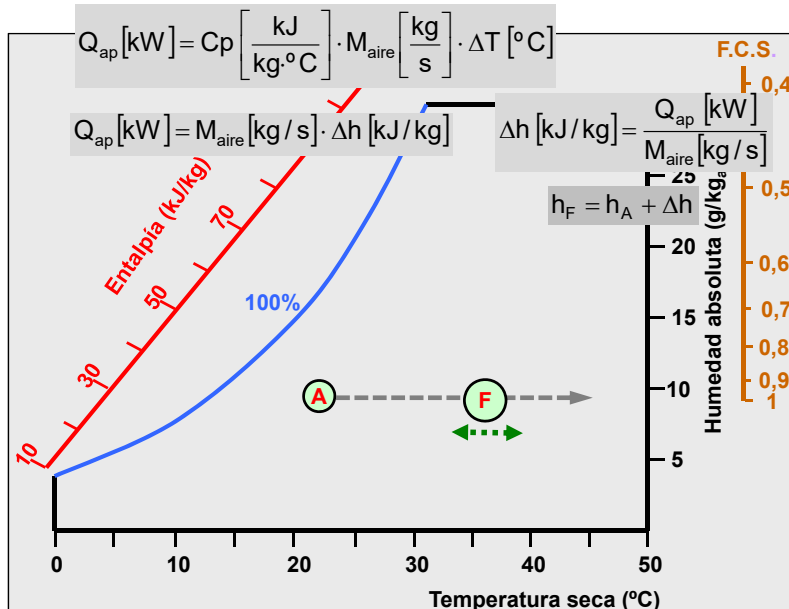
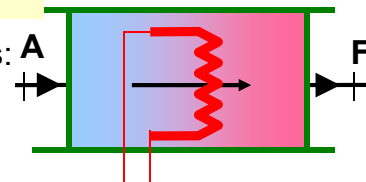
Calcular las condiciones del aire a la salida de una batería de agua a 40°C y FB 25% cuando se pasan 3.000 kg_{as}/h a Ts de 10°C y de HR 40%



4.- Las transformaciones psicrométricas (II)

Calentamiento sensible, no varia W; hay dos opciones:

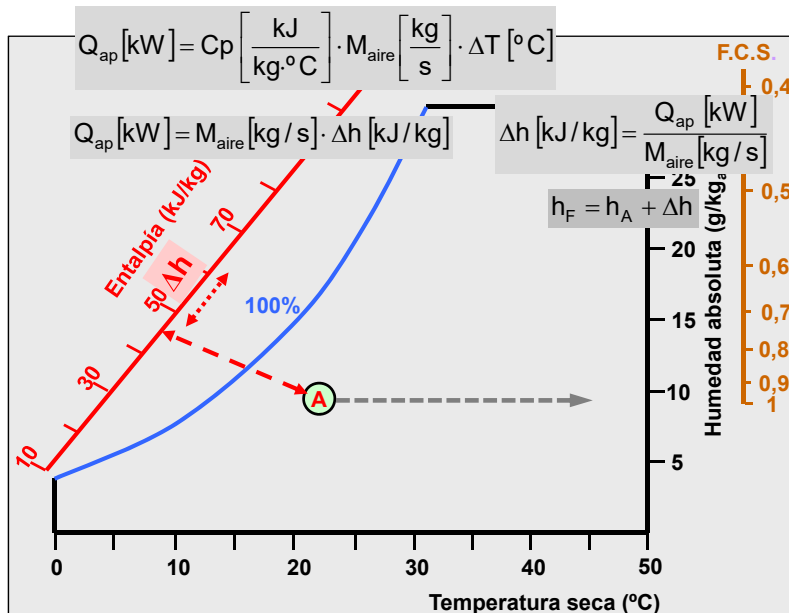
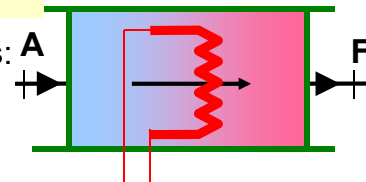
- Paso por una **resistencia eléctrica** ($Q = cte$)
Todo el calor aportado, Q_{ap} , pasa a la masa de aire



4.- Las transformaciones psicrométricas (II)

Calentamiento sensible, no varia W; hay dos opciones:

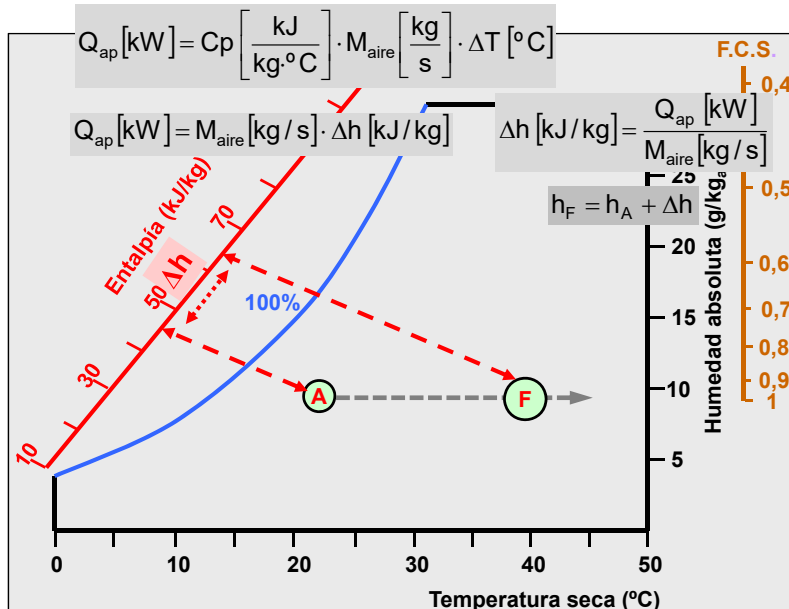
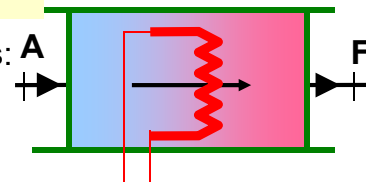
- Paso por una **resistencia eléctrica** ($Q = cte$)
Todo el calor aportado, Q_{ap} , pasa a la masa de aire



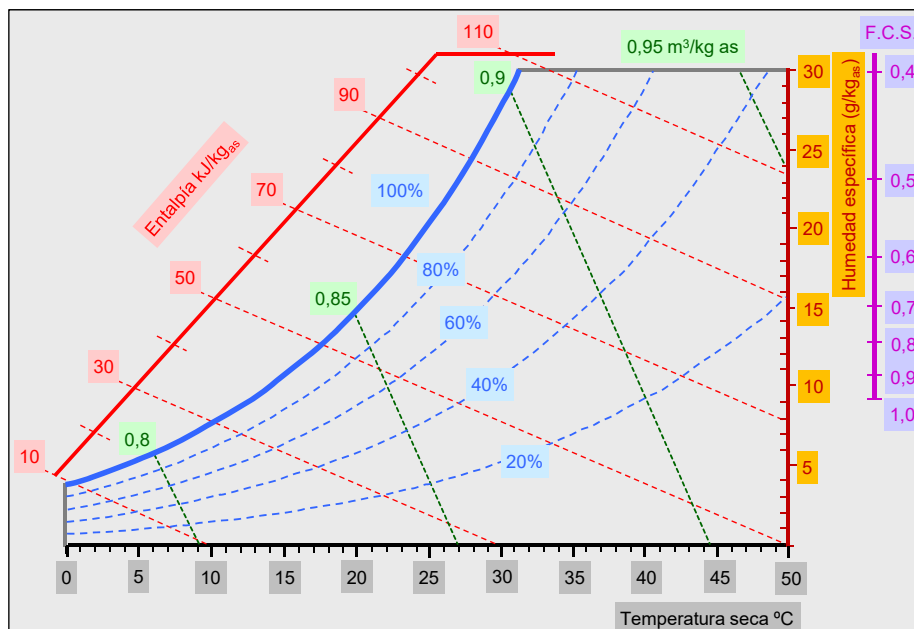
4.- Las transformaciones psicrométricas (II)

Calentamiento sensible, no varia W; hay dos opciones:

- Paso por una **resistencia eléctrica** ($Q = cte$)
- Todo el calor aportado, Q_{ap} , pasa a la masa de aire

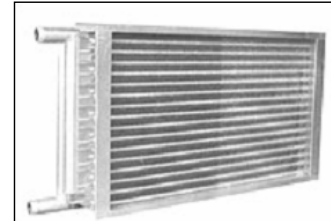
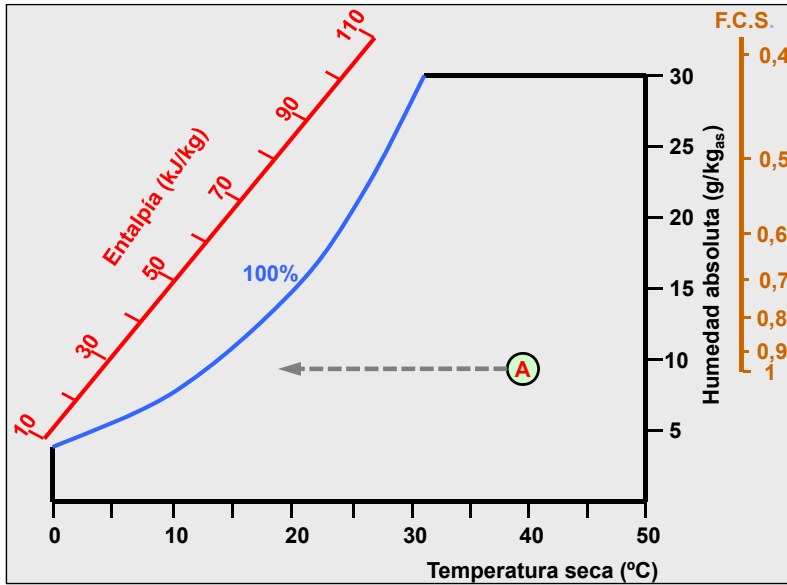
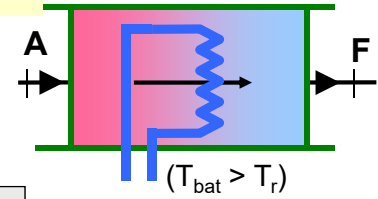


Calcular las condiciones del aire a la salida de una resistencia eléctrica de 15 kW, cuando se pasan 1.800 kg_{as} por hora a Ts de 10°C y 6°C de Th



4.- Las transformaciones psicrométricas (III)

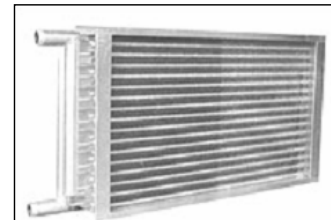
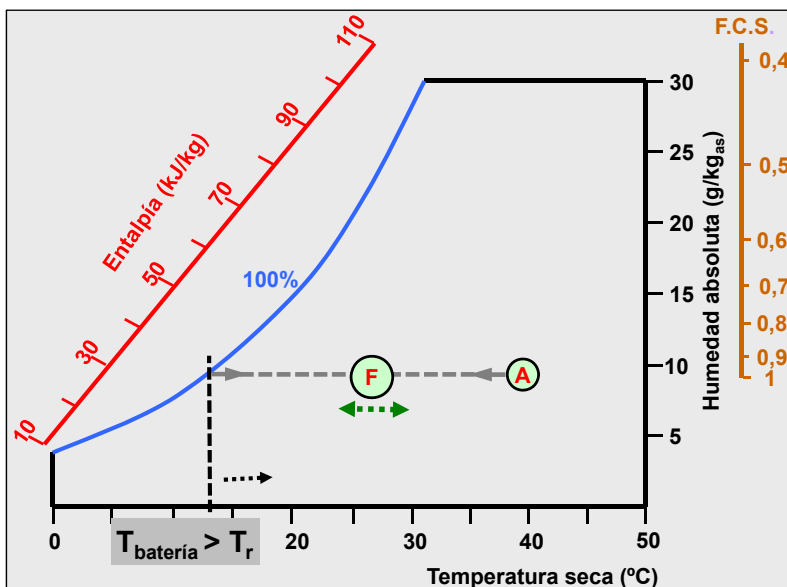
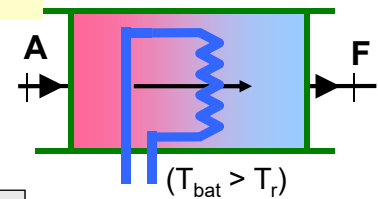
Enfriamiento sensible, no varia W



4.- Las transformaciones psicrométricas (III)

Enfriamiento sensible, no varia W

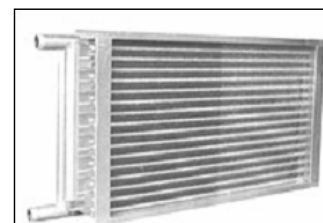
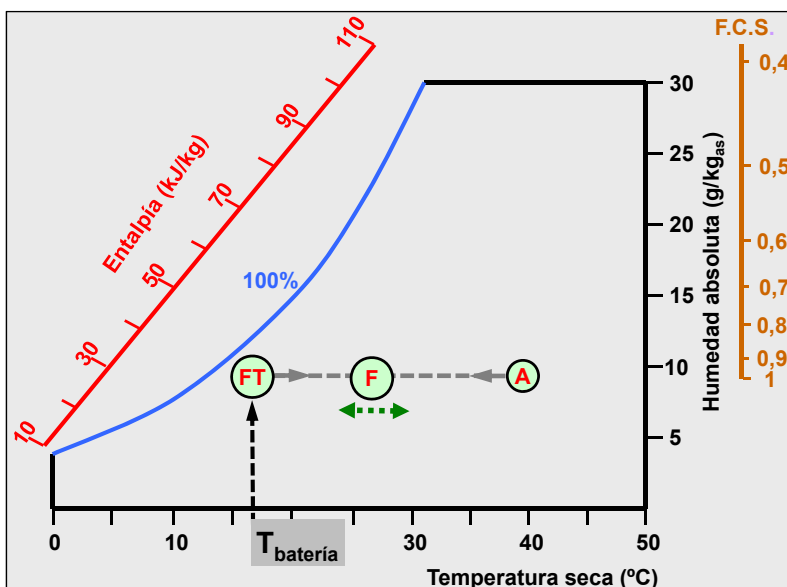
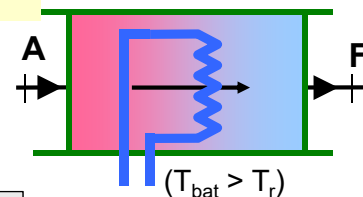
– Paso por una **batería fría con $T_{bat} > T_r$**



4.- Las transformaciones psicrométricas (III)

Enfriamiento sensible, no varía W

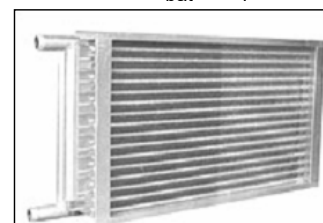
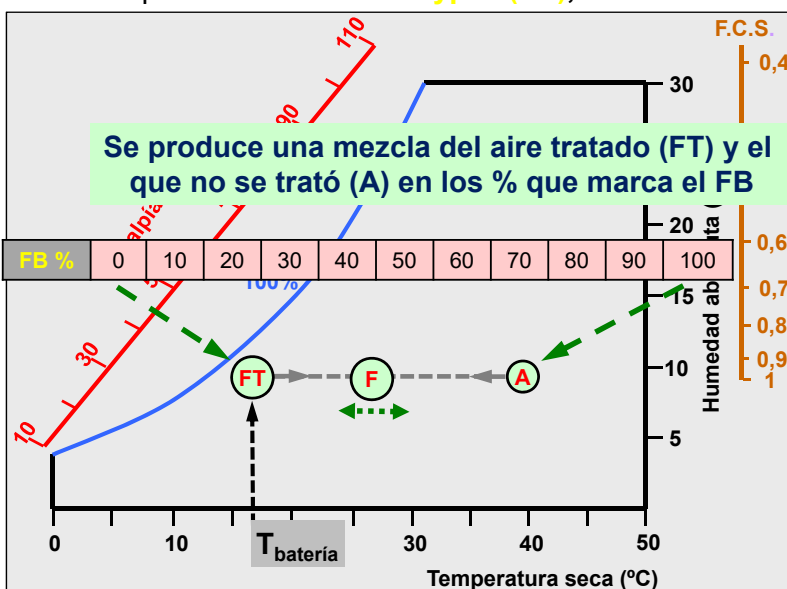
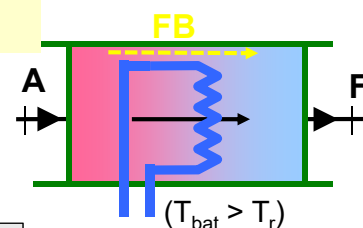
- Paso por una **batería fría con $T_{bat} > T_r$**
Teóricamente el aire alcanza la T de la batería



4.- Las transformaciones psicrométricas (III)

Enfriamiento sensible, no varía W

- Paso por una **batería fría con $T_{bat} > T_r$**
Teóricamente el aire alcanza la T de la batería
Pero aparece el **Factor de Bypass (FB)**, aire no tratado



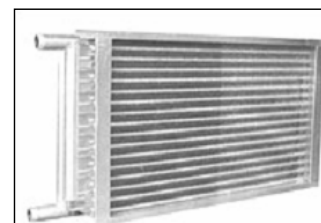
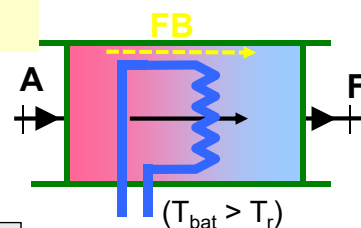
$$FB = \frac{M_{\text{aire no tratada}}}{M_{\text{aire total}}}$$

- nº filas
- Aletas
- Separación entre filas
- Separación entre aletas
- Velocidad del aire

4.- Las transformaciones psicrométricas (III)

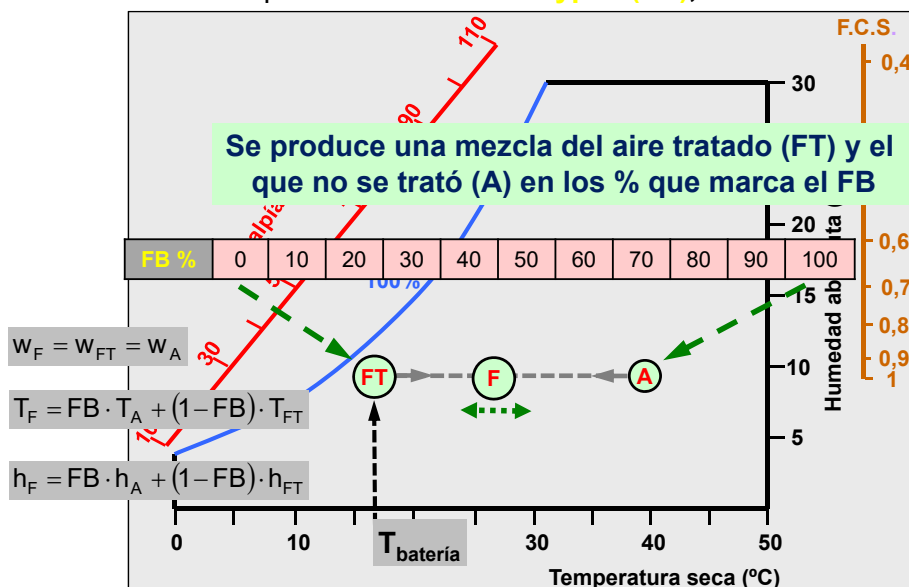
Enfriamiento sensible, no varía W

- Paso por una **batería fría con $T_{bat} > T_r$**
Teóricamente el aire alcanza la T de la batería
Pero aparece el **Factor de Bypass (FB)**, aire no tratado

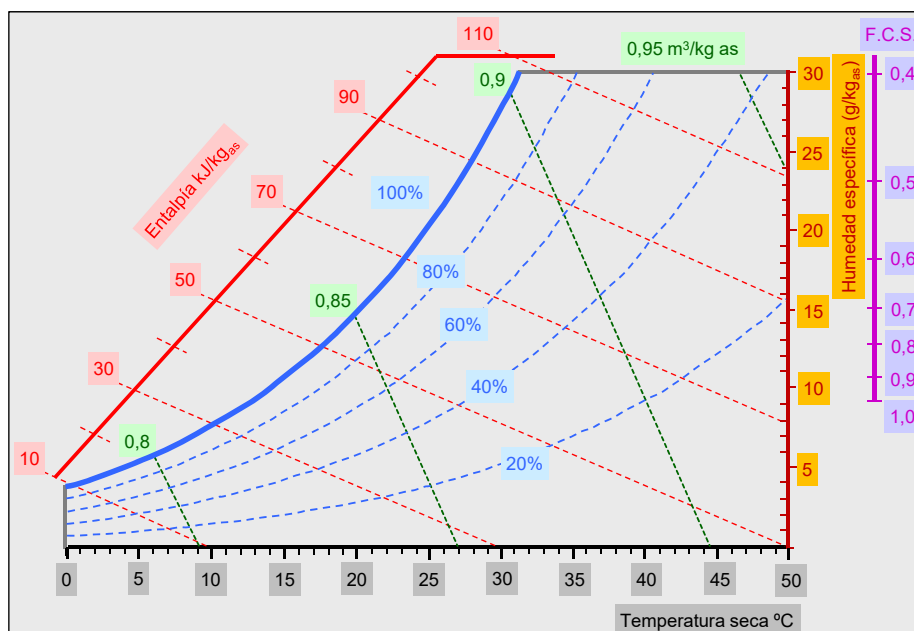


$$FB = \frac{M_{\text{aire no tratada}}}{M_{\text{aire total}}}$$

- nº filas
- Aletas
- Separación entre filas
- Separación entre aletas
- Velocidad del aire



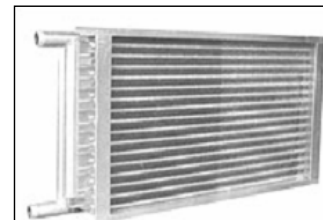
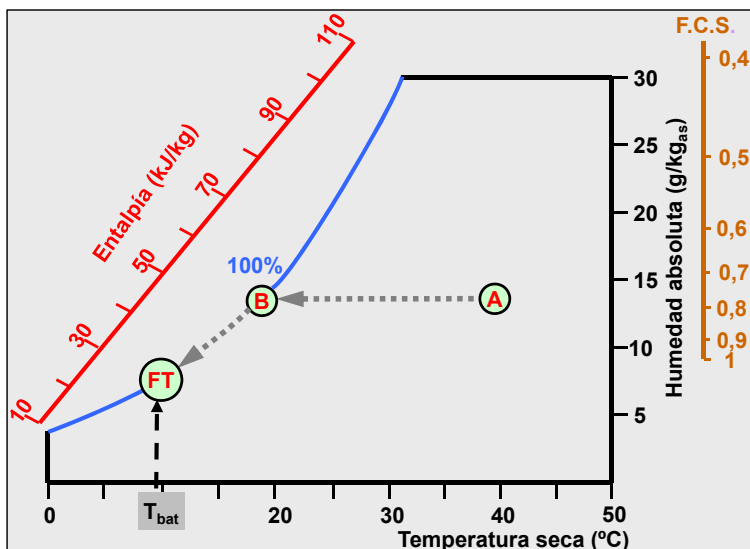
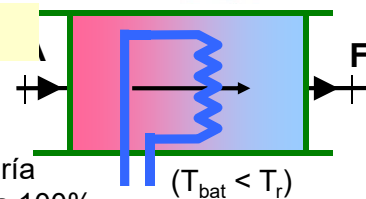
Pasar una corriente de aire de T_s de 32°C y ϕ 20% por una batería fría a 10°C y factor de bypass de 20%



4.- Las transformaciones psicrométricas (IV)

Enfriamiento con deshumidificación, varia W

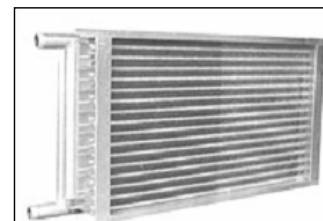
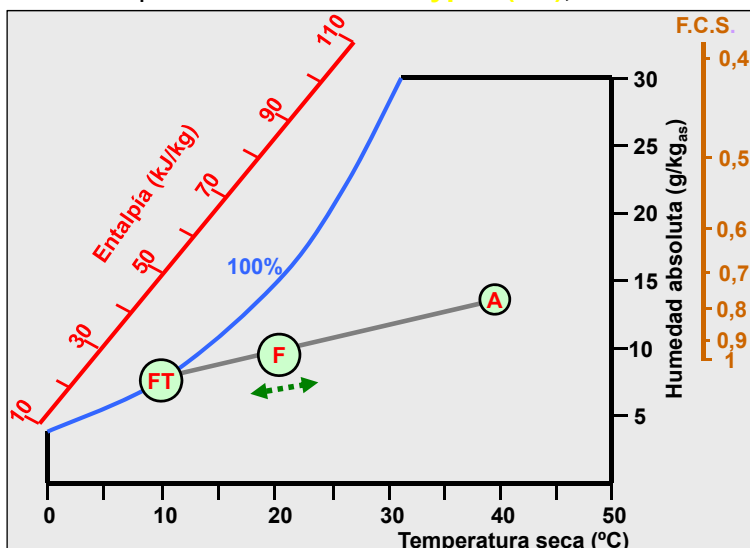
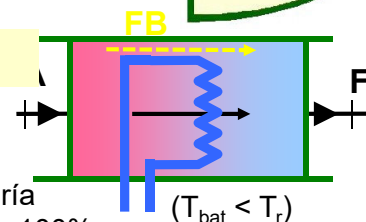
- Paso por una **batería fría con $T_{bat} < T_r$**
Teóricamente el aire alcanza las condiciones de la batería
Enfriamiento sensible hasta saturación y sigue por línea 100%



4.- Las transformaciones psicrométricas (IV)

Enfriamiento con deshumidificación, varia W

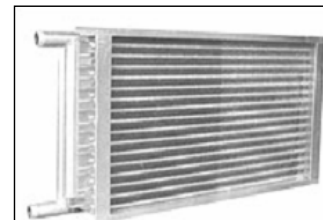
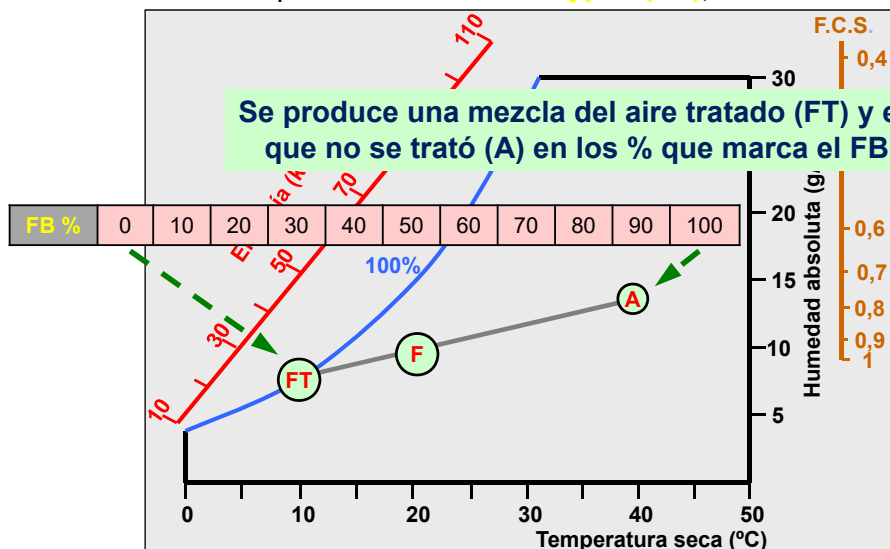
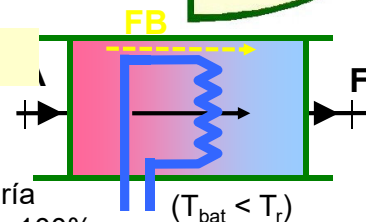
- Paso por una **batería fría con $T_{bat} < T_r$**
Teóricamente el aire alcanza las condiciones de la batería
Enfriamiento sensible hasta saturación y sigue por línea 100%
Pero aparece el **Factor de Bypas (FB)**, aire no tratado



4.- Las transformaciones psicrométricas (IV)

Enfriamiento con deshumidificación, varia W

- Paso por una **batería fría con $T_{bat} < T_r$**
Teóricamente el aire alcanza las condiciones de la batería
Enfriamiento sensible hasta saturación y sigue por línea 100%
Pero aparece el **Factor de Bypass (FB)**, aire no tratado



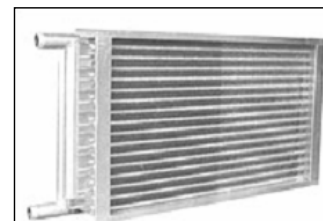
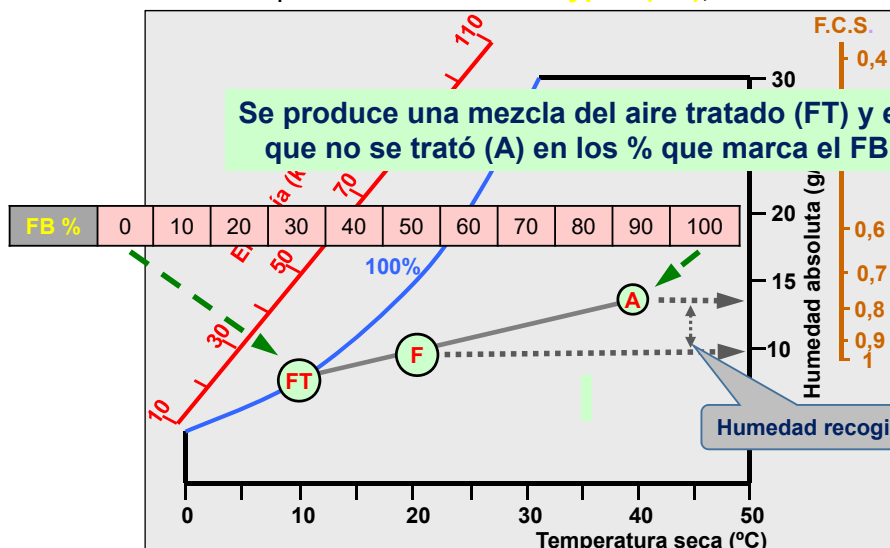
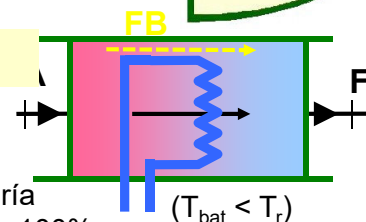
$$FB = \frac{M_{\text{aire no tratada}}}{M_{\text{aire total}}}$$

- nº filas
- Aletas
- Separación entre filas
- Separación entre aletas
- Velocidad del aire

4.- Las transformaciones psicrométricas (IV)

Enfriamiento con deshumidificación, varia W

- Paso por una **batería fría con $T_{bat} < T_r$**
Teóricamente el aire alcanza las condiciones de la batería
Enfriamiento sensible hasta saturación y sigue por línea 100%
Pero aparece el **Factor de Bypass (FB)**, aire no tratado



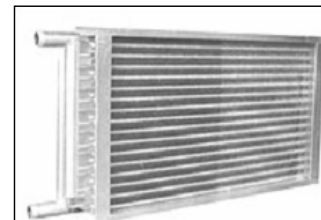
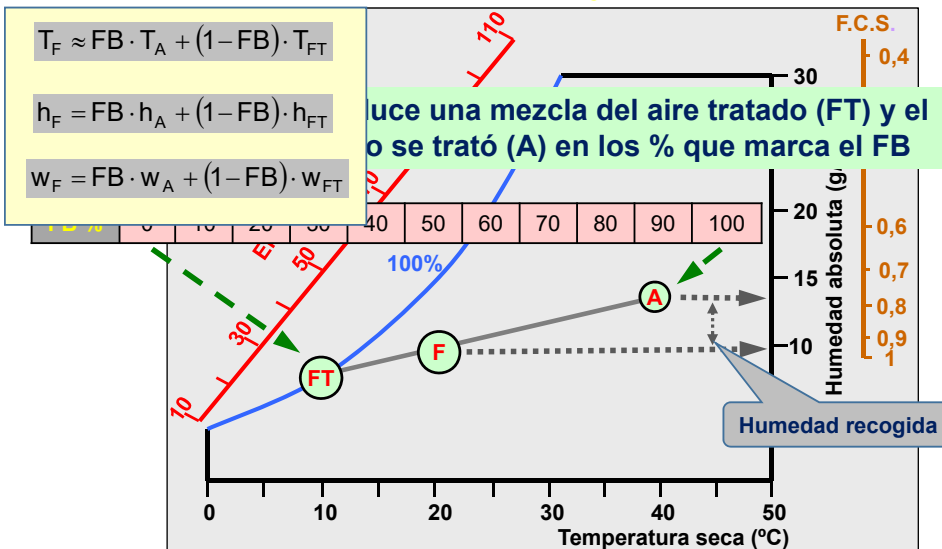
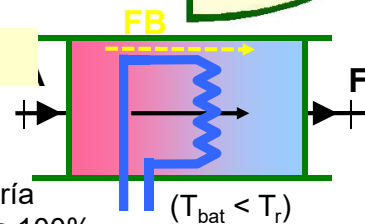
$$FB = \frac{M_{\text{aire no tratada}}}{M_{\text{aire total}}}$$

- nº filas
- Aletas
- Separación entre filas
- Separación entre aletas
- Velocidad del aire

4.- Las transformaciones psicrométricas (IV)

Enfriamiento con deshumidificación, varia W

- Paso por una **batería fría con $T_{bat} < T_r$**
Teóricamente el aire alcanza las condiciones de la batería
Enfriamiento sensible hasta saturación y sigue por línea 100%
Pero aparece el **Factor de Bypass (FB)**, aire no tratado



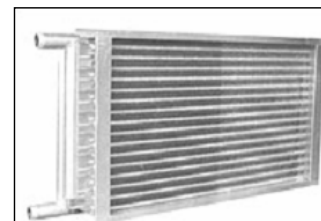
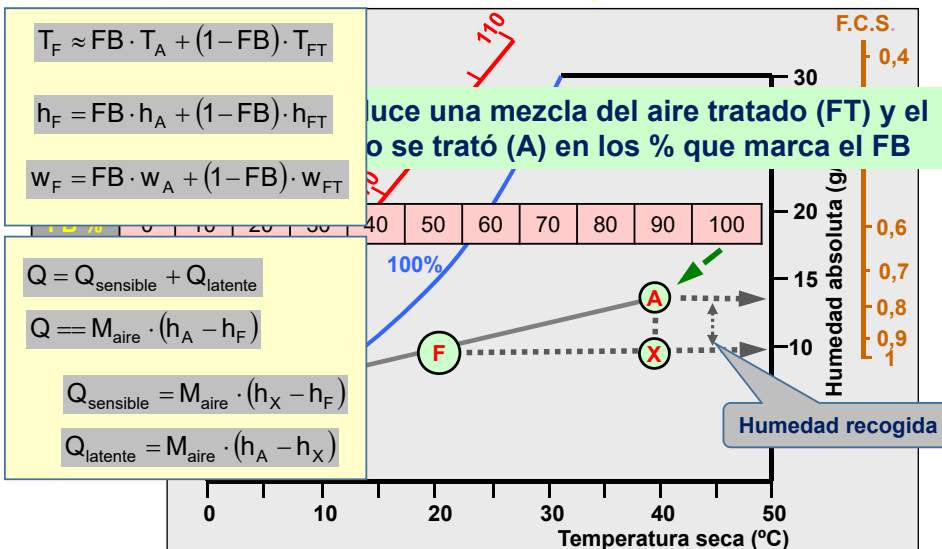
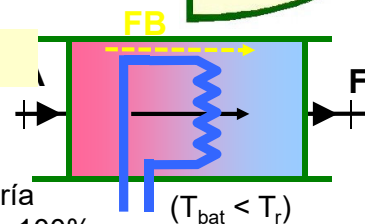
$$FB = \frac{M_{\text{aire no tratada}}}{M_{\text{aire total}}}$$

- nº filas
- Aletas
- Separación entre filas
- Separación entre aletas
- Velocidad del aire

4.- Las transformaciones psicrométricas (IV)

Enfriamiento con deshumidificación, varia W

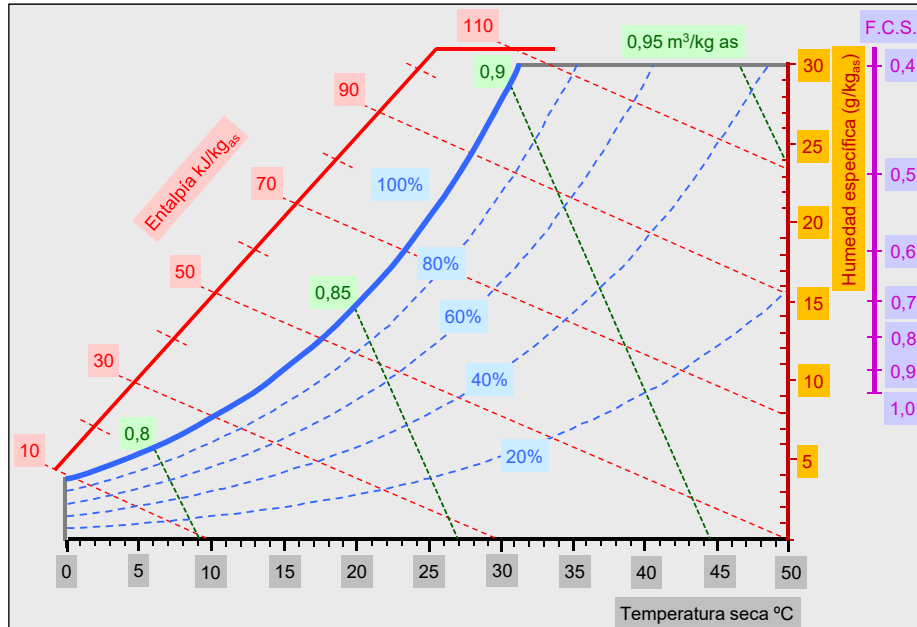
- Paso por una **batería fría con $T_{bat} < T_r$**
Teóricamente el aire alcanza las condiciones de la batería
Enfriamiento sensible hasta saturación y sigue por línea 100%
Pero aparece el **Factor de Bypass (FB)**, aire no tratado



$$FB = \frac{M_{\text{aire no tratada}}}{M_{\text{aire total}}}$$

- nº filas
- Aletas
- Separación entre filas
- Separación entre aletas
- Velocidad del aire

Pasar una corriente de aire de T_s de 25°C y ϕ 60% por una batería fría a 10°C y factor de bypass de 25%

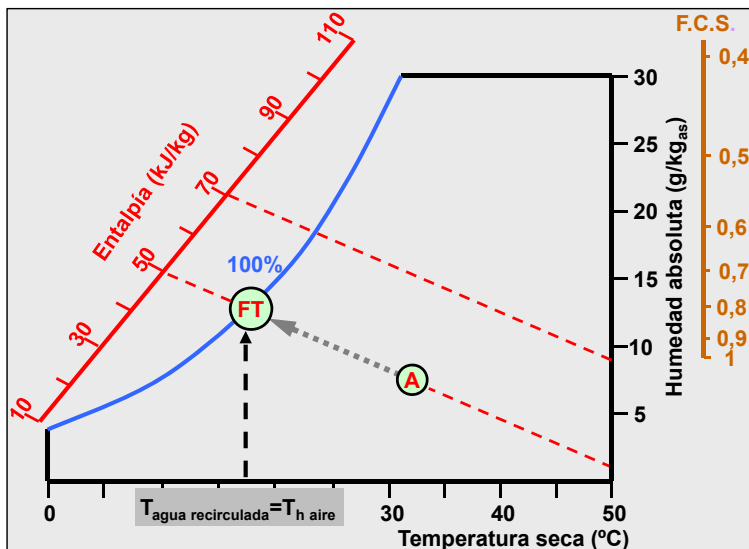
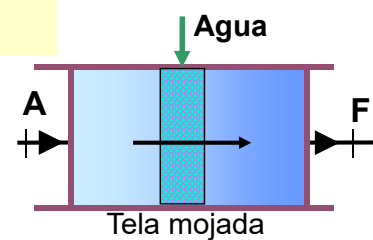


51

4.- Las transformaciones psicrométricas (V)

Enfriamiento y humidificación

Pasando aire por pulverizadores de **agua recirculada en una cámara aislada**. Se realiza a $T_h \cong cte \Rightarrow h \cong cte$
Teóricamente el aire se satura en un enfriamiento sensible



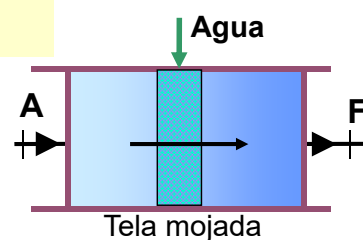
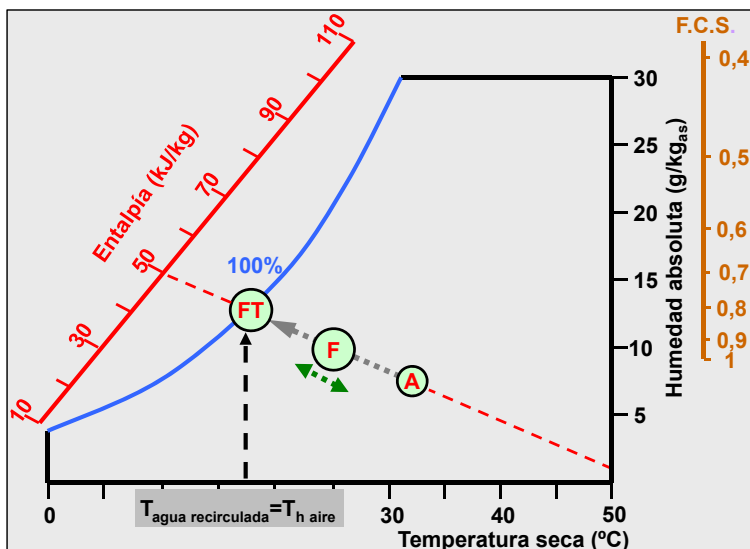
$T_{FT} = T_h$ del aire y de equilibrio agua

52

4.- Las transformaciones psicrométricas (V)

Enfriamiento y humidificación

Pasando aire por pulverizadores de **agua recirculada en una cámara aislada**. Se realiza a $T_h \cong cte \Rightarrow h \cong cte$
Teóricamente el aire se satura en un enfriamiento sensible
Pero aparece la **Eficiencia del Saturador**, % aire saturado



$T_{FT} = T_h$ del aire y de equilibrio agua

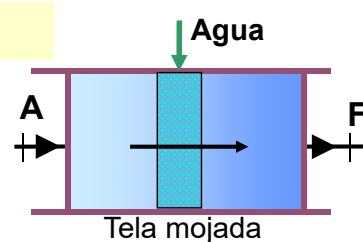
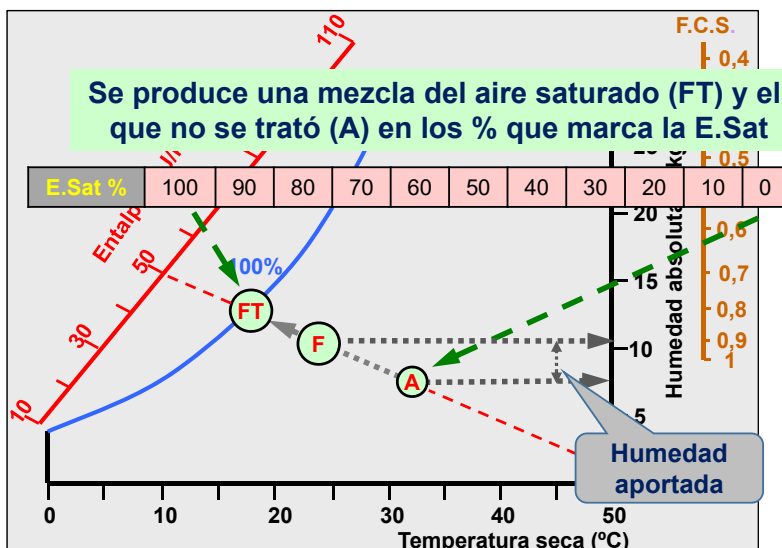
Eficiencia de sat

$$E.Sat = \frac{M_{Sat}}{M_{aire}} \approx \frac{T_F - T_A}{T_{FT} - T_A}$$

4.- Las transformaciones psicrométricas (V)

Enfriamiento y humidificación

Pasando aire por pulverizadores de **agua recirculada en una cámara aislada**. Se realiza a $T_h \cong cte \Rightarrow h \cong cte$
Teóricamente el aire se satura en un enfriamiento sensible
Pero aparece la **Eficiencia del Saturador**, % aire saturado



$T_{FT} = T_h$ del aire y de equilibrio agua

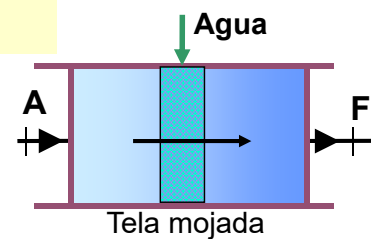
Eficiencia de sat

$$E.Sat = \frac{M_{Sat}}{M_{aire}} \approx \frac{T_F - T_A}{T_{FT} - T_A}$$

4.- Las transformaciones psicrométricas (V)

Enfriamiento y humidificación

Pasando aire por pulverizadores de **agua recirculada en una cámara aislada**. Se realiza a $T_h \cong cte \Rightarrow h \cong cte$
Teóricamente el aire se satura en un enfriamiento sensible
Pero aparece la **Eficiencia del Saturador**, % aire saturado

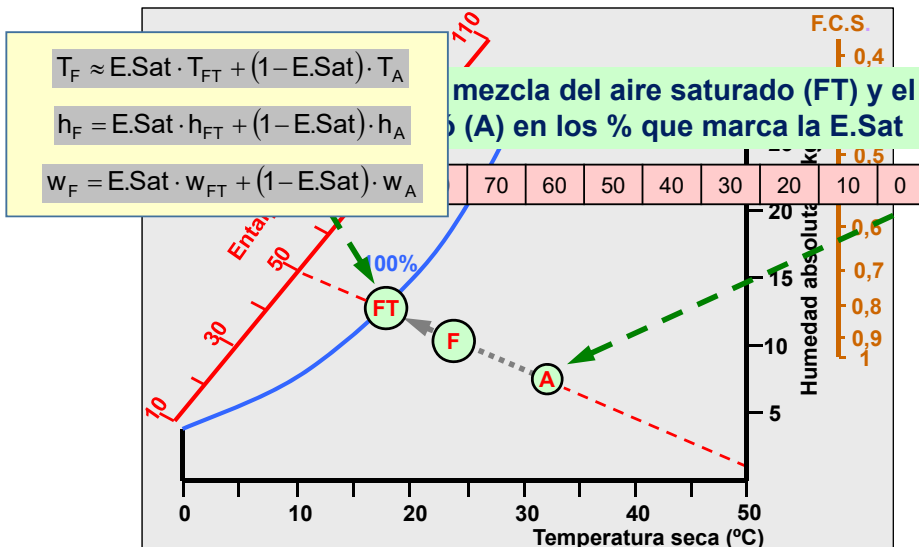


$T_{FT} = T_h$ del aire y de equilibrio agua

Eficiencia de sat

$$E.Sat = \frac{M_{Sat}}{M_{aire}} \approx \frac{T_F - T_A}{T_{FT} - T_A}$$

55



$$T_F \approx E.Sat \cdot T_{FT} + (1 - E.Sat) \cdot T_A$$

$$h_F = E.Sat \cdot h_{FT} + (1 - E.Sat) \cdot h_A$$

$$w_F = E.Sat \cdot w_{FT} + (1 - E.Sat) \cdot w_A$$

4.- Las transformaciones psicrométricas (VI)

Paso del aire por una cortina de agua (I);

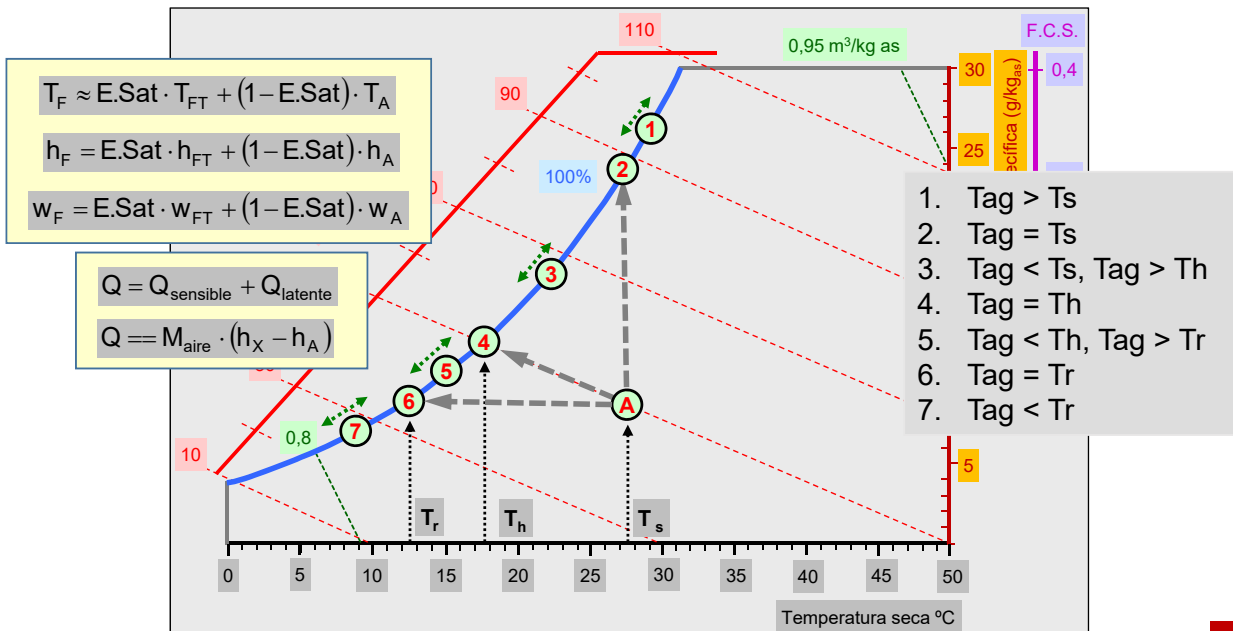
múltiples posibilidades $f(T_s, T_h, Tag)$

1. $Tag > Ts$, pulverizando agua caliente, o inyectando vapor de agua el aire se calienta y se humecta, por lo que su h aumenta
2. $Tag = Ts$, el aire se humecta aumentando su h
3. $Tag < Ts$, $Tag > Th$, el aire se enfría y se humecta, pero gana h
4. $Tag = Th$, el aire se enfría y se humecta, con h cte (saturación adiabática)
5. $Tag < Th$, $Tag > Tr$, el aire se enfría y se humecta, pero perdiendo h
6. $Tag = Tr$, el aire se enfría sin cambio en su humedad, pierde h
7. $Tag < Tr$, el aire se enfría perdiendo humedad, por lo que pierde h

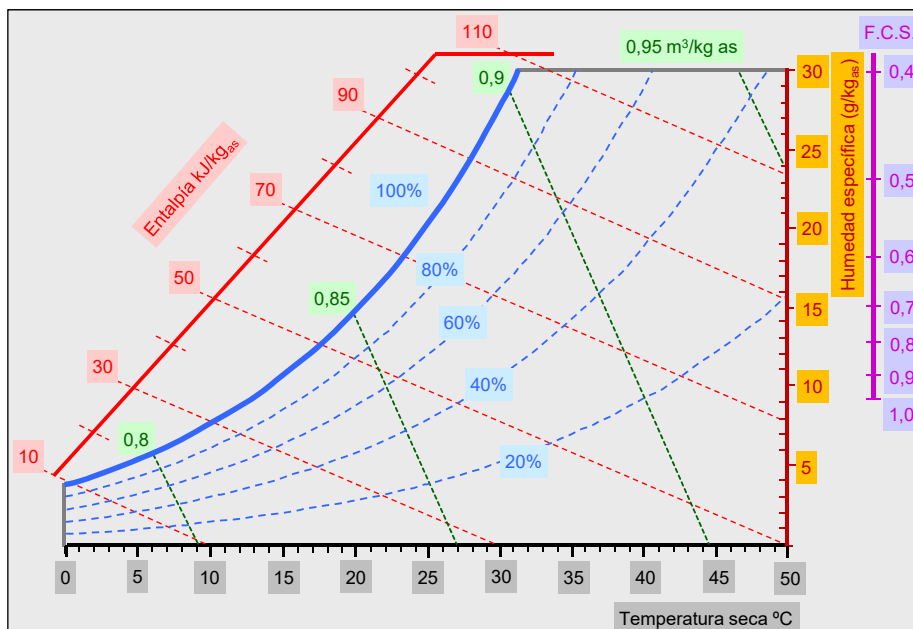
56

4.- Las transformaciones psicrométricas (VI)

Paso del aire por una cortina de agua (II)



Pasar una corriente de aire de T_s de 25°C y ϕ 40% por un humidificador con agua en recirculación y una eficiencia del 75%

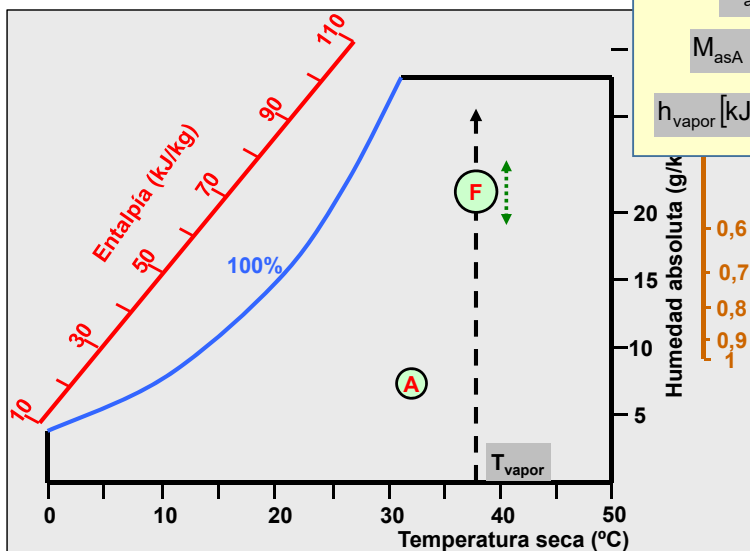


4.- Las transformaciones psicrométricas (VII)

Humectación con Vapor de Agua

Se deben conocer:

- T_{vapor}
- Relación $m_{\text{vapor}} / m_{\text{aire}}$



$$M_{asA} = M_{asF}$$

$$W_F = W_A + \Delta W_{\text{vapor}}$$

$$M_{asA} \cdot W_A + M_{\text{vapor}} = M_{asF} \cdot W_F$$

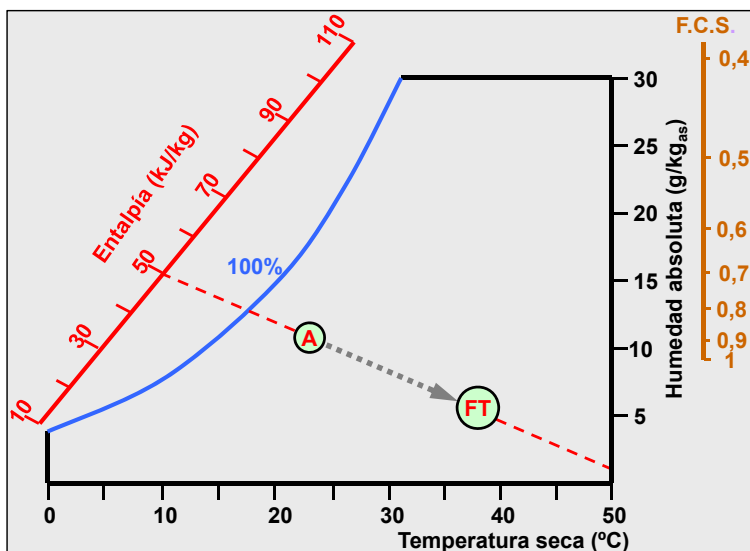
$$M_{asA} \cdot h_A + M_{\text{vapor}} \cdot h_{\text{vapor}} = M_{asF} \cdot h_F$$

$$h_{\text{vapor}} [\text{kJ/kg}_{\text{as}}] = 2.501 + 1,86 \cdot T_{\text{vapor}} (^{\circ}\text{C})$$

4.- Las transformaciones psicrométricas (VIII)

Calentamiento con deshumidificación;

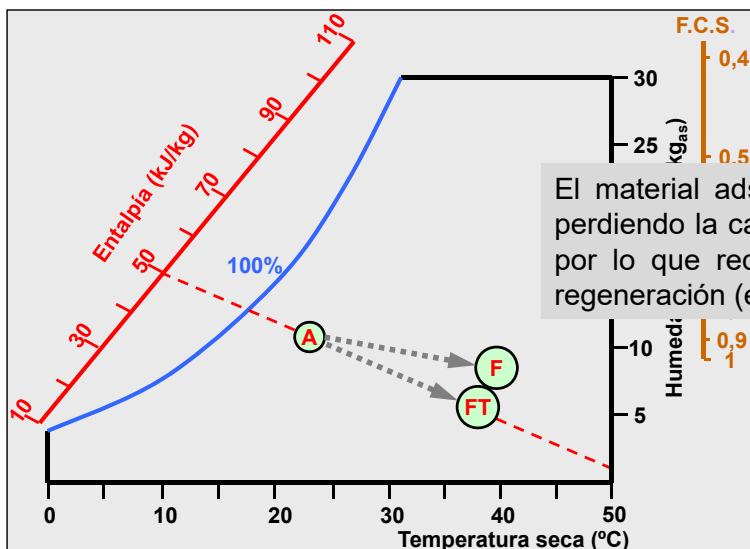
Se produce circulando aire por un material absorbente sólido, teóricamente a h cte



4.- Las transformaciones psicrométricas (VIII)

Calentamiento con deshumidificación;

Se produce circulando aire por un material absorbente sólido, teóricamente a h cte
El aire se calienta y su h crece ligeramente porque el absorbente libera algo del calor que recibe de la condensación del vapor del aire

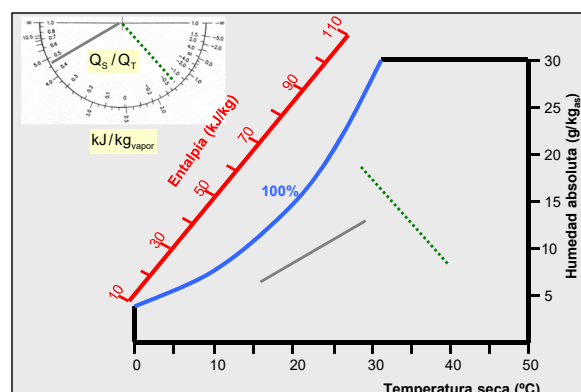
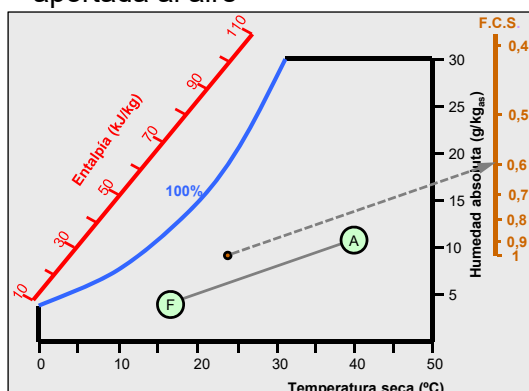


4.- Las transformaciones psicrométricas (IX)

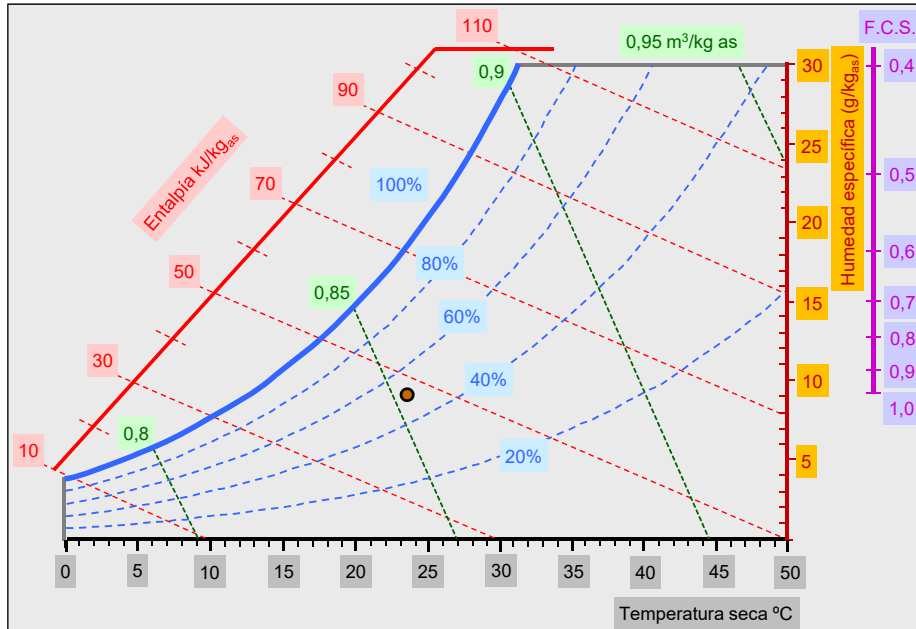
En las **transformaciones con sólo una corriente de aire**

El F.C.S.: porcentaje de calor sensible sobre el calor total
Una escala en la dcha del diagrama con un punto de referencia
Típicamente sobre el punto de confort, T_s 24°C y 50% HR

La **recta de maniobra** en un semicírculo en la parte superior del diagrama, relaciona el porcentaje de calor sensible con el total, y el calor con la humedad aportada al aire



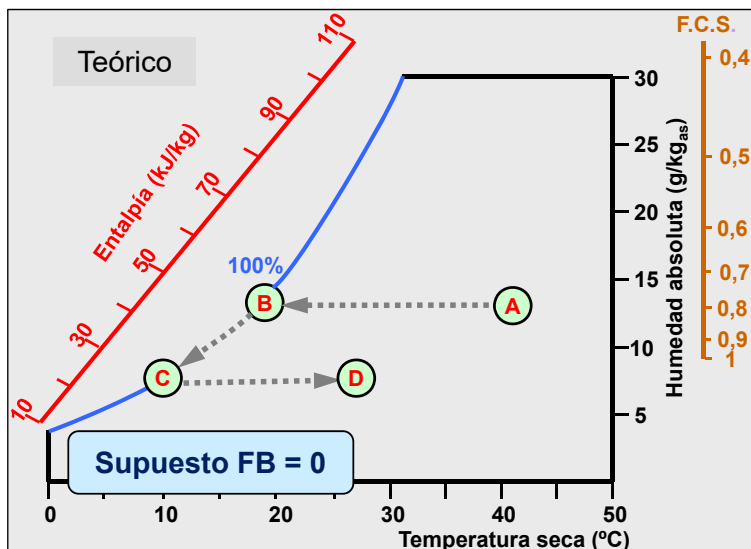
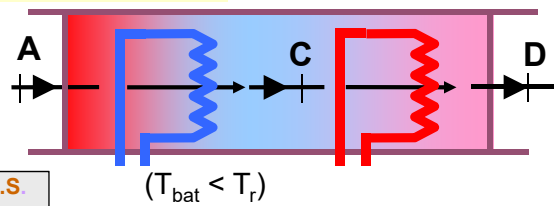
Donde se deben encontrar las condiciones de impulsión de aire en un local cuyas condiciones sean de T_s de 30°C y ϕ de 60% si su carga sensible es 21 kW siendo la total de 30 kW



63

4.- Las transformaciones psicrométricas (X)

Control de T y HR en verano
(enfriamiento con deshumidificación y postcalentamiento)



Gran gasto energético

$$Q_{AC} = M_{as} \cdot (h_A - h_C) \quad \text{Refrigeración}$$

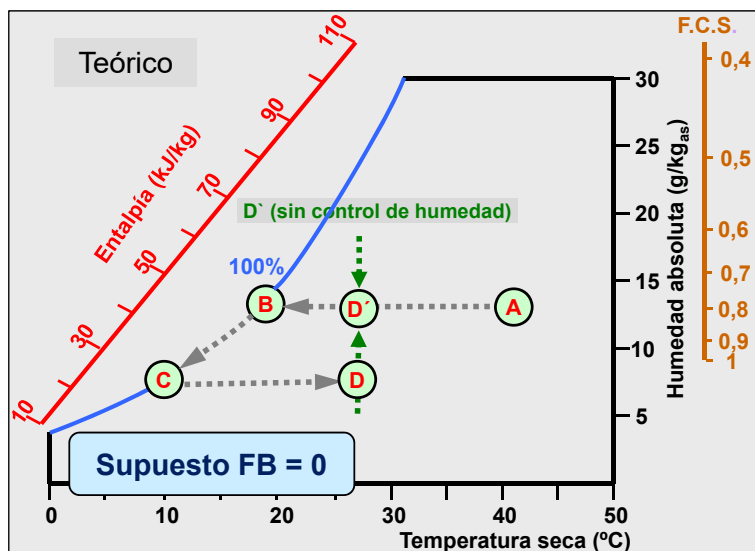
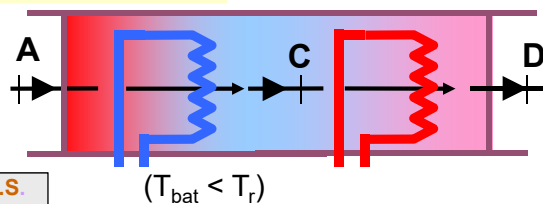
$$Q_{CD} = M_{as} \cdot (h_D - h_C) \quad \text{Calentamiento}$$

$h_A, h_C, y h_D$ las del aire húmedo

64

4.- Las transformaciones psicrométricas (X)

Control de T y HR en verano
(enfriamiento con deshumidificación y postcalentamiento)



Gran gasto energético

$$Q_{AC} = M_{as} \cdot (h_A - h_C) \quad \text{Refrigeración}$$

$$Q_{CD} = M_{as} \cdot (h_D - h_C) \quad \text{Calentamiento}$$

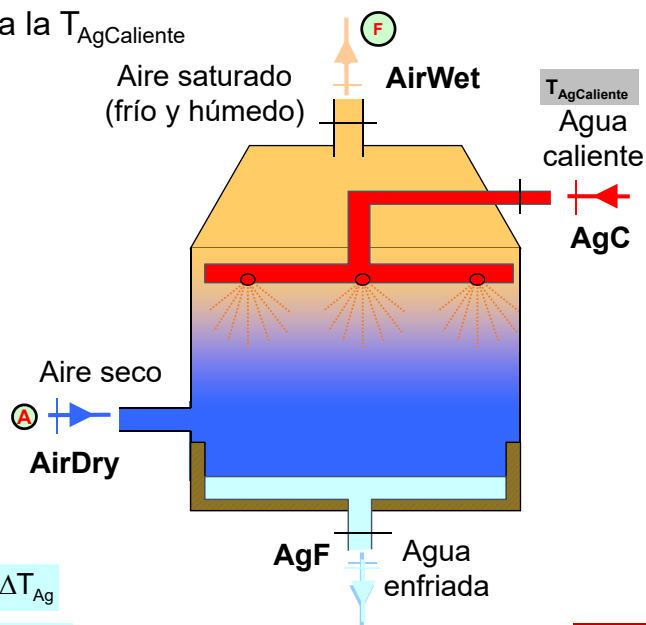
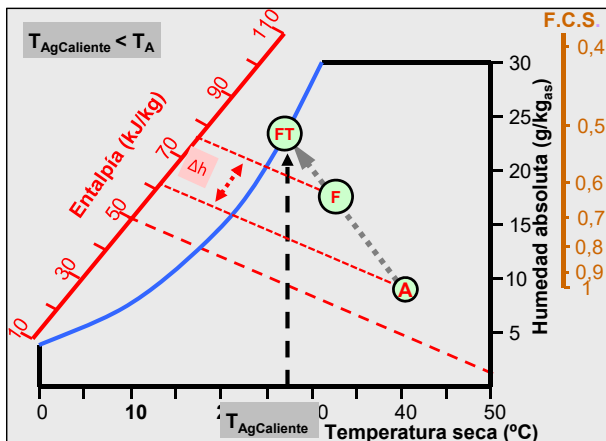
$h_A, h_C, y h_D$ las del aire húmedo

$$Q_{AD'} = M_{as} \cdot (h_A - h_{D'}) \quad \text{Refrigeración}$$

4.- Las transformaciones psicrométricas (XI)

Torre de refrigeración

El aire tiende a saturarse en función a la $T_{AgCaliente}$



$$M_{as} \cdot (W_F - W_A) = M_{AgCaliente} - M_{AgFria}$$

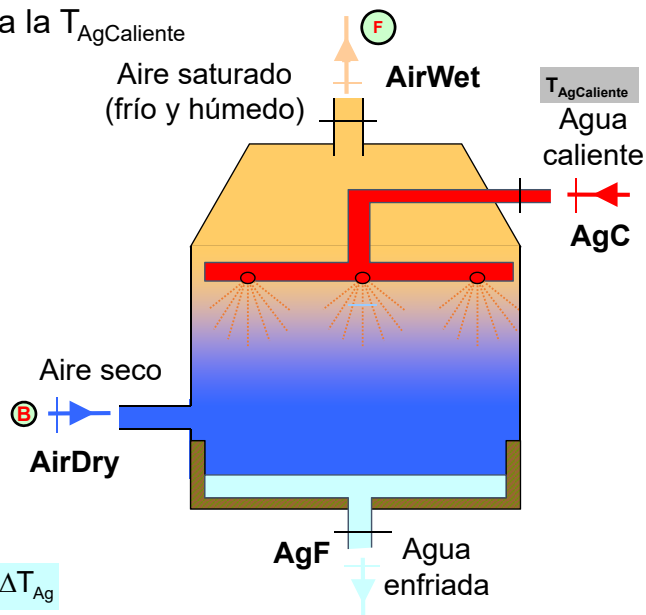
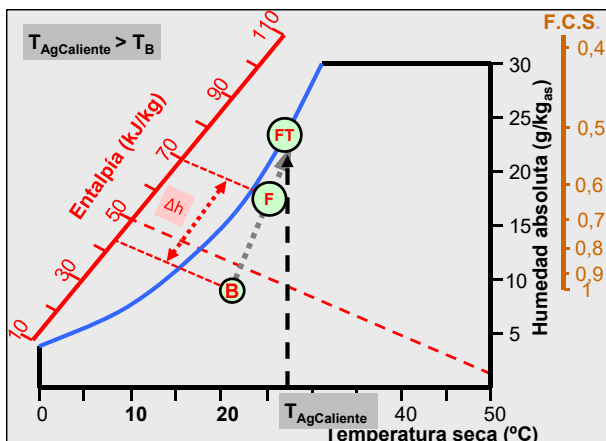
$$Q_{Ag} = Q_{Air} \Rightarrow M_{as} \cdot C_{p as} \cdot \Delta T_{Aire} = M_{Ag} \cdot C_{p Ag} \cdot \Delta T_{Ag}$$

$$M_{as} \cdot (h_F - h_A) = M_{AgCaliente} \cdot h_{AgCaliente} - M_{AgFria} \cdot h_{AgFria}$$

4.- Las transformaciones psicrométricas (XI)

Torre de refrigeración

El aire tiende a saturarse en función a la $T_{AgCaliente}$



$$M_{as} \cdot (W_F - W_B) = M_{AgCaliente} - M_{AgFria}$$

$$Q_{Ag} = Q_{Air} \Rightarrow M_{as} \cdot C_{p as} \cdot \Delta T_{Aire} = M_{Ag} \cdot C_{p Ag} \cdot \Delta T_{Ag}$$

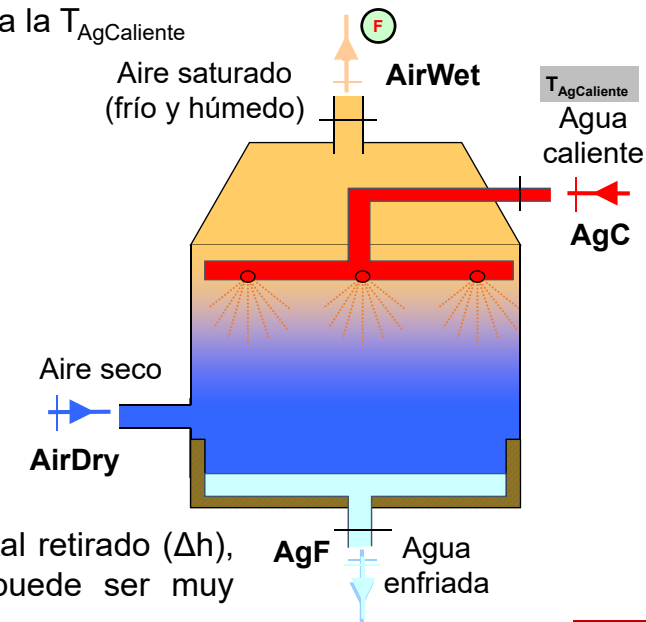
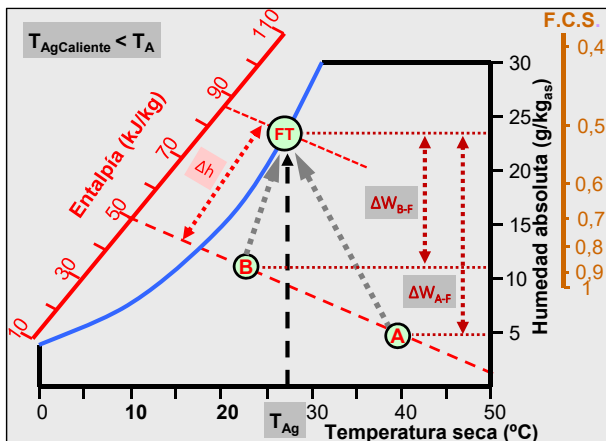
$$M_{as} \cdot (h_F - h_B) = M_{AgCaliente} \cdot h_{AgCaliente} - M_{AgFria} \cdot h_{AgFria}$$

67

4.- Las transformaciones psicrométricas (XI)

Torre de refrigeración

El aire tiende a saturarse en función a la $T_{AgCaliente}$



Para la misma cantidad de calor total retirado (Δh), la cantidad de agua evaporada puede ser muy distinta ($\Delta W_{A-F} < \Delta W_{B-F}$)

68

Si se tiene una corriente de aire de 30°C de T_s y 20% de HR, entonces la W es de:

- $5,2 \text{ g/kg}_{\text{as}}$
- $27,4 \text{ g/kg}_{\text{as}}$
- Faltan datos

Si se mezclan dos corrientes de aire de diferente T_s e igual W , la mezcla resultante tiene la misma W :

- Verdadero
- Falso
- No se puede saber, depende de más condiciones

Si se mezclan dos corrientes de aire de diferente T_s e igual HR, la mezcla resultante tiene:

- La misma HR
- Menor HR
- Mayor HR
- No se puede saber, depende de más condiciones

Si se circula una corriente de aire de $T_s = 30^{\circ}\text{C}$ y 50% de HR por una batería fría, es posible obtener a la salida una corriente de 15°C de T_s y 50% de HR:

- Verdadero, basta con que la batería esté suficientemente fría
- No se puede saber, depende de otras condiciones
- Falso, es imposible

Si se circula una corriente de aire de 10°C de Ts y 20% de HR por una batería de calentamiento se puede obtener unas condiciones a la salida de 21°C de Ts y 10% de HR:

- Es posible, dependiendo de las condiciones de la batería
- Esta transformación es imposible

Si se circula una corriente de aire de Ts = 21°C y 10% de HR por una batería fría, es posible obtener a la salida una corriente de 10°C de Ts y 20% de HR:

- Es posible dependiendo de las condiciones de la batería
- Esta transformación es imposible



Correo: Rene

<http://www.calculaconatecyr.com/psicro.php>

Aplicaciones UC UC PDI UC DIEE UC AS Baloncesto en AS.com NBA.com/Stats TUS Traductor de Google UEFISCDI Romania CNIT Lerida Yahoo Otros marcadores

calcula con Atecyr free

Nueva ecoTEC exclusive La mejor caldera de la historia de Vaillant Descúbrela

Programas ↓ FAQs técnicas Tutoriales ↓ Publicaciones Formación Atecyr Patrocinadores ↓ Nosotros Atención a Socios

Sicro

 [descarga](#) [tutorial](#)

Versión: 2.1.2

Cálculos de transformaciones del aire húmedo.

CARACTERÍSTICAS:

Este software representa en la pantalla del ordenador el diagrama psicrométrico del aire y simplemente mediante la posición del cursor en la misma se determinan todas las propiedades del aire húmedo, también mediante dos variables cualquiera (fijada la presión total) se determinan todas las demás.

Permite cualquier concatenación de tratamientos del aire (paso del mismo a través de UTAs);mezcla dos corrientes

