

T6.- Psicrometría, Calidad del Aire, y Confort

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

- 1.- Introducción
- 2.- Cuestiones Básicas de Psicrometría
- 3.- El Diagrama Psicrométrico
- 4.- Las Transformaciones Psicrométricas
- 5.- Ventilación
- 6.- Extracción de aire
- 7.- Filtración
- 8.- Climatización
- 9.- Equilibrio Térmico del Hombre con el Edificio
- 10.- La Calidad del Aire
- 11.- Condiciones de Confort

2

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

El aire puede presentar contaminantes que pueden tener gran incidencia sobre la salud o el confort

- Calor
- Vapor de agua
- Velocidad
- Ruido
- Olores
- Polvo
- Gases
- Pelusas
- Humo

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:
$$V_{as} \left[\frac{m^3}{kg_{as}} \right] = \frac{R_{as} [29,27 \text{ m}^3/\text{K}] T [K]}{p_{as} \cdot [kg_{as} / m^3]}$$

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

• La entalpía:
$$h_{as} = 0,24 \cdot (T - T_a) \left[\frac{\text{kCal}}{\text{kg}_{as}} \right] = 1,006 \cdot (T - T_a) \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{as}} \right]$$

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

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

2.- Cuestiones Básicas de Psicrometría (II)

Las propiedades del **vapor de agua**:

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

• 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

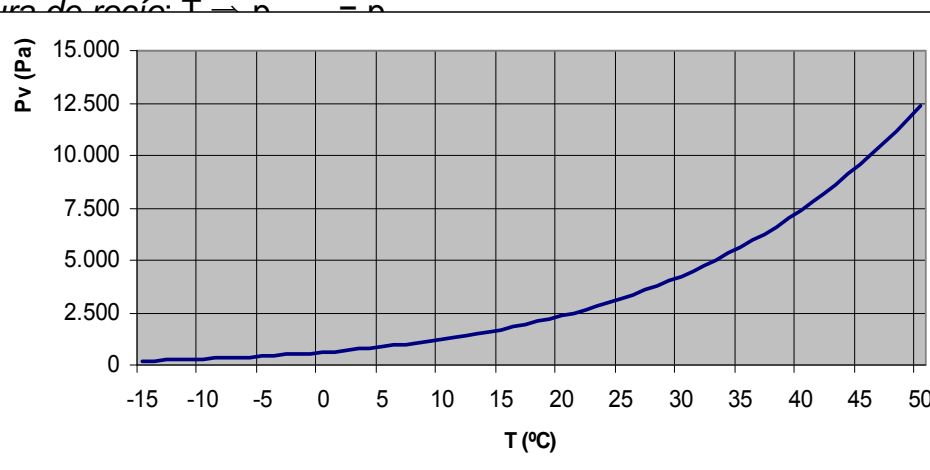
Temperatura de rocío: $T \Rightarrow p_{actual} = p_{sat}$

Humedad por masa

Humedad

Saturación una cámara

Temperatura



h'_1 (la del agua de aporte)

2.- Cuestiones Básicas de Psicrometría (V)

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

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

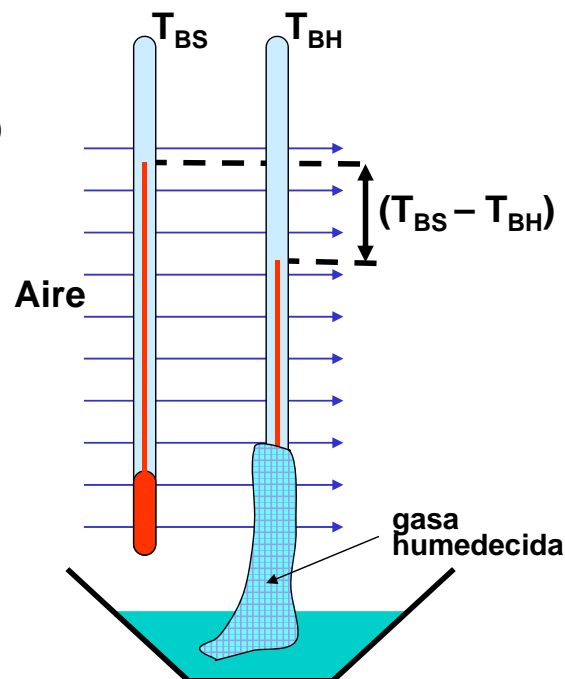
$T_{BS} = T_{BH} \Rightarrow$ aire saturado

$T_{BS} > T_{BH} \Rightarrow$ 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



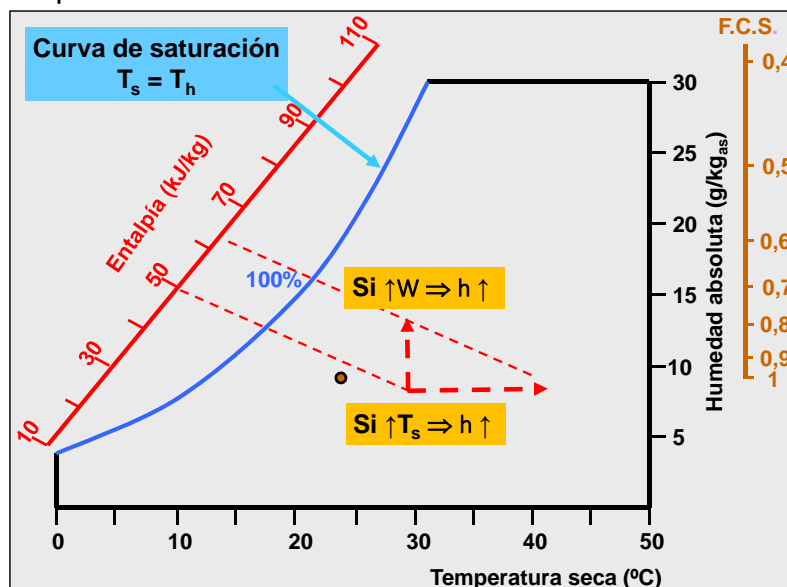
3.- El Diagrama Psicrométrico (I)

Es el empleado para resolver los problemas del aire húmedo

Hay que considerar la presión (altitud)

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

Existen diferentes tipos



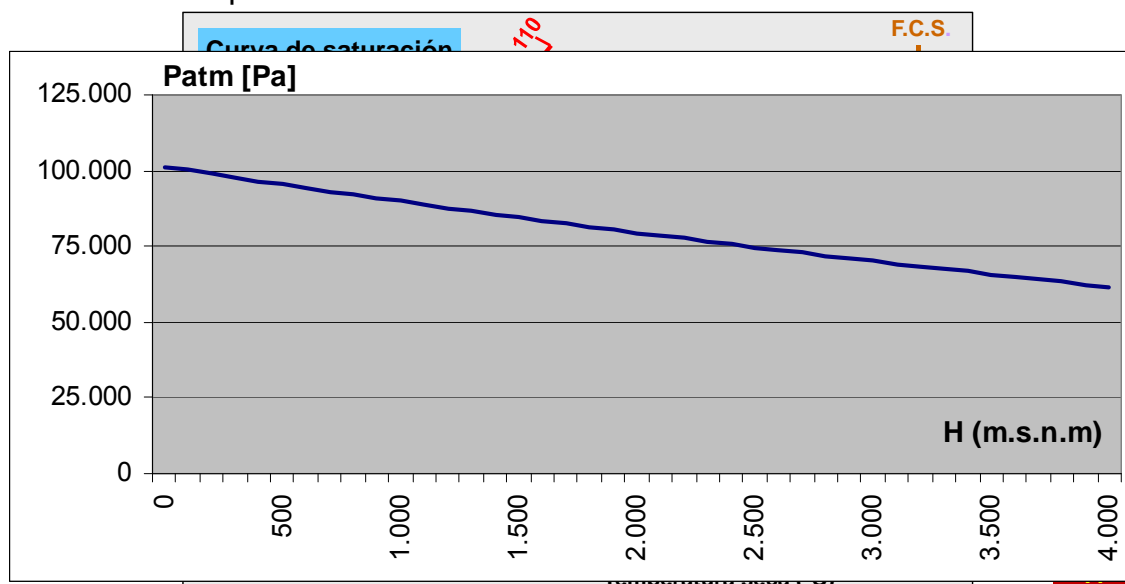
3.- El Diagrama Psicrométrico (I)

Es el empleado para resolver los problemas del aire húmedo

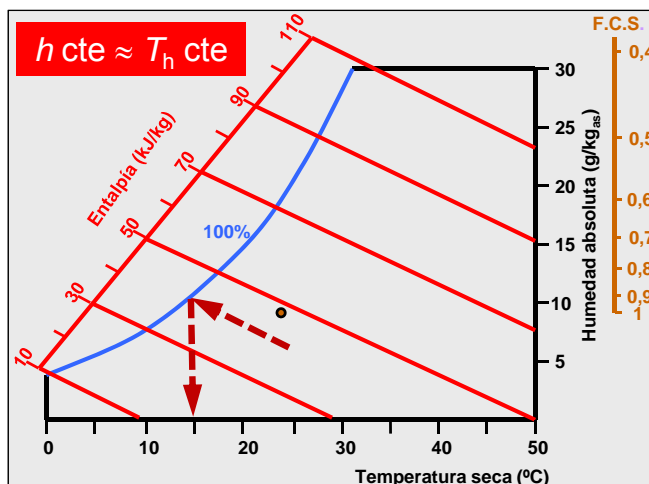
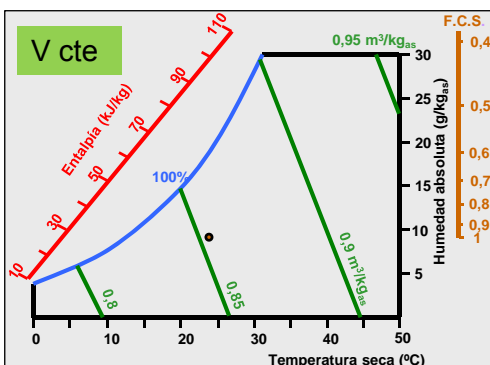
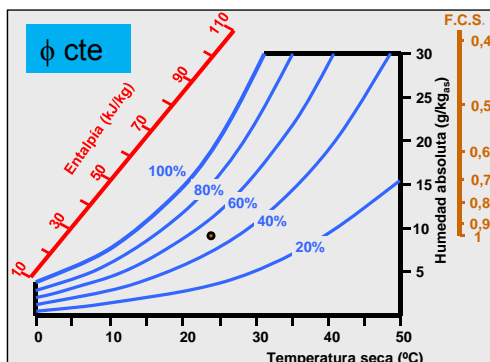
Hay que considerar la presión (altitud)

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

Existen diferentes tipos



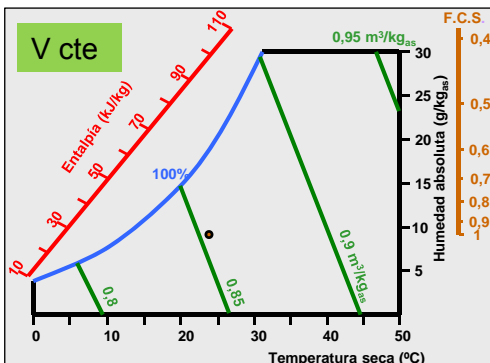
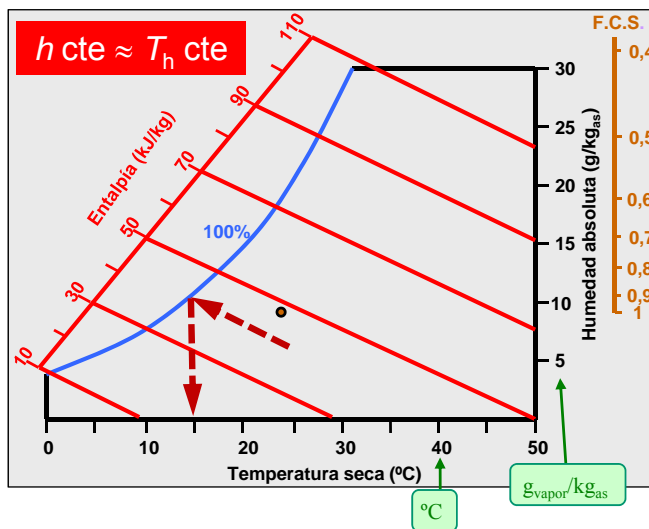
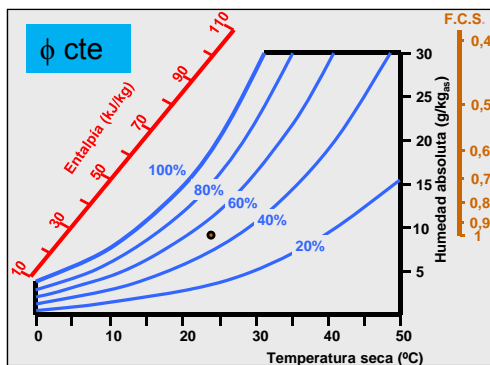
3.- El Diagrama Psicrométrico (II)



$T_h \text{ cte}$

$h_1 \text{ cte}$

3.- El Diagrama Psicrométrico (II)



$T_h \text{ cte}$

$h_1 \text{ cte}$

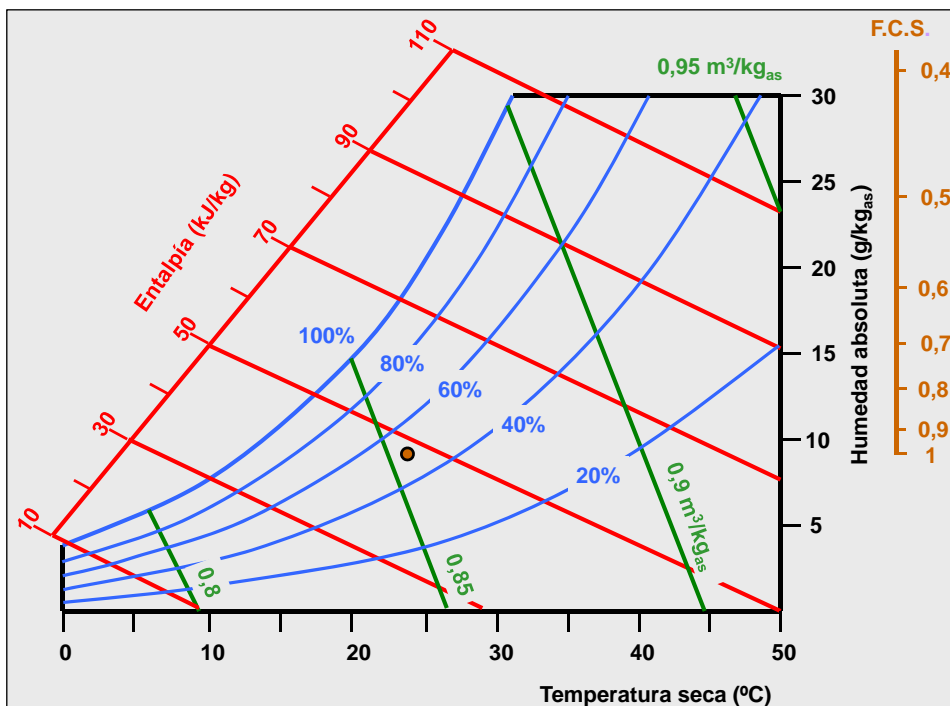
$h_2 \text{ cte}$
 $h_2 > h_1$

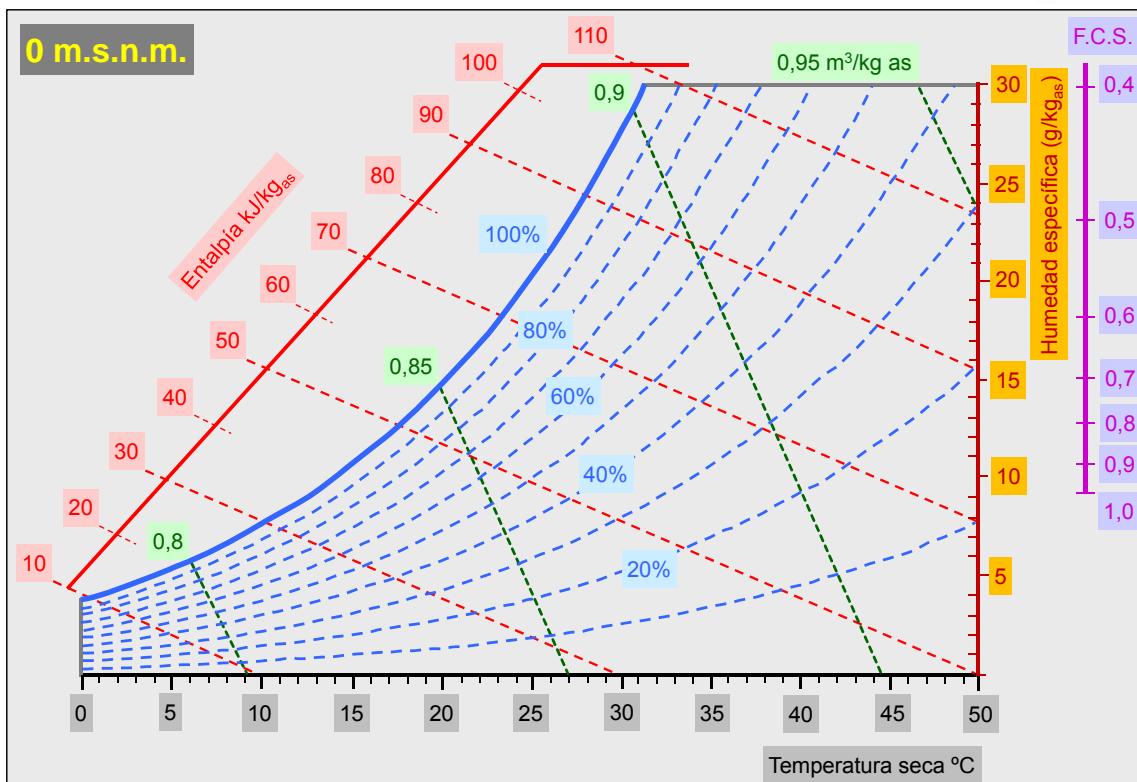
$$h_{ah} = 1,006 \cdot T + [(2.501 + 1,86 \cdot T) \cdot W] \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{as}} \right]$$

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

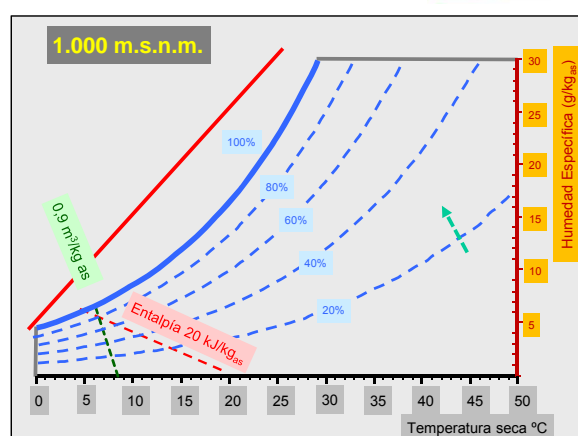
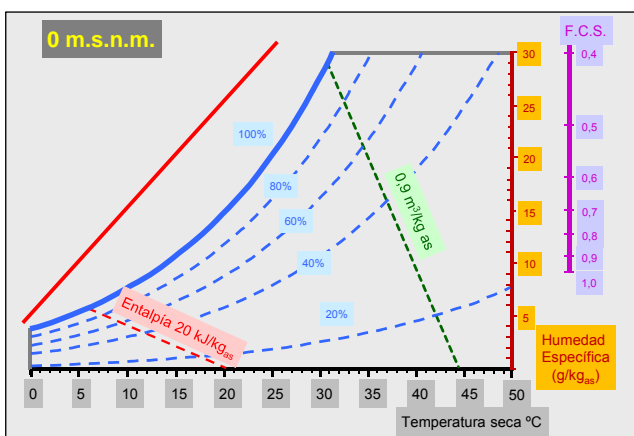
13

3.- El Diagrama Psicrométrico (III)





15



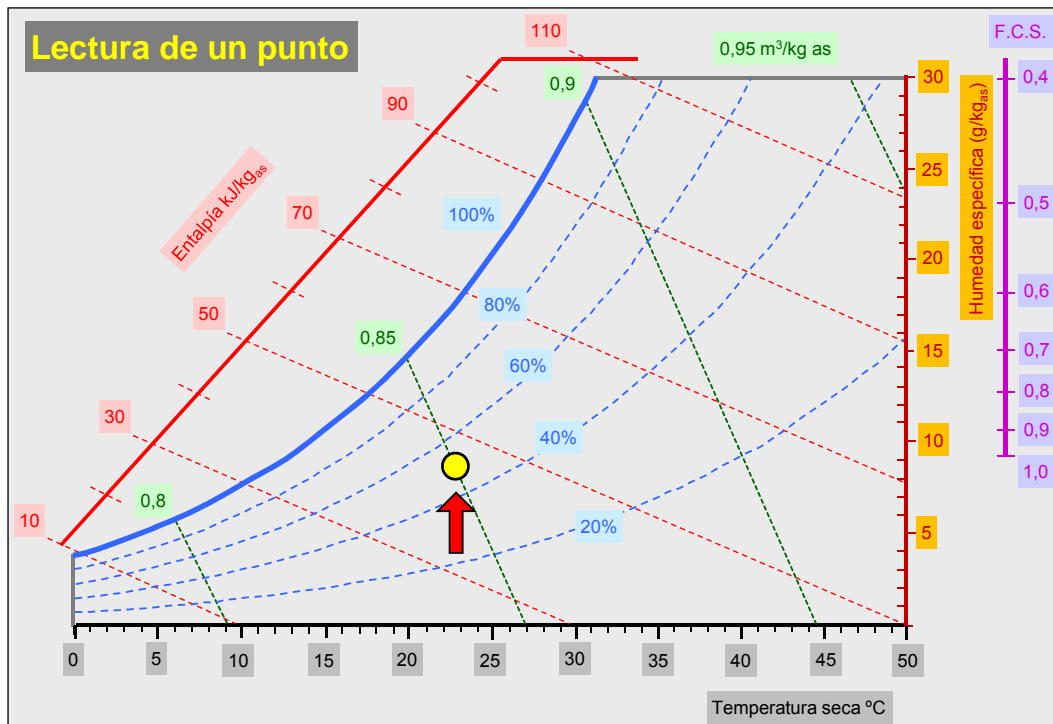
Al aumentar la altitud:

- 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

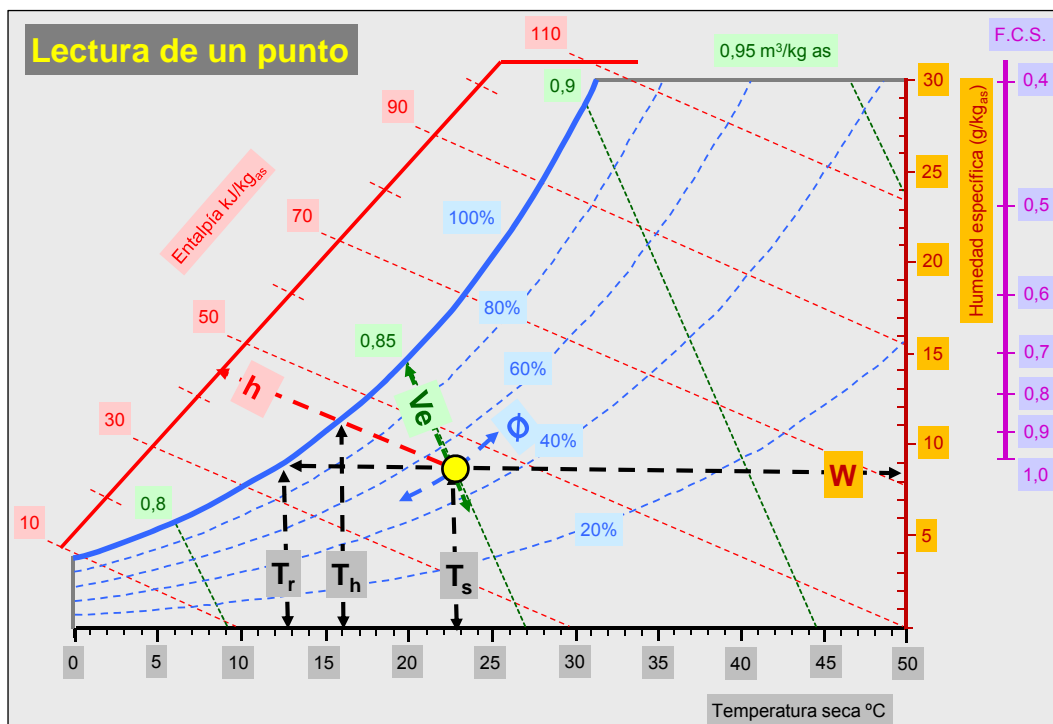
$$h_{ah} \approx 1,024 \cdot T + 2.501 \cdot W \text{ [kJ/kg}_{as}]$$

16

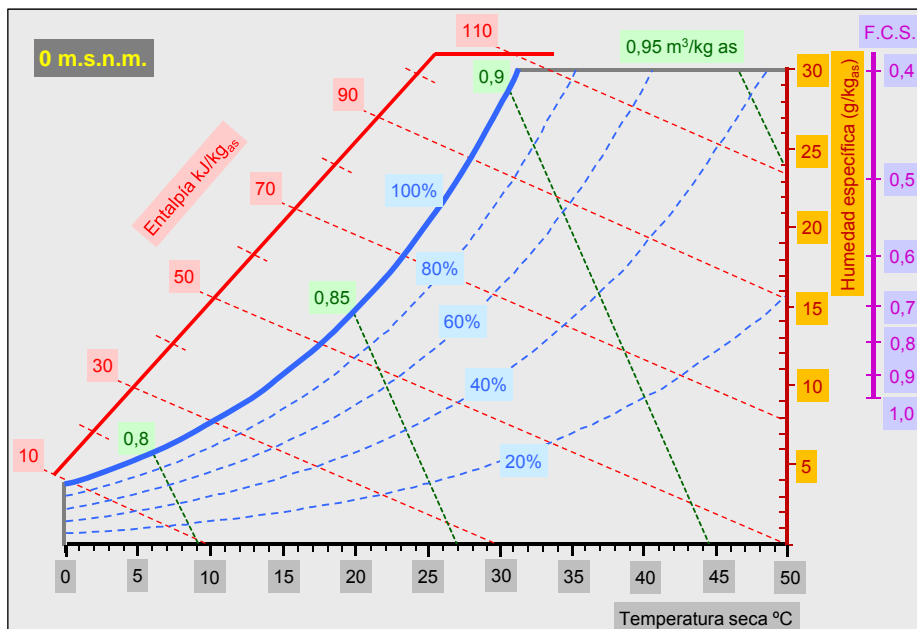
3.- El Diagrama Psicrométrico (IV)



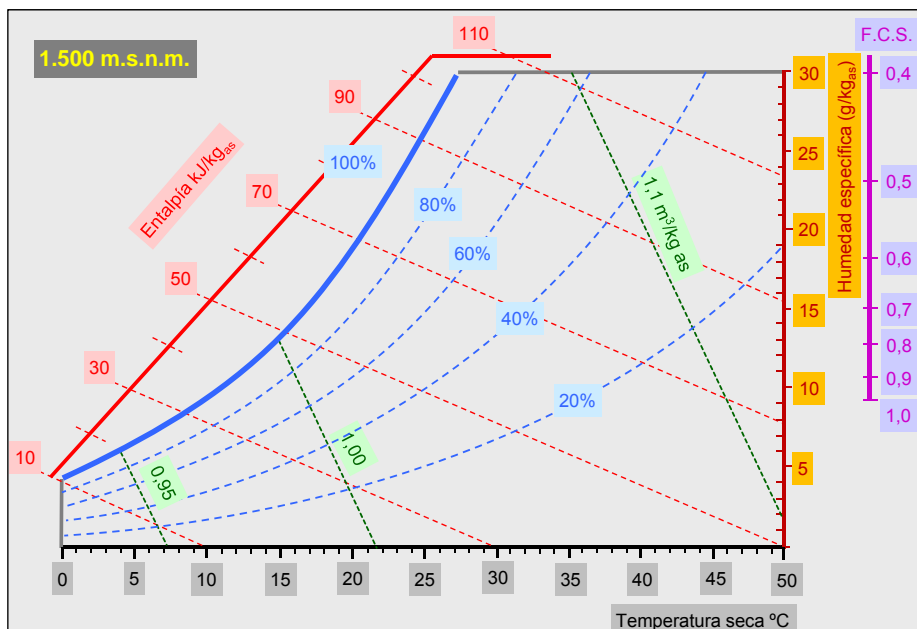
3.- El Diagrama Psicrométrico (IV)



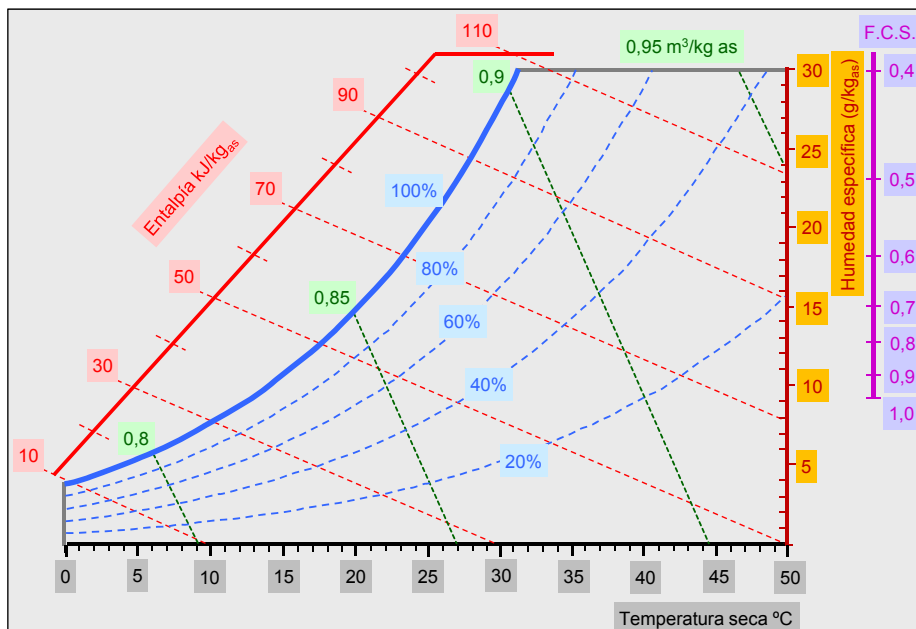
Propiedades del aire húmedo a nivel del mar si su T_s es 30°C y T_h 23°C



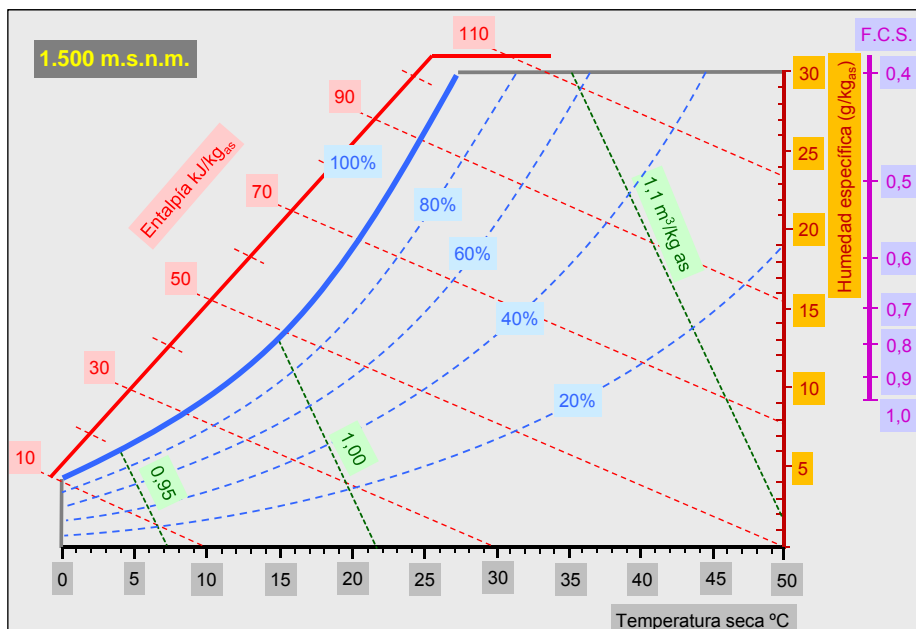
Propiedades del aire húmedo a **1.500 m.s.n.m.** si su T_s es 30°C y T_h 23°C



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

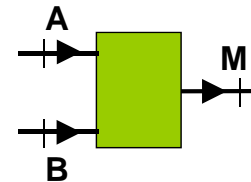
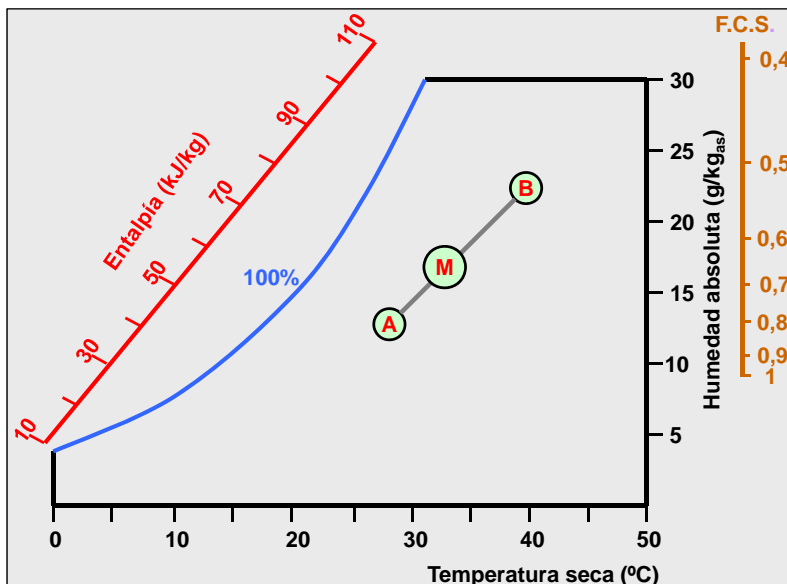


Propiedades del aire húmedo a **1.500 m.s.n.m.** si su Ts es 5°C y Ø 85%



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

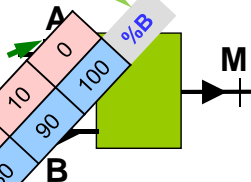
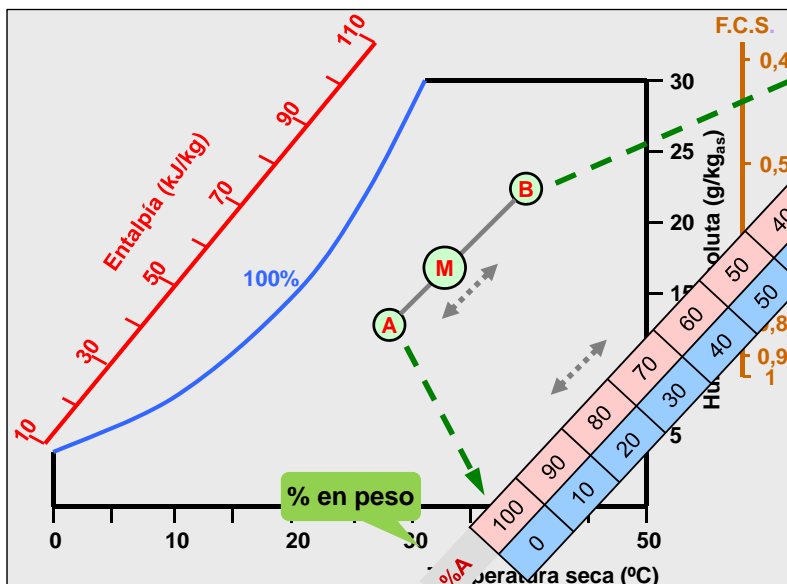
$$G_A + G_B = G_M$$

$$G_A \cdot w_A + G_B \cdot w_B = G_M \cdot w_M$$

$$G_A \cdot h_A + G_B \cdot h_B = G_M \cdot h_M$$

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

$$G_A + G_B = G_M$$

$$G_A \cdot w_A + G_B \cdot w_B = G_M \cdot w_M$$

$$G_A \cdot h_A + G_B \cdot h_B = G_M \cdot h_M$$

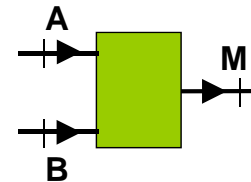
4.- Las Transformaciones Psicrométricas (I)

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

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

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

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



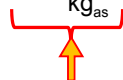
G es la masa de aire (kg)
w humedad absoluta
h la entalpía

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

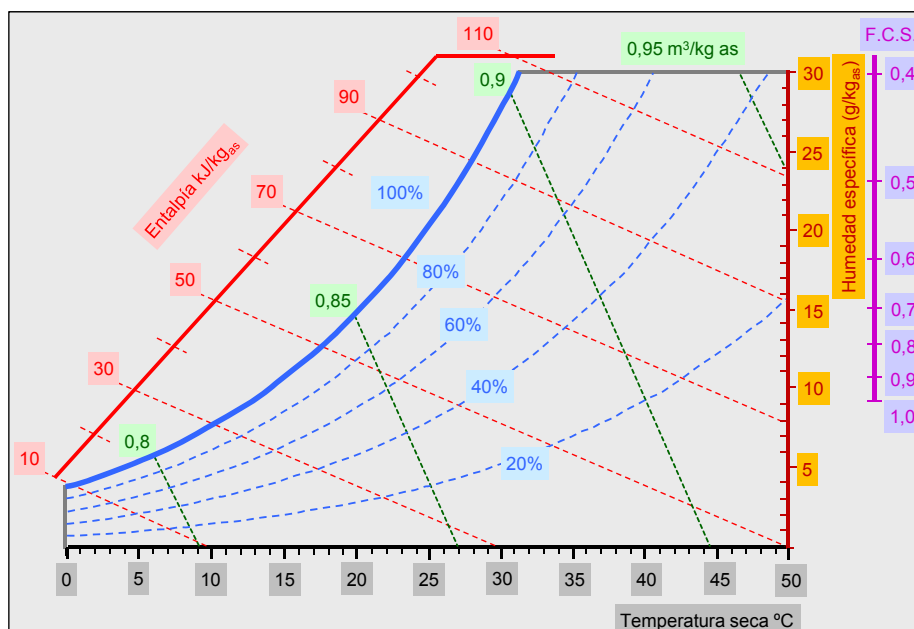
Y si se considera que la Th y la h son "equivalentes":

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

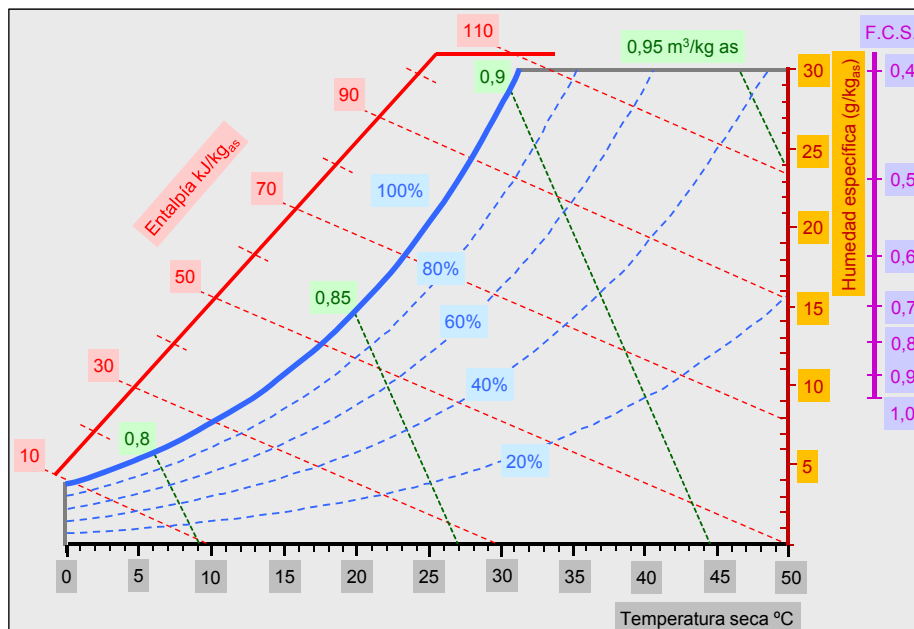
$$T_{sM} \approx \frac{G_A \cdot T_{sA} + G_B \cdot T_{sB}}{G_M}$$



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



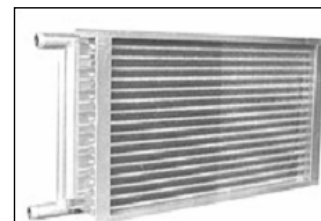
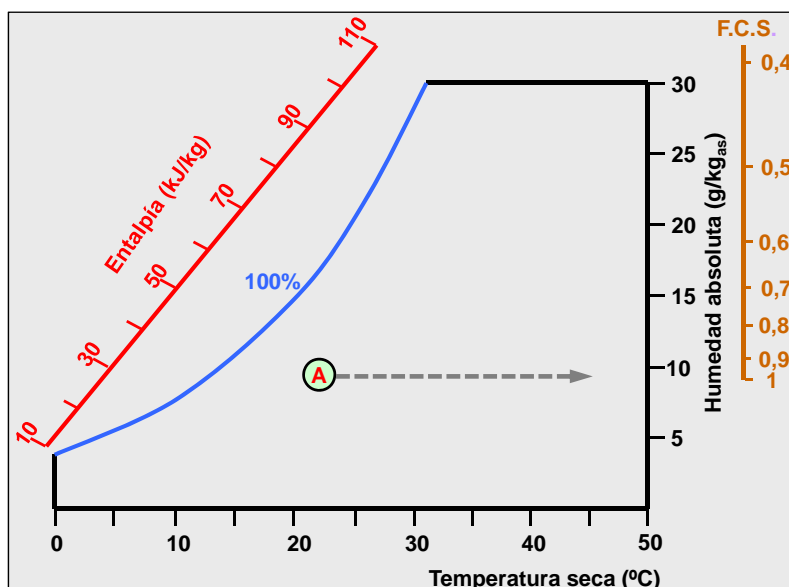
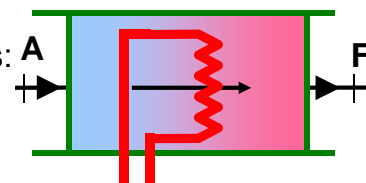
Mezcla a nivel del mar de 2.000 kg/h de aire con T_s de 32°C y ϕ 90%, y 1.000 kg/h con T_s de 0°C y ϕ 80%



4.- Las Transformaciones Psicrométricas (II)

Calentamiento sensible, no varía W ; hay dos opciones:

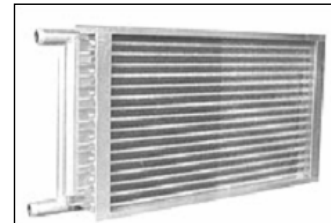
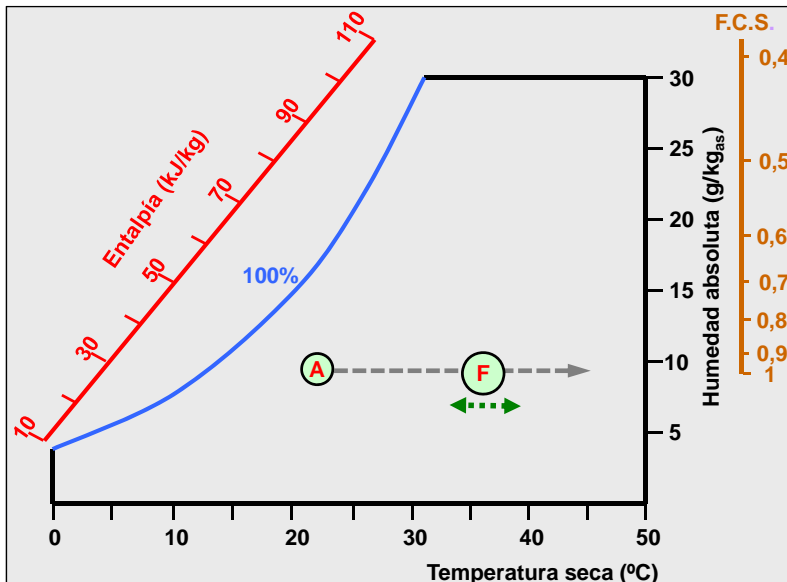
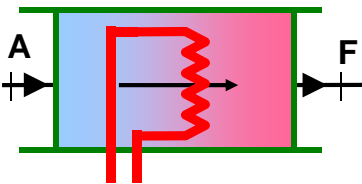
- Paso por una batería caliente (T superficie cte)
- Paso por una resistencia eléctrica (Q cte)



4.- Las Transformaciones Psicrométricas (III)

Calentamiento sensible, no varia W; hay dos opciones:

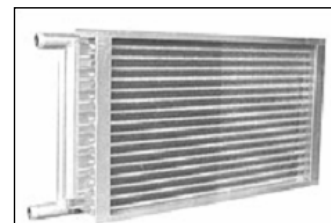
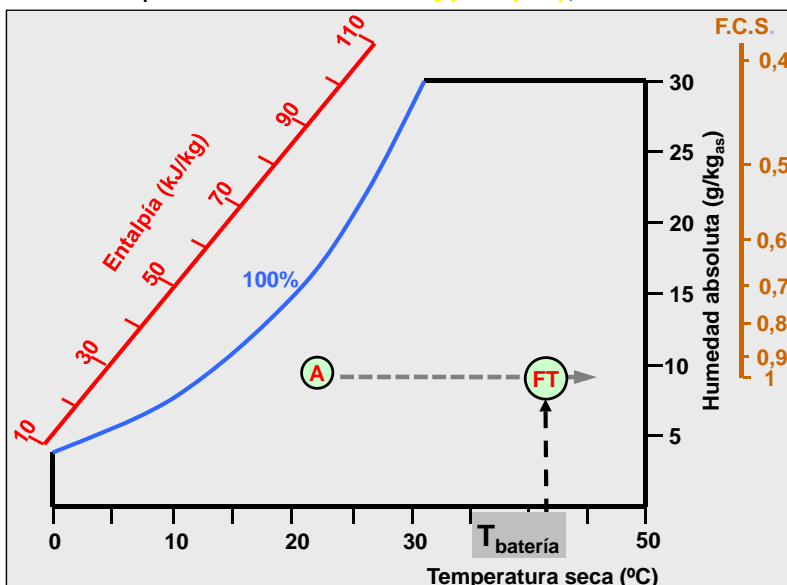
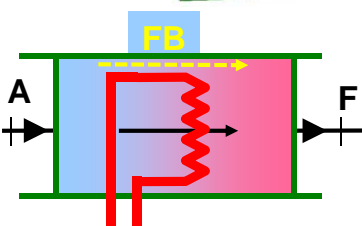
- Paso por una **batería caliente** (T superficie cte)
Teóricamente el aire alcanza la T de la batería



4.- Las Transformaciones Psicrométricas (III)

Calentamiento sensible, no varia W; hay dos opciones:

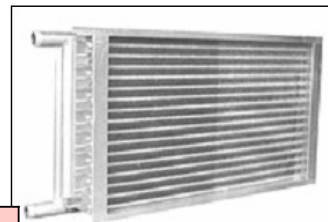
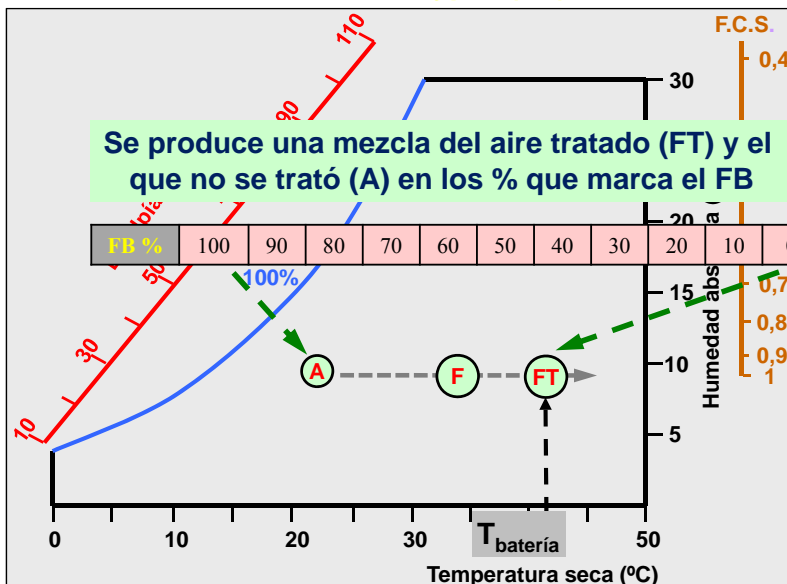
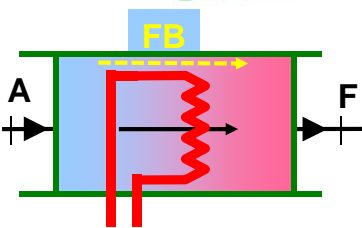
- Paso por una **batería caliente** (T superficie cte)
Teóricamente el aire alcanza la T de la batería
Pero aparece el **Factor de Bypass (FB)**, aire no tratado



4.- Las Transformaciones Psicrométricas (III)

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



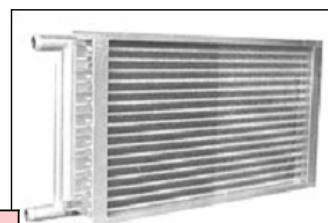
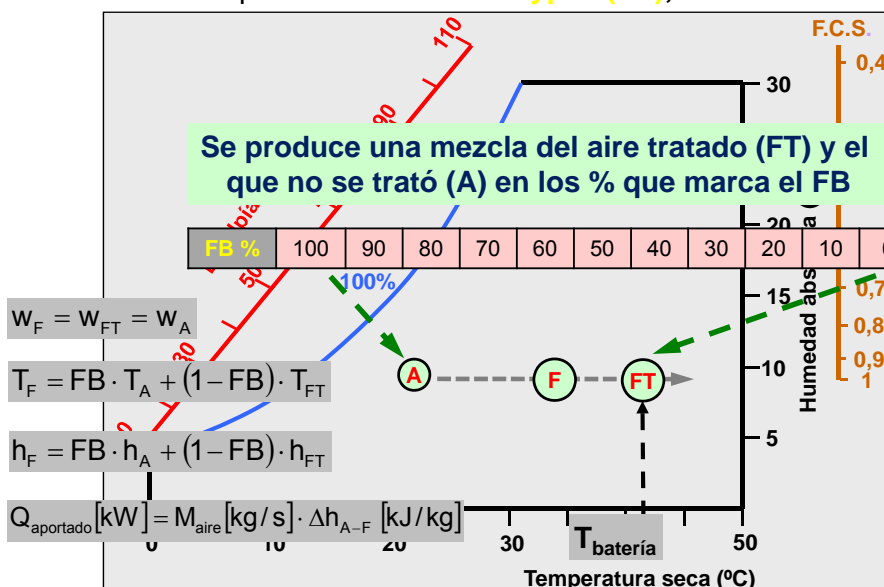
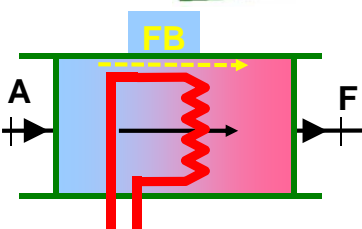
$$FB = \frac{M_{\text{aire no tratada}}}{M_{\text{aire total}}}$$

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

4.- Las Transformaciones Psicrométricas (III)

Calentamiento sensible, no varia W; hay dos opciones:

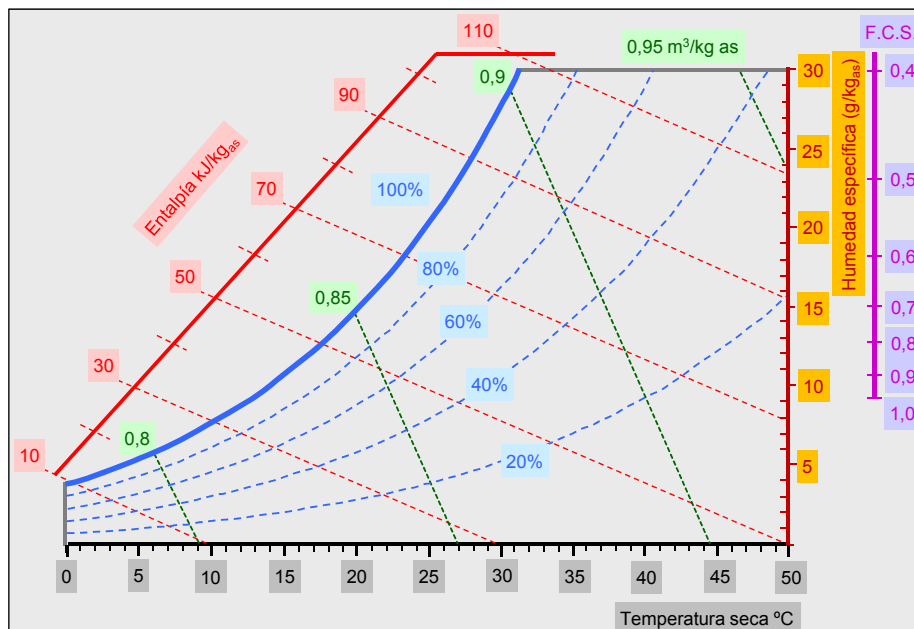
- Paso por una **batería caliente** (T superficie cte)
Teóricamente el aire alcanza la T de la batería
Pero aparece el **Factor de Bypass (FB)**, aire no tratado



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

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

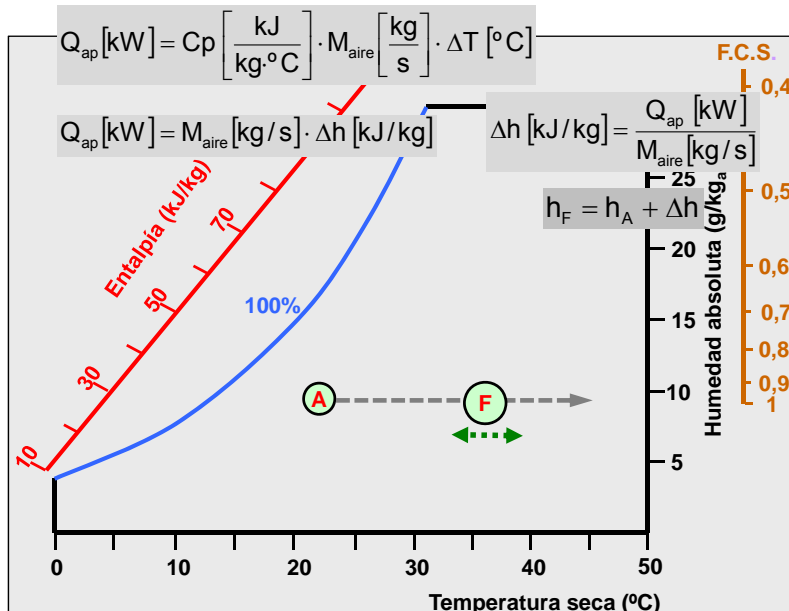
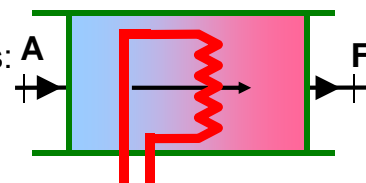
Calcular las condiciones del aire a la salida de una batería de agua a 40°C y FB 25% cuando se pasan 3.000 kg_{as}/h a Ts de 10°C y de 40% HR



4.- Las Transformaciones Psicrométricas (IV)

Calentamiento sensible, no varia W; hay dos opciones:

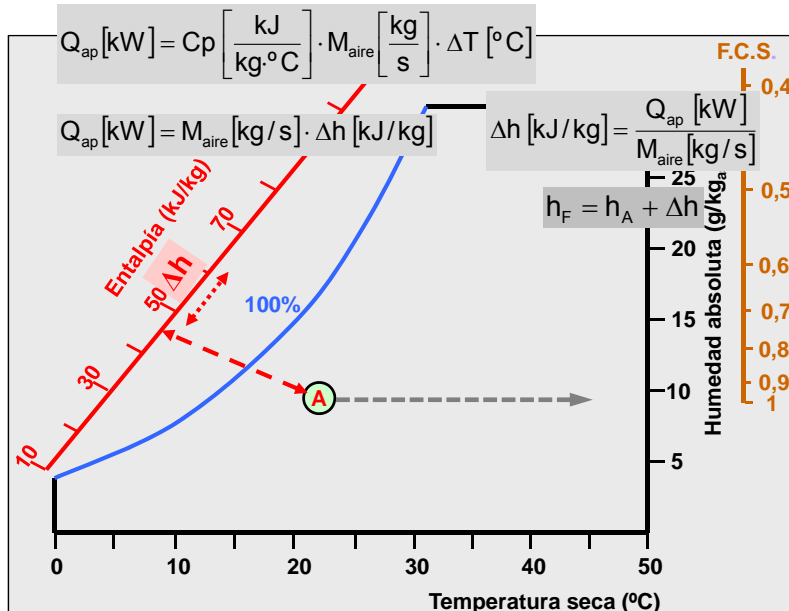
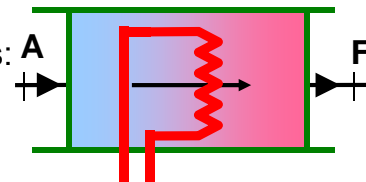
- Paso por una **resistencia eléctrica** (Q = cte)
Todo el calor aportado, Q_{ap}, pasa a la masa de aire



4.- Las Transformaciones Psicrométricas (IV)

Calentamiento sensible, no varia W; hay dos opciones:

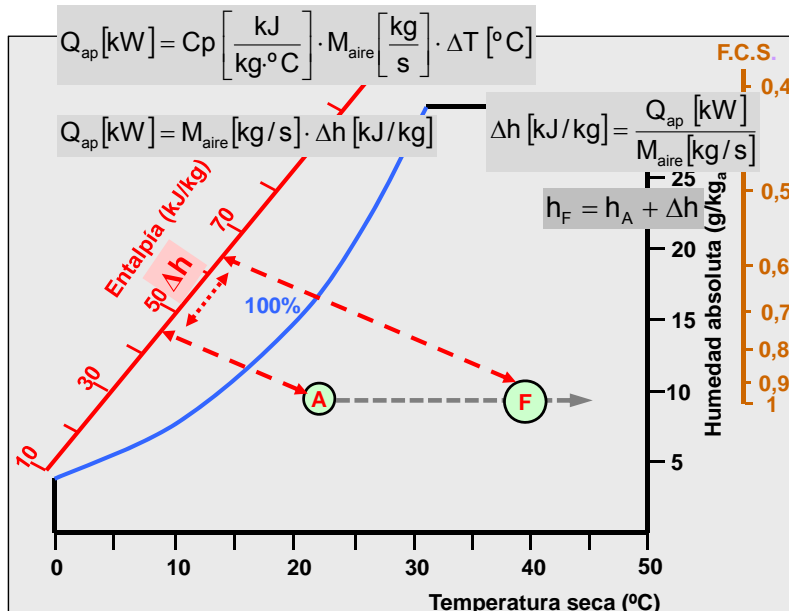
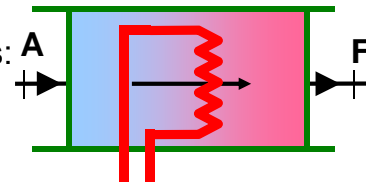
- Paso por una **resistencia eléctrica** ($Q = cte$)
Todo el calor aportado, Q_{ap} , pasa a la masa de aire



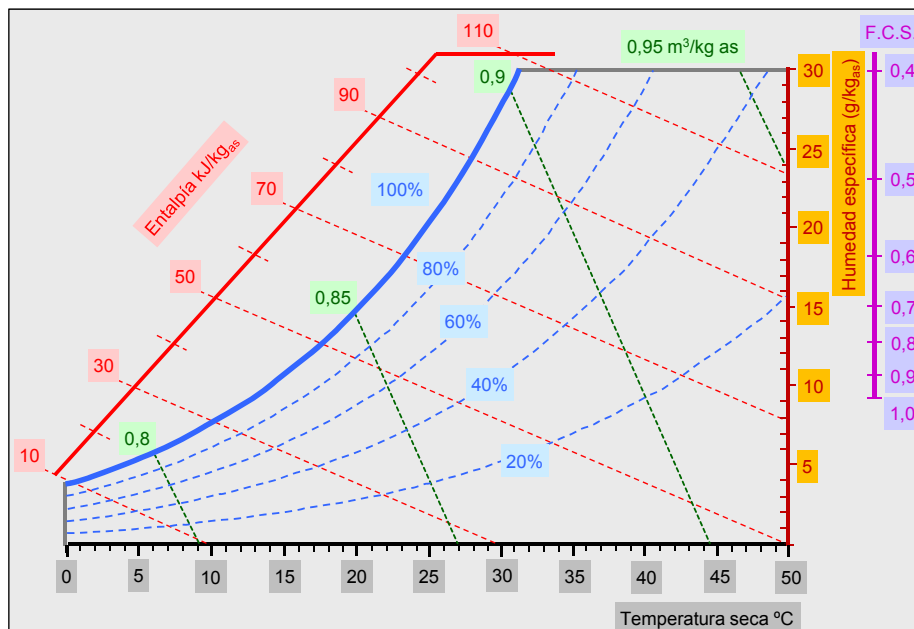
4.- Las Transformaciones Psicrométricas (IV)

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



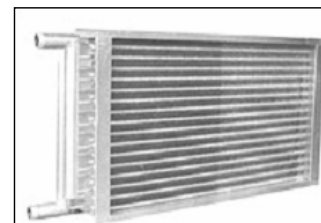
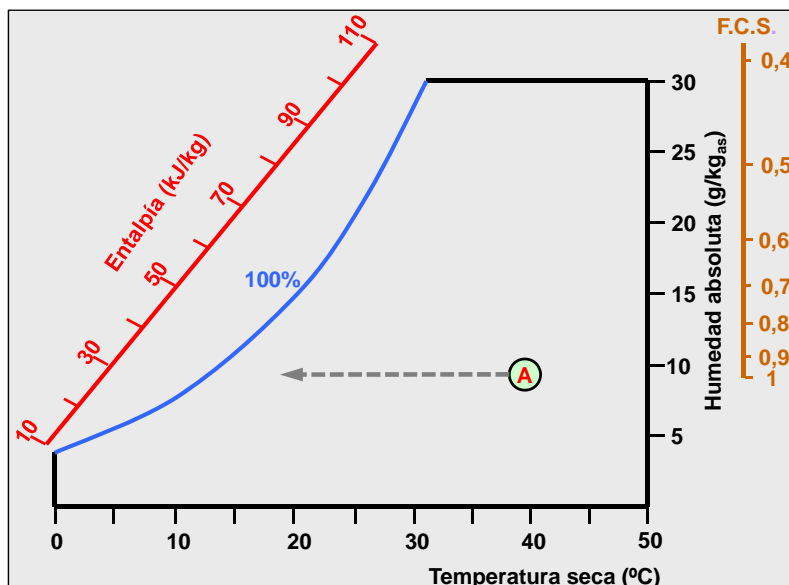
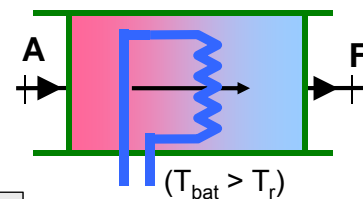
Calcular las condiciones del aire a la salida de una resistencia eléctrica de 15 kW, cuando se pasan 1.800 kg_{as} por hora a T_s de 10°C y 6°C de T_h



37

4.- Las Transformaciones Psicrométricas (V)

Enfriamiento sensible, no varía W

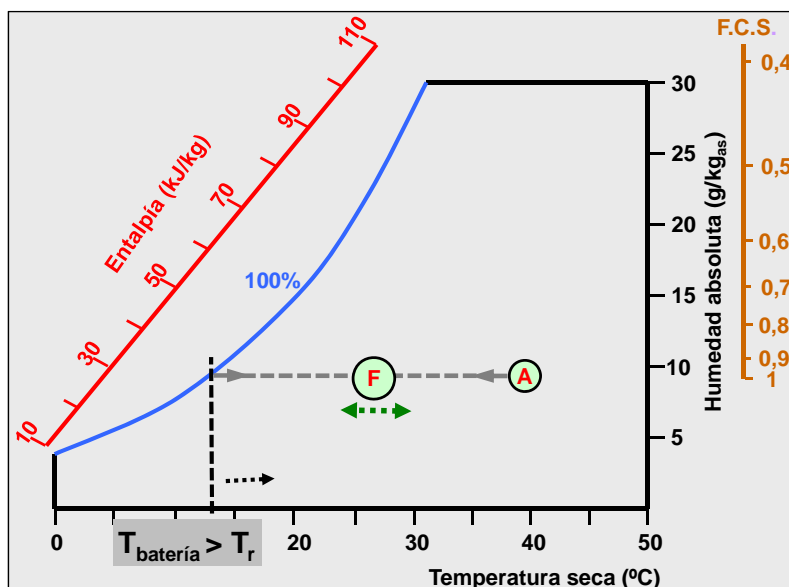
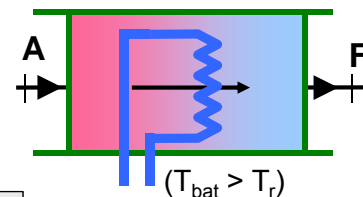


38

4.- Las Transformaciones Psicrométricas (V)

Enfriamiento sensible, no varía W

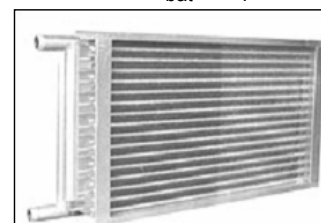
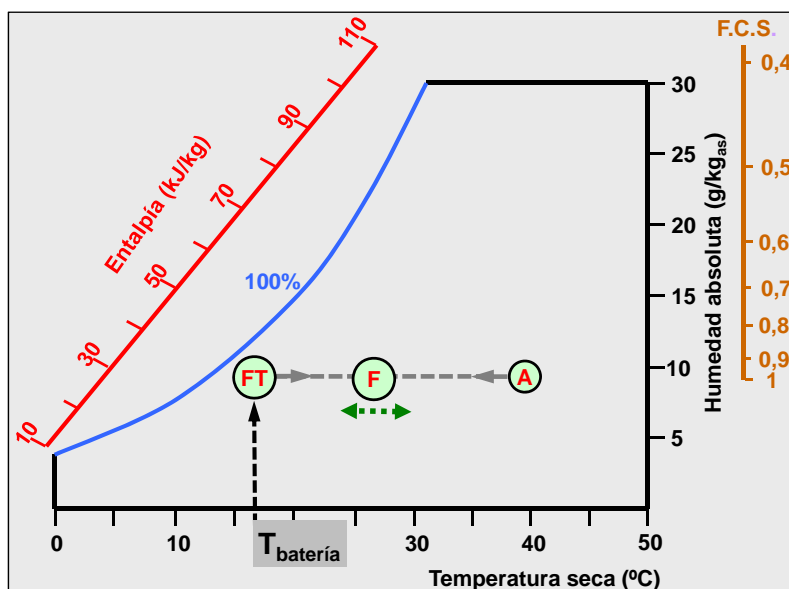
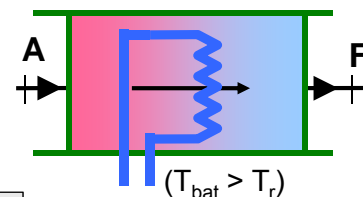
- Paso por una **batería fría con $T_{bat} > T_r$**



4.- Las Transformaciones Psicrométricas (V)

Enfriamiento sensible, no varía W

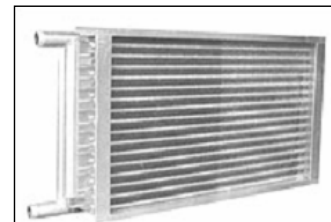
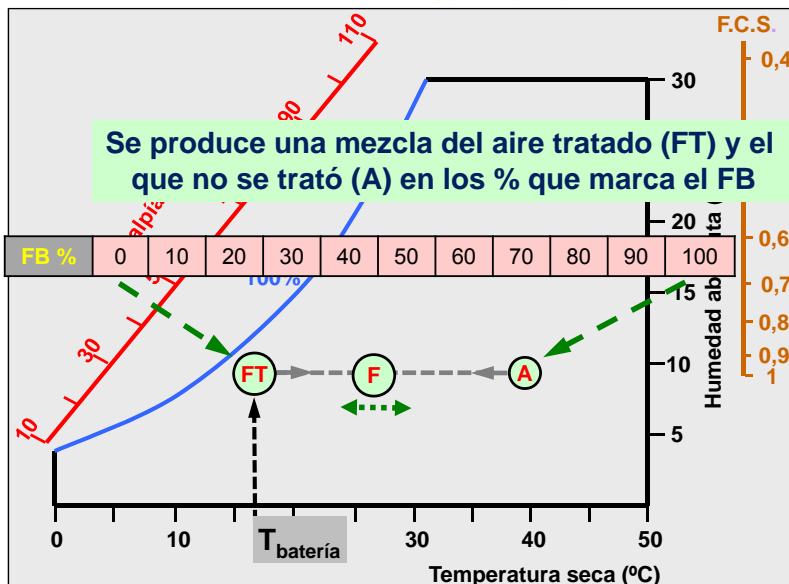
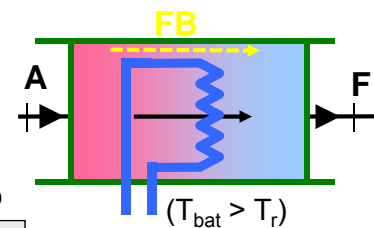
- Paso por una **batería fría con $T_{bat} > T_r$**
Teóricamente el aire alcanza la T de la batería



4.- Las Transformaciones Psicrométricas (V)

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



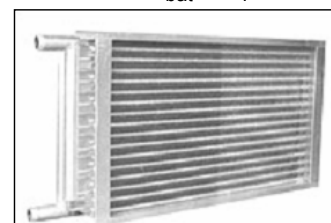
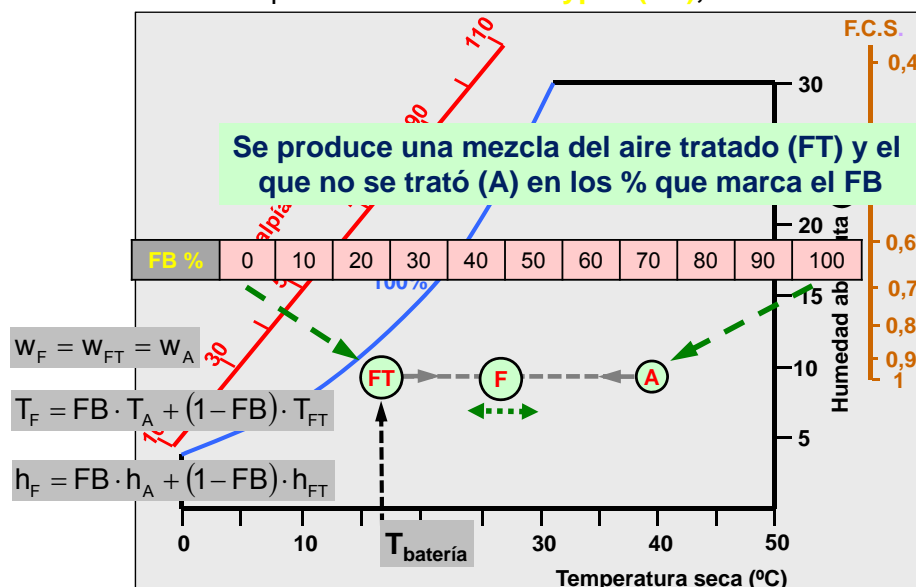
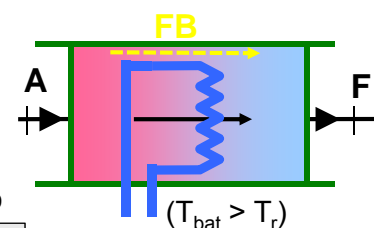
$$FB = \frac{M_{\text{aire no tratada}}}{M_{\text{aire total}}}$$

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

4.- Las Transformaciones Psicrométricas (V)

Enfriamiento sensible, no varía W

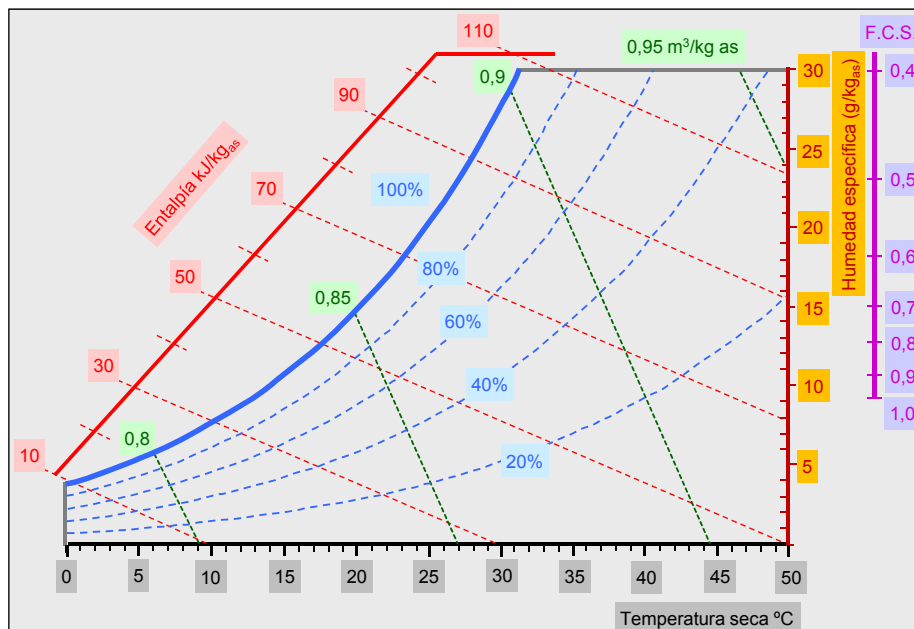
- Paso por una **batería fría con $T_{bat} > T_r$**
Teóricamente el aire alcanza la T de la batería
Pero aparece el **Factor de Bypass (FB)**, aire no tratado



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

- 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%



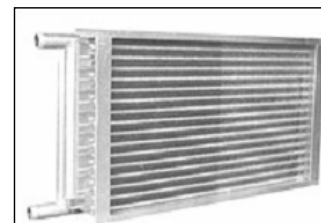
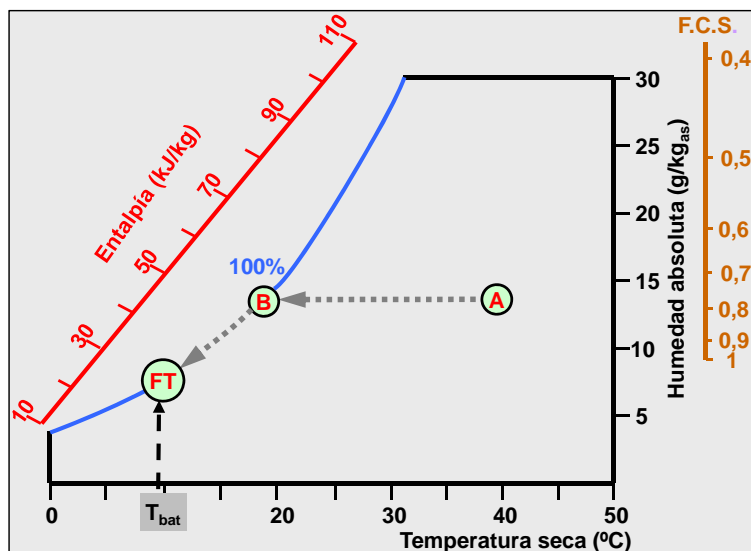
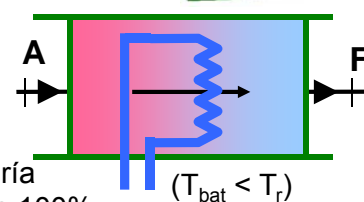
43

4.- Las Transformaciones Psicrométricas (VI)

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%

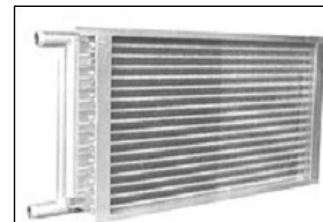
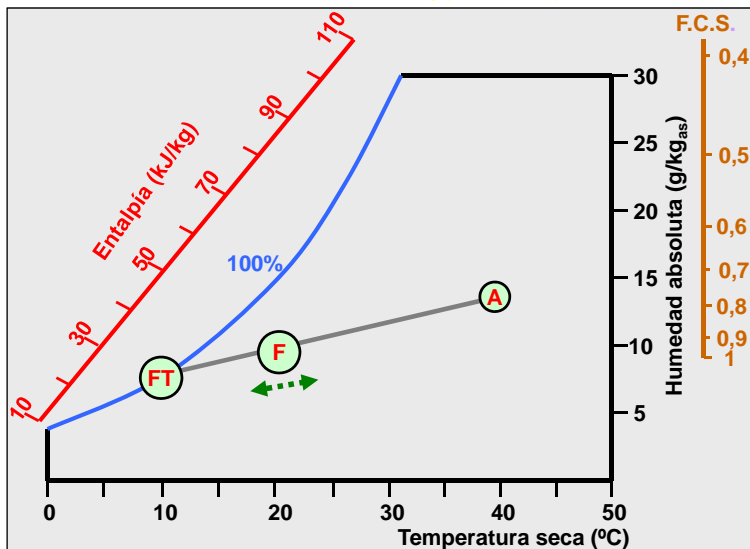
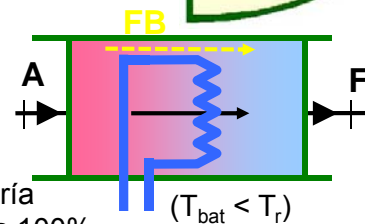


44

4.- Las Transformaciones Psicrométricas (VI)

Enfriamiento con deshumidificación, varia W

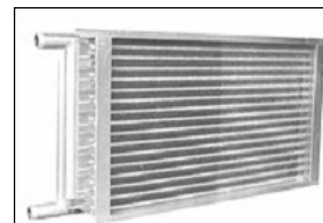
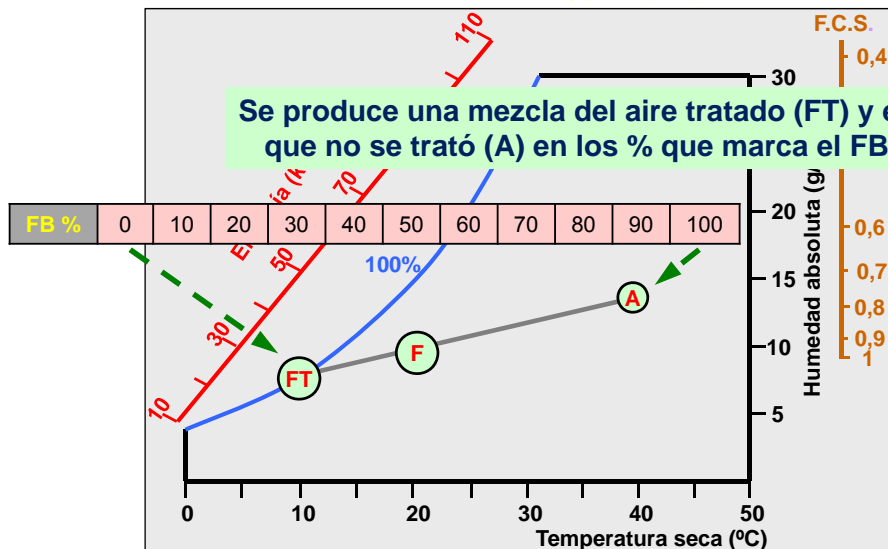
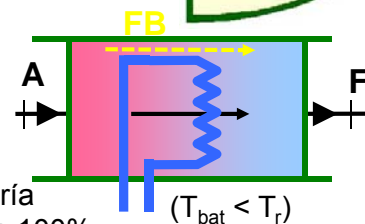
- Paso por una **batería fría con $T_{bat} < T_r$**
Teóricamente el aire alcanza las condiciones de la batería
Enfriamiento sensible hasta saturación y sigue por línea 100%
Pero aparece el **Factor de Bypass (FB)**, aire no tratado



4.- Las Transformaciones Psicrométricas (VI)

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



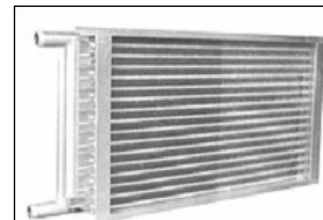
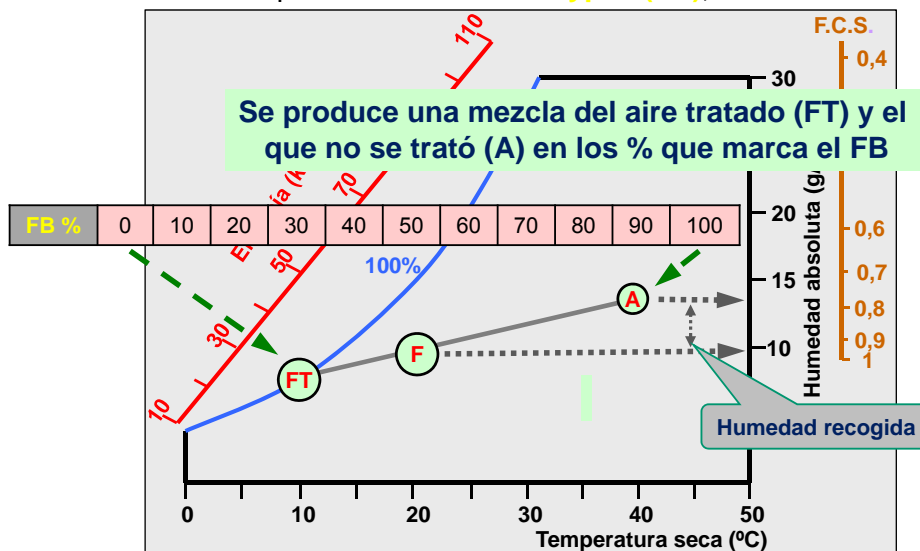
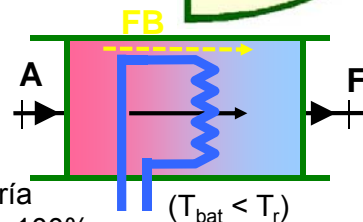
$$FB = \frac{M_{\text{aire no tratada}}}{M_{\text{aire total}}}$$

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

4.- Las Transformaciones Psicrométricas (VI)

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



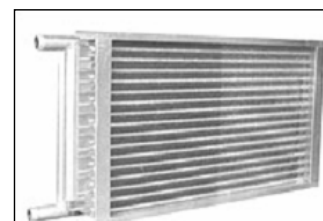
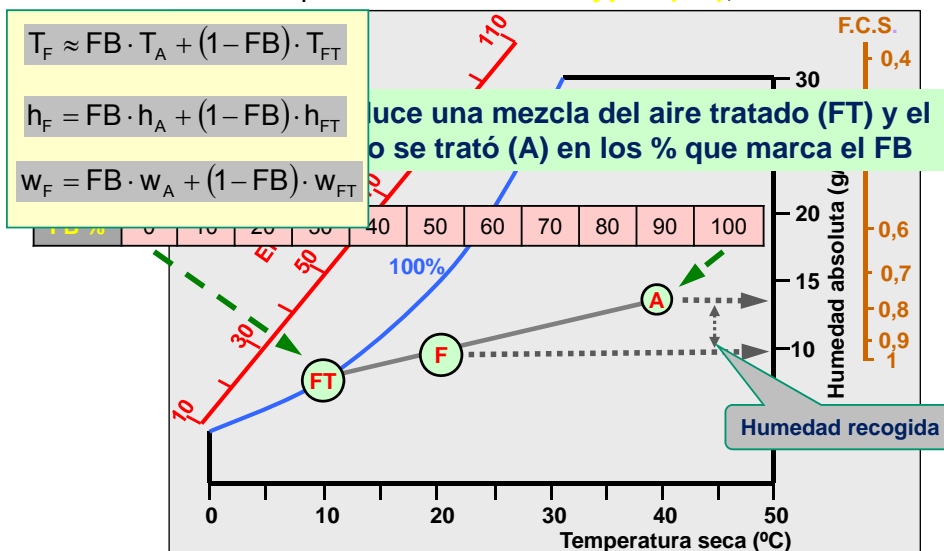
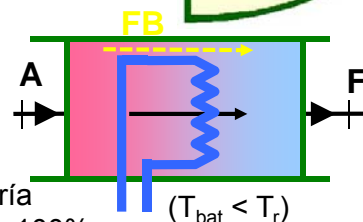
$$FB = \frac{M_{\text{aire no tratada}}}{M_{\text{aire total}}}$$

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

4.- Las Transformaciones Psicrométricas (VI)

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



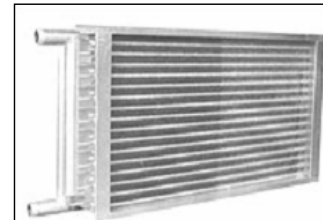
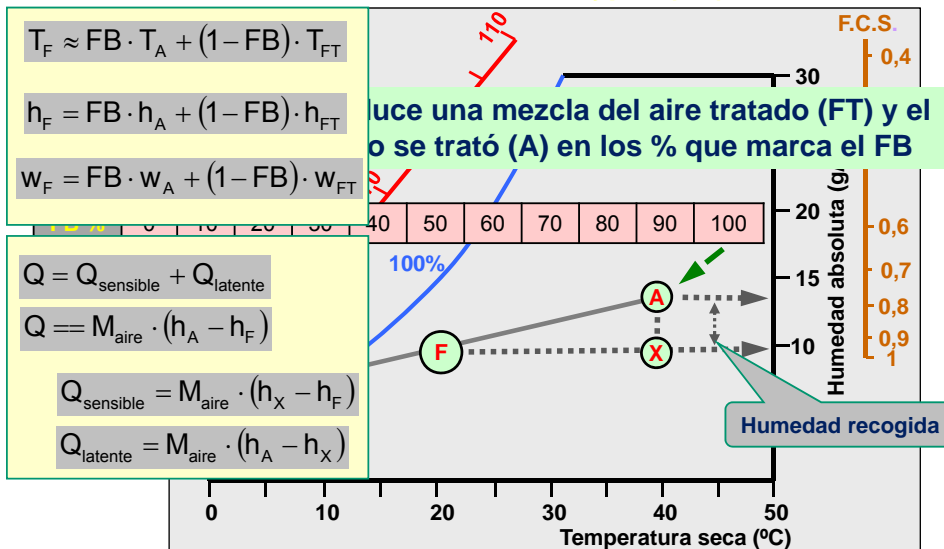
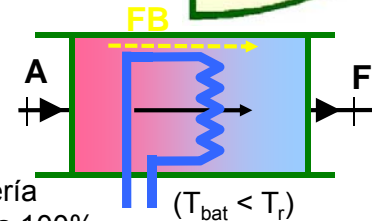
$$FB = \frac{M_{\text{aire no tratada}}}{M_{\text{aire total}}}$$

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

4.- Las Transformaciones Psicrométricas (VI)

Enfriamiento con deshumidificación, varia W

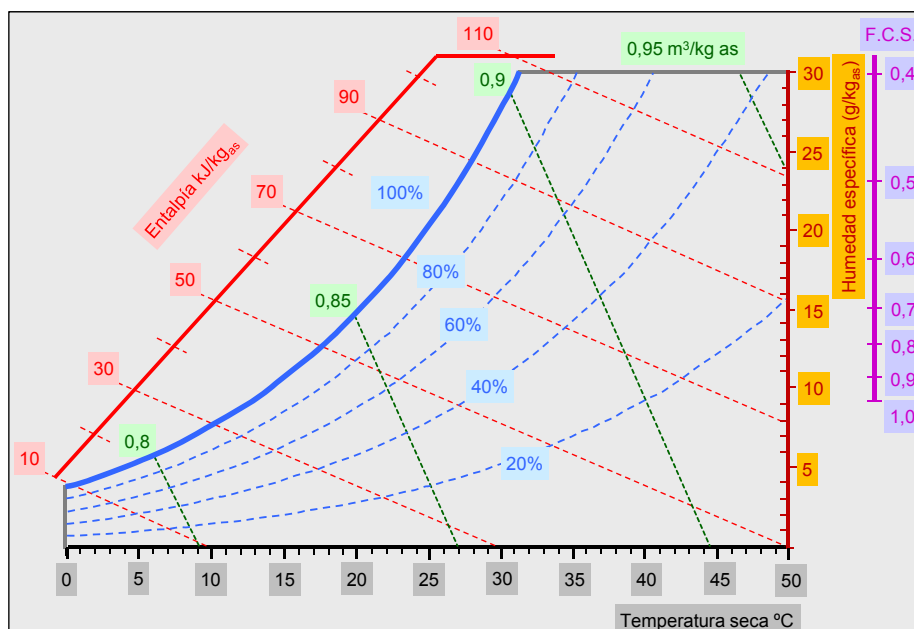
- Paso por una **batería fría con $T_{bat} < T_r$**
Teóricamente el aire alcanza las condiciones de la batería
Enfriamiento sensible hasta saturación y sigue por línea 100%
Pero aparece el **Factor de Bypass (FB)**, aire no tratado



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

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

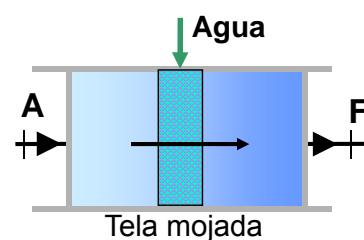
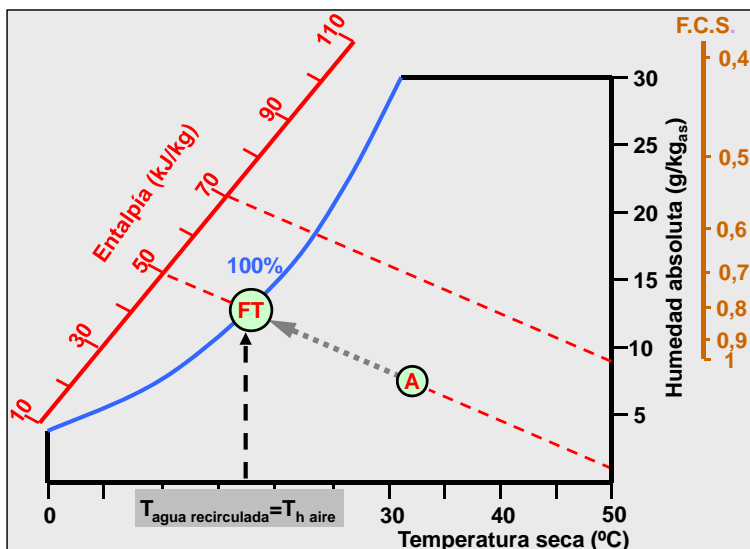
Pasar una corriente de aire de T_s de 25°C y ϕ 60% por una batería fría a 10°C y factor de bypass de 25%



4.- Las Transformaciones Psicrométricas (VII)

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

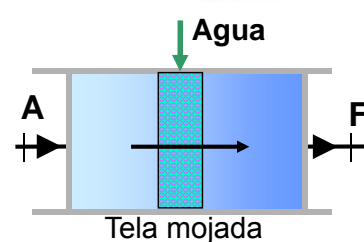
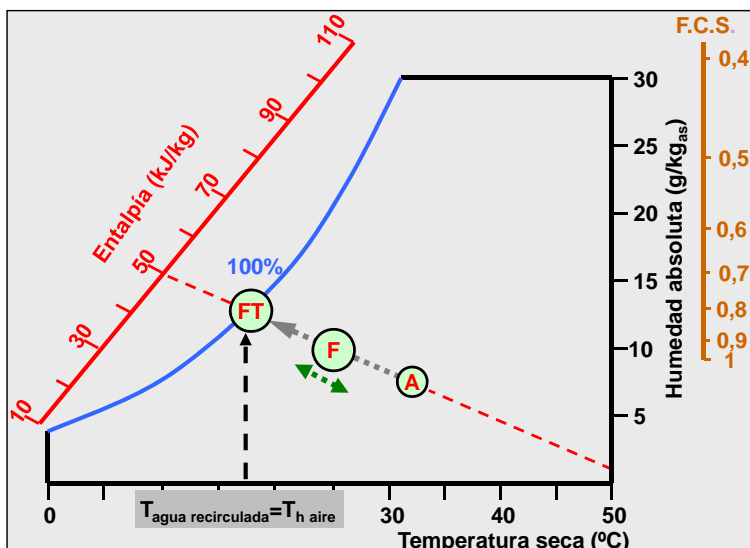


$T_{FT} = T_h$ del aire y de equilibrio agua

4.- Las Transformaciones Psicrométricas (VII)

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

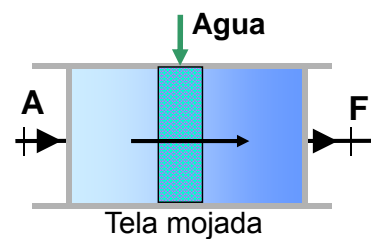
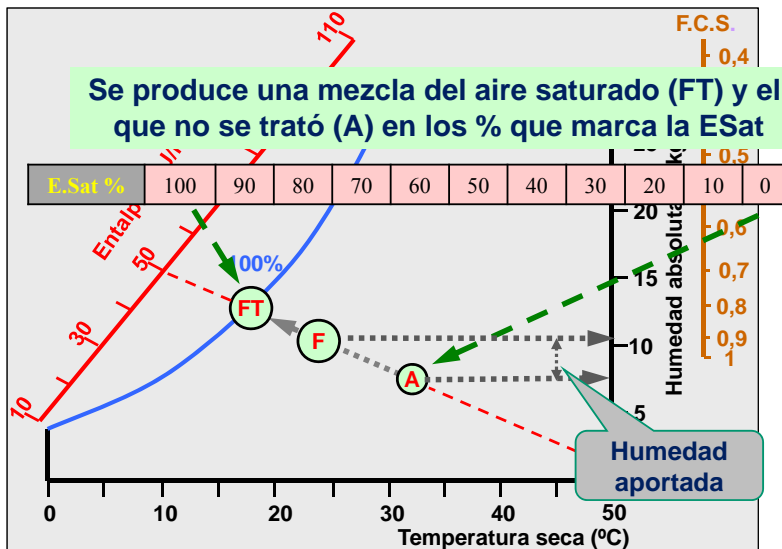
Eficiencia de sat

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

4.- Las Transformaciones Psicrométricas (VII)

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

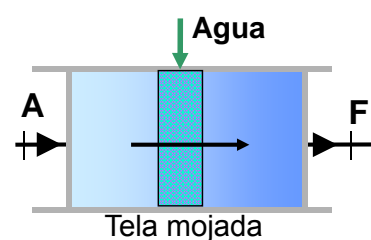
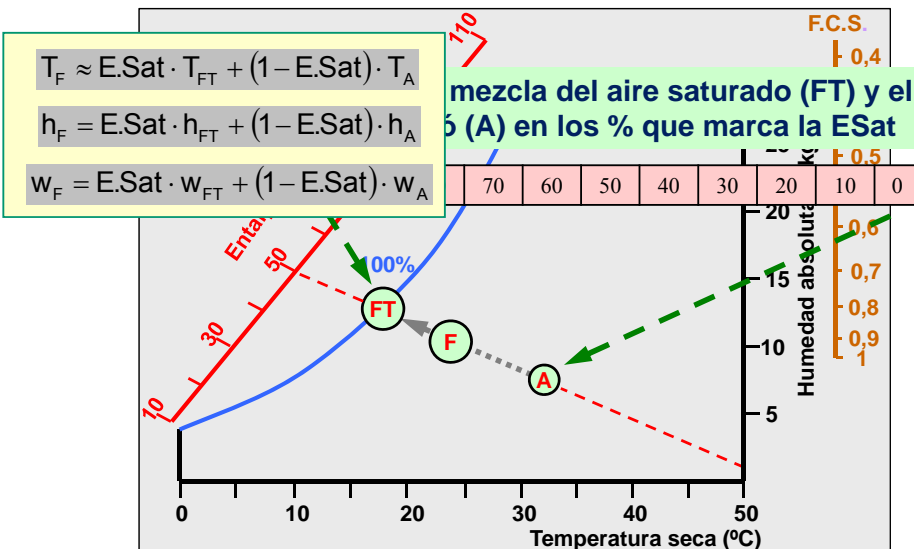
Eficiencia de sat

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

4.- Las Transformaciones Psicrométricas (VII)

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 (VII)

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

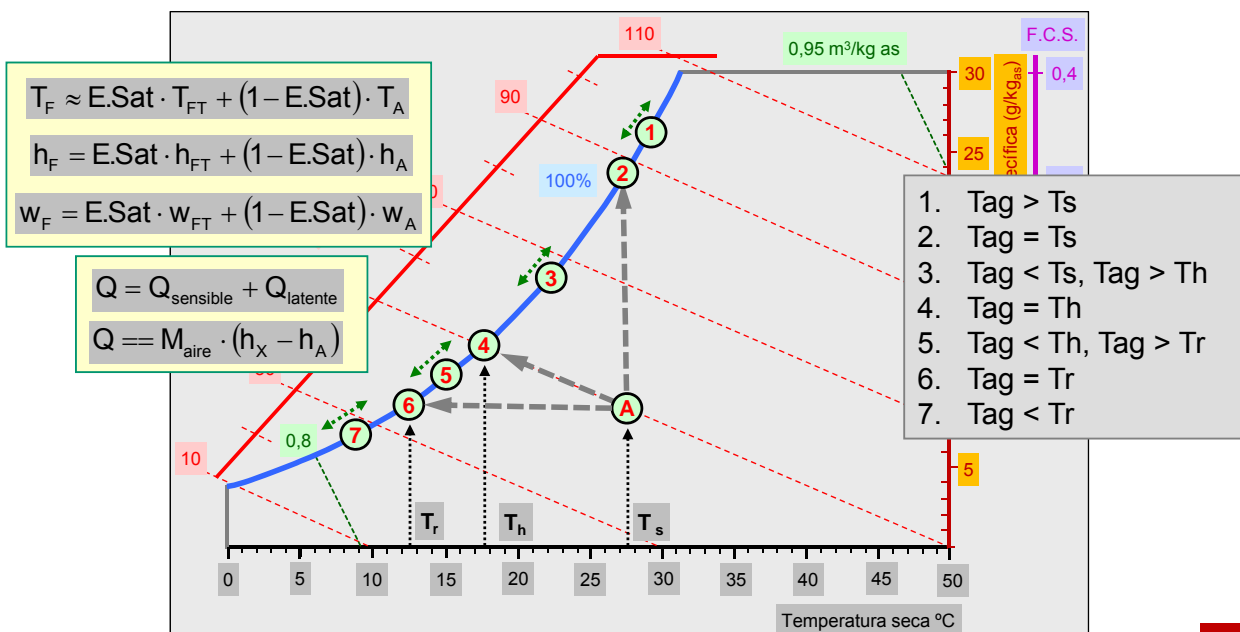
múltiples posibilidades f(Ts, Th, Tag)

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

55

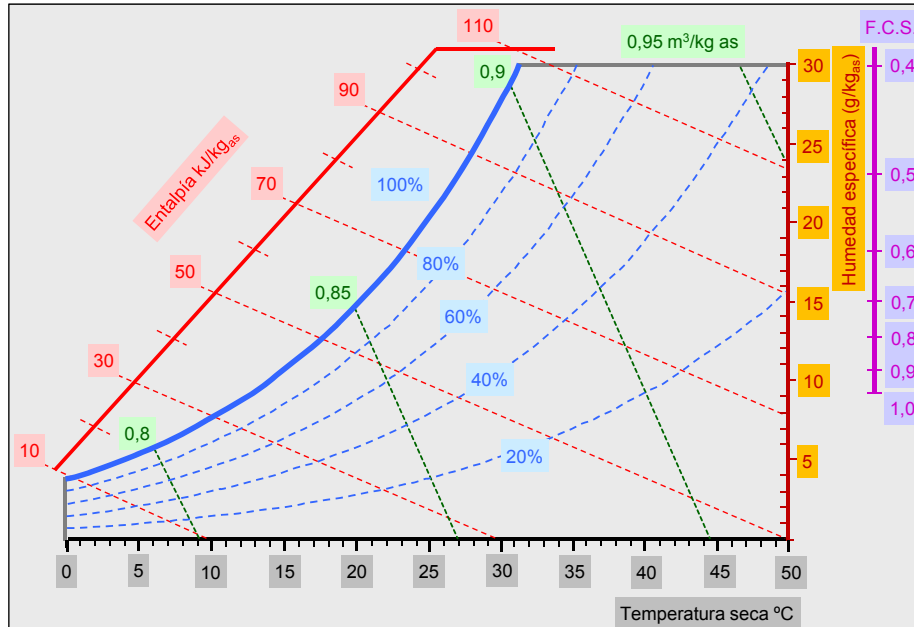
4.- Las Transformaciones Psicrométricas (VII)

Paso del aire por una cortina de agua (II)



56

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



4.- Las Transformaciones Psicrométricas (VIII)

Humectación con Vapor de Agua

Se deben conocer:

- T_{vapor}
- Relación m_{vapor} / m_{aire}

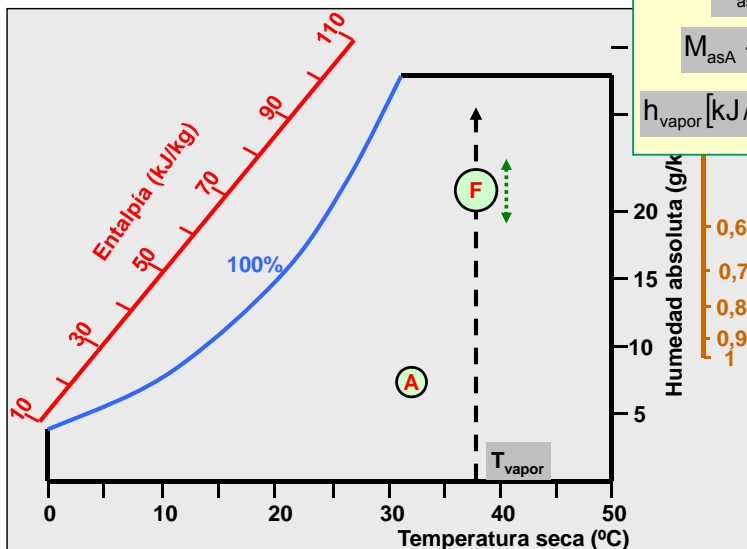
$$M_{asA} = M_{asF}$$

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

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

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

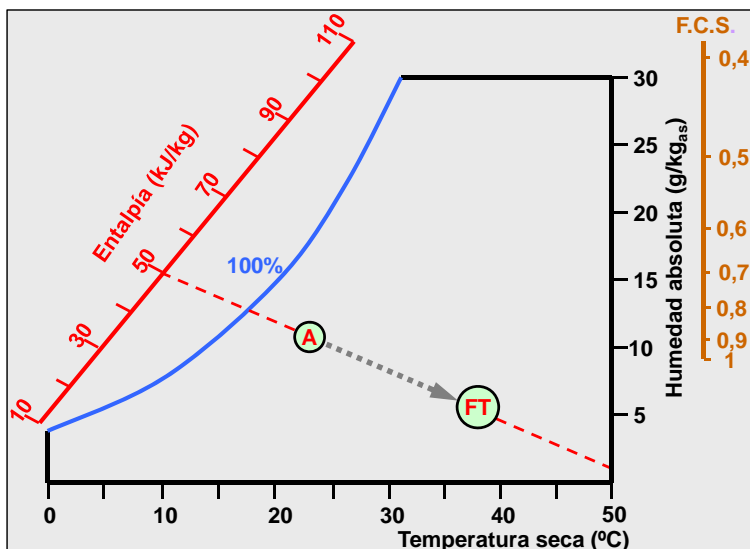
$$h_{vapor} [kJ/kg_{as}] = 2.501 + 1,86 \cdot T_{vapor} (°C)$$



4.- Las Transformaciones Psicrométricas (IX)

Calentamiento con deshumidificación;

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

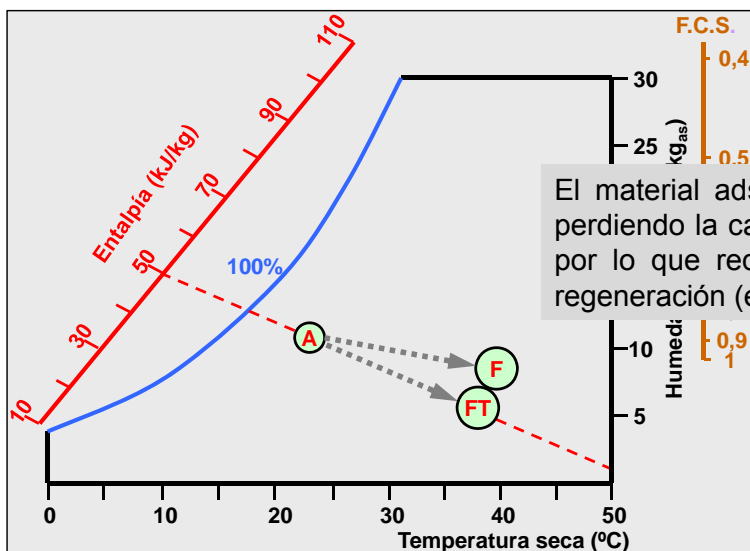


59

4.- Las Transformaciones Psicrométricas (IX)

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



El material adsorbente se va saturando perdiendo la capacidad de atrapar vapor, por lo que requiere su reposición o su regeneración (eliminación del agua)

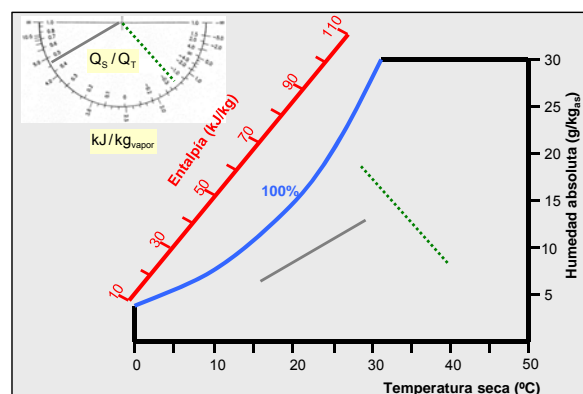
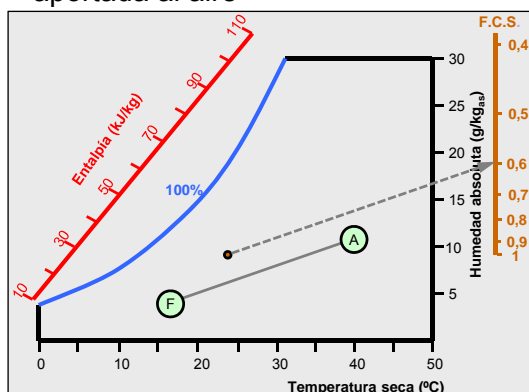
60

4.- Las transformaciones psicrométricas (IX)

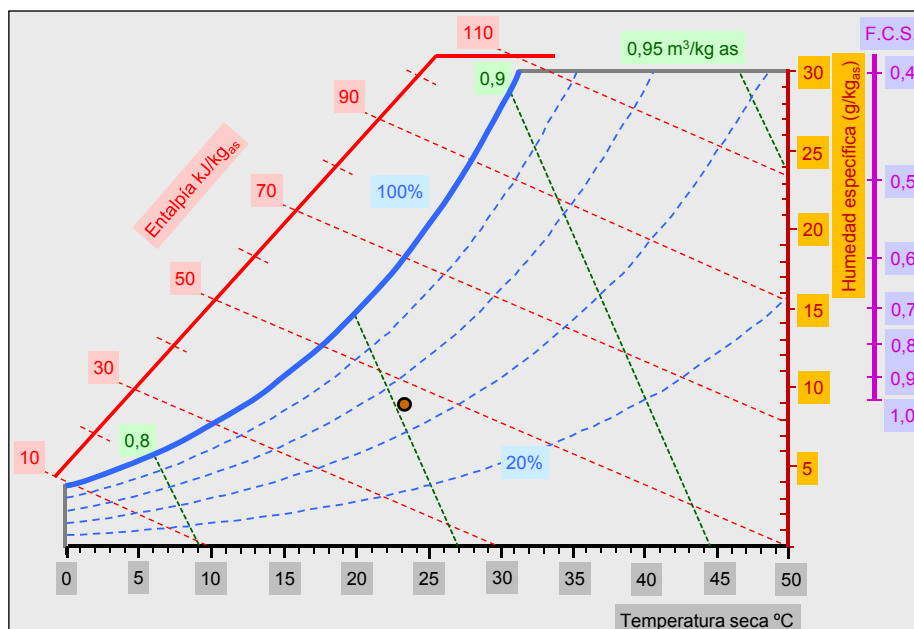
En las transformaciones con sólo una corriente de aire

El FCS: 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

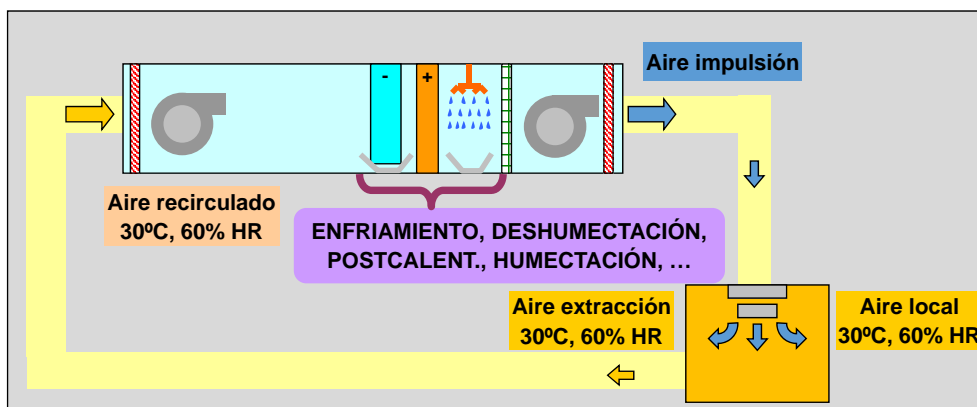
La **recta de maniobra** en un semicírculo en la parte superior del diagrama, relaciona el porcentaje de calor sensible con el total, y el calor con la humedad aportada al aire



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 (sin aire de renovación, toda la carga térmica es interior y por cerramientos); se acondiciona el aire del local

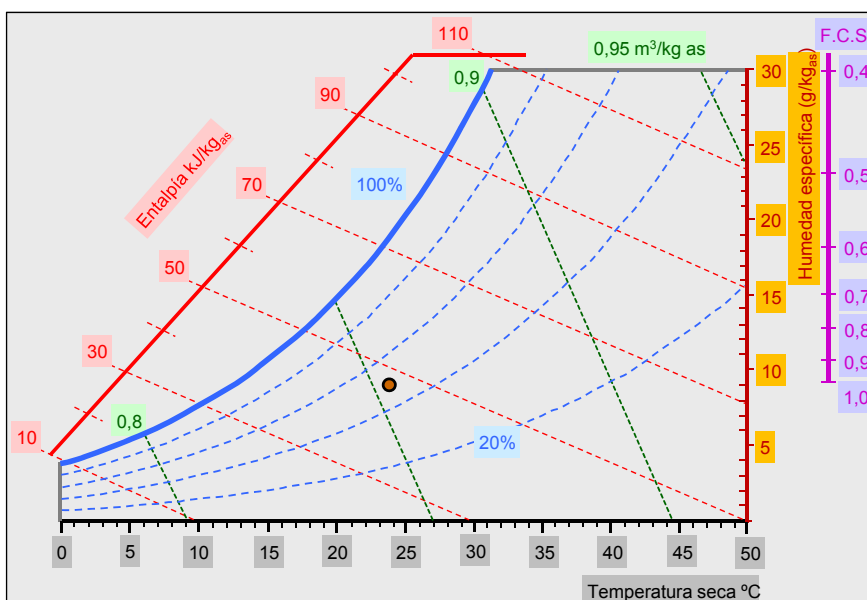


Donde se deben encontrar las condiciones de impulsión de aire en un local cuyas condiciones sean de T_s de 30°C y ϕ de 60% si su carga sensible es 21 kW siendo la total de 30 kW (sin aire de renovación, toda la carga térmica es interior y por cerramientos); se acondiciona el aire del local



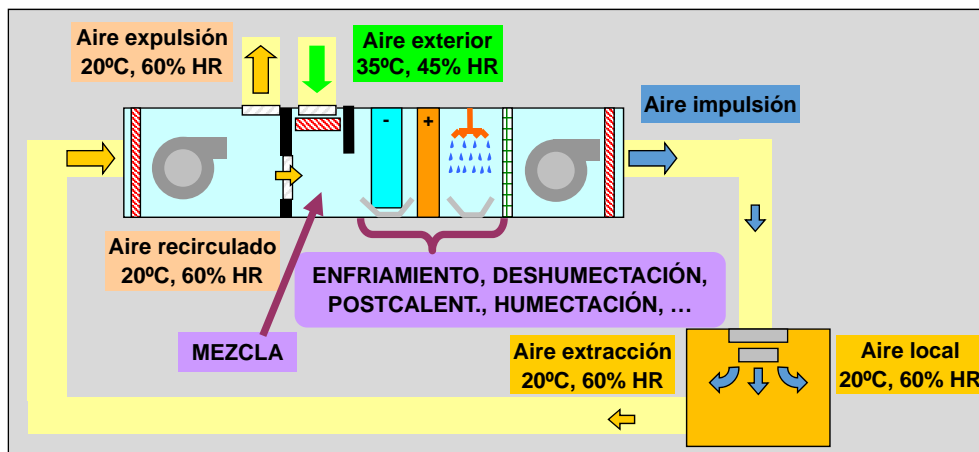
63

Donde se deben encontrar las condiciones de impulsión de aire en un local cuyas condiciones sean de T_s de 20°C y ϕ de 60% si su carga sensible es 21 kW siendo la total de 30 kW. El sistema impulsa 9000 kg/h de los que 3000 son de aire de renovación que está a 35°C y 45% (la carga térmica es por aporte interior, cerramientos y ventilación)



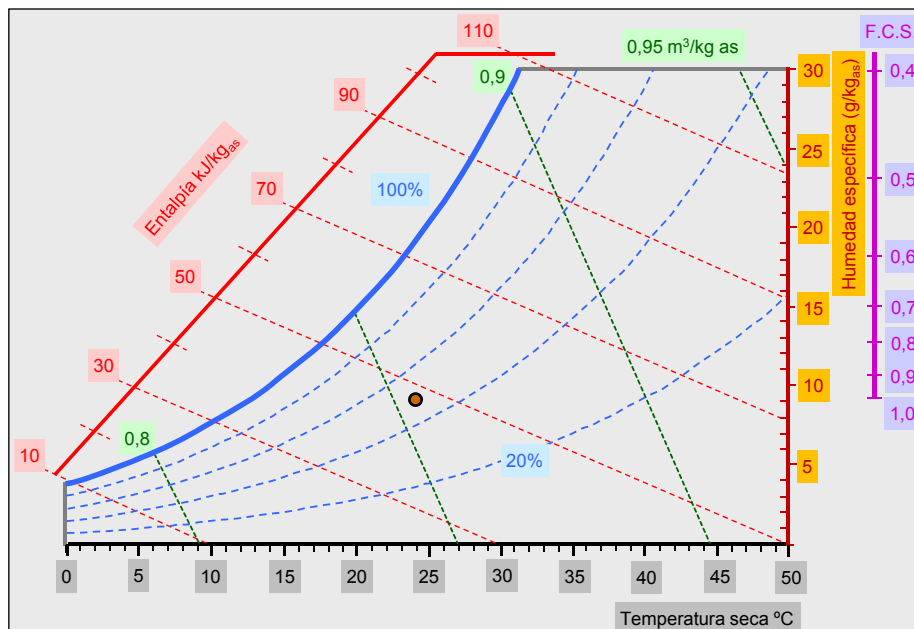
64

Donde se deben encontrar las condiciones de impulsión de aire en un local cuyas condiciones sean de T_s de 20°C y ϕ de 60% si su carga sensible es 21 kW siendo la total de 30 kW. El sistema impulsa 9000 kg/h de los que 3000 son de aire de renovación que está a 35°C y 45% (la carga térmica es por aporte interior, cerramientos y ventilación)



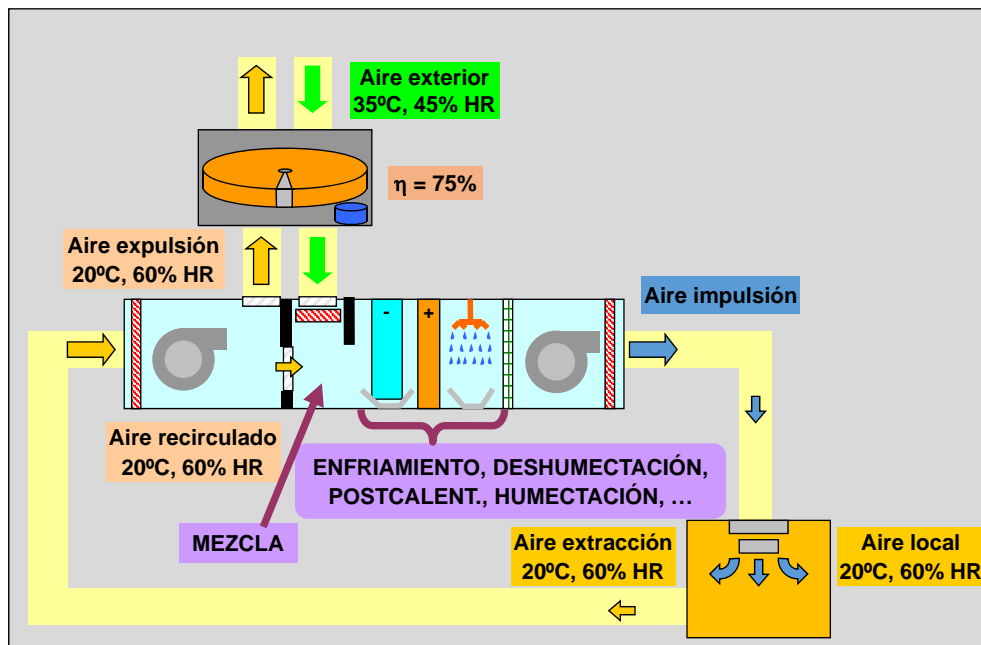
65

Si en el caso anterior instalamos un recuperador de calor sensible de 75% de eficacia entre el aire expulsado y el de renovación (habrá que estudiar cuanto se reduce la carga térmica total)

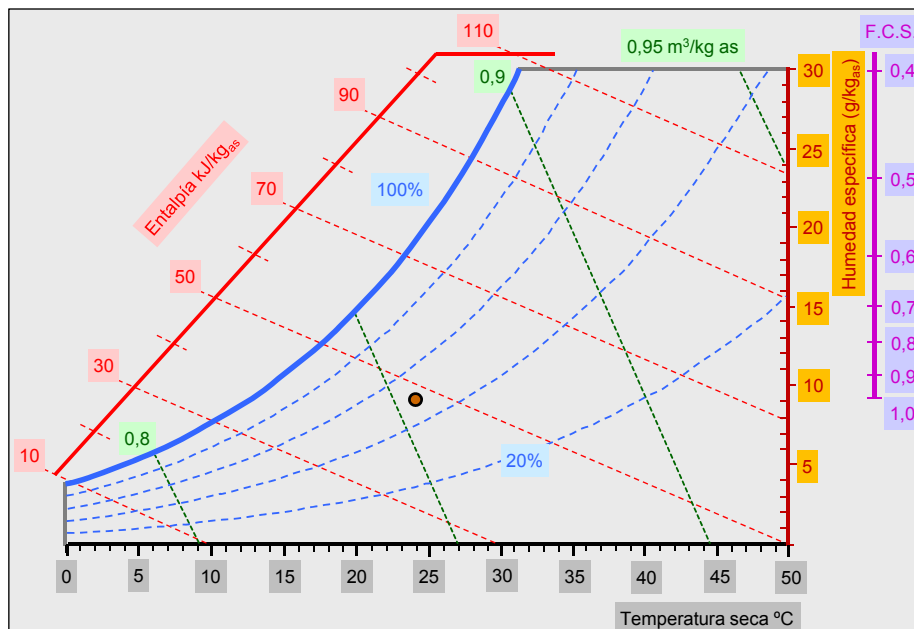


66

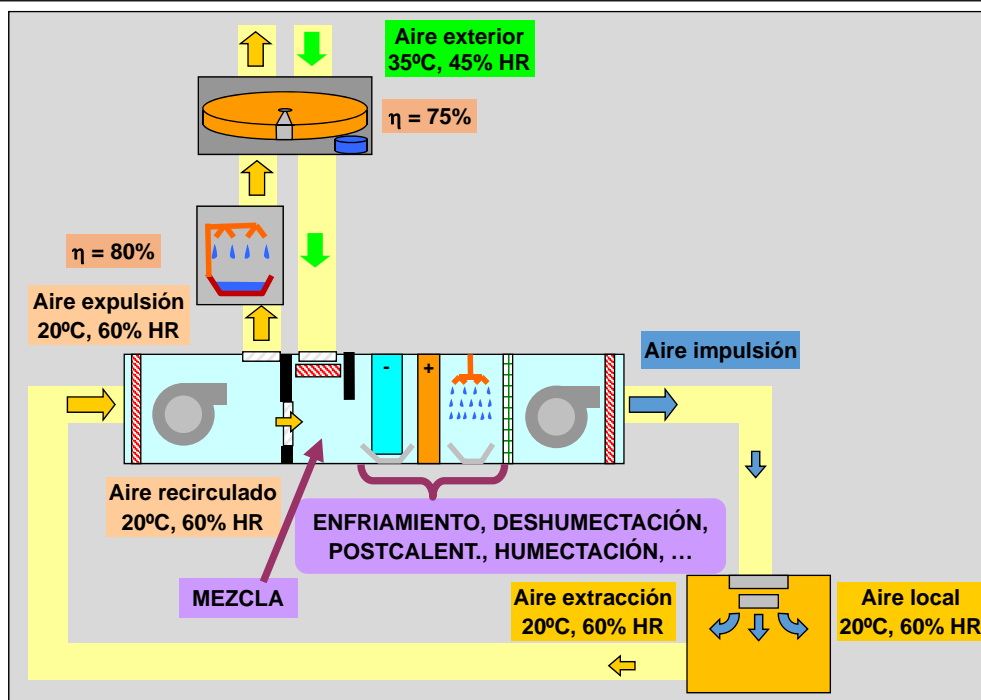
Si en el caso anterior instalamos un recuperador de calor sensible de 75% de eficacia entre el aire expulsado y el de renovación (habrá que estudiar cuanto se reduce la carga térmica total)



Si en el caso anterior se instala un equipo de humectación adiabática, de 80% de eficiencia, en el aire de expulsión (antes del recuperador de calor)



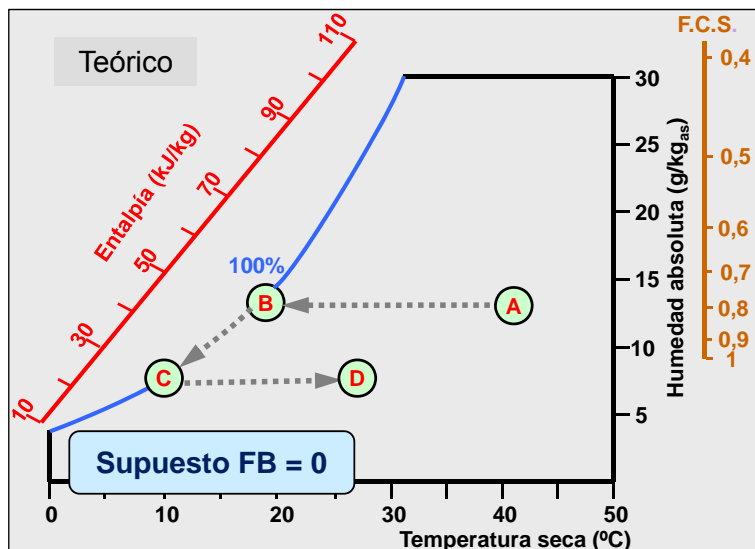
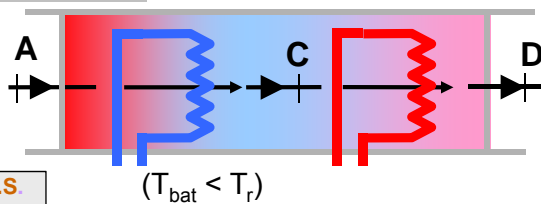
Si en el caso anterior se instala un equipo de humectación adiabática, de 80% de eficiencia, en el aire de expulsión (antes del recuperador de calor)



4.- Las transformaciones psicrométricas (X)

Control de T y HR en verano

(enfriamiento con deshumidificación y postcalentamiento)



Gran gasto energético

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

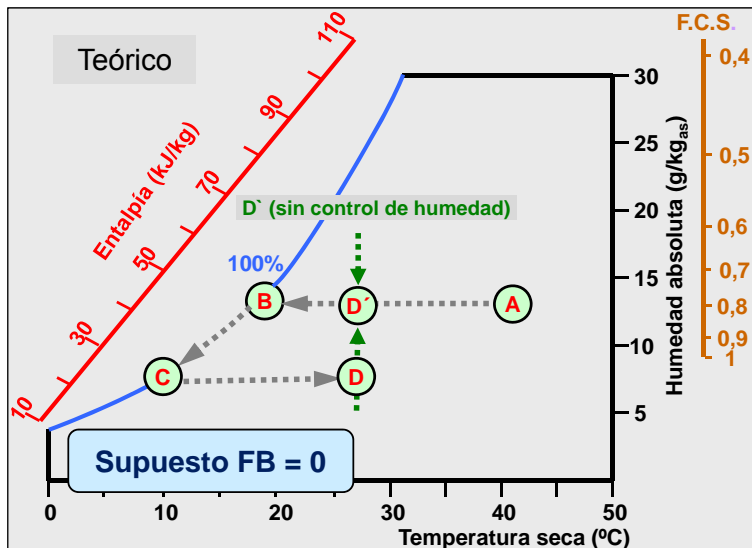
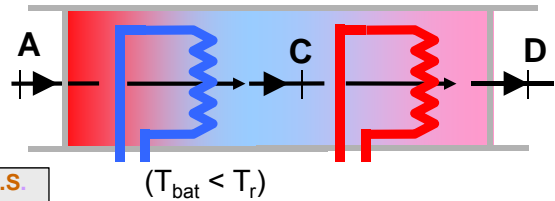
$$Q_{CD} = M_{as} \cdot (h_D - h_C) \text{ Calentamiento}$$

$h_A, h_C, y h_D$ las del aire húmedo

4.- Las transformaciones psicrométricas (X)

Control de T y HR en verano

(enfriamiento con deshumidificación y postcalentamiento)



Gran gasto energético

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

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

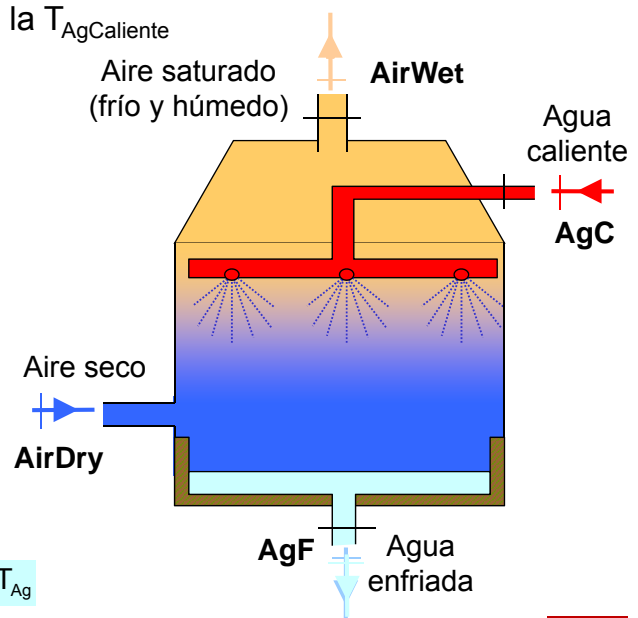
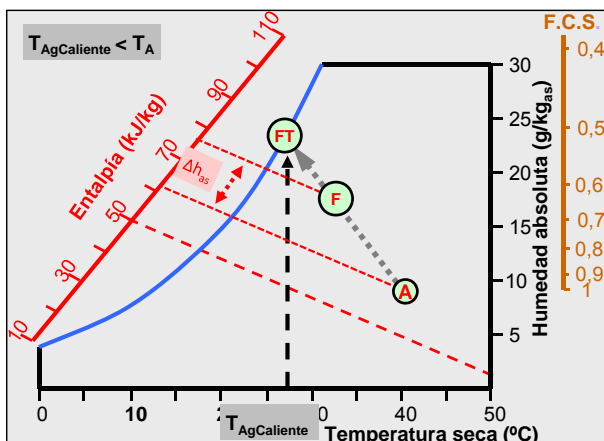
$h_A, h_C,$ y h_D las del aire húmedo

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

4.- Las transformaciones psicrométricas (XI)

Torre de refrigeración

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



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

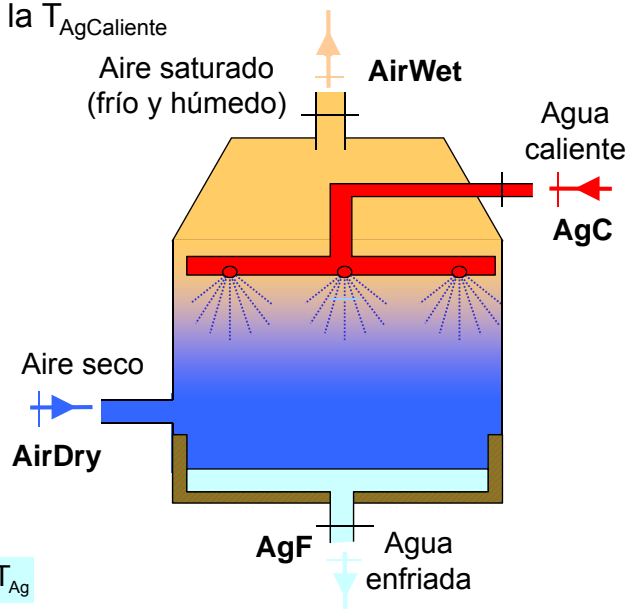
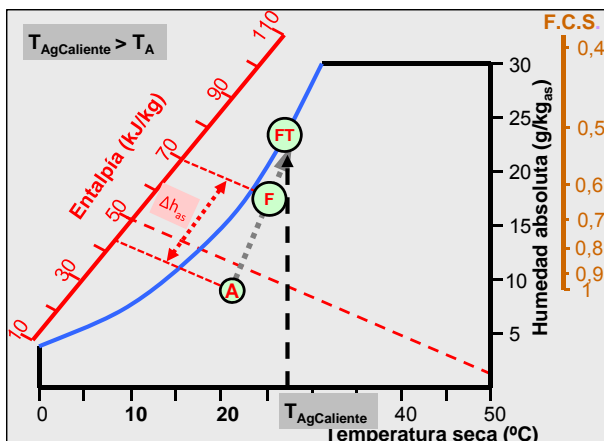
$$Q_{Ag} = Q_{Air} \Rightarrow M_{as} \cdot C_{p,as} \cdot \Delta T_{Aire} = M_{Ag} \cdot C_{p,Ag} \cdot \Delta T_{Ag}$$

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

4.- Las transformaciones psicrométricas (XI)

Torre de refrigeración

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

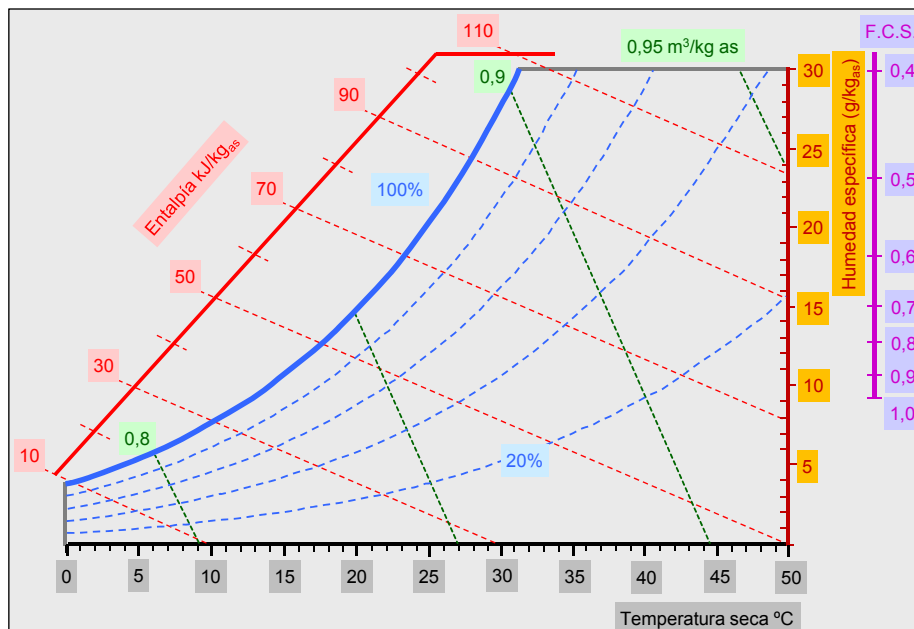


$$M_{as} \cdot (W_F - W_A) = M_{AgCaliente} - M_{AgFria}$$

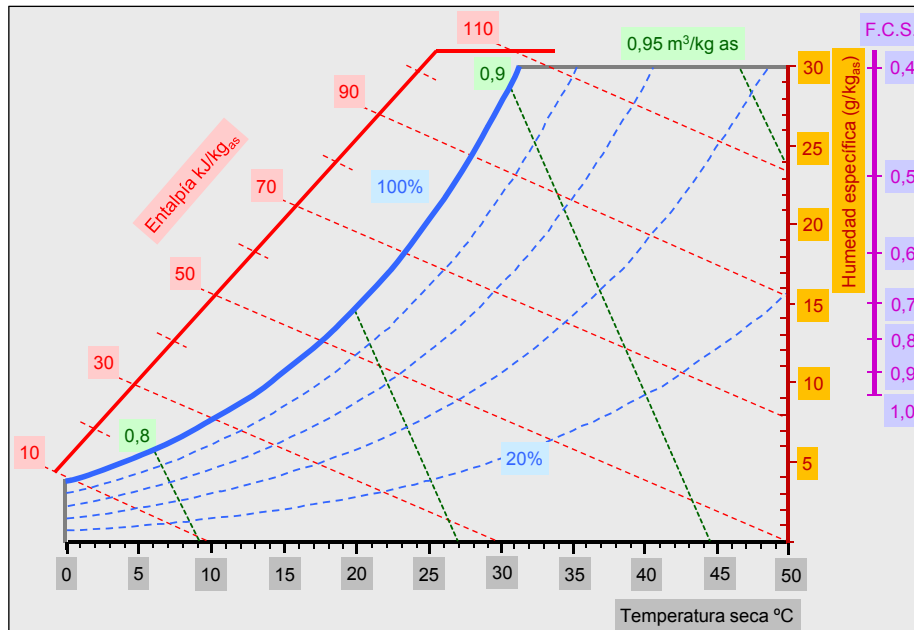
$$Q_{Ag} = Q_{Air} \Rightarrow M_{as} \cdot C_{pas} \cdot \Delta T_{Aire} = M_{Ag} \cdot C_{pAg} \cdot \Delta T_{Ag}$$

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

Con que T exterior se produce condensación en el interior de un cristal de 10 mm de espesor y conductividad de $\lambda_{cris} = 0,5 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, si el aire interior está a 24°C y 50%, siendo el coeficiente convección interior $\alpha_{int} = 10 \text{ W/m}^2\text{C}$



Con que T exterior se produce condensación en el interior de un cristal de 5 mm de espesor y conductividad de $\lambda_{\text{cris}} = 1 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, si el aire interior está a 24°C y 50%, siendo el coeficiente convección interior $\alpha_{\text{int}} = 10 \text{ W/m}^2\text{C}$



75

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

- 5,2 g/kg_{as}
- 27,4 g/kg_{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

76

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 T_s y 20% de HR por una batería de calentamiento se puede obtener unas condiciones a la salida de 21°C de T_s 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 $T_s = 21^\circ\text{C}$ y 10% de HR por una batería fría, es posible obtener a la salida una corriente de 10°C de T_s y 20% de HR:

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

4.- Las Transformaciones Psicrométricas (XIII)

Planificación de la climatización

- Conocer las condiciones interior y exterior
- Suponer las condiciones de impulsión del aire en refrigeración [$-\Delta T$ 8 a 10°C, y HR 85%]; en calefacción [ΔT de 10 a 20°C con baterías, de 30 a 40°C con resistencias, sin aporte de humedad]
- Calcular el caudal de aire en función de la demanda térmica del local (comprobar caudal mínimo exterior)
- Conocer el climatizador (posición, tipo de baterías, temperatura de alimentación, ventiladores, humectadores ...; considerar el calor sensible aportado por los motores)
- Estudiar las transformaciones psicrométricas
- Comprobar que se pueden cumplir las condiciones de impulsión del aire

5.- Ventilación (I)

La **renovación del aire**, requerimientos por ocupación

Tipos de ventilación:

Ventilación natural (difícil regulación, zonas no accesibles).

Ventilación forzada (consumo de energía, permite presurizar el local, produce ruido)

La norma UNE 100-011-91 fija caudales mínimos en función de la ocupación del local y del número de personas o de los m² del local; los catálogos de fabricantes de ventiladores suelen incluir tablas con estos valores

Tipo de local	m ³ /h	
	Por persona	Por m ²
Bares	12	12
Gimnasios	12	4
Salas de reuniones	10	5
Supermercados	8	1,5

5.- Ventilación (II)

El RITE marca 5 métodos de medida de caudal de aire de renovación:
(MET = 1,2) (fumadores x2)

Actividad	MET
Durmiendo	0,8
Sentado en reposo	1
Trabajo ligero sentado	1,2
Trabajo moderado	1,4
Paseando	1,6 a 2
Trabajo ligero en fábrica	3
Trabajo pesado en fábrica	4
Actividad atlética	5 a 7

81

5.- Ventilación (III)

El RITE marca 5 métodos de medida de caudal de aire de renovación:
(MET = 1,2) (fumadores x2)

Categ. Calidad	Métodos para determinar el caudal de aire de renovación				
	l/s por pers	Decipols	CO ₂ (ppm)	l/s m ²	Dilución
IDA 1: Optima	20	0,8	350	-	EN13779 UNE 100713
IDA 2: Buena	12,5	1,2	500	0,83	
IDA 3: Media	8	2,0	800	0,55	
IDA 4: Baja	5	3,0	1.200	0,28	

Control por ocupación

$$G_{CO_2} = 0,0042 \text{ MET} \left[\frac{L_{CO_2}}{s} \right]$$

$$1,2 \text{ MET} = 0,005 \left[\frac{L_{CO_2}}{s} \right]$$

$$Caudal_{MET} = Caudal_{MET1,2} \frac{MET}{1,2}$$

82

5.- Ventilación (IV)

El método de dilución sirve para situaciones de emisiones conocidas de contaminantes específicos

$$C = \frac{Q}{C_p - C_i} \frac{1}{E_v}$$

Siendo:

- C Caudal del aire exterior (m³/s)
- Q Caudal emitido del contaminante (mg/s)
- C_p Concentración del contaminante permitida en al ambiente (mg/m³)
- C_i Concentración del contaminante en el aire de impulsión (mg/m³)
- E_v Eficacia de la ventilación
- f (tipo de difusión, T_{aire}, T_{local}, localización de impulsión y retorno)

$$E_v = \frac{C_E - C_i}{C_L - C_i} \quad \begin{array}{l} C_E \text{ Concent. Contam. extracción (mg/m}^3\text{)} \\ C_L \text{ Concent. Contam. en el local (mg/m}^3\text{)} \end{array}$$

5.- Ventilación (V)

E_v f (tipo de difusión, T_{aire}, T_{local}, localización de impulsión y retorno)

Tipo de difusión	Situación de bocas	T _{local} - T _{impulsión}	E _v
Mezcla	Impulsión: arriba	< 0	0,9 a 1
		0 a 2	0,9
	Extracción: arriba	2 a 5	0,8
		> 5	0,4 a 0,7
Mezcla	Impulsión: arriba	< -5	0,9
		0 a -5	0,9 a 1
	Extracción: abajo	> 0	1
Desplazamiento	Impulsión: abajo	< 0	1,2 a 1,4
		0 a 2	0,7 a 0,9
	Extracción: arriba	> 2	0,2 a 0,7

6.- Extracción de Aire (I)

El RITE clasifica el aire de extracción de los locales:

AE1	AE2	AE3	AE4
Bajo nivel de contaminación	Moderado nivel de contaminación	alto nivel de contaminación	Muy alto nivel de contaminación
Oficinas, aulas, ...	Habitaciones, tiendas, ...	Lavabos, cocinas, ...	Cocinas industriales, almacenes de residuos, ...

El **Caudal mínimo** de extracción es de 2 l/s m²

Sólo se puede recircular el aire AE1 (no hay humo de tabaco)

El aire AE2 se puede transferir a servicios, aseos y garajes (extraer por otro local)

El aire AE3 y AE4 no se puede emplear, y además debe tener una expulsión propia

85

6.- Extracción de Aire (II)

Preferible localizarla para **captar los contaminantes** cerca del punto de generación; debe estar adaptada al foco contaminante

Caudal y la velocidad de extracción es función del tipo de contaminantes



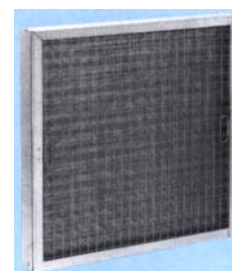
Aplicación	Velocidad de captación m/s
Campana de cocina doméstica	0,15-0,20
Campana de cocina comercial	0,20-0,25
Cubeta de evaporación	0,25-0,50
Desengrase	0,25-0,50
Soldadura, decapado	0,50-1
Galvanización	0,50-1
Cabina de pintura	0,40-1
Esmerilado, rectificación	2,50-10

86

7.- Filtración del Aire (I)

Eliminar las impurezas, olores, ...

- Filtros de partículas (partículas en suspensión)
- Filtros adsorbentes de gases (filtro de carbón activo).
- Equipos de ionización (aglomeran partículas)
- Equipos de R UV (destruyen microorganismos)
- Equipos de O₃ (dest. microorg., es un contaminante)
- Filtros de agua



La **colocación** es:

- Prefiltro (F5)
- Filtro ionizador
- Filtro de carbón activado
- Filtro (F9)



Norma EUROVENT 4/9

UNE EN 1822-1 Filtros Absolutos HEPA y ULPA

87

7.- Filtración del Aire (II)

Concentraciones en aire exterior

Zona	CO ₂	CO	NO ₂	SO ₂	Total PM	PM10
	ppm	ppm	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
Rural	350	< 1	5 a 35	< 5	< 100	< 20
Pueblo	375	1 a 3	15 a 40	5 a 15	100 a 300	10 a 30
Ciudad	400	2 a 6	30 a 80	10 a 50	200 a 1.000	20 a 50

88

7.- Filtración del Aire (III)

Clasificación de Filtros por su forma:

- Panel plano



- Panel Plisado

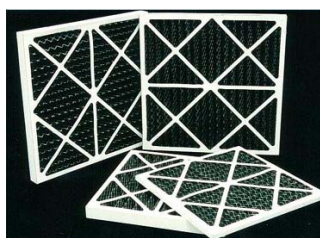


- Bolsas



Metálicos

- Carbón Activado



- HEPA



- ULPA (Ultra Low Penetration Air)

7.- Filtración del Aire (IV)

CLASE		Eficacia (%)		
EN 779	EUROVENT 4/9 Y 4/5	Método gravimétrico (polvo sintético)		Método colorimétrico (polvo atmosférico)
G1	EU 1		$\leq Am \leq$	65
G2	EU 2	65	$\leq Am \leq$	80
G3	EU 3	80	$\leq Am \leq$	90
G4	EU 4	90	$\leq Am \leq$	
F5	EU 5			40 $\leq Em \leq$ 60
F6	EU 6			60 $\leq Em \leq$ 80
F7	EU 7			80 $\leq Em \leq$ 90
F8	EU 8			90 $\leq Em \leq$ 95
F9	EU 9			95 $\leq Em \leq$
	EU 10	99,9	$\leq Edop$	
	EU 11	99,97	$\leq Edop$	
	EU 12	99,99	$\leq Edop$	
	EU 13	99,9995	$\leq Edop$	
	EU 14	99,99995	$\leq Edop$	

7.- Filtración del Aire (V)

El RITE marca la calda de la filtración previa requerida

Filtración Previa	Calidad del aire interior			
	IDA 1	IDA 2	IDA 3	IDA 4
Calidad del aire exterior				
ODA 1: puro	F7	F6	F6	G4
ODA 2: con altas concentraciones de partículas				
ODA 3: con altas concent. de cont. gaseosos				
ODA 4: con altas concent. de cont. gaseosos y partículas				
ODA 5: con muy altas concent. de cont. gaseosos y part.	F6 / FG / F9	F6 / FG / F9		

Filtración Final

F9	F8	F7	F6
----	----	----	----

91

7.- Filtración del Aire (VI)

Mantenimiento del sistema de filtración:

Un filtro colmatado $\Rightarrow \uparrow \Delta P$ en el conducto y $\downarrow Q$

$\uparrow \Delta P \Rightarrow$ **se puede romper el filtro**

$1 \text{ m}^3/\text{s} \Rightarrow 3.600 \text{ m}^3/\text{h} \Rightarrow 43.200 \text{ m}^3/\text{día} (12 \text{ h})$

$0,15 \text{ mg polvo}/\text{m}^3 \Rightarrow 6,5 \text{ kg}/\text{día} (12 \text{ h})$

- Asegurar estanquidad en el marco del filtro
- Elementos de protección para los operarios
- Recoger el filtro
- Cuidado cuando en la instalación el aire entra directamente del local al climatizador



19.5.2000

92

7.- Filtración del Aire (VI)

Mantenimiento
Un filtro colmado



ro
a (12 h)
2 h)

- Asegurar
- Elemento
- Recoger el filtro
- Cuidado cuando en la instalación el aire entra directamente del local al climatizador

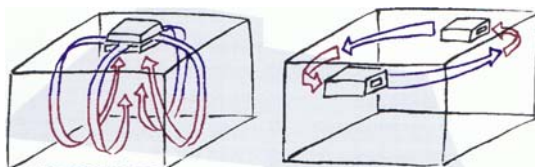


19.5.2000

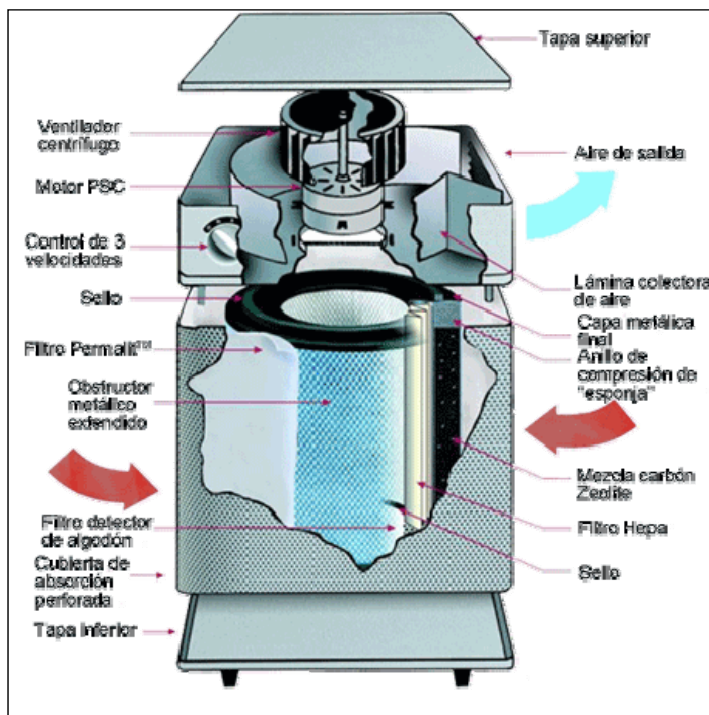
93

7.- Filtración del Aire (VII)

Purificadores Locales de aire



Muy útiles al reducir la cantidad de aire exterior si la contaminación de los locales es por partículas



8.- Climatización (I)

El metabolismo de las personas, las máquinas y equipos, generan **calor**

Actividad	Q sensible (W)	Q latente (W)	Metabolismo (x 50 kCal/hm ²)
Durmiendo	50	25	0,76
Sentado, sin trabajar	65	35	1
De pie, relajado	75	55	1,3

$$1 \text{ met} = 58,2 \text{ W / m}^2$$

Para **disipar/captar** del ambiente **calor**.

- Mecanismos físicos (radiación, conducción, convección y evaporación)
- Mecanismos fisiológicos (la reducción o aumento del flujo sanguíneo superficial, sudoración)

Los **efectos** de las exposiciones a **ambientes térmicos** rigurosos:

- Amb. calurosos: golpe de calor, deshidratación, desmayos, etc.
- Amb fríos: hipotermia y la congelación

8.- Climatización (II)

Criterios preventivos básicos ante el **calor** son:

- Controlar los focos radiantes
- Limitar la carga física de trabajo
- Limitar la duración de la exposición
- Proporcionar prendas de protección frente al calor
- Aislar los procesos o equipos calientes

Los **criterios preventivos** básicos ante el **frío** son:

- Minimizar la acción directa del chorro de aire
- Aislar los procesos o los equipos
- Proporcionar ropa de protección frente al frío
- Limitar la duración de la exposición

La climatización consiste en tratar el aire de un local para conseguir controlar las condiciones de confort con independencia de las condiciones climatológicas

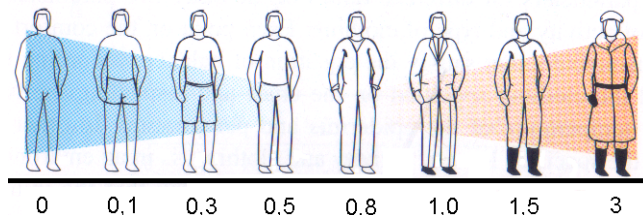
9.- Equilibrio Térmico entre el Hombre y el Edificio (I)

Calor por **conducción** se puede considerar despreciable

Por **radiación** depende de T media de los cerramientos; del sol; de T de la piel (33,7°C); de la ropa; y de la emisividad y absorción de cerramientos y ropa

Por **convección** depende de la T de ropa, de la T aire y de la velocidad del mismo

La **ropa** es aislante térmico, **clo**
(1 clo = 0,155 m² °C/W)



El hombre elimina calor por la **respiración** (sensible y latente); la cantidad de aire respirado depende de la actividad metabólica (**met**)

Eliminamos calor sensible por medio de la **sudoración** (la permeabilidad de la ropa)

97

9.- Equilibrio Térmico entre el Hombre y el Edificio (II)

La ec. de Dubois relaciona el peso (P) y la altura (h) de una persona con su área superficial (A)

$$A = 0,0202 P^{0,425} h^{0,25} m^2$$

El balance energético en el cuerpo humano tiene en cuenta el metabolismo (M), el trabajo generado (W, en el interior de edificios se puede considerar nulo), y la pérdidas de calor a través de la piel (Q_p) y por la respiración (Q_r):

$$M - W = Q_p - Q_r$$

98

10.- La Calidad del Aire en los Edificios (I)

Los sistemas de climatización por motivos energéticos suelen ser con **recirculación de aire** (síndrome del edificio enfermo).

Se precisa una cantidad mínima de **aire de renovación**.

Zonas problemáticas son la aspiración del aire exterior, las unidades de humidificación y las torres de refrigeración; es necesaria una limpieza y desinfección periódica.

Efectos de una **mala calidad del aire** son:

- **Oculares:** escozor, enrojecimiento, lagrimeo...
- **Respiratorios:** picor nasal, estornudos, sequedad o dolor de garganta, ronquera, goteo nasal....
- **Generales:** mareos, náuseas, letargo, somnolencia,...
- Legionelosis, fiebre de Pontiac, tuberculosis, gripe y resfriado

10.- La Calidad del Aire en los Edificios (I)

Los sistemas de climatización por motivos energéticos suelen ser con **recirculación de aire** (síndrome del edificio enfermo).

Se precisa una cantidad mínima de **aire de renovación**.

Zonas problemáticas son la aspiración del aire exterior, las unidades de humidificación y las torres de refrigeración; es necesaria una limpieza y desinfección periódica.

Efectos de una **mala calidad del aire** son:

- **Oculares:** escozor, enrojecimiento, lagrimeo...
- **Respiratorios:** picor nasal, estornudos, sequedad o dolor de garganta, ronquera, goteo nasal....
- **Generales:** mareos, náuseas, letargo, somnolencia,...
- Legionelosis, fiebre de Pontiac, tuberculosis, gripe y resfriado



10.- La Calidad del Aire en los Edificios (II)

Factores que afectan a la **calidad del aire**:

- El lugar
- El clima
- El sistema climatización
- Materiales de construcción
- Los equipos contenidos
- Los ocupantes del edificio

Fuentes de contaminación:

- El aire exterior
- El equipo de climatización
- Otros equipos
- Actividades personales
- Productos de limpieza
- Materiales de construcción
- Mobiliario
- Moqueta
- Olores
- Ambiente térmico
- Humedad relativa
- Ventilación

Parámetros indicativos de la **calidad del aire**:

- Físicos: T y humedad relativa, partículas
- Químicos, CO, CO₂, O₃, etc
- Biológicos

10.- La Calidad del Aire en los Edificios (III)

Las personas son un foco de contaminación en los edificios

Se define el “**olf**” como la contaminación emitida por un adulto medio que trabaja en una oficina, que está en una ambiente de confort térmico, y que tiene un estándar higiénico equivalente a 0,7 baños/día

Cualquier otra fuente contaminante se puede expresar en número de olfs, es decir, en número de personas estándar necesarias para que el aire resulte igualmente insatisfactorio

Se define un “**decipol**” como la contaminación ambiental generada por una persona en presencia de una ventilación de 10 L/s de aire fresco

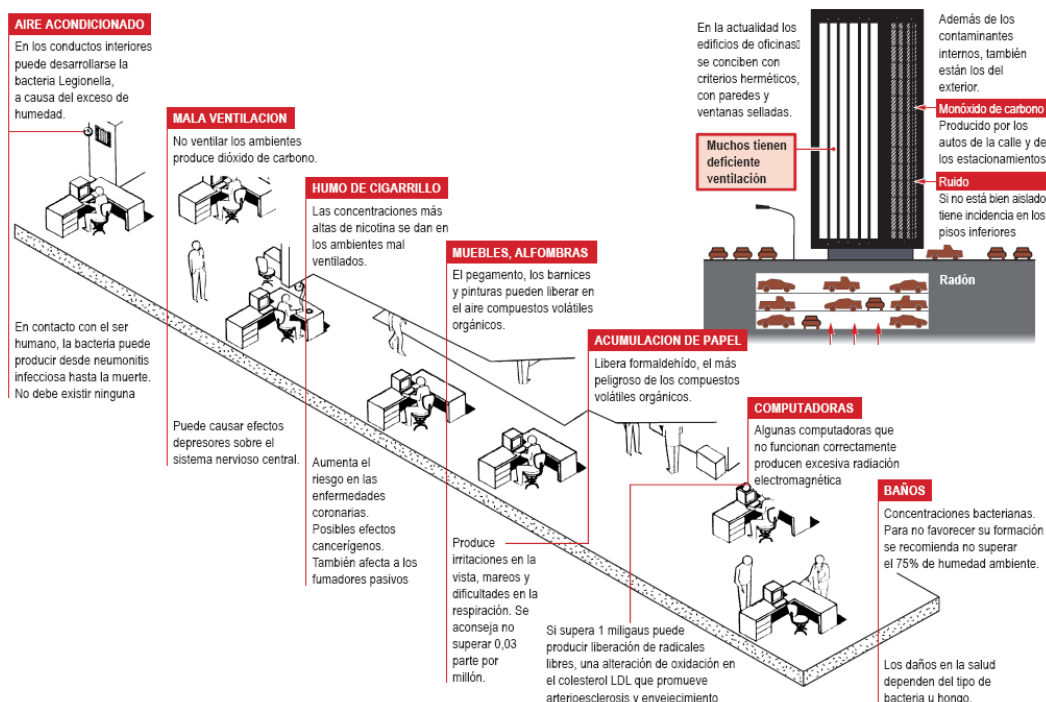
Al ↑decipol ⇒ ↓IAQ

10.- La Calidad del Aire en los Edificios (IV)

Sistema de Control de las Instalaciones

Categoría	Descripción	Repercusión en IAQ
IDA C1	Sin control, funcionamiento continuo	Coste de funcionamiento excesivo
IDA C2	Control manual	No garantiza IAQ, hay problemas con diferentes usuarios
IDA C3	Control temporizado	Puede tener un coste de funcionamiento excesivo
IDA C4	Control por presencia de personas	Sólo considera como contaminantes a las personas
IDA C5	Control presencial por nº personas	
IDA C6	Control por sensores de IAQ	Se deben ajustar los sensores a la contaminación emitida en el local

10.- La Calidad del Aire en los Edificios (V)



11.- Condiciones de Confort (II)

Existen índices ambientales:

- **Temperatura operativa** (T_o); media de T radiante de cerramientos y de T seca del local, ponderadas con los coeficientes de convección y de radiación

$$T_o = \frac{h_r \bar{T}_{radiante} + h_c T_{aire}}{h_r + h_c}$$

En la práctica se aproxima a la media de las dos T

$$\bar{T}_{radiante} = \sqrt[4]{\sum_{\text{cerramientos}} (F_{\text{cerr.-hombre}} T_{\text{cerr.}}^4)}$$

La asimetría térmica es una cauda de disconfort

En la práctica: $\bar{T}_{radiante} \approx 0,5 T_{suelo} + 0,075 (T_{pared1} + T_{pared2} + T_{pared3} + T_{pared4}) + 0,2 T_{suelo}$

$$T_e = T_o + c \cdot [P_v - 0,5 \cdot P_{vse}]$$

“Sensación térmica”

- **Temperatura efectiva** (T_e); T ambiente con 50% HR y velocidad aire 0,2 m/seg que provoca las mismas pérdidas al cuerpo humano que la T actual; depende del ambiente y de la actividad

$$\left. \begin{matrix} T_1 \\ V_1 \\ HR_1 \end{matrix} \right\} \approx \left\{ \begin{matrix} T_{\text{efectiva}} \\ 0,2 \text{ m/s} \\ 50\% \end{matrix} \right\} \approx \left\{ \begin{matrix} T_2 \\ V_2 \\ HR_2 \end{matrix} \right\} \approx \dots$$

11.- Condiciones de Confort (II)

Existen índices ambientales:

- **Temperatura operativa** (T_o); media de T radiante de cerramientos y de T seca del local, ponderadas con los coeficientes de convección y de radiación

$$T_o = \frac{h_r \bar{T}_{radiante} + h_c T_{aire}}{h_r + h_c}$$

$$\bar{T}_{radiante} = \sqrt[4]{\sum_{\text{cerramientos}} (F_{\text{cerr.-hombre}} T_{\text{cerr.}}^4)}$$

En la práctica: $\bar{T}_{radiante} \approx 0,5 T_{suelo} + 0,075 (T_{pared1} + T_{pared2} + T_{pared3} + T_{pared4}) + 0,2 T_{suelo}$

$$T_e = T_o + [0,06 + 0,94 \cdot w_h] \cdot [E_p \cdot 0,0165] \cdot [P_v - 0,5 \cdot P_{vs}(T_e)]$$

- w_h es la fracción de la piel mojada (Ahúmeda/Ades)
- E_p es la eficiencia de permeabilidad de la ropa
- P_v es la presión parcial del vapor en el aire ambiente (Pa)
- $P_{vs}(T_e)$ es la presión parcial del vapor a saturación (Pa) a la temperatura efectiva [$P_v(T_e) = 0,5 \cdot P_{vs}(T_o)$]

“Sensación térmica”

- **Temperatura efectiva** (T_e); T ambiente con 50% HR y velocidad aire 0,2 m/seg que provoca las mismas pérdidas al cuerpo humano que la T actual; depende del ambiente y de la actividad

$$\left. \begin{matrix} T_1 \\ V_1 \\ HR_1 \end{matrix} \right\} \approx \left\{ \begin{matrix} T_{\text{efectiva}} \\ 0,2 \text{ m/s} \\ 50\% \end{matrix} \right\} \approx \left\{ \begin{matrix} T_2 \\ V_2 \\ HR_2 \end{matrix} \right\} \approx \dots$$

11.- Condiciones de Confort (II)

Existen índices ambientales:

- **Temperatura operativa** (T_o); media de T radiante de cerramientos y de T seca del local, ponderadas con los coeficientes de convección y de radicación

$$T_o = \frac{h_r \bar{T}_{radiante} + h_c T_{seca}}{h_r + h_c}$$

$$\bar{T}_{radiante} = \frac{1}{4} \sqrt[4]{T_1^4 + T_2^4 + T_3^4 + T_4^4}$$

En la práctica: $\bar{T}_{radiante} \approx 0,5 T_{seca}$

$$T_e = T_o + c \cdot [P_v - 0,5 \cdot P_{vs}]$$

- P_v es la presión del vapor de agua en el aire (kPa)
- P_{vs} es la presión parcial del vapor a saturación (kPa) a la temperatura efectiva
- C es el producto de: $c = w \cdot i_m \cdot LR$
 - ✓ La fracción de piel mojada
 - ✓ La eficiencia de permeabilidad al paso de vapor de agua de la vestimenta y la capa de aire cerca de la piel
 - ✓ La relación de Lewis entre los coeficientes de transferencia evaporativo y convectivo (≈ 1.65 K/kPa)

- **Temperatura efectiva** (T_e); T ambiente con 50% HR y velocidad aire 0,2 m/seg que provoca las mismas pérdidas al cuerpo humano que la T actual; depende del ambiente y de la actividad

$$\left. \begin{matrix} T_1 \\ V_1 \\ HR_1 \end{matrix} \right\} \approx \left\{ \begin{matrix} T_{efectiva} \\ 0,2 \text{ m/s} \\ 50\% \end{matrix} \right\} \approx \left\{ \begin{matrix} T_2 \\ V_2 \\ HR_2 \end{matrix} \right\} \approx \dots$$

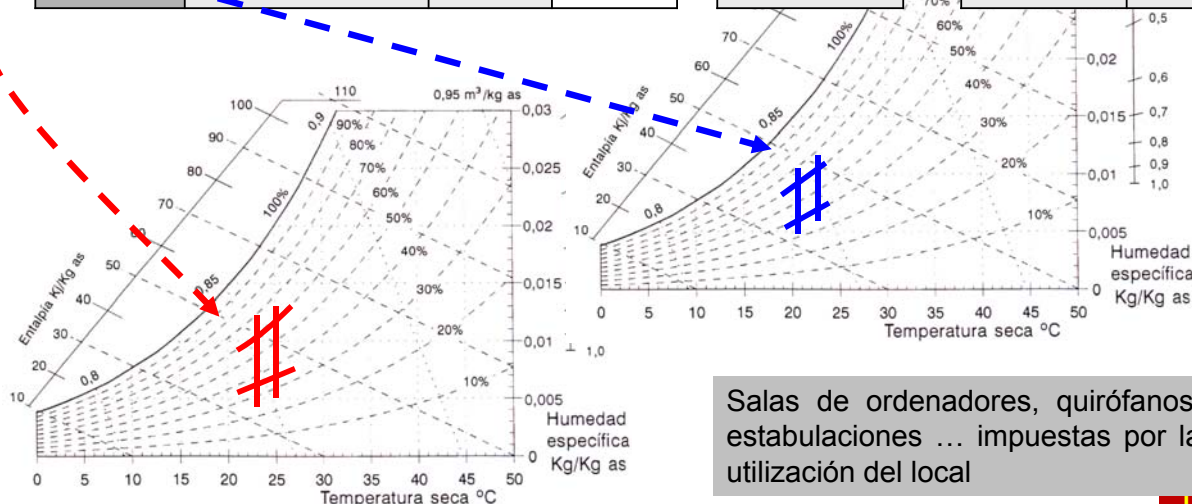
11.- Condiciones de Confort (III)

RITE: en zona ocupada

Estación	T operativa (°C)	HR (%)	1,2 met
Verano	23 – 25	45 - 60	0,5 clo
Invierno	21 - 23	40 - 50	1 clo

Mod RITE

V aire (m/s)	T aire (°C)	HR (%)
0,18 – 0,24	> 26	30-70
0,15 – 0,20	< 21	



Salas de ordenadores, quirófanos, estabulaciones ... impuestas por la utilización del local

11.- Condiciones de Confort (III)

Situaciones que provocan una sensación de **disconfort**:

- Asimetría en la temperatura radiante de las superficies
- Velocidad del aire
- Diferencia vertical de temperatura
- Suelo frío o caliente

Las condiciones de la climatización están condicionadas por la utilización del local (personas, ordenadores, museos, ...)

Porcentaje de Personas Insatisfechas (**PPI**), mínimo un 5% :

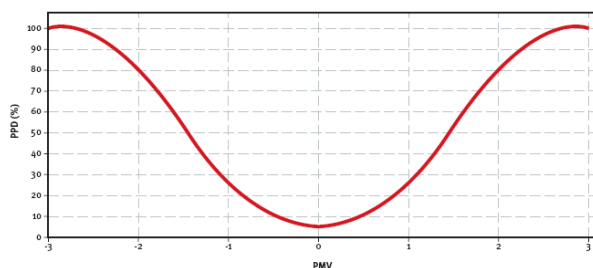
- Categoría A, con un PPI < 6%,
- Categoría B, con un PPI < 10%
- Categoría C, con un PPI < 15%

111

11.- Condiciones de Confort (IV)

VMP	- 3	- 2	- 1	0	+ 1	+ 2	+ 3
Sensación térmica	frío	fresco	lig. fresco	neutro	lig. caluroso	caluroso	muy caluroso
	cold	cool	slightly cool	neutral	slig. warm	warm	hot

$$PPI = 100 - 95 e^{-0,03353 VMP^4 + 0,2178 VMP^2}$$

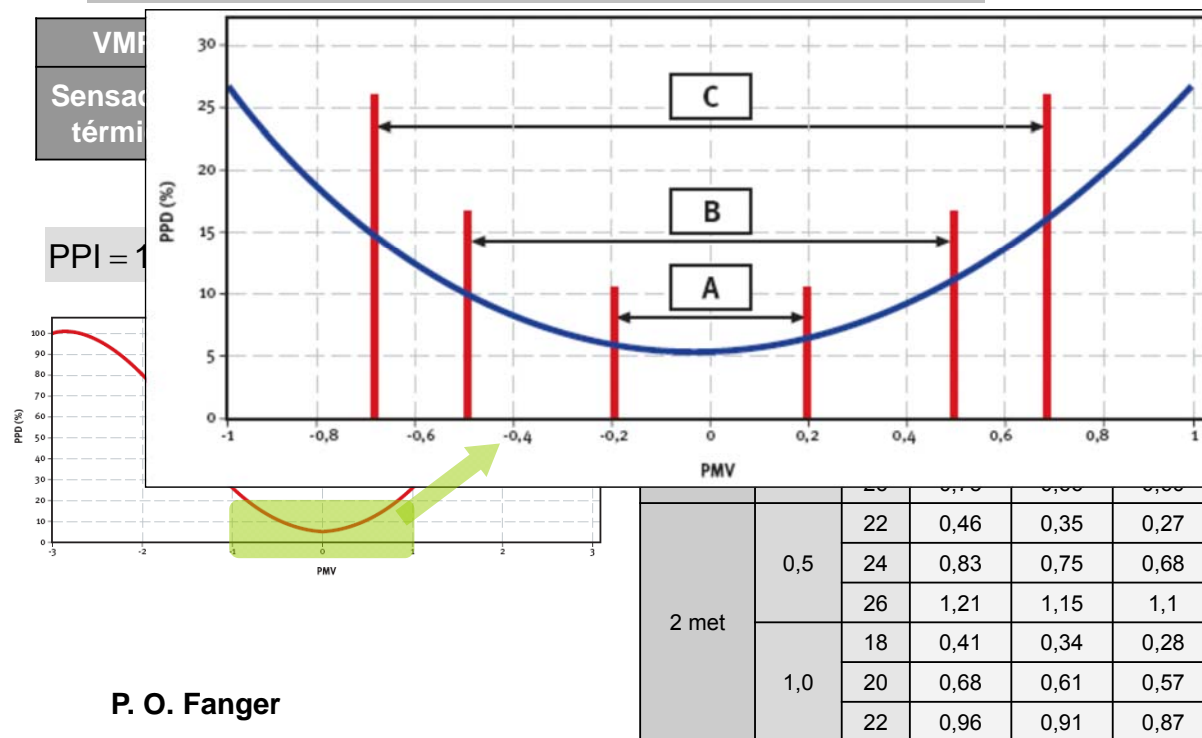


P. O. Fanger

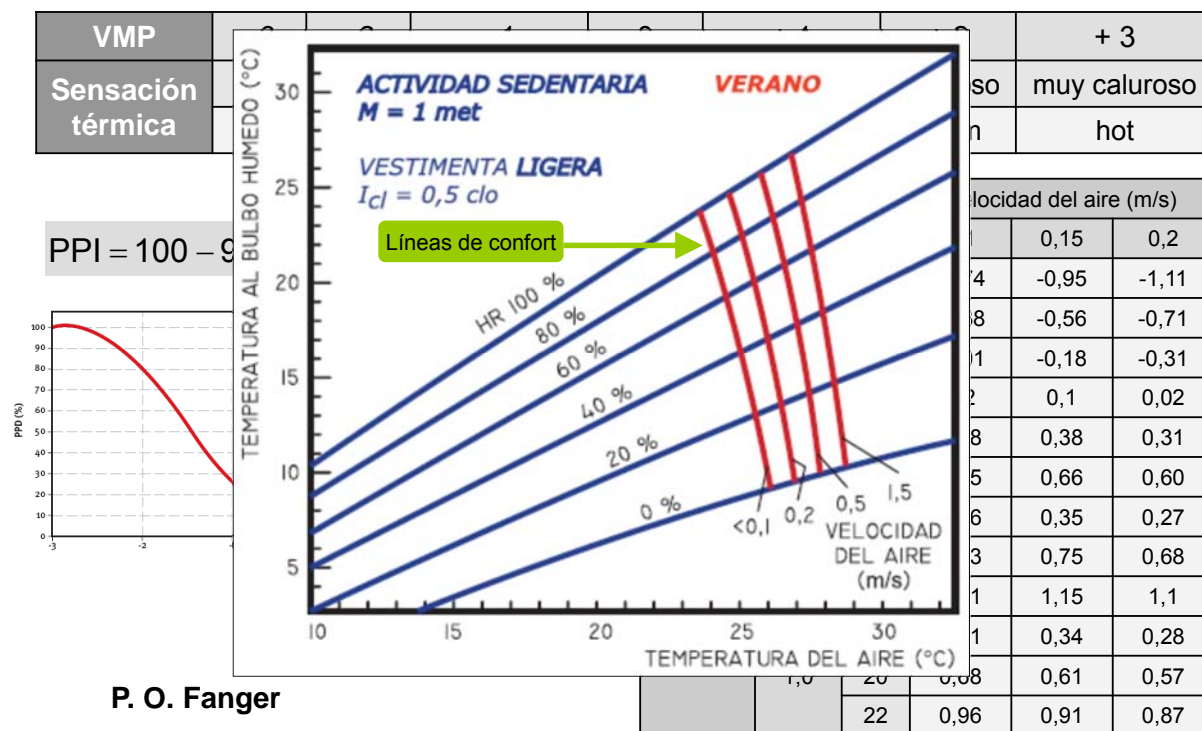
	Ropa (clo)	T _{aire} (°C)	Velocidad del aire (m/s)		
			0,1	0,15	0,2
1 met	0,5	24	-0,74	-0,95	-1,11
		25	-0,38	-0,56	-0,71
		26	-0,01	-0,18	-0,31
	1,0	24	0,2	0,1	0,02
		25	0,48	0,38	0,31
		26	0,75	0,66	0,60
2 met	0,5	22	0,46	0,35	0,27
		24	0,83	0,75	0,68
		26	1,21	1,15	1,1
	1,0	18	0,41	0,34	0,28
		20	0,68	0,61	0,57
		22	0,96	0,91	0,87

112

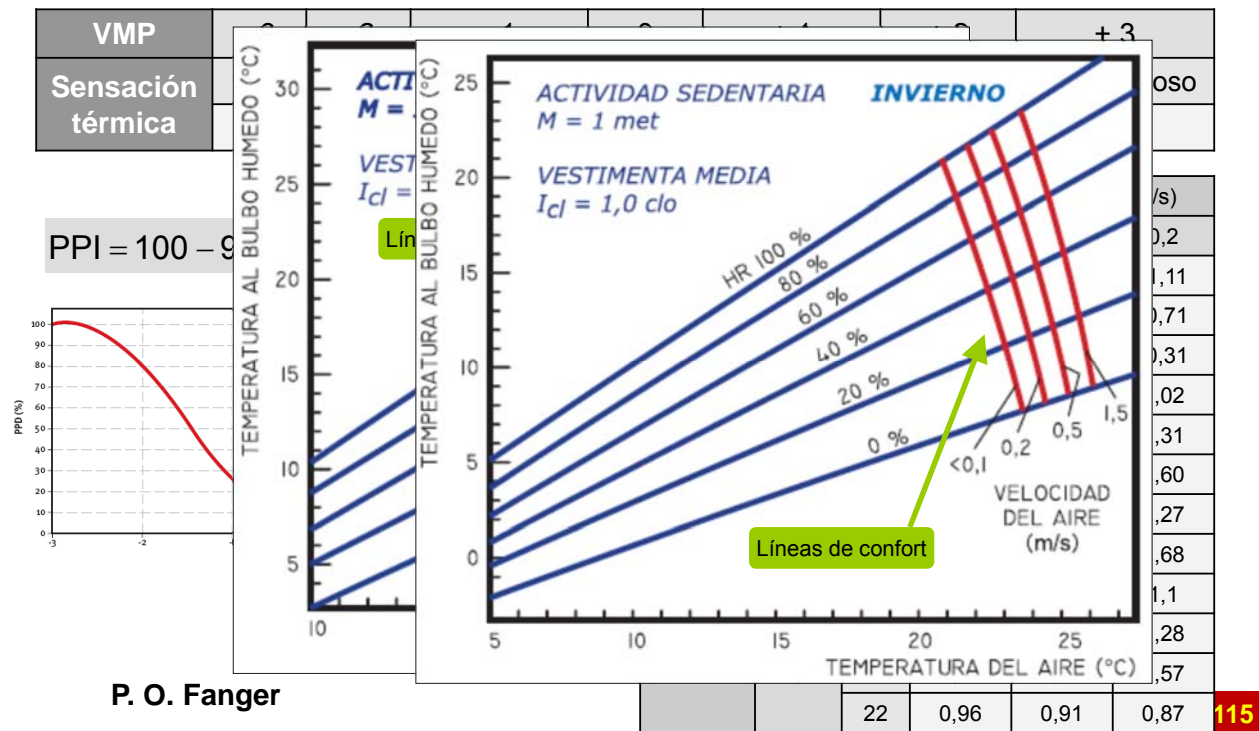
11.- Condiciones de Confort (IV)



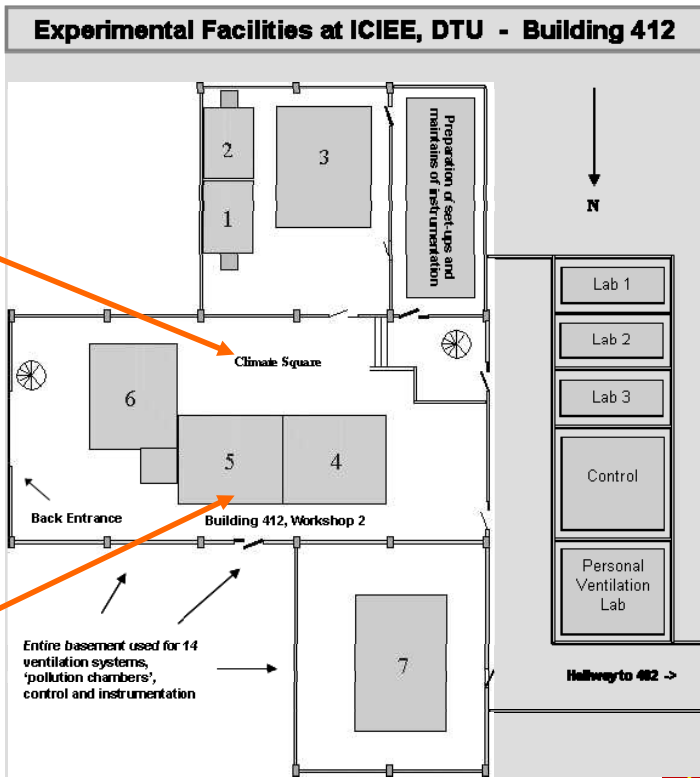
11.- Condiciones de Confort (IV)



11.- Condiciones de Confort (IV)



<http://www.iciee.byg.dtu.dk/>



11.- Condiciones de Confort (V)

<http://calculadores.insht.es:86/BienestarT%C3%A9rmico/Introducci%C3%B3n.aspx>

Evaluación del bienestar térmico global y local

Introducción

El método establecido en la UNE-EN ISO 7730 para la determinación analítica e interpretación del bienestar térmico es aplicable a personas sanas expuestas a ambientes interiores en los que tienen lugar desviaciones moderadas de la neutralidad térmica.

El bienestar térmico es aquella condición en la que existe satisfacción respecto del ambiente térmico. La insatisfacción puede ser originada por la incomodidad global del cuerpo en su conjunto debida al calor o al frío, expresada por los índices PMV (voto medio estimado) y PPD (porcentaje estimado de insatisfechos), o por el enfriamiento o calentamiento indeseado de una parte determinada del cuerpo (incomodidad local).

Incomodidad global

PMV (predicted mean vote)

El PMV es un índice que refleja el valor medio de los votos emitidos por un grupo numeroso de personas respecto de una escala de sensación térmica de 7 niveles al ser sometidos a diferentes ambientes térmicos, basado en el equilibrio térmico del cuerpo humano.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
muy frío	frío	ligeramente frío	neutro (confortable)	ligeramente caluroso	caluroso	muy caluroso

El cálculo del PMV permite estimar la sensación térmica del cuerpo humano en su conjunto a partir de la estimación o medición de los parámetros que condicionan el equilibrio térmico global del cuerpo: tasa metabólica del sujeto, aislamiento de la ropa, temperatura del aire, temperatura radiante media, velocidad relativa del aire y humedad del aire.

Un ambiente se considera confortable cuando el índice PMV se halla entre -0,5 y +0,5.

PPD (predicted percentage dissatisfied)

El índice PPD suministra información acerca de la incomodidad o insatisfacción térmica, mediante la predicción cuantitativa del porcentaje de personas que, probablemente, sentirán demasiado calor o demasiado frío en un ambiente determinado. El PPD puede obtenerse a partir del PMV.

El método sólo debería ser usado para valores de PMV comprendidos entre -2 y +2 (el PPD sólo tendrá en cuenta las personas que voten muy caluroso, caluroso, fresco o frío).

Incomodidad local

11.- Co

<http://calculadores.insht.es:86/BienestarT%C3%A9rmico/Introducci%C3%B3n.aspx>

El índice PPD suministra información acerca de la incomodidad o insatisfacción térmica, mediante la predicción cuantitativa del porcentaje de personas que, probablemente, sentirán demasiado calor o demasiado frío en un ambiente determinado. El PPD puede obtenerse a partir del PMV.

El método sólo debería ser usado para valores de PMV comprendidos entre -2 y +2 (el PPD sólo tendrá en cuenta las personas que voten muy caluroso, caluroso, fresco o frío).

Incomodidad local

Los factores de incomodidad local más comunes son:

- Corrientes de aire**
La incomodidad debida a las corrientes de aire se expresa como el porcentaje de personas que se estima que sentirán molestias por tales corrientes en función de la tasa de corriente de aire (DR - draught rate).
- Diferencia vertical de la temperatura del aire**
Se expresa como el porcentaje de insatisfechos (PPD - percentage dissatisfied) en función de la diferencia en la temperatura del aire entre la cabeza y los tobillos.
- Suelos calientes y fríos**
Se expresa como el PD en función de la temperatura del suelo para personas que utilizan calzado.
- Asimetría de temperatura radiante**
Se expresa como el PD en función de la asimetría de la temperatura radiante provocada por un techo caliente, una pared fría, un techo frío o una pared caliente. Las personas son más sensibles a la asimetría radiante causada por techos calientes o paredes (ventanas) frías.

Para realizar los cálculos del bienestar térmico, haga clic en SIGUIENTE.

Siguiente

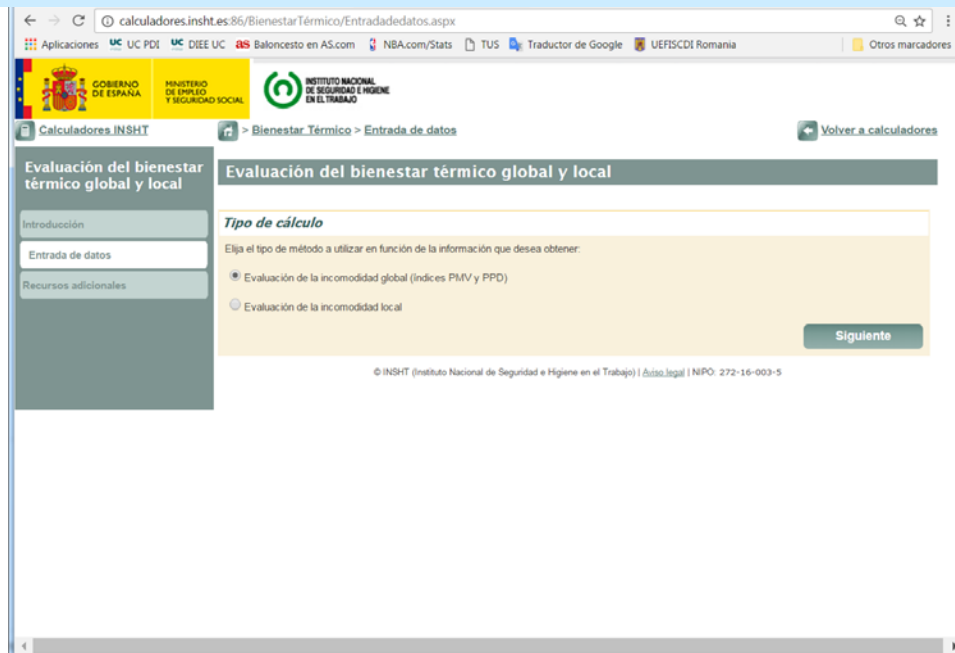
© INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo) | [Ayuda legal](#) | NPO: 272-15-095-8

El método sólo debería ser usado para valores de PMV comprendidos entre -2 y +2 (el PPD sólo tendrá en cuenta las personas que voten muy caluroso, caluroso, fresco o frío).

Incomodidad local

11.- Condiciones de Confort (VI)

<http://calculadores.insht.es:86/BienestarT%C3%A9rmico/Entradadedatos.aspx>



Calculadores INSHT > Bienestar Térmico > Entrada de datos

Evaluación del bienestar térmico global y local

Introducción

Entrada de datos

Recursos adicionales

Evaluación del bienestar térmico global y local

Tipo de cálculo

Elija el tipo de método a utilizar en función de la información que desea obtener:

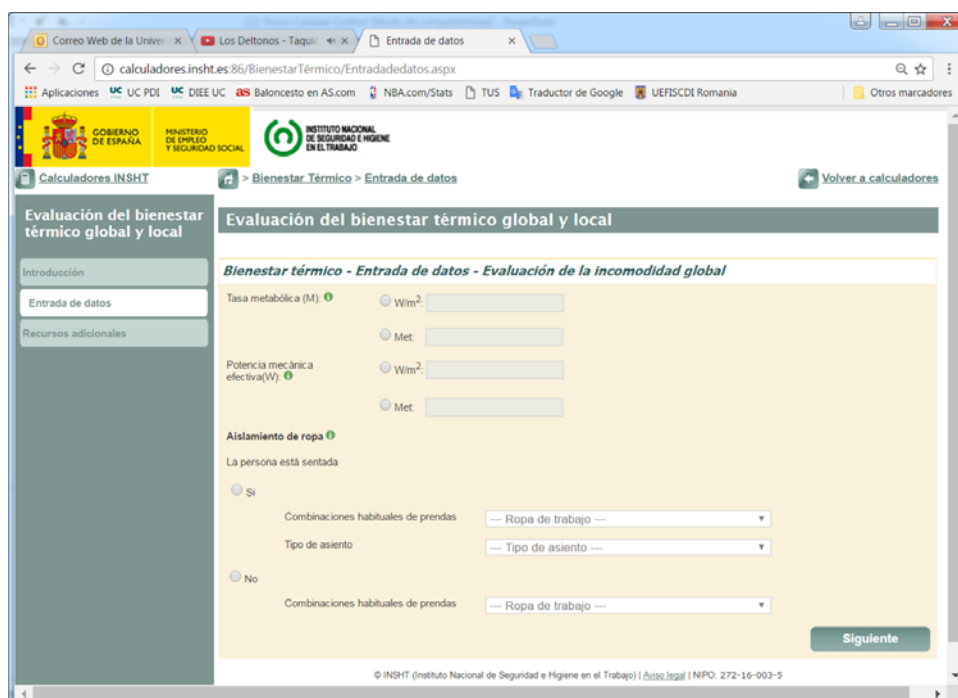
- Evaluación de la incomodidad global (índices PMV y PPD)
- Evaluación de la incomodidad local

Siguiente

© INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo) | [Aviso legal](#) | NPO: 272-16-003-5

119

11.- Condiciones de Confort (VII)



Calculadores INSHT > Bienestar Térmico > Entrada de datos

Evaluación del bienestar térmico global y local

Introducción

Entrada de datos

Recursos adicionales

Evaluación del bienestar térmico global y local

Bienestar térmico - Entrada de datos - Evaluación de la incomodidad global

Tasa metabólica (M)

- W_{m^2} :
- Met:

Potencia mecánica efectiva (W)

- W_{m^2} :
- Met:

Aislamiento de ropa

La persona está sentada

- Sí
 - Combinaciones habituales de prendas:
 - Tipo de asiento:
- No
 - Combinaciones habituales de prendas:

Siguiente

© INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo) | [Aviso legal](#) | NPO: 272-16-003-5

120

11.- Condiciones de Confort (VIII)

Evaluación del bienestar térmico global y local

Bienestar térmico - Entrada de datos - Evaluación de la incomodidad global

Temperatura del aire: °C

Temperatura radiante media: °C

Introducir valor:

Calcular valor:

Temperatura del globo: °C

Velocidad relativa del aire: m/s

Humedad relativa del aire: %

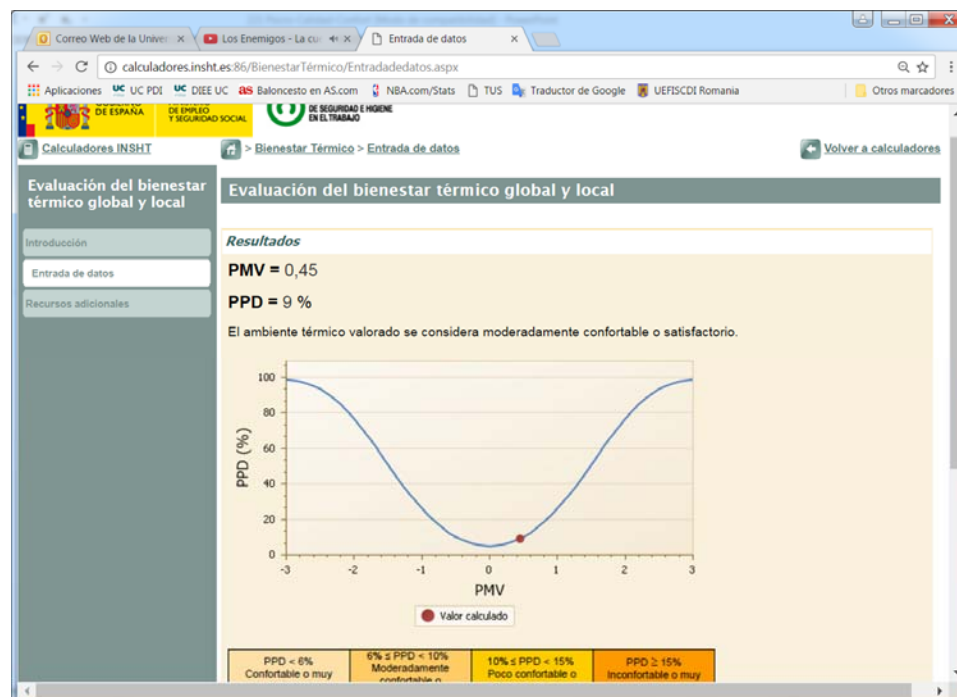
Presión parcial del vapor de agua: Pa

Temperatura húmeda: °C

© INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo) | [Ayuda legal](#) | NPO: 272-16-003-5

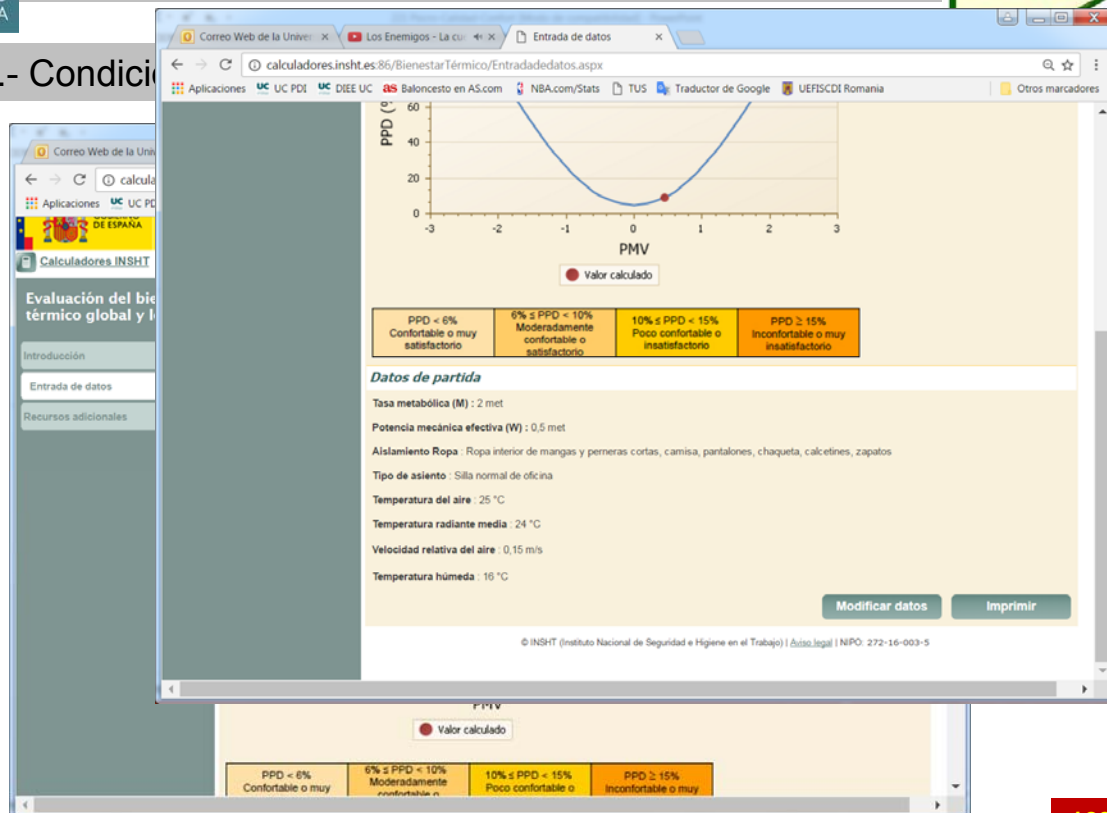
121

11.- Condiciones de Confort (IX)



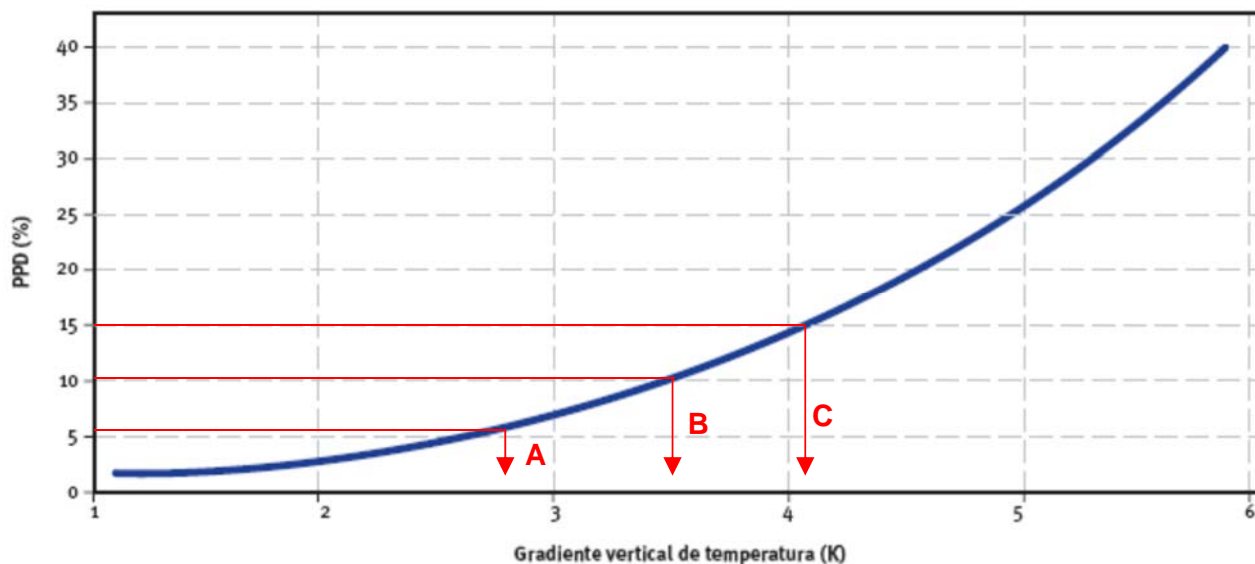
122

11.- Condici



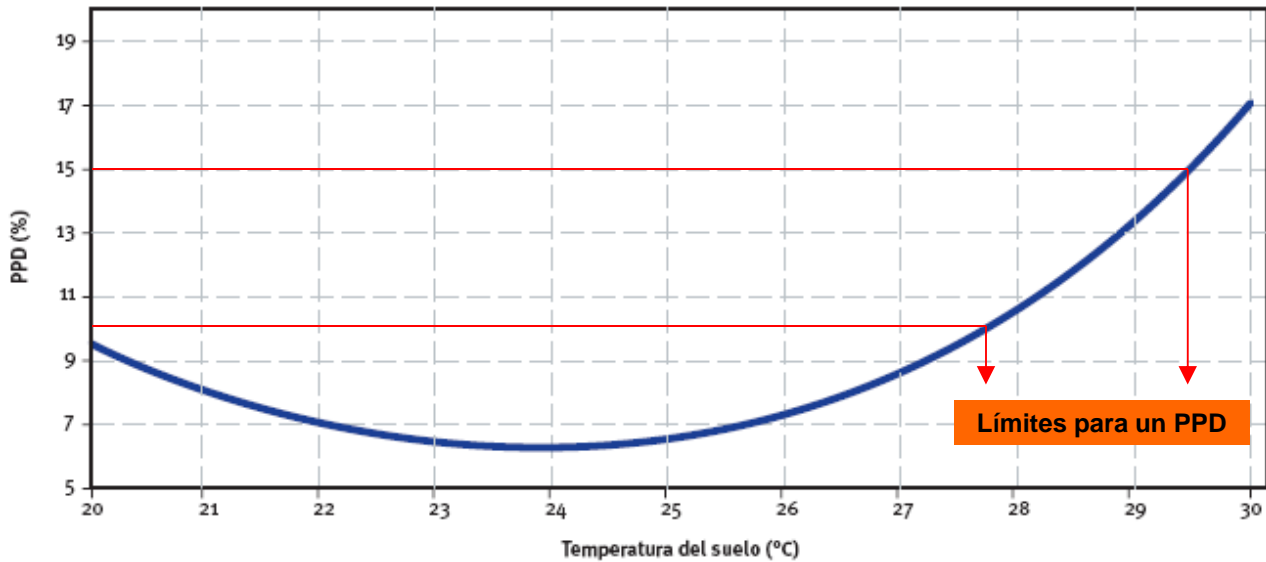
11.- Condiciones de Confort (X)

Efecto del gradiente vertical de T (estratificación) en el PPD



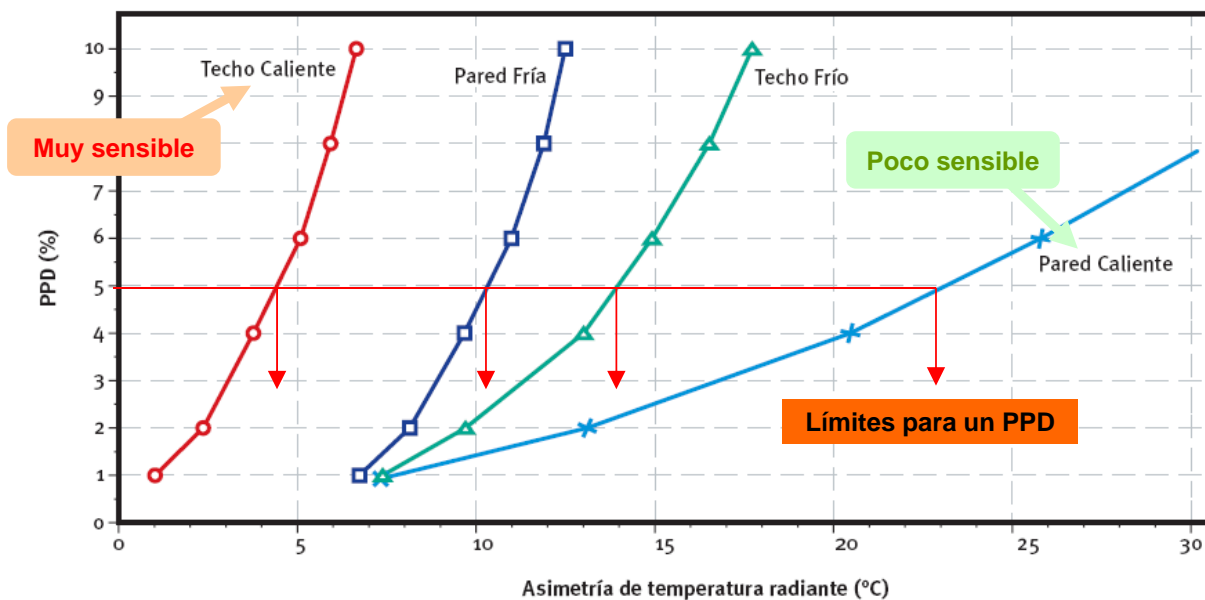
11.- Condiciones de Confort (XI)

Efecto de la T del suelo en el PPD



11.- Condiciones de Confort (XII)

Efecto de la asimetría en las T de los cerramientos



11.- Condiciones de Confort (XIII)

La Calidad del Aire: $PPI = 395 \cdot e^{1,83 \cdot q^{0,25}}$ siendo q el caudal de aire exterior (l/s)

Velocidad del aire: $\left\{ \begin{array}{l} \bullet \text{ Mezcla: } V < \frac{t_{amb}}{100} - 0,07 \\ \bullet \text{ Desplazamiento: } V < \frac{t_{amb}}{100} - 0,1 \end{array} \right.$

Molestia por las corrientes de aire DR (Draught Rating)

$DR = (34 - t_{amb})(v - 0,05)^{0,62}(0,37 V Tu + 3,14)$ $\left\{ \begin{array}{l} \bullet \text{ Mezcla: } 30\% < DR < 60\% \\ \bullet \text{ Despl. : } DR < 30\% \end{array} \right.$

• Intensidad de la turbulencia: $Tu = \frac{Sv}{\bar{v}} 100$

• Velocidad media del aire: $\bar{v} = \frac{1}{n} \sum_1^n v$

• Desviación estandar: $Sv = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_1^n (v - \bar{v})^2}$

11.- Condiciones de Confort (XIV)

Definición completa de las Categorías

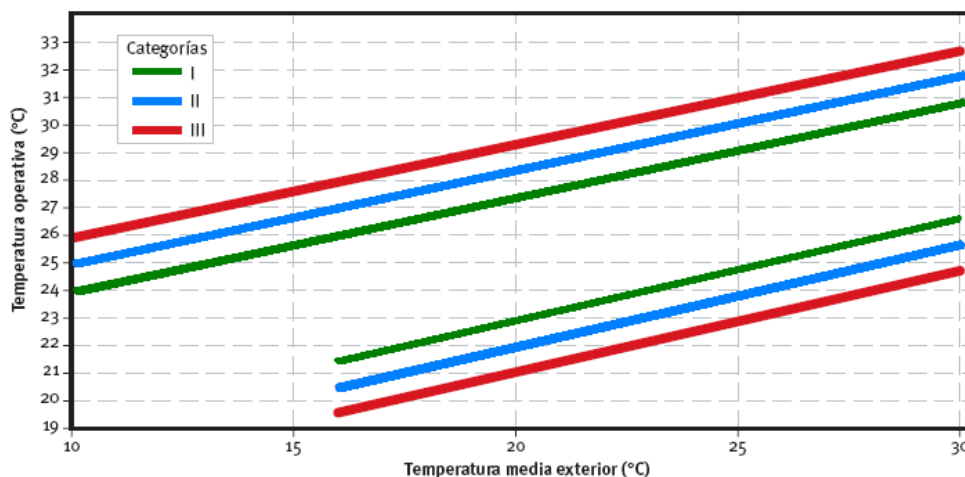
Categoría	Estado Térmico del cuerpo en su conjunto		Malestar Térmico Local (%)			
	PPD	PMV	Corrientes DR	Gradiente Vertical	Suelo frío o caliente	Asimetría radiante
A	< 6	- 0,2 a 0,2	< 15	< 3	< 10	< 5
B	< 10	-0,5 a 0,5	< 20	< 5	< 10	< 5
C	< 15	-0,7 a 0,7	<25	< 10	< 15	< 10

Parámetros combinados para mantener la Categoría:

Categoría	Gradiente vertical	Suelo frío o caliente	Asimetría de la temperatura radiante (°C)			
			Tech. Cal.	Pared Frla	T. Frío	P. Cal.
A	< 2 (°C/m)	19 a 29 (°C)	< 5	< 10	< 14	< 23
B	< 3 (°C/m)	19 a 29 (°C)	< 5	< 10	< 14	< 23
C	< 4 (°C/m)	17 a 31 (°C)	< 7	< 13	< 18	< 35

11.- Condiciones de Confort (XV)

T operativa para mantener la Categoría:



Bibliografía del Tema (I)



Air Humidification
R. Lazzarin, Luigi Nalini

Manual de Climatización, T1
J.M. Pinazo

DTIE 3.01 Psicrometria
J.M. Pinazo



Fundamentos de Climatización
ATECYR

Bibliografía del Tema (II)



DTIE 2.01 Calidad del Ambiente Térmico
A. Viti y J.M. Pinazo

DTIE 2.02 Calidad del Aire Interior
P. Pastor

Thermal Comfort
P.O. Fanger



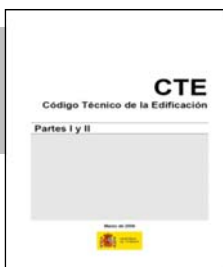
DTIE 10.04 Piscinas Cubiertas Climatizadas
Pedro Torrero Gras

Bibliografía del Tema (III)



UNE EN 7730 2006
Ergonomía del Ambiente Térmico

Comentarios al RITE 2007
IDAE



Documento Básico HE
Ahorro de energía

Código Técnico de la Edificación
HE, Ahorro de Energía
Ministerio de Vivienda

Revistas nacionales:

- El Instalador
- Montajes e Instalaciones

