

T2.- 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.- 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

1.- Introducción

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

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

2

2.- 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 (va), y de la mezcla: el aire húmedo (ah)

Las propiedades del **aire seco**:

- El volumen:
$$V_{as} \left[\frac{m^3}{kg.as} \right] = \frac{R_{as} \left[\frac{29,27 m}{K} \right] T [K]}{p_{as} \left[\frac{kg}{m^2} \right]}$$

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

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

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

$$h_{as} = 0,24 T \left[\frac{kCal}{kg} \right] \quad 3$$

2.- Psicrometría (II)

Las propiedades del **vapor de agua**:

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

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

- La entalpía:
$$h_{va} = (595 + 0,46 T) w \left[\frac{kCal}{kg} \right]$$
 w la humedad específica del aire (kg va / kg as)
595 el calor latente de evaporación [kCal/kg]

Las propiedades de la **mezcla**:

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

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

- La entalpía:
$$h_{ah} = h_{as} + h_{va} = (0,24 T) + [(595 + 0,46 T) w] \left[\frac{kCal}{kg} \right]$$

2.- Psicrometría (III)

Aire saturado: $p_v = p_{sat}(T)$

Temperatura de rocío: $T \Rightarrow p_{actual} = p_{sat}$ (condensación de la humedad ambiente)

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

$$x = 0,622 \frac{p_v}{p - p_v}$$

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

$$\phi = HR = \frac{p_v}{p_{vs}} 100$$

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

$$h_s = h_0 + (w_s - w_0) h'_1$$

h'_1 (la del agua de aporte)

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

5

2.- Psicrometría (IV)

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

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

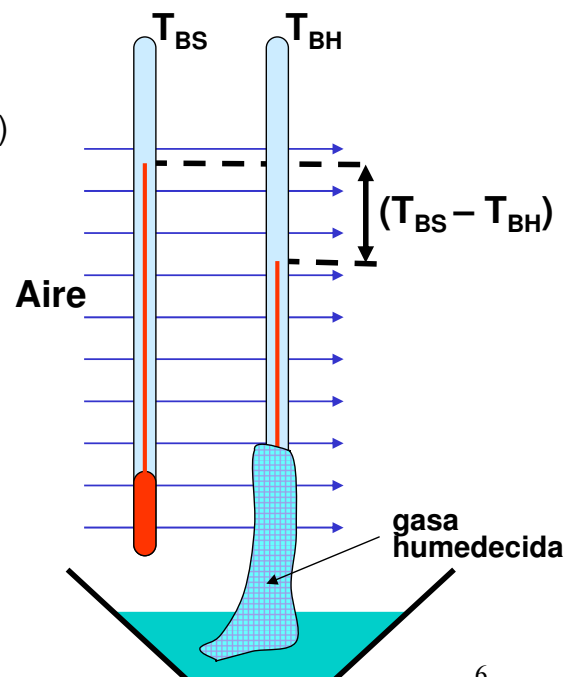
$T_{BS} = T_{BH} \Rightarrow$ aire saturado

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

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

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

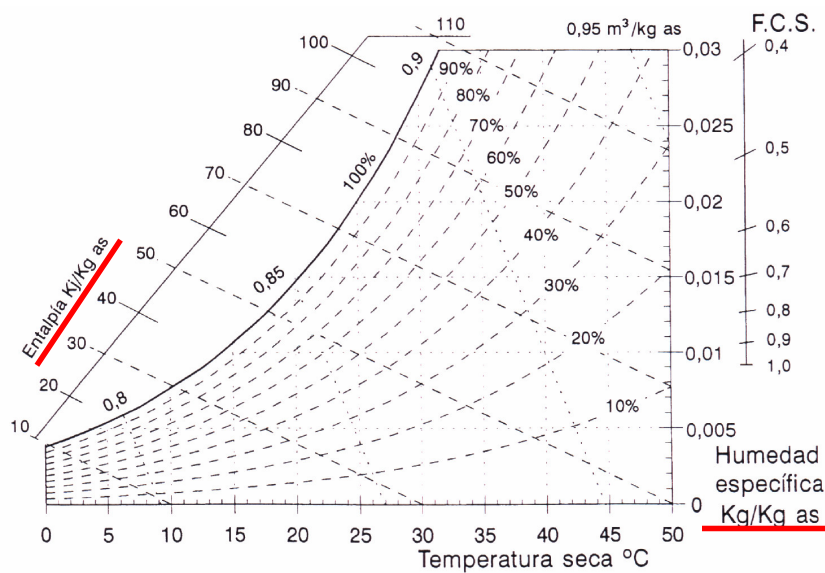
Si $(T_{BS} \approx T_{BH}) \Rightarrow$ HR alta



6

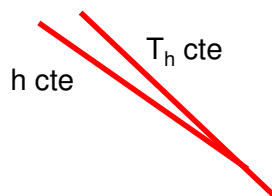
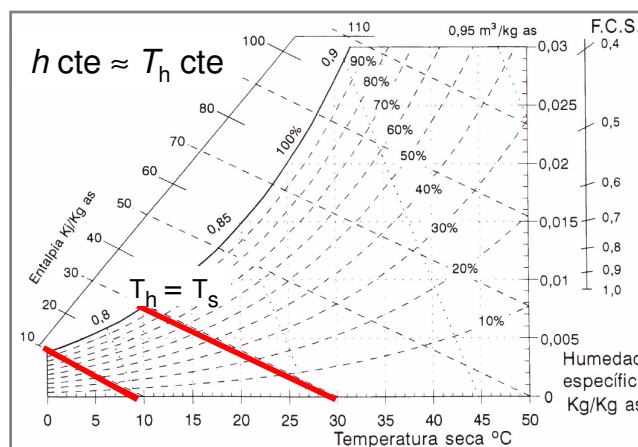
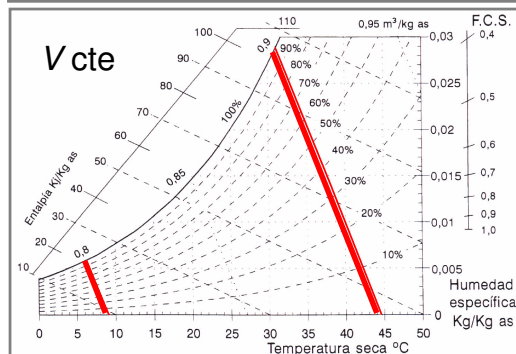
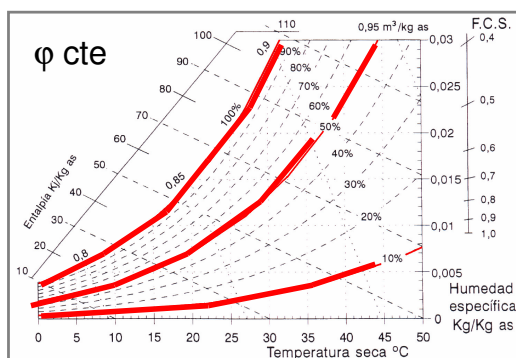
3.- El Diagrama Psicrométrico (I)

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



7

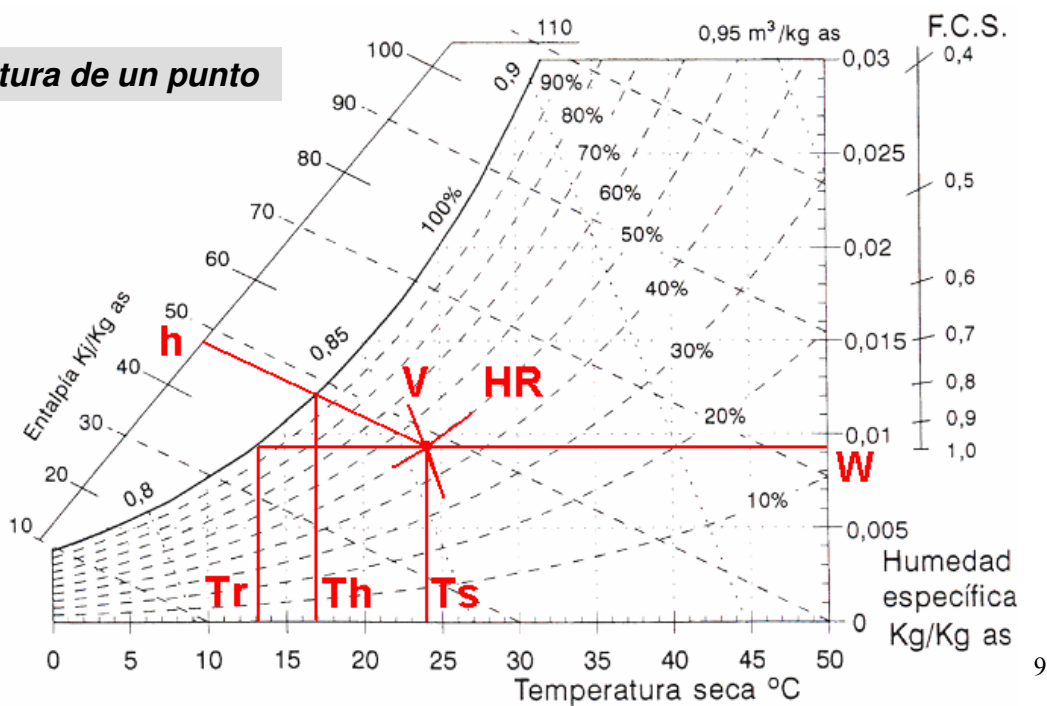
3.- El Diagrama Psicrométrico (II)



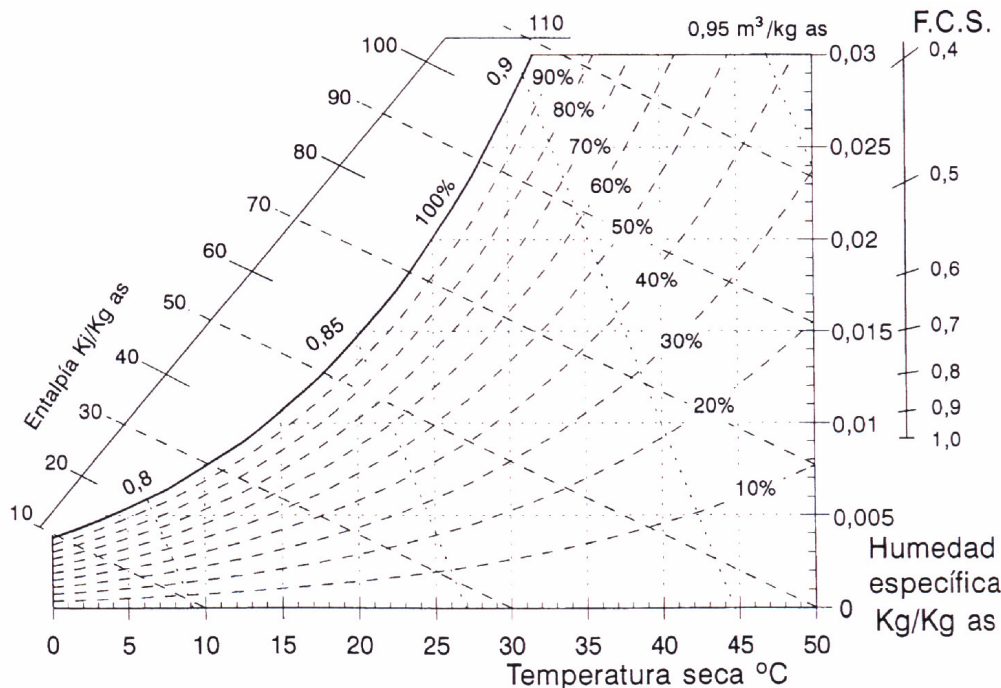
8

3.- El Diagrama Psicrométrico (III)

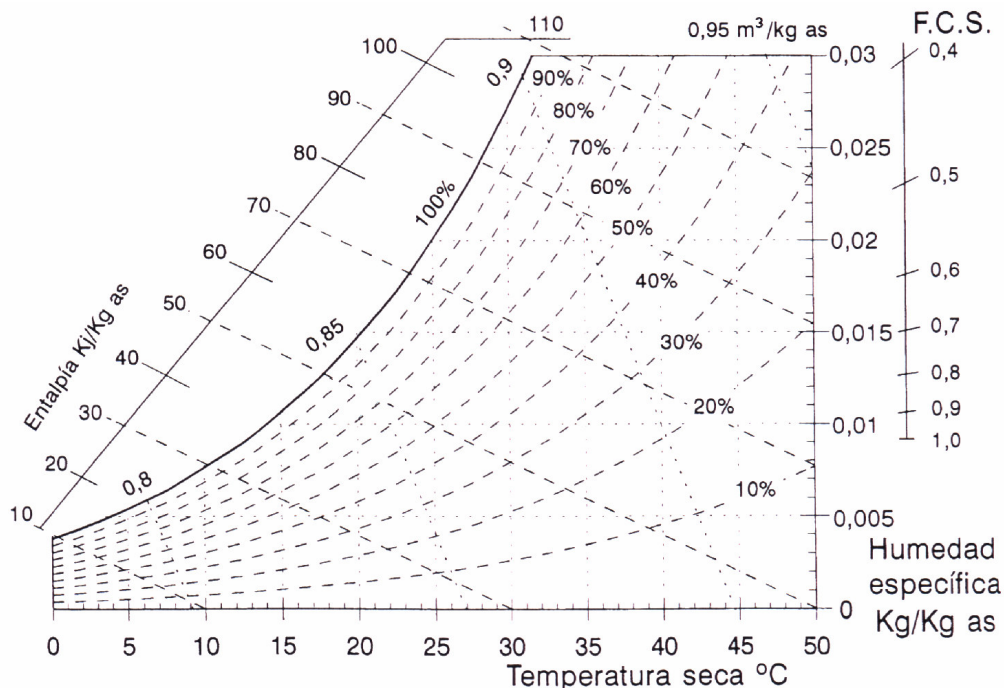
Lectura de un punto



Propiedades del aire húmedo a nivel del mar si su T_s es $30^{\circ}C$ y T_h $23^{\circ}C$



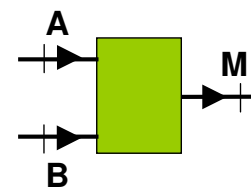
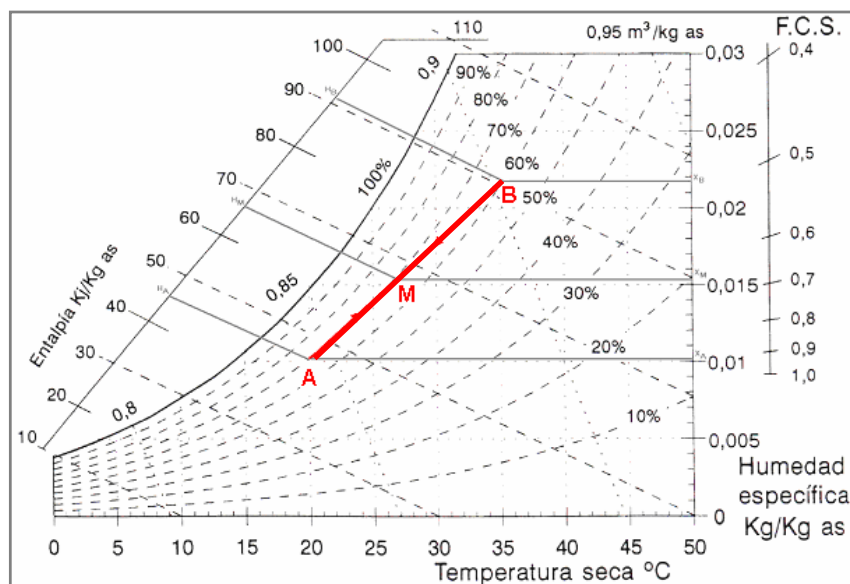
Propiedades del aire húmedo a nivel del mar si su T_s es 5°C y ϕ 85%



11

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 específica

$$G_A + G_B = G_M$$

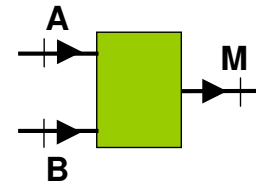
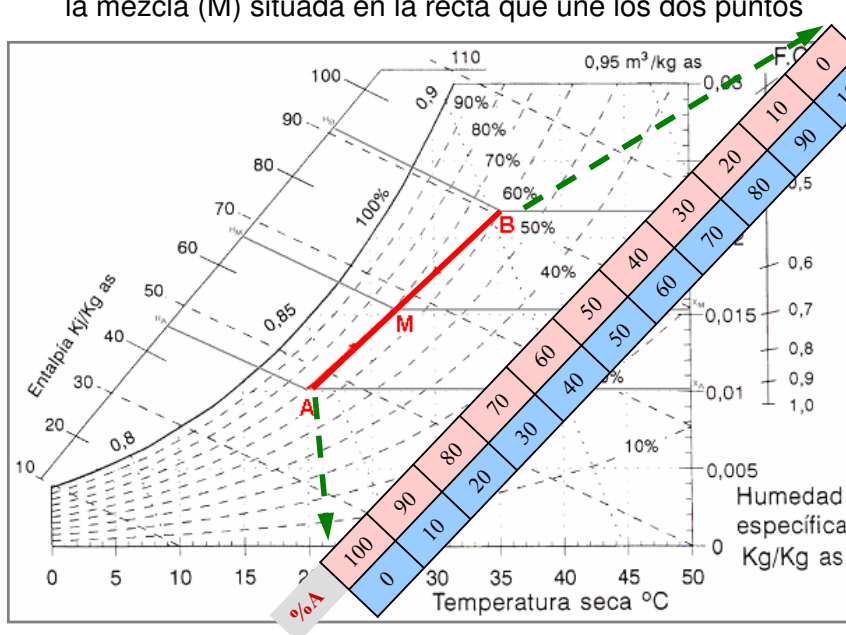
$$G_A w_A + G_B w_B = G_M w_M$$

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

12

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

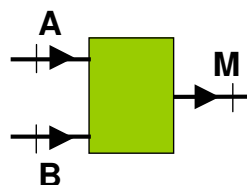
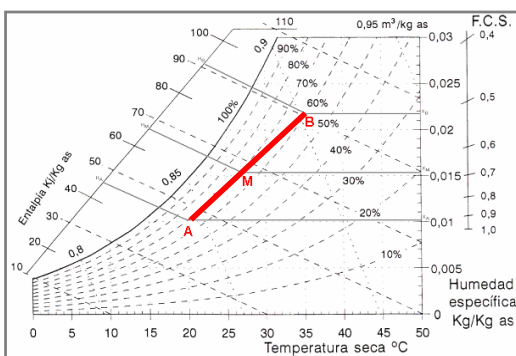


G es la masa de aire (kg)
w humedad específica

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

4.- Las Transformaciones Psicrométricas (I)

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



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

G es la masa de aire (kg)
w humedad específica
h entalpía (kJ/kg)

$$G_A + G_B = \frac{G_A w_A + G_B w_B}{w_M} \Rightarrow G_A (w_A - w_M) = G_B (w_M - w_B) \Rightarrow$$

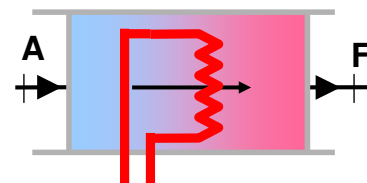
$$G_A + G_B = \frac{G_A h_A + G_B h_B}{h_M} \Rightarrow G_A (h_A - h_M) = G_B (h_M - h_B) \Rightarrow$$

$$\frac{G_A}{G_B} = \frac{w_M - w_B}{w_A - w_M}$$

$$\frac{G_A}{G_B} = \frac{h_M - h_B}{h_A - h_M} \approx \frac{T_M - T_B}{T_A - T_M}$$

4.- Las Transformaciones Psicrométricas (II)

Calentamiento sensible, no varia W
(paso por una batería caliente, resistencia eléctrica)

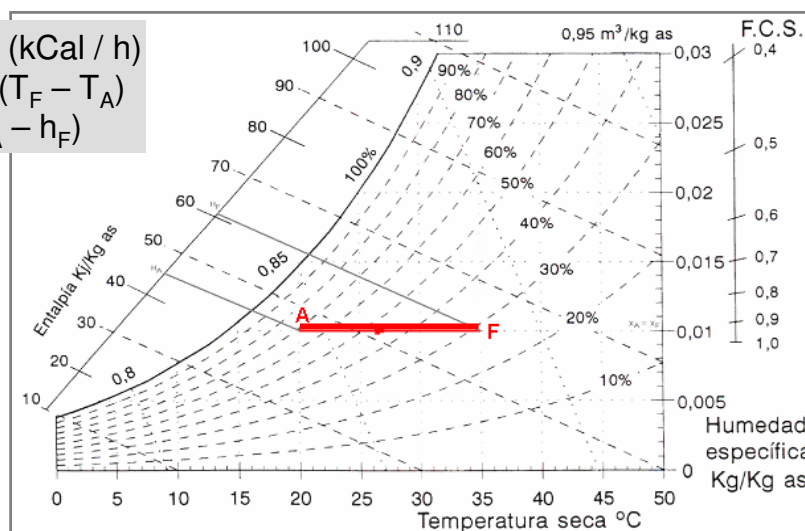
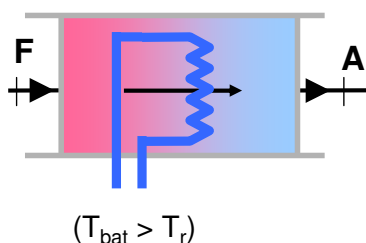


Enfriamiento sensible, sin deshumidificación
(batería fría a $T_{bat} > T_r$)

$$Q \text{ calor aportado (kCal / h)}$$

$$Q = 0,24 M_{\text{aire}} (T_F - T_A)$$

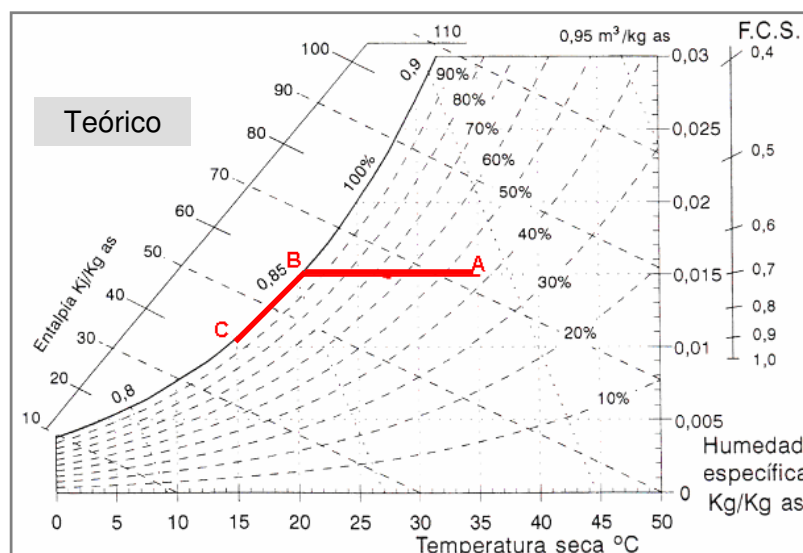
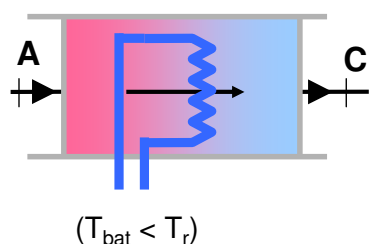
$$Q = M_{\text{aire}} (h_A - h_F)$$



4.- Las Transformaciones Psicrométricas (III)

Enfriamiento con deshumidificación
(paso por una batería $T_{bat} < T_r$)

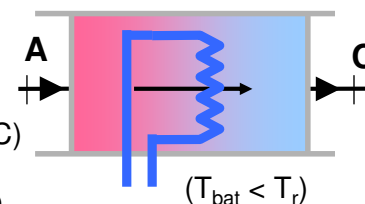
Enfriamiento sensible hasta sat ($A \Rightarrow B$) sigue por sat hasta T_{bat} (T_C)



4.- Las Transformaciones Psicrométricas (IV)

Enfriamiento con deshumidificación

Sólo una parte del aire entra en contacto con la batería (A → C)
Otra parte del aire bypassa (A); [Factor de Bypass (FB)]
Mezcla de la corriente de aire tratada (C) y no tratada (A) ⇒ D



$$Q_{\text{sustraido}} = M_{\text{aire}} (h_A - h_D)$$

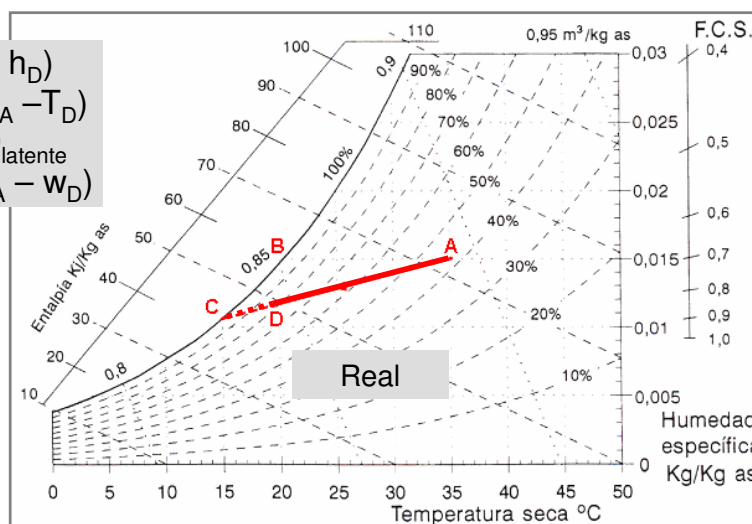
$$Q_{\text{sensible}} = 0,24 M_{\text{aire}} (T_A - T_D)$$

$$Q_{\text{sustraido}} = Q_{\text{sensible}} + Q_{\text{latente}}$$

$$Q_{\text{latente}} = 0,595 M_{\text{aire}} (w_A - w_D)$$

$$FB = \frac{M_{\text{aire no tratada}}}{M_{\text{aire total}}} \approx \frac{T_D - T_C}{T_A - T_C}$$

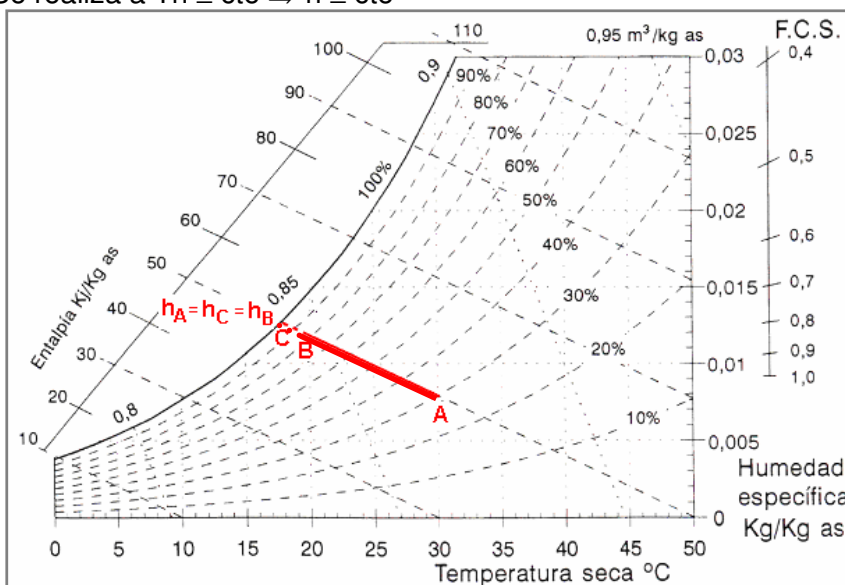
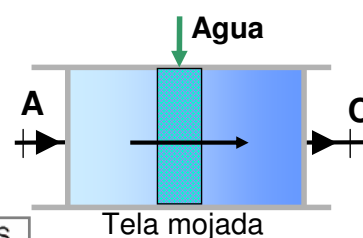
- nº filas
- Aletas
- Separación entre filas
- Separación entre aletas



4.- Las Transformaciones Psicrométricas (V)

Enfriamiento y humidificación

Pasando aire por pulverizadores de agua recirculada en una cámara térmicamente aislada
Se realiza a $T_h \cong \text{cte} \Rightarrow h \cong \text{cte}$



$T_C = T_h$ del aire y de equilibrio agua

Eficiencia de sat

$$E = \frac{T_A - T_B}{T_A - T_C}$$

4.- Las Transformaciones Psicrométricas (VI)

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

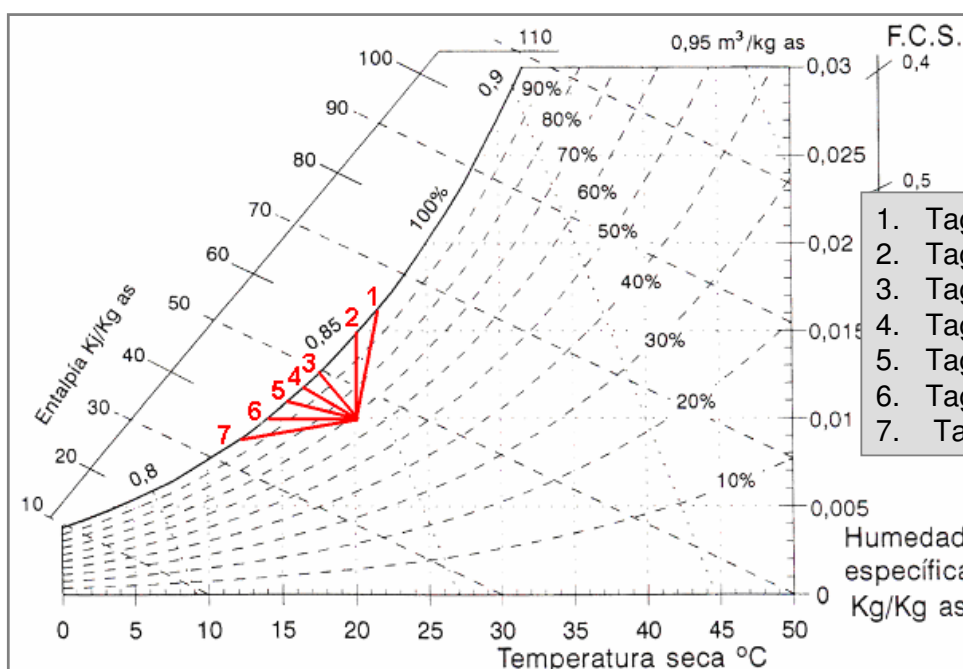
múltiples posibilidades f(T_s , T_h , T_{ag})

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

19

4.- Las Transformaciones Psicrométricas (VII)

Paso del aire por una cortina de agua (II):



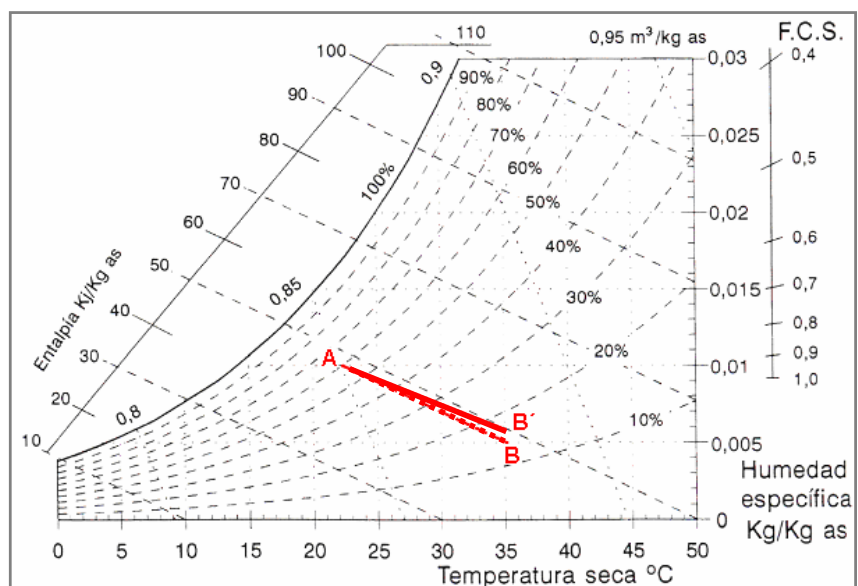
1. $T_{ag} > T_s$
2. $T_{ag} = T_s$
3. $T_{ag} < T_s$, $T_{ag} > T_h$
4. $T_{ag} = T_h$
5. $T_{ag} < T_h$, $T_{ag} > T_r$
6. $T_{ag} = T_r$
7. $T_{ag} < T_r$

20

4.- Las Transformaciones Psicrométricas (VIII)

Calentamiento con deshumidificación;

pasando el aire por un material absorbente sólido, el aire se calienta
h crece porque el absorbente libera algo del calor de condensación al aire



21

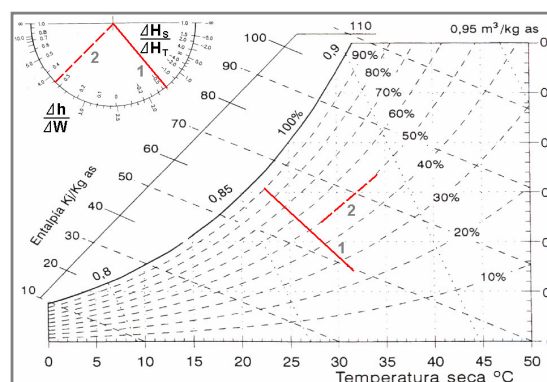
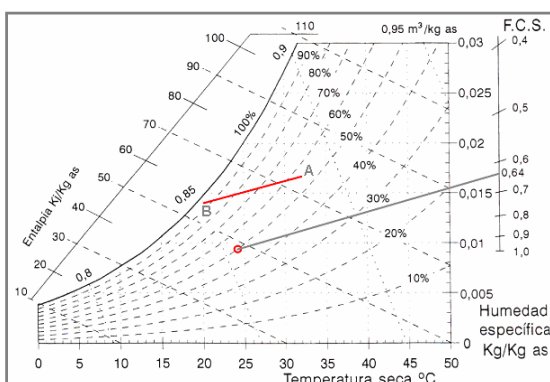
4.- Las Transformaciones Psicrométricas (IX)

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

El FCS: porcentaje de calor sensible sobre el calor total

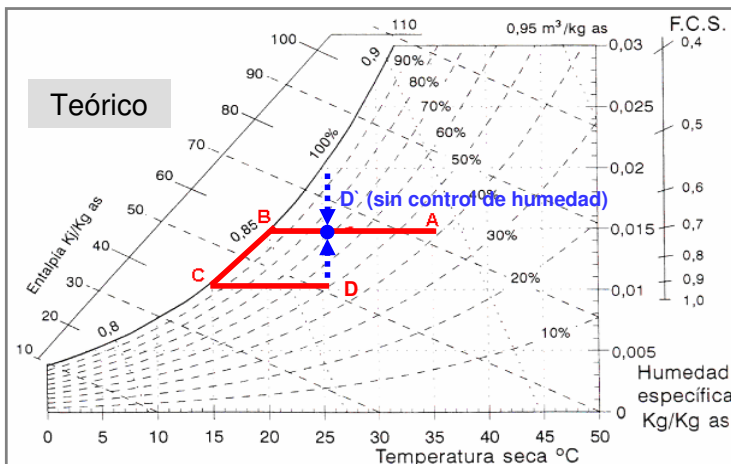
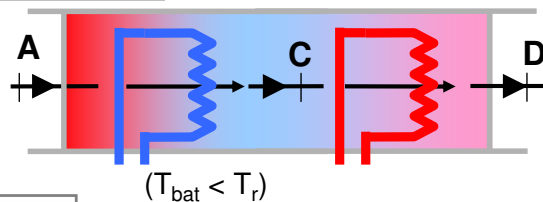
Una escala en la dcha del diagrama, referida a $T_s 24^\circ\text{C}$ y 50% HR

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



4.- Las Transformaciones Psicrométricas (X)

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



Gran gasto energético

$$Q_{AC} = m_{as} (h_A - h_C) \text{ Ref.}$$

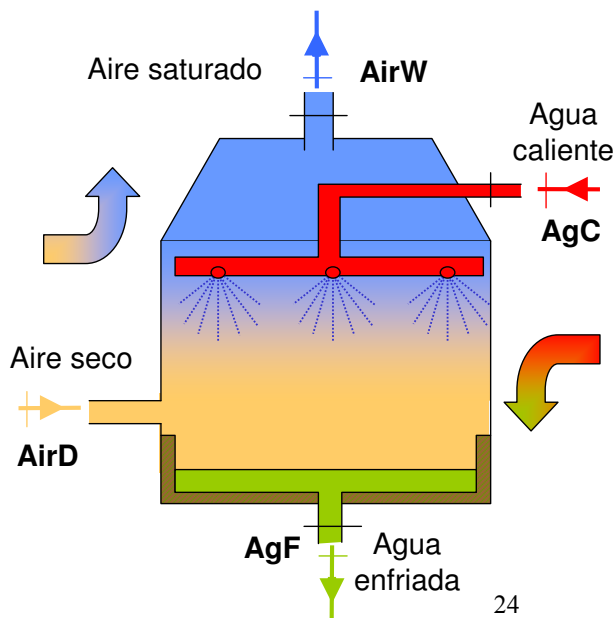
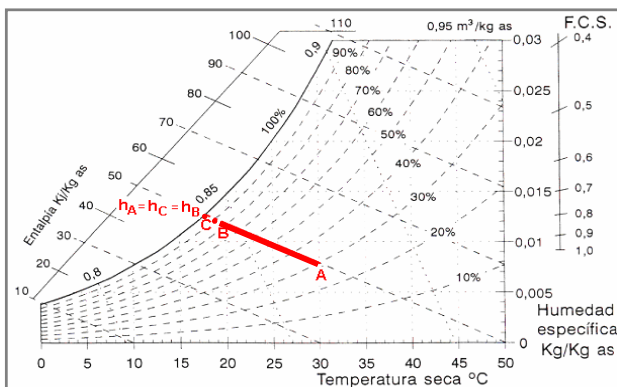
$$Q_{CD} = m_{as} (h_D - h_C) \text{ Cal.}$$

$h_A, h_C, \text{ y } h_D$ las del aire húmedo

$$Q_{AD'} = m_{as} (h_A - h_{D'}) \text{ Ref.}$$

4.- Las Transformaciones Psicrométricas (XI)

Torre de refrigeración
El aire se satura adiabáticamente



$$m_{as} (w_{AirW} - w_{AirD}) = m_{AgC} - m_{AgF}$$

$$Q_{Ag} = Q_{Air} \Rightarrow m_{as} c_{pas} \Delta T_{Air} = m_{ag} c_{pag} \Delta T_{ag}$$

4.- Las Transformaciones Psicrométricas (XII)

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

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

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

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

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

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
Mecla	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

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)

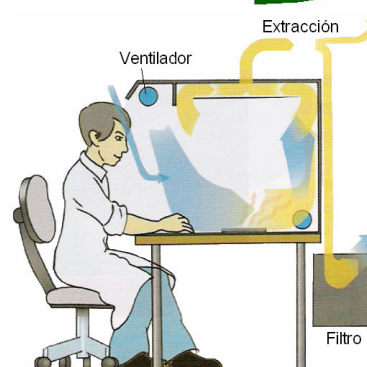
El aire AE3 y AE4 no se puede emplear, y además debe tener una expulsión propia

31

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



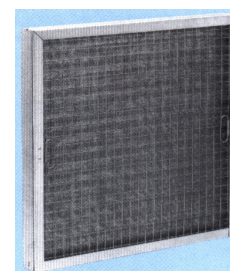
Aplicación	Velocidad de captación m/s
Campana de cocina doméstica	0,15-0,20
Campana de cocina comercial	0,20-0,25
Cubeta de evaporación	0,25-0,50
Desengrase	0,25-0,50
Soldadura, decapado	0,50-1
Galvanización	0,50-1
Cabina de pintura	0,40-1
Esmerilado, rectificación	2,50-10

32

7.- Filtración del Aire (I)

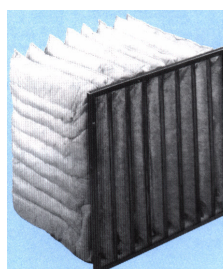
Eliminar las *impurezas*, olores, ...

- 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

33

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

34

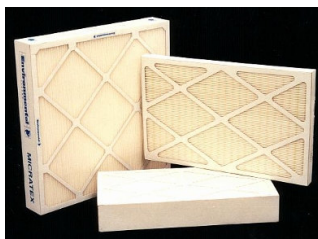
7.- Filtración del Aire (III)

Clasificación de Filtros por su forma:

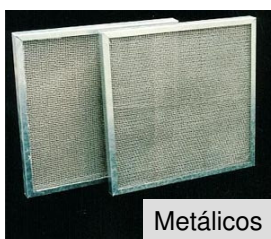
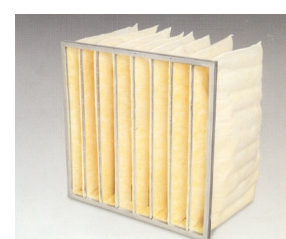
- Panel plano



- Panel Plisado

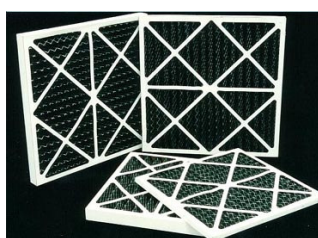


- Bolsas



Metálicos

- Carbón Activado



- HEPA



35

- 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		$\leq A_m \leq$	65
G2	EU 2	65	$\leq A_m \leq$	80
G3	EU 3	80	$\leq A_m \leq$	90
G4	EU 4	90	$\leq A_m \leq$	
F5	EU 5			40 $\leq E_m \leq$ 60
F6	EU 6			60 $\leq E_m \leq$ 80
F7	EU 7			80 $\leq E_m \leq$ 90
F8	EU 8			90 $\leq E_m \leq$ 95
F9	EU 9			95 $\leq E_m \leq$
	EU 10	99,9	$\leq E_{dop}$	
	EU 11	99,97	$\leq E_{dop}$	
	EU 12	99,99	$\leq E_{dop}$	
	EU 13	99,9995	$\leq E_{dop}$	
	EU 14	99,99995	$\leq E_{dop}$	

7.- Filtración del Aire (V)

El RITE marca la calda de la filtración previa requerida

Filtración Previa	Calidad del aire interior			
Calidad del aire exterior	IDA 1	IDA 2	IDA 3	IDA 4
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
----	----	----	----

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**

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

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

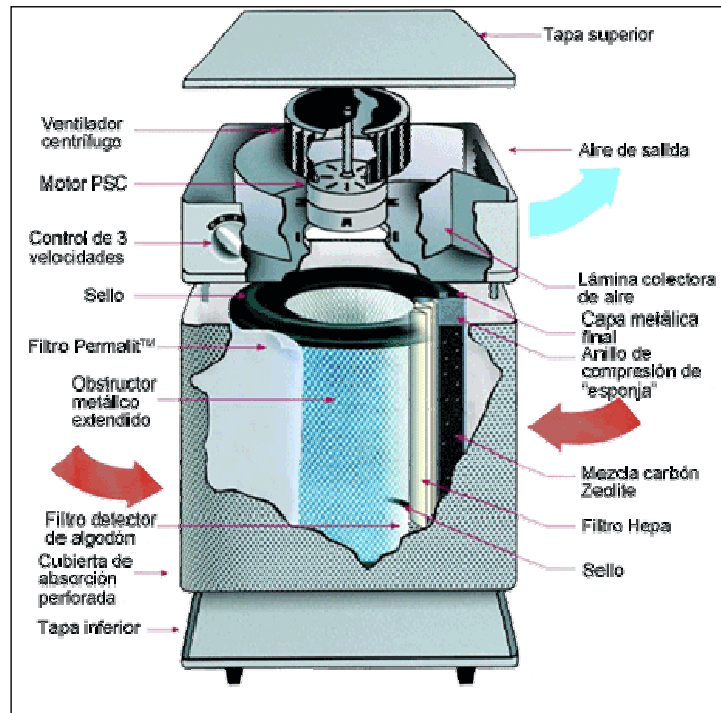
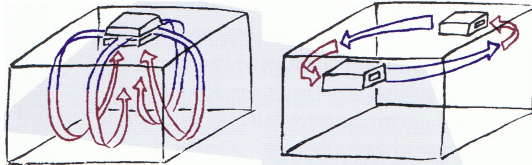
- Asegurar estanquidad en el marco del filtro
- Elementos de protección para los operarios
- Recoger el filtro
- Cuidado cuando en la instalación el aire entra directamente del local al climatizador



19. 5. 2000

7.- Filtración del Aire (VII)

Purificadores Locales de aire



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

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

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

41

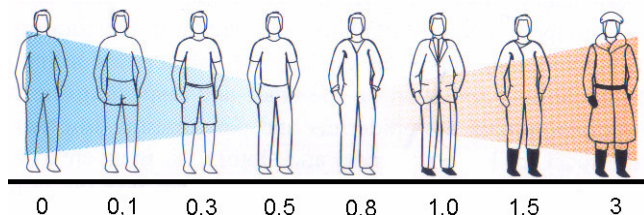
9.- Equilibrio Térmico entre el Hombre y el Edificio (I)

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)

42

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 (Qp) y por la respiración (Qr):

$$M - W = Q_p - Q_r$$

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, nauseas, 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

45

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

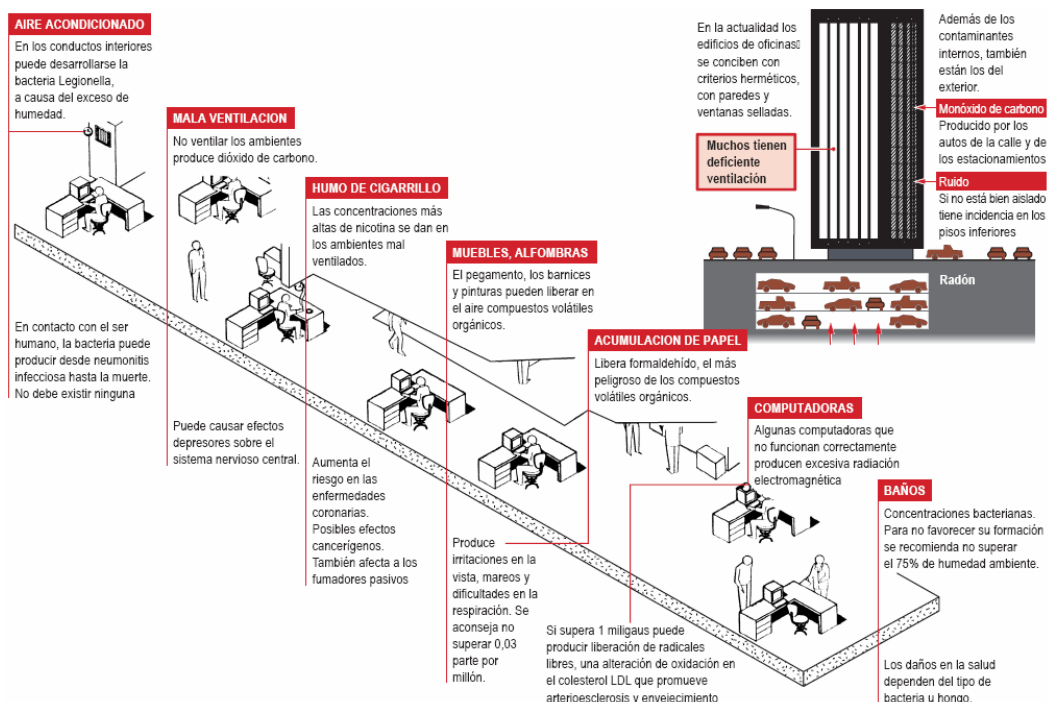
46

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

Sistema de Control de las Instalaciones

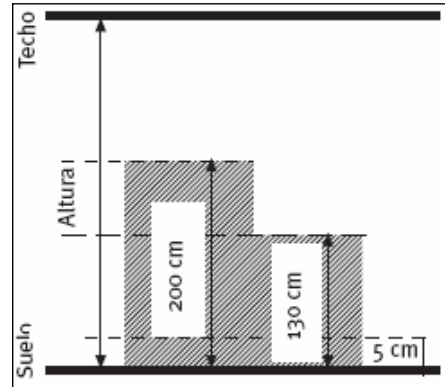
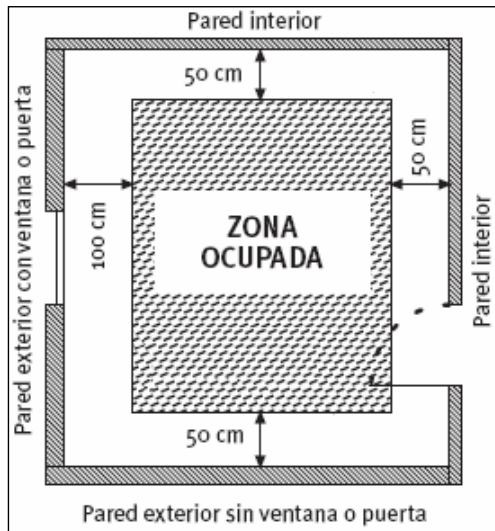
Categoría	Descripción	Repercusión en IAQ
IDA C1	Sin control, funcionamiento continuo	Coste de funcionamiento excesivo
IDA C2	Control manual	No garantiza IAQ, hay problemas con diferentes usuarios
IDA C3	Control temporizado	Puede tener un coste de funcionamiento excesivo
IDA C4	Control por presencia de 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 (I)

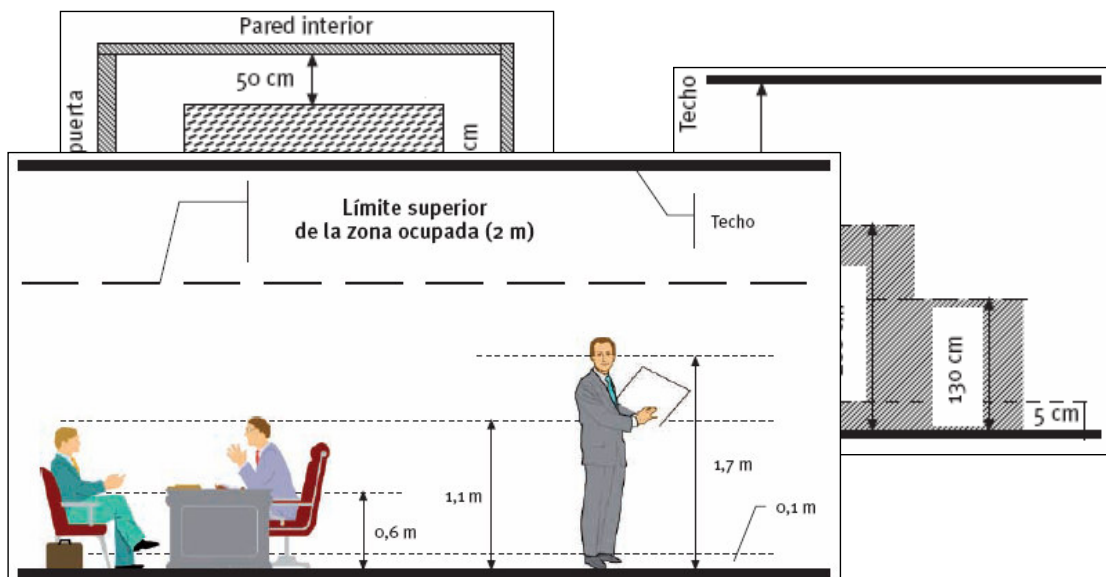
Zona Ocupada



49

11.- Condiciones de Confort (I)

Zona Ocupada



50

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

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

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 causa de disconfort

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

“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

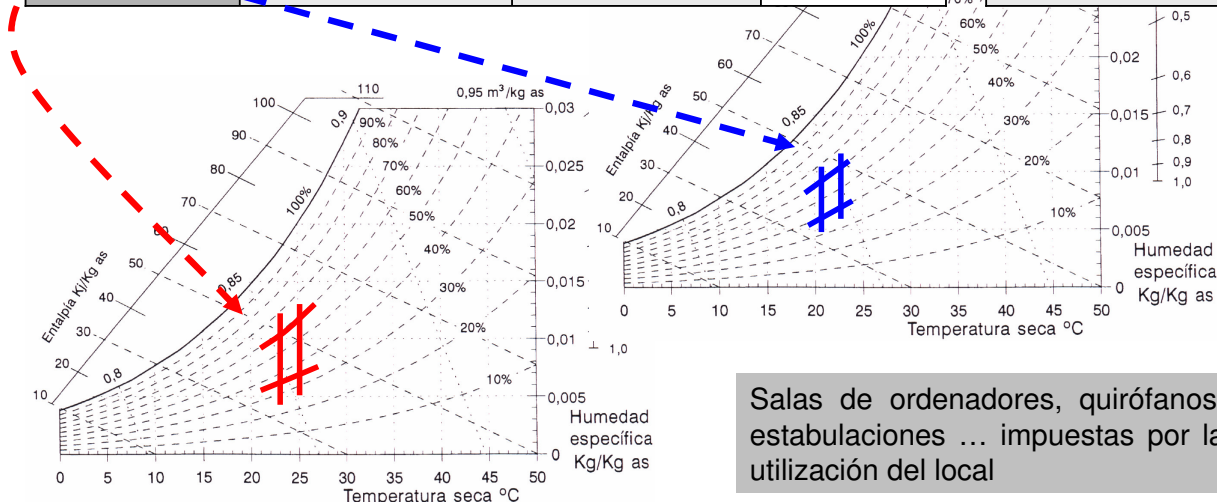
$$\left. \begin{matrix} T_1 \\ V_1 \\ HR_1 \end{matrix} \right\} \approx \left\{ \begin{matrix} T_{\text{efectiva}} \\ 0,2 \text{ m/s} \\ 50\% \end{matrix} \right\} \approx \left\{ \begin{matrix} T_2 \\ V_2 \\ HR_2 \end{matrix} \right\} \approx \dots$$

51

11.- Condiciones de Confort (III)

RITE: en zona ocupada

Estación	T operativa (°C)	HR (%)	1,2 met	V aire (m/s)
Verano	23 – 25	45 - 60	0,5 clo	0,18 – 0,24
Invierno	21 - 23	40 - 50	1 clo	0,15 – 0,20



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, ...)

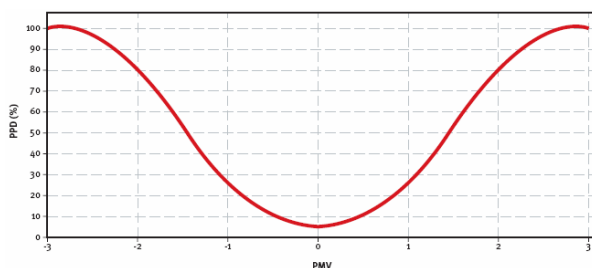
Porcentaje de Personas Insatisfechas (**PPI**), mínimo un 5% :

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

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

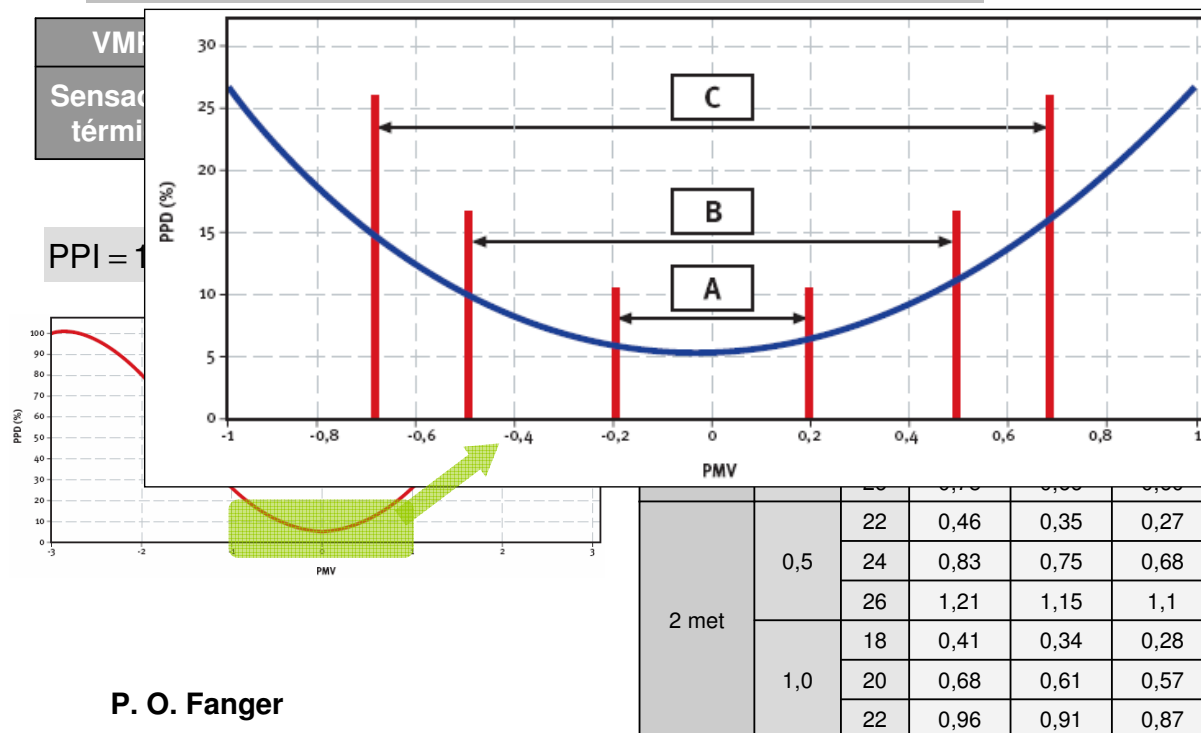
$$PPI = 100 - 95 e^{-0,03353 VMP^4 + 0,2178 VMP^2}$$



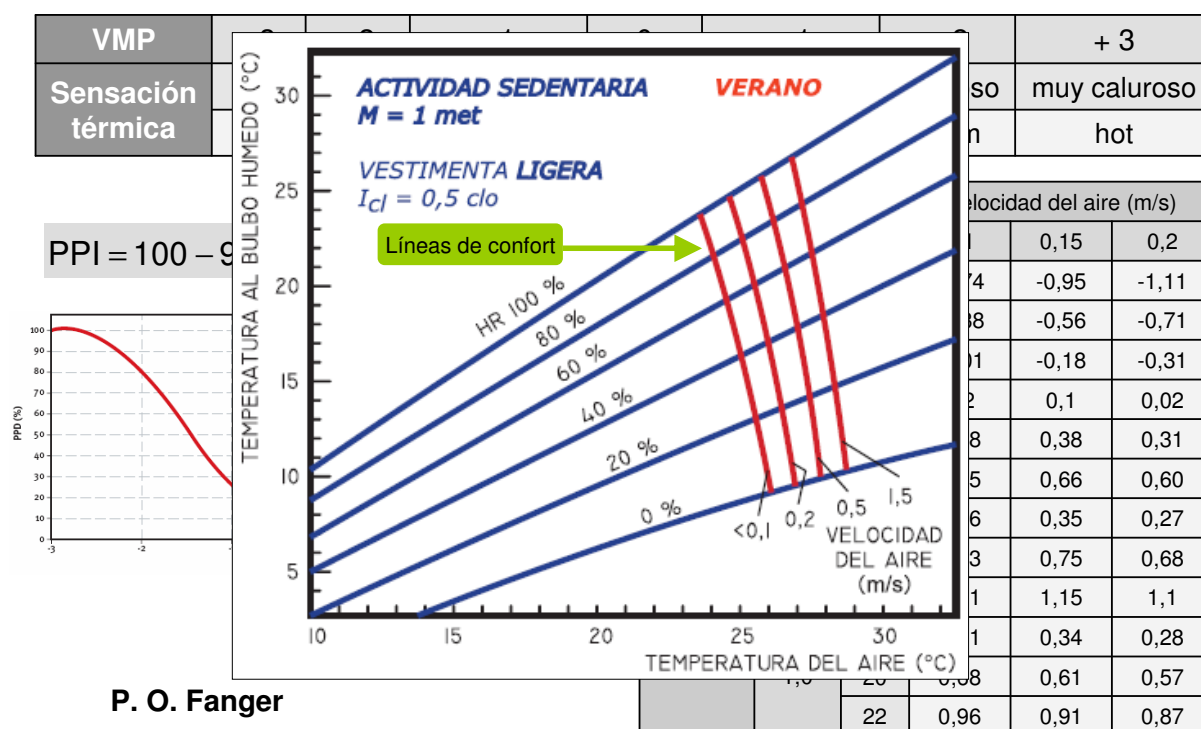
P. O. Fanger

	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

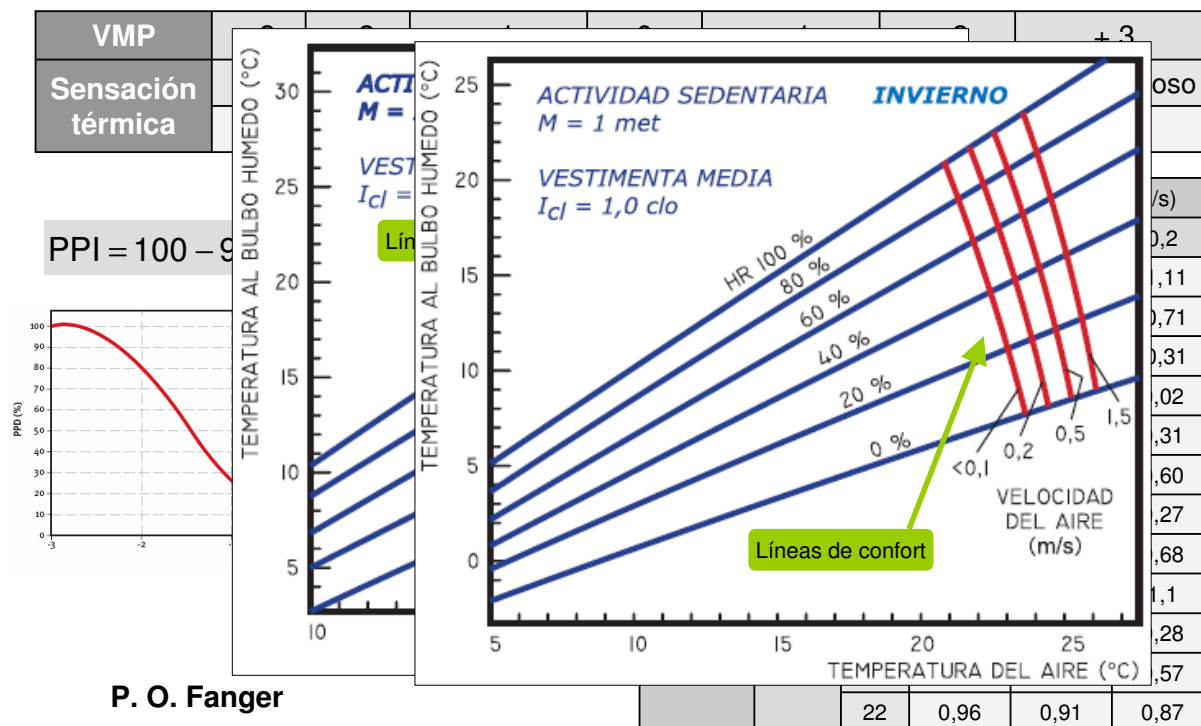
11.- Condiciones de Confort (IV)



11.- Condiciones de Confort (IV)



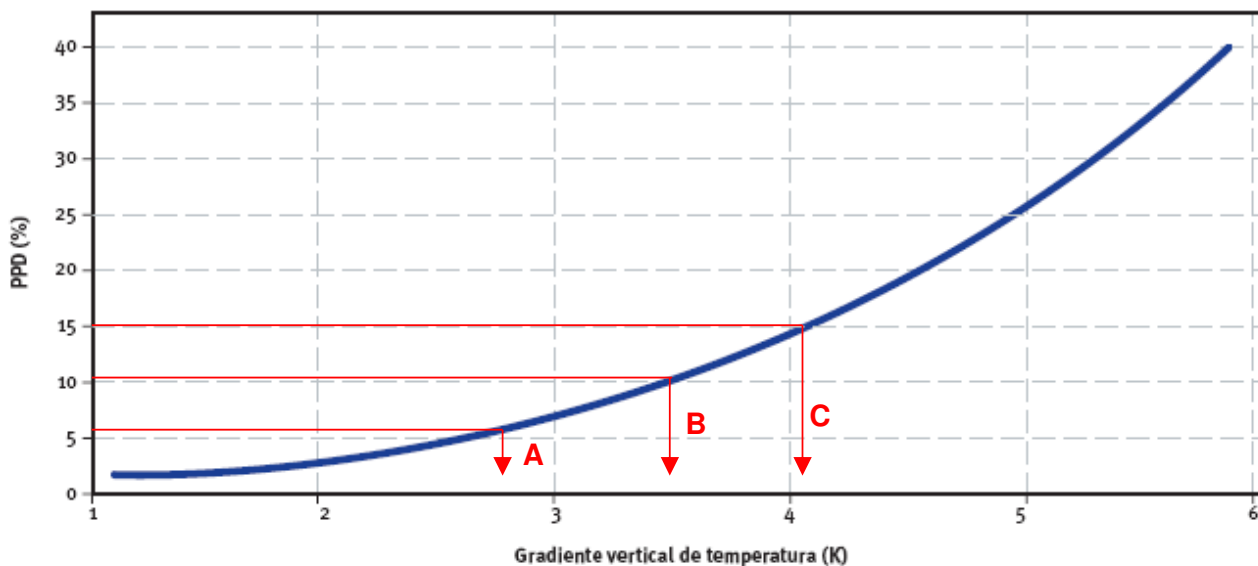
11.- Condiciones de Confort (IV)



P. O. Fanger

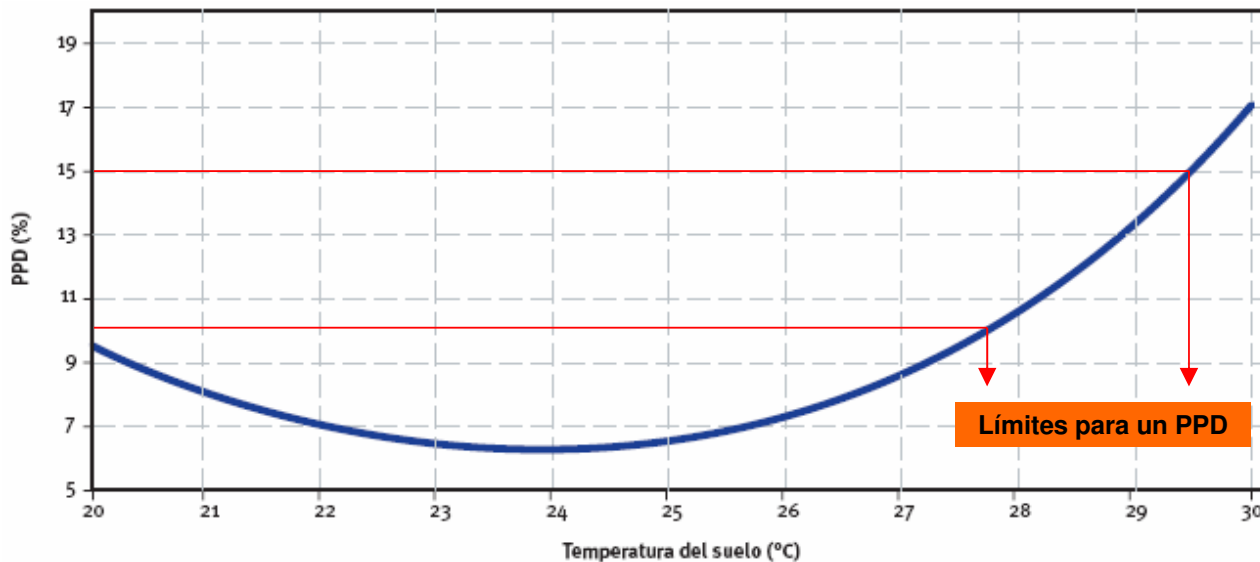
11.- Condiciones de Confort (V)

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



11.- Condiciones de Confort (VI)

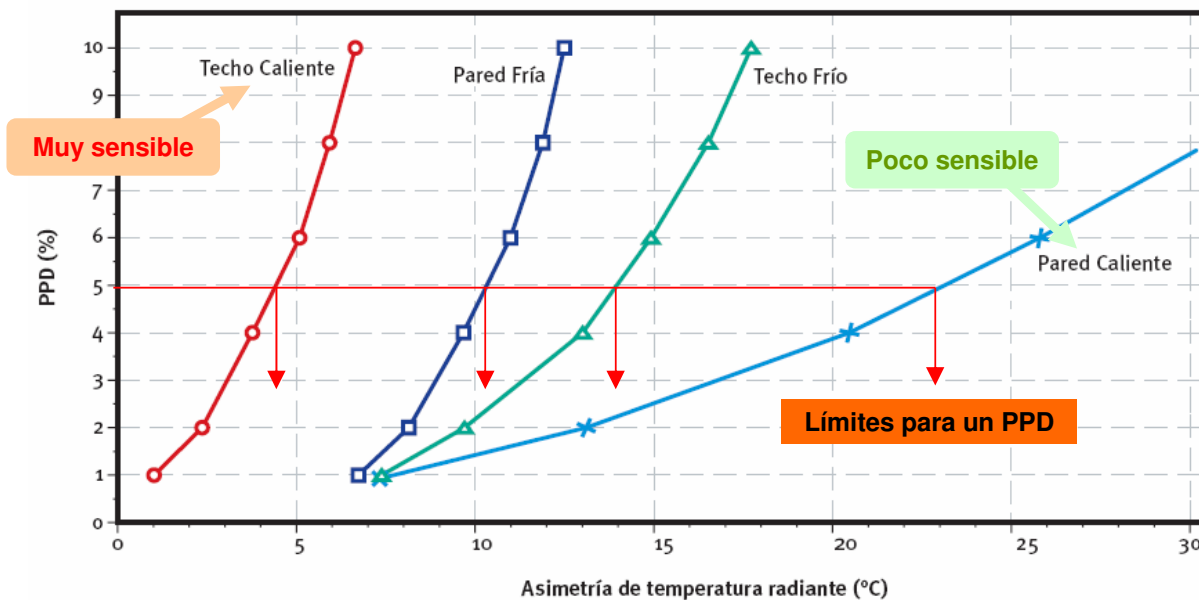
Efecto de la T del suelo en el PPD



59

11.- Condiciones de Confort (VII)

Efecto de la asimetría en las T de los cerramientos



11.- Condiciones de Confort (VIII)

Velocidad del aire:

- Mezcla: $V < \frac{t_{amb}}{100} - 0,07$
- Desplazamiento: $V < \frac{t_{amb}}{100} - 0,1$

Molestia por las corrientes de aire DR (Draught Rating)

$DR = (34 - t_{amb})(v - 0,05)^{0,62}(0,37 V Tu + 3,14)$

- Mezcla: 30% < DR < 60%
- Despl. : DR < 30%

• 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 (IX)

Definición completa de las Categorías

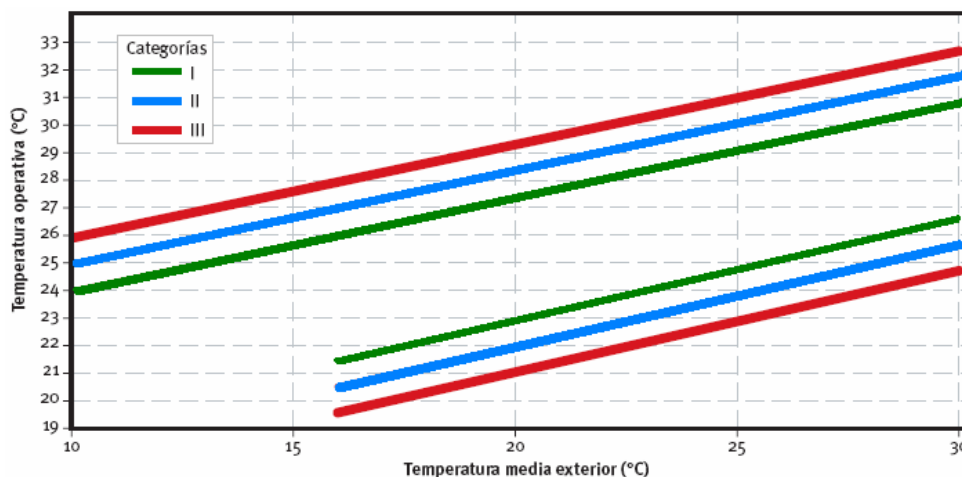
Categoría	Estado Térmico del cuerpo en su conjunto		Malestar Térmico Local (%)			
	PPD	PMV	Corrientes DR	Gradiente Vertical	Suelo frío o caliente	Asimetría radiante
A	< 6	- 0,2 a 0,2	< 15	< 3	< 10	< 5
B	< 10	-0,5 a 0,5	< 20	< 5	< 10	< 5
C	< 15	-0,7 a 0,7	<25	< 10	< 15	< 10

Parámetros combinados para mantener la Categoría:

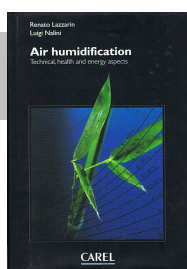
Categoría	Gradiente vertical	Suelo frío o caliente	Asimetría de la temperatura radiante (°C)			
			Tech. Cal.	Pared Frla	T. Frío	P. Cal.
A	< 2 (°C/m)	19 a 29 (°C)	< 5	< 10	< 14	< 23
B	< 3 (°C/m)	19 a 29 (°C)	< 5	< 10	< 14	< 23
C	< 4 (°C/m)	17 a 31 (°C)	< 7	< 13	< 18	< 35

11.- Condiciones de Confort (X)

T operativa para mantener la Categoría:



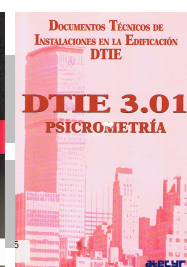
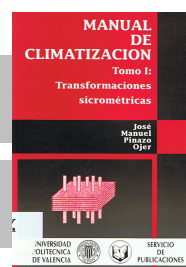
Bibliografía del Tema (I)



Air Humidification
R. Lazzarin, Luigi Nalini

Manual de Climatización, T1
J.M. Pinazo

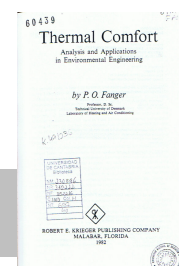
DTIE 3.01 Psicrometria
J.M. Pinazo



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



Bibliografía del Tema (II)

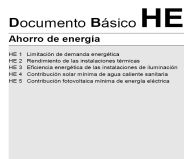


DTIE 10.04 Piscinas Cubiertas Climatizadas
Pedro Torrero Gras

Comentarios al RITE 2007
IDAE



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



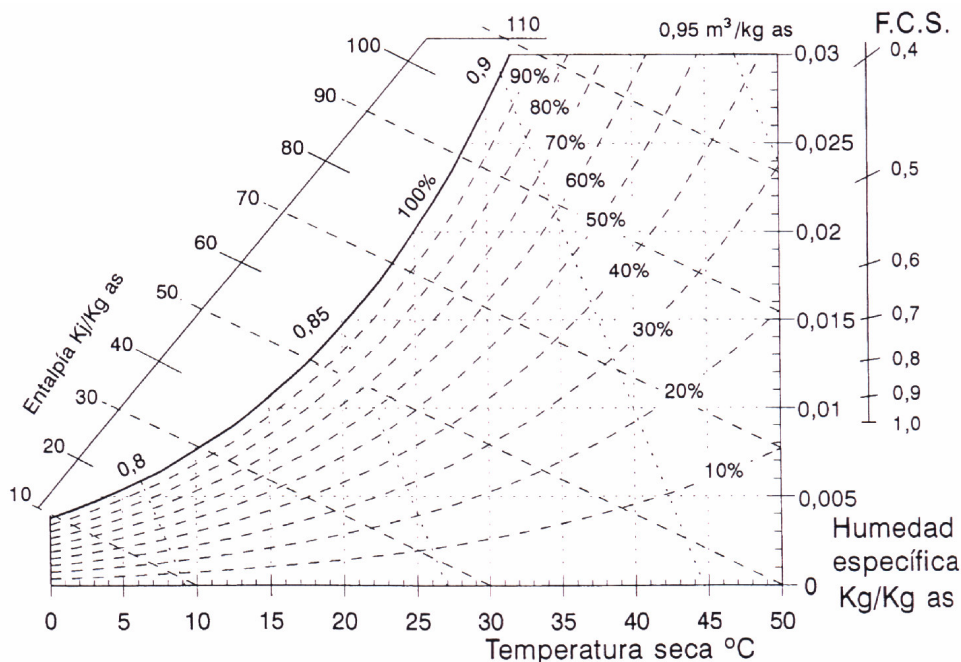
Revistas nacionales:

- **El Instalador**
- **Montajes e Instalaciones**



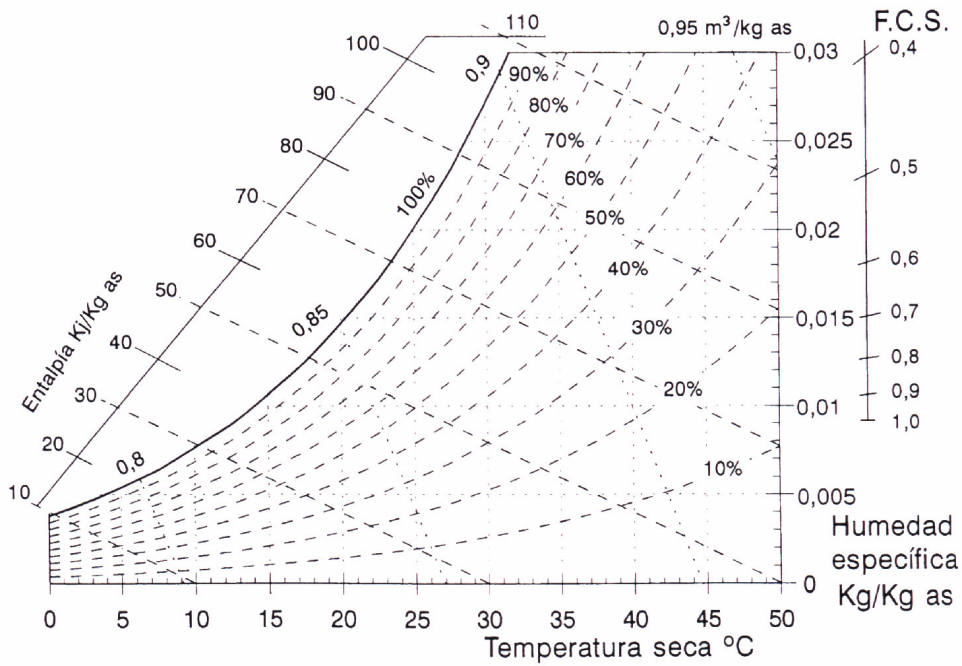
11.-Problemas de Psicrometría (I)

1.-Propiedades del aire húmedo a nivel del mar si su T seca es 30°C y la húmeda de 23°C:



11.- Problemas de Psicrometría (II)

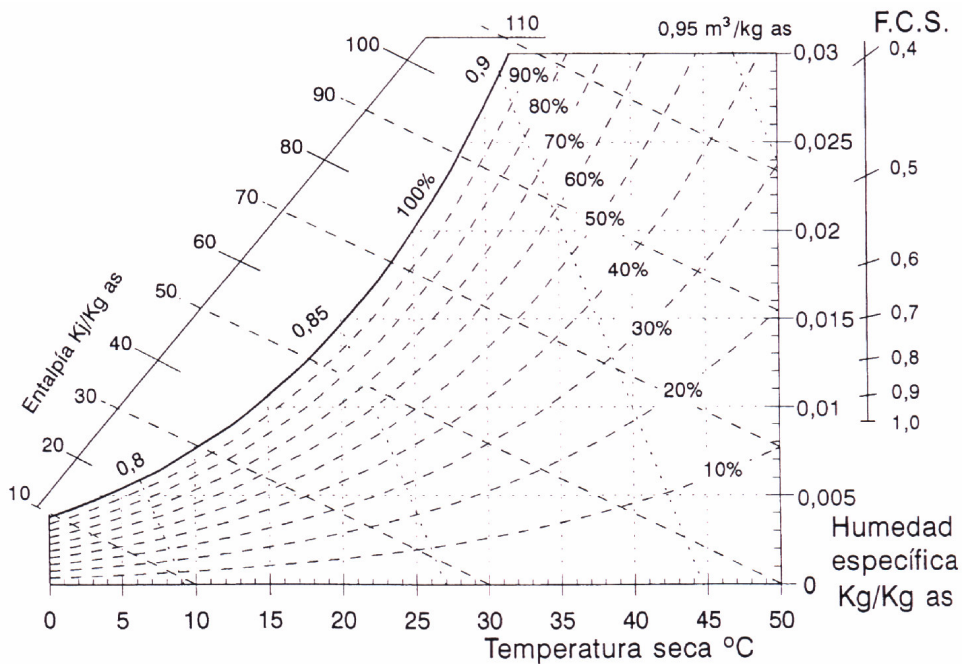
2.- Mezcla a nivel del mar de 2.000 kg/h de aire con T_s de 22°C y ϕ 60%, y 1.000 kg/h con T_s de 32°C y ϕ 70%



67

11.- Problemas de Psicrometría (III)

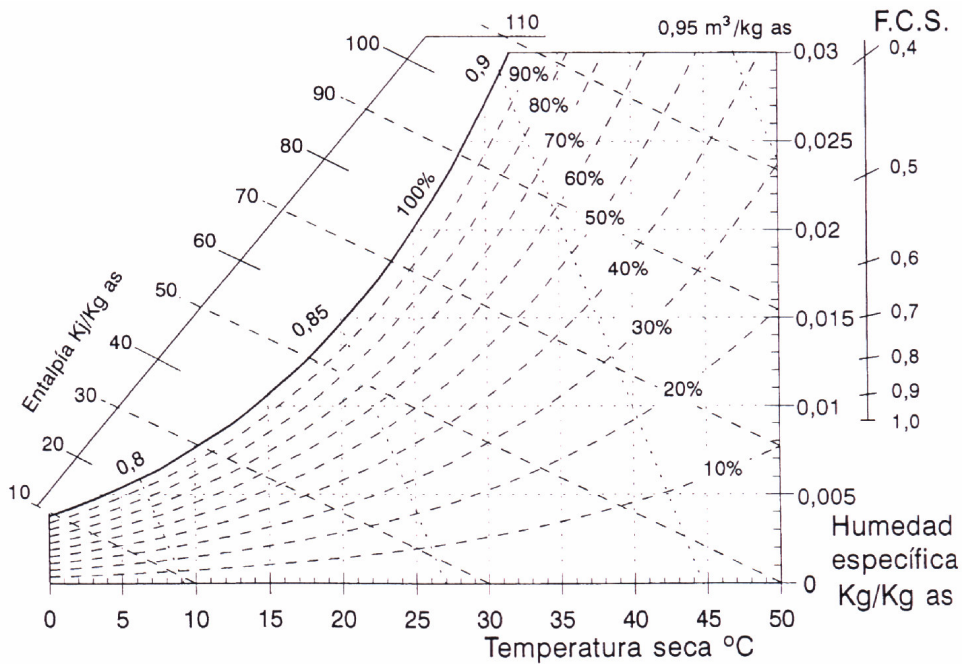
3.- Mezcla a nivel del mar de 2.000 kg/h de aire con T_s de 32°C y ϕ 90%, y 1.000 kg/h con T_s de 0°C y ϕ 80%



68

11.- Problemas de Psicrometría (IV)

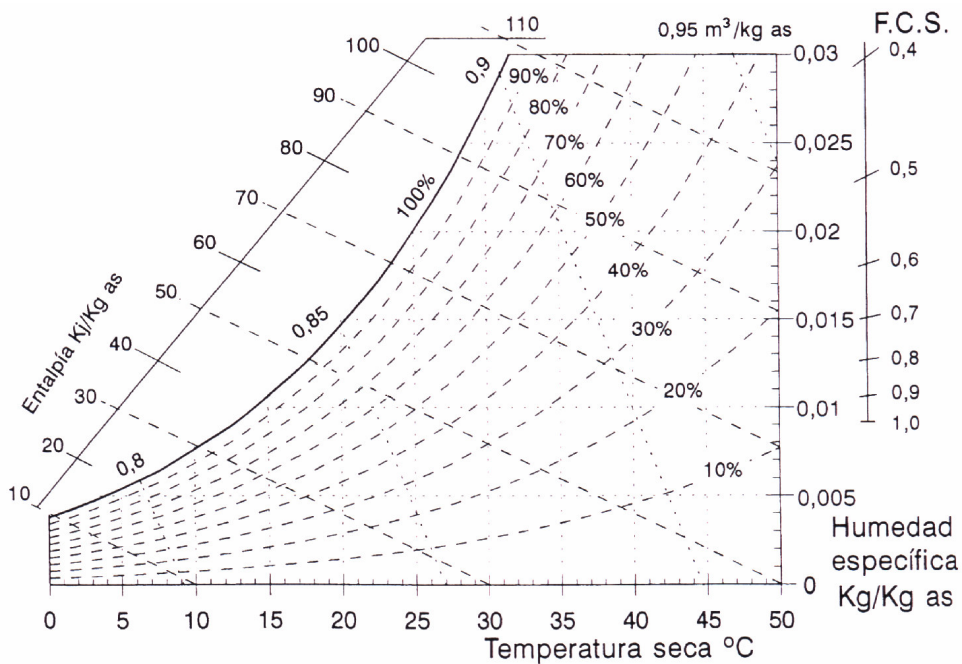
4.-Pasar una corriente de aire de T_s de 25°C y ϕ 60% por una batería fría a 10°C y factor de bypass de 10%



69

11.- Problemas de Psicrometría (V)

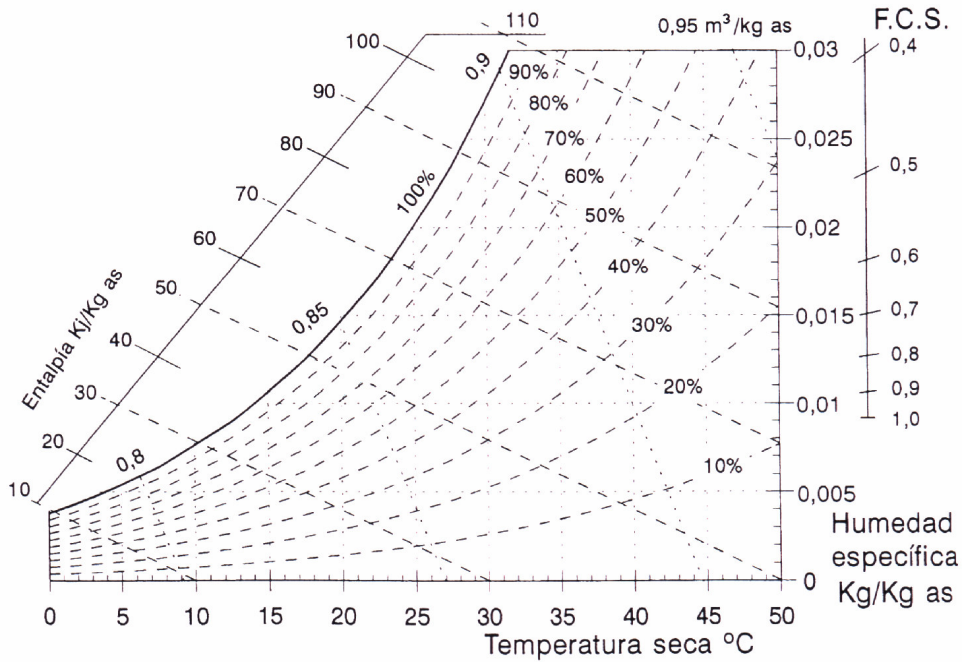
5.-Donde se deben encontrar las condiciones de impulsión de aire en un local cuyas condiciones sean de T_s de 23°C y ϕ de 60% si su carga sensible es 21 kW siendo la total de 30 kW



70

11.- Problemas de Psicrometría (VI)

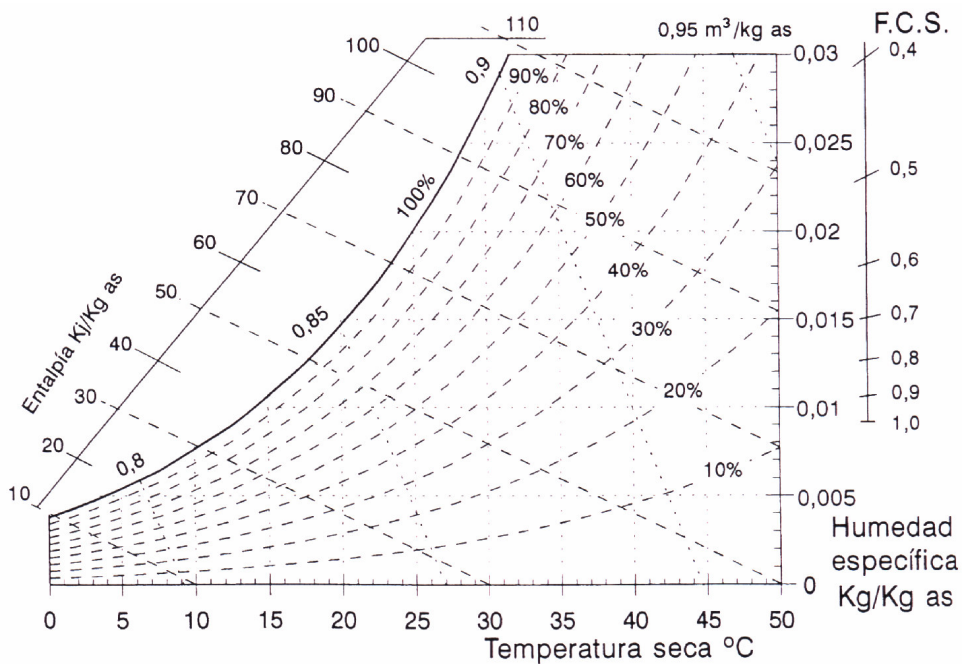
6.-Calcular las condiciones del aire a la salida de una resistencia eléctrica de 15 kW, cuando se pasan 1.800 kg_{as} a T_s de 10°C y 6°C de T_h



71

11.- Problemas de Psicrometría (VII)

7.-Con que temperatura exterior se produce condensación en el interior de un cristal, si el aire interior está a: 1) 24°C y 50%, 2) 24°C y 70%, y 3) 20°C y 50%. $h_{c_{int}} = 10 \text{ W/m}^2\text{°C}$; $K_{cris} = 5 \text{ W/m}^2$



72