



upcomillas *es*

upcomillas *es*

## TEMA 11: INSTALACIONES DE CLIMATIZACIÓN Y VENTILACIÓN

Instalaciones Industriales

# TEMA 11: INSTALACIONES DE CLIMATIZACIÓN Y VENTILACIÓN

11.0 Introducción y Bases

11.1 Sistemas de Climatización

11.2 Tuberías y Conductos

# Aire húmedo, psicrometría

AIRE= Aire húmedo = Aire seco ( $N_2+O_2+Ar+CO_2+H_2...$ ) + Vapor de agua

**Psicrometría:** Disciplina que estudia las propiedades termodinámicas del aire

## Variables psicrométricas:

- **Presión total,  $p_t$  [Pa]:** presión del aire
- **Presión parcial de aire seco,  $p_{as}$  [Pa]**
- **Presión parcial del vapor de agua,  $p_v$  [Pa]**
- Sigue...

# Aire húmedo, variables psicrométricas

- **Temperatura seca**,  $T$  [°C]: la medida con un termómetro corriente (apantallado cuando la temperatura del entorno radiante es distinta a la del aire)
- **Temperatura de rocío**,  $T_r$  [°C]: a la que comienza a condensarse el vapor de agua por enfriamiento a presión constante
- **Temperatura húmeda**,  $T_h$  [°C]: la que resulta de la evaporación de una superficie mojada con agua y abundantemente ventilada. Se mide con un termómetro húmedo
- **Humedad específica**,  $w$  [kg<sub>v</sub>/kg<sub>as</sub>]: masa de vapor de agua por kg de aire seco
- **Humedad relativa**, HR [%]: cantidad de vapor de agua en el aire con relación a la que le cabe, o sea, mide el nivel de saturación de vapor de agua: está relacionada con la sensación de humedad del aire
- **Entalpía**,  $h$  [J/kg<sub>as</sub>]: energía térmica contenida en el aire que contiene 1 kilo de aire seco
- **Volumen específico del aire seco**,  $v_{as}$  [m<sup>3</sup>/kg<sub>as</sub>]: volumen ocupado por el aire que contiene 1 kg de aire seco

# Aire húmedo, relaciones entre variables

$$p_t = p_{as} + p_v$$

$$w \left[ \frac{\text{kg}_v}{\text{kg}_{as}} \right] = 0,622 \frac{p_v}{p_t - p_v}$$

$$HR = \frac{p_v}{p_{vs}} \quad p_{vs}: \text{presión de saturación del vapor de agua}$$

$$h \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{as}} \right] = 1,006 \cdot T + w(1,805 \cdot T + 2501)$$

$$\dot{m}_{as} \left[ \frac{\text{kg}_{as}}{\text{s}} \right] = \frac{Q}{v_{as}} = \frac{\dot{m}}{1 + w} \quad \begin{cases} \dot{m}_{as} & \text{gasto de aire seco} \\ Q & \text{caudal de aire húmedo} \\ \dot{m} & \text{gasto de aire} \end{cases}$$

$$\dot{Q}_{\text{SENSIBLE}} = c_p \dot{m}_{as} \Delta T \quad c_p = 1,024 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \quad \text{Calor específico del aire húmedo}$$

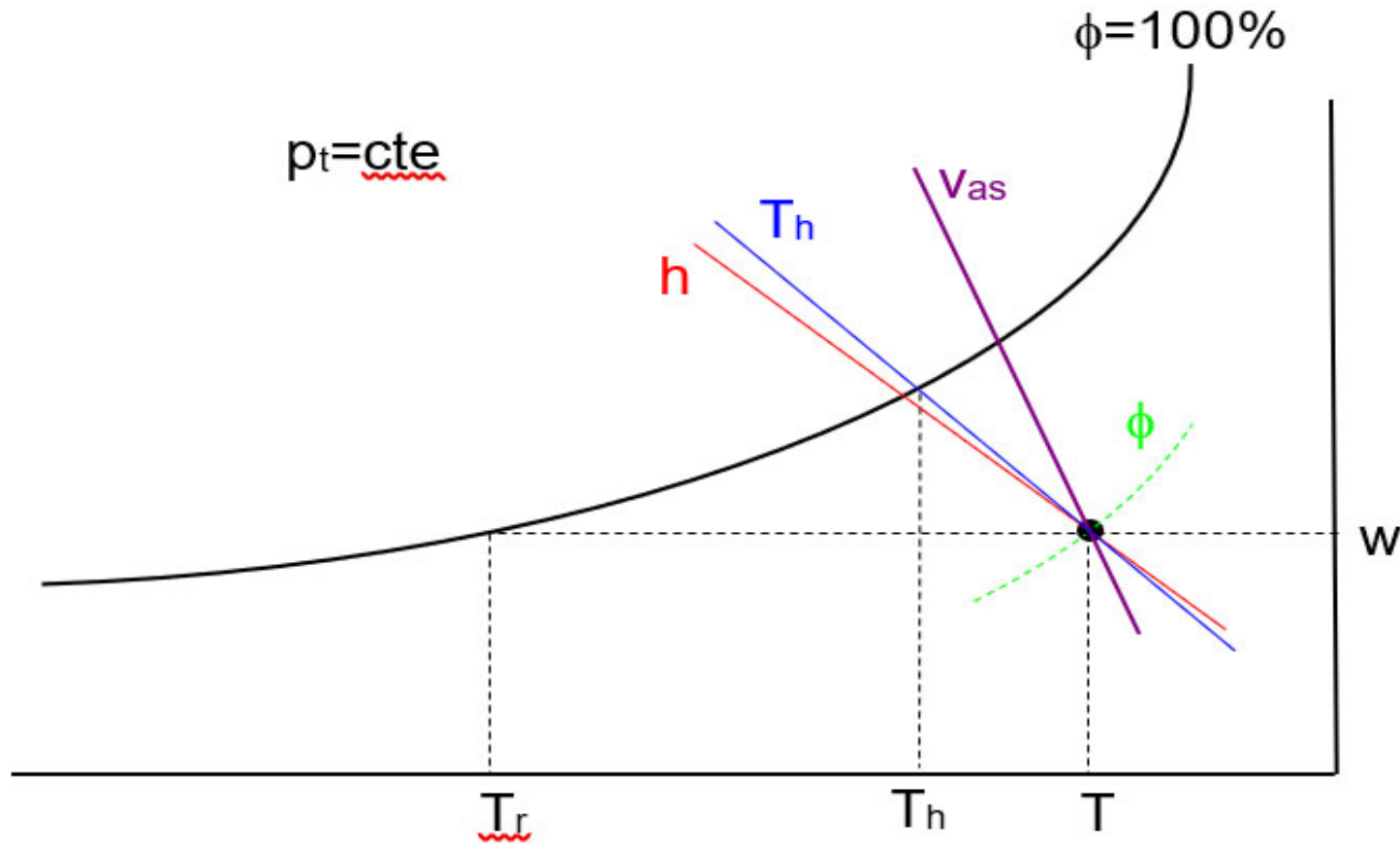
$$\dot{Q}_{\text{LATENTE}} = r \dot{m}_{as} \Delta w \quad r = 2.501 \text{ kJ/kg} \quad \text{Calor latente de vaporización del agua}$$

$$\dot{Q}_{\text{TOTAL}} = \dot{Q}_{\text{SENSIBLE}} + \dot{Q}_{\text{LATENTE}}$$

$$FCS = \frac{\dot{Q}_{\text{SENSIBLE}}}{\dot{Q}_{\text{TOTAL}}}$$

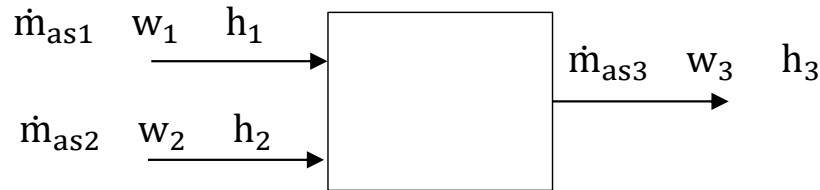
# Aire húmedo, diagrama psicrométrico

Recoge gráficamente la relación entre las variables psicrométricas



# Aire húmedo. Procesos elementales

## 1. MEZCLA DE DOS CORRIENTES

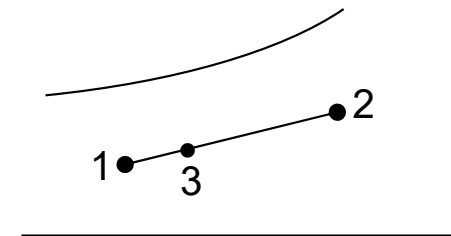
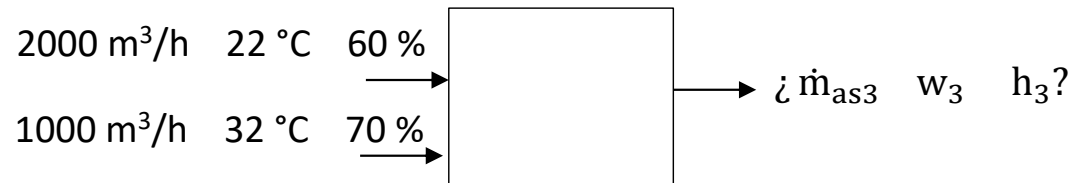


Masa aire seco:  $\dot{m}_{as3} = \dot{m}_{as2} + \dot{m}_{as1} \rightarrow \dot{m}_{as3}$

Masa vapor:  $w_1 \dot{m}_{as1} + w_2 \dot{m}_{as2} = w_3 \dot{m}_{as3} \rightarrow w_3$

Energía:  $h_1 \dot{m}_{as1} + h_2 \dot{m}_{as2} = h_3 \dot{m}_{as3} \rightarrow h_3$

Ejemplo 1:



Del diagrama:

$v_{as1}$ [m³/kg]	0,849
$w_1$ [g/kg <sub>as</sub> ]	10
$h_1$ [kJ/kg <sub>as</sub> ]	47,8
$v_{as2}$ [m³/kg]	0,894
$w_2$ [g/kg <sub>as</sub> ]	21,25
$h_2$ [kJ/kg <sub>as</sub> ]	86,9

$$\dot{m}_{as1} = \frac{Q_1}{v_{as1}} = 2356 \frac{\text{kg}_{as}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{as2} = \frac{Q_2}{v_{as2}} = 1119 \frac{\text{kg}_{as}}{\text{h}}$$

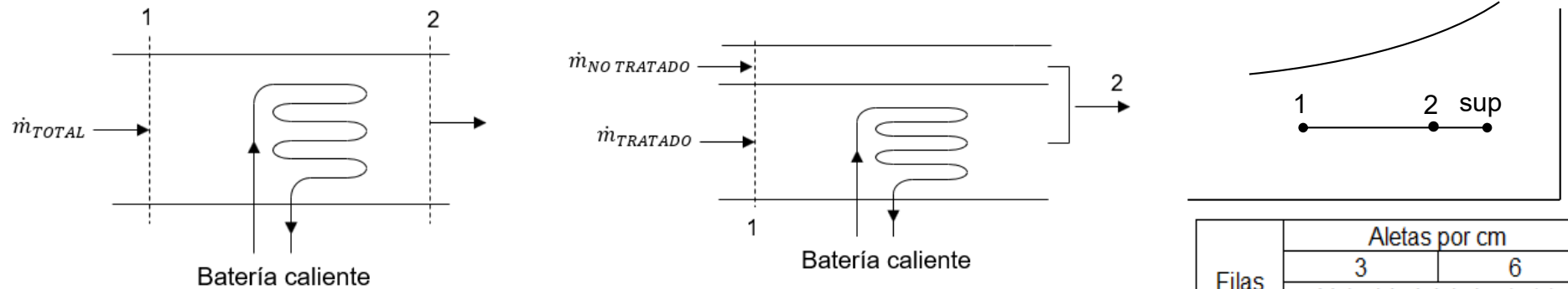


$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{m}_{as3} = 3.474 \frac{\text{kg}_{as}}{\text{h}} \\ w_3 = 13,6 \frac{\text{g}_v}{\text{kg}_{as}} \\ h_3 = 60,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{as}} \end{array} \right.$$

# Aire húmedo. Procesos elementales

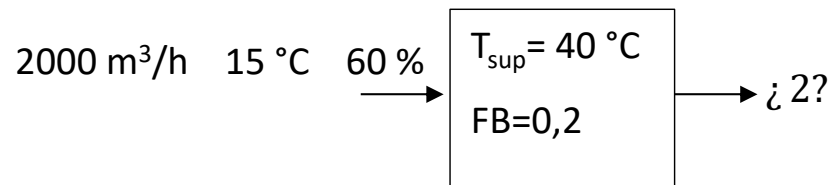
## 2. FLUJO DE AIRE SOBRE UNA SUPERFICIE A DISTINTA TEMPERATURA

### 2.1. Superficie caliente ( $T_{sup} > T_1$ )



$$FB(\text{Factor de Bypass}) = \frac{\dot{m}_{as\ NO\ TRATADO}}{\dot{m}_{as\ TOTAL}}$$

Ejemplo 2:



Filas	Aletas por cm			
	3		6	
	Velocidad del aire (m/s)			
	1,5	3,5	1,5	3,5
2	0,42	0,55	0,22	0,38
3	0,27	0,4	0,1	0,23
4	0,19	0,3	0,05	0,14
5	0,12	0,23	0,02	0,09
6	0,08	0,18	0,01	0,06
7	0,03	0,08		
FB típico de superficies aleteadas				

Del diagrama:

$v_{as1}$ [m³/kg]	0,824
$w_1$ [g <sub>v</sub> /kg <sub>as</sub> ]	6,4
$h_1$ [kJ/kg <sub>as</sub> ]	31,2
$h_{sup}$ [kJ/kg <sub>as</sub> ]	56,5

$$\dot{m}_{as} = \frac{Q}{v_{as1}} = 0,674 \frac{\text{kg}_{as}}{\text{s}}$$

$$w_2 = w_1 = 6,4 \frac{\text{g}_v}{\text{kg}_{as}}$$

$$h_2 = h_{sup} - FB (h_{sup} - h_1) = 51,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{as}}$$

$$T_2 = T_{sup} - FB (T_{sup} - T_1) = 35\ ^\circ\text{C}$$

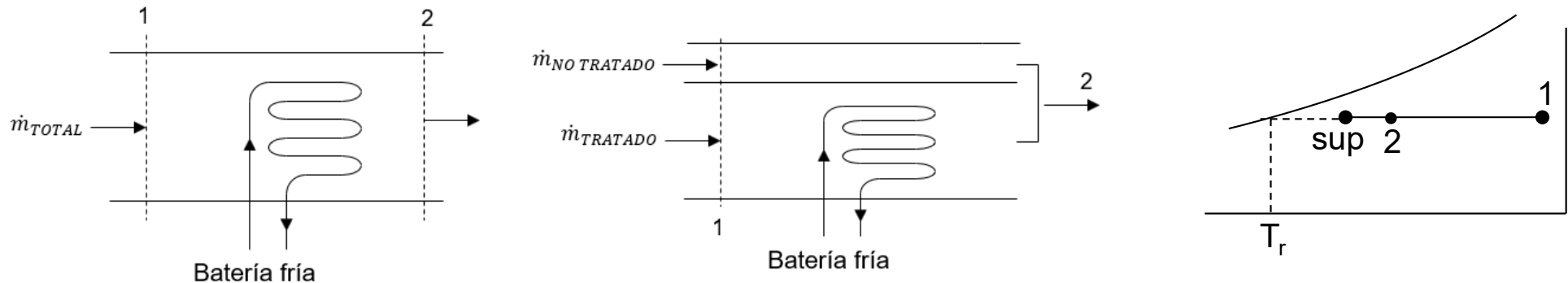
$$\dot{Q} = \dot{m}_{as} (h_2 - h_1) = 13,6 \text{ kW}$$



# Aire húmedo. Procesos elementales

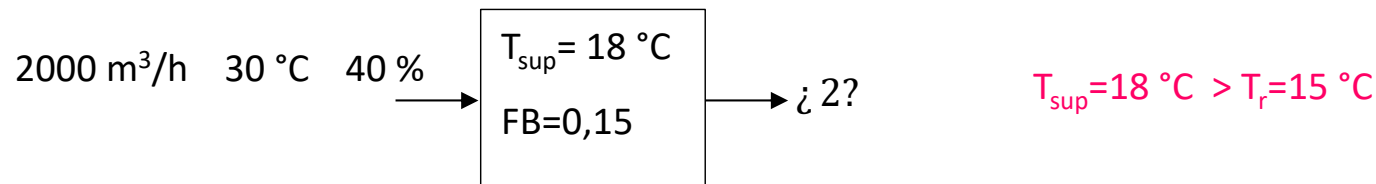
## 2. FLUJO DE AIRE SOBRE UNA SUPERFICIE A DISTINTA TEMPERATURA

### 2.2. Superficie fría pero a mayor temperatura que la de rocío ( $T_r < T_{sup} < T_1$ )



$$FB(\text{Factor de Bypass}) = \frac{\dot{m}_{as \text{ NO TRATADO}}}{\dot{m}_{as \text{ TOTAL}}}$$

Ejemplo 3:



Del diagrama:

$v_{as1}$ [m <sup>3</sup> /kg]	0,874
$w_1$ [g <sub>v</sub> /kg <sub>as</sub> ]	10,3
$h_1$ [kJ/kg <sub>as</sub> ]	57,5
$h_{sup}$ [kJ/kg <sub>as</sub> ]	45,0

$$\dot{m}_{as} = \frac{Q}{v_{as1}} = 0,636 \frac{\text{kg}_{as}}{\text{s}}$$

$$w_2 = w_1 = 10,6 \frac{\text{g}_v}{\text{kg}_{as}}$$

$$T_2 = T_{sup} - FB (T_{sup} - T_1) = 19,8 \text{ °C}$$

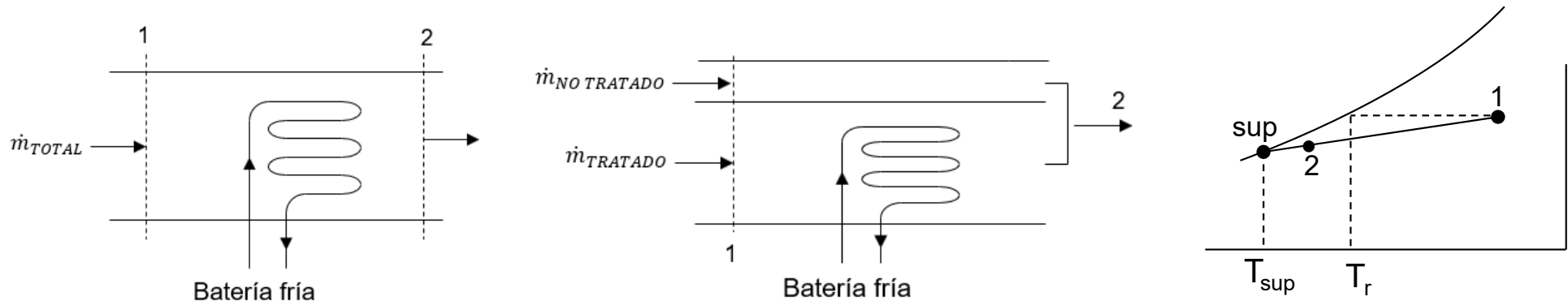
$$h_2 = h_{sup} - FB (h_{sup} - h_1) = 46,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{as}}$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_{as} (h_2 - h_1) = -6,61 \text{ kW}$$

# Aire húmedo. Procesos elementales

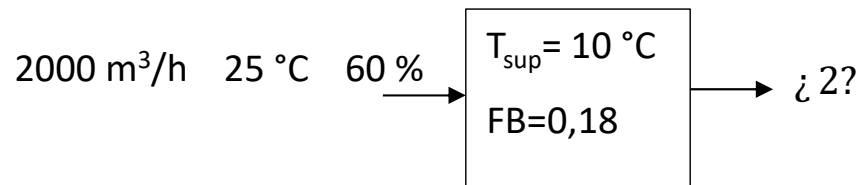
## 2. FLUJO DE AIRE SOBRE UNA SUPERFICIE A DISTINTA TEMPERATURA

### 2.3. Superficie fría a menor temperatura que la de rocío del aire ( $T_{sup} < T_r < T_1$ )



$$FB(\text{Factor de Bypass}) = \frac{\dot{m}_{as \text{ NO TRATADO}}}{\dot{m}_{as \text{ TOTAL}}}$$

Ejemplo 4:



$$T_{sup} = 10 \text{ °C} < T_r = 16,8 \text{ °C}$$

Del diagrama:

$V_{as1}$ [m <sup>3</sup> /kg]	0,861
$w_1$ [g <sub>v</sub> /kg <sub>as</sub> ]	12
$h_1$ [kJ/kg <sub>as</sub> ]	55,5
$h_{sup}$ [kJ/kg <sub>as</sub> ]	29,5
$w_{sup}$ [g <sub>v</sub> /kg <sub>as</sub> ]	7,7

$$w_2 = w_{sup} - FB(w_{sup} - w_1) = 8,4 \frac{g_v}{kg_{as}}$$

$$T_2 = T_{sup} - FB(T_{sup} - T_1) = 12,7 \text{ °C}$$

$$h_2 = h_{sup} - FB(h_{sup} - h_1) = 33,9 \frac{kJ}{kg_{as}}$$

$$\dot{Q}_T = \dot{m}_{as} (h_2 - h_1) = -13,795 \text{ kW}$$

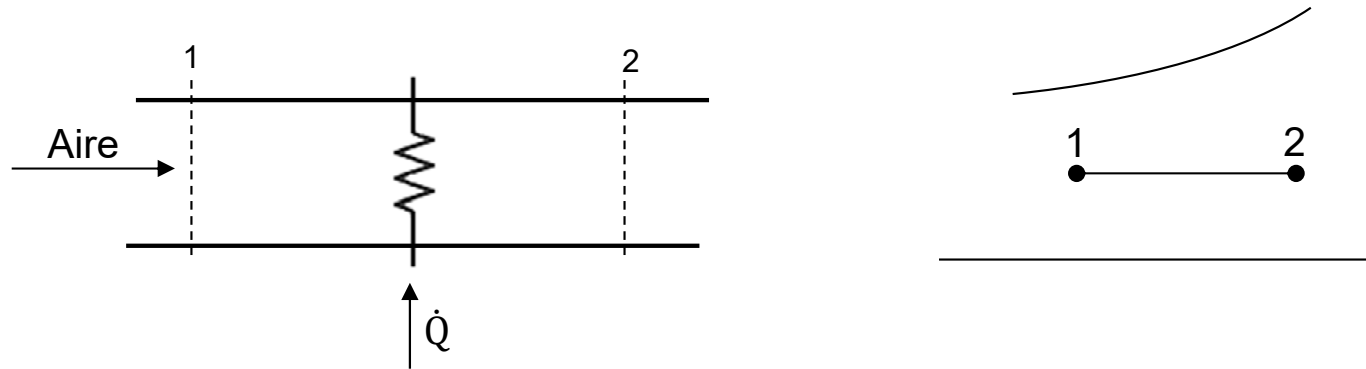
$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{Q}_{sensible} = \dot{m}_{as} c_p (T_2 - T_1) = -8,045 \text{ kW} \\ \dot{Q}_{latente} = \dot{m}_{as} r (w_2 - w_1) = -5,753 \text{ kW} \end{array} \right.$$

$$1,024 \text{ kJ/kg} \cdot K$$

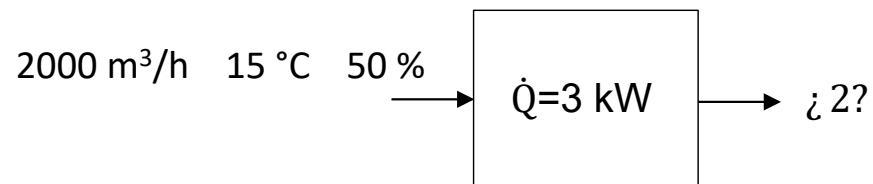
$$2501 \text{ kJ/kg}$$

# Aire húmedo. Procesos elementales

## 3. FLUJO DE AIRE SOBRE UNA RESISTENCIA: igual que el flujo de aire sobre una superficie caliente



Ejemplo 5:



Del diagrama:

$v_{as1} \text{ [m}^3/\text{kg]}$	0,823
$w_1 \text{ [g}_v/\text{kg}_{as}]$	5,4
$h_1 \text{ [kJ/kg}_{as}]$	28,5

$$\dot{m}_{as} = \frac{Q}{v_{as1}} = 0,675 \frac{\text{kg}_{as}}{\text{s}}$$

$$w_2 = w_1 = 5,3 \frac{\text{g}_v}{\text{kg}_{as}}$$

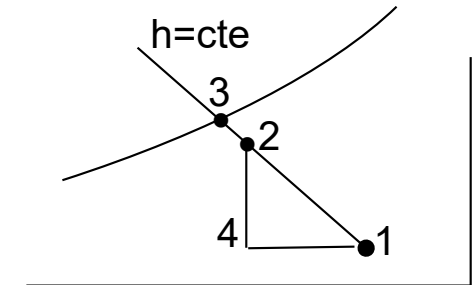
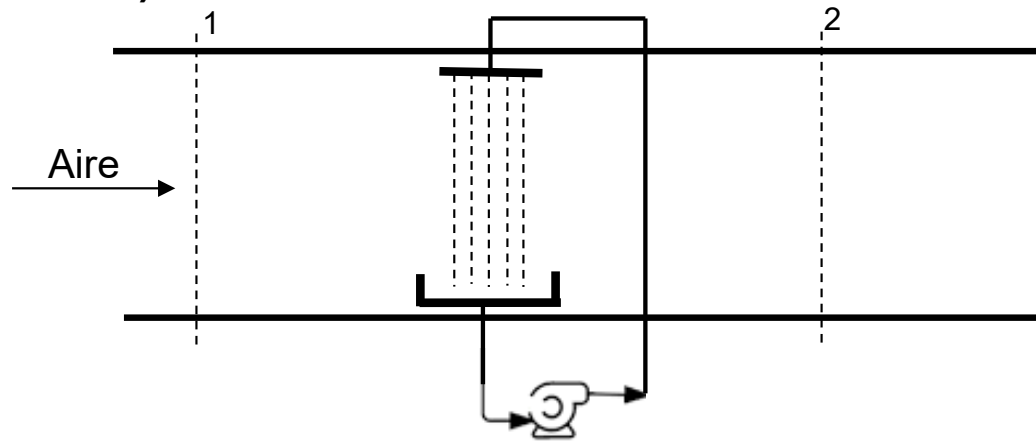
$$\dot{Q} = \dot{Q}_S = \dot{m}_{as} (h_2 - h_1) \rightarrow h_2 = 32,79 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q}_L = 0$$

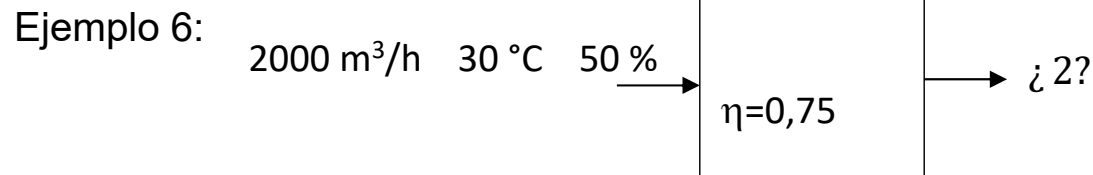
$T_2 = 16,5 \text{ °C}$   
(del diagrama)

# Aire húmedo. Procesos elementales

## 4. “ENFRIAMIENTO ADIABÁTICO” (humidificación con cortina de agua o con nebulizadores)



$$\eta(\text{Rendimiento}) = \frac{\dot{m}_{\text{as TRATADO}}}{\dot{m}_{\text{as TOTAL}}} = \frac{w_2 - w_1}{w_3 - w_1} = \frac{T_2 - T_1}{T_3 - T_1} \rightarrow h_2 = h_1, w_2, T_2$$



$v_{as1}$ [m <sup>3</sup> /kg]	0,877
$w_1$ [g/kg <sub>as</sub> ]	13,5
$h_1$ [kJ/kg <sub>as</sub> ]	64,5
$w_3$ [g/kg <sub>as</sub> ]	16,7
$h_4$ [kJ/kg <sub>as</sub> ]	58,5
$T_3$ [°C]	22,0

$$\dot{m}_{\text{as}} = \frac{Q}{v_{as1}} = 0,633 \frac{\text{kg}_{\text{as}}}{\text{s}}$$

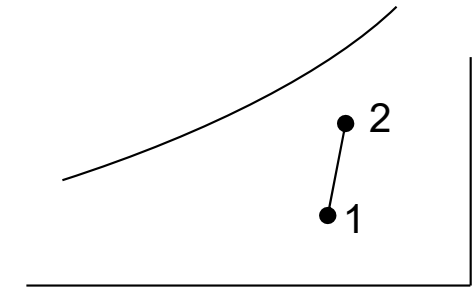
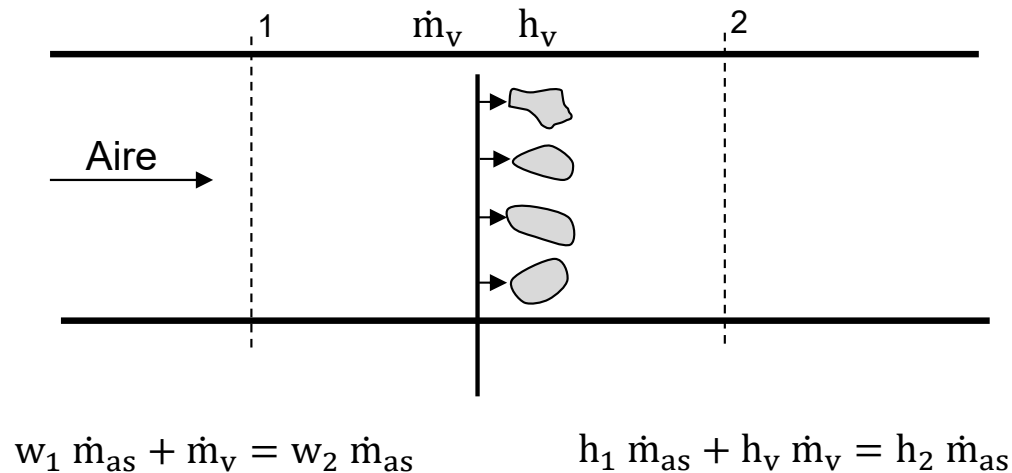
$$w_2 = w_1 + \eta(w_3 - w_1) = 15,9 \frac{\text{g}_v}{\text{kg}_{\text{as}}}$$

$$T_2 = T_1 + \eta(T_3 - T_1) = 24,0 \text{ °C}$$

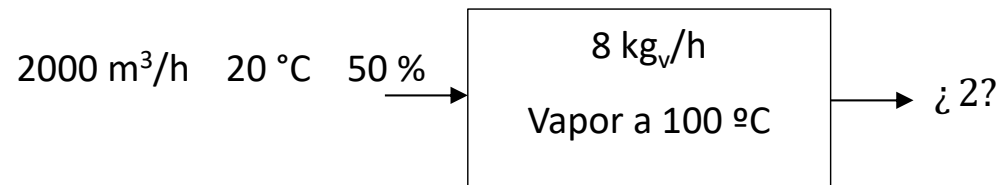
$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{Q}_S = \dot{m}_{\text{as}} (h_4 - h_1) = -3,801 \text{ kW} \\ \dot{Q}_L = \dot{m}_{\text{as}} (h_2 - h_4) = 3,801 \text{ kW} \end{array} \right\} \dot{Q}_S + \dot{Q}_L = 0$$

# Aire húmedo. Procesos elementales

## 5. HUMIDIFICACION CON VAPOR DE AGUA



Ejemplo 7:



$$h_v = 2676 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{ de tablas}$$

Del diagrama:

$v_{as1} [\text{m}^3/\text{kg}]$	0,84
$w_1 [\text{g}_v/\text{kg}_{as}]$	7,25
$h_1 [\text{kJ}/\text{kg}_{as}]$	38,5

$$\dot{m}_{as} = \frac{Q}{v_{as1}} = 0,661 \frac{\text{kg}_{as}}{\text{s}}$$

$$h_2 = h_1 + \frac{h_v \dot{m}_v}{\dot{m}_{as}} = 47,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{as}}$$

$$w_2 = w_1 + \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_{as}} = 10,6 \frac{\text{g}_v}{\text{kg}_{as}}$$

$$\dot{Q}_T = \dot{m}_{as} (h_2 - h_1) = 5,95 \text{ kW} \left\{ \begin{array}{l} \dot{Q}_s = \dot{m}_{as} c_p (T_2 - T_1) = 0,41 \text{ kW} \\ \dot{Q}_L = \dot{m}_{as} r (w_2 - w_1) = 5,56 \text{ kW} \end{array} \right\} \dot{Q}_s + \dot{Q}_L = 5,96 \text{ kW}$$

## Condiciones interiores de diseño

Las condiciones interiores a mantener en el local en aplicaciones normales de climatización aseguran el **CONFORT TÉRMICO** de los ocupantes y **EL USO RACIONAL DE LA ENERGÍA**, sin malgastarla. Dichas condiciones interiores están definidas en el **RITE** (Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios) RD 178/2021:

Estación	T operativa ° C	Velocidad aire m/s	Humedad relativa %
Invierno	21-23	0,15-0,20	40-50
Verano	23-25	0,18-0,24	45-60

# Cargas térmicas

La diferencia entre las condiciones exteriores e interiores y las actividades propias de los edificios provocan flujos de calor (**cargas térmicas**), que hacen necesarias las instalaciones de climatización.

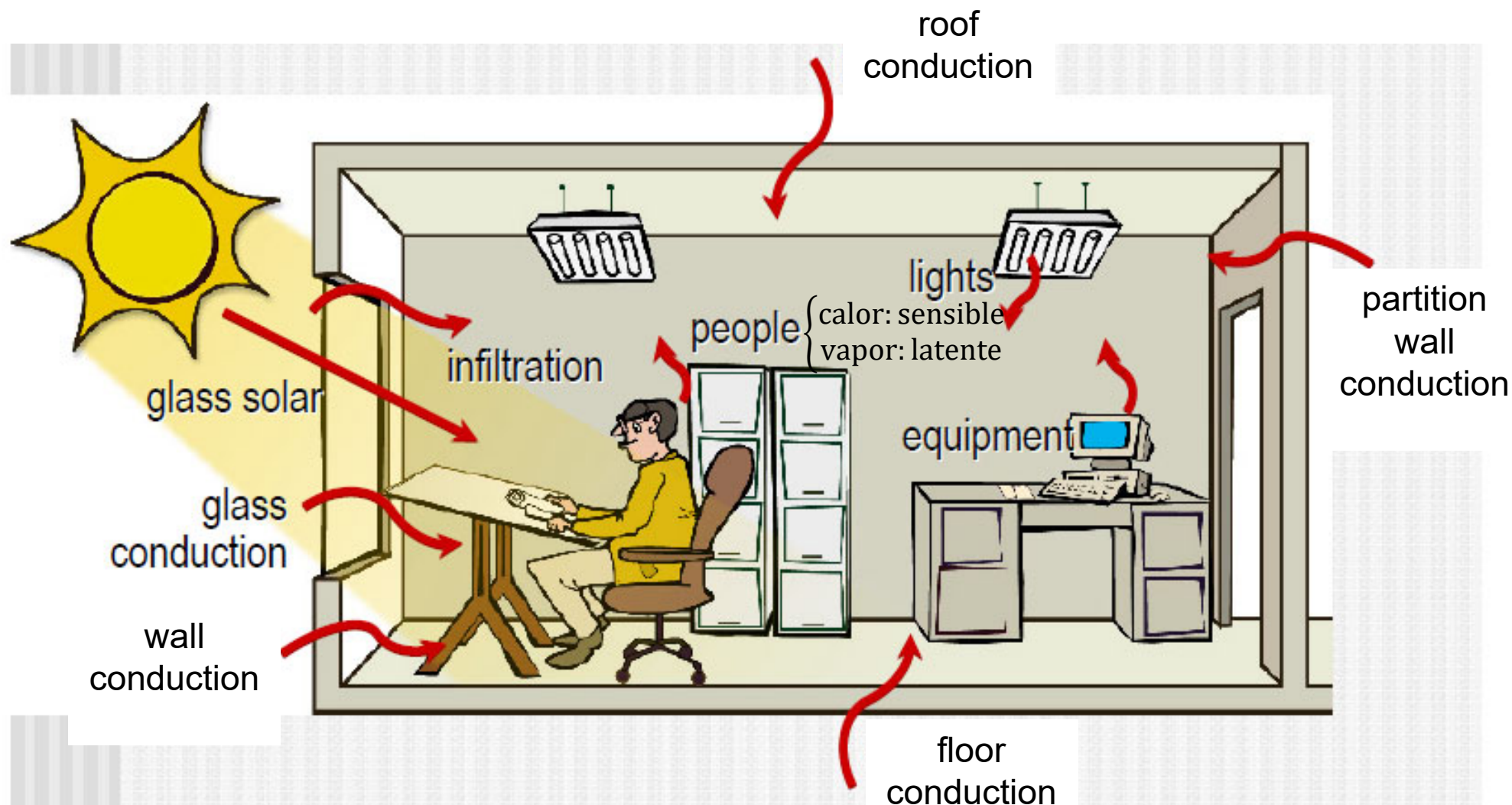
El sistema de climatización debe compensar las cargas térmicas más desfavorables con un determinado percentil:

- 99,6% (invierno) ó 0,4% (verano): para hospitales, clínicas, residencias ancianos, centros de cálculo, ...
- 99% (invierno) ó 1% (verano): el resto



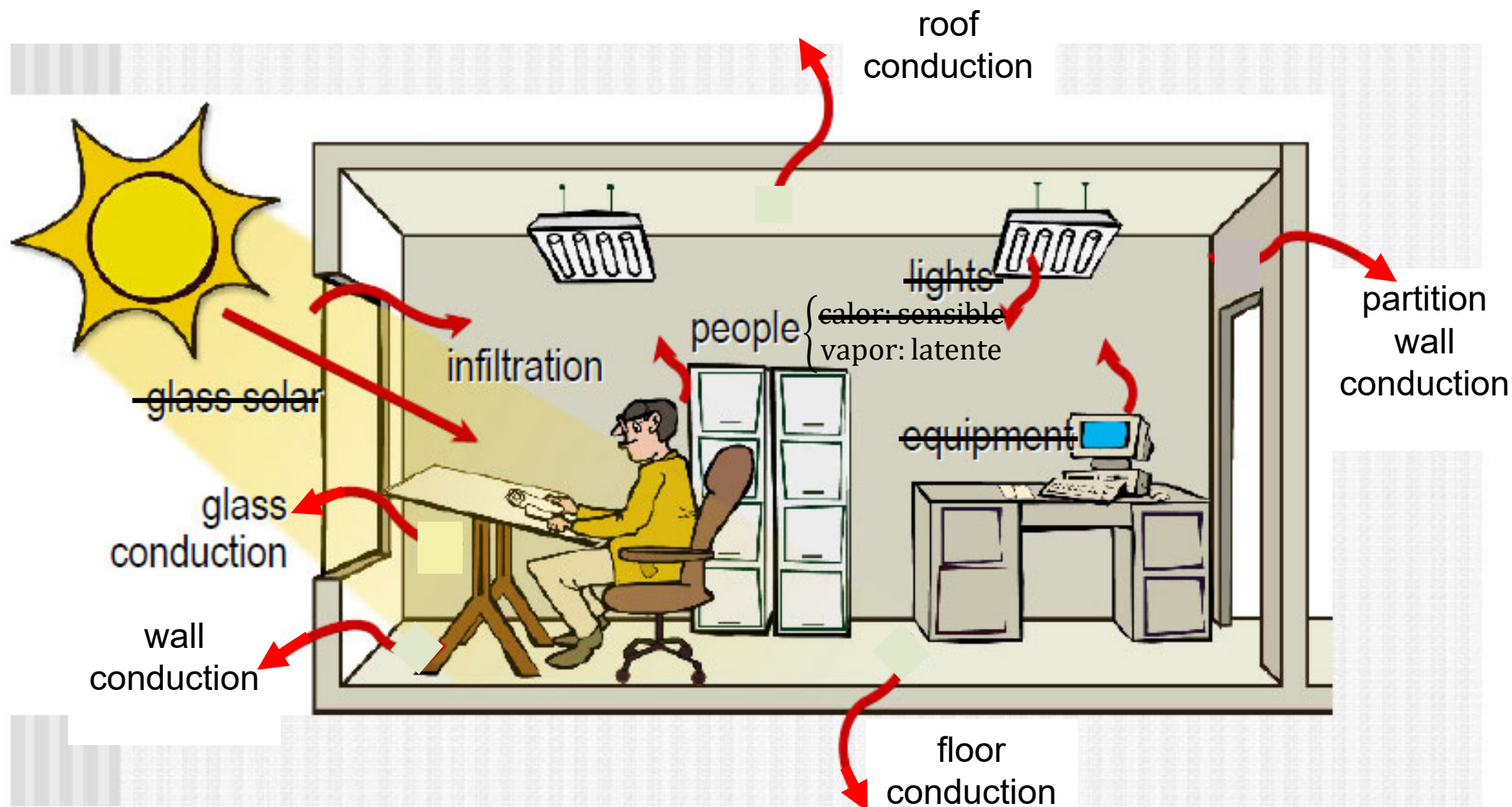


# Cargas térmicas de verano





# Cargas térmicas de invierno



# Cargas térmicas

	TIPO DE GARGAS TÉRMICAS			
	Externa	Interna	Sensible	Latente
Transmisión por cerramientos (paredes, techos, suelos, etc)	X		X	
Radiación solar sobre paredes, techos, etc	X		X	
Radiación solar sobre acristalamientos	X		X	
Ocupación		X	X	X
Iluminación		X	X	
Equipamiento		X	X	x
Ventilación	X		X	X
Infiltraciones	X		X	X

Carga externa: la que procede de fuera del local

Carga interna: la que tiene lugar dentro del local

Carga sensible: la que cambia la temperatura del local

Carga latente: la que cambia la humedad específica del local

Las cargas térmicas pueden ser positivas (aportes) o negativas (pérdidas)

# TEMA 11: INSTALACIONES DE CLIMATIZACIÓN Y VENTILACIÓN

## 11.0 Introducción y Bases

### 11.1 Sistemas de Climatización

- Introducción, compensación de cargas
- Clasificación de los sistemas de climatización
- Sistemas todo aire
- Sistemas aire-agua
- Sistemas todo agua
- Sistemas por refrigerante

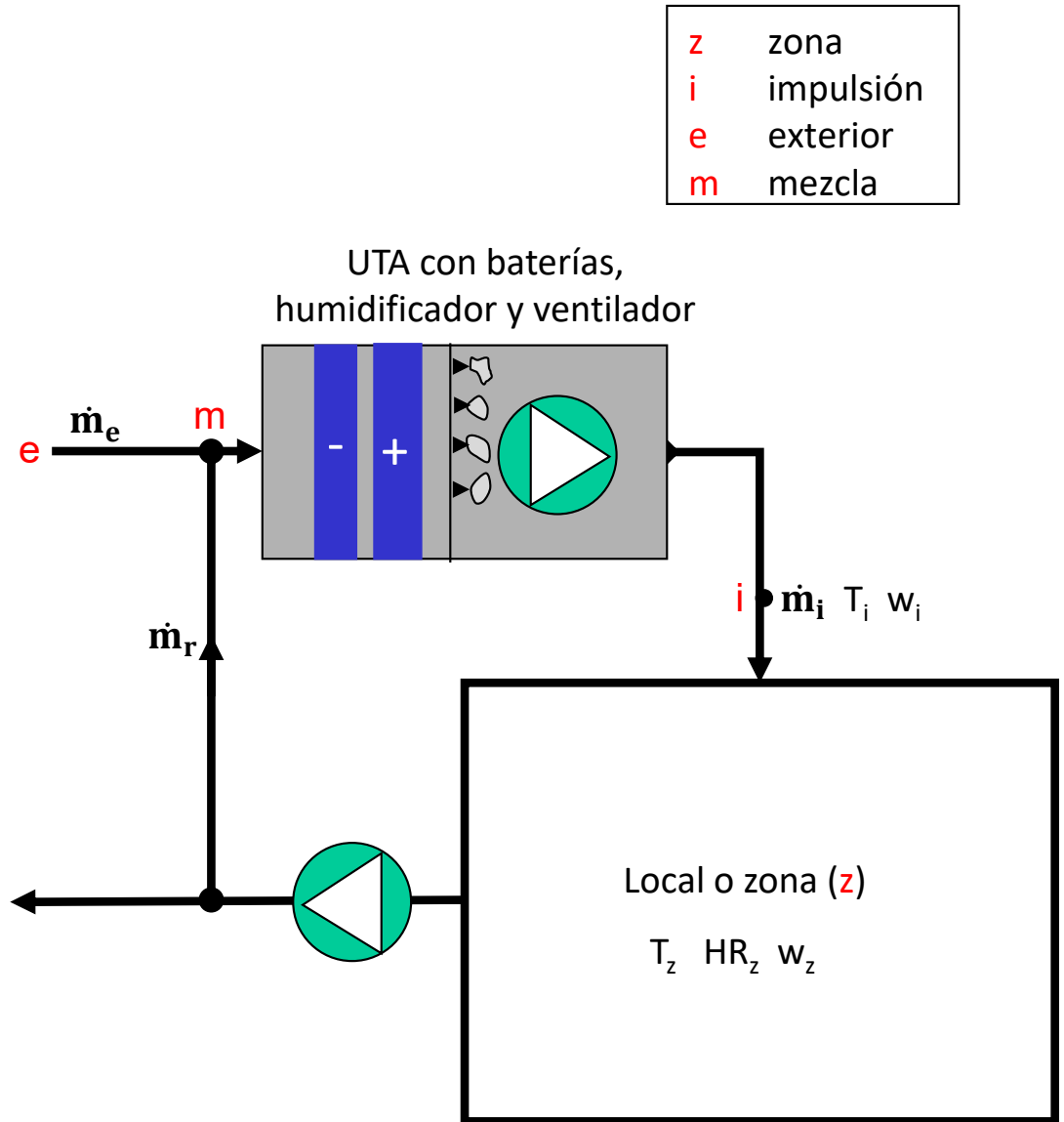
### 11.2 Tuberías y Conductos

# Sistema todo aire

Se impulsa un caudal de aire  $\dot{m}_i$  en las adecuadas condiciones de temperatura  $T_i$  y humedad  $w_i$  para satisfacer las cargas sensible y latente

Se inyecta un caudal de aire exterior  $\dot{m}_e$  al objeto de renovar el aire para eliminar olores, contaminantes, etc

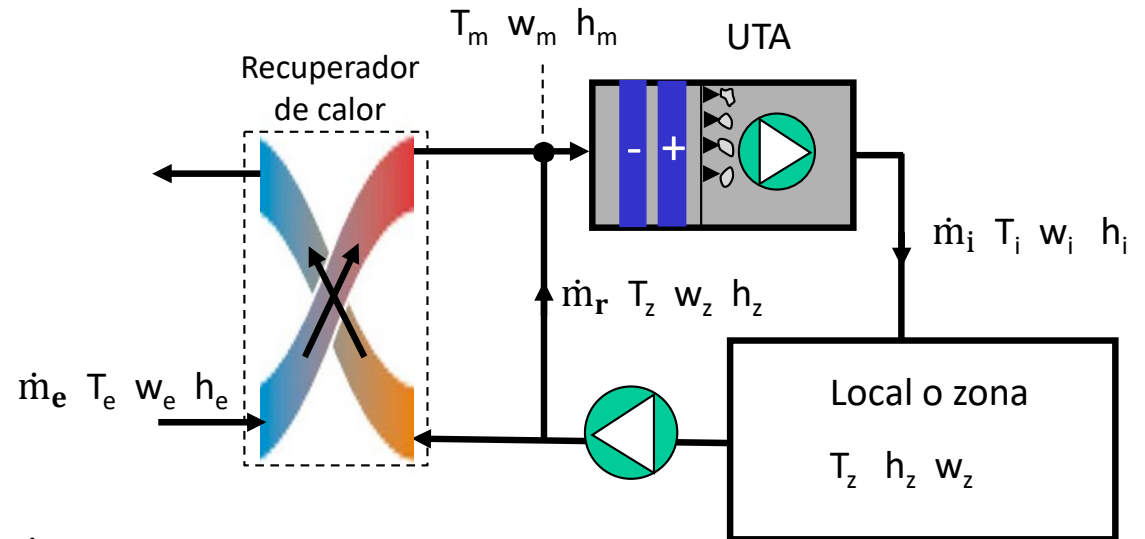
Se recircula una parte del aire extraído ( $\dot{m}_r$ ) para alcanzar el  $\dot{m}_i$  necesario, dado que normalmente  $\dot{m}_i > \dot{m}_e$



# Sistema todo aire

Zona:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_s &= \dot{m}_i 1,024(T_z - T_i) \\ \dot{Q}_L &= \dot{m}_i 2501 (w_z - w_i) \\ \dot{Q}_T &= \dot{Q}_s + \dot{Q}_L = \dot{m}_i (h_z - h_i)\end{aligned}$$



Punto de mezcla (m) **[sin recuperador de calor]**:

$$\begin{aligned}\text{Balance masa aire seco: } \dot{m}_e + \dot{m}_r &= \dot{m}_i \\ \text{Balance de entalpías: } \dot{m}_e \cdot h_e + \dot{m}_r \cdot h_z &= \dot{m}_i \cdot h_m \\ \text{Balance de humedades: } \dot{m}_e \cdot w_e + \dot{m}_r \cdot w_z &= \dot{m}_i \cdot w_m\end{aligned}$$

UTA:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_s &= \dot{m}_i 1,024(T_i - T_m) \\ \dot{Q}_L &= \dot{m}_i 2501 (w_i - w_m) \\ \dot{Q}_T &= \dot{Q}_s + \dot{Q}_L = \dot{m}_i (h_i - h_m)\end{aligned}$$

# Sistema todo aire: condiciones del punto i de impulsión

- La incidencia sobre las personas de un chorro de aire a una temperatura muy diferente de la que reina en el local causa molestias. Si se sopla aire caliente, se admite un  $T_i - T_z = 15$  a  $20$  °C, y en caso de aire frío,  $T_z - T_i = 10$  a  $15$  °C. Estos valores pueden aumentarse si por el diseño de la distribución de aire se tiene certeza de no alcanzar directamente a las personas con el aire soplado, por haber muy buena mezcla en la zona próxima a los difusores.
- La velocidad del aire en la proximidad de las personas no debe ser excesiva. En invierno  $0,15$  a  $0,20$  m/s, y en verano  $0,18$  a  $0,24$  m/s.
- También causa incomodidad una velocidad excesivamente baja (menos de  $0,12$  m/s), puesto que el cuerpo humano necesita un mínimo intercambio con el ambiente.
- Desde el punto de vista de la distribución de aire, resulta más económica una instalación con caudales menores y saltos de temperatura mayores (conductos de menor sección).
- Desde el punto de vista energético de producción de frío (o calor), el rendimiento de los sistemas empeora si se aumenta el salto térmico.
- En verano es frecuente “trabajar con temperaturas bajas” con la finalidad de secar el aire. Después puede ser necesario recalentarlo para llevarlo a unas condiciones de soplado aceptables. Estos procesos deben realizarse con recuperadores de calor.

# Sistema todo aire, verano

**Ejemplo 8:** Condiciones del local: 24 °C, HR 50 %. Cargas térmicas sensible 14 kW y latente 1,75 kW  
 Condiciones exteriores: 33 °C, 45 %. Caudal de ventilación: 1000 m<sup>3</sup>/h. Calcular: Caudal y la humedad relativa del aire de impulsión para T<sub>i</sub>=13 °C. Potencias total, sensible y latente de la UTA. Agua condensada en la UTA. Temperatura superficial de la batería fría de la UTA (también llamada temperatura de rocío T<sub>ROC</sub> de la batería). Factor de calor sensible del proceso mi.

Del diagrama psicrométrico:

w <sub>z</sub> [g <sub>v</sub> /kg <sub>as</sub> ]	9,3
h <sub>z</sub> [kJ/kg]	48
v <sub>ase</sub> [m <sup>3</sup> /kg]	0,887
h <sub>e</sub> [kJ/kg <sub>as</sub> ]	69
w <sub>e</sub> [g <sub>v</sub> /kg <sub>as</sub> ]	14,2

Gasto másico de aire a impulsar:

$$\dot{Q}_s = \dot{m}_i 1,024 (T_z - T_i) \rightarrow \dot{m}_i = \frac{\dot{Q}_s}{1,024 (T_z - T_i)} = 1,24 \frac{\text{kg}_{as}}{\text{s}}$$

Hay que comprobar que con ese gasto se compensa la carga latente:

$$\dot{Q}_L = \dot{m}_i 2501 (w_z - w_i) \rightarrow w_i = w_z - \frac{\dot{Q}_L}{\dot{m}_i 2501} = 0,0087 \frac{\text{kg}_v}{\text{kg}_{as}}$$

Con w<sub>i</sub> y T<sub>i</sub> se obtiene (diagrama) HR<sub>i</sub>=93 %, inferior al 100 %, por lo que se satisface la carga latente. Del diagrama v<sub>asi</sub>=0,822 m<sup>3</sup>/kg<sub>as</sub>:

$$Q_i = \dot{m}_i \cdot v_{asi} = 1,022 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

## Sistema todo aire, verano

Aire exterior:  $\dot{m}_e = \frac{Q_e}{v_{as\_e}} = 1127 \frac{\text{kgas}}{\text{h}} = 0,313 \frac{\text{kgas}}{\text{s}}$

Balance de masas aire seco:  $\dot{m}_e + \dot{m}_r = \dot{m}_i \rightarrow \dot{m}_r = \dot{m}_i - \dot{m}_e = 0,930 \frac{\text{kgas}}{\text{s}}$

Balance de entalpías:  $\dot{m}_e \cdot h_e + \dot{m}_r \cdot h_z = \dot{m}_i \cdot h_m \rightarrow h_m = \frac{\dot{m}_e \cdot h_e + \dot{m}_r \cdot h_z}{\dot{m}_i} = 53,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kgas}}$

Balance de humedades:  $\dot{m}_e \cdot w_e + \dot{m}_r \cdot w_z = \dot{m}_i \cdot w_m \rightarrow w_m = \frac{\dot{m}_e \cdot w_e + \dot{m}_r \cdot w_z}{\dot{m}_i} = 0,0105 \frac{\text{kgv}}{\text{kgas}}$

Del diagrama:  $T_m = 26,5 \text{ °C}$ ,  $h_i = 35,2 \text{ kJ/kgas}$ .

UTA:

$$\dot{Q}_{T\_UTA} = \dot{m}_i (h_i - h_m) = -22,5 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{s\_UTA} = \dot{m}_i 1,024 (T_i - T_m) = -17,2 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{L\_UTA} = \dot{m}_i 2501 (w_i - w_m) = -5,6 \text{ kW}$$

Se puede comprobar que se cumple:  $\dot{Q}_{T\_UTA} = \dot{Q}_{s\_UTA} + \dot{Q}_{L\_UTA} = -22,8! \text{ kW}$  (salvo pequeños errores por el uso del diagrama)

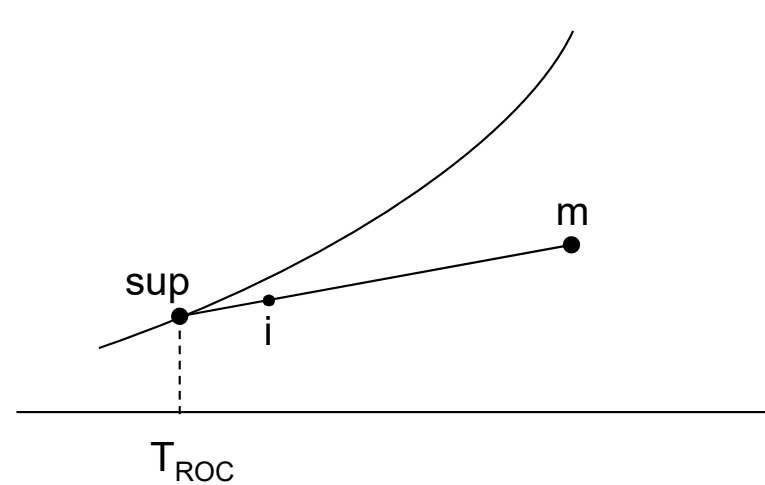
$$\dot{m}_{\text{agua\_UTA}} = \dot{m}_i (w_i - w_m) = -0,00223 \frac{\text{kgagua}}{\text{s}} = -8,04 \frac{\text{kgagua}}{\text{h}}$$



# Sistema todo aire, verano

Temperatura de rocío de la batería fría de la UTA:

Del diagrama:  $T_{ROC} \approx 11,5\text{ °C}$



Factor de calor sensible del proceso mi:

$$FCS_{mi} = \frac{\dot{Q}_{s\_UTA}}{\dot{Q}_{T\_UTA}} = \frac{-17,2}{-22,5} = 0,76$$

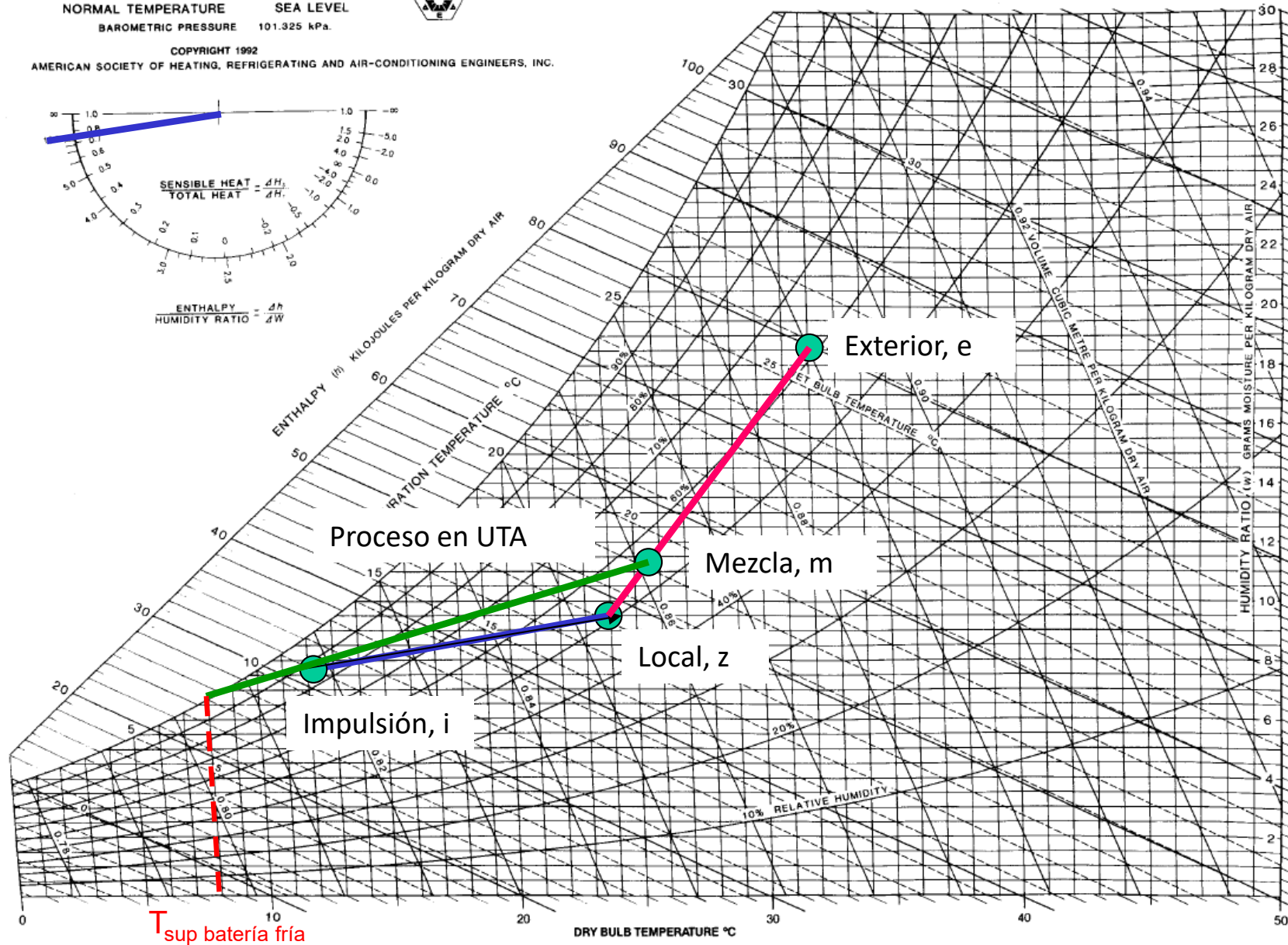
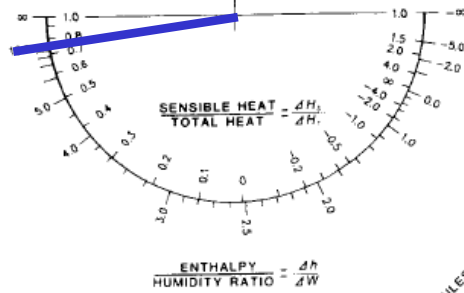
$$FCS_{mi\_diagrama} = 0,74$$

# Sistema todo aire, verano

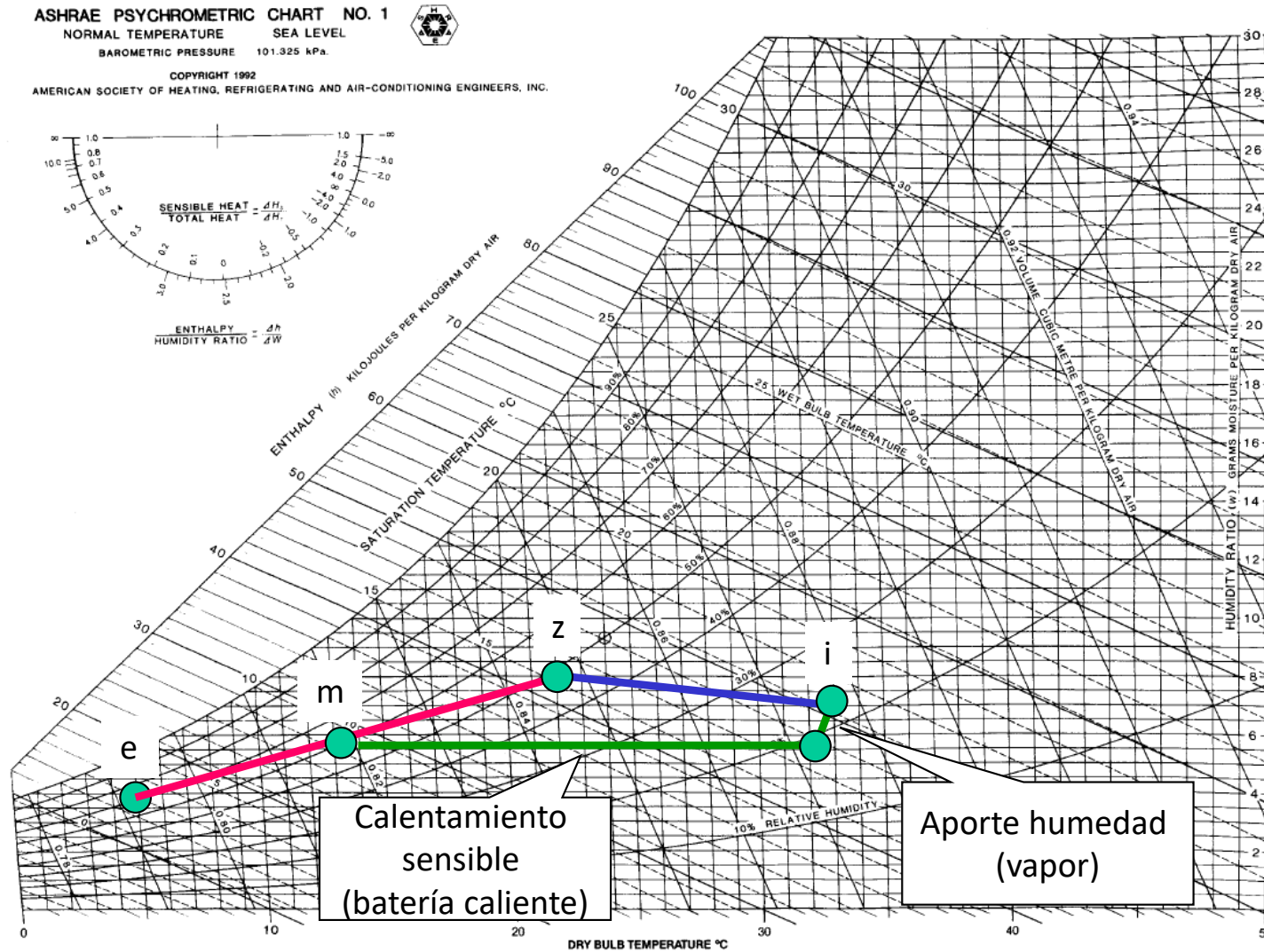
ASHRAE PSYCHROMETRIC CHART NO. 1  
NORMAL TEMPERATURE SEA LEVEL  
BAROMETRIC PRESSURE 101.325 kPa.



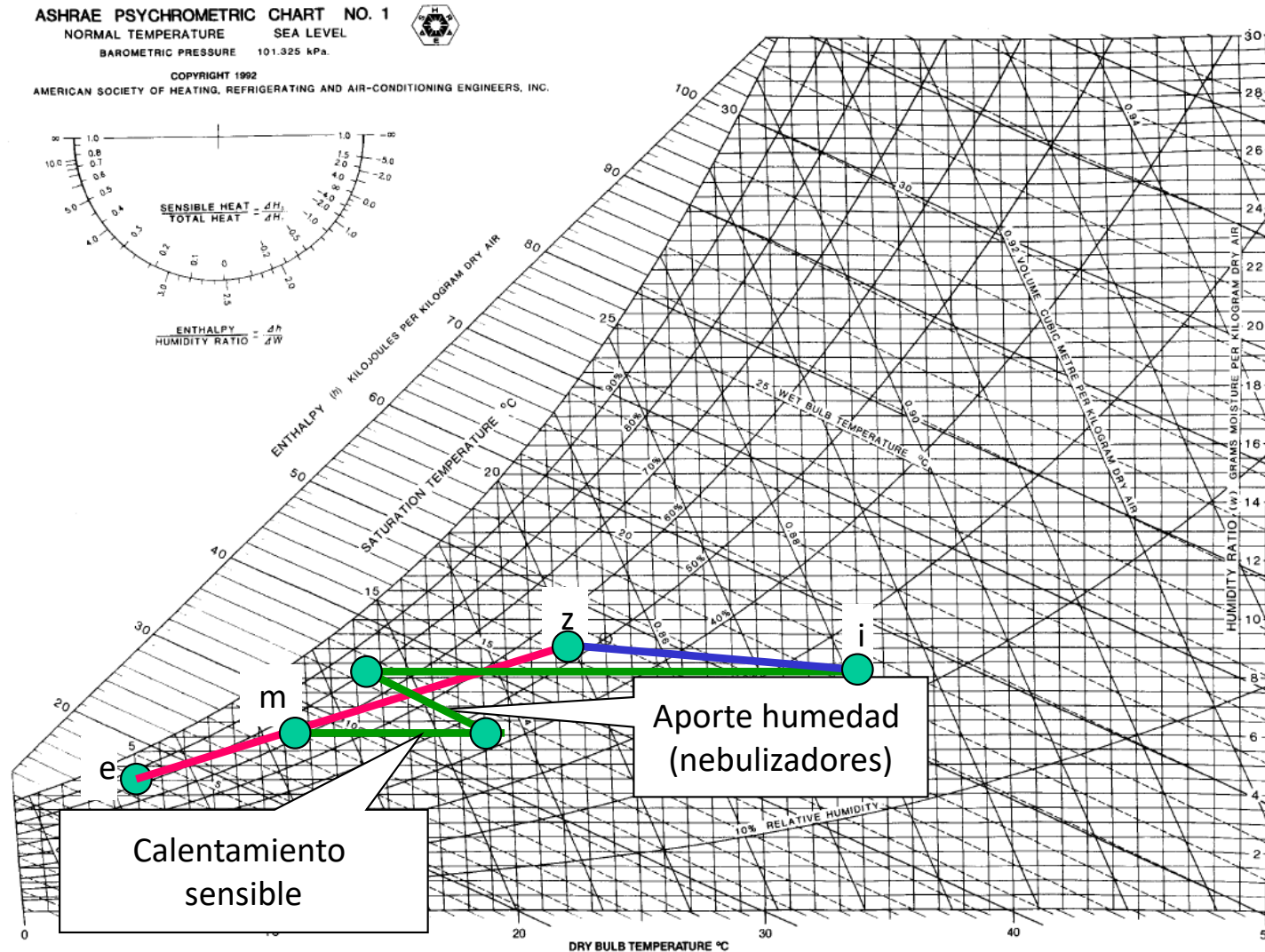
COPYRIGHT 1992  
AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC.



# Sistema todo aire, invierno I

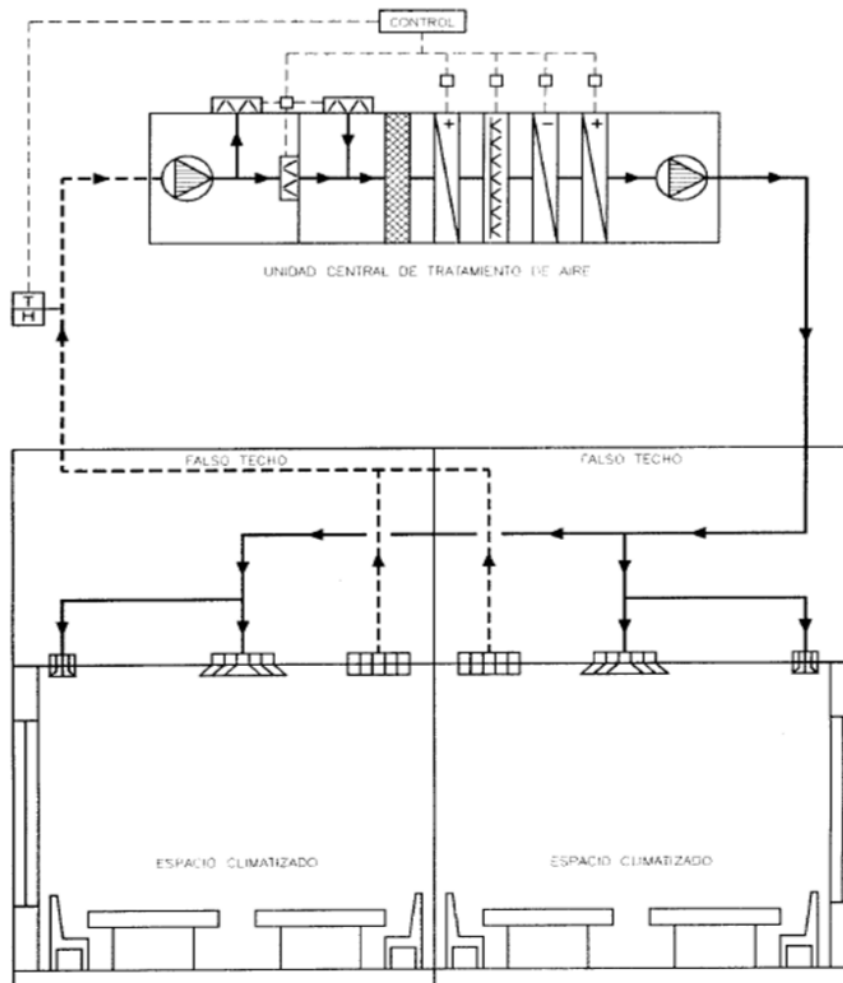


# Sistema todo aire, invierno II



# Sistema todo aire: caudal constante

Regulación en función del aire de retorno, o de algún espacio local representativo

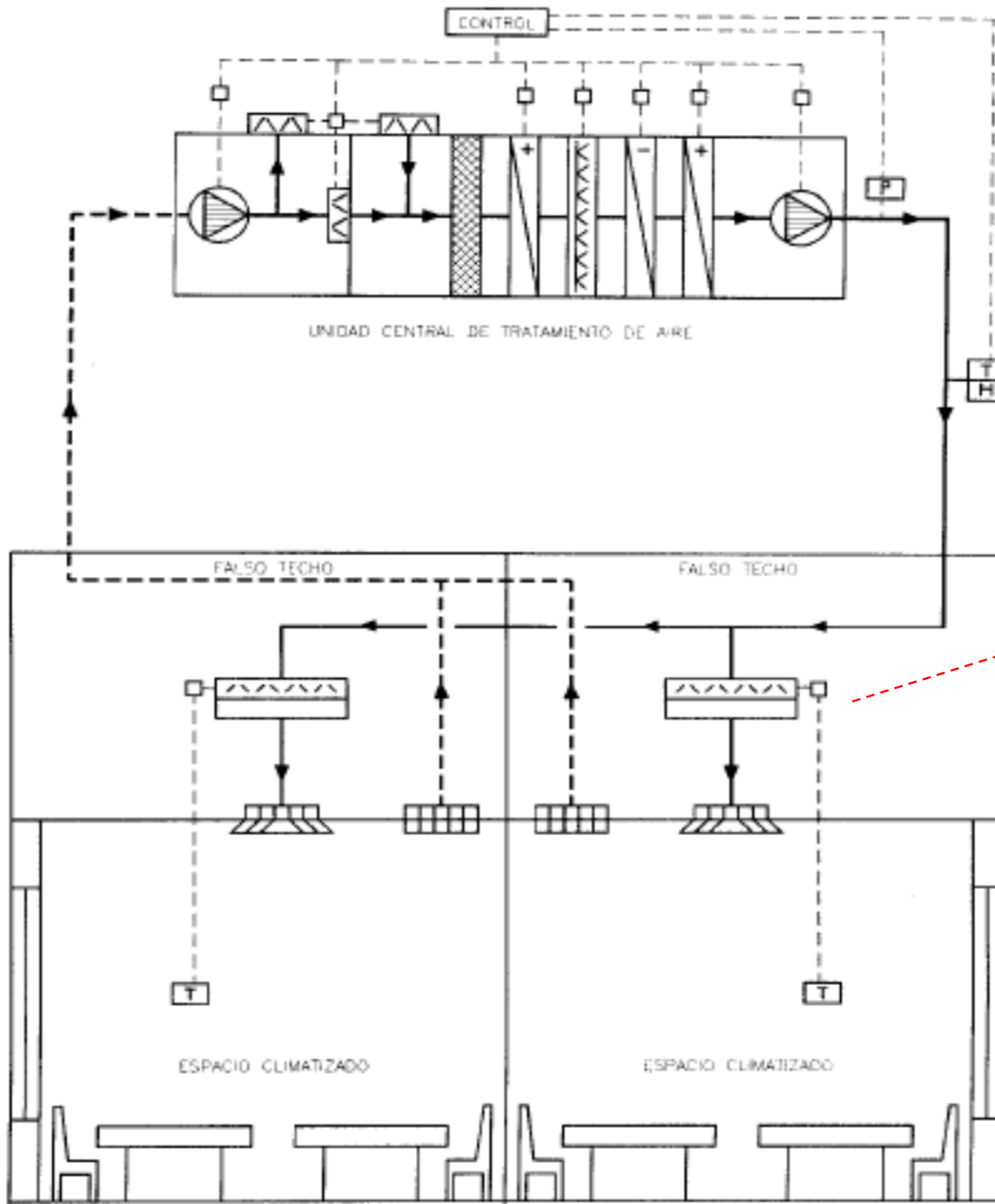


UTA suministra un caudal constante a temperatura variable para satisfacer las cargas sensible y latente de la zona

- + Simple
- + Bajo mantenimiento
- + Buena distribución de aire en locales
- No control individual sobre los diferentes espacios
- Consumo constante en ventiladores, no reducción a carga parcial
- No posible combatir cargas de frío y calor simultáneamente en distintos locales



# Sistema todo aire: Caudal variable (VAV)



UTA mantiene en la salida la presión constante (por control de la velocidad de los ventiladores) y la temperatura constante

Elemento de regulación de caudal, comandado por termostato de zona

- + Simple
- + Control particularizado de espacios
- + Reducción consumo de ventiladores a carga parcial
- Mala distribución de aire a carga parcial
- No posible combatir cargas de frío y calor simultáneamente en distintos locales

# Sistemas todo aire

## Ventajas:

- Centralización de equipos, lo que simplifica la operación y el mantenimiento
- Máxima calidad de los elementos de filtrado, ventilación, enfriamiento y humidificación
- No hay aparatos en zonas ocupadas: menor ruido, no se ocupa espacio útil
- Facilidad de realizar enfriamiento gratuito (free cooling)
- Fácil adaptación de sistemas de recuperación de calor
- Facilidad de controlar la presurización de los locales para evitar infiltraciones
- Relativo bajo coste

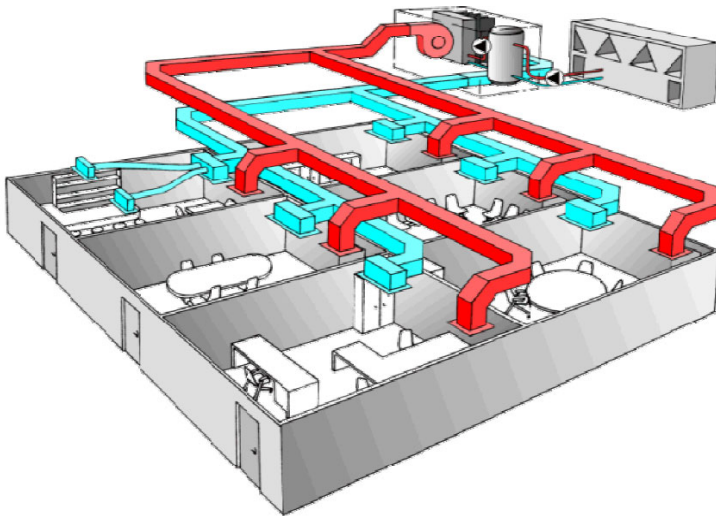
## Inconvenientes :

- Ocupan mucho espacio para los conductos (patinillos, falsos techos)
- Dificultad de equilibrar (compensar) unos espacios y otros
- No se adapta bien cuando unas zonas y otras tienen cargas de signo contrario

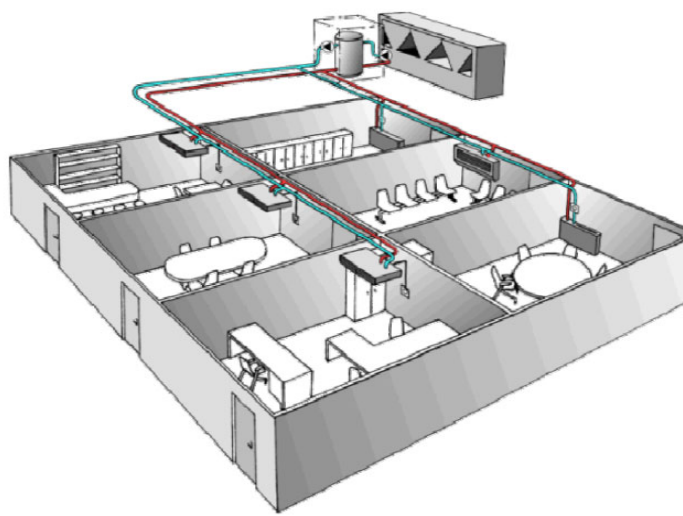
# Sistemas centralizados: aire, agua, refrigerante

## FLUIDO DE TRANSPORTE TÉRMICO

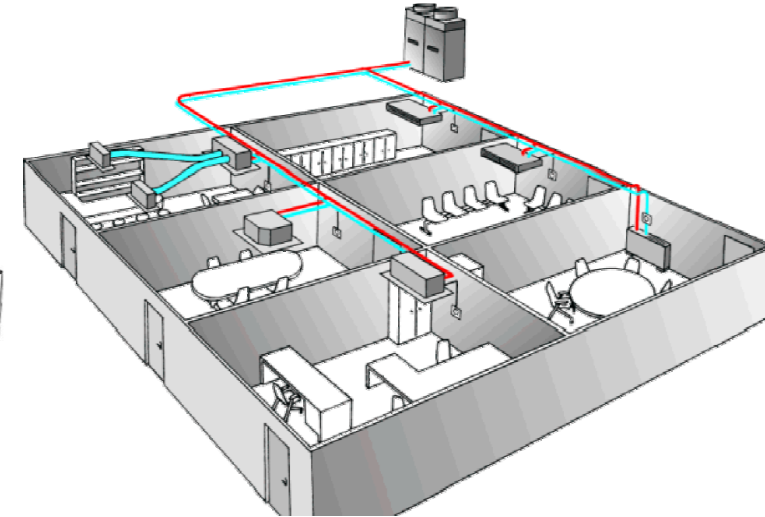
AIRE



AGUA



REFRIGERANTE



Flujo de aire:

- Compensa las cargas térmicas
- Renueva el aire del local

Flujo de agua:

- Compensa las cargas térmicas

Flujo de aire neutro:

- Renueva el aire del local
- Si el aire no es neutro, sistema aire-agua

Flujo de refrigerante (freón, CO2, etc):

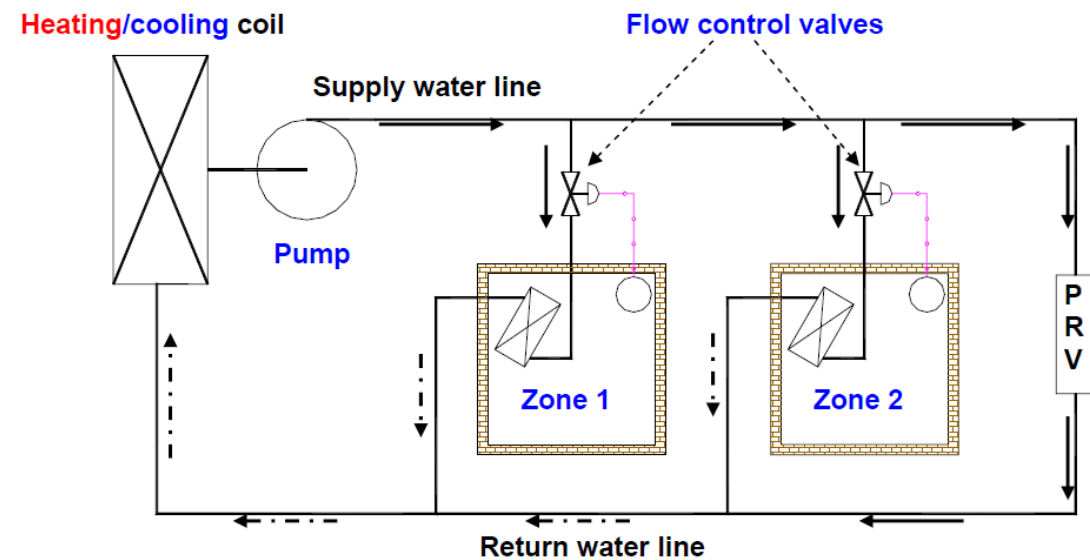
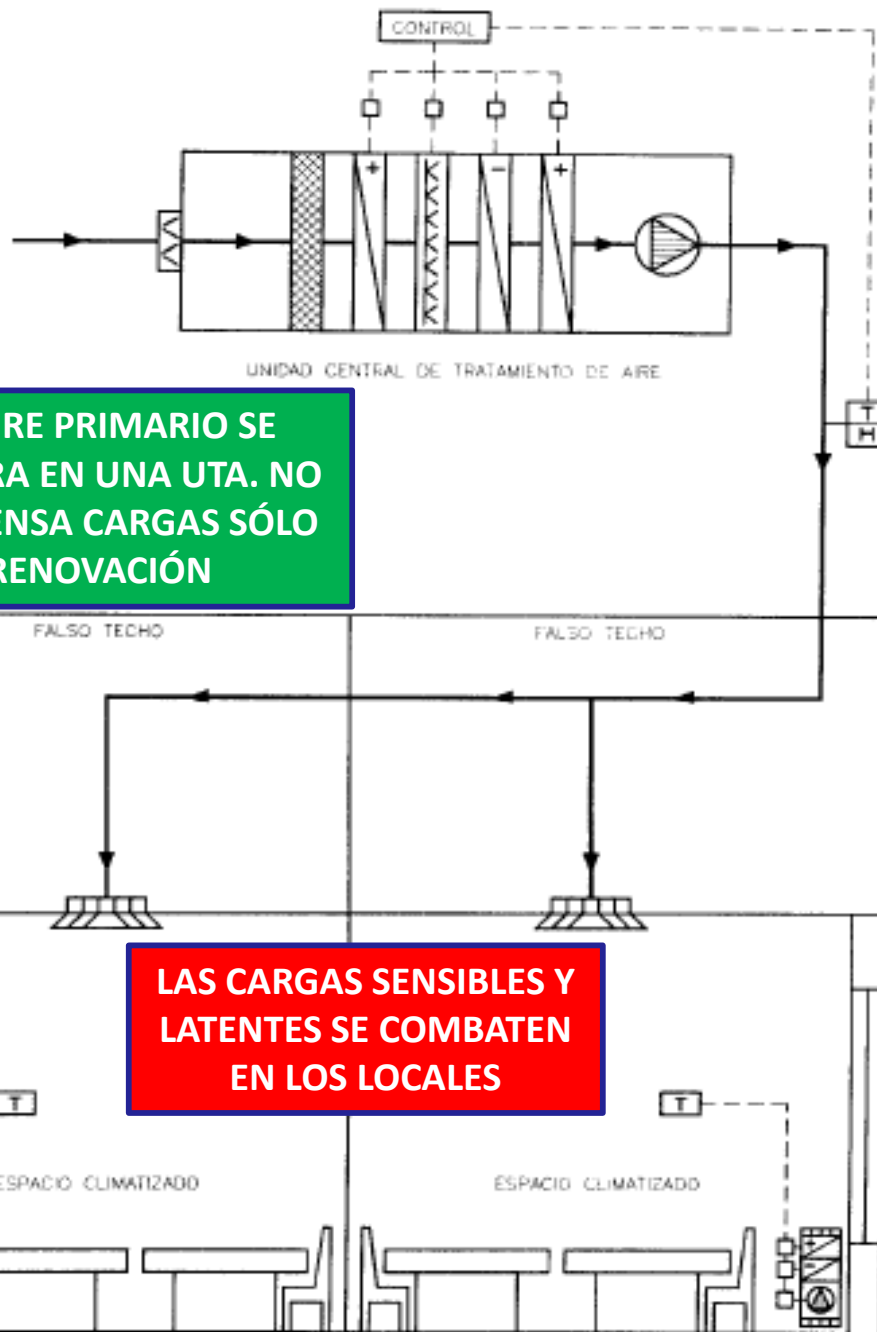
- Compensa las cargas térmicas

Flujo de aire neutro:

- Renueva el aire del local
- Si el aire no es neutro, sistema aire-refrigerante

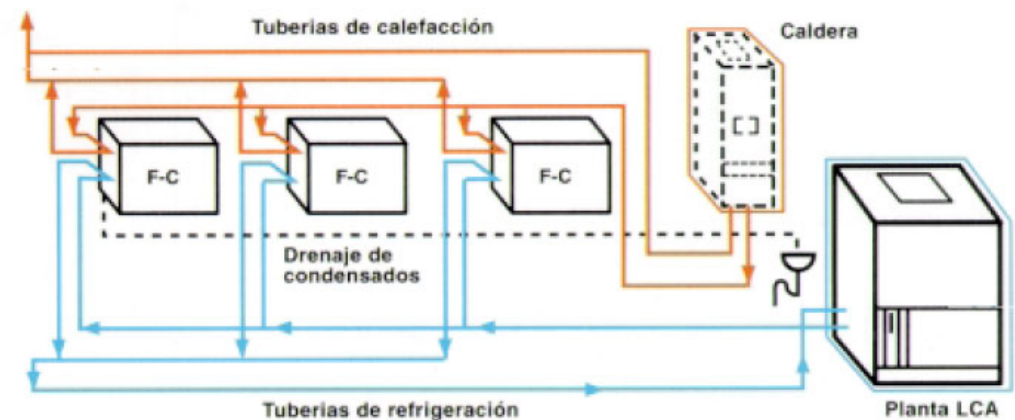


# Sistemas todo agua: fan coils



**RED DE AGUA A LOS FANCOILS A DOS TUBOS: no puede individualizar calor y frío**

**RED DE AGUA A LOS FANCOILS A CUATRO TUBOS: sí puede individualizar calor y frío**



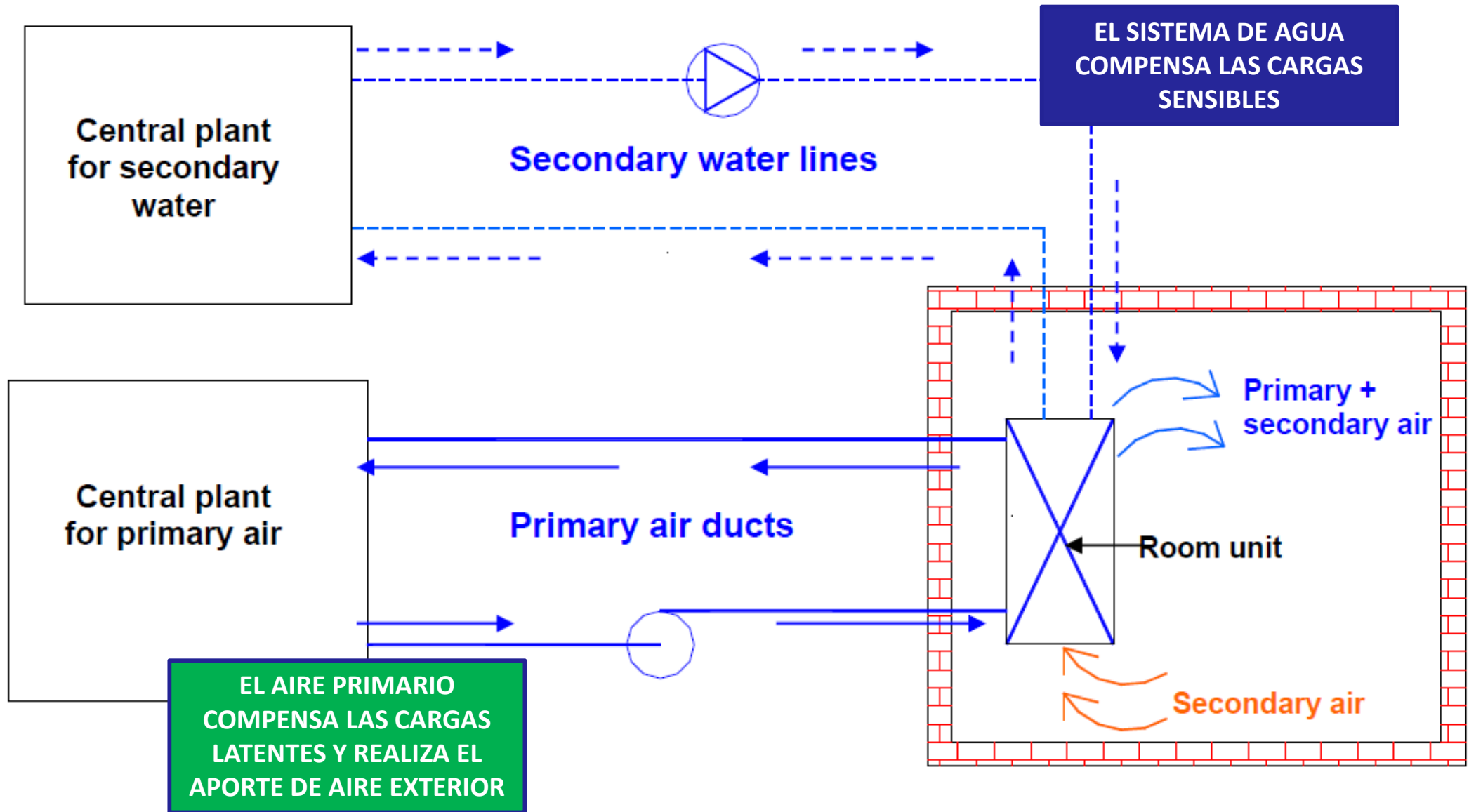
## Diapositiva 33

---

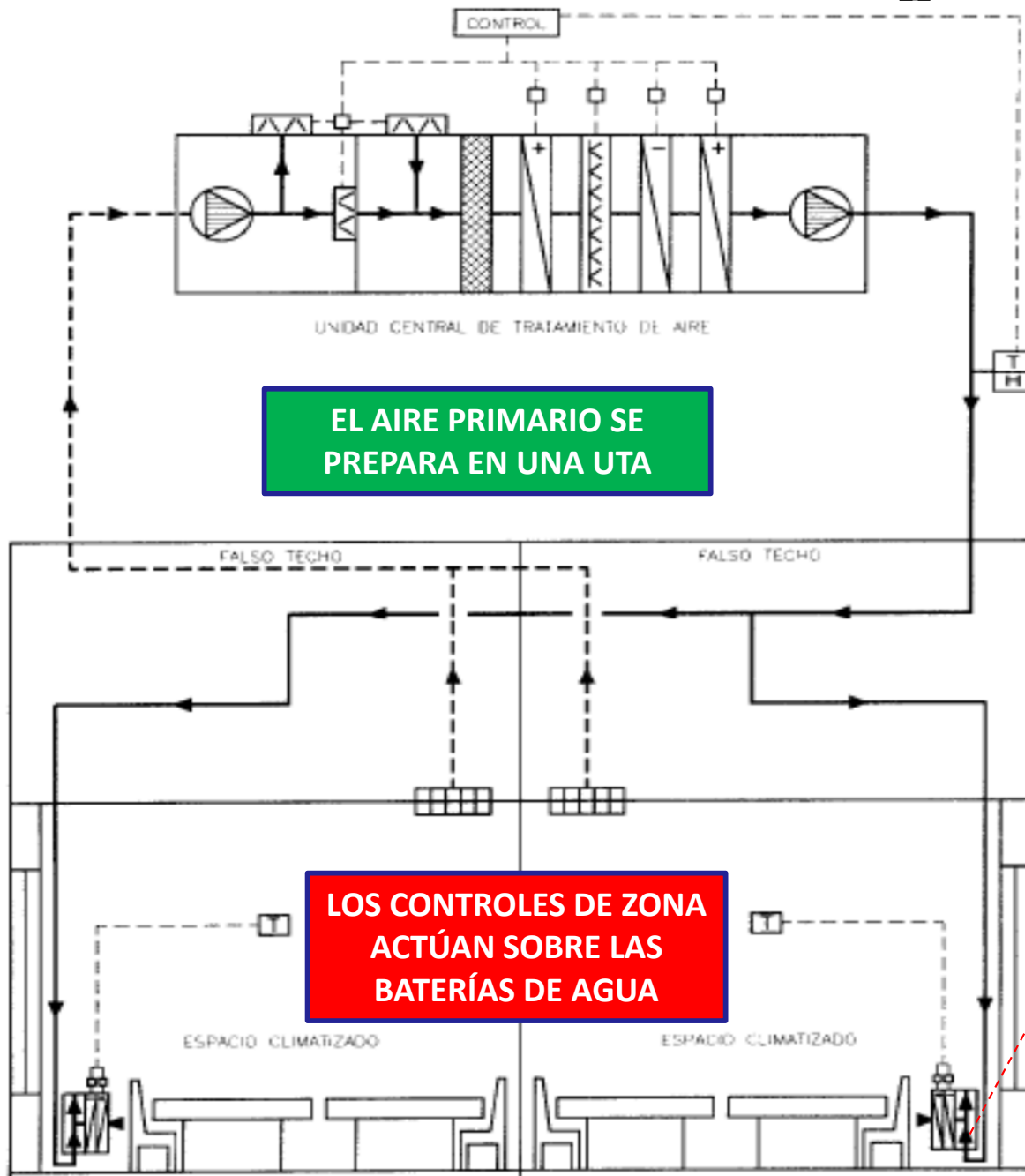
**LMMC1**

Luis Manuel Mochon Castro; 14/02/2020

# Sistemas aire-agua: Generalidades



# Sistemas aire-agua con inductores



Aire primario (el de la UTA):

- Compensa carga latente
- Aporta aire de renovación

El aire primario se lleva hasta los inductores, donde descarga por unas toberas a alta velocidad, lo que induce un caudal secundario del espacio, y a donde se inyectan ambos conjuntamente

Inductores:

- Compensan carga sensible
- Constan de batería caliente y fría, reguladas por termostatos de zona
- + Buena distribución del aire en locales
- + Control particularizado de cada local
- + Posibilidad de realizar free-cooling
- Ocupa algo de espacio en local
- Riesgo de condensación en inductores

# Sistemas aire-agua

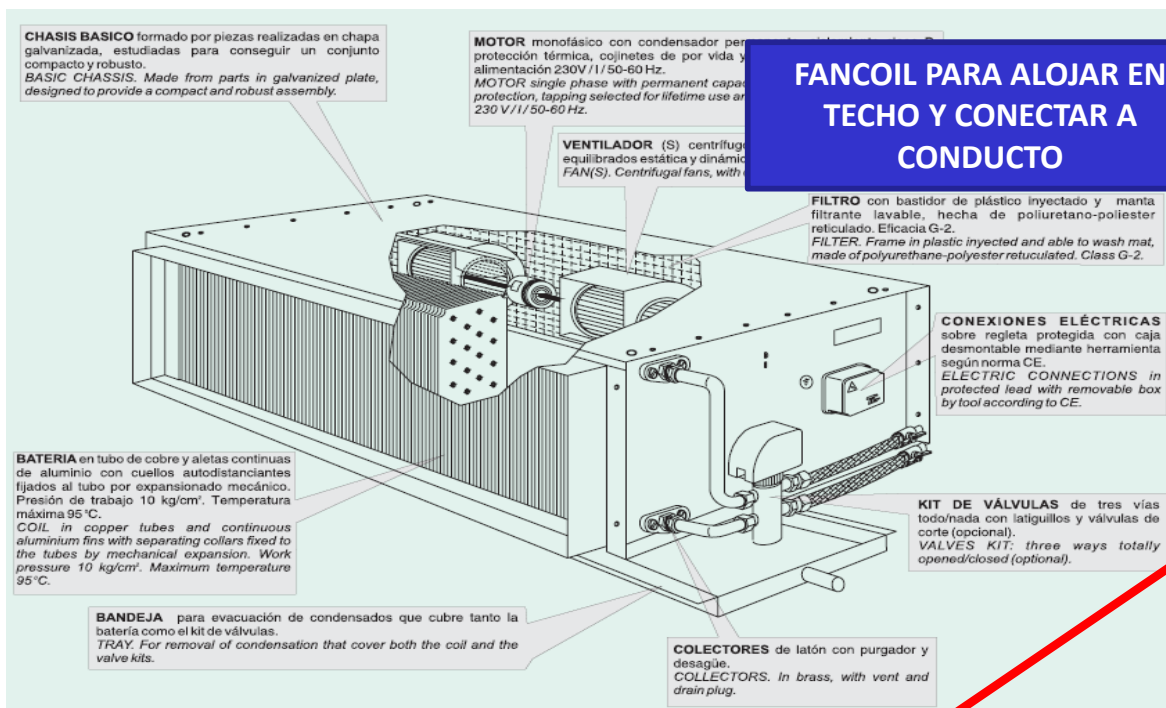
## Ventajas:

1. El agua tiene mayores calor específico y densidad en comparación con el aire, por tanto, el área de **sección** transversal de las **tuberías** de agua es **menor** que las de aire.
2. **Control de zona individual** es posible de manera **económica** mediante termostatos de ambiente, que controlan los flujos de agua y/o de aire secundario (en inductores).
3. Es posible proporcionar **enfriamiento y calentamiento simultáneo** utilizando aire del circuito primario y agua del circuito secundario, lo que permite dar servicio a instalaciones con distintas cargas.
4. Puede garantizarse **ventilación** en todas las condiciones.
5. **Coste de operación** será **menor**: la potencia requerida para bombear el agua a través del edificio es generalmente menor que la potencia del ventilador necesaria para el aire de suministro y retorno de los sistemas todo aire. ~~También, debido a control individual, las unidades terminales secundarios pueden ser desconectadas si no se requieren.~~

## Inconvenientes:

1. En comparación con los sistemas de aire, los **controles** son **más complejos** debido a la necesidad de manipular y controlar tanto el aire del primario como el agua del secundario.
2. **Si tenemos una carga latente muy alta** en parte del edificio, entonces puede tener lugar **condensación** en el serpentín de enfriamiento de agua secundaria.
3. ~~Las unidades terminales requieren **mantenimiento** frecuente **en las zonas**.~~
4. ~~El **coste inicial** puede ser **alto** en comparación con los sistemas todo aire y todo agua.~~

# Sistemas todo agua: fancoils



## FANCOIL PARA ALOJAR EN TECHO Y CONECTAR A CONDUCTO

## FANCOIL TIPO CONSOLA (BAJO VENTANA)

Chasis en chapa galvanizada de sólida estructura

Aislamiento chasis en poliestireno expandido

Mot/ventilador

Batería con colectores soldados

Bandeja de recogida de condensados

Embellecedor en ABS

Rejilla portafiltros abatible sin tornillos

Tapa desmontable para acceso a bomba desagüe

Soporte motor

Bomba de desagüe centrífuga con detector de alarma

Tubo de vaciado

Oído del ventilador

Filtro

## FANCOIL TIPO CASSETTE PARA MONTAR EN TECHO VISTO

# Sistemas todo agua

## Ventajas:

1. El agua es un medio de transferencia de calor eficaz, por lo tanto, las **tuberías de distribución** en general, son **de volumen** relativamente **pequeño** en comparación con los conductos de aire.
2. El **coste inicial** de la instalación es **menor** que para otros sistemas centrales.
3. El funcionamiento puede ser fácilmente ~~apagado en áreas no ocupadas~~.
4. ~~Más silencioso que los sistemas unitarios~~.
5. Permite un **control individual de temperatura** en cada zona.
6. **Evita la contaminación** cruzada **de aire recirculado** de una habitación a otra.

## Inconvenientes:

1. Todo sistema de agua está limitado por su **incapacidad para controlar la humedad relativa**, el contenido de aire exterior (**ventilación**), la **composición del aire** y la **presión**.
2. Se requiere un **sistema de ventilación independiente** para instalaciones de calidad.
3. A menos que la deshumidificación y la carga latente se gestionen con un sistema de ventilación independiente, se **requiere un sistema de drenaje de condensado** y los **filtros de aire** en los terminales deben **limpiarse periódicamente**.
4. Los **filtros** asociados a unidades terminales son de baja eficiencia y requieren **cambios frecuentes** debido a las limitaciones de presión estática.
5. **Trabajos de mantenimiento** en las **zonas ocupadas**.

# Sistemas centralizados por refrigerante: VRV (volumen de refrigerante variable)

## *Volumen de refrigerante variable (VRV)*

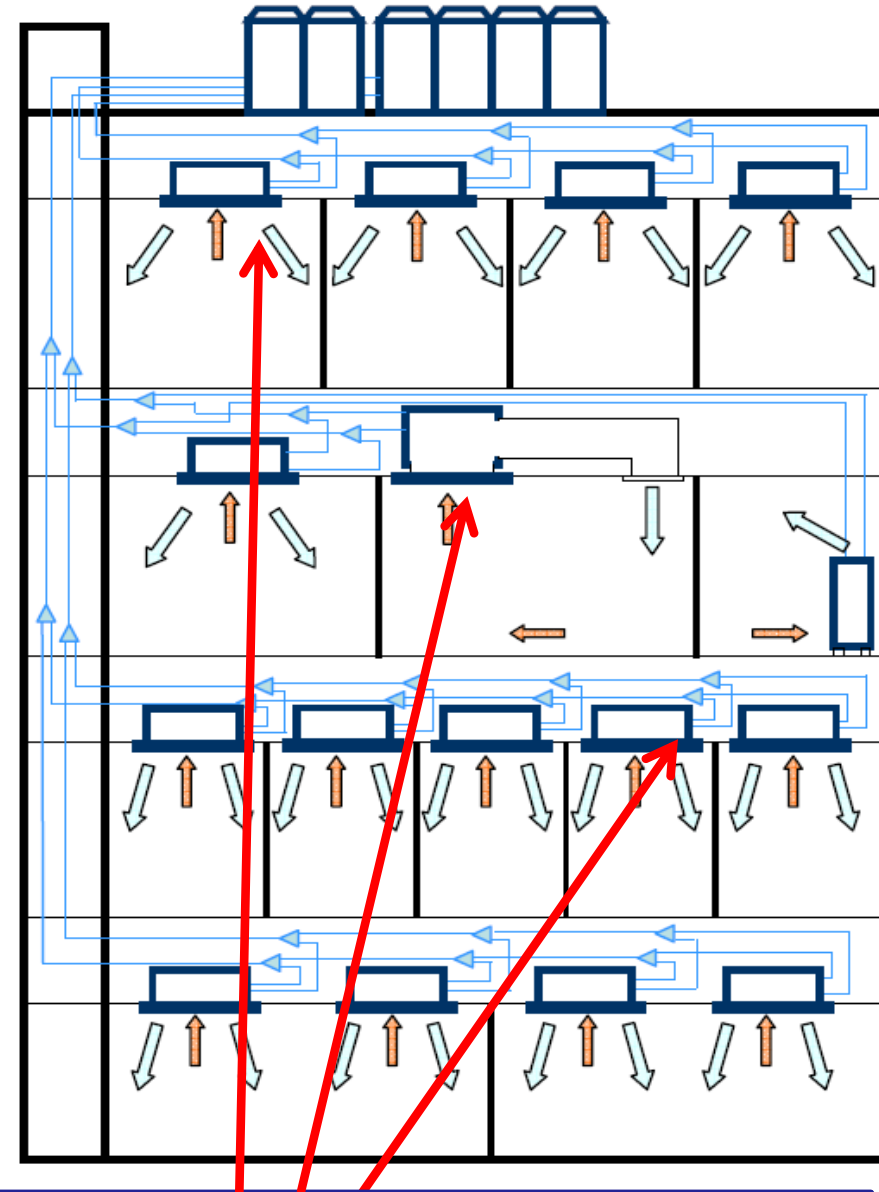
Unidad exterior  
VRV



Unidad interior  
VRV



MUCHAS CONFIGURACIONES  
POSIBLES PARA UNIDADES  
INTERIORES



SE PUEDEN ATENDER MUCHAS ZONAS (HASTA 10)



# TEMA 11: INSTALACIONES DE CLIMATIZACIÓN Y VENTILACIÓN

## 11.0 Introducción y Bases

## 11.1 Sistemas de Climatización

## 11.2 Tuberías y Conductos

- Introducción
- Flujo en ductos
- Diseño de conductos de aire
- Ventiladores
- Redes de agua

# Tuberías y conductos

Los fluidos que se emplean normalmente en climatización son:

- **Aire:**

Fluye a través de **conductos**. Se fuerza su flujo mediante **ventiladores**. Se regula su caudal mediante **compuertas**.

- **Agua:**

Fluye a través de **tuberías**. Se fuerza su flujo mediante **bombas**. Se regula su caudal mediante **válvulas**.

- **Refrigerante:**

Fluye a través de **tuberías**. Se fuerza su flujo mediante **compresores**. Sufre procesos de cambio de estado (evaporación, condensación).

# Flujo en conductos de aire, pérdida de carga primaria

**Ejemplo 10:** Pérdida de carga por unidad de longitud de un conducto de chapa de rugosidad media, atravesado por un caudal de aire de 10.800 m<sup>3</sup>/h:

- a) Rectangular de 0,7×0,5 m de sección
- b) Circular de igual área que el anterior

Rectangular:

$$v = \frac{Q}{A} = 8,571 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$D_h = 4 \frac{A}{p} = 4 \frac{a \cdot b}{2(a + b)} = 0,583 \text{ m}$$

$$Re = 66400 \cdot D_h \cdot v = 332.000$$

$$f = 0,11 \left( \frac{\varepsilon}{D_h} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,0151 \quad (\varepsilon = 90 \mu\text{m})$$

$$\frac{\Delta p}{L} = f \frac{1}{D} \frac{v^2}{2} \rho = 1,05 \text{ Pa/m} \quad (\rho = 1,1 \text{ kg/m}^3)$$

Circular:

$$A = a \cdot b = 0,350 \text{ m}^2 \quad (\text{la del conducto rectangular})$$

$$D = \sqrt{4A/\pi} = 0,668 \text{ m}$$

$$v = \frac{Q}{A} = 8,571 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (\text{era de esperar})$$

$$Re = 66400 \cdot D \cdot v = 379.936$$

$$f = 0,11 \left( \frac{\varepsilon}{D_h} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,0146 \quad (\varepsilon = 90 \mu\text{m})$$

$$\frac{\Delta p}{L} = f \frac{1}{D} \frac{v^2}{2} \rho = 0,89 \text{ Pa/m} \quad (\rho = 1,1 \text{ kg/m}^3)$$

“A igual velocidad y rugosidad, el conducto circular es el de menor pérdida de carga”

# Diseño de conductos de aire, métodos de cálculos

## REDUCCIÓN DE VELOCIDAD:

- Elegir la velocidad del conducto principal y dimensionar la sección
- Para los siguientes tramos se va reduciendo la velocidad (2 m/s inferior)
- El ventilador debe aportar la presión suficiente para el conducto más desfavorable
- Para que el sistema esté equilibrado, la caída de presión de todos los conductos en paralelo debe ser la misma. Si no es así, se puede equilibrar añadiendo pérdidas de carga adicionales (compuertas)

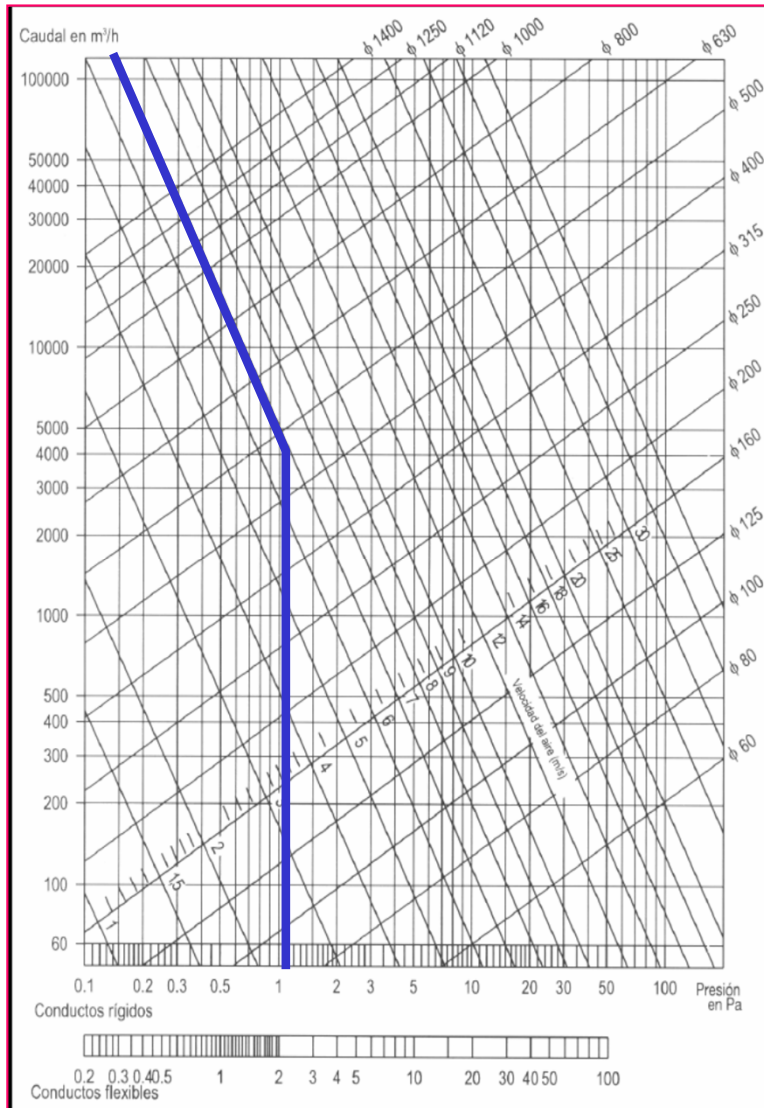
Utilización	Conductos Impulsión		Conductos Retorno	
	C. Principal	C. Derivado	C. Principal	C. Derivado
Residencia	5	3	4	3
Auditorios	6.5	5	5.5	4
Dormitorios	7.5	6	6.5	5
Oficinas	9	7	7	6

# Diseño de conductos de aire, métodos de cálculo

## PÉRDIDA DE CARGA CONSTANTE:

- Fijar una velocidad en el conducto principal
  - Calcular la pérdida de carga por metro en dicho conducto principal [Pa/m]
  - Fijar esta pérdida para el resto de tramos (normalmente entre 0,8 y 1,2 Pa/m)
  - Seleccionar el ventilador, cuya presión disponible será la del ramal más largo
  - Se requiere equilibrar los conductos, pero ofrece mejores resultados que el método anterior
- 
- *En un variante de este método se selecciona en las derivaciones una pérdida de carga diferente, ajustándola para que la red resulte equilibrada*

# Diseño de conductos de aire



$$Q < 4000 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow \Delta p_{\text{max}} = 1,2 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

$$Q > 4000 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow v_{\text{max}} \approx 7 \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ (pg 43)}$$

# Ventiladores

- Por la geometría del flujo:

- **Ventiladores centrífugos:** salida del flujo en sentido cuasi-radial, salto de presión alto



- **Ventiladores axiales:** movimiento del flujo en sentido axial, salto de presión bajo



- **Ventiladores helicocentrífugos:** componente de velocidad axial y radial, salto de presión medio

