

CURSO IPAP - AIRE ACONDICIONADO Y VENTILACION

Transmision del calor

Ver Pag. 11 Manual de Aire Acondicionado de Pedro Quadri.

El calor se transmite por:

1. Conduccion (por contacto directo, por conductividad termica, por intercambio de energia interna de moleculas que en virtud de su energia de movimiento o energia cinetica, chocan entre si. La cantidad de calor por conduccion se expresa por 1 mas abajo:

$$1. \frac{Q_c}{T} = \frac{k.A.}{x} (T_1 - T_2)$$

$\frac{Q_c}{T}$ = calor transmitido por conduccion (kcal/h)

k = coeficiente de conductividad termica (kcal/h.m².°C)

A = area de la superficie (ej. pared, m²)

(T₁-T₂)= diferencia de temperaturas a ambos lados de la superficie, °C).

2. Conveccion:

Transmision del calor a traves de fluidos (ej. liquidos o gases) en que se transporta calor entre zonas con distinta temperature en virtud de movimiento del fluido, lo quw causa mezcla de partes de fluido con distintas temperaturas. La conveccion puede ser natural, por cambio de densidad del fluido, por ejemplo en el caso del radiador electrico de calefaccion domestico. La conveccion puede ser forzada en el caso de enfriamiento mediante ventilador o bomba de agua. La transmision por conveccion ocurre en una capa adyacente a la superficie de intercambio, llamada "capa limite" o "pelicula laminar".

La cantidad de calor por conveccion se expresa por 2 mas abajo:

$$2. \frac{Q_{cv}}{T} = a.A.(T_1 - T_2)$$

$\frac{Q_{cv}}{T}$ = calor transmitido por conveccion (kcal/h)

a = coeficiente de transmision de calor por conveccion ($\frac{\text{Kcal}}{\text{h.m}^2.\text{°C}}$)

A = area de la superficie (ej. pared, m^2)

$(T_1 - T_2)$ = diferencia de temperaturas a ambos lados de la superficie, °C).

3. Radiacion:

El calor se transmite sin contacto directo, por transmision de energia radiante, emitida desde un cuerpo en virtud de su temperatura. No se transmite a traves de moleculas que chocan o se desplazan sino por radiacion electromagnetica, la cual, una vez absorbida por otro cuerpo se transforma en calor.

La cantidad de calor por radiacion se expresa por 3 mas abajo:

$$3. \frac{Q_r}{T} = Cr.A.(T_1^4 - T_2^4)$$

$\frac{Q_r}{T}$ = calor transmitido por radiacion (kcal/h)

Cr = coeficiente de radiacion ($\text{kcal/h.m}^2.\text{°C}$)

A = area de la superficie (ej. pared, m^2)

$(T_1^4 - T_2^4)$ = diferencia de la cuarta potencia de las temperaturas de los cuerpos emisor y receptor.

Metodo de calculo para determinar el coeficiente de transmision del calor

Consideramos una pared de espesor e, en la que la temperatura del aire en una de sus caras se encuentra a una temperatura mayor que la temperatura del aire

en la otra cara. Por eso se origina una transmisión de calor desde la cara más caliente a la más fría. Consideramos el proceso de transmisión de calor en tres (3) etapas:

1a etapa: transmisión de calor desde el aire más caliente (aire exterior), hacia la cara exterior de la pared.

2a etapa: transmisión de calor a través de la pared, desde su cara exterior hasta su cara interior.

3a etapa: transmisión de la cara interna de la pared al aire del espacio acondicionado.

1a etapa:

La transmisión se efectúa por convección y por radiación. Se supone que la pared no está sometida a la radiación solar. La radiación solar sobre la pared se considera separadamente. La cantidad de calor transmitida vale según 3.:

$$3. Q = a_e \cdot A \cdot (t_1 - t_e)$$

Q = Calor transmitido (kcal/h)

a_e = coeficiente de transmisión superficial de calor exterior, que toma en cuenta la convección y la radiación (kcal/h.m².°C)

t_1 = temperatura del aire exterior °C

t_e = temperatura de la cara exterior de la pared °C.

A = área de la pared (m²)

2a etapa:

La transmisión se efectúa por conducción. La cantidad de calor transmitida vale según 4.:

$$4. Q = \underline{k} \cdot A \cdot (t_e - t_i)$$

e

Q = Calor transmitido (kcal/h)

a_e = coeficiente de transmisión superficial de calor exterior, que toma en cuenta la convección y la radiación (kcal/h.m².°C)

t_e = temperatura de la cara exterior de la pared °C.

t_i = temperatura de la cara interior de la pared °C.

A= area de la pared (m^2)

3a etapa:

La transmision se efectua por conveccion y por radiacion. La cantidad de calor transmitida vale segun 5.:

$$5.Q = a_i.A. (t_i - t_2)$$

Q= Calor transmitido (kcal/h)

A_i = coeficiente de transmision superficial de calor interior, que toma en cuenta la conveccion y la radiacion ($kcal/h.m^2.°C$)

t_2 = temperatura del aire interior, es decir del espacio o habitacion °C

t_i = temperatura de la cara interior de la pared °C.

A= area de la pared (m^2).

De 1. Se obtiene $\frac{Q}{a_e.A} = t_1 - t_e$

De 2. Se obtiene $\frac{Q.e}{L.A} = t_e - t_i$

De 3. Se obtiene $\frac{Q}{a_i.A} = t_i - t_2$

Sumando miembro a miembro, las tres ecuaciones 1, 2 y 3, se obtiene:

$$\frac{Q}{A.a_e} + \frac{Q.e}{A.L} + \frac{Q}{A.a_i} = t_1 - t_e + t_e - t_i + t_i - t_2$$

Esto se reduce a $\frac{Q}{A} \left(\frac{1}{a_e} + \frac{e}{L} + \frac{1}{a_i} \right) = t_1 - t_2$

$$6. Q = \frac{1}{\frac{1}{a_e} + \frac{e}{L} + \frac{1}{a_i}} \cdot A \cdot (t_e - t_i)$$

la expresion $\frac{1}{\frac{1}{a_e} + \frac{e}{L} + \frac{1}{a_i}}$ se denomina K, coeficiente

de transmision total de calor (kcal/h.m².°C).

Esta es la ecuacion basica fundamental para el calculo de la transmision de calor a utilizar en los balances caloricos.

$$Q = K.A. (t_e - t_i)$$

Para determinar el coeficiente K, se aplica la inversa, denominada R = Resistencia termica total (m².°C.h/kcal)

$$R_T = \frac{1}{K_T}$$

$$R_T = \frac{1}{a_e} + \frac{e}{L} + \frac{1}{a_i}$$

Ver ejemplo en pagina 22. Del Manual de Aire Acondicionado

Psicrometria

El aire atmosferico esta constituido por una mezcla de aire seco y de vapor de agua cuya proporcion varia.

El aire seco se compone de 77% de nitrogeno, 22% de oxigeno y 1% de gases tales como CO₂, argon, etc.

La cantidad de vapor de agua en la atmosfera es extremadamente variable, definiendose el termino humedad como el contenido de vapor de agua en la misma.

A la mezcla de aire seco con vapor de agua se aplica la Ley de Dalton de las presiones parciales, que establece que en una mezcla de gases cada gas ocupa

el volume total como si los otros gases no estuvieran presents y cada gas ejerce su propia presion parcial.

$$V = V_a = V_v$$

La Ley de Dalton establece lo siguiente:

1. La presion total de una mezcla de gases es igual a la suma de las presiones parciales de cada uno de los gases components de la mezcla.
2. El contenido de calor de la mezcla (entalpia) es la suma de los contenidos de calor de los gases constituyentes de la misma.

Por lo tanto, de 1. Resulta:

$$P = p_a + p_v$$

Aplicando al aire humedo la Ley de los Gases Perfectos:

$$8. \quad pV = GRT$$

p = presion total de la mezcla
 G = peso total de la mezcla
 R = constant de los gases perfectos
 G = peso total de la mezcla
 V = volume total de la mezcla

$$\text{De 8. } G = \frac{V}{T} \cdot \frac{1}{R} \cdot p$$

El peso $G = G_a + G_v$
 G_a = peso de aire seco
 G_v = peso de vapor de agua

Ademas, aplicando la ecuacion anyterior a cada gas en particular,

$$9. \quad G_a = \frac{V}{T} \cdot \frac{1}{R_a} \cdot p_a$$

$$10. \quad G_v = \frac{V}{T} \cdot \frac{1}{R_v} \cdot p_v$$

Dividiendo miembro a miembro las ecuaciones 9 y 10

$$11. \quad \frac{G_v}{G_a} = \frac{R_a p_v}{R_v p_a}$$

$$R_a = 848/28,96 = 29,28$$

$$R_v = 848/18 = 47,1$$

$$\text{Por lo tanto } R_a/R_v = 29,28/47,1 = 0,622$$

Ecuac. 11

$$11. \quad \frac{G_v}{G_a} = \frac{R_a p_v}{R_v p_a} = 0,622 \frac{p_v}{p_a}$$

Humedad especifica

Se define humedad especifica h_e a la relacion entre el peso del vapor de agua en cada 1 kg de aire seco.

$$h_e = \frac{G_v}{G_a}$$

La humedad especifica se mide en gramos de agua por kg de aire seco.

$$\text{Reemplazando en 11. } h_e = 0,622 \frac{p_v}{p_a}$$

La cantidad de humedad especifica del aire humedo no es ilimitada y cuando contiene el maximo de vapor de agua que puede contener, se dice que la dicho aire humedo esta saturado.

La humedad especifica de saturacion h_{e_s} se calcula como sigue:

$$\text{Para el aire saturado } p_v = p_s$$

$$\text{La presion parcial del aire seco } p_a = p - p_s$$

$$\text{Reemplazando en 11. } h_e = 0,622 \frac{p_s}{p - p_s}$$

$$\text{En la saturacion, } h_e = h_{e_s} \text{ y } p_a = p - p_s$$

$$12. \quad h_{e_s} = 0,622 \frac{p_s}{p - p_s}$$

Al conocerse los valores de la presion de saturacion p_s , se puede conocer los distintos valores de h_{e_s} , con la formula 12.

Los valores de la presion de saturacion para cada temperatura se obtienen de mediciones precisas en el laboratorio. Por ejemplo, para 20 °C se establece en el laboratorio que la presion de saturacion es 17,53

mmHg. La presión total es 760 mmHg. Al reemplazar, queda:

$$h_e = 0,622 \frac{17,53}{760-17,53} = 0,0147 \text{ kg/g de aire seco}$$

La presión de saturación aumenta al aumentar la temperatura del aire. Por lo tanto, la humedad específica de saturación (la máxima cantidad de humedad que puede contener un volumen de aire húmedo), aumenta al aumentar la temperatura del aire.

Humedad relativa

Se define humedad relativa a la relación $HR = \frac{h_e}{h_{e_s}}$

HR = humedad relativa (%)

h_e = humedad específica del aire a una dada temperatura y presión (g/kg)

h_{e_s} = humedad específica del aire **saturado** a la misma presión y temperatura.

Es decir que la humedad relativa representa el porcentaje de saturación que tiene el aire.

Por ejemplo, el punto A en el diagrama psicrométrico se encuentran sobre la curva de humedad relativa 50%. Para dicho punto se lee en el diagrama un valor de temperatura de bulbo seco de aprox. 24,5°C, temperatura de bulbo húmedo de aprox. 22°C, humedad absoluta 10 gramos de vapor por kg de aire seco y punto de rocío de aprox 14°C.

Representación de un proceso típico de acondicionamiento de aire: enfriamiento y deshumidificación.

Es habitual representar en el diagrama psicrométrico los procesos del aire correspondiente al diseño que se está desarrollando.

Se describe a continuación tal representación en el diagrama psicrométrico.

Suponemos que se ha calculado los siguientes valores del proyecto:

- Q_{Sesp} : Calor sensible de los espacios (este es el calor que representa el cambio de temperatura (de bulbo seco) del aire de los espacios a acondicionar). Es el calor sensible que el aire frío inyectado absorbe de los espacios. Lo representa la diferencia entre las temperaturas de bulbo seco de los puntos Int y Iny (ver diagrama psicométrico en este ejemplo).
Suponemos que se obtuvo, por cálculo,
 $Q_{sa} = 121.300W$

- Q_{Lesp} : Calor latente del ambiente (este es el calor que representa el cambio de humedad del aire de los espacios a acondicionar).
Lo representa la diferencia entre los valores de h de los puntos Int y Iny (ver diagrama psicométrico en este ejemplo).
Suponemos que se obtuvo, por cálculo,
 $Q_{la} = 18270W$

Ahora se determina el caudal de aire a inyectar a los espacios, V_{iny} .

V_{iny} = caudal total de aire inyectado a los espacios (expresado en litros por segundo l/s o m³/h, etc)

Se obtiene V_{iny} como $V_{iny} = \frac{Q_{sa}}{1,2 \times (t_{int} - t_{iny})}$

Por cálculo se obtuvo $Q_{sa} = 121300 W$
Se eligió $(t_{int} - t_{iny}) = (22^{\circ}C - 12^{\circ}C) = 10^{\circ}C$

Por lo tanto, $V_{iny} = \frac{121300 W}{1,2 \times 10^{\circ}C} = 10000 l/s$

Supongamos que se decide incorporar al diseño un determinado caudal de aire exterior o aire fresco o aire de ventilación que denominamos V_{ae}
En este ejemplo, resulta $V_{ae} = 2,500 l/s$.

- Q_{Sae} : Calor sensible del aire exterior (este es el calor que representa el cambio de temperatura del aire exterior que se incorpora a los ambientes acondicionados). En el diagrama psicométrico, lo representa la diferencia de temperaturas $40^{\circ}C - 22^{\circ}C$.
Se calcula como

$$V_{Sae}=1,21.V_{ae}(l/s).(t_{ae} - t_{Int})$$

$$V_{Sae}=1,21.2,500 \text{ l/s}.(40^{\circ}\text{C}-22^{\circ}\text{C})= 54450 \text{ W}$$

- Q_{Lae} : Calor latente del aire exterior (este es el calor que representa el cambio de humedad del aire exterior que se incorpora a los ambientes acondicionados). En el diagrama psicometrico, lo representa la diferencia de humedad de E a Int $40^{\circ}\text{C}-22^{\circ}\text{C}$.

Se calcula como

$$V_{Lae}=2,9.V_{ae}(l/s).(h_{ae} - h_{Int})$$

$$V_{Lae}=2,9.2,500 \text{ l/s}.(40^{\circ}\text{C}-22^{\circ}\text{C})= 98103 \text{ W}$$

Calor total de espacios= calor sensible del espacios + calor latent de espacios.

$$Q_{Tesp} = Q_{Sesp} + Q_{Lesp} = 121.300 \text{ W} + 18.270 \text{ W} = 139.570 \text{ W}$$

Calor total del aire exterior= calor sensible del aire exterior + calor latent del aire exterior.

$$Q_{Tae} = Q_{Sae} + Q_{Lae} = 54.450 \text{ W} + 18.270 \text{ W} = 72.720 \text{ W}$$

Gran calor total Q_T = Calor total de espacios + Calor total del aire exterior

$$Q_T = Q_{Tesp} + Q_{Tae} = 139.570 \text{ W} + 72.720 \text{ W} = 212.290 \text{ W} = 212,3 \text{ kW.}$$

V_{iny} = caudal total de aire inyectado a los espacios (expresado en litros por segundo l/s o m³/h, etc)

Se hace notar que el volumen de aire V_{ar} que retorna al pleno de mezcla (V_{ar} = aire de retorno, cuyas temperaturas de bulbo seco y humedo son las mismas que las de los ambientes acondicionados) es la diferencia entre el volumen inyectado V_{iny} y el volume de aire exterior V_{ae} , ver diagrama 1.

$$V_{ar} = V_{iny} - V_{ae}, \text{ es decir } V_{ar} = 10,000 \text{ l/s} - 2,500 \text{ l/s} = 7,500 \text{ l/s.}$$

Suponemos que hemos determinado las condiciones exteriores e interiores de diseño para verano:

Condiciones exteriores o condiciones de ambiente:

tbs = 40°C y HR=45%. Punto Ext

Condiciones interiores:

tbs = 22°C t HR=50% Punto Int

Debemos establecer el punto de mezcla del aire de retorno y el aire exterior. El aire de retorno es aspirado hacia el pleno de mezcla por el ventilador del equipo de aire acondicionado o por un ventilador de retorno. El aire exterior es aspirado hacia el pleno de mezcla por la aspiración del ventilador del equipo de aire acondicionado. En el pleno de mezcla, ambos caudales se mezclan y la condición del aire de mezcla se representa en el diagrama psicométrico por el punto M.

Se unen los puntos Ext (aire exterior) e Int (aire de los espacios acondicionados que retorna al pleno de mezcla).

El punto M se encuentra sobre el segmento Ext-Int.

Del punto Ext conocemos la temperatura y el caudal V_{ae}

La temperatura del punto M, que llamaremos t_M se obtiene de la siguiente ecuación de mezcla (mezcla entre el aire exterior V_{ae} y el aire de retorno V_r)=

$$t_M = \frac{V_{ae} \cdot t_{ae} + V_{ar} \cdot t_{int}}{V_{ae} + V_{ar}} = \frac{2,500 \times 40 + 7,500 \times 22}{2,500 + 7,500}$$

$$t_M = \frac{100.000 + 165.000}{10.000} = \frac{265.000}{10.000} = 26,5^\circ\text{C}$$

Se ubica el punto M, que corresponde al estado del aire de mezcla (que ingresa a la serpentina de enfriamiento del equipo de aire acondicionado) sobre el segmento Ext - Int con la temperatura de la mezcla obtenida 26,5°C.

Desde ese punto de mezcla se obtendrá el punto Iny, que representa las condiciones del aire a la salida de la serpentina de enfriamiento. La evolución del aire de Iny a Int, quedará representado por el segmento Iny - Int o sea que se debe determinar el punto Iny.

Para obtener la posición del punto Iny, se elige una temperatura de bulbo seco de inyección, que será aproximadamente 10°C menor que la del ambiente, que es 22°C, en este caso se elegiremos una diferencia ($t_{bs} \text{ Int} - t_{bs} \text{ Iny}$) de 10 °C, esto es en realidad elegir la temperatura de bulbo seco de inyección del aire a los

espacios, la cual no debe ser demasiado baja, en este caso se eligió 12°C, si se elige demasiado baja, puede resultar en incomodidad si proviene de salidas de aire en un cielorraso que está demasiado bajo (p.ej, 2,4m, menos de 12°C puede resultar molesto a los ocupantes).

El punto Iny, se determina sabiendo que la diferencia de humedad específica de los espacios $h_{e_{esp}} = \frac{QL_{esp}}{2,9 \cdot V_{iny} \cdot 10000 \text{ l/s}}$

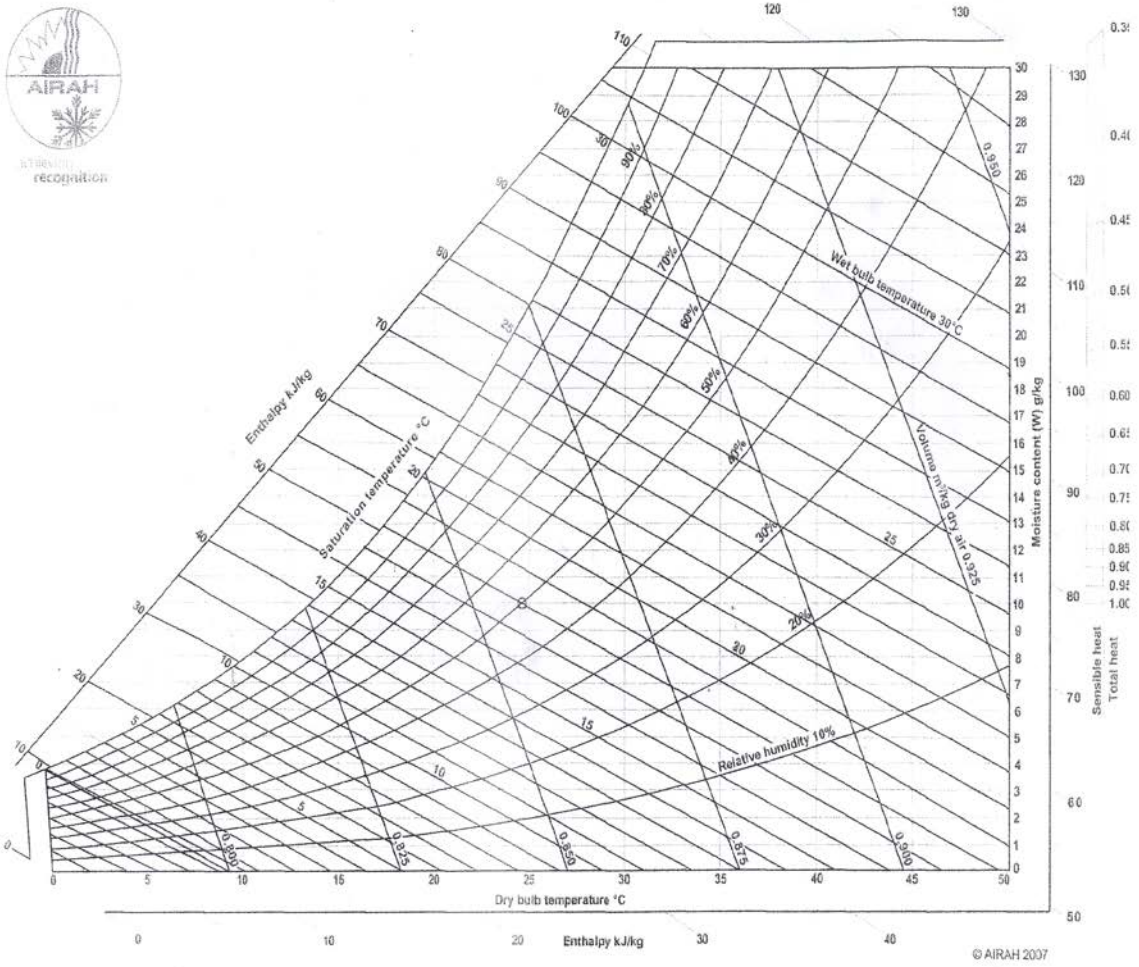
El punto Iny entonces se marca a 10°C y 0,63 g/kgAS desde el punto Int. El valor 0,63 g/kg AS corresponde a 3 mm en la escala del diagrama psicrométrico. El total de la escala es 30 g/kgAS y mide 143mm. Por lo tanto, por regla de tres simple:

$$\frac{143\text{mm}}{30\text{g/kgAS}} = \frac{h_{e \text{ mm}}}{0,63\text{g/kgAS}} \quad \text{por lo tanto } h_{e \text{ mm}}$$

por lo tanto $h_{e \text{ mm}} = 143 \times \frac{0,63}{30} = 3\text{mm}$.

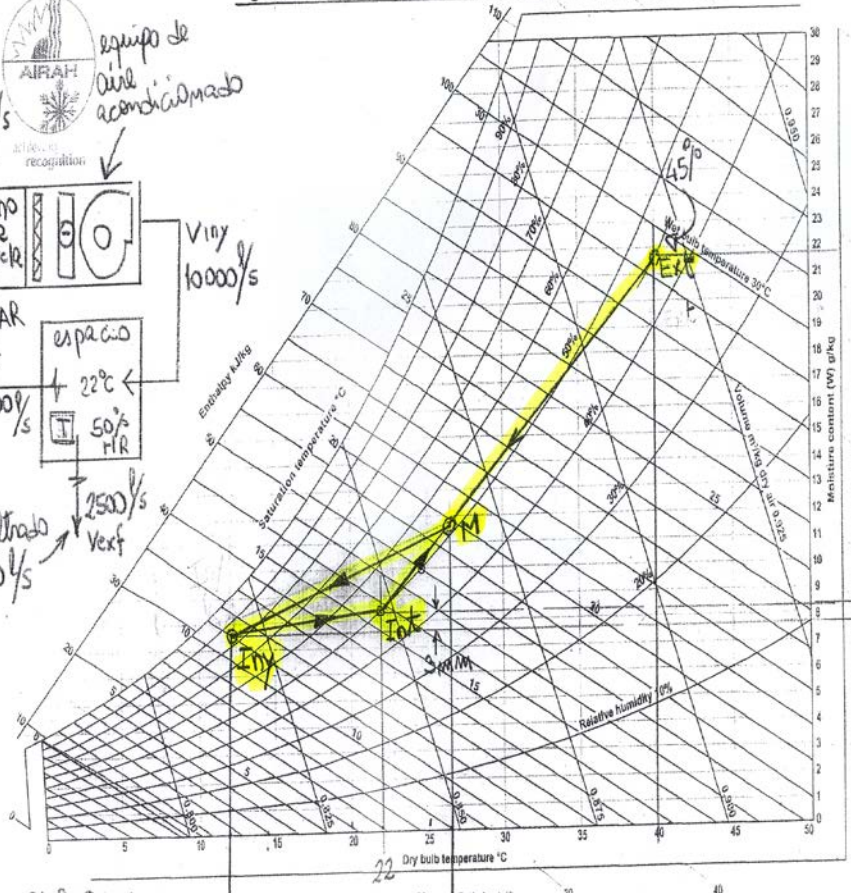
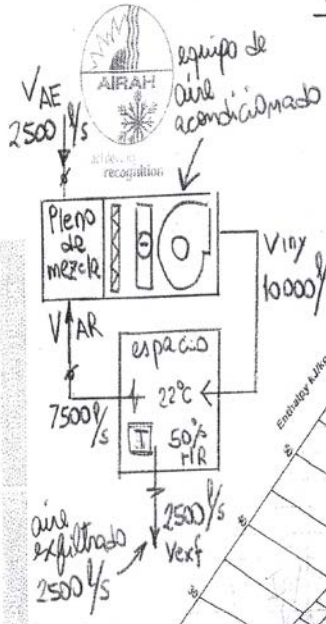
Finalmente, al unir el punto M con el punto Iny, se completa la representación del proceso.

En resumen, el segmento Int-M (con su flecha) representa el aire de retorno (7500 l/s) que fluye al pleno de mezcla. El segmento Ext-M (con su flecha) representa el aire exterior (2500 l/s) que fluye al pleno de mezcla. El punto M representa el estado de la mezcla de aire de retorno con el aire exterior. El segmento M-Iny, con su flecha, representa el enfriamiento y deshumectación del aire de inyección (10000 l/s) al pasar por la serpentina de enfriamiento. El segmento Iny-Int representa el calentamiento y humectación del aire inyectado (menos el aire de alivio 2500 l/s, o sea $10000 - 2500 = 7500 \text{ l/s}$) al absorber el calor sensible y latente de los espacios.



Psychrometric chart

CURSO AIRE ACONDICIONADO IPAP - USO DEL DIAGRAMA PSIGOMETRICO



Psicrometric chart
 Moisture content (W) g/kg
 Sensible heat Total feet
 143mm
 30
 3mm = 0,63 g/kg

$Q_{sps} = 121.300 \text{ W}$
 $Q_{lesp} = 18.270 \text{ W}$
 $Q_{SAE} = 54.450 \text{ W}$
 $Q_{LAE} = 98.103 \text{ W}$

$V_{aext} = 2500/s$
 $V_{iny} = \frac{121.300 \text{ W}}{121 \times 10^3} = 10.000/s$

$t_m = \frac{2500 \times 40 + 17.500 \times 22}{10.000}$

$143mm = 69,5mm$
 $30g$
 $w_e = 13,5g$
 $3mm = 0,63g$
 g/kg