

Determinación de las condiciones de confort.

Caso Práctico: ¿por qué se empañan las gafas?

Ya sabrás que cuando una persona con gafas entra en invierno en un local caldeado, después de haber estado bastante tiempo a la intemperie, se le empañan totalmente las gafas y le resulta imposible ver. Es el mismo fenómeno por el que se empañan algunas ventanas o aparecen condensaciones de agua en algunas paredes en invierno. En este fenómeno de la condensación del agua aparecen dos variables fundamentales: la temperatura y el grado de humedad.



[Andy Morris](#). *steamed up (empañado)* (CC BY-NC)

En esta unidad verás cómo temperatura y humedad influyen en el **confort térmico** y como se relacionan con otras variables termodinámicas existentes en el ambiente térmico. Un alto grado de humedad favorece el crecimiento de mohos y hongos que pueden ser causa de alergias y malos olores, mientras que un bajo grado de humedad favorece la sequedad en mucosas y, con ello, aumenta el riesgo a contraer enfermedades del aparato respiratorio. Parece claro, entonces, que el confort térmico y la propia salud de los materiales de construcción dependerán del adecuado control de estos parámetros.

Y cuando hayamos avanzado lo suficiente, explicaremos científicamente, con ayuda del **diagrama psicrométrico**, el porqué surgen las condensaciones de agua mencionadas, no sólo en las gafas, sino en las ventanas o, incluso, en la parte baja de los coches cuando en verano se pone en marcha el aire acondicionado.

Actualmente, para la gran mayoría de actividades desarrolladas en el interior de los edificios se entiende por acondicionamiento de aire a la corrección de los niveles de temperatura (calefacción y refrigeración) y calidad del aire respirado (ventilación). En las próximas décadas se prevé la inclusión de un cuarto elemento en las instalaciones de acondicionamiento de aire: control de humedad ambiental. Ello es así dado que los sistemas habituales de calefacción tienden a conducir a niveles de humedad relativa por debajo del 30-40%, mientras que los sistemas habituales de refrigeración tienden a conducir hacia niveles de humedad relativa superiores al 60-70%. Precisamente, las recomendaciones acerca de los valores tolerados de humedad en espacios habitados indican niveles mínimos del 40% en invierno y niveles máximos del 60% en verano.

Un alto grado de humedad favorece el crecimiento de mohos y hongos que pueden ser causa de alergias y malos olores, mientras que un bajo grado de humedad favorece la sequedad en mucosas y, con ello, aumenta el riesgo a contraer enfermedades del aparato respiratorio.

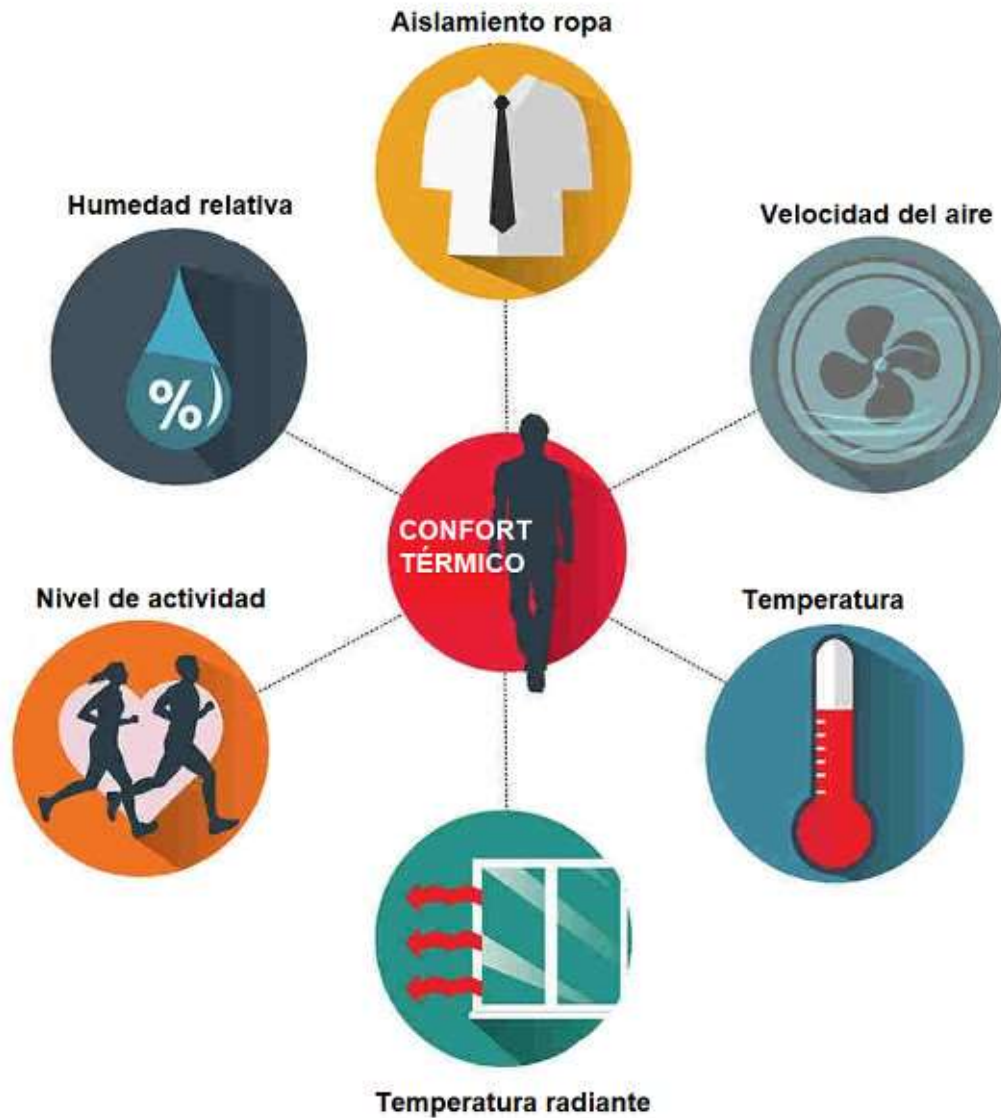
El confort térmico tiene mucho de subjetivo, de hecho la temperatura estándar está establecida sobre el supuesto de un porcentaje de insatisfechos. Lógicamente, ello dificulta obtener números bajos de personas insatisfechas. Un factor de menos del 10% debe considerarse un éxito.

Aunque las personas pueden adaptarse a las condiciones ambientales, incluso aunque sean extremas, existen rangos de temperatura y humedad donde claramente aumenta su confort. ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating & Air-Conditioning Engineers) define el confort como "las condiciones mentales en las cuales una persona está satisfecha de las condiciones climáticas que lo rodean". Las condiciones de confort oscilan de 19 °C a 24 °C y entre 30 % y 70 % de humedad relativa (HR), con variaciones de verano a invierno.

La calidad del ambiente térmico, es función de los siguientes parámetros ambientales a medir en la zona ocupada:

- La temperatura seca del aire
- La humedad relativa
- La temperatura radiante media de los cerramientos
- La velocidad media del aire

- Parámetros relativos a las personas,
 - La actividad metabólica
 - El grado de vestimenta



[PAE Engineers](#). Human confort (Todos los derechos reservados)



Materiales formativos de FP Online propiedad del Ministerio de Educación y Formación Profesional

1.- El cuerpo humano como máquina térmica

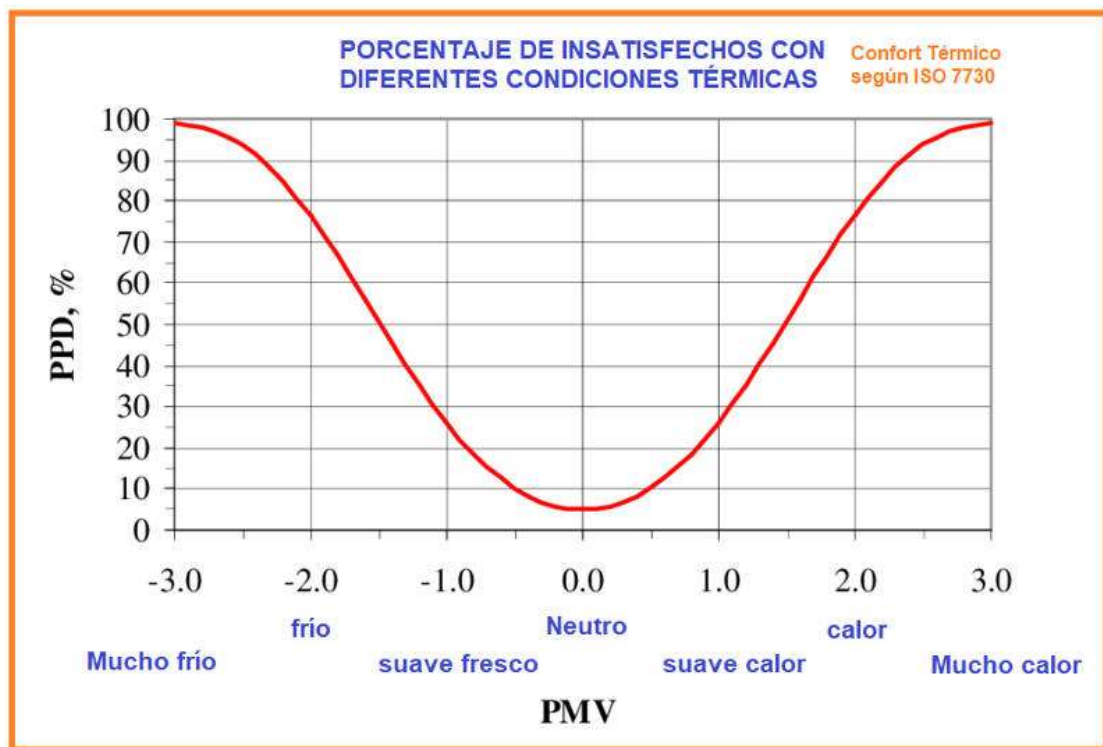
Caso práctico: el conserje de piel de oso

Hace unos años, un conserje de un centro escolar se encargaba de poner en marcha la calefacción y de regular el termostato de la misma. Se daba la circunstancia de que había pasado muchos años en barcos congeladores en Terranova y no tenía la noción de frío, para él siempre hacía calor. Su piel era resistente y le proveía de una resistencia térmica que los demás no tenían. Todos los años había discusiones con el profesorado y el alumnado, especialmente al comienzo de la temporada de calefacción.



[Neil Moralee](#). *Life at the waters edge* (CC BY)

El caso anterior demuestra lo que todos sabemos, que las sensaciones de confort son muy relativas y que es difícil complacer a todos. Tanto es así, que existe una curva que relaciona unas condiciones de confort higrotérmico, más o menos objetivas (___ **PMV**), con el porcentaje de personas insatisfechas (___ **PPD**). Y la experiencia muestra que nunca se conseguirá el 100% de satisfacción. Conseguir que sólo el 5% de, por ejemplo, el alumnado y profesorado del centro esté insatisfecho es todo un logro.



Porcentaje de insatisfechos con las condiciones térmicas

CONFORT HIGROTÉRMICO

ASHRAE define el confort como "las condiciones mentales en las cuales una persona está satisfecha de las condiciones climáticas que lo rodean". Estas condiciones de confort, según un estudio de esta asociación, oscilan de 19 °C a 24 °C y entre 30 % y 70 % de humedad relativa. Según la norma ISO 7730, se define de una manera muy similar: "Comodidad Térmica" es aquella condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico".

Posteriormente veremos cuales son las condiciones en las que la reglamentación nacional establece el confort higrotérmico, cuya definición es muy similar a las anteriores.

INDICE METABÓLICO (met)

Para comprender mejor las necesidades de confort de los ocupantes de un edificio, es preciso conocer cómo se desarrollan los procesos de transferencia de calor a través del cuerpo humano. La cuantificación del calor disipado por las personas, se realiza en función de la denominada tasa de metabolismo o tasa de actividad metabólica, medida en **met**, que es la relación entre la potencia térmica (W ó kcal/h) y la superficie corporal (m²).

1 met equivale a 58,15 W/m² = 50 kcal/h·m² y equivale a la tasa de actividad metabólica de una persona sentada, de complexión media, y sin una actividad especial.

Para el cálculo de una aproximación a nuestra superficie corporal "SC" podemos emplear la ecuación empírica siguiente (DuBois), usando como parámetros, nuestra altura "H" y el peso "P":

$$SC = 0,202 \cdot P^{0,425} \cdot H^{0,75}$$

Se estima que la superficie corporal media de la población es de 1,8 m², aunque por supuesto, varía de un individuo a otro, por lo que **1 met ronda los 100 W/persona**. La tabla adjunta muestra algunos valores empleados para la tasa de metabolismo en función de la actividad desarrollada:

ACTIVIDAD	INDICE METABÓLICO	
	W/m ²	met
Tumbado y descansando	46	0,8
Sentado en posición relajada	58	1
De pie en posición relajada	70	1,2
Sentado con actividad suave (oficina, escuela,...)	70	1,2
De pie con pequeños desplazamientos (laboratorio, tienda,...)	93	1,6
Andando de forma moderada (al ir al trabajo, en una máquina,...)	116	2
Trabajando con cierta intensidad (taller, trabajo intenso con máquinas,...)	165	2,8

INDICE VESTIMENTA (clo)

Por otro lado, el **clo** es una unidad de medida empleada para el índice de vestimenta, que procede del inglés cloth, vestimenta. La unidad se define como el aislamiento térmico necesario para mantener una temperatura estable y cómoda en la piel durante 8 horas, cuando una persona está en reposo a una temperatura de 20 °C, con una humedad relativa del 50% y sin influencia de la radiación solar. La unidad equivale a un aislamiento térmico equivalente a

$$1 \text{ clo} \rightarrow R_{\text{clo}} = 0,155 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Para saber más

Energía corporal

Vestimenta

Actividad física

Energía corporal

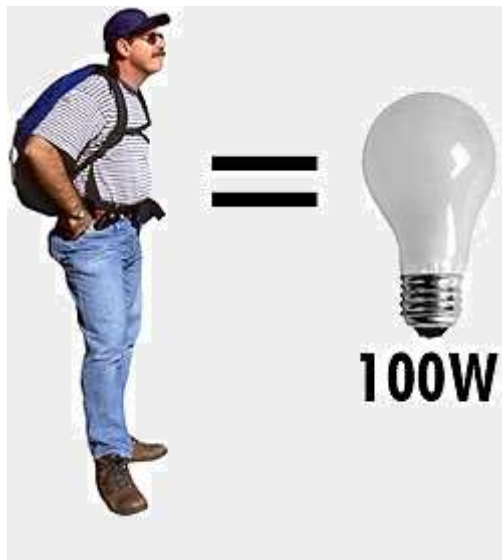
The average human consumes approximately 2 000 kcal per day (it's actually usually somewhere between 2 200 and 4 000, but 2 000 is a nice number). Using a simple conversion (1 calorie = 4,1868 J), this amounts to $8,37 \times 10^6$ joules ingested per day.

This means that the average person expends $\sim 8.37 \times 10^6$ joules of energy per day, since most of us are in some sort of equilibrium with our surroundings. Assuming most of this energy leaves us in the form of heat, I calculate that on average we radiate $\sim 350\,000$ J of energy per hour. Since Watt is just Joules per second, this is roughly equal to energy given off by a 100 Watt light bulb!

This assumption, that most of our expended energy leaves us in the form of heat, is actually a decent one. Speaking as a relatively normal college student (in all relevant respects), the amount of energy I expend doing non-thermal work on my surroundings every day seems pretty trivial. Aside from playing tennis (during and after which I am very actively radiate thermal energy), probably the most energetic thing I do is walk up 5 flights of stairs to my dorm room. This increase in gravitational potential energy, however, is only $\sim 12\,000$ J, or on the order of 0,1% of my total energy expenditure.

The one thing I have neglected (not being a biologist/chemist/physician/whatever) is chemical and biological changes in the human body that would cause the amount of ingested energy to be different than expended energy. This could be due to things like creation/burning of fat, abnormal heat radiation (such as when the body temperature rises while the immune system combats an illness), or increased activity (such as a weightlifter building muscle mass, although I suspect that at higher levels of activity the body's efficiency drops quite a bit, and the heat/work ratio goes up).

WEST, George. *How much heat per hour do humans dissipate?*
Physlink.com



Vestimenta

		clo	R (m ² C/W)			clo	R (m ² C/W)
Shirts	Tube top	0.06	0.009	Sweaters	Sleeveless vest	0.12	0.019
	Short sleeve	0.09	0.029		Thin sweater	0.20	0.031
	Light blouse, long sleeves	0.15	0.023		Long sleeves, turtleneck (thin)	0.26	0.040
	Light shirt, long sleeves	0.20	0.031		Thick sweater	0.35	0.054
	Normal, long sleeves	0.25	0.039		Long sleeves, turtleneck (thick)	0.37	0.057
	Flannel shirt, long sleeves	0.30	0.047	Jacket	Vest	0.13	0.020
	Long sleeves, turtleneck blouse	0.34	0.053		Light summer jacket	0.25	0.039
Trousers	Shorts	0.06	0.009		Smock	0.30	0.047
	Walking shorts	0.11	0.017		Jacket	0.35	0.054
	Light trousers	0.20	0.031	Coats, moverjackets and overtrousers	Overalls multi-component	0.52	0.081
	Normal trousers	0.25	0.039		Down jacket	0.55	0.085
	Flannel trousers	0.28	0.043		Coat	0.60	0.093
	Overalls	0.28	0.043		Parka	0.70	0.109
Coveralls	Daily wear, belted	0.49	0.076	Sundries	Socks	0.02	0.003
	Work	0.50	0.078		Shoes (thin soled)	0.02	0.003
Highly-insulating coveralls	Multi-component, filling	1.03	0.160		Slippers, quilted fleece	0.03	0.005
	Fibre-pelt	1.13	0.175		Shoes (thick soled)	0.04	0.006
Skirts, dresses	Light skirt, 15 cm. above knee	0.01	0.016		Thick, ankle socks	0.05	0.008
	Light skirt, 15 cm. below knee	0.18	0.028		Boots 0.1	0.016	0.005
	Heavy skirt, knee-length	0.25	0.039		Gloves	0.05	0.008
	Light dress, sleeveless	0.25	0.039		Thick, long socks	0.10	0.016
	Winter dress, long sleeves	0.40	0.062	Sleepwear	Undershorts	0.10	0.016
					Thin strap, short gown	0.15	0.023
Sleepwear					Long sleeve, long gown	0.30	0.047
					Hospital gown	0.31	0.048
					Long sleeve, long pyjamas	0.50	0.078
					Body sleep with feet	0.72	0.112

Actividad física

ACTIVITY LEVEL	W/M ²	MET
Reclining	46	0.8
Seated relaxed	58	1.0
Clock and watch repairer	65	1.1
Standing relaxed	70	1.2
Sedentary activity (office, dwelling school, laboratory)	70	1.2
Sports -Running, 15 km/h	550	9.5
Car driving	80	1.4
Graphic profession - Book Binder	85	1.5
Standing, light activity (shopping, laboratory, light industry)	93	1.6
Teacher	95	1.6
Domestic work -shaving, washing and dressing	100	1.7
Walking on the level, 2 km/h	110	1.9
Standing, medium activity (shop assistant, domestic work)	116	2.0
Building industry -Brick laying (Block of 15.3 kg)	125	2.2
Washing dishes standing	145	2.5
Building industry -forming the mould	180	3.1
Walking on the level, 5 km/h	200	3.4
Forestry -cutting across the grain with a one-man power saw	205	3.5
Sports -Ice skating, 18 km/h	360	6.2
Agriculture -digging with a spade (24 lifts/min.)	380	6.5
Sports -Skiing on level, good snow, 9 km/h	405	7.0
Forestry -working with an axe (weight 2 kg. 33 blows/min.)	500	8.6

Autoevaluación

1.- En una oficina de 40 empleados, 4 de ellos están disconformes con el ambiente térmico en el interior en invierno. Por ello, podemos considerar el resultado muy negativo

☐ Verdadero ☐ Falso

Falso

Esto equivale a que el 10% de las personas no están satisfechas, lo que es un resultado estadístico muy razonable.

2.- En la calidad del ambiente térmico hay que tener en cuenta, entre otros factores, el nivel de actividad física que se realiza y la ropa que se lleva

☐ Verdadero ☐ Falso

Verdadero

Así es, ya que no es lo mismo tener 21°C de temperatura en invierno en un supermercado, en el que la gente se mueve y suele llevar abrigo, que en un vestuario de una piscina climatizada.

3.- Una persona con dificultad para sudar al realizar ejercicio físico intenso pasará menos calor que otra que suda fácilmente

☐ Verdadero ☐ Falso

Falso

Es justo lo contrario, una sudoración fácil evacúa más fácilmente el calor del organismo, ya que la evaporación del sudor absorbe calor del cuerpo.

4.- Una persona que va corriendo a 15 km/h, podemos suponer que realiza una actividad de 1,8 met

☐ Verdadero ☐ Falso

Falso

Probablemente estaríamos hablando de más de 3 met en adelante.

Ejercicios Resueltos

1. ¿Cuál es la cantidad de energía disipada por hora por una persona con una tasa de metabolismo de 1 met, considerando que la altura es de 1,8 m y el peso es de 70 kg? ¿Cuántas personas serían necesarias para que desprendieran en una hora el mismo calor que el de una estufa de 1kw?

Mostrar retroalimentación

La siguiente ecuación permite estimar la superficie corporal en función de la altura (H) y peso (P):

$$SC = 0,202 \cdot P^{0,425} \cdot H^{0,75}$$

Para una altura de 1,8 m y un peso de 70 kg, la superficie corporal aproximada es de 1,88 m².

La energía disipada es pues de $1,88 \times 50 = 94 \text{ kcal/h}$

Como $1 \text{ kWh} = 864 \text{ Kcal}$, $n = 864/94 = 9,2 \sim$ **alrededor de 9 personas**

2. ¿Cuáles son las causas más frecuentes de malestar térmico? Indaga en libros y en internet.

Mostrar retroalimentación

El malestar térmico, a pesar de estar las temperaturas y humedades comprendidas en los valores estándar, puede ser causado por un enfriamiento o calentamiento de una parte específica del cuerpo. La causa más común de malestar térmico local se debe a las corrientes de aire, siendo las otras causas el excesivo gradiente vertical de temperatura, la asimetría de la temperatura radiante y la temperatura del suelo excesivamente baja o alta.

Ejercicios Para Resolver

1.- Un ciclista ingiere alimentos por valor de 2 750 kcal a lo largo de una carrera. Averigua el rendimiento mecánico del metabolismo si gasta el 20% en las funciones metabólicas básicas y el resto lo invierte en desarrollar una potencia media de 200 W para hacer una ruta de 3 h.

Mostrar retroalimentación

Solución: 24 %

2.- Si el ciclista del ejercicio anterior sube un puerto en un tiempo de 1 h, desarrollando una potencia media de 300 W, ¿cuántas barritas energéticas de 300 kcal debería tomar para reponer las fuerzas, si el rendimiento es del 20% y consideramos que toda la energía consumida se invierte en energía mecánica (despreciamos el gasto energético de las otras funciones metabólicas)?

Mostrar retroalimentación

Solución: 4,3 barras

2.- Parámetros funcionales y terminología

Caso práctico: el Everest

legar a la cima del Monte Everest, el punto más alto del planeta a 8 848 m y en donde el agua hierve a 70 °C, es una hazaña que solo unas 10 000 personas han logrado. La caminata a la cumbre requiere meses de preparación física y semanas de aclimatación para que los escaladores se acostumbren a las altitudes carentes de oxígeno de la montaña. En las alturas superiores de la montaña las temperaturas pueden oscilar entre los diez grados bajo cero y los treinta o cuarenta bajo cero. A ellos hay que añadir, o más bien restar, el efecto del viento que hace disminuir la llamada **«sensación térmica»** o efecto real de temperatura en relación geométrica a su velocidad. Baste decir que una temperatura de cero grados se transforma con viento de 40 kilómetros por hora en una sensación térmica de 15 grados bajo cero.

Para defenderse del frío los montañeros utilizan el sistema de las «tres capas» que persigue conservar al máximo el propio calor generado por el cuerpo humano. La primera capa de tejidos sintéticos o naturales está directamente en contacto con el cuerpo y tiene la misión de trasladar al exterior la humedad de la transpiración. La segunda capa está constituida por un tejido espeso que tiene por función conservar una capa de aire, igual que hacen los pájaros con su plumón. Finalmente, la capa exterior está destinada a aislar al montañero del viento y del agua. Esta última capa es en la actualidad una de las más importantes y se configura mediante un buzo de tejido impermeable al viento y relleno de pluma o material sintético muy aislante, que no deja pasar el agua pero sí permite transpirar..



Se han hecho estudios para reflejar esas sensaciones en forma de índices que tienen en cuenta dos o más de los parámetros que inciden en la sensación térmica. Estos parámetros pueden ser, bien del ambiente en el que está el cuerpo humano o en las condiciones que afectan a la persona, y son:

AMBIENTE

- Temperatura seca
- Temperatura radiante media (o temperatura de bulbo negro).
- Humedad relativa del aire, que puede calcularse a partir de la temperatura húmeda.
- Velocidad del aire.

PERSONA:

- Índice metabólico, el calor producido por el cuerpo.
- Índice de vestimenta, el mayor o menor aislamiento que produce la indumentaria que se lleva puesta, indumentaria que es el conjunto de ropa, calzado y tocado.

Debes conocer

El aire puro o simple o seco, es una mezcla que contiene prácticamente un volumen de 21% de oxígeno y 78% de nitrógeno y el 1% restante corresponde a CO₂, Ar, Xe, He, Ne,... En las condiciones que nos interesan, podemos considerar el aire seco como un gas perfecto con componentes no licuables en las condiciones habituales.

Humedad del aire. El aire de la atmósfera contiene una cierta cantidad de humedad, proveniente de la evaporación del agua de los océanos, ríos, el vapor de agua exhalado por las personas, animales y plantas. Al respirar, las personas exhalamos vapor de agua, y también por los poros de la piel al producir sudor. Por ello, en los ambientes cerrados con personas en su interior, el contenido de vapor de agua en el aire va aumentando. El aire atmosférico es por ello *húmedo*, considerando ahora el aire húmedo como una mezcla de aire seco y de vapor de agua (componente licuable en las condiciones habituales) podremos aplicar a esta mezcla de gases perfectos la ley de Dalton y expresar:

$$P = P_s + P_w$$

En cuya fórmula: P representa la presión total de la mezcla (normalmente la presión atmosférica); p_s representa la presión parcial del aire seco; p_w representa la presión parcial del vapor de agua.

Humedad relativa (ϕ , e y también Hr, HR). Esta magnitud puede definirse como el valor entre la relación de la presión parcial del vapor de agua (p_w) y

la presión máxima de este vapor si el aire saturado estuviese a esta temperatura (p_{ws}). Dentro de los límites de temperaturas que nos conciernen existe prácticamente igualdad de esta relación con el valor de la relación entre la masa del vapor de agua contenida en cierto volumen de aire (m_w) y la masa máxima de este mismo volumen si estuviese saturado a la misma temperatura (m_{ws}). No es lo mismo por encima de los 100°C , en donde es válida solo la primera relación. La humedad relativa se llama a menudo *grado higrométrico*.

$$H_r = \frac{p_w}{p_{ws}} \approx \frac{m_w}{m_{ws}}$$

Humedad específica (w). También se llama humedad absoluta y es el cociente entre la masa de vapor contenida en el aire y la masa de aire seco. Es decir:

$$w = \frac{m_w}{m_s}$$

Por otro lado, el conocimiento de la temperatura marcada por el termómetro no es suficiente para caracterizar el estado particular de un ambiente con aire húmedo, como lo son prácticamente todos los ambientes en los que nos desenvolvemos. Por ello, hay que definir inicialmente tres temperaturas características de este estado particular, que son:

Temperatura normal (T , q ó T_{bs}). Es la temperatura tomada por un termómetro ordinario agitado en el aire, a la sombra o al abrigo de toda radiación térmica. Muchas veces se la nombra como temperatura seca o temperatura del bulbo seco.

Temperatura húmeda (q_h o T_{bh}). Es la temperatura indicada por un termómetro ordinario cuyo bulbo se ha recubierto de una gasa saturada de agua, hallándose emplazado en una corriente de aire lo suficientemente rápida para dirigir sin cesar aire del ambiente contra dicha gasa mojada. En estas condiciones el aire alrededor de la gasa se conduce a la saturación por la aportación de agua siguiendo una evolución adiabática (al nivel de la gasa y del aire que la envuelve, los intercambios de calor han tenido lugar únicamente entre el agua y el aire). Constataremos una reducción de temperatura en el termómetro después de haberlo fijado a un valor mínimo de q_h correspondiente a la temperatura seca q y su contenido en agua w . Esta temperatura mínima será la temperatura húmeda del aire que se está midiendo. Por analogía con la temperatura del bulbo seco, se denomina a veces temperatura del bulbo húmedo. Cuanto más seco sea el aire, mayor diferencia hay entre q y q_h .

Temperatura de rocío (q_r ó T_r). La temperatura de rocío es la temperatura en que el aire húmedo, enfriado lentamente, llega a su saturación. A dicha temperatura, el enfriamiento del aire, por débil que sea, provoca la aparición

de escarcha que se deposita en forma de rocío sobre los objetos cercanos. La anotación de la temperatura de rocío se efectúa por medio de un higrómetro de punto de rocío. Este aparato está formado por una superficie enfriada en la que se controla la temperatura. Cuando en la superficie en contacto con el aire aparece la señal de condensación del vapor de agua, éste se detecta automáticamente al igual que el valor de la temperatura de rocío.

Temperatura de sensación. Un standard, de amplia utilización cuando se presentan informaciones meteorológicas, es el basado en la temperatura de sensación, el cual combina *temperatura y humedad en verano así como temperatura y velocidad del aire en invierno*.

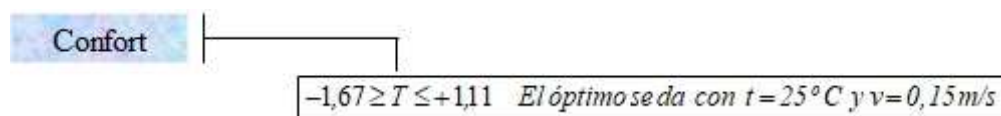
Temperatura de sensación verano

Temperatura de sensación invierno

Temperatura efectiva. Es otro standard que combina *temperatura con velocidad del aire*. La velocidad del aire también tiene una influencia clara sobre el confort percibido ya que facilita el proceso de disipación de calor sensible por convección así como de calor latente por evaporación. Este índice se calcula según:

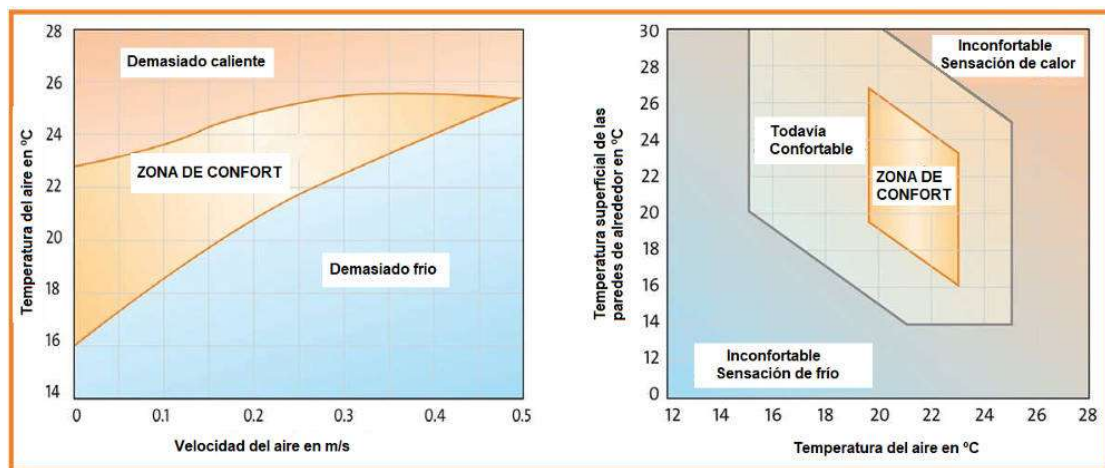
$$T_{\text{efectiva}} = (t - 25) - 8 \cdot (v - 0,15)$$

Donde T es la temperatura efectiva, t es la temperatura ambiental (°C) y v es la velocidad percibida del aire (m/s). Obviamente, este valor de temperatura efectiva no tiene nada que ver con la temperatura en °C de las otras temperaturas. De hecho, un valor $T_{\text{efectiva}} = 0$ indica un valor de confort. Más que una temperatura es un índice.



Como resultado de ello, en invierno se recomienda no superar los 0,15 m/s mientras que en verano se aceptan velocidades mayores. Así, para temperaturas ambientales inferiores a 26 °C se suele tomar una velocidad de 0,25 m/s, que puede ascender gradualmente hasta 0,8 m/s a temperaturas de 28 °C en el aire. No se recomienda superar la velocidad de 0,9 m/s.

Temperatura de confort. Otro standard incide en el hecho de que, a elevadas temperaturas del aire, la sensación de confort se percibe con menores niveles de enfriamiento y, por consiguiente, a costa de un menor consumo energético. La tabla y el gráfico que se representan muestran dicha evolución.



Zonas de confort

Temperatura radiante media. La Temperatura radiante media (T_{rm}) es el promedio de las temperaturas de las superficies interiores del local y es tan importante como la temperatura del aire por la magnitud del intercambio de radiación infrarroja. En general suele ser similar a la del aire interior, pero si hay alguna superficie relativamente caliente (techos en verano) o fría (ventanas en invierno) conviene calcular la T_{rm} ponderada, según el área y la temperatura de cada una de las paredes, suelo y techo

Temperatura operativa. Se define como la temperatura uniforme de un recinto radiante negro en el cual un ocupante intercambiaría la misma cantidad de calor por radiación y convección que en el ambiente no uniforme real. Es, con buena aproximación, la media aritmética entre la temperatura seca del aire y la temperatura radiante media de los cerramientos del local, en consonancia con el hecho de que el cuerpo humano elimina calor por convección y por radiación en partes casi iguales, si la velocidad del aire es menor que 0,2 m/s y la diferencia entre temperatura radiante media y temperatura seca del aire es menor que 4 °C.

Aire estándar. En la práctica se establece como aire estándar al que se toma en las siguientes condiciones: Presión: 101 kPa (1 atm) Peso específico: 1,2 kg/m³; Temperatura seca: 21°C Calor específico: 1 000 J/kg K; Humedad relativa: 50%.

Autoevaluación

1.- En un desierto, un aire totalmente seco, sin humedad,

- ☐ Es imposible que exista
- ☐ Su presión será menor que la presión atmosférica
- ☐ La humedad relativa será del 100%
- ☐ La humedad absoluta y la relativa serán iguales

Opción correcta

Incorrecto

Incorrecto

Incorrecto

Solución

1. Opción correcta
2. Incorrecto
3. Incorrecto
4. Incorrecto

2.- En un día de niebla se produce condensaciones en el suelo de una calle debido a que

- ☐ El aire está saturado de vapor de agua y no puede absorber más vapor a la temperatura a la que se encuentra, por lo que se condensa en el suelo
- ☐ El aire tiene una humedad relativa muy baja y, por tanto, no puede absorber más vapor de agua, condensándose en el suelo
- ☐ El agua pesa más que el aire frío y cae al suelo
- ☐ Se ha superado la temperatura de rocío, por lo que condensa el vapor de agua.

Opción correcta

Incorrecto

Incorrecto

Incorrecto

Solución

1. Opción correcta
2. Incorrecto
3. Incorrecto
4. Incorrecto

Ejercicio para Resolver

1.- Calcular la temperatura de sensación para:

- a) 30 °C y 60% de humedad relativa
- b) 2 °C y viento de 4 m/s

Mostrar retroalimentación

Solución: a) $T_{\text{sensación}} = 35 \text{ °C}$ b) $T_{\text{sensación}} = - 3 \text{ °C}$

2.- Averigua, mediante el cálculo de la temperatura efectiva, si estamos en la zona de confort con 24°C de temperatura seca y velocidad del aire de 0,35 m/s

Mostrar retroalimentación

Solución: el valor de $T_{\text{ef}} = - 2,6$ Nos saldríamos de la zona de confort

3.- La temperatura media de las paredes de una habitación es de 27 °C y la temperatura ambiente de 24 °C ¿estaremos en la zona de confort?

Mostrar retroalimentación

Solución: No, sentiremos calor

4.- Una habitación, con suelo radiante, que tiene una temperatura en el aire de 21 °C, tiene diferentes temperaturas en la estructura de sus cerramientos: suelo, techo, paredes y hueco (ventana). ¿Cuál será su temperatura operativa si no hay corrientes de aire?

Pared norte, 14 m² t_N = 17 °C

Pared sur, 20 m² t_S = 19 °C

Pared este, 16 m² t_E = 18 °C

Pared oeste, 16 m² t_O = 20 °C

Ventana norte, 6 m² t_V = 13 °C

Suelo radiante, 35 m² t_{suelo} = 30 °C

Techo, 35 m² t_{techo} = 20 °C

Mostrar retroalimentación

Solución:

$$T_{\text{radiante media}} = \frac{14 \cdot 17 + 20 \cdot 19 + 16 \cdot 18 + 16 \cdot 20 + 35 \cdot 30 + 35 \cdot 20 + 6 \cdot 13}{14 + 20 + 16 + 16 + 35 + 35 + 6} = 21,50 \text{ °C}$$

$$T_{\text{operativa}} = \frac{21,5 + 21}{2} = 21,25 \text{ °C}$$

Vemos, por lo tanto, que la temperatura operativa es muy próxima a la del aire. Esto ocurre en los sistemas de suelo radiante, donde la distribución del calor se aproxima a una situación ideal. Si estas temperaturas fueran las de una vivienda aislada sin suelo radiante, el valor de la temperatura operativa discreparía mucho más, ya que suelo y techo suelen tener al menor 3 °C o más de diferencia con la temperatura del aire.

3.- Condiciones de confort según normativa

Caso práctico: Huelga en las aulas por calor

El Sindicato de Estudiantes convoca huelga en Sevilla y Huelva contra el calor en las aulas

SEVILLA, 2 Oct. 2018 (EUROPA PRESS) - El Sindicato de Estudiantes ha convocado una huelga general estudiantil este miércoles en las provincias de Huelva y Sevilla contra el calor en las aulas y la falta de climatización, una situación ante la que exigen "una solución ya" ...Así, recuerda que según el Real Decreto 486/1997 (BOE 23-4-97) que establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud que deben cumplir los lugares de trabajo, las temperaturas de los centros educativos, en todos sus niveles, deben estar comprendidas entre 17 y 27 grados centígrados, "algo que es completamente ajeno a la realidad que vivimos".... "Hemos realizado paros o protestas por la imposibilidad de dar clase con estas temperaturas que han llegado hasta los 35°C a primera hora de la mañana en institutos sevillanos". Exigen el "desbloqueo" y la tramitación "urgente" de la Ley de Bioclimatización de los centros escolares.



[Europa Press](#). Huelga escolar por el calor en Andalucía (Todos los derechos reservados)

Este conflicto sobre el excesivo calor en las aulas en la época estival y los meses anteriores y posteriores (mayo, junio, septiembre y octubre), se repite año tras año. En nuestro país, los centros no siempre se han construido con adecuadas orientaciones, sistemas arquitectónicos solares pasivos o sistemas activos de control de la temperatura. Ello origina, como se indica en la noticia anterior, temperaturas excesivas que, con el cambio climático, son todavía superiores a las de hace años.

En este sentido, el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) se encargó de elaborar una guía para aplicar el **Real Decreto 486/1997** que establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud que deben cumplir los lugares de trabajo, entre las que se encuentra la temperatura. Se indica que:

- En los locales donde se realicen trabajos sedentarios propios de oficinas o similares, la temperatura deberá oscilar entre los 17 °C y los 27 °C.
- En los locales donde se realicen trabajos ligeros, la temperatura tendrá que estar entre los 14 °C y los 25 °C.
- Asimismo, se estipula también que el nivel de humedad relativa debe estar comprendido entre el 30% y el 70%, excepto en los lugares donde exista riesgo por electricidad estática en los que el límite inferior será del 50%.
- No obstante lo anterior, el INSHT da unas recomendaciones según la estación del año en la que estemos, ya que la ropa no será la misma en una época o en otra. En invierno, el INSHT aconseja mantener la temperatura entre los 17 °C y los 24 °C. En verano, entre los 23 °C y los 27 °C.

Si se utilizan sistemas de climatización, habrá que ir con cuidado para no generar temperaturas excesivamente elevadas en invierno, y excesivamente bajas en verano, ya que se podría producir un riesgo de **estrés térmico** que podría provocar alteraciones en el sistema vascular, temblores, pérdidas de conocimiento, mareos, etc.

No obstante, el INSHT no es el único organismo que ha establecido una temperatura adecuada para cada puesto de trabajo. Por su parte, el Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RITE) dice que la temperatura en los edificios de uso no residencial, como los centros educativos, no deberían bajar de los 21 °C en verano, ni superar los 26 °C en invierno, y estipula que los sistemas de climatización deberían tener una temperatura de entre 21 °C y 23 °C en invierno y entre 23 °C y 25 °C en verano. Cabe decir que, mientras el INSHT marca las buenas prácticas en cuanto a la temperatura en la oficina, el RITE se encuentra avalado por la Ley de prevención de riesgos laborales.

En este apartado vamos a estudiar en mayor detalle todas estas referencias normativas, ya que son de obligado cumplimiento en el diseño de las instalaciones térmicas.

3.1.- Condiciones de confort según el RITE

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios **(RITE)** plantea, en el ámbito de estas instalaciones, exigencias de tres tipos: Bienestar e higiene (condiciones térmicas, de calidad del aire, de higiene, acústicas y de agua sanitaria), Eficiencia energética y de Seguridad.

BIENESTAR E HIGIENE. Exigencias térmicas

La finalidad de las instalaciones de climatización y calefacción es, fundamentalmente, crear en el ambiente las condiciones más satisfactorias para la permanencia de las personas, para lo cual, el RITE fija unas condiciones interiores de confort, basadas en la norma UNE EN ISO 7730, con un grado de vestimenta de los ocupantes: 1 clo en invierno y 0,5 clo en verano y un nivel de insatisfacción menor del 10%.

De acuerdo con el RITE, estamos obligados a tomar unos valores máximos y mínimos de temperatura en los locales. La zona ocupada donde se aplica es el volumen comprendido entre 10 cm sobre el suelo a 2 m de alto y a 1 m de ventanas o 0,50 m de paredes sin ventanas. No son zonas ocupadas las áreas de tránsito, cercanas a puertas y próximas a aparatos productores de calor o rejillas de impulsión.

Verano. En los locales la temperatura de confort en verano puede oscilar entre 23 y 25 °C, dependiendo del nivel de actividad en el interior. Para locales con personas sentadas, es suficiente 25 °C. Si las personas están de pie paseando, tomar 24 °C. En locales con ejercicio físico, tomar 23° C.

Invierno. La temperatura para la mayoría de actividades es de 21 °C y la de los espacios no ocupados y de servicio, 17 °C. En hospitales, residencias y hoteles, 21 °C. Zonas con gran confort, 22 °C.

Estación	Temperatura operativa	Humedad relativa	Criterios de diseño de instalaciones
VERANO	23 °C a 25 °C	45 % a 60 %	25 °C para sistemas de refrigeración
INVIERNO	21 °C a 23 °C	40 % a 50 %	21 °C para sistemas de calefacción Se podrá admitir una humedad relativa del 35 % en las condiciones extremas de invierno durante cortos períodos de tiempo.

Locales de trabajo o industriales:

Las normas sobre condiciones de seguridad en centros de trabajo también obligan a que la temperatura en talleres e industrias esté dentro de unos márgenes:

- Temperatura de 17 a 27 °C.
- Humedad relativa de 30 a 70%.

No obstante, se añade una disposición normativa que hace que los valores anteriores no sean rígidos en cualquier industria:

"A efectos de la aplicación de lo establecido en el apartado anterior deberán tenerse en cuenta las limitaciones o condicionantes que puedan imponer, en cada caso, las características particulares del propio lugar de trabajo, de los procesos u operaciones que se desarrollen en él y del clima de la zona en la que esté ubicado. En cualquier caso, el aislamiento térmico de los locales cerrados debe adecuarse a las condiciones climáticas propias del lugar."

Es decir, no puede pretenderse que un trabajador que opera en un ambiente de una fundición esté a menos de 27 °C o que una persona que trabaja esporádicamente en una cadena de frío esté a más de 17 °C.

Para otras condiciones

Se aplican los procedimientos definidos en la norma UNE-EN ISO 7730

Debes conocer

Un gran porcentaje de nuestro tiempo transcurre dentro de edificios: vivienda, puesto de trabajo, ocio, salud, etc., y la función primaria de un edificio es proporcionar a los ocupantes un ambiente confortable y saludable en el que viven o trabajan. Esto depende, en gran medida de que el sistema de ventilación tenga un diseño, un funcionamiento y un mantenimiento apropiado.

La ventilación debe garantizar las mejores condiciones de higiene y confort en locales domésticos y de trabajo. En los locales que no tienen renovación suficiente de aire, el ambiente se satura rápidamente de contaminantes, ya sean olores, vapor de agua, dióxido de carbono, humo, etc. Las personas contaminamos, directa o indirectamente, los espacios que habitamos. Directamente con los propios olores (causas fisiológicas), el aumento excesivo de la humedad (respiración - transpiración), con el aumento de temperatura (pérdida del calor del cuerpo por radiación, convección y evaporación), con el aumento de dióxido de carbono (respiración). Indirectamente con el ejercicio de sus actividades: humos, emisiones de las cocinas y otros contaminantes debidos a las distintas actividades que realizamos.

A todo esto, es necesario añadir las emisiones de los componentes y mobiliario de los edificios. Los **Compuestos Orgánicos Volátiles (VOCs)** representan un grupo prioritario dentro de la lista de contaminantes de aires interiores, siendo los principales causantes de muchos de los problemas de la calidad de aire interior y los síntomas asociados al Síndrome del Edificio Enfermo.

Los compuestos orgánicos volátiles en el interior de un edificio son productos químicos orgánicos que contienen carbono y provienen de una gran cantidad de fuentes, incluidos materiales de construcción, muebles, productos de consumo, tabaco, fotocopiadoras, personas y algunas de sus actividades. Los

contaminantes de los locales próximos, como los garajes, también pueden entrar a los espacios interiores, contaminando seriamente algunos espacios habitados. El aire exterior también es una fuente de VOCs. Por ello, el aire interior contiene una gran variedad de VOCs, aunque con concentraciones pequeñas. Los VOC pueden tener olor y se sabe o se sospecha que algunos causan una variedad de efectos adversos para la salud. Por eso, y por la necesidad de reemplazar el aire interior contaminado con CO₂ y otros gases contaminantes, debe regenerarse el aire interior.

BIENESTAR E HIGIENE. Calidad del aire

En los estudios realizados sobre la relación entre las tasas de ventilación y la salud de las personas, más de la mitad encontraron uno o más beneficios para la salud de las personas al aumentar la tasa de ventilación. Por ello, la protección de la salud de las personas ha orientado al proyectista, en el RITE y en el Código Técnico, para que cumpla con unos estándares de ventilación.

[Las condiciones de salubridad impuestas por el RITE no afectan a las viviendas, las cuales se rigen por el Código Técnico de la Edificación \(CTE\), sección HS3. que luego veremos](#)

Aire interior

En función del uso del edificio o local, la categoría de calidad del aire interior (IDA: Indoor Air) que se deberá alcanzar será, como mínimo, la siguiente:

- IDA 1: aire de óptima calidad: hospitales, clínicas, laboratorios y guarderías.
- IDA 2: aire de buena calidad: oficinas, residencias (locales comunes de hoteles y similares, residencias de ancianos y de estudiantes), salas de lectura, museos, salas de tribunales, aulas de enseñanza y asimilables y piscinas.
- IDA 3: aire de calidad media: edificios comerciales, cines, teatros, salones de actos, habitaciones de hoteles y similares, restaurantes, cafeterías, bares, salas de fiestas, gimnasios, locales para el deporte (salvo piscinas) y salas de ordenadores.
- IDA 4: aire de calidad baja. No se admite.

El caudal mínimo de aire exterior de ventilación necesario para alcanzar la correspondiente categoría de calidad de aire interior, se calcula de acuerdo con alguno de los cinco métodos siguientes:

1. Caudal de aire exterior por persona.
2. Calidad del aire percibido
3. Concentración de CO₂
4. Caudal de aire por unidad de superficie
5. Método de dilución.

En hospitales y clínicas se emplea la norma UNE 100713

Categoría	Tasa de ventilación	Método olfativo	Concentración CO ₂ sobre aire exterior	Tasa de ventilación por unidad de superficie
	litros/segundo y persona	decipol (dp)		

	(l/s·p)		partes por millón (ppm)	litros/segundo y m ² (l/s·m ²)
IDA 1	20	0,8	350	No aplicable
IDA 2	12,5	1,2	500	0,83
IDA 3	8	2,0	800	0,55
IDA 4	5	3,0	1 200	0,28

Un interesante método para el cálculo de la ventilación, propuesto en el RITE, es en base a la concentración de CO₂ en el interior de los locales. Este método es muy apropiado para locales que tienen un aforo que no siempre está completo, como puede ser una sala de conferencias. Una sonda en el interior del local nos mide la concentración de CO₂ y otra la concentración en el exterior. La tabla siguiente nos da la concentración máxima en función de la calidad del aire. Hay que tener en cuenta que los valores son sobre el contenido en CO₂ del aire exterior. Así si el exterior contiene 300 ppm de CO₂ y queremos un aire de calidad IDA1 el máximo permitido será 300 + 350 = 650 ppm.

Aire interior de salida

Las exigencias impuestas por el RITE sobre calidad del aire interior proceden de la norma UNE-EN 13779 y la clasificación del aire interior extraído (AE: aire que sale del recinto tratado), y que será emitido a la atmósfera o recirculado (en algunos casos), se clasifica en cuatro categorías:

AE 1: aire con un nivel bajo de contaminación. Aire de recintos en los que las principales fuentes de emisión son el metabolismo humano y los materiales de construcción y decoración de un edificio en el que no se permite fumar. Esta categoría de aire puede ser recirculada y transferida.

AE 2: aire con un nivel de contaminación moderado. Aire de recintos ocupados que contiene más impurezas que la categoría anterior, cuando las fuentes de emisión sean las mismas. Son recintos en los que se permite fumar. Esta categoría de aire no puede ser recirculada pero puede ser transferido en servicios, garajes y otros espacios similares.

AE 3: aire con un nivel de contaminación alto. Aire de recintos en los que el proceso que en ellos se desarrolla, la humedad, los productos químicos, etc. reducen sustancialmente la calidad del aire. estas categorías de aire de extracción no pueden ser recirculadas ni transferidas. Además, la expulsión hacia el exterior del aire de esta categoría no puede ser común a la expulsión del aire de las categorías AE-1 y AE-2, para evitar cualquier posibilidad de contaminación cruzada.

AE 4: aire con un nivel de contaminación muy alto. Aire que contiene olores e impurezas perjudiciales para la salud. Como en el caso anterior, la expulsión hacia el exterior del aire de esta categoría no puede ser común a la expulsión del aire de las categorías AE-1 y AE-2, por la misma razón.

Aire exterior

La calidad del aire exterior (ODA) se clasifica de acuerdo con los siguientes niveles:

ODA 1: aire puro que puede contener partículas sólidas (p.e. polen) de forma temporal.

ODA 2: aire con altas concentraciones de partículas.

ODA 3: aire con altas concentraciones de contaminantes gaseosos.

ODA 4: aire con altas concentraciones de contaminantes gaseosos y partículas.

ODA 5: aire con muy altas concentraciones de contaminantes gaseosos y partículas.

Piscinas climatizadas

Sistemas de control de calidad del aire

Recuperación del calor del aire

Filtros de aire

BIENESTAR E HIGIENE. Exigencias sanitarias

Preparación de agua caliente para usos sanitarios.

- Se cumplirá con la legislación vigente higiénico-sanitaria para la prevención y control de la **legionelosis**. Los sistemas, equipos y componentes de la instalación térmica, que de acuerdo con la legislación vigente higiénico-sanitaria para la prevención y control de la legionelosis deban ser sometidos a tratamientos de choque térmico se diseñarán para poder efectuar y soportar los mismos.
- Se preparará a la temperatura mínima que resulte compatible con su uso, considerando las pérdidas en la red de tuberías.
- Los materiales empleados en el circuito resistirán la acción agresiva del agua sometida a tratamiento de choque químico.
- No se permite la preparación de agua caliente para usos sanitarios mediante la mezcla directa de agua fría con condensado o vapor procedente de calderas.

Calentamiento del agua en piscinas climatizadas.

- La temperatura del agua estará comprendida entre 24° y 30 °C. La temperatura del agua se medirá en el centro de la piscina y a unos 20 cm. por debajo de la lámina de agua.
- La tolerancia en el espacio, horizontal y verticalmente, de la temperatura del agua no podrá ser mayor que $\pm 1,5$ °C.

Humidificadores.

- El agua de aportación que se emplee para la humectación o el enfriamiento adiabático deberá tener calidad sanitaria.

Aperturas de servicio para limpieza de conductos y plenums de aire

- Las redes de conductos deben estar equipadas de aperturas de servicio para permitir las operaciones de limpieza y desinfección.
- Los elementos instalados en una red de conductos deben ser desmontables y tener una apertura de acceso para permitir las operaciones de mantenimiento.
- Los falsos techos deben tener registros de inspección en correspondencia con los registros en conductos y los aparatos situados en los mismos.

Autoevaluación

1.- Para medir la temperatura de un local colocamos un termómetro a 50 cm del suelo, separado de un ventanal 0,5 m y de las otras tres paredes 4 m. Por ello, es una medida correcta

☐ Verdadero ☐ Falso

Falso

No es correcta, la separación de una ventana debe ser de, al menos, 1 m.

2.- Un dato de partida correcto es diseñar una instalación de calefacción en invierno para que en los pasillos de un edificio de oficinas tengamos 18°C

☐ Verdadero ☐ Falso

Verdadero

Así es, ya que en las zonas de tránsito y donde no se está de forma permanente puede bajarse la temperatura recomendada por el RITE

2.- Un dato de partida correcto, para lograr mayor eficiencia, sería diseñar un sistema de climatización en un supermercado para que en verano tengamos en el interior una temperatura máxima de 26 °C

☐ Verdadero ☐ Falso

Verdadero

Es correcto, ya que la ordenanza laboral y la recomendación del RITE establece como temperatura máxima 27 °C

3.- Hay menor cantidad de VOCs en una vivienda en los primeros meses de uso.

☐ Verdadero ☐ Falso

Verdadero

No es correcto, la mayor parte de VOCs la emiten muchas pinturas, barnices, lacados y otros productos químicos que son más activos y desprenden mayores cantidades de compuestos volátiles al principio. Es como ese olor característico de un coche que decimos "huele a nuevo".

4.- El aire interior de un local tiene una concentración de 100 ppm de CO₂, por lo que podríamos catalogarlo de IDA 3

☐ Verdadero ☐ Falso

Falso

No es correcto, con esa concentración estaríamos en un aire de alta calidad, IDA 1

5.- Queremos aire IDA 2 en un local con 10 personas, para ello introducimos 500 m³/h de aire limpio

☐ Verdadero ☐ Falso

Verdadero

Sería un valor ligeramente superior al exigido, sin llegar al aire IDA 1, así que es correcto. El aire IDA 2 obliga a 12,5 l/s por persona, lo que hace un total, para 10 personas, de 125 l/s, que equivale a: $125 \text{ l/s} \cdot 3600 \text{ s/h} = 450\,000 \text{ l/h} = 450 \text{ m}^3/\text{h}$

6.- En un centro comercial hay un control de ventilación basado en el horario de ocupación de los diferentes espacios, por lo que será un sistema IDA - C₃

☐ Verdadero ☐ Falso

Verdadero

7.- El aire que puede ser recirculado en un local o espacio cerrado debe ser de alguna de las categoría AE 1 ó AE 2

☐ Verdadero ☐ Falso

Falso

Sólo puede ser recirculado el aire de categoría AE 1

8.- En un edificio se expulsan 1 500 m³/h de aire climatizado, por lo que estaremos obligados a colocar un sistema de recuperación de calor.

☐ Verdadero ☐ Falso

Falso

La obligación es a partir de 0,5 m³/s, que equivale a un mínimo de 1 800 m³/h

9.- Colocamos un sistema de recuperación de calor en un centro comercial que va funcionar durante 4 200 h al año con caudales medios de 10 m³/s, por ello, el sistema deberá tener un rendimiento mínimo del 60 %

☐ Verdadero ☐ Falso

Falso

El rendimiento mínimo sería del 64 %

10.- Tenemos aire con altas concentraciones de partículas y deseamos un aire IDA 2, por ello, colocaremos un filtro inicial F6 y uno final F8

☐ Verdadero ☐ Falso

Verdadero

Así es, el aire ODA 2, con un filtro inicial F6 y otro final F8 nos permite, con los caudales correspondientes, obtener calidades de aire IDA 2

11.- Estamos midiendo la eficiencia de una piscina pública climatizada y para ello tomamos la temperatura del agua en el centro de la piscina a 20 cm de profundidad. El valor obtenido es de 23 °C, por lo que es un valor aceptable.

☐ Verdadero ☐ Falso

Falso

No lo es, su temperatura debe estar comprendida entre 24 °C y 30 °C

3.2.- Calidad del aire según el Código Técnico de Edificación

Debes conocer

CALIDAD DEL AIRE INTERIOR EN VIVIENDAS

El Código Técnico, en su Documento Base de Salubridad DB HS, establece en su apartado 3 las condiciones de calidad del aire en viviendas. En el resto de locales hay que recurrir al RITE, como se ha visto. El caudal de ventilación mínimo para los locales se obtiene en la tabla siguiente, teniendo en cuenta las reglas que figuran a continuación:

- El número de ocupantes será en cada dormitorio individual igual a uno y, en cada dormitorio doble, a dos
- En cada comedor y en cada sala de estar, a la suma de los contabilizados para todos los dormitorios de la vivienda correspondiente.
- En los locales de las viviendas destinados a varios usos se considera el caudal correspondiente al uso para el que resulte un caudal mayor.

Ventilación

La ventilación de las viviendas, trasteros, cuartos de basuras, garajes y aparcamientos se hace de acuerdo con el documento básico **CTE HS 3** del **Código Técnico de la Edificación**.

La ventilación del resto de los locales se hace de acuerdo con el apartado **IT 1.1.4.2.** del **RITE**.



Caracterización y cuantificación de la exigencia de calidad del aire

- En los locales habitables de las viviendas debe aportarse un caudal de aire exterior suficiente para conseguir que en cada local la concentración media anual de CO₂ sea menor que 900 ppm.

- Además, el caudal de aire exterior aportado debe ser suficiente para eliminar los contaminantes no directamente relacionados con la presencia humana. Esta condición se considera satisfecha con el establecimiento de un caudal mínimo de 1,5 l/s por local habitable en los periodos de no ocupación.
- Las dos condiciones anteriores se consideran satisfechas con el establecimiento de una ventilación de caudal constante acorde con la tabla siguiente

Caudales mínimos para ventilación de caudal constante en locales habitables					
Tipo de vivienda	Caudal mínimo q_v en l/s				
	Locales secos ^{(1) (2)}			Locales húmedos ⁽²⁾	
	Dormitorio principal	Resto de dormitorios	Salas de estar y comedores ⁽³⁾	Mínimo en total	Mínimo por local
0 ó 1 dormitorios	8	-	6	12	6
2 dormitorios	8	4	8	24	7
3 o más dormitorios	8	4	10	33	8

(1) En los *locales* secos de las viviendas destinados a varios usos se considera el caudal correspondiente al uso para el que resulte un caudal mayor

(2) Cuando en un mismo *local* se den usos de *local* seco y húmedo, cada zona debe dotarse de su caudal correspondiente

(3) Otros *locales* pertenecientes a la vivienda con usos similares (salas de juego, despachos, etc.)

- En la zona de cocción de las cocinas debe disponerse un sistema que permita extraer los contaminantes que se producen durante su uso, de forma independiente a la ventilación general de los locales habitables. Esta condición se considera satisfecha si se dispone de un sistema en la zona de cocción que permita extraer un caudal mínimo de 50 l/s.
- Para los locales no habitables incluidos en el ámbito de aplicación debe aportarse al menos el caudal de aire exterior suficiente para eliminar los contaminantes propios del uso de cada local. Esta condición se considera satisfecha si el sistema de ventilación es capaz de establecer al menos los caudales de ventilación de la tabla siguiente.

Caudales de ventilación mínimos en locales no habitables		
Locales	Caudal mínimo q_v en l/s	
	Por m² útil	En función de otros parámetros
Trasteros y sus zonas comunes	0,7	
Aparcamientos y garajes		120 por plaza
Almacenes de residuos	10	

En el caso de garajes con ventilación mecánica y sistema de detección de monóxido de carbono, se entiende que debe activarse el caudal mínimo exigido al menos cuando la concentración del CO supere los valores límite establecidos. Durante los periodos de tiempo en los que no se alcance dicho límite, podrán establecerse caudales inferiores de ventilación.

Ejercicios Resueltos

1.- En una vivienda con 4 dormitorios, cocina, salón y dos baños, ¿qué caudal de aire habrá que introducir?

Caudales de entrada:

4 Dormitorios $\rightarrow 8 \text{ l/s} + 4 \cdot 3 \text{ l/s} = 20 \text{ l/s}$

1 Salón $\rightarrow 10 \text{ l/s}$

$$q_e = 30 \text{ l/s}$$

Caudales de salida:

1 Cocina $\rightarrow 8 \text{ l/s}$

2 baños $\rightarrow 8 \cdot 2 = 16 \text{ l/s}$

$$q_s = 24 \text{ l/s} \rightarrow q_{\text{smínimo}} = 33$$

l/s

Como la cantidad de aire que tiene que entrar es la misma que la que tiene que salir, tomaremos el mayor valor. Esto es, el caudal de ventilación deberá ser de 33 l/s, que, expresado en m^3/h (multiplicando por 3,6) tenemos:

$$q_{\text{ventilación}} = 118,8 \text{ m}^3/\text{h}$$

Hay que señalar que el caudal correspondiente a la extracción mecánica en la cocina (la campana) con un caudal estimado de 50 l/s es un caudal esporádico que, si bien puede tenerse en cuenta en el dimensionamiento de los sistemas de ventilación, en el cálculo de cargas térmicas que haremos más adelante (la cantidad de calor que se escapa de la vivienda para calcular la calefacción, no se debería añadir al caudal calculado anteriormente)

2.- En un garaje hay estacionados 50 vehículos, averigua el caudal de aire que deberá ser capaz de mover un extractor. Dar el resultado en m^3/s

De la tabla deducimos que son necesarios 120 l/s por cada plaza de garaje, lo cual hace un total de:

$$q_v = 120 \cdot 50 = 6\,000 \text{ l/s} = 6 \text{ m}^3/\text{s}$$

Hay que señalar que no nos indican que haya trasteros ni la superficie ocupada por los mismos. En caso contrario habría que sumar el valor obtenido.

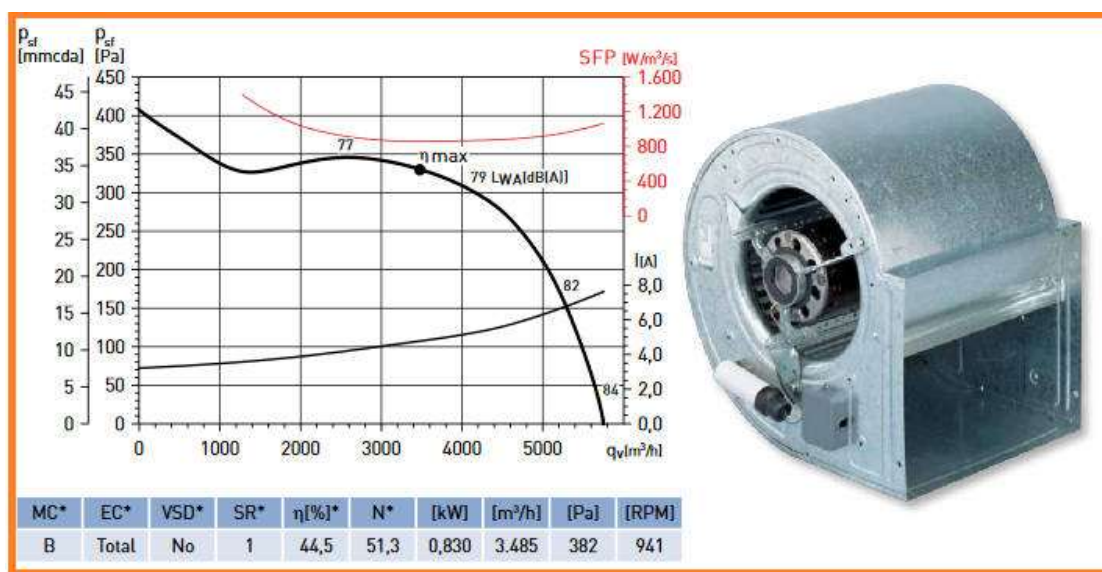
Ejercicio para Resolver

1.- Una vivienda comunitaria está compuesta por 6 dormitorios (ninguno principal), 3 baños, 2 salas de estar, 1 comedor y 2 cocinas. Haya el caudal de ventilación necesario

Mostrar retroalimentación

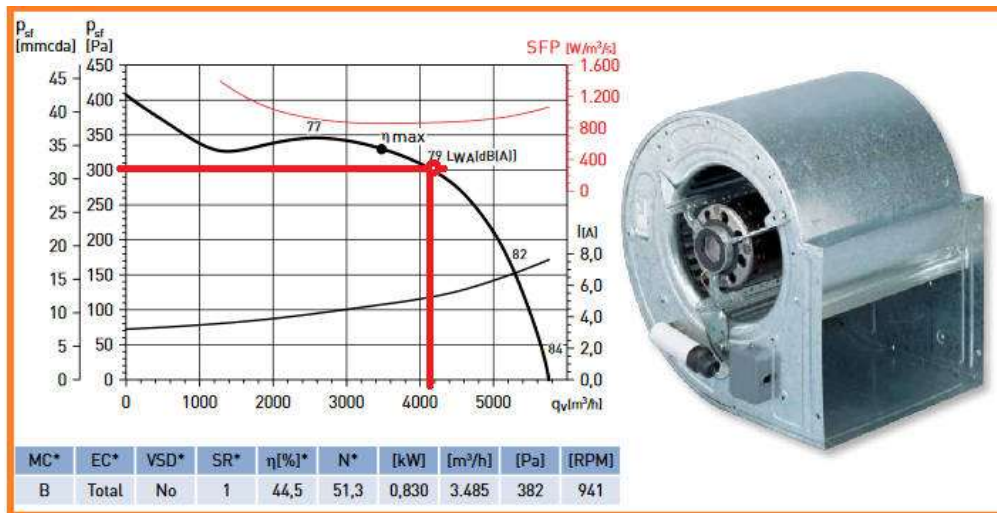
Solución: $q_v = 54 \text{ l/s}$

2.- En un garaje hay colocados extractores cada 10 plazas de aparcamiento, donde hay otros 10 trasteros de 5 m^2 cada uno. Nos fijamos en el extractor y conseguimos las características que se ven en el dibujo. Determina si está bien dimensionado, sabiendo que debe vencer una pérdida de carga de 300 Pa .



Mostrar retroalimentación

Solución: $q_v = 4\,446 \text{ m}^3/\text{h}$ son necesarios y según la curva de funcionamiento, para una presión de 300 Pa , dará un caudal de alrededor de $4\,200 \text{ m}^3/\text{h}$. Además si tenemos en cuenta que el rendimiento máximo se consigue con un caudal menor, sería mejor una opción superior de potencia.



4.- El aire húmedo

Caso práctico: lluvia de ranas

<https://www.youtube.com/embed/0C4-OBdDT8M?start=62&end=215&showinfo=0&rel=0>

Lluvia de ranas

¿Has oído alguna vez eso de que llueven ranas? No te creas que es una leyenda, tiene su explicación científica.

Las trombas marinas y los tornados terrestres, provocadas por un sistema de alta presión que precede a una tormenta eléctrica severa, crean un túnel de baja presión dentro de un cono de alta presión. Esta es la razón por la que recoge los elementos de peso relativamente bajo en su camino: las vacas, las casas rodantes y los automóviles son absorbidos por el vacío del vórtice. Las trombas y tornados absorben los elementos de menor peso a medida que se mueven sobre el agua o sobre la tierra. Las ranas y sapos pequeños que, con frecuencia se concentran por miles en las épocas en las que se producen estos fenómenos meteorológicos, son bastante ligeras y pueden terminar en el vórtice, que continúa moviéndose junto con las nubes, las cuales finalmente, liberan el agua que llevan. A medida que cae la lluvia, el vórtice libera todo lo que ha recogido en sus viajes. A veces, entre estos pasajeros están las ranas u otros animales minúsculos, que si no han muerto congelados (cada 100 m de altura baja 1 °C la temperatura) acaban estampados contra el suelo. Pero a veces sobreviven. Es la forma en la que la naturaleza ofrece viajes gratis y una nueva vida.

Se denomina **aire húmedo** a la mezcla de aire seco y vapor de agua. Sus propiedades y transformaciones son fundamentales en la técnica del acondicionamiento de aire, principalmente la climatización, ya que este es el fluido de trabajo que evoluciona tanto en el interior de una **Unidad de Tratamiento de Aire** (UTA) como de los locales o zonas tratadas. Las ecuaciones que definen los distintos estados del aire húmedo sirven para calcular analíticamente los parámetros que representan el estado del aire. También se utilizan para trazar las familias de curvas que representan estos parámetros en los diagramas psicrométricos que veremos más adelante.

La humedad del aire se debe al vapor de agua que se encuentra presente en la atmósfera. El vapor procede de la evaporación de los mares y océanos, de los ríos, los lagos, las plantas y otros seres vivos. La cantidad de vapor de agua que puede absorber el aire depende de su temperatura. **El aire caliente admite más vapor de agua que el aire frío.**

El vapor de agua tiene una densidad menor que la del aire, por tanto, el aire húmedo (mezcla de aire y vapor de agua) es menos denso que el aire seco. Por otra parte, las sustancias al calentarse se dilatan, lo que les confiere menor densidad. Todo ello hace que el aire caliente que contiene vapor de agua se eleve en la atmósfera terrestre. La temperatura de la atmósfera disminuye alrededor de 1 °C cada 100 m de altitud. Por eso, al llegar a zonas más frías el vapor de agua se condensa y forma las nubes (de gotas de agua o cristales de hielo). Cuando estas gotas de agua o cristales de hielo se agrupan y pesan demasiado, caen y originan las precipitaciones en forma de lluvia o nieve.

Ecuación Fundamental de la Psicrometría

La relación de las diferentes magnitudes del aire húmedo viene dada por la Ecuación Fundamental de la Psicrometría, la cual puede deducirse a partir de la Ecuación de los Gases Perfectos y la Ley de Dalton. En esta ecuación diferenciamos la presión del vapor de agua de la presión del aire seco.

Esta es una ecuación con suficiente aproximación al comportamiento real del aire húmedo a las temperaturas usuales en calefacción y climatización. La humedad relativa H_r va en tanto por 1, las presiones P (atmosférica) y p_{ws} (vapor de agua saturado) en las mismas unidades (pueden ser en Pa, atm, mm, cda, etc.) y la humedad específica w en kg/kg de aire seco. Es muy interesante la utilización de w en las unidades mencionadas, porque en los procesos en los que interviene el aire húmedo, la cantidad de aire seco permanece constante.

$$w = 0,622 \cdot \frac{H_r \cdot p_{ws}}{P - H_r \cdot p_{ws}}$$

Presión del vapor de agua a distintas temperaturas

Variación de la presión con la altura

Ejercicio Resuelto

1.- Tomamos aire del exterior a 20 °C y una humedad relativa del 70 %, si se calienta hasta 40 °C, admitiendo que no se toma vapor de agua, ¿cuál será su estado higrométrico a la presión atmosférica normal?

Mostrar retroalimentación

$$w_1 = 0,622 \cdot \frac{H_{r1} \cdot p_{ws(20^\circ\text{C})}}{P - H_{r1} \cdot p_{ws(20^\circ\text{C})}} = 0,622 \cdot \frac{0,7 \cdot 23,393}{1\,013 - 0,7 \cdot 23,393} = 0,0102 \text{ kg/kg aire seco}$$

Pero como no añadimos vapor de agua al aire, las humedades absolutas serán iguales antes y después:

$$w_2 = w_1 = 0,0102 = 0,622 \cdot \frac{H_{r2} \cdot p_{ws(40^\circ\text{C})}}{P - H_{r2} \cdot p_{ws(40^\circ\text{C})}} = 0,622 \cdot \frac{H_{r2} \cdot 73,849}{1\,013 - H_{r2} \cdot 73,849}$$

Despejando valores:

$$\frac{0,0102}{0,622} \cdot (1\,013 - H_{r2} \cdot 73,849) = H_{r2} \cdot 73,849$$

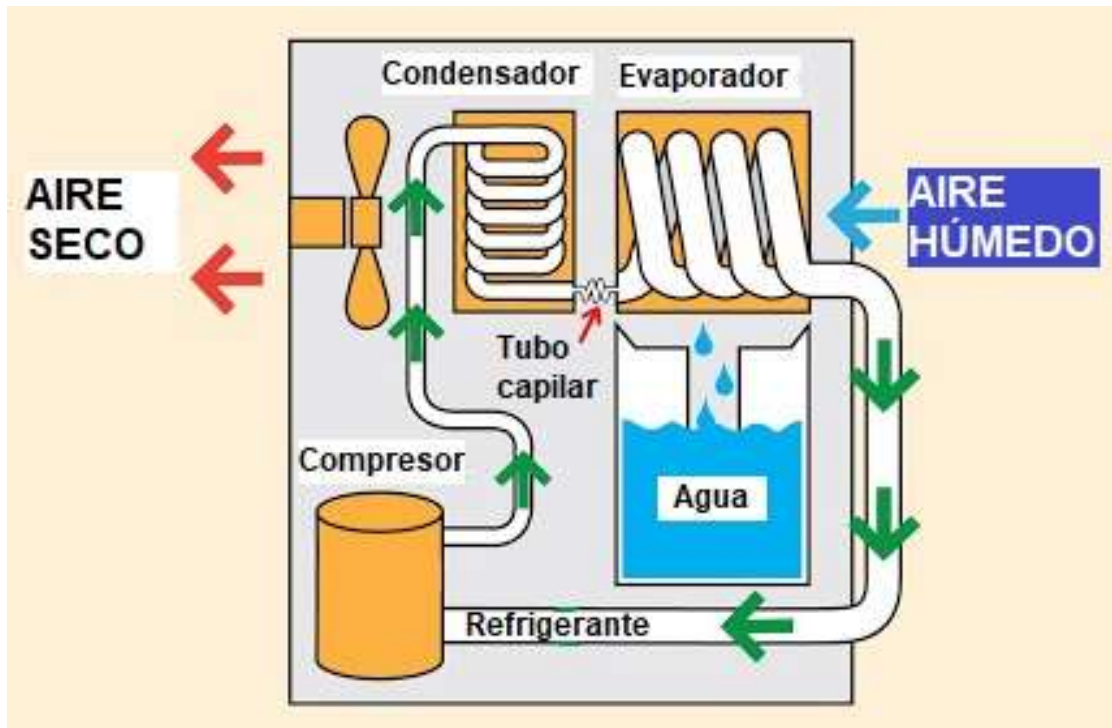
$$16,61 - 1,211 \cdot H_{r2} = H_{r2} \cdot 73,849$$

$$H_{r2} = 0,221 \rightarrow 22,1 \%$$

5.- Diagrama psicrométrico

Caso práctico: máquina deshumidificadora del aire

Cuando en una habitación o en un local existe una humedad excesiva o poca humedad, deberemos tratar el aire para añadirle o quitarle humedad. Añadir humedad parece algo relativamente sencillo, ya que basta rociar agua atomizada en una corriente de aire para añadirle mayor humedad pero, **¿cómo podrías quitar humedad del aire de una habitación?** De eso se encargan los deshumidificadores, ¿sabes cómo funcionan?



Máquina deshumidificadora

El funcionamiento lo vas a entender perfectamente al finalizar esta unidad. Por el momento, vamos a entender el fundamento físico de este aparato y más adelante lo representaremos en el **diagrama psicrométrico**.

El aire que deseamos deshumidificar se hace pasar por un serpentín por el que circula un refrigerante que lo mantiene a baja temperatura. Se denomina evaporador y, como el caso práctico del inicio de la unidad en donde el aire húmedo se condensaba en la superficie fría de los cristales de las gafas, el vapor del agua del aire se condensa en el serpentín frío, cayendo las gotas de agua extraídas al aire húmedo en el depósito de abajo. A continuación, el aire frío que está con mucha menor humedad, se calienta al atravesar el condensador, que es un sistema para recuperar el calor que le hemos quitado al aire. El aire regresa a la habitación alrededor de 2 °C más caliente que cuando ha entrado y considerablemente más seco. En la unidad 5

estudiaremos en mayor detalle un circuito frigorífico como el de este deshumidificador.

Para saber más

En el caso anterior hemos visto un sistema de deshumidificación mediante un circuito frigorífico de compresión. Pero existen otros sistemas, como los de tipo industrial, en los que interesa desecar el aire hasta valores muy altos por razones de procesos químicos o desecación de productos. En el ejemplo siguiente, vemos un sistema mixto compuesto de una deshumidificación por compresión (máquina frigorífica como la vista más arriba) y un sistema de adsorción. No confundir adsorción con absorción.

Un deshumidificador desecante industrial eficiente es aquel que preenfía el aire húmedo a temperaturas donde se condensa el vapor de agua del aire. Posteriormente, el aire pasa por una rueda desecante, que atrapa parte de la humedad restante por adsorción. El uso de sistemas de deshumidificación desecante es útil para los procesos que requieren aire seco menor a 35 por ciento de humedad.



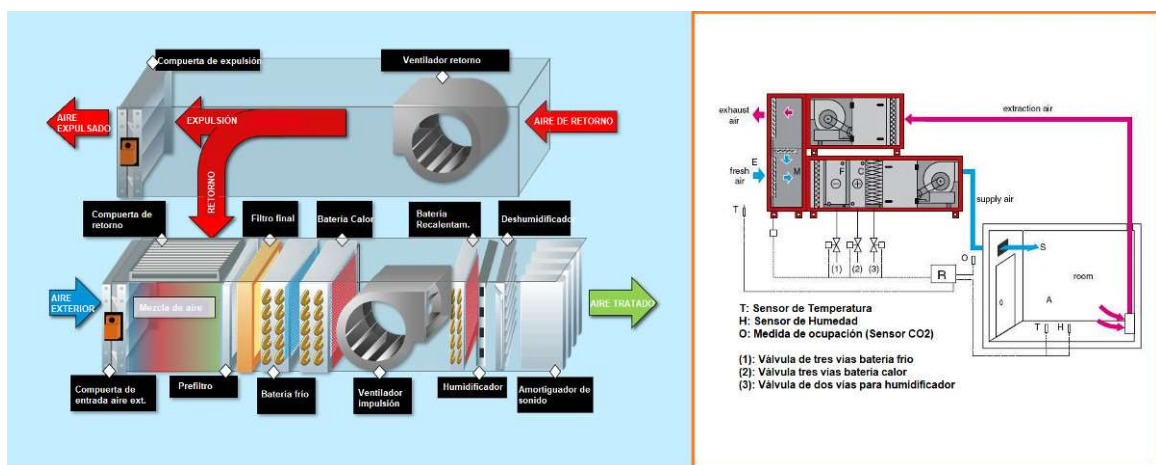
Sistema mixto de deshumidificación

5.1.- Variables representadas en el diagrama

Diagrama Psicrométrico

Los cálculos de los parámetros del aire a diferentes temperaturas y grados de humedad serían muy laboriosos si los hiciéramos analíticamente. Por ello, se utilizan con frecuencia los diagramas gráficos y más recientemente programa informáticos que permiten no solo calcular parámetros, sino representar gráficamente los procesos higrotérmicos a los que se somete el aire: enfriamiento, calentamiento, humectación, etc. En resumen, los procesos a que puede someterse el aire, además del filtrado son:

- Mezcla, de aire de retorno y exterior, en la sección de mezcla (SM).
- Calentamiento, en la batería de calor (BC).
- Humidificación en la sección de humectación (BH).
- Enfriamiento y deshumidificación en la batería de frío (BF).



Unidad de Tratamiento del Aire (UTA)

En cada uno de estos procesos el aire entra en la correspondiente sección de una unidad de tratamiento de aire (UTA), en unas condiciones definidas por su temperatura seca y húmeda, humedad específica, humedad relativa, punto de rocío y entalpía, y sale en otras diferentes. En cada proceso se puede hacer un balance energético, de forma que en un calentamiento de aire, por ejemplo, el calor absorbido por el aire deberá ser el mismo que el cedido por la batería de agua caliente. Para ello, se utilizan unos diagramas que, conociendo las magnitudes características del aire húmedo, permiten colocar el punto indicador del mismo sobre el diagrama y deducir en él las demás características.

En función de cuáles sean las magnitudes prefijadas, se pueden utilizar principalmente dos diagramas, el de Carrier y el de Mollier, en esta unidad de trabajo trabajaremos con el diagrama de Carrier, carta psicrométrica o diagrama

psicrométrico, por ser el de uso más común. El diagrama de Mollier lo emplearemos en el estudio de las máquinas frigoríficas.

En un diagrama psicrométrico, en el eje horizontal están representadas las temperaturas de bulbo seco t_{bs} y en el eje vertical las humedades específicas (w). Cada punto del diagrama vendrá dado por su temperatura de bulbo seco y su humedad específica. En el diagrama se recogen otras escalas: humedad relativa, temperatura de bulbo húmedo, entalpía y peso específico.

Notemos que la masa de aire seco permanece constante en el transcurso de las diferentes transformaciones que experimenta el aire en una instalación de climatización (u otras instalaciones). De este modo, los valores del aire húmedo se obtienen, pues, del volumen específico del aire seco que le sirve de soporte (por eso muchas magnitudes van en las unidades correspondientes partidos por cada kg de aire seco).

La mayor parte de los diagramas se trazan para una presión constante de 101 325 Pa (nivel del mar). Cuando cambian las condiciones de presión, relacionadas con la altitud (por ejemplo a 1 000 m, la presión es, aproximadamente, de 90 000 Pa), cambian asimismo las magnitudes características. Deben calcularse entonces las nuevas características, o sea utilizar los diagramas correspondientes a las presiones de utilización o los factores correctores correspondientes. Los diagramas establecidos a 101 325 Pa se emplean hasta una altitud de 500 m.

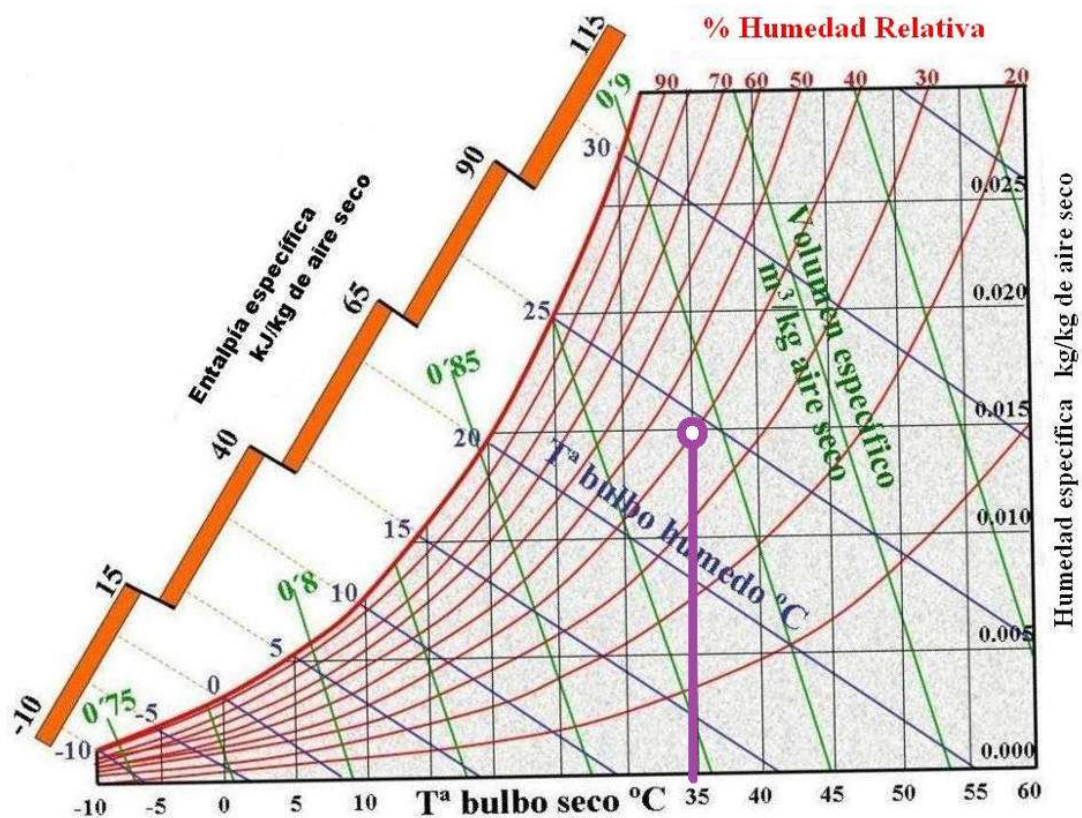


Diagrama psicrométrico simplificado

En este gráfico vemos que un aire con una humedad relativa del 40%, a una temperatura de bulbo seco de 35 °C, tiene una humedad específica (absoluta) de 15 g/kg de aire seco, una temperatura de bulbo húmedo de unos 24 °C, una entalpía de alrededor de 75 kJ/kg de aire seco y volumen específico de 0,89 m³/kg de aire seco.

A la izquierda del diagrama se encuentra la curva que delimita al mismo, se trata de la curva de saturación, a la izquierda de la cual el aire no puede permanecer estable separándose ambos fluidos, se conoce como zona de niebla.

Explicación en mayor detalle del diagrama psicrométrico

5.2.- Programas diagrama psicrométrico

Existen programas que permiten calcular los valores en una transformación del aire húmedo, determinando los diferentes valores a partir de los datos de dos de las variables. Vamos a ver enlaces a páginas web de interés para resolver el mismo problema que hemos resuelto analíticamente en el apartado 4 y cuyo planteamiento y solución eran: hallar la humedad relativa de un aire a 20 °C y 70 % de humedad, que se calienta hasta 40 °C sin añadir y disminuir su humedad absoluta.

[Universidad del País Vasco](#)

[Universidad de Sevilla](#)

[Universidad de California](#)

Universidad del País Vasco

Psicrometría			
Datos		Resultados	
Unidades: ☒ SI ☐ Ing			
Parámetros	Valor	Unidad	
Temperatura:	20	°C	
Temp. h. húmedo: ☐	16.404228465	°C	
Humedad relativa: ☒	70	%	
Punto de rocío: ☐	14.399227966	°C	
Altitud SNM	0.0	m	
Calcular			
Presión Atmosférica	1.013237597	bar	
Pv sat	73.387977529	mmbar	
Pv	16.37194270	mmbar	
Humedad absoluta	0.0102151276	kg/kg	
Entalpía	46.021017371	kJ/kg	
Volumen específico	0.8432209582	m³/kg	

Psicrometría			
Datos		Resultados	
Unidades: ☒ SI ☐ Ing			
Parámetros	Valor	Unidad	
Temperatura:	40	°C	
Temp. h. húmedo: ☐	22.540253048	°C	
Humedad relativa: ☒	22.17	%	
Punto de rocío: ☐	14.396876893	°C	
Altitud SNM	0.0	m	
Calcular			
Presión Atmosférica	1.013237597	bar	
Pv sat	73.834411083	mmbar	
Pv	16.369088937	mmbar	
Humedad absoluta	0.0102135450	kg/kg	
Entalpía	66.489285447	kJ/kg	
Volumen específico	0.9004203826	m³/kg	



Dto. de Máquinas y Motores Térmicos
Makina eta Motore Termikoetako Saila



[Universidad del País Vasco](#) (Todos los derechos reservados)

En este caso, la resolución del problema requiere, en primer lugar, calcular la humedad absoluta y, posteriormente, introducir el valor de la humedad relativa, por aproximaciones sucesivas, hasta que obtenemos el valor de la $H_r = 22,17$ % con la temperatura de 40 °C. A veces, algunas herramientas no nos permiten obtener los resultados directamente, sino que tenemos que utilizar medios indirectos o aproximados, como en este caso.

Universidad de Sevilla

calcuSicro

Calculadora Sicrométrica en línea

Datos de entrada

Presión (kPa): 101.325

Temperatura seca (°C): 20

Humedad relativa (%): 70

Calcular

↓

Variables sicrométricas calculadas

Presión (kPa): 101.325

Altura localidad (m): 0.0

Temperatura seca (°C): 20.00

Humedad absoluta (g/kg as): 10.215

Humedad relativa (%): 70.00

Entalpía(kJ/kg as): 46.04

Temperatura húmeda (°C): 16.44

Temperatura de rocío (°C): 14.37

Volumen específico (m³/kg as): 0.8443

Densidad (kg as/m³): 1.184



calcuSicro

Calculadora Sicrométrica en línea

Datos de entrada

Presión (kPa): 101.325

Temperatura seca (°C): 40

Humedad absoluta (g/kg as): 10.215

Calcular

Variables sicrométricas calculadas

Presión (kPa): 101.325

Altura localidad (m): 0.0

Temperatura seca (°C): 40.00

Humedad absoluta (g/kg as): 10.215

Humedad relativa (%): 22.17

Entalpía(kJ/kg as): 86.53

Temperatura húmeda (°C): 22.73

Temperatura de rocío (°C): 14.37

Volumen específico (m³/kg as): 0.9019

Densidad (kg as/m³): 1.109

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIEROS
Juan Francisco Coronel Toro

[Universidad de Sevilla](http://Universidad.de.Sevilla). Calculadora psicrométrica (Todos los derechos reservados)

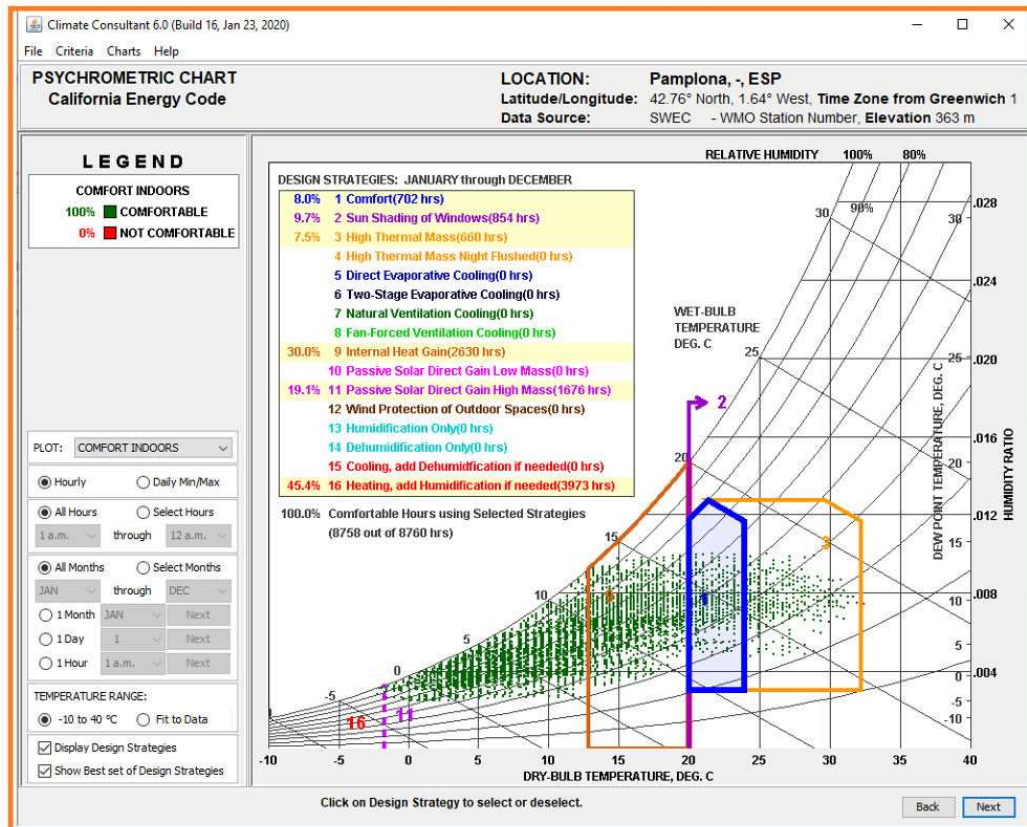
En esta aplicación, vemos que admiten más posibilidades de cálculo y que, aunque tenemos que resolver el problema en dos pasos, nos permite calcular la humedad relativa a 40 °C directamente sin más que introducir el valor de la humedad absoluta obtenido previamente. En este caso obtenemos también $H_r = 22,17$.

Para utilizar sin conexión a internet (off-line) descargar el archivo [calcuSicro.zip](#), descomprimirlo y abrir el archivo index.html con un navegador web

Universidad de California

En este caso tenemos una herramienta diferente y más potente, en la que está integrado el diagrama psicrométrico y se relaciona con la zona de confort y con las técnicas y soluciones de climatización más apropiadas para cada localidad seleccionada. Realmente, no es un diagrama psicrométrico, sino el uso del diagrama psicrométrico para los fines señalados (consejos constructivos para tener una zona interior de confort el máximo número de horas al año). El programa se puede descargar en el enlace de la imagen y es gratuito.

Para saber algo más acerca de su uso, puedes ver el vídeo.



[University of California](https://www.youtube.com/embed/WvWU3R40RBU?amp;showinfo=0&rel=0). Climate Consultant 6.0 (Todos los derechos reservados)

<https://www.youtube.com/embed/WvWU3R40RBU?amp;showinfo=0&rel=0>

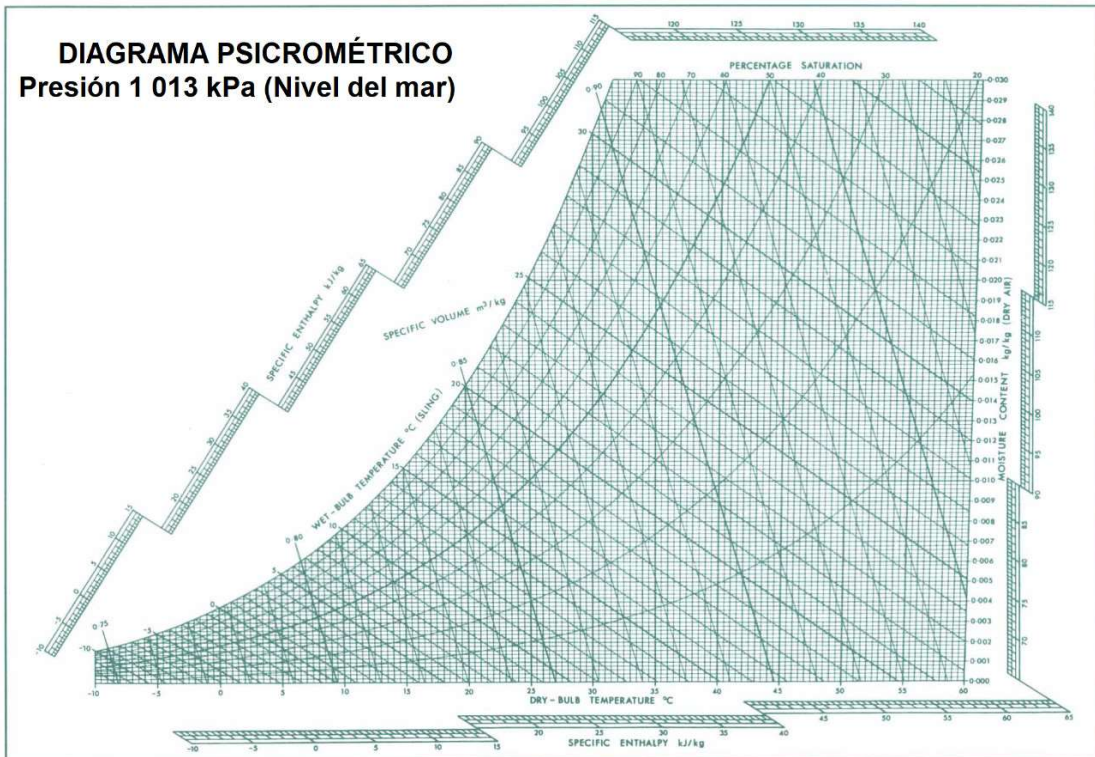
Explicación manejo programa UCLA

Ejercicios Resueltos

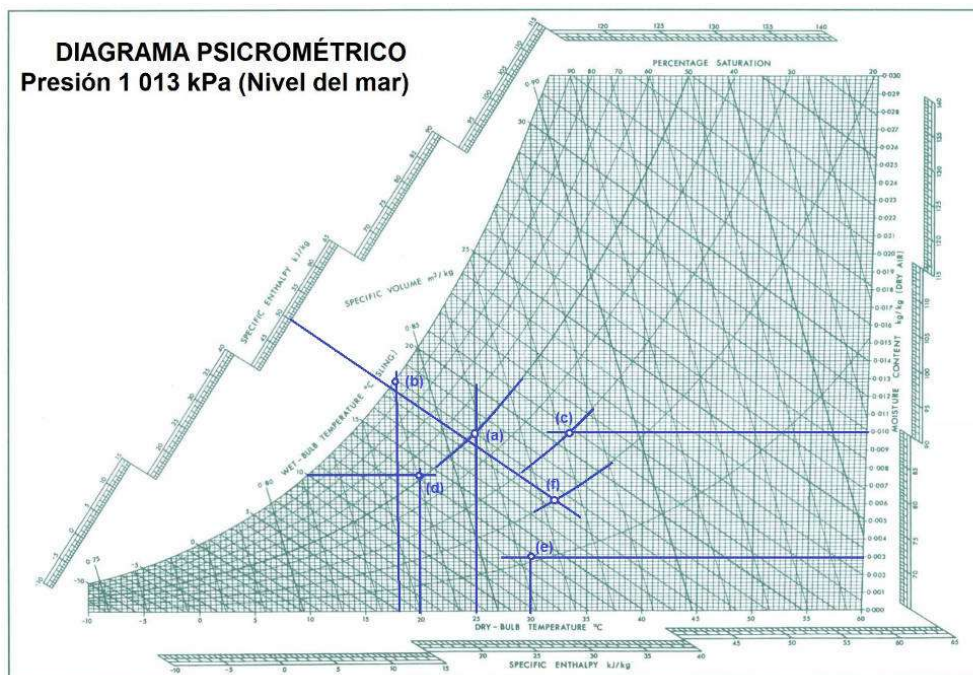
1.- Representa en el diagrama psicrométrico de la imagen los siguientes estados del aire:

- Aire a 25 °C de temperatura seca y 50 % de humedad relativa
- Aire saturado con el 100 % de humedad relativa y una temperatura de 18 °C (en la zona de la curva de saturación las tres temperaturas son la misma: seca, húmeda y rocío)
- Aire con 10 g de humedad absoluta por cada kg y una humedad relativa del 30 %
- Aire con una temperatura seca de 20 °C y una temperatura de rocío de 10 °C

- e. Aire con una temperatura húmeda de 30 °C y una humedad absoluta de 3 g/kg as
- f. Aire con una entalpía de 50 kJ/kg as y una humedad relativa de 20 %



Mostrar retroalimentación

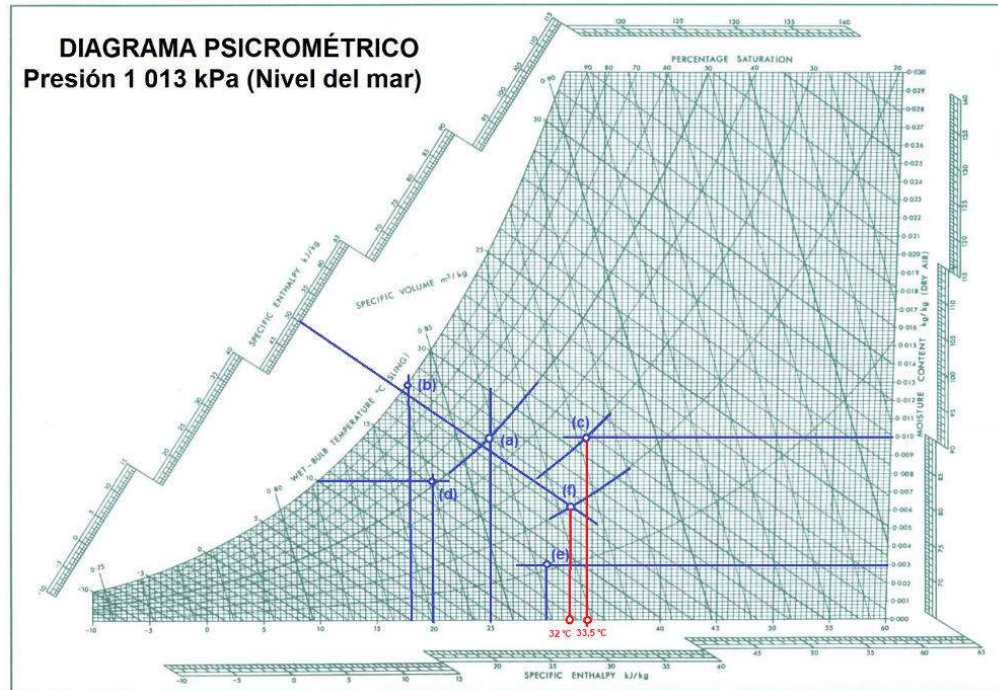


- a. Aire a 25 grados de temperatura seca y 50 % de humedad relativa
- b. Aire saturado con el 100 % de humedad relativa y una temperatura de 18 °C (en la zona de la curva de saturación los tres parámetros son la misma: seca, húmeda y rocío)
- c. Aire con 10 g de humedad absoluta por cada kg y una humedad relativa del 30 %
- d. Aire con una temperatura seca de 20 °C y una temperatura de rocío de 10 °C
- e. Aire con una temperatura húmeda de 30 °C y una humedad absoluta de 3 g/kg as
- f. Aire con una entalpía de 50 kJ/kg as y una humedad relativa de 20 %

2.- Averiguar, gráficamente, los valores de temperatura seca de los puntos del ejercicio anterior que no conocemos.

Mostrar retroalimentación

Solución: Los valores pedidos son: $t_{(c)} = 33,5\text{ °C}$ y $t_{(f)} = 32\text{ °C}$



3.- Averigua las entalpías y las humedades absolutas de los puntos (b) y (d)

Mostrar retroalimentación

Solución: Gráficamente obtenemos:

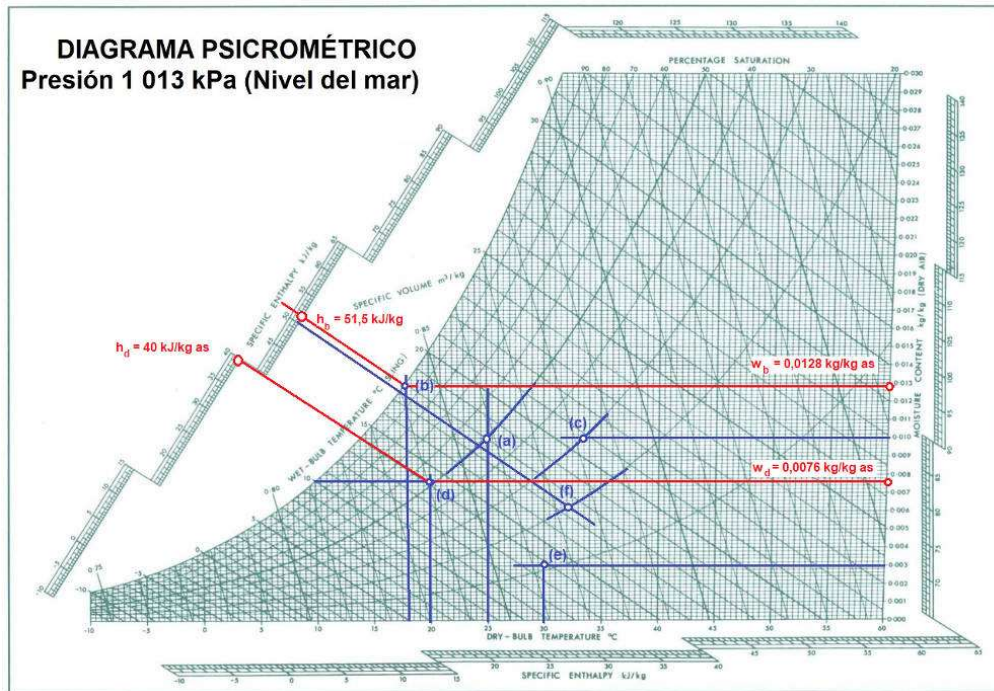
$h_b = 51,5\text{ kJ/kg as}$

$h_d = 40\text{ kJ/kg as}$

$w_b = 0,0128\text{ kg/kg as}$

$w_d = 0,0076\text{ kg/kg as}$

DIAGRAMA PSICROMÉTRICO Presión 1 013 kPa (Nivel del mar)



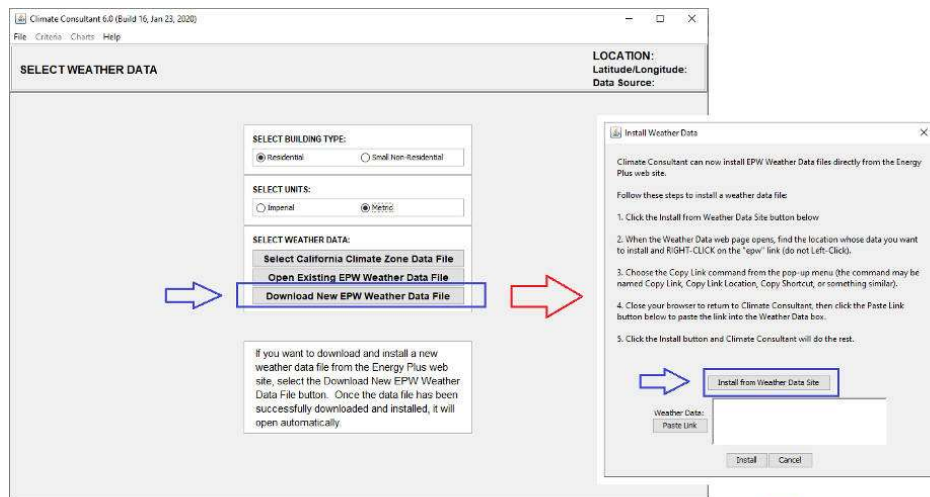
4.- Comprueba los valores obtenidos en todos los ejercicios mediante alguna de las herramientas informáticas de las universidades de Sevilla y el País Vasco.

Mostrar retroalimentación

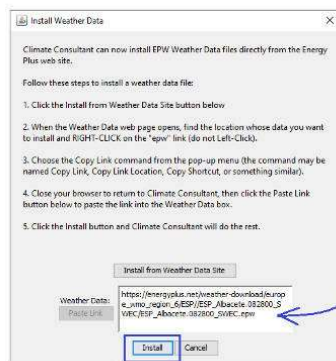
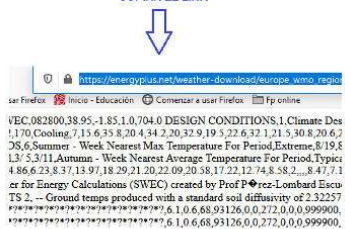
Los valores que obtenemos son bastante aproximados a los que hemos obtenido gráficamente. El error es perfectamente asumible cuando se hacen cálculos térmicos de instalaciones, ya que los equipos normalmente no coinciden con los valores calculados y se suelen seleccionar (normalmente) los aparatos inmediatamente superiores a los calculados.

5.- Cargar la base de datos climática de Albacete en el programa Climate Consultant

Mostrar retroalimentación



COPIAR EL LINK



Weather Data by Location

All Regions - Europe WMO Region 6 - Spain

Weather Data Download - Albacete 082800 (SWEC)

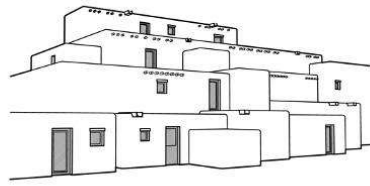
Click on a file to download.



En el momento en que están cargados los datos de Albacete, ya podemos obtener todas las estadísticas térmicas de esta ciudad y contestar a las preguntas que nos hacen

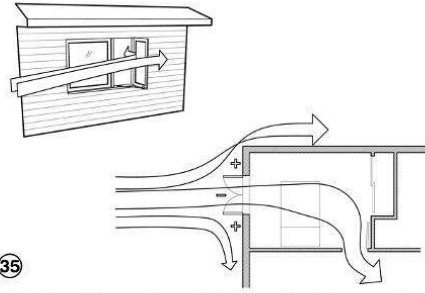
6.- ¿Qué recomendaciones energéticas, pasivas y activas, realiza Climate Consultant para Albacete en relación al tipo de masa térmica de los muros exteriores y a las ventanas?

Mostrar retroalimentación



61

Traditional passive homes in hot dry climates used high mass construction with small recessed shaded openings, operable for night ventilation to cool the mass

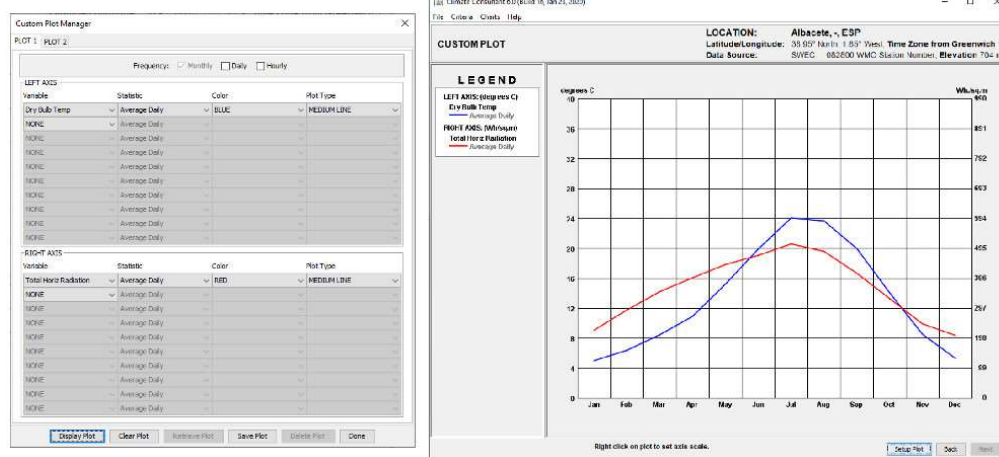


35

Good natural ventilation can reduce or eliminate air conditioning in warm weather, if windows are well shaded and oriented to prevailing breezes

7.- Obtén un gráfico que relacione, para Albacete, la temperatura de bulbo seco y la radiación solar total, en una escala mensual.

Mostrar retroalimentación



8.- ¿Qué propuestas estratégicas de diseño nos hace Climate Consultant sobre las instalaciones térmicas y arquitectura solar pasiva, de mayor interés para una vivienda rural en Albacete, para el horario de 8 de la mañana a las 23 h en los meses de abril a octubre?

Mostrar retroalimentación

En el diagrama psicrométrico adjunto vemos las siguientes propuestas estratégicas, con las cuales conseguimos un confort interno en el 100 % del horario de los meses señalados.

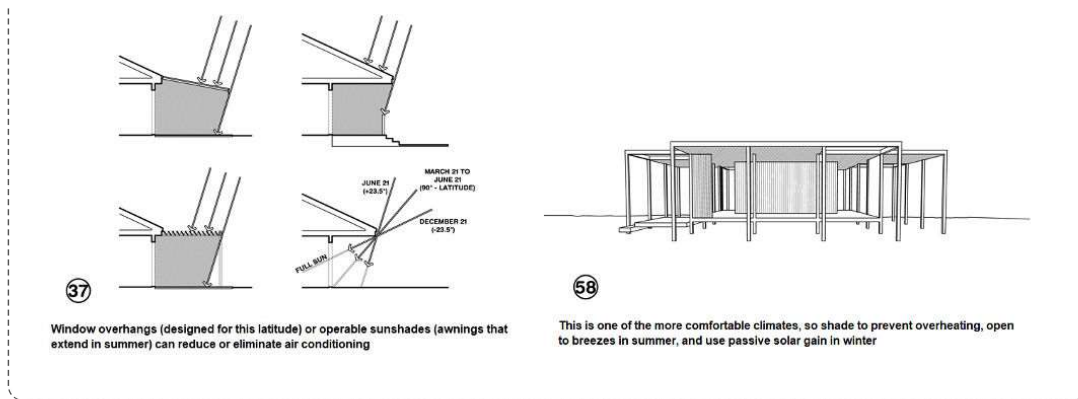
Confort debido a las condiciones climáticas exteriores ideales: 20,4 %

Sombreamiento de ventanas (persianas, estores, retranqueamientos, pérgolas, ...): 34,9 %

Muros y elementos constructivos de alta masa para homogeneizar temperaturas entre el día y la noche: 33,6 %

Calor solar acumulado en cerramientos de alta densidad: 6,8 %

Sistema de calefacción con humidificación: 10,6 %



Ejercicios Para Resolver

1.- Representar los siguientes puntos en un diagrama psicrométrico y determinar las entalpías del aire en cada punto. Indica en cada caso si estamos en la zona de confort, sabiendo que es verano.

a) Temperatura seca 25°C y humedad relativa 50 %

b) Humedad absoluta 15 g/kg as y temperatura de bulbo húmedo 24 °C

Mostrar retroalimentación

Solución: En el segundo ejercicio encontrarás las soluciones

2.- Calcula los anteriores valores mediante cualesquiera de los programas informáticos vistos.

Mostrar retroalimentación

Solución: La comprobación de la coincidencia de valores es que se ha hecho bien el ejercicio. Si hay diferencias sustanciales, repasar ambos métodos, el gráfico y el informático.

3. Mediante Climate Consultant, determina el porcentaje de tiempo en el que deberemos tener conectada la calefacción en Bergen (Noruega), a lo largo del año, con una ocupación durante todas las horas a lo largo de todo el año. ¿Durante cuánto tiempo tenemos las condiciones de confort térmico con su clima?

Mostrar retroalimentación

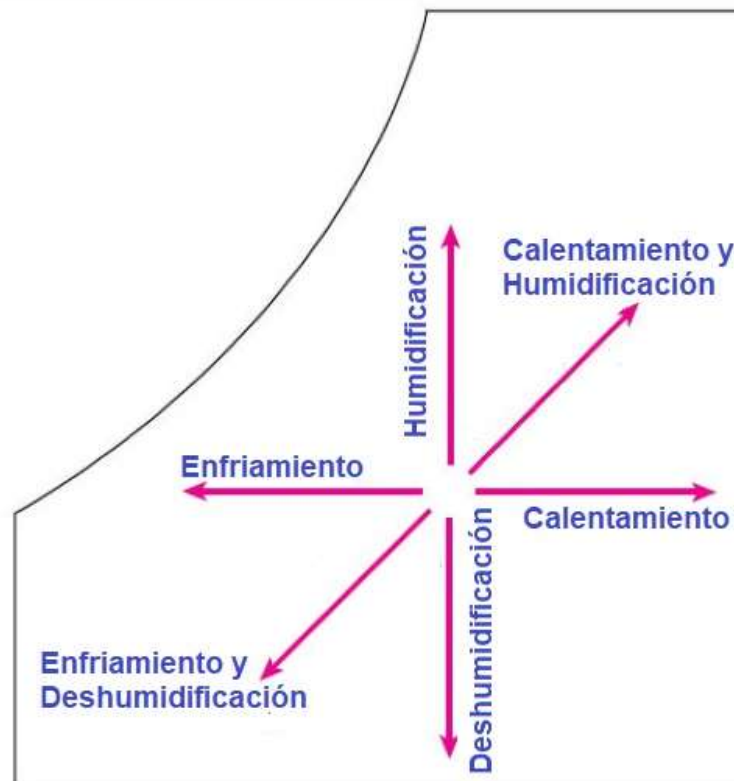
Solución: $t_{\text{calefacción}} = 7\,248 \text{ h (82,7 \%)}$; $t_{\text{confort}} = 133 \text{ h (1,5 \%)}$

Quizás con estos datos entendemos mejor el porqué en cuanto sale un rayo de sol y la temperatura es cálida, muchos noruegos salen a la calle a tomar el sol dejando sus actividades. O el porqué hay líneas aéreas que conectan directamente Bergen, Oslo y otras ciudades con Alicante, Palma, Canarias o Málaga.

5.3.- Representación de procesos higrotérmicos

Mantener un espacio confortable, a la temperatura y humedad deseadas, requiere el realizar un conjunto de procesos de acondicionamiento de aire. Estos procesos incluyen el simple calentamiento del aire (subir su temperatura), el simple enfriamiento del aire (bajar su temperatura), la humidificación (añadir humedad) y la deshumidificación (quitar humedad). A veces es necesario hacer varios de estos procesos con el fin de conseguir la temperatura y humedad deseada.

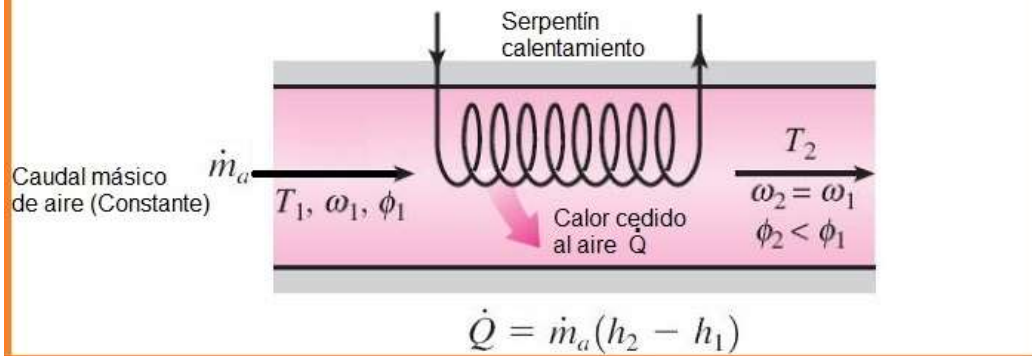
El aire es comúnmente calentado y humidificado en invierno y enfriado y deshumidificado en verano. Todo ello podemos reflejarlo en el diagrama psicrométrico:



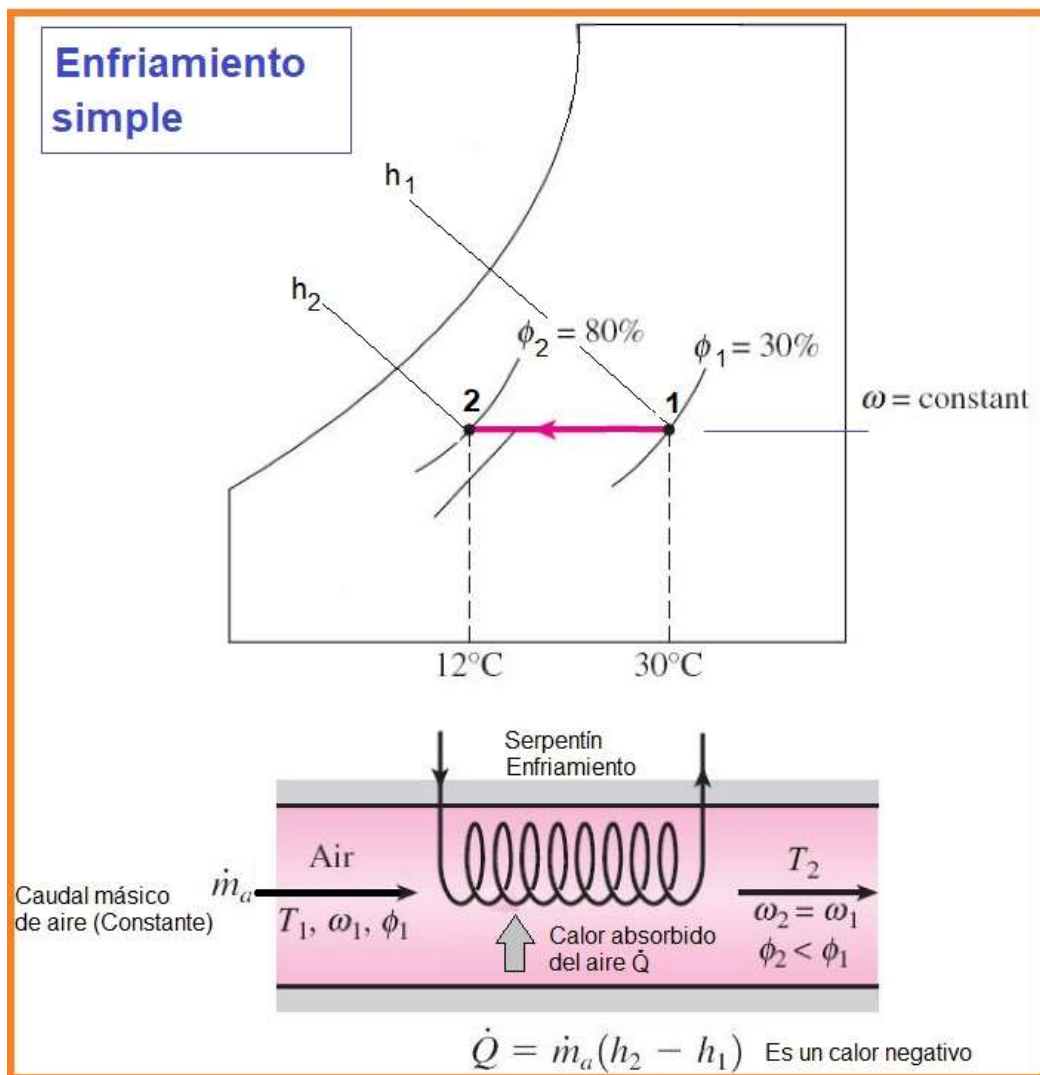
Distintos procesos higrotérmicos del aire

Calentamiento simple

Calentamiento simple

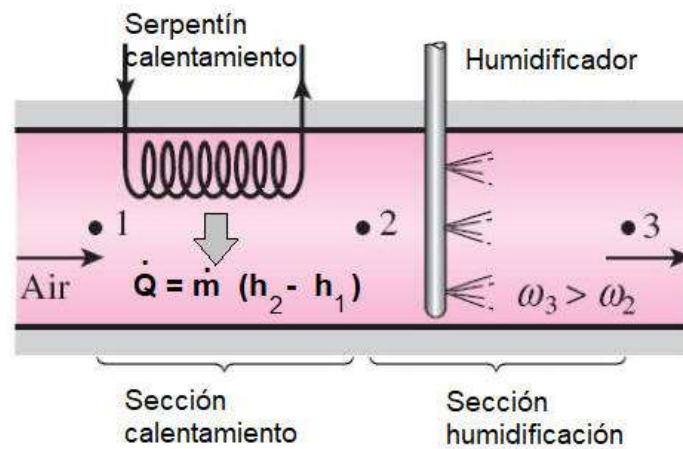
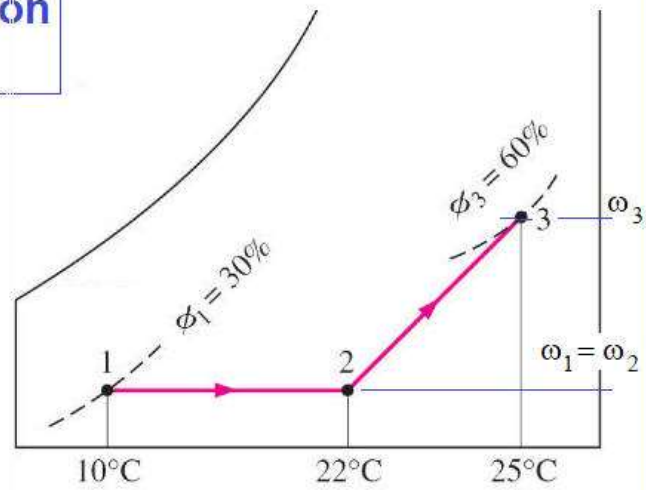


Enfriamiento simple



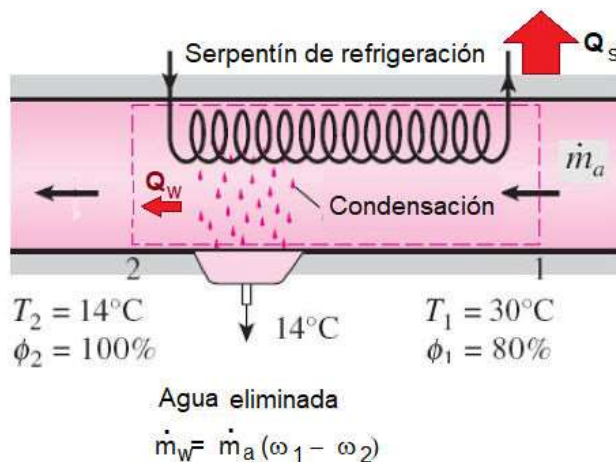
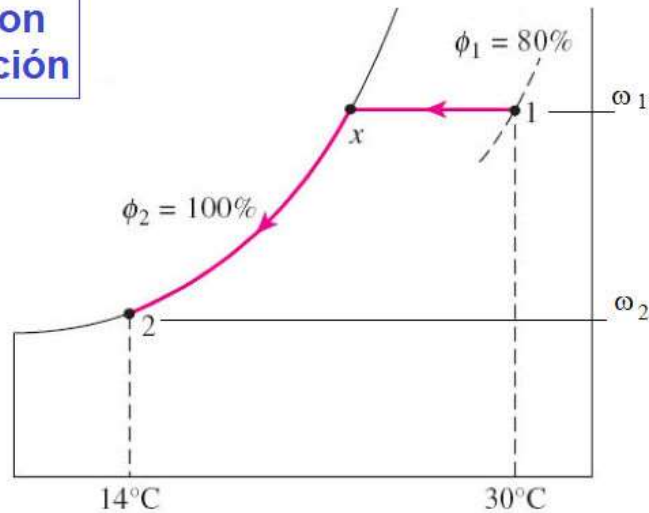
Calentamiento con humidificación

Calentamiento con humidificación



Enfriamiento con deshumidificación

Enfriamiento con deshumidificación



Calor producido por el vapor de agua al condensarse

$$\dot{Q}_w = \dot{m}_w \cdot h_w$$

Calor evacuado por el serpentín de refrigeración

$$\dot{Q}_s = \dot{m} (h_2 - h_1)$$

Calor perdido por el aire después de la deshumidificación

$$\dot{Q}_{\text{aire}} = \dot{Q}_w - \dot{Q}_s$$

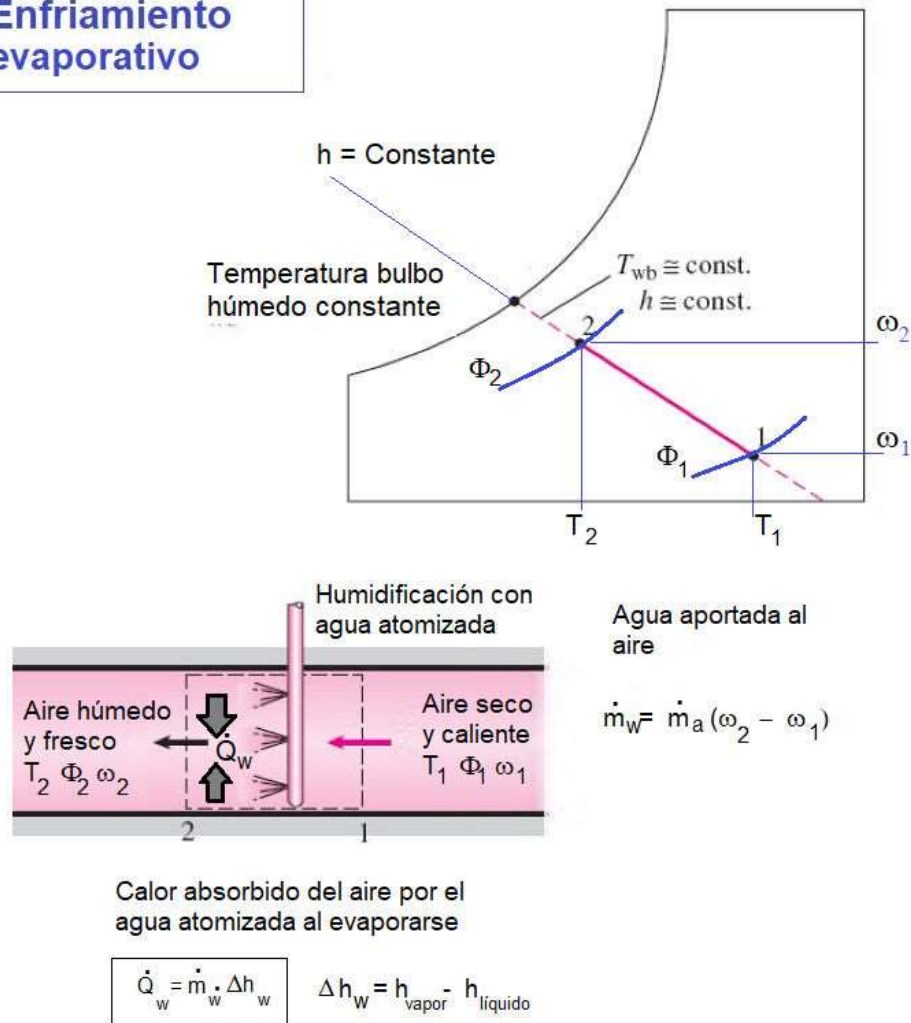
Como $\dot{m}_w$ es muy pequeño, tendremos aproximadamente:

$$\dot{Q}_a = \dot{m}_a (h_2 - h_1)$$

Enfriamiento evaporativo

Este sistema es el mismo que el del botijo, que utiliza el agua que se filtra por sus poros y se evapora. Al evaporarse absorbe calor y refresca el agua de su interior. En este caso ocurre lo mismo, se humidifica aire seco, el cual absorbe el agua pulverizada y se evapora. Como la entalpía del agua líquida es menor que la del agua en estado de vapor, necesita absorber energía del aire. Y todo ello sin consumo de energía (la entalpía del aire, seco al principio y húmedo al final del proceso, prácticamente se mantiene constante).

Enfriamiento evaporativo



1 2 3 4 5

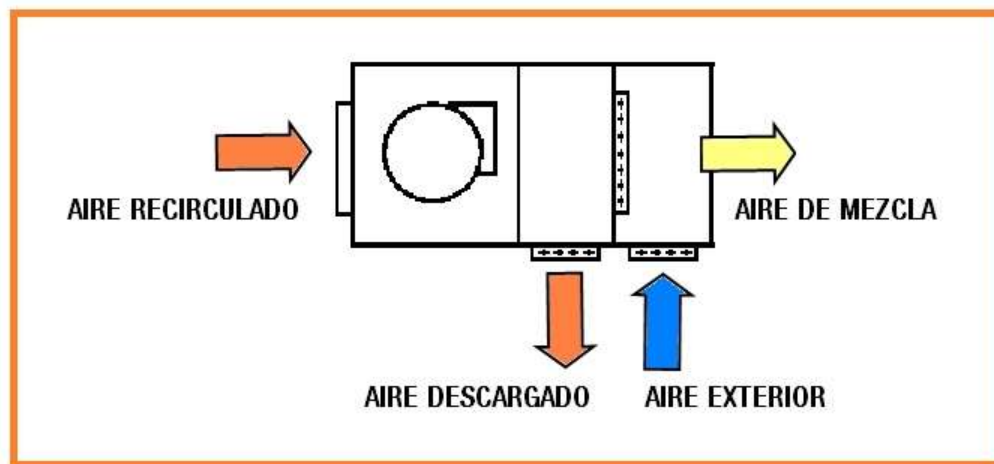
Debes conocer

Mezcla de aires

Este proceso tiene su aplicación característica en la sección inicial del climatizador a donde llegan dos corrientes de aire:

- ✓ Un caudal m_1 de aire recirculado (REC), procedente del ambiente climatizado con unas condiciones de temperatura t_1 de bulbo seco, humedad relativa Hr_1 y humedad específica w_1 .

- ✓ Un caudal $\dot{m}_2$ de aire exterior (EXT) para renovación con unas condiciones t_2 , H_{r2} y w_2 respectivamente.



Flujo de aires en UTA

Como en cualquier mezcla, las condiciones del aire de mezcla (MEZ) resultante serán intermedias entre las que tiene cada caudal de aire. Aplicando la ley de las mezclas, basada en la Primera Ley de la Termodinámica, sabemos que:

Gráficamente, el procedimiento de mezcla consiste en lo siguiente:

- ✓ Representamos ambos estados del aire en el diagrama psicrométrico y unimos los dos puntos obtenidos mediante una recta.
- ✓ Resolver aritméticamente el problema de conocer la temperatura de la mezcla. Para ello se requiere conocer los pesos específicos de los dos tipos de aire (fácilmente deducible en el diagrama psicrométrico. Lógicamente, deberemos saber el caudal másico de cada uno de los dos tipos de aire. No obstante, para variaciones de temperatura no excesivamente grandes, podemos tomar aproximadamente el caudal volumétrico (al considerar que la densidad del aire no varía apenas al aumentar o disminuir su temperatura). En resumen, podemos utilizar la fórmula:

$$t_{mezcla} = \frac{\dot{m}_1 \cdot t_1 + \dot{m}_2 \cdot t_2}{\dot{m}_1 + \dot{m}_2} \approx \frac{q_1 \cdot t_1 + q_2 \cdot t_2}{q_1 + q_2}$$

Siendo q los caudales de aire, los cuales pueden ir en cualquier unidad, siempre que en la mezcla se pongan en idéntica unidad (l/s, m³/h, ...)

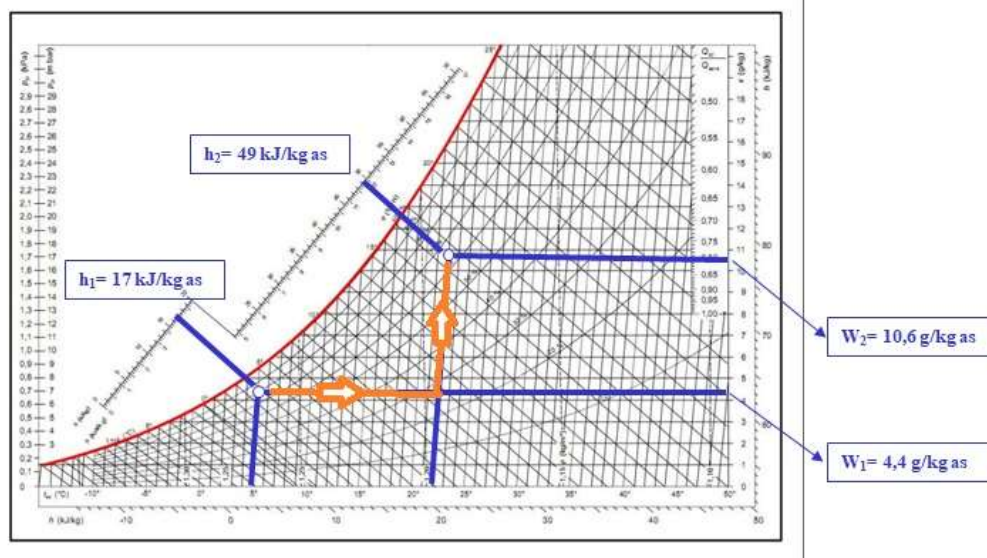
- ✓ Una vez determinada la temperatura de la mezcla, buscar t_{mezcla} en el eje horizontal y levantar una perpendicular hasta cortar a la recta de unión de ambos puntos. El punto S encontrado es la solución.

Ejercicios Resueltos

1.- En una nave industrial con 500 trabajadores, se necesitan por persona y hora 50 m^3 de aire a 22°C y con un estado higrométrico del 65 %. El aire exterior está a 5°C y 80 % de humedad relativa. Calcular el peso de agua y el calor que debe suministrársele al aire exterior. Las pérdidas de calor del local al exterior son compensadas por cualquier medio de calefacción que no aporta humedad al ambiente. La presión atmosférica es la normal de 760 mm Hg. Resolver el problema con ayuda del diagrama psicrométrico.

Mostrar retroalimentación

Solución: En primer lugar, representamos los puntos en el diagrama psicrométrico del aire a presión atmosférica normal:



La cantidad de agua que habrá que añadir será:

$$w = 500 \text{ personas} \cdot 50 \frac{\text{m}^3}{\text{persona} \cdot \text{hora}} \cdot 1,19 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{(10,6 - 4,4) \text{g}}{\text{kg}} = 184 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

El calor que habrá que suministrar se corresponderá con la diferencia de entalpía del aire calentado por hora, con el caudal másico correspondiente (se desprecia el calor latente correspondiente a los trabajadores):

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot \Delta h = 6,944 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1,19 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{(49 - 17) \text{kJ}}{\text{kg}} = 264,4 \text{ kW}$$

2.- En una Unidad Térmica de Acondicionamiento impulsamos $2\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ para climatizar una clínica con una ocupación de 10 personas. Las

condiciones exteriores son 30 °C y 70 % de humedad relativa. Las condiciones en el interior del local son 25 °C y 50 % de humedad. Calcula el aire exterior que deberemos añadir para la renovación de aire.

Mostrar retroalimentación

El aire tiene que ser de calidad IDA1, por lo que tomamos 20 l/s por persona. Eso supone 200 l/s o 720 m³/h.

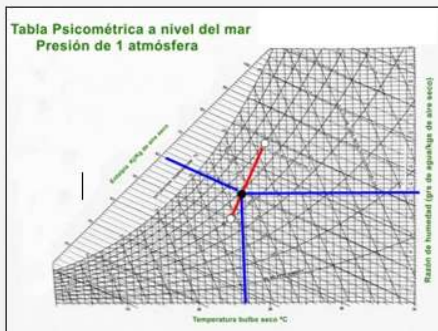
3.- Calcula la temperatura y humedad relativa del aire resultante del problema anterior en la sección de mezclas y representa el proceso en el diagrama psicrométrico

Mostrar retroalimentación

El aire que recircula que deberá mezclarse con el aire exterior será 2 000 – 720 = 1 280 m³/h. Es decir, para ahorrar la máxima energía posible, la cantidad de aire a recircular será la mayor que la normativa permita

Aplicando la ley de las mezclas:

$$t_{mezcla} \approx \frac{q_1 \cdot t_1 + q_2 \cdot t_2}{q_1 + q_2} = \frac{1\,280 \cdot 25 + 720 \cdot 30}{2000} = 26,8 \text{ °C}$$



Valores del punto de mezcla:

$t_{bs} = 26,8 \text{ °C}$

$t_{bh} = 20,9 \text{ °C}$

$e = 59 \text{ %}$

$h = 60,4 \text{ kJ/kg}$

$w = 13,1 \text{ g/kg}$

$r = 1,15 \text{ kg/m}^3$

Si utilizamos uno de los varios programas online usados antes, los resultados son muy similares:

Units of Measure: ☐ IP Units ☒ SI Units Elevation/Pressure: 0 Altitude m

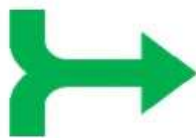
Air Flow as: ☐ Mass ☒ Volume

Airstream A

Temp: 30.0 °C

Moist: 70.0 %RH

Air Flow 36,0 %



Airstream B

Temp: 25.0 °C

Moist: 50.0 %RH

Air Flow 64,0 %

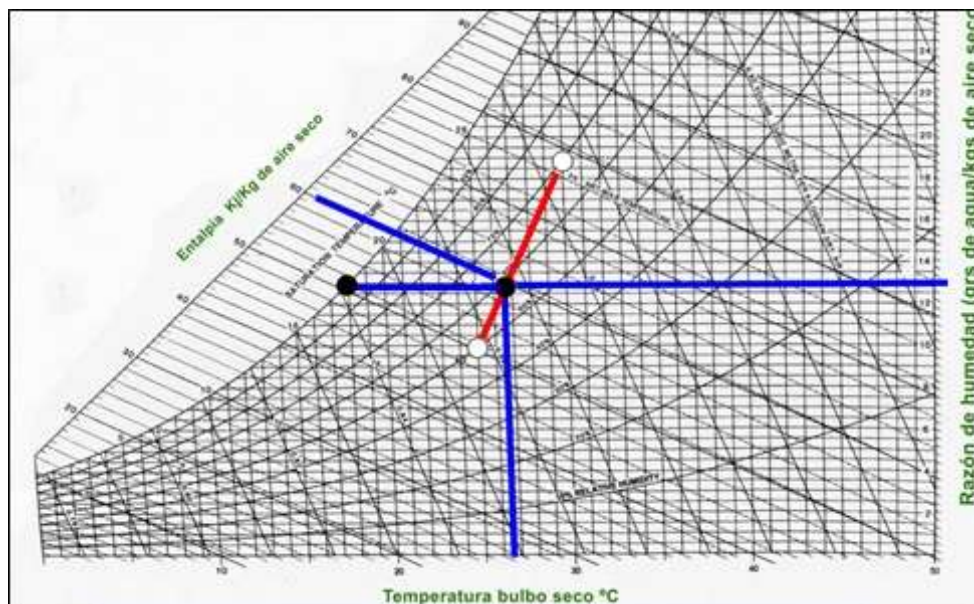
Calculate Mixed Air Properties

Name	Value	Units
Temperature	26.79	°C
Humidity Ratio	13.11	g/kg
Relative Humidity	59.11	%
Wet Bulb	20.88	°C
Dew Point	18.15	°C
Enthalpy	60.39	kJ/kg
Density	1.168	kg/m³
Vapor Pressure	15.63	mm Hg
Specific Volume	0.87	m³/kg

Munters. Programa de cálculo (Copyright (con cita))

4.- Una vez mezclado el aire del ejercicio anterior, pasa por una batería de frío, ¿Qué potencia deberá tener la batería para llevar el aire a su punto de rocío? Representa el proceso en el diagrama psicrométrico.

Mostrar retroalimentación



Los datos en el punto de saturación con la temperatura de rocío $T_r = t_{bh} = t_{bs}$ son:

$$t_{bh} = 18 \text{ °C}$$

$$t_{bh} = 18 \text{ °C}$$

$$H_r = 100 \text{ %}$$

$$h = 51 \text{ kJ/kg}$$

$$w = 13 \text{ g/kg}$$

La variación de entalpía por la masa de aire en la unidad de tiempo, será la potencia de la batería de refrigeración:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot \Delta h = \frac{2\,000 \text{ m}^3 \cdot 1,165 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{3\,600 \text{ s}} \cdot (60,4 - 51) \text{ kJ/kg} = 6,11 \text{ kW}$$

5.- ¿A qué punto llegará el aire si la batería del ejercicio anterior tiene una potencia de 10 kW? Representa el proceso en el diagrama psicrométrico.

Mostrar retroalimentación

Lo que sucederá es que se condensará agua y el aire llegará a un punto inferior en la línea de saturación. Aplicando la ecuación:

$$\dot{Q} = 10 \text{ kW} = 0,65 \cdot (60,4 - h) \text{ kJ/kg} \rightarrow h = 45 \text{ kJ/kg}$$

En el diagrama psicrométrico nos muestra que este punto de entalpía está más abajo de la temperatura de rocío, por lo que se habrá condensado una cierta cantidad de agua.

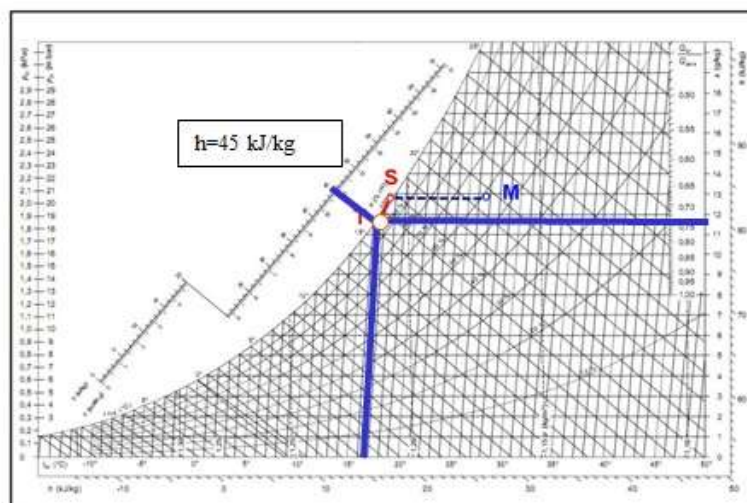
Parámetros en el punto T

$$t_{bs} = 16,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$H_r = 100 \%$$

$$h = 45 \text{ kJ/kg}$$

$$w = 11,7 \text{ g/kg}$$



6.- ¿Qué cantidad de agua se condensará a la hora en la UTA de los ejercicios anteriores?

Mostrar retroalimentación

$$V_c = 0,65 \text{ kg/s} \cdot (13 - 11,7) \text{ g/kg} = 0,845 \text{ g/s} = 3,04 \text{ litros a la hora}$$

Ejercicios Para Resolver

1.- Las lecturas tomadas en el psicrómetro de una habitación fueron las siguientes: termómetro seco, 25 °C, y termómetro húmedo, 19,7 °C. Calcular mediante el diagrama psicrométrico: a) la humedad absoluta; b) la humedad relativa; c) el punto de rocío; d) el volumen específico del aire húmedo; e) la entalpía por kg de aire seco.

Mostrar retroalimentación

Soluciones: 0,0124 kg vapor/kg aire seco; 62%; 17,2 °C; 0,86 m³/kg; 56,1 kJ/kg

2.- La temperatura en una habitación de un volumen de 38 m³ es de 25 °C y la presión de 1,013 bar. El punto de rocío del aire en la habitación es de 14 °C. Si una vasija con agua se coloca en la habitación, calcular la cantidad máxima de agua que puede evaporarse. Se supone que en la habitación la presión y temperatura permanecen constantes. Utilizar el diagrama psicrométrico o un programa de cálculo.

Mostrar retroalimentación

Solución: 0,447 kg

3.- Un caudal volumétrico de aire de 1 300 m³/h, con peso específico de 1,17 kg/m³ se calienta desde una temperatura de 23 °C hasta que alcanza los 33 °C. La humedad específica del aire permanece constante durante el calentamiento. Calcular la potencia térmica necesaria para efectuar este calentamiento. Resolver el problema con el diagrama psicrométrico.

Mostrar retroalimentación

Solución: 4,24 kW

4.- Deseamos mezclar 2 m³/s de aire exterior a 29 °C y 30 % de humedad con 5 m³/s de aire de recirculación interior, a 20 °C y 50% de humedad ¿qué temperatura y humedad relativa tendrá el aire resultante?

Mostrar retroalimentación

Solución: 22,6 °C; 43 %

Se pueden utilizar pequeños programas para calcular los valores en este tipo de problemas, como en el ejemplo siguiente:

Units of Measure: ☐ IP Units ☒ SI Units

Elevation/Pressure:

Altitude m

Air Flow as: ☐ Mass ☒ Volume

Airstream A

Temp: °C

Moist: %RH

Air Flow %



Airstream B

Temp: °C

Moist: %RH

Air Flow %

Calculate Mixed Air Properties

Name	Value	Units
Temperature	22.56	°C
Humidity Ratio	7.35	g/kg
Relative Humidity	43.09	%
Wet Bulb	14.80	°C
Dew Point	9.39	°C
Enthalpy	41.37	kJ/kg
Density	1.188	kg/m³
Vapor Pressure	8.84	mm Hg
Specific Volume	0.85	m³/kg