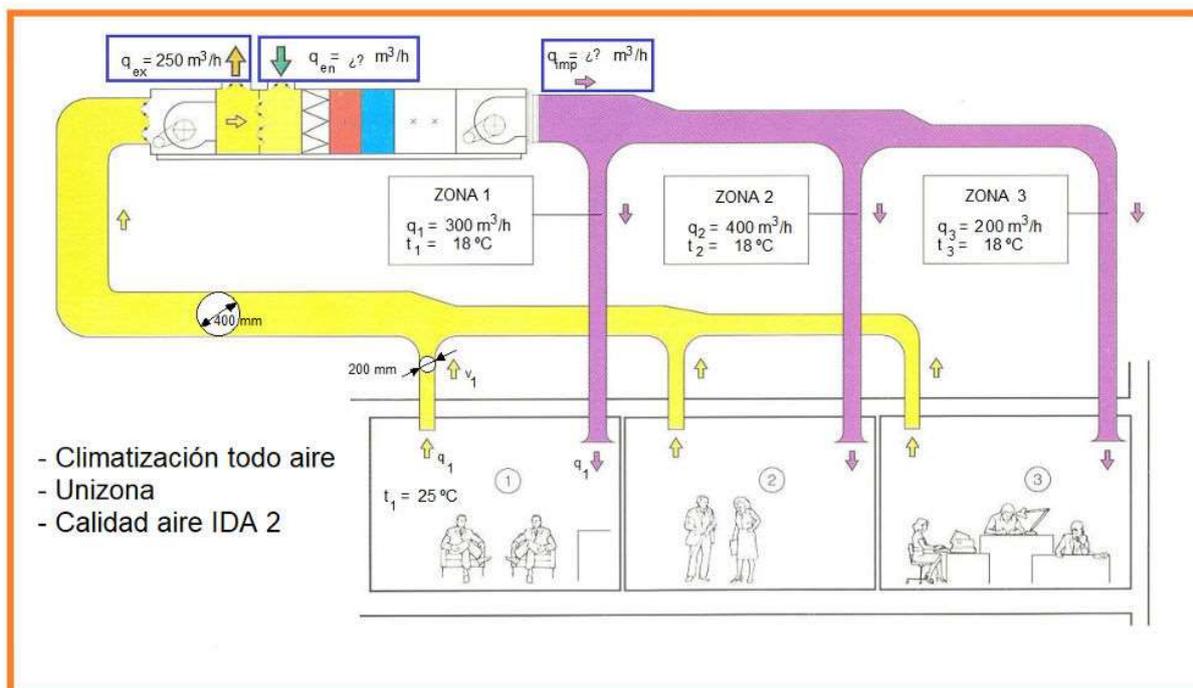


Caso práctico: ¿eres capaz de responder a unas preguntas?

Conforme vas avanzando en este módulo, te habrás dado cuenta que muchos de los conocimientos adquiridos en unidades anteriores los estás utilizando conforme avanzas. En este caso práctico de un sistema de climatización, que es el más simple, va a ocurrir lo mismo. Vas a ser capaz de responder a las preguntas siguientes cuando la instalación funciona en modo refrigeración. Intentálo:

1. Como puedes ver, el caudal de expulsión de la UTA es de $q_{ex}=250 \text{ m}^3/\text{h}$, ¿cuál será el caudal de entrada de aire del exterior q_{en} ? ¿Y el caudal de impulsión o salida de la UTA?
2. El ramal del conducto de retorno del espacio 1 tiene un diámetro de 200 mm ¿a qué velocidad circulará el aire?
3. ¿A que velocidad irá el aire en el circuito principal de retorno de 400 mm de diámetro? ¿crees que es adecuada?
4. ¿Qué carga térmica sensible neutraliza el aire q_1 que entra en el espacio 1?



Un caso práctico de climatización

Respuestas

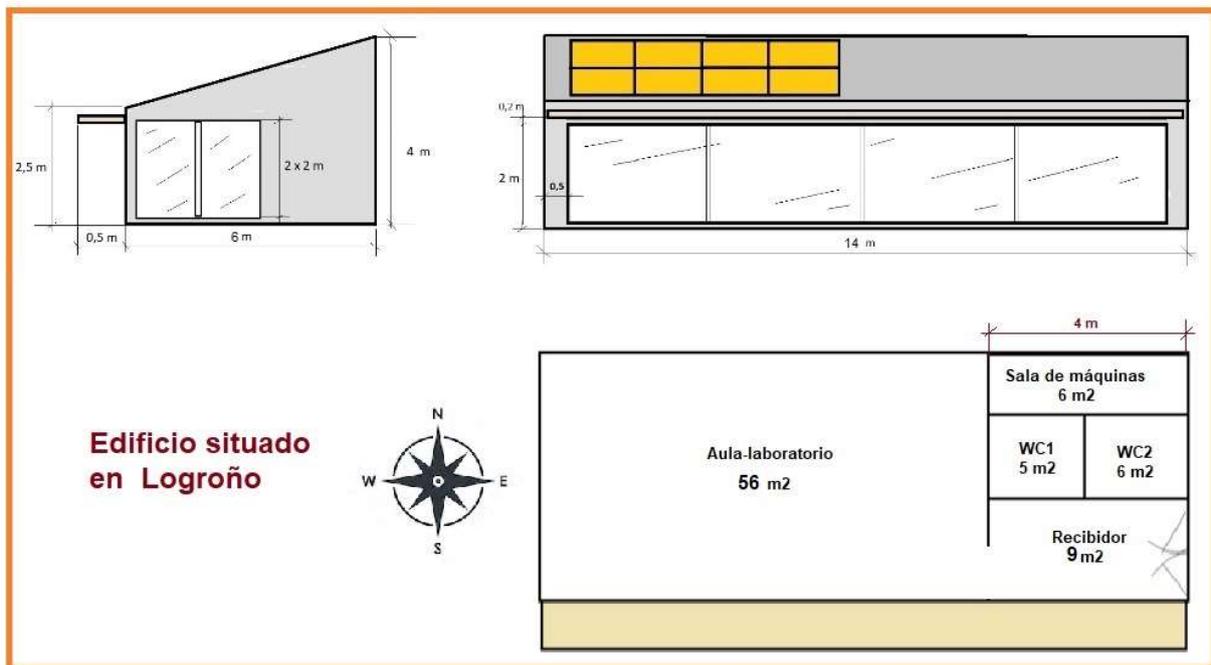


1.- Instalaciones de climatización.

Caso práctico

A lo largo del curso, hemos ido viendo diferentes casos prácticos de edificios, viviendas y locales en los que has visto cómo se determinaban muchos parámetros y se calculaban potencias, cargas térmicas, temperaturas, etc. y se seleccionaban diferentes equipos. Ahora, vamos a ver el mismo caso práctico del Aula-laboratorio de la Unidad 7, pero con la intención de analizar y calcular los equipos necesarios para una instalación de climatización durante todo el año. Y, para ello, emplearemos una bomba de calor con apoyo fotovoltaico. Las unidades terminales serán fancoils.

Las bases del conocimiento científico y tecnológico que tienes te permiten realizar la configuración de esta pequeña instalación de climatización. Para ello, haremos un análisis de cargas térmicas con el programa CLIMA que ya conoces. Para ello, utilizaremos los resultados obtenidos en este programa, en el ejemplo de la unidad EIT07, y los analizaremos antes de configurar los elementos básicos de la instalación. Vas a ver que, lo que hemos visto en las unidades que han tratado la calefacción y las instalaciones frigoríficas, nos permiten resolver globalmente este caso práctico sin mayor dificultad.



Cálculo de cargas térmicas iniciales CLIMA

Lamas horizontales

Cálculo de cargas térmicas con mejoras CLIMA

Circuito hidráulico

Selección fancoils

Configuración de la instalación

Recuperador

Bomba de calor

Debes conocer

				(m)				
OA	5 690	979	9	2,25	11,25	DN 40 (40-33)	5	56,25
AB	4 267	734	10	2,5	12,5	DN 32 (32-26)	10	125
BC	2 844	489	28	7	35	DN 32 (32-26)	4,5	157,5
CD	1 422	245	12	3	15	DN 26 (26-20)	5	75
Pérdida total del ramal OABCD								413,75
Pérdida de carga en el fancoil (según tabla vista)								830
Parámetros para la elección de la bomba circuladora: Caudal: 979 l/h Altura manométrica: 0,41375 + 0,830 = 1,244 m								

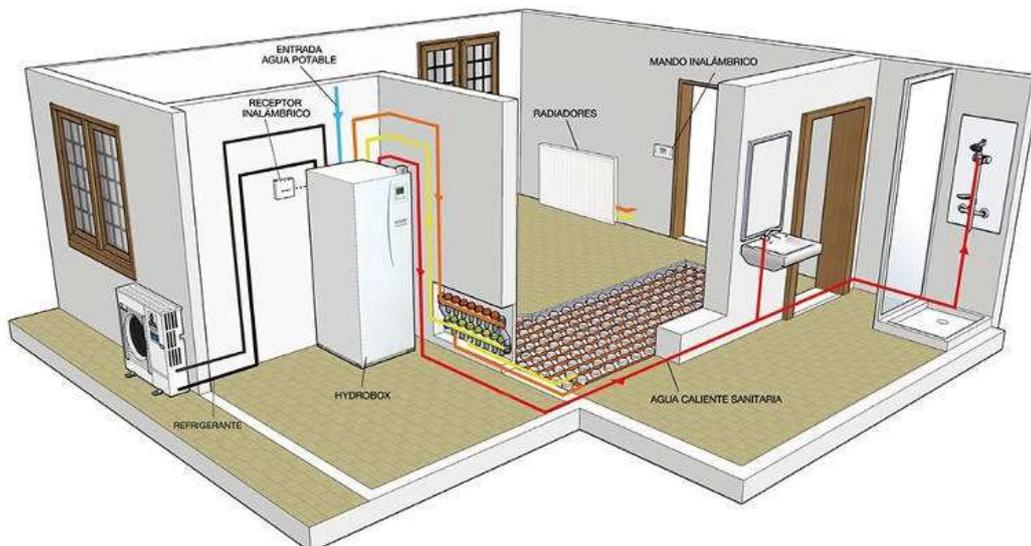
1.1.- Sistemas todo agua.

Son sistemas en los que el fluido empleado para realizar el tratamiento térmico es exclusivamente agua. Estos sistemas también se denominan agua-agua. Puede ser de dos tipos: Sistema de radiadores o de suelo radiante. Ambos sistemas los has estudiado en la unidad de trabajo anterior para la distribución de calor. El sistema de **radiadores únicamente sirve para calefacción** y, como recordarás, se trata de distribuir agua caliente a temperaturas de, alrededor de 60 °C para conseguir buenos rendimientos con calderas de condensación o bombas de calor. Mayores temperaturas de 60 °C hacen bajar los rendimientos con las calderas modernas. Las calderas de pellets son caso aparte.

El segundo sistema, llamado de **suelo radiante puede utilizarse para calefactar pero también para enfriar los locales**. En modo de calefacción consiste en distribuir agua caliente entre 40 y 45 grados a través de un circuito de tuberías enterradas en el suelo, contenidas generalmente por un mortero de cemento. El calor emitido por las tuberías es absorbido por el suelo y luego emitido en forma de energía radiante y en menor medida convectiva. Mediante este sistema, hemos visto que las temperaturas en el suelo no deben superar los 29 °C en las zonas centrales (en la zonas periférica pueden ser algún grado más).

También puede impulsarse agua fría por esta vía consiguiendo de esta manera un sistema de refrigeración. En este caso es fundamental controlar la temperatura del rocío del aire con el fin de evitar condensaciones sobre el suelo del recinto. La temperatura mínima del suelo queda condicionada por la temperatura de rocío. El control de condensaciones se realiza a través de una sonda que registra continuamente la temperatura y humedad relativa de la habitación más representativa del local. Estas lecturas nos dan datos que determinan una temperatura de rocío en la que se llegaría al punto de saturación. Como hemos indicado antes, en poblaciones con altas humedades en verano, especialmente en las zonas costeras, el suelo radiante para refrigeración debe estudiarse bien.

Los sistemas de **aeroterminia**, concepto aplicado a pequeñas instalaciones domésticas de alrededor de 20 kW máximo, están implantándose de forma muy rápida. Como hemos visto, se extrae el calor del aire mediante una bomba de calor y se transfiere al agua que, usualmente utiliza suelo radiante para calentar o refrigerar las habitaciones. En este tipo de instalaciones, además, podemos obtener ACS y utilizar sistemas FV de apoyo o, incluso una caldera de gas de respaldo.



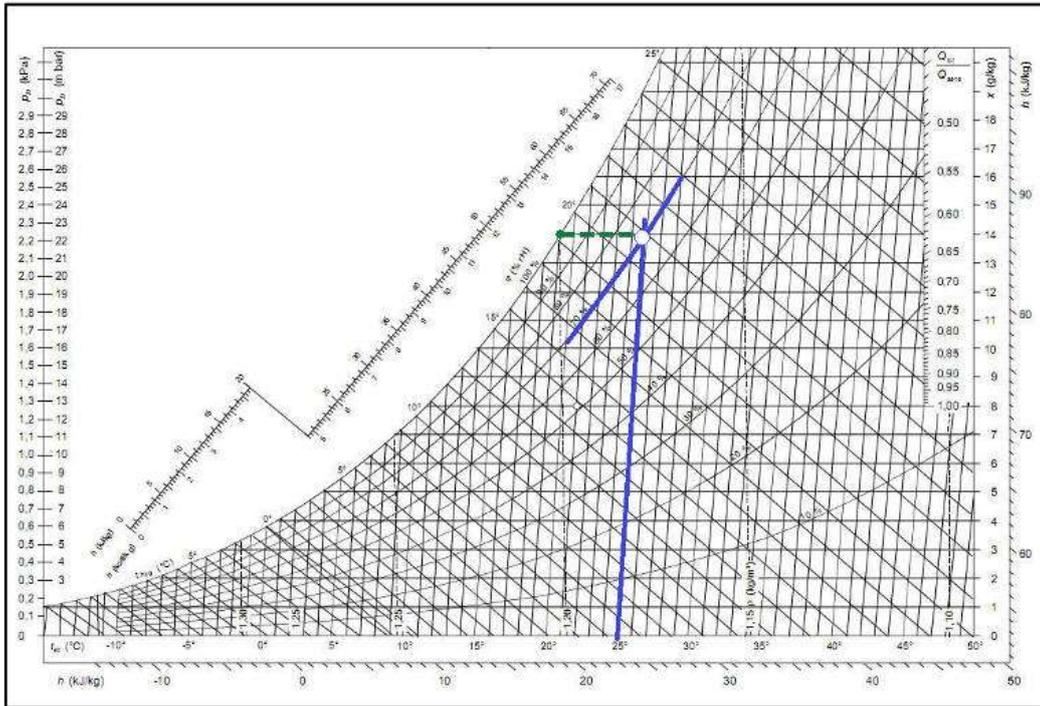
[Mitsubishi](#), Instalación de aeroterminia (Todos los derechos reservados)

Ejercicios resueltos

1.- Utilizando un diagrama psicrométrico determina hasta que temperatura se podrá disminuir la temperatura superficial de un suelo radiante si las condiciones interiores son 25 °C y 70 % de humedad relativa.

Mostrar retroalimentación

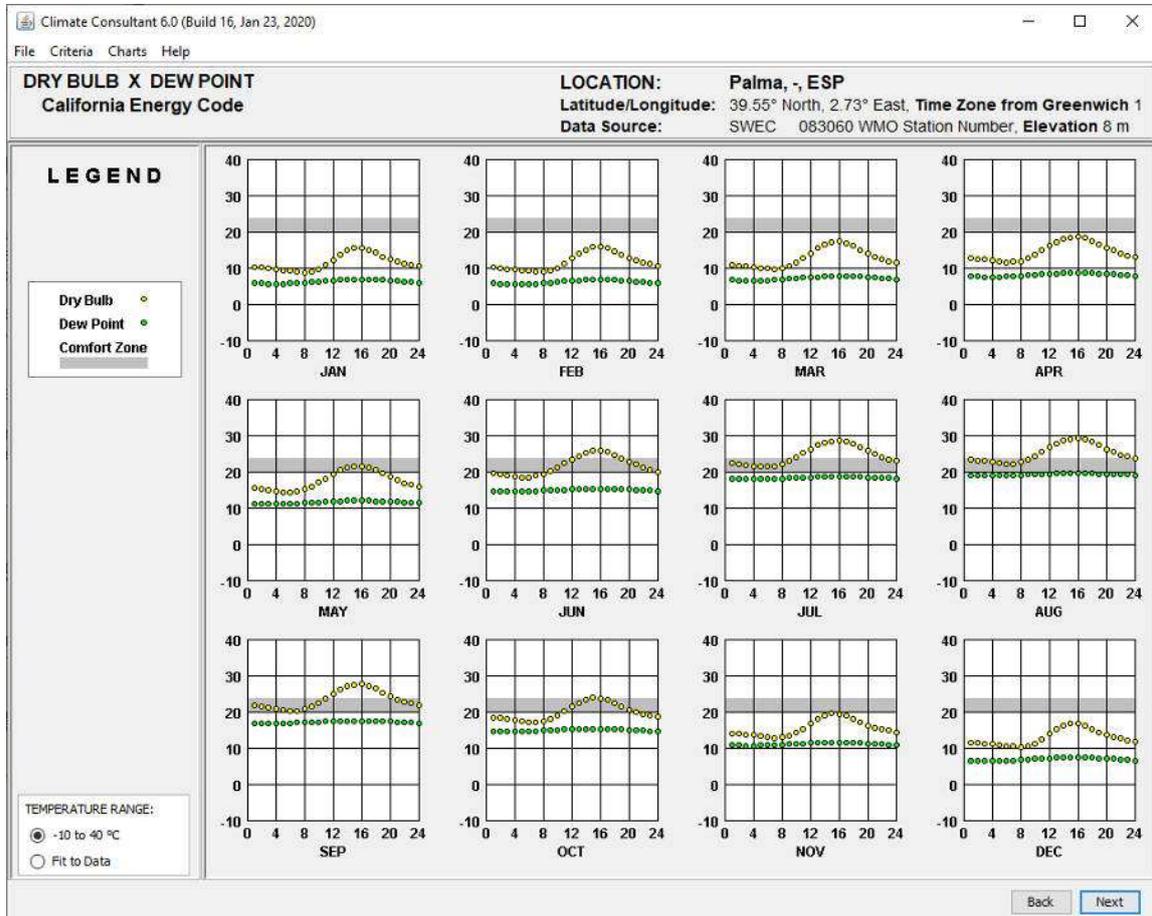
En el diagrama marcamos el punto interior y seguimos la línea hasta la curva de saturación. El corte se produce a 19 °C. Por debajo de esa temperatura se producirá la condensación del vapor de agua.



2.- Valora la problemática de colocar suelo radiante refrescante en Palma de Mallorca para los meses de verano

Mostrar retroalimentación

Si vamos al programa Climate Consultant, podemos descargar las temperaturas y humedades de los meses de julio y agosto, viendo que, efectivamente, la temperatura de rocío se aproxima a los 20 °C, por lo que puede ser problemático un suelo radiante para refrigeración si no se acompaña de un sistema de deshumectación.



Ejercicio para Resolver

1.- Averigua la conveniencia o no de un suelo radiante refrescante para verano en Sevilla

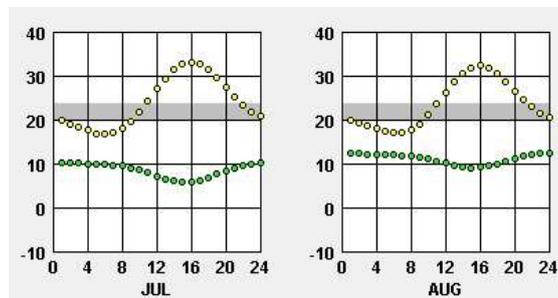
Mostrar retroalimentación

Solución: El ejercicio se resuelve del mismo modo que el anterior, obteniendo temperaturas de rocío muy inferiores, que evitarían condensaciones. En las horas centrales del día se aproxima a 10 °C, por lo que una temperatura en el suelo radiante de, por ejemplo, 16 °C sería asumible (con temperaturas de impulsión de 12 °C).

2.- ¿Podremos plantear un suelo radiante en verano en Albacete con una temperatura en la superficie del suelo de 15 °C?

Mostrar retroalimentación

Solución: Si nos descargamos los datos climáticos de Energy Plus en el programa [Climate Consultant](#), obtenemos temperaturas de rocío de menos de 10 °C en la horas centrales del día (cuando funcionaría el suelo radiante). Por ello, una temperatura de impulsión de 11 °C nos permitiría alcanzar los 14 °C en la superficie (con un salto térmico de 4 °C).



1.2.- Sistemas aire-agua.

Los sistemas aire-agua son sistemas donde el fluido empleado para el tratamiento térmico es el aire, acondicionado localmente mediante unas baterías alimentadas con agua (sistemas convectivos). Tiene la ventaja de que podemos eliminar la carga térmica selectivamente, dosificar una parte de aire y otra de agua, esto hace que los niveles de confort se optimicen. Además el aire nos ayuda a resolver problemas de ventilación del local. Dentro de los sistemas aire-agua podemos distinguir tres tipos principales:

fan-coils o fancoils
inductores
aerotermos

Un **fancoil** es un equipo compuesto por un ventilador y una batería para el tratamiento del aire. Básicamente lo que hace es tomar aire del local y hacerlo circular por la batería de frío o calor, según sea el caso. Posteriormente lo envía nuevamente al local en las condiciones termo-higrométricas suficientes para mantener las cargas térmicas. Asimismo este fan-coil puede contar con una toma de aire exterior para renovar el aire del recinto.



[Carrier](#). Fancoil (Todos los derechos reservados)

Los fancoil se pueden clasificar, dependiendo del número de tuberías que lleguen a ellos, del siguiente modo:

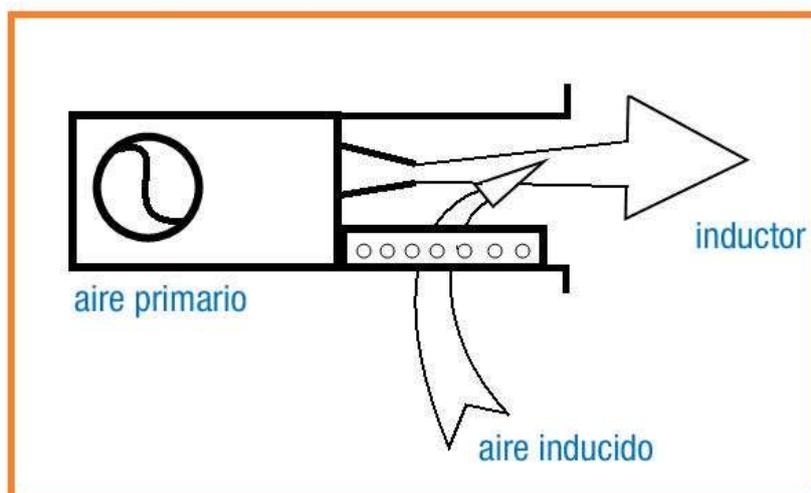
Instalación de dos tubos. Al fancoil llegan dos tuberías, una es la tubería de llegada del agua y la otra es la tubería de retorno del agua, ambas referidas al fancoil. El agua que circula por los dos tubos es enfriada en verano y calentada en invierno. La conversión de agua fría a agua caliente puede realizarse en forma manual o automática.

Instalación a tres tubos. Los tres tubos son dos tuberías de llegada del agua al fancoil y una tubería de salida. Las tuberías de llegada son una para el agua fría y la otra para caliente. Posee una válvula de tres vías no mezcladora, es decir, su misión es alternar el paso de agua fría y caliente evitando que estas puedan mezclarse. Permite calefactar o enfriar un local, dependiendo de sus necesidades, independientemente del resto de los locales.

Instalación de cuatro tubos. Técnicamente es la mejor solución desde el punto de vista de regulación y de ahorro energético. Sin embargo es la más costosa en su instalación inicial ya que exige la tirada de cuatro tuberías. Trabaja con dos parejas de tuberías, una para el agua caliente y otra para el agua fría. A diferencia del caso anterior en los retornos no se produce la mezcla de los caudales fríos y los calientes.

Los **inductores** son equipos que no poseen ventilador. El "aire primario" llega a estos inductores a alta presión (generalmente por conductos de alta velocidad) y sale al exterior por unas toberas sobre un estrechamiento. Esto crea un efecto venturi, que, como estudiaste en una unidad de trabajo anterior, crea en el aparato una zona de baja presión que induce un cierto caudal de aire del local (secundario), al que se le hace pasar por una batería, por la que circula agua fría. La mezcla de aire primario y secundario es impulsada al local.

Generalmente los inductores suelen estar situados perimetralmente sobre el suelo, impulsando el aire verticalmente hacia arriba. La relación de aire primario a secundario suele estar comprendida entre $1/3$ a $1/6$. El aire primario provee las necesidades de ventilación de los locales, y frecuentemente de la deshumidificación ya que la mayor parte de la carga latente procede del aire exterior. El aire secundario, compensa la carga sensible a través de la batería por la que circula agua fría, pero a una temperatura un poco por encima al punto de rocío del aire, con lo que se evita la condensación de humedad. Este sistema presenta ventajas tales como proporcionar un mejor control de la humedad y de la ventilación. Fue ampliamente utilizado en el pasado, y últimamente está cayendo en desuso.



Los **aerotermos** son aparatos para calentamiento mediante proyección de aire, destinados a salas de gran tamaño y ambientes industriales. Se compone de una batería de calor y de un ventilador. A la hora de calcular la instalación es importante conocer la temperatura del agua. Se suelen dimensionar para altas temperaturas e incluso para instalaciones de vapor. También existen versiones con calentamiento eléctrico.

Para saber más

En el siguiente vídeo puedes ver un sistema centralizado de climatización multizona, con una UTA central y fancoils por zonas. Es una instalación a cuatro tubos para los fancoils y un conducto general de aire para impulsión y otro para retorno. Como verás en el vídeo, cada fancoil tiene una batería de frío y otra de calor, un único motor con dos ventiladores y una bandeja para condensados. Es un sistema aire-agua centralizado para grandes superficies.

<https://www.youtube.com/embed/MqM-U8bftCI?amp;showinfo=0&rel=0>

Instalación de fancoils a 4 tubos

1.3.- Sistemas de expansión directa.

En los sistemas de expansión directa las baterías de agua son sustituidas por un sistema frigorífico, la batería de frío es el evaporador y la de calor el condensador. Los sistemas de expansión directa los podemos clasificar en los siguientes tipos:

- roof-top
- domésticos
- volumen de refrigerante variable (VRV)

Roof top

El roof top, llamado igualmente unidad de climatización en tejado, es una solución técnica adecuada para superficies comerciales o locales de oficinas. Para las superficies comerciales, el concepto de confort es diferente con relación a edificios terciarios o residenciales. Son lugares de paso con gran movilidad y dónde se admite que haya corrientes de aire pequeñas sin que afecte al confort del individuo, que en este caso será un consumidor o un comprador. Los roof top permiten climatizar grandes volúmenes sin ocupar espacios interiores, puesto que se instalan sobre el techo de los edificios. Todas las operaciones de funcionamiento y mantenimiento se realizan en el exterior. Son rápidos de instalar y poner en marcha ya que basta con colocarlos sobre una plataforma fijada en el techo. La red de conductos interiores se realiza rápidamente; la puesta en marcha de un roof top para 400 m² de superficie se realiza en una jornada. El roof top es compacto e integra todos los componentes que permiten calentar, climatizar, y ventilar el aire nuevo a partir de una simple acometida eléctrica.

Equipos domésticos

Los equipos domésticos son pequeñas máquinas compactas que se utilizan para climatizar viviendas. El enfriamiento se realiza sin control de humedad ni renovación de aire. Estos equipos pueden ser portátiles, de ventana o split. Los **portátiles** tienen como ventaja que se pueden desplazar de local sin ninguna instalación adicional. Como desventaja es que necesitan una toma de aire exterior, mediante una manguera, que se suele sacar dejando una ventana o puerta de balcón entreabierta.

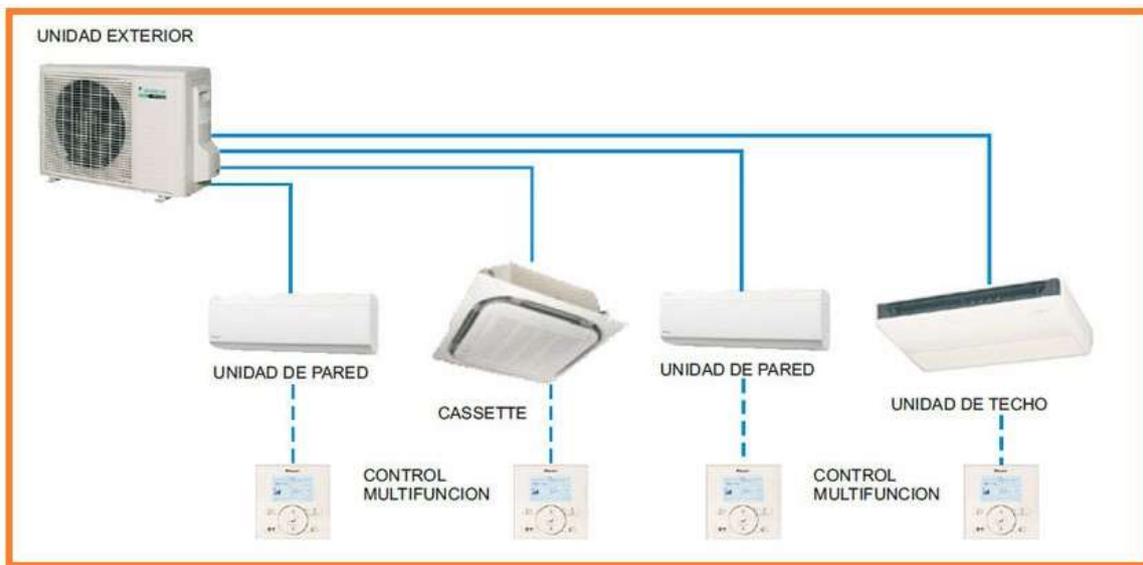
Equipos de ventana

Los equipos de ventana son los primeros equipos domésticos que se instalaron, antes de la llegada de los split. Se trata de equipos compactos que se colocan en un hueco de la fachada, normalmente una parte de la ventana. De esta forma el equipo tiene una forma en el exterior y otra en el interior. Como ventaja tiene la posibilidad de utilizarse como ventilación. Como desventaja es la de necesitar un hueco en la fachada.



Splits domésticos

Los splits, como su nombre en inglés indica, son equipos partidos. Constan de dos partes, una unidad exterior y otra interior. Si se trata de equipos de sólo frío la unidad interior es el evaporador del sistema, quedando el resto de los componentes en la unidad exterior. Si se trata de bomba de calor, la unidad interior actuará de condensador en invierno y de evaporador en verano. La válvula de cuatro vías que estudiaste en una unidad de trabajo anterior se encarga de seleccionar una u otra opción. Aunque lo más habitual es la disposición de una unidad interior y una exterior, también se puede disponer de una unidad exterior que sirva a múltiples unidades interiores, como puedes ver en la imagen.



[Declima](#), Sistema multi-split (Todos los derechos reservados)

Los splits han desarrollado una **tecnología de control nueva** llamada inverter. Un inverter es un equipo electrónico que sirve para regular el voltaje, la corriente y la frecuencia de un aparato, en este caso del compresor del equipo. De esta manera se ajusta mucho más a la temperatura deseada en el local, minimizando las oscilaciones. Para un sistema tradicional el control se realiza mediante continuos ciclos de encendido/apagado, mientras que uno con **tecnología inverter** llevará más rápidamente la habitación a la temperatura de confort sin conectarse o desconectarse. Estos continuos ciclos de encendido/apagado acortan la vida de las máquinas y provocan consumos mayores, mientras que con la tecnología inverter se puede ahorrar desde un 25% hasta un 50%, dependiendo de su uso. Además, las bombas de calor con esta tecnología son también más eficientes, pues pueden seguir operando en óptimas condiciones incluso cuando la temperatura exterior es mucho menor de 6°C.

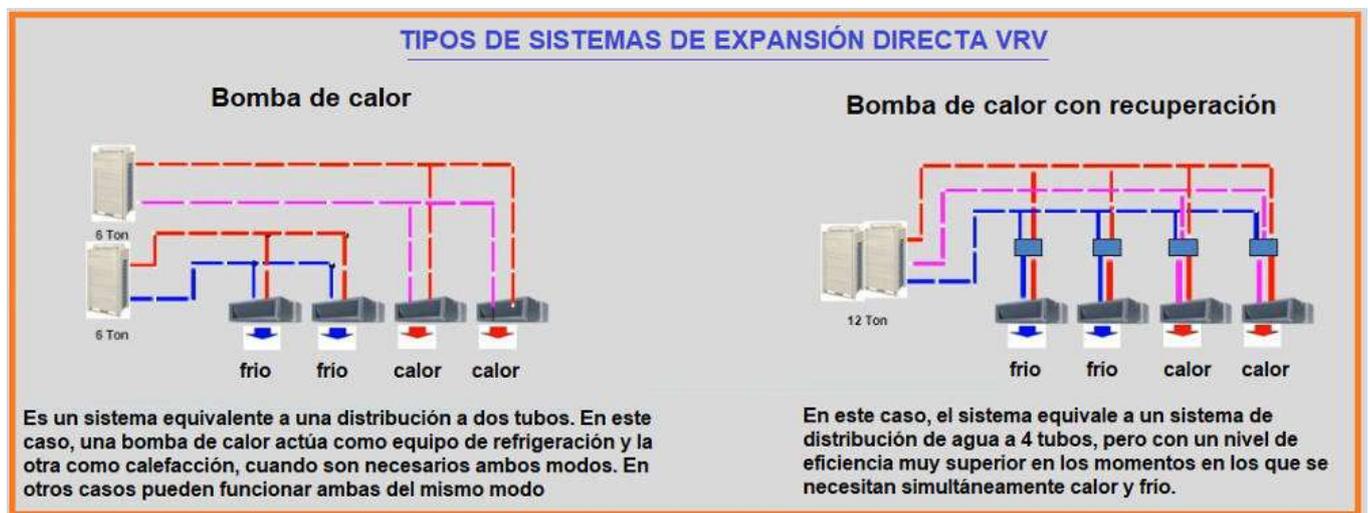
<https://www.youtube.com/embed/YJwcJ5N6n7E?amp;showinfo=0&rel=0>

Tecnología inverter

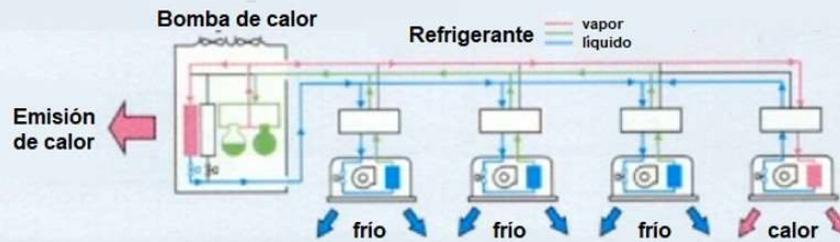
Sistema VRV

El tercer sistema de expansión directa lo constituyen los equipos de volumen de refrigerante variable VRV (En inglés VRF: Variable Refrigerant Flow). Son una evolución de los equipos multi-split ligados a patentes de fabricantes que han dado origen a esa denominación. La gran ventaja de estos sistemas es que una única unidad externa pueden operar sobre más de 50 unidades interiores, las cuales pueden ser controladas individualmente. La mayor diferencia entre VRV y las aplicaciones con equipos split convencional es que con este último caso, cada unidad interna debe estar conectada directamente a la unidad externa. Los últimos sistemas VRV, unen unidades tanto internas como externas, casi de la misma forma que como los computadores están conectados a una red.

Los sistemas de VRV pueden ser de dos tubos o de tres tubos. En el primer caso la instalación puede funcionar para refrigeración o para calefacción pero no pueden ser simultáneas. La gran ventaja de la instalación con tres tubos es cuando se necesita disponer simultáneamente de ambientes refrigerados y ambientes calefactados. Con el sistema de tres tubos es posible actuar en cada una de las unidades terminales de forma individual. Además a la unidad exterior únicamente le llegará el balance global de necesidades. Esto quiere decir que las demandas de signo contrario de las diversas unidades se compensan y la unidad exterior solo debe hacer frente a la resultante de las cargas. Puede llegar el caso de que la demanda de frío sea igual a la de calor, por lo que la unidad exterior no tendría que actuar salvo para el movimiento del refrigerante por las tuberías.



SISTEMA DE EXPANSIÓN VRV A TRES TUBOS COMO RECUPERADOR



Cuando el sistema opera en una climatización por zonas, en las que los fancoils de expansión directa (le llega refrigerante en lugar de agua) funcionan unos como emisores de calor y otros en modo refrigeración, se produce un ahorro energético notable, ya que la instalación funciona de forma compensadora. Recupera el calor absorbido de unas zonas para llevarlo a otras a través del fluido refrigerante. Este sistema es casi insustituible en edificios de oficinas con grandes acristalamientos y elevadas diferencias de temperaturas según la orientación del fachadas, especialmente en los meses de transición: abril a junio y septiembre a noviembre.

Debes conocer

Los sistemas de expansión directa tienen una importante ventaja: las tuberías necesarias ocupan menos espacio que si empleamos un sistema de distribución por agua y, todavía ocupan mucho menos espacio que los conductos de aire. En la siguiente figura puedes ver la proporción. Una potencia de climatización de 35 kW requiere una tubería de refrigerante líquido de 1/2 pulgada (algo más de 1 pulgada en la tubería de refrigerante en estado vapor). Si la potencia de climatización la obtenemos con agua fría, necesitamos tuberías de 2" y si lo que tenemos son 35 kW de climatización por aire, requeriremos conductos circulares de 650 mm (25").

Menor ocupación de espacio		Para 35 kW de potencia frigorífica		
Tubería refrigerante		Tubería agua		
\varnothing 1-1/8" \varnothing 1/2"		\varnothing 2" \varnothing 2"		
Conducto aire				
Cuadrado	o	Circular	o	Rectangular
<p>Se necesitan dos conductos \square 600 mm</p>		<p>650 mm x 2 conductos</p>		<p>400 mm x 900 mm x 2 conductos</p>

Autoevaluación

¿Es posible refrigerar y calentar simultáneamente locales mediante equipos multi-split?

- No, solo se puede hacer con un sistema VRV de tres tubos.
- Si, siempre que haya igual número de demandas de calor que de frío.

Respuesta correcta, el resto de sistemas no permiten la simultaneidad.

Estás en un error, sólo se puede funcionar en modo frío o en modo calor.

Solución

1. Opción correcta
2. Incorrecto

1.4.- Sistemas todo aire.

Estos sistemas de climatización se basan en el acondicionamiento de los locales exclusivamente mediante aire aclimatado que se impulsa desde las unidades de tratamiento de aire hasta los terminales. La distribución por los conductos puede hacerse a alta o baja presión; la introducción del aire en los locales se suele realizar a baja velocidad. El aire introducido debe compensar las cargas indeseadas del local, de temperatura, humedad y pureza del aire, para mantenerlo en situación de confort.

Tienes que tener en cuenta que tan importante como la introducción de aire es retirar un caudal equivalente, de forma que no se formen sobrepresiones en los locales. Por lo tanto **a cada local llegará un conducto de impulsión y también dispondrá de un conducto de retorno.**

Es evidente que ese aire que se extrae del local en condiciones muy próximas a las de confort no debe ser evacuado al exterior en su totalidad. Sólo una parte se desecha, únicamente la necesaria para asegurar la renovación del aire. Ese aire de renovación se obtiene del aire exterior y debe ser acondicionado. Dentro del grupo de sistemas todo-aire hay bastantes tipos distintos de instalaciones como puedes ver en el esquema. A continuación vamos a hacer un recorrido por cada una de ellas.



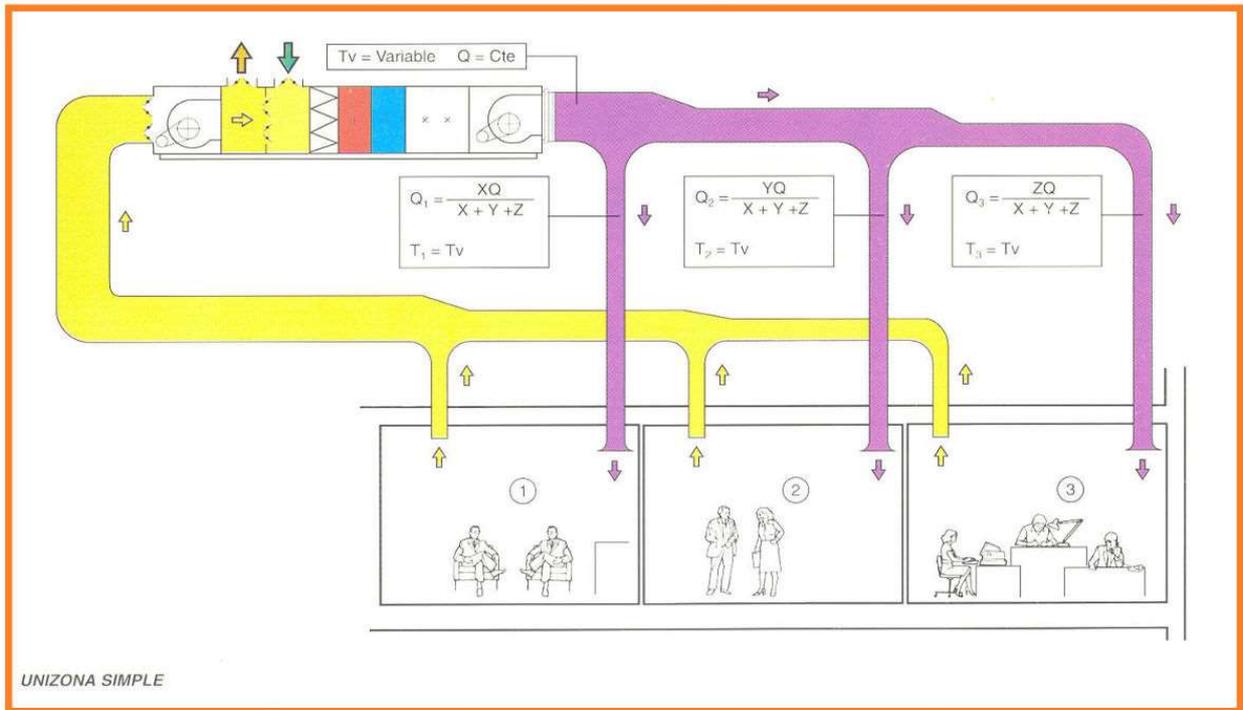
Características de los distintos sistemas

Sistema unizona simple Central unizona con postratamiento local Multizona Doble conducto Volumen variable
Conducto dual Volumen variable con postratamiento

Sistema unizona simple

Se utiliza para locales que constituyan una única zona higrotérmica. Son instalaciones de bajo costo inicial, mantenimiento centralizado y económico, bajo coste de operación y posibilidad de funcionar con aire exterior (free-cooling) en la época marginal. Se trata de un sistema de caudal constante y de temperatura variable. La regulación de la temperatura se puede hacer actuando sobre la batería de enfriamiento o mediante un by-pass. Para la regulación se utiliza un termostato que mide la temperatura del aire de retorno.

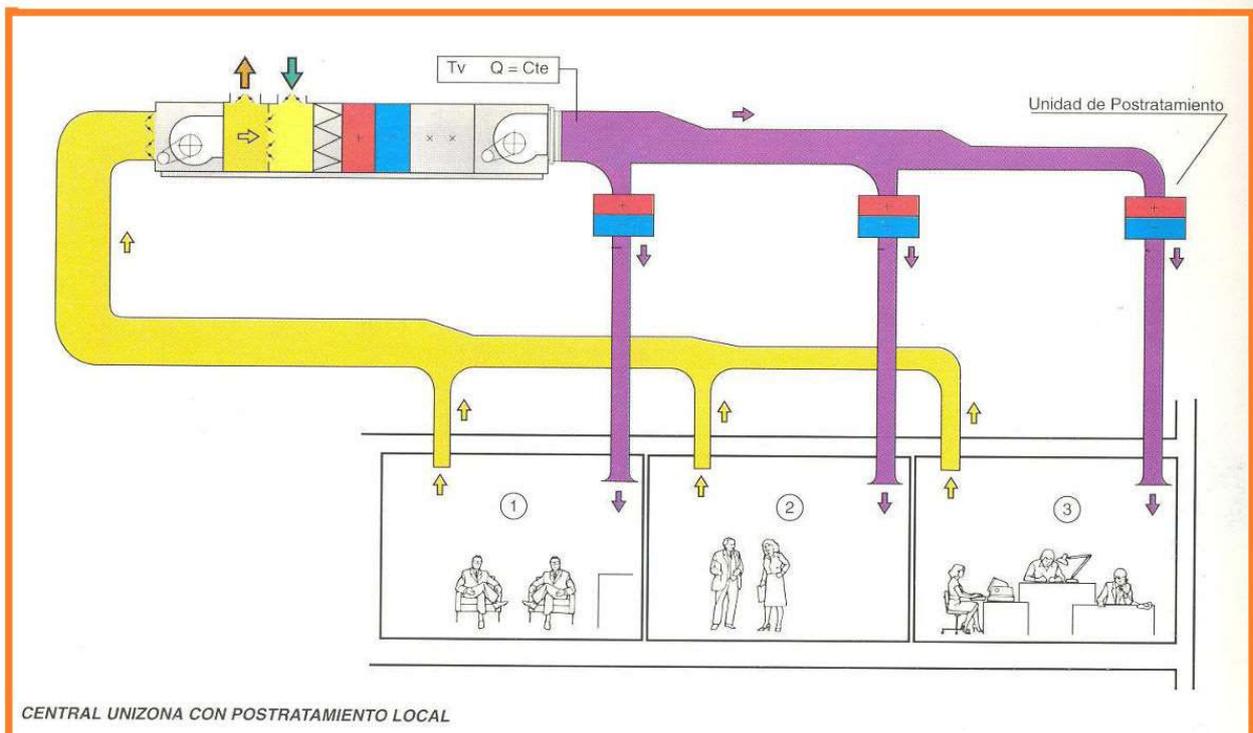
El primer tipo utiliza este valor para regular la potencia frigorífica de la batería de enfriamiento. Esta regulación puede ser todo o nada o puede también ser una regulación proporcional o por etapas. El segundo tipo lo que hace es regular el caudal de aire que atraviesa la batería fría y el caudal de by-pass, actuando sobre un servomotor. En este caso se consigue un mejor control de la humedad relativa. En la imagen puedes ver un esquema de una instalación de este tipo.



Fumadó, Juan Luis. Climatización de edificios. ISBN 84-7628-181-1. Ediciones del Serbal. Pág 157. Sistema de climatización unizona (Todos los derechos reservados)

Central unizona con postratamiento local

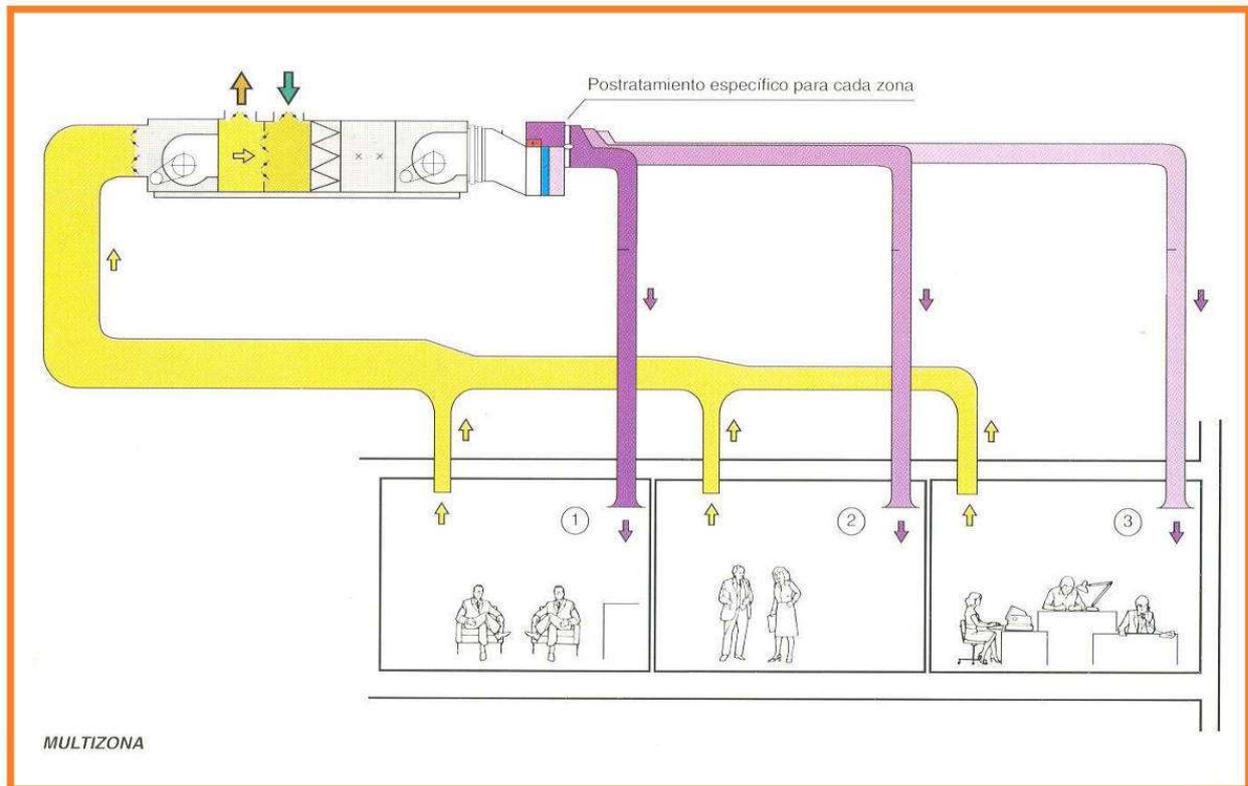
Para instalaciones en edificios grandes con varias zonas higrotérmicas no es económicamente rentable disponer de sistemas unizona distintos para cada una de ellas. En estos casos una posibilidad es realizar en cada zona un tratamiento local. En este sistema, en verano, todo el aire se enfría y deshumidifica. En invierno lo que se hace es calentarlo y humidificarlo. Este aire se envía a volumen constante a cada una de las unidades de postratamiento. No se suelen utilizar baterías de postenfriamiento ya que eso supondría la instalación de drenajes para el agua de condensación. Las baterías de esas unidades suelen ser de post calentamiento. Lo que se hace es enviar un aire unos 8 grados por debajo de la temperatura de confort para contrarrestar las cargas térmicas. En verano no se utiliza ningún postratamiento. En invierno ese aire se utiliza para las zonas interiores o soleadas, con carga de refrigeración. En las zonas que necesitan calor ese aire se calienta en las baterías de post calentamiento, aunque esto va en contra de lo que marca el RITE.



Fumadó, Juan Luis. Climatización de edificios. ISBN 84-7628-181-1. Ediciones del Serbal. Pág 159. Sistema de climatización unizona con postratamiento (Todos los derechos reservados)

Multizona

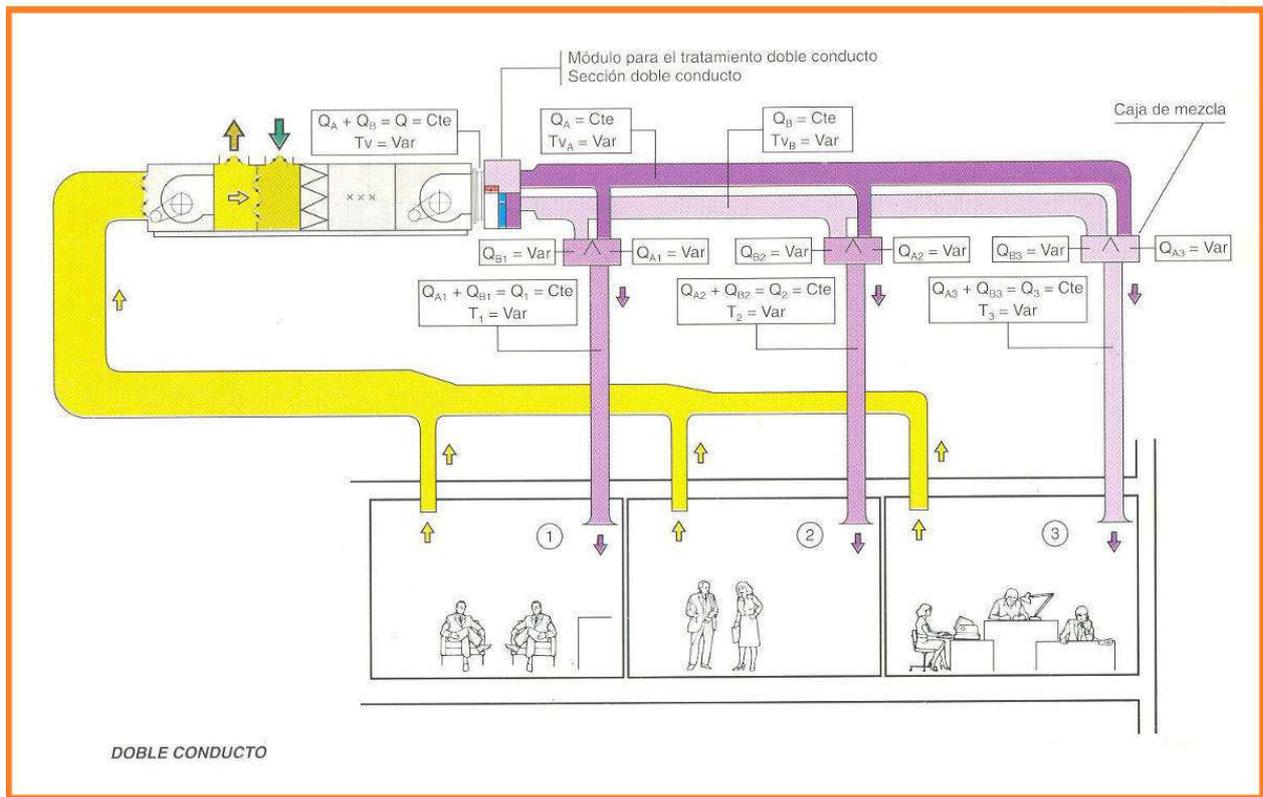
Se trata de un sistema que centraliza la climatización de varias zonas higrotérmicas diferentes. El principio es el de mezclar dos caudales de aire en paralelo por cada zona, uno proveniente de una batería de frío y el otro de una batería de calor que se mezclan adecuadamente para cada zona. A partir de la unidad de tratamiento de aire sale un único conducto para cada zona. Los retornos son comunes. Dado que el RITE prohíbe la mezcla de dos aires de signo distinto no es posible utilizar este sistema con las dos baterías activadas a la vez. Lo que se hace es utilizar la batería de frío para verano dejando la de calor en by-pass. En invierno es a la inversa, se utiliza la batería de calor y se hace by-pass por la de frío. Las baterías se dimensionan para las condiciones más extremas tanto de verano como de invierno. Los locales que tengan una carga menor reciben un aire mezclado. En la imagen puedes ver un esquema de una instalación de este tipo.



Fumadó, Juan Luis, Climatización de edificios. ISBN 84-7628-181-1. Ediciones del Serbal. Pág 163. Sistema de climatización multizona (Todos los derechos reservados)

Doble conducto

En este sistema también se mezclan dos caudales para conseguir dar servicio a varias zonas termohigrométricas. A diferencia del caso anterior aquí desde la unidad central parten dos conductos, y la mezcla se hace en unas cajas de mezclas dispuestas para cada zona. La unidad central dispone de sección de tratamiento del doble conducto, con plenums de frío y de calor, que embocan en los conductos que llevan el aire a las cajas mezcladoras. Como en el caso anterior, no es posible la utilización simultánea de aires de distinto signo, por lo que lo habrá que hacer las mezclas con aire neutro, el que pasa por la batería desactivada. La distribución puede hacerse a alta o media presión hasta llegar a las cajas mezcladoras, con el consiguiente ahorro en los diámetros de conducto. En la imagen puedes ver un esquema de una instalación de este tipo.

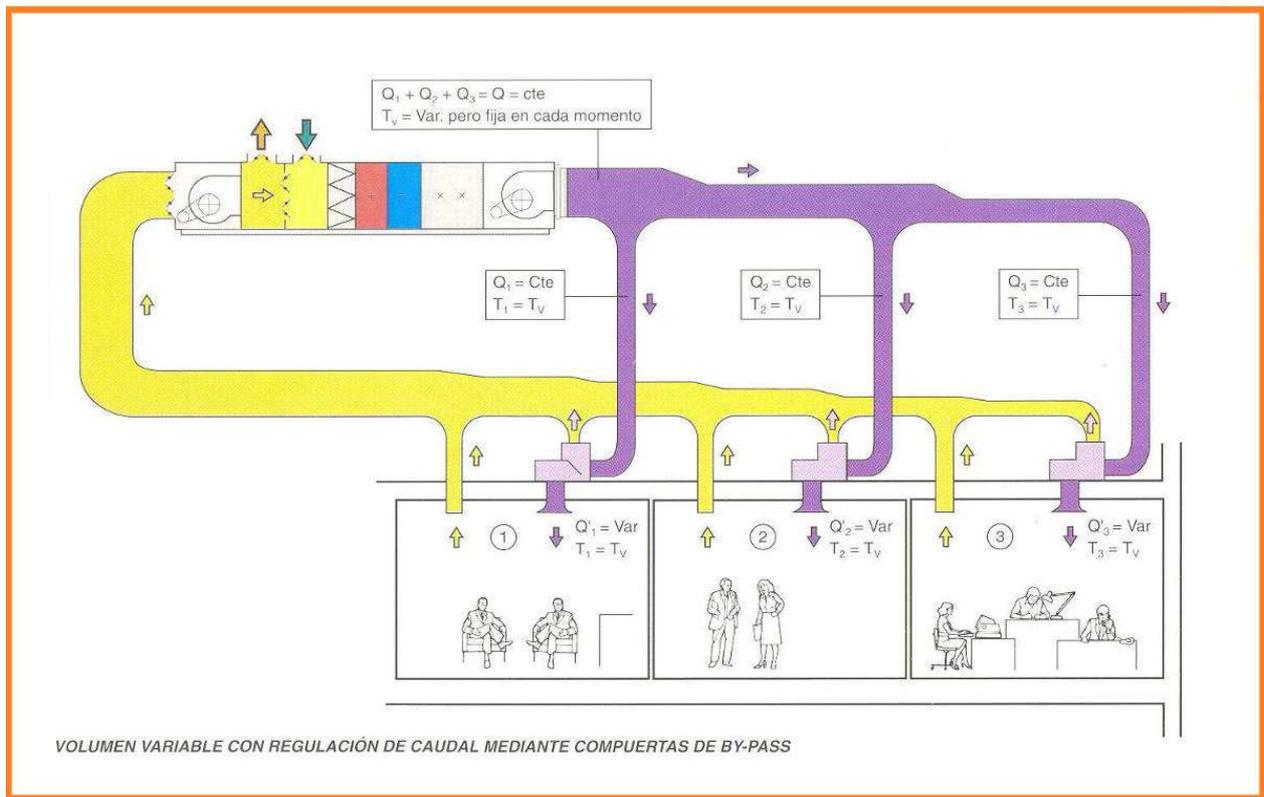


Fumadó, Juan Luis. Climatización de edificios. ISBN 84-7628-181-1. Ediciones del Serbal. Pág 163. *Sistemas de climatización de doble conducto* (Todos los derechos reservados)

Volumen variable

En este sistema la respuesta a la demanda en cada espacio se establece variando el caudal de aire impulsado. El aire es tratado centralmente y es enviado con las mismas características a todas las zonas. Allí según sea la carga se utilizará más o menos cantidad. El control puede ser individual, en cada uno de los locales, o zonal disponiendo de una unidad de volumen variable montada para varios locales.

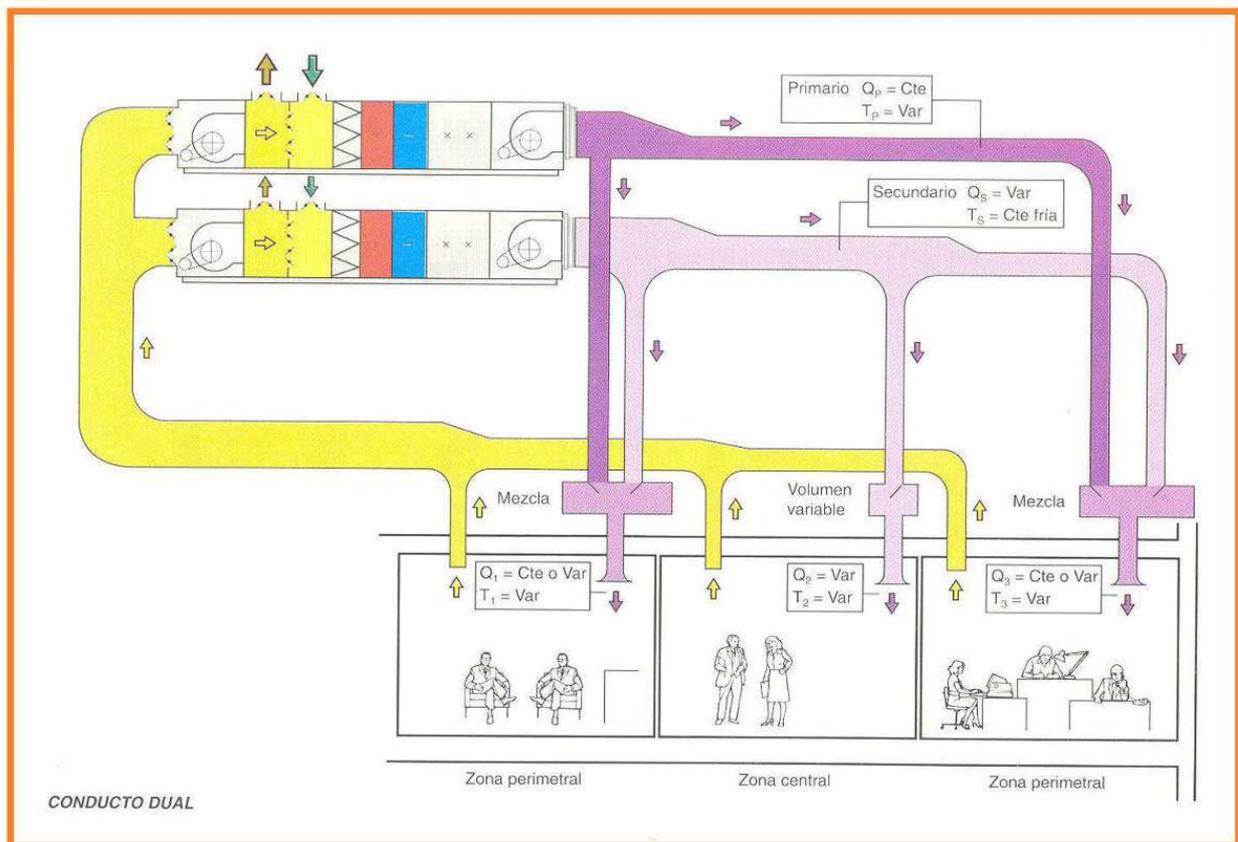
Para conseguir regular el aire se suele utilizar principalmente tres métodos, uno es el empleo de compuertas que supongan la suficiente pérdida de carga, el segundo es mediante bypass de parte del aire y la tercera es actuando sobre el ventilador, mediante variadores de velocidad. Los dos primeros son energéticamente poco eficientes ya que los ventiladores tienen que actuar a plena potencia. El tercero adapta la potencia, reduciendo mucho el consumo, como viste al estudiar los ventiladores. Otro punto clave es el equilibrado de la instalación ya que al haber caudales variables las pérdidas de carga también serán variables. Se deben instalar dispositivos de equilibrado. En la imagen puedes ver un esquema de una instalación de este tipo.



Fumadó, Juan Luis. Climatización de edificios. ISBN 84-7628-181-1. Ediciones del Serbal. Pág 164. *Sistemas de climatización de volumen variable* (Todos los derechos reservados)

Conducto dual

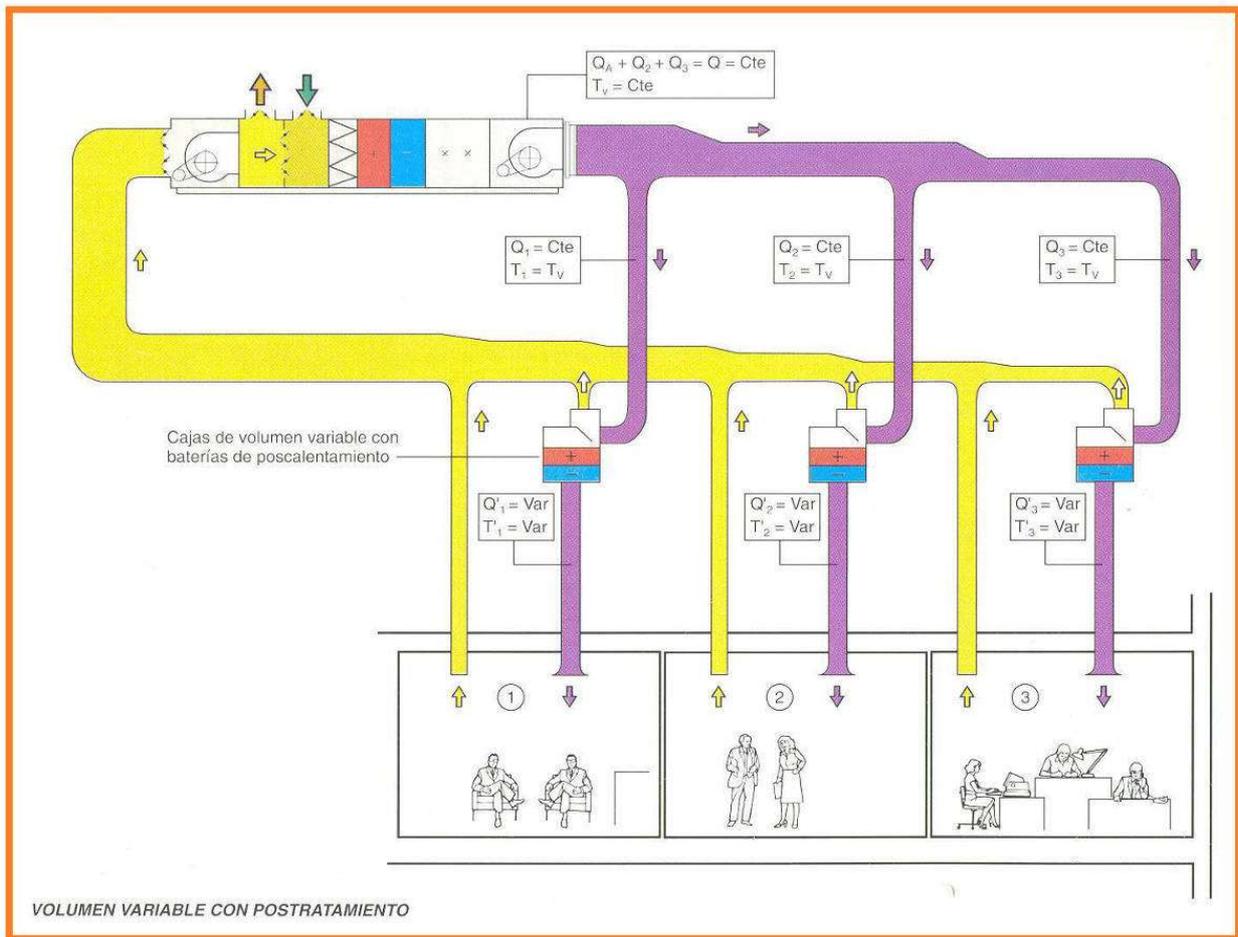
El conducto dual emplea dos unidades para el tratamiento de zonas muy diferenciadas. Permite abordar muchas de las posibilidades que se plantean en la climatización de edificios complejos. Cada una de las centrales se utiliza para el tratamiento de aires con distintas funciones. Una de las unidades centrales, que funciona a caudal variable y temperatura constante, asume las cargas positivas tanto en la zona interior como en la perimetral. Debe hacerse cargo de la renovación de aire de la zona interior. Este aire siempre es frío y puede utilizarse el free cooling si las circunstancias térmicas son propicias. La otra unidad central funciona a caudal constante y temperatura variable y se ocupa de la regulación de temperatura y humedad en la zona perimetral. En este caso será aire caliente en invierno y frío en verano. Para utilizar este sistema hay que hacer un estudio de cargas perimetrales e interiores por separado. Con este sistema se puede dar servicio de calefacción y de refrigeración simultáneamente a dos zonas que precisen aire de signo contrario. En la imagen puedes ver un esquema de una instalación de este tipo.



Fumadó, Juan Luis. Climatización de edificios. ISBN 84-7628-181-1. Ediciones del Serbal. Pág 165. *Sistemas de climatización de conducto dual* (Todos los derechos reservados)

Volumen variable con postratamiento

Este sistema es similar al de volumen variable pero incorpora un tratamiento final del aire en las unidades terminales. La regulación se hace como en el caso anteriormente descrito mediante la variación del caudal de aire, ya sea mediante compuertas, bypass o variación de velocidad del ventilador. Si el caudal de aire es insuficiente para hacer frente a la demanda se pone en marcha una batería en la unidad terminal. Como hemos visto, esa batería tiene que ser del mismo signo del aire impulsado por la unidad central. Al ser un sistema de volumen variable habrá que tener en cuenta las consideraciones en cuanto al equilibrado de la instalación comentada anteriormente. En la imagen puedes ver un esquema de una instalación de este tipo.



Fumadó, Juan Luis. Climatización de edificios. ISBN 84-7628-181-1. Ediciones del Serbal. Pág 167. *Sistemas de climatización de volumen variable con post-tratamiento* (Todos los derechos reservados)

El RITE no admite que para el mantenimiento de las condiciones termohigrométricas de un local se mezclen dos caudales de aire, uno frío y otro caliente o se someta el aire a dos procesos sucesivos de enfriamiento y calentamiento.

Autoevaluación

¿Cuál es la diferencia entre un sistema de conducto dual y un sistema de doble conducto?

- Con el conducto dual se puede dar simultáneamente calor a una zona y frío a otra.
- El doble conducto lleva dos conductos mientras que en el conducto dual se emplea sólo uno.

Respuesta correcta, con el doble conducto no se puede simultanear frío y calor.

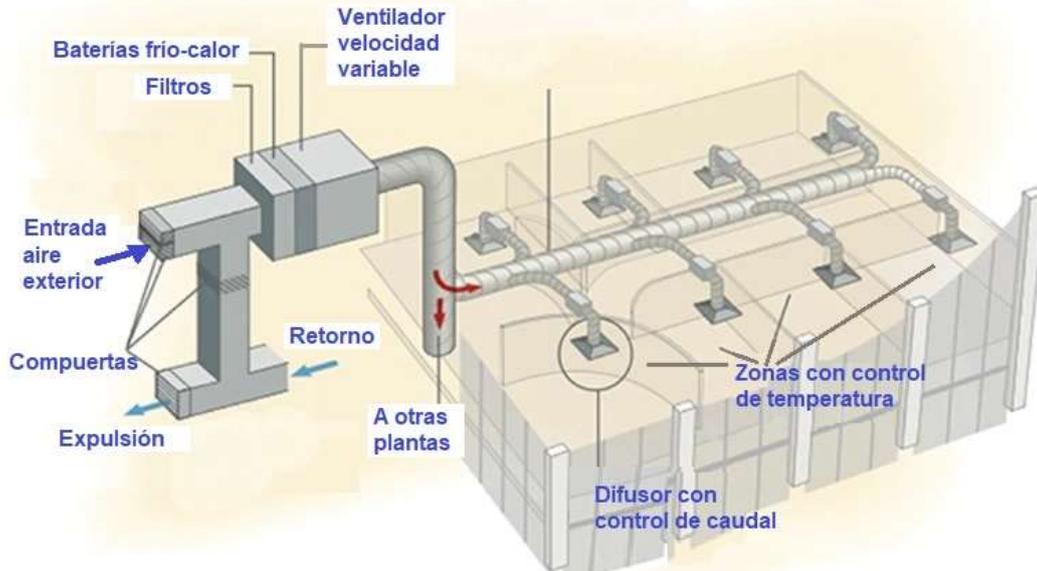
No es correcto, ambos sistemas utilizan dos conductos.

Solución

1. Opción correcta

Ejercicios para Resolver

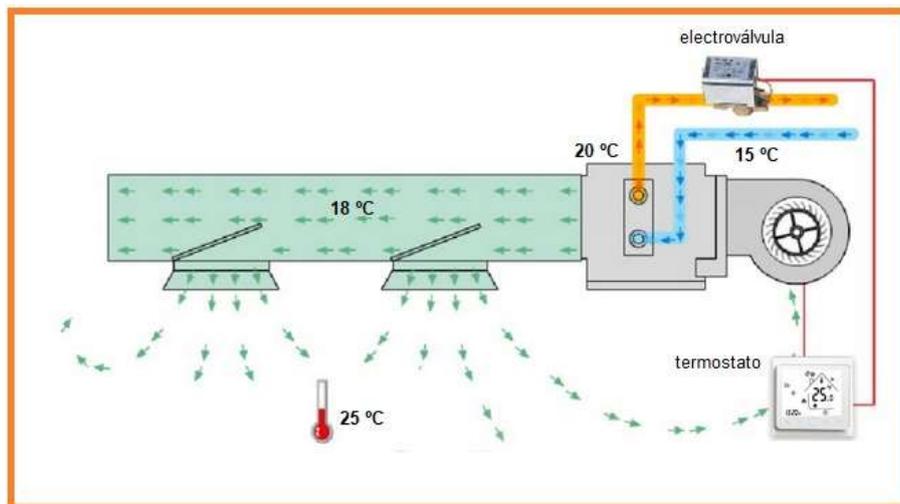
1.- Determina el tipo de sistema de climatización, todo aire, del siguiente esquema



Mostrar retroalimentación

Es un sistema de climatización con volumen variable. Hay que señalar que, aunque se les conoce como sistemas de volumen variables, habría que decir que más propiamente son sistemas de caudal variable.

2.- Qué tipo de sistema de climatización es el siguiente

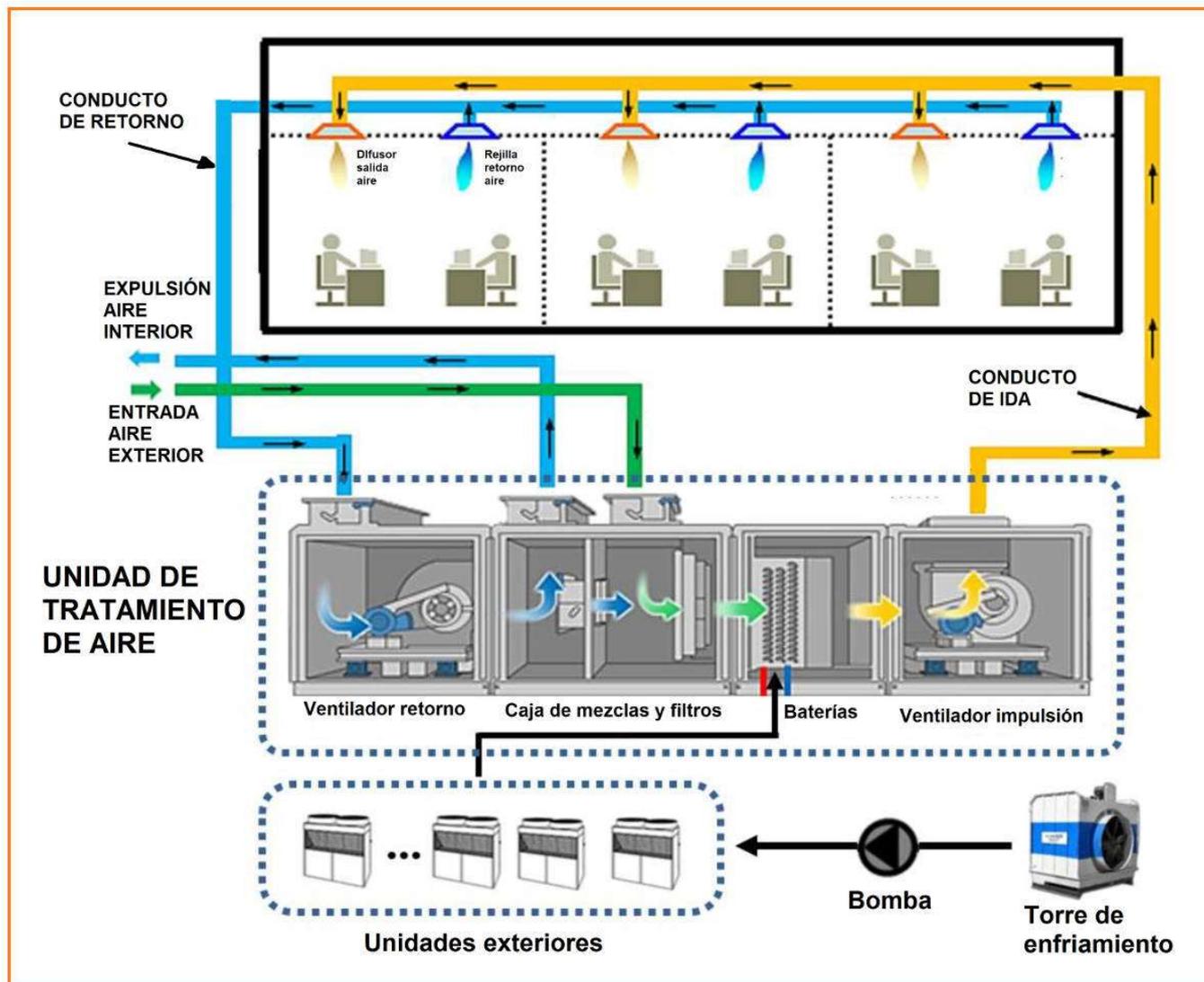


Mostrar retroalimentación

Es un sistema de fancoil a dos tubos. En el circuito puedes ver un sencillo sistema de control del caudal de la batería, con ayuda de un termostato electrónico. En este circuito, también podría sustituirse la electroválvula de dos vías por una válvula mezcladora de tres vías.

1.5.- Unidades de tratamiento de aire.

Como has visto anteriormente el acondicionamiento del aire consiste en suministrar a los locales un volumen de aire en unas determinadas condiciones de temperatura, humedad y calidad del mismo. Una unidad de tratamiento de aire (UTA) es el equipo en donde podemos darle al aire esas condiciones necesarias de Humedad relativa, Temperatura y calidad. El climatizador es donde se modifican las condiciones del aire para el tratamiento final de los locales a tratar.



Los diseños de climatizadores han evolucionado en estos últimos años, llegando a modelos extra planos, de alturas muy pequeñas ideales para instalar en falsos techos, pero en todos los casos se trata de una composición modular realizada en base a secciones.

Lo que define el tamaño que debe tener el climatizador a instalar, es el caudal de aire. Si la capacidad de paso es limitada generará problemas de ruido y pérdidas por transmisión de calor. La UTA se compone, a la manera de un mecano, de varias secciones. A continuación vas a estudiar en detalle cada una de ellas.

[Envolvente-carcasa](#) [Entrada de aire](#) [Ventilación](#) [Filtrado](#) [Mezclas](#) [Humectación](#) [Calentamiento](#)

[Enfriamiento](#)

Envolvente-carcasa

Un climatizador puede instalarse a la intemperie o a techo cubierto, para esto lleva una envolvente metálica que cumple la función de dar soporte a los módulos que forman el equipo y de servir de aislamiento térmico y acústico al mismo tiempo. La envolvente incluye un bastidor por secciones, compuesto por perfiles de acero para darle mayor resistencia. Los perfiles van unidos entre sí por medio de piezas de ensamblaje y tornillos. El cerramiento es de paneles formados por dos chapas de acero galvanizado, y con poliuretano que se coloca en los huecos entre las chapas como aislante térmico y acústico.

En el caso que se haga la instalación a la intemperie, debe reforzarse el acabado para evitar daños por inclemencias climáticas. Para mejorar el aislamiento acústico se puede realizar algunas perforaciones a la chapa interior. El climatizador, finalmente, debe colocarse directamente en el suelo con apoyos antivibratorios o **silentblocks**. Existen otros elementos como silenciadores de ruido que se transmite al exterior de la UTA y del ruido transmitido a través de la corriente de aire por las secciones del sistema de climatización. Estos silenciadores se construyen a partir de materiales absorbentes, como la lana de vidrio.



[Mitsubishi](#). Aspecto exterior de una UTA (Todos los derechos reservados)

Entrada de aire

Se utiliza para la entrada de aire, ya sea exterior o de recirculación. Debe estar en condiciones de ser conectada a un conducto o protegida contra pájaros y disponer de visera anti-lluvia. Lleva incorporada una compuerta para la regulación del caudal y de cierre total que puede ser accionada manualmente, o a través de un motor.

Las compuertas pueden ser de dos tipos: con aletas paralelas o en contraposición. Las de aletas paralelas se utilizan para cierre, todo o nada y ocasionan menor pérdida de presión. Las de contraposición son utilizadas para regulación. Debes tener en cuenta que a mayor longitud de las aletas menor presión soportarán.

Ventilación

En las UTA, el ventilador más empleado es, sin duda, el centrífugo de doble oído. Aunque se pueden emplear otros tipos de ventiladores (axiales) sobre todo si se puede hacer una conexión con cambios de sección y de forma suficientemente suave y si, por imposición del espacio disponible o del recorrido, es conveniente separar el ventilador y la UTA.

Dentro de los ventiladores centrífugos, se pueden clasificar en orden de rendimiento decreciente, como:

- a. De álabes aerodinámicos: velocidad de giro alta, cuidadosa construcción.
- b. De álabes curvos: velocidad de giro alta.
- c. Radiales: dan mayor presión que los anteriores, más adecuados para manejar aire sucio.
- d. De álabes múltiples curvos: rendimiento inferior a los anteriores; no son aptos para presiones elevadas.

Es muy importante contemplar debidamente el diseño del acoplamiento entre el ventilador y el conducto. Un mal diseño puede producir unas caídas de presión estática considerables. Cobran también mucha importancia las características constructivas de la UTA: un buen recubrimiento interior de la sección de ventilación, con materiales absorbentes acústicos ayudará a reducir la reverberación y, por tanto el nivel sonoro en el interior de la sección.

Filtrado

Como has visto anteriormente un buen sistema de aire acondicionado debe ocuparse también de la calidad del aire. La calidad del aire se consigue con un nivel de ventilación adecuado y un correcto filtrado de las partículas contaminantes.

El filtrado del aire se realiza mediante filtros de diversos tipos. Los filtros pueden ser, de mayor a menor eficacia de filtrado, los siguientes:

Filtros planos: están montados verticalmente unos sobre otros, el aire pasa a gran velocidad y por tanto la eficacia del filtrado es baja, aunque suficiente para la mayoría de aplicaciones de confort humano. Son bastante eficaces en lugares

donde no hay grandes contaminantes.

Dependiendo del tipo de manta que use será más o menos eficaz en el filtrado. Puede ser una manta regenerable o de un solo uso.

Filtros en V: van montados en pliegues con forma de V tumbada. Esto aumenta la superficie de filtrado y la velocidad del aire. Es más eficaz que el filtro plano pero igualmente bajo en eficacia de filtrado.

Filtros rotativos: la manta filtrante avanza desde un tambor superior a otro inferior. Este movimiento puede ser manual o automático. La automatización se realiza mediante un presostato diferencial que mide presión antes y después del filtro. Cuando la diferencia entre ambas lecturas supera un valor dado, el presostato pone en funcionamiento un motor que arrastra la manta filtrante y presenta una superficie limpia preparada para el filtrado del aire.

Filtro de bolsa: son muy eficaces, con una gran superficie de filtrado. El aire entra por la boca de la bolsa y es expulsado por la superficie lateral. Para evitar que las bolsas se colmaten conviene colocarles un prefiltro que elimine las impurezas. En este caso la sección es de mayor longitud. En la imagen puedes ver como es un filtro de este tipo.

Mezclas

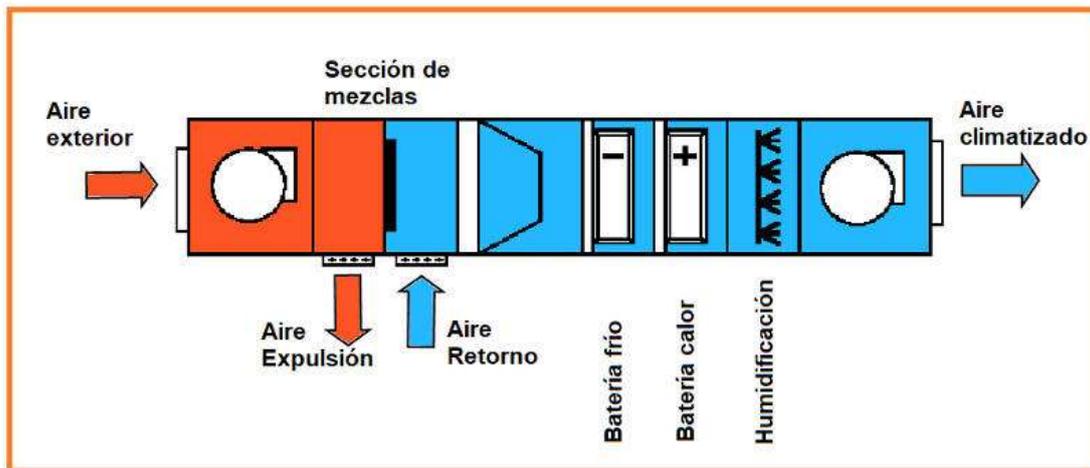
La sección de mezclas se compone de 2 secciones vacías, con tres compuertas motorizadas. El controlador de la UTA actúa sobre las tres compuertas utilizando la mejor combinación entre aire recirculado y aire exterior. Cuando las condiciones exteriores son desfavorables introducirá la menor cantidad posible de aire exterior para asegurar la ventilación del local. Pero cuando las condiciones son favorables lo que hace es cerrar la compuerta intermedia y abrir completamente las de aire descartado y aire exterior. Así, el aire interior se renueva completamente y no es necesario utilizar las baterías de tratamiento del aire.

Ahorro energético, tomando del exterior mayor proporción de aire (o la totalidad del caudal movido) cuando su entalpía sea más conveniente que la del aire de retorno. Es lo que se denomina como enfriamiento gratuito (free-cooling en inglés). El enfriamiento gratuito se produce cuando las condiciones externas son favorables y la UTA permite la climatización sin hacer un gran gasto energético, simplemente introduciendo aire exterior y expulsando todo el aire de retorno.

Asegurar un caudal mínimo de aire exterior para renovación.

Impedir la entrada de aire exterior.

Controlar la presurización de la zona acondicionada.



Humectación

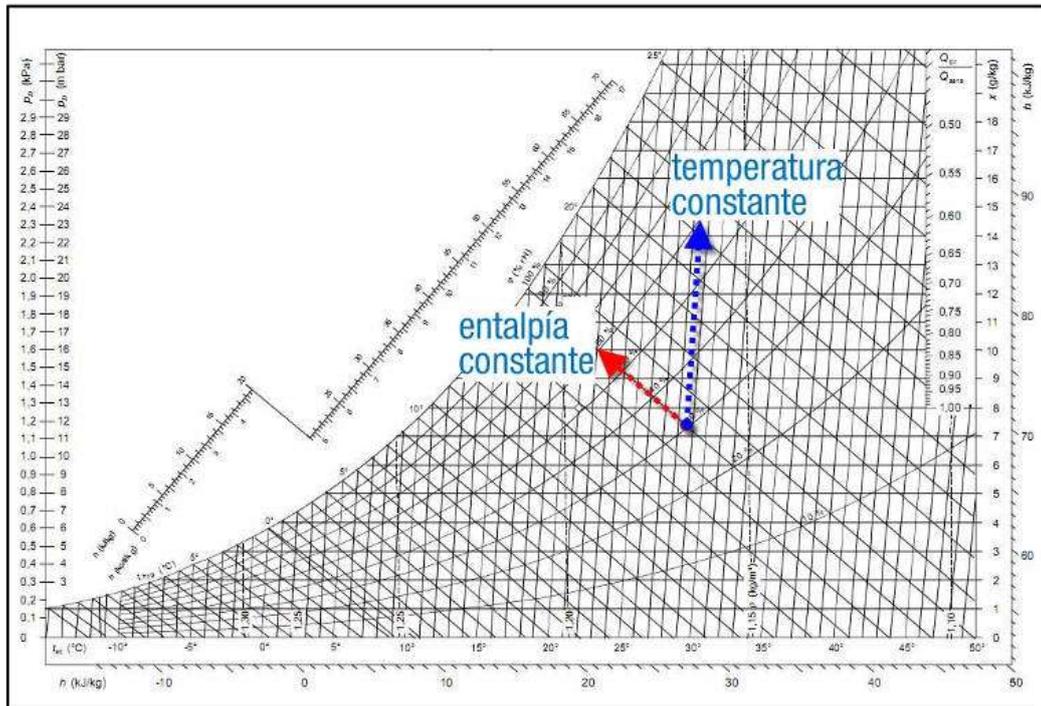
Al utilizar baterías de calefacción reducimos el nivel de humedad relativa del aire lo que disminuye la sensación de confort. Por esta razón es necesario aumentar el contenido de vapor de agua en la corriente de aire tratada.

Para realizar la humectación del aire podemos utilizar el sistema de "paneles higroscópicos" contruidos de celulosa. Son altamente eficaces y de bajo coste operativo. Este sistema consiste en un relleno de celulosa en forma de panel poroso y húmedo, muy semejante a un panel de abejas, abierto a la corriente de aire. En la parte inferior de la sección hay una bandeja con agua, desde donde se aspira agua con una bomba pequeña, dejándola caer por la parte superior de los paneles, impregnándolos. Al pasar el aire por éstos los va secando, captando agua.

Otra técnica para humectar el aire es el "lavador de aire". Consiste en pulverizar agua sobre la corriente de aire, utilizando una electrobomba potente con boquillas de pulverización. La pulverización se recomienda hacerla contra la corriente ya que de este modo es más eficaz. Este sistema tiene el inconveniente de requerir de un separador de gotas a continuación, para evitar el arrastre de agua que pueda corroer las partes metálicas del equipo. Por otra parte requiere de un volumen amplio para la balsa de agua, red de tubos y boquillas, así como de una potente bomba.

"La humectación por vapor" teóricamente es la forma ideal de humectar el aire ya que la afinidad del aire por el vapor de agua es máxima al encontrarse en el mismo estado gaseoso ambos, sin embargo requiere de una gran potencia. Para incrementar de 5 gr. de agua por Kg de aire se requiere del orden de 3 W/Kg, lo que en un climatizador no demasiado grande, por ejemplo 10.000 m³/h, supondría una instalación de unos 35 kW.

Es importante señalar que mientras la humectación por vapor mantiene la temperatura seca del aire, tanto el lavador como los paneles realizan la humectación sobre una línea de entalpía constante. Como viste al estudiar el diagrama psicrométrico esto supone que la temperatura seca descienda.



Calentamiento

Aquí el aire pasa a través de una batería de calefacción que esta recorrida interiormente por un fluido calefactor, lo que da como resultado un calentamiento sensible del aire. Normalmente se utiliza agua caliente procedente de una caldera, aunque también se puede utilizar aceite térmico, baterías de calefacción por vapor, baterías eléctricas. Otra alternativa es utilizar una batería de expansión directa utilizándose el calor de condensación. Las baterías para agua caliente más comunes son de tubo de cobre con aletas de aluminio. Para altas temperaturas se utilizan baterías de tubo y aletas de acero.

En el caso de usar una batería eléctrica, deberá incorporarse un interruptor de flujo de aire y termostato de seguridad. Se recomienda una velocidad de aire de 2 a 3 m/s cuidando que la temperatura del aire una vez pasado por la batería no supere los 45 grados, para garantizar la refrigeración del motor eléctrico instalado corriente arriba.

Enfriamiento

En este caso el aire hace su recorrido por una batería que contiene un fluido mas frío que el aire, experimentando un enfriamiento y posible deshumidificación si la temperatura superficial de las aletas y la tubería es inferior a la del punto de rocío del aire que circula por el climatizador, condensándose de este modo el vapor de agua sobre las aletas.

Estas baterías se construyen en tubo de cobre y aletas de aluminio o puede ser totalmente de cobre. Los fluidos más utilizados para el enfriamiento son agua fría proveniente de una enfriadora o directamente en el evaporador de una maquina frigorífica.

Como suele haber problemas de formación de agua, estas baterías llevan en su parte inferior material impermeable para la evacuación del agua condensada. Es un aspecto problemático ya que a pesar de la aparente sencillez provoca numerosos problemas. Para paliar estas situaciones se debe de tener en cuenta los siguientes aspectos:

Respetar el diámetro de la tubería recomendada por el fabricante.

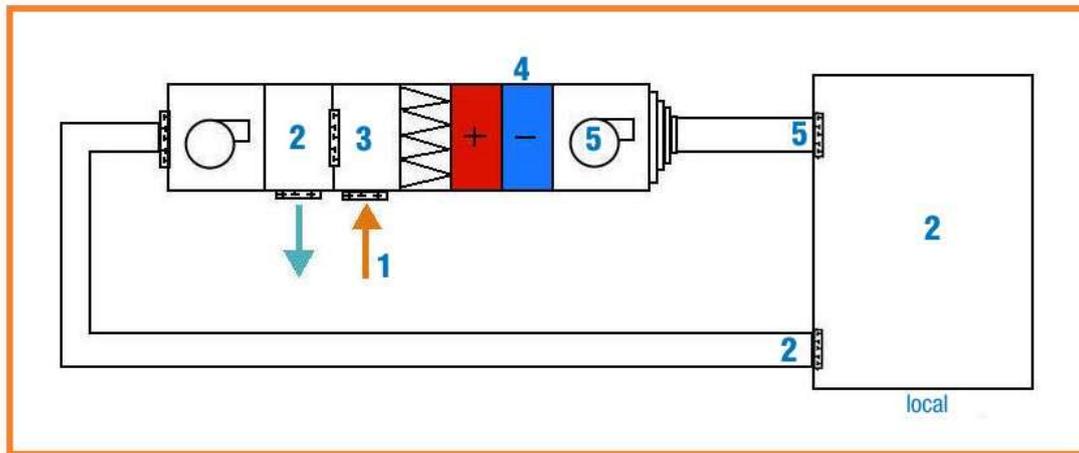
Al momento de instalar, considerar la pendiente necesaria hacia el conducto de evacuación evitando las acumulaciones de agua.

Aislar los tubos para evitar condensaciones en las paredes del mismo.

Instalar un sifón de altura mínima dos veces la depresión existente en la bandeja, para evitar la entrada de aire y permitir la libre evacuación de agua.

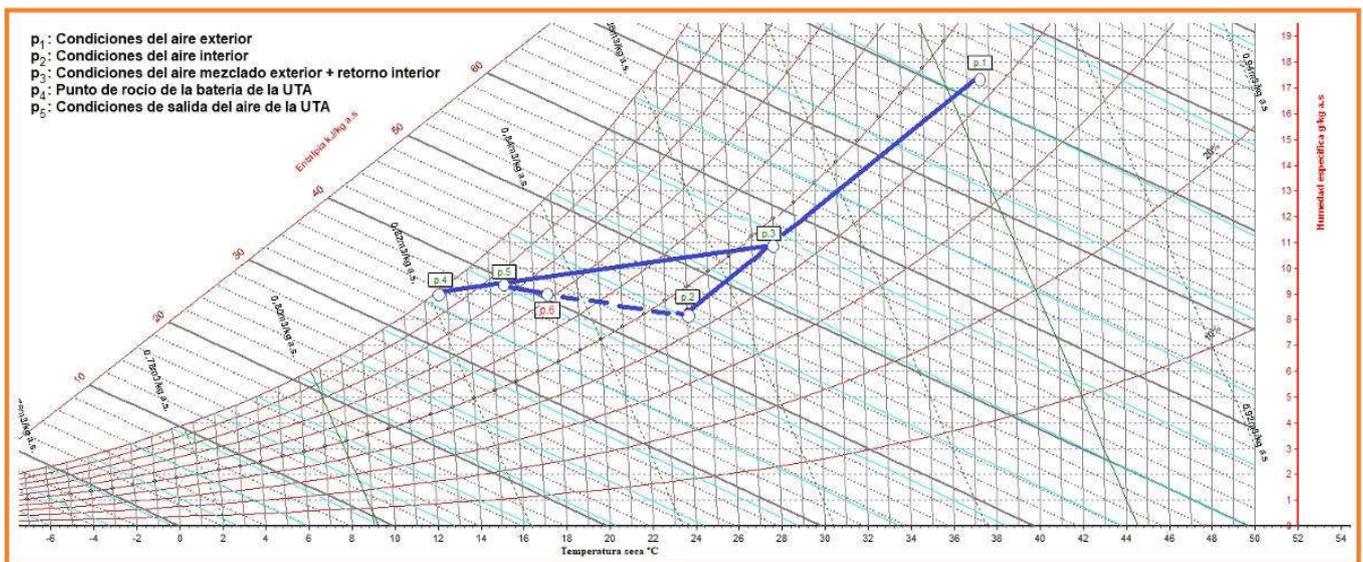
1.6.- Cálculo de la potencia de una UTA.

En esta unidad de trabajo y en anteriores has visto como se calcula las necesidades térmicas, el caudal de aire a introducir para ventilación, los conductos, bocas de aire, ventiladores, etc. Para completar el cálculo de una instalación de aire acondicionado nos falta únicamente calcular la potencia frigorífica de la batería que tiene que acondicionar los locales. Observa el siguiente dibujo.



Conexión de una UTA

Se trata de una UTA que climatiza un local. La numeración corresponde a las distintas etapas por las que pasa el aire. El punto 1 es el aire exterior de renovación. El punto 2 es el aire interior que retorna por el conducto de retorno y se expulsa, en parte, para renovar el aire. El aire 2 que no se ha expulsado se mezcla con el aire 1 exterior dando lugar a una mezcla 3. Esa mezcla se pasa por la batería de frío. Allí, idealmente se podría llegar a un aire 4, pero la eficacia de esa batería no es el 100%, tiene un factor de by-pass, y lo que realmente se obtiene es un aire 5. Ese aire 5 es el que se introduce en el local para hacer frente a las cargas térmicas. Este proceso lo podemos ver con el diagrama psicrométrico:



Punto 1: son las condiciones del aire exterior, 37,6 °C (seca), 26,6 °C (húmeda), humedad absoluta 17,5 g/kg.

Punto 2: es el aire que retorna del local, con las condiciones fijadas en el mismo: temperatura seca 24 °C, humedad 45 %, humedad absoluta 8 g/kg.

Punto 3: el aire de retorno se mezcla con el aire exterior en una proporción, aproximada de de 3 a 1 (tres partes de aire de recirculación por una parte de aire exterior), resultando una mezcla en las condiciones del punto 3, con 28 °C, 46% de humedad relativa y 11 g/kg de humedad absoluta.

Punto 4: son las condiciones de la batería: temperatura de rocío de 12,5 °C (100 % humedad)

Punto 5: el aire de la UTA no sale a la temperatura de la batería, sino a una temperatura mayor, ya que todo el aire no toca la batería. Depende de la velocidad del aire (a mayor velocidad, menor proporción del aire saldrá a la temperatura de la batería) y de la constitución de la batería: número de aletas y número de filas de la batería (a mayor número, mayor proporción de aire a la temperatura de la batería). El denominado factor de by-pass de la batería (FB) indica la proporción del aire que no se refrigera. Por ejemplo, si el factor de by-pass fuera 1, equivaldría a que todo el aire es de recirculación, sin tratamiento térmico. Un factor de by-pass de 0 supondría que todo el aire que entra en la batería alcanza la temperatura de esta (cosa imposible). Lo más normal son factores bajos. Por ejemplo, un FB = 0,25 equivale a mezclar un 75% de aire con las condiciones de la batería (Punto 4), con un 25 % de aire de la mezcla (Punto 3). En el gráfico, vemos que el aire, a la salida de la batería, lo hace con 14,5 °C.

Batería

Filas	Aletas por cm			
	3		6	
	Velocidad del aire (m/s)			
	1,5	3,5	1,5	3,5
2	0,42	0,55	0,22	0,38
3	0,27	0,40	0,10	0,23
4	0,19	0,30	0,05	0,14
5	0,12	0,23	0,02	0,09
6	0,08	0,18	0,01	0,06
8	0,03	0,08		

$$FB = \frac{m_{no\ tratado}}{m_{total}}$$



Orden de magnitud del factor de by-pass (FB)

Punto 6: tras el paso por el ventilador y roce con los conductos el aire aumenta un par de grados su temperatura. Sale con 16,5 °C, 72 % de humedad relativa y 9 g/kg de humedad absoluta.

Tramo del punto 6 al punto 1. El aire impulsado al local desde la UTA, va aumentando su temperatura y, en este caso, habría un proceso de deshumidificación externo que haría bajar la humedad. Posteriormente se inicia de nuevo el ciclo.

Proceso de selección de una UTA

Las fases para seleccionar una UTA son las siguientes:

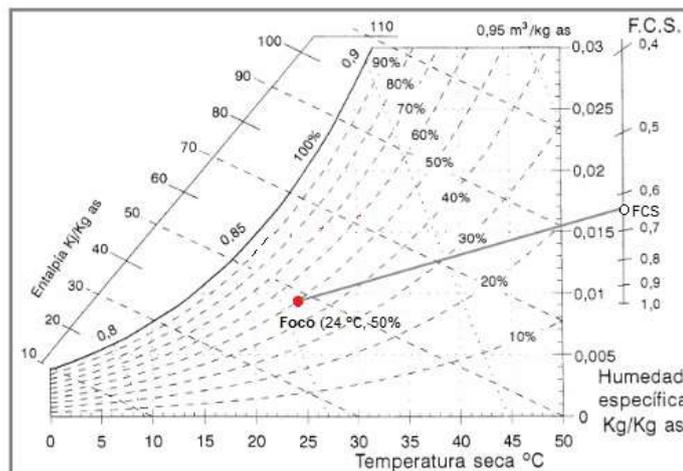
1.- Valores de temperatura y humedades interiores y exteriores. Dependerán del uso del local y su emplazamiento.

2.- Niveles de confort a alcanzar: temperatura, humedad relativa, limpieza del aire. Dependerán del nivel de calidad requerido en la instalación. Si se precisa controlar la humedad relativa con precisión, se incluirá un módulo de inyección de agua o de deshumidificación. Si se precisa una gran pureza del aire impulsado, se incluirán módulos de filtros de bolsas o filtros electrostáticos.

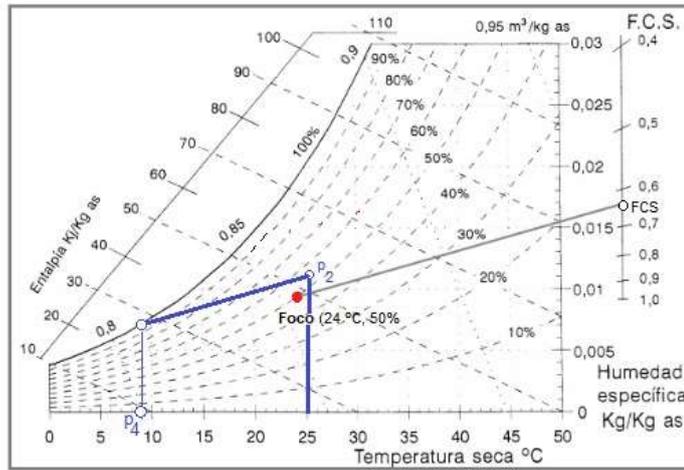
3.- Demanda térmica del local, con el porcentaje de calor sensible y latente: Se conocen mediante el cálculo de la carga térmica del local. Se debe aplicar un coeficiente de seguridad en la selección del equipo de un 5 al 10% por encima, ya que el rendimiento del equipo puede bajar por las condiciones del mantenimiento (suciedad filtros, envejecimiento, etc.). En este apartado hay que calcular el Factor de Calor Sensible, que es la proporción de la carga térmica sensible frente a la carga térmica total:

$$FCS = \frac{\dot{Q}_{sensible}}{\dot{Q}_{sensible} + \dot{Q}_{latente}}$$

Este valor se señala en la escala del Factor de Calor Sensible, situada a la derecha del diagrama psicrométrico y se traza una recta uniéndolo el valor señalado en la escala con el foco.



A continuación se traza una paralela que pase por el Punto 2 (condiciones del local) hasta cortar la curva de saturación, el punto de corte es el Punto 4. Esta recta que hemos trazado de 2 a 4, paralela a la otra recta, es la recta de trazos 2-4, llamada recta térmica efectiva del local. La vertical que baja desde el Punto 4 nos da la temperatura de rocío t_d de la UTA. En la siguiente imagen, con un $FCS = 0,65$ y una condiciones interiores de 25 °C y 55 % de humedad, tenemos una temperatura de rocío de 9 °C.



4.- **Caudal de aire a suministrar al local**, dependiendo del caudal necesario de ventilación y de las condiciones higrotérmicas. El caudal de ventilación dependerá de la ocupación del local, y por lo tanto, es preferible que pueda ajustarse automáticamente, por control de CO₂, control de presencia o mediante un programador. El caudal total necesario se calcula con:

$$q_{\text{impulsión}} = \frac{\dot{Q}_{\text{sensible}}}{0,34 \cdot (1 - FB) \cdot (t_2 - t_4)}$$

La carga térmica sensible se pone en W y el caudal que obtenemos es en m³/h.

5.- **Necesidad de recuperación del calor de extracción.** En grandes instalaciones es obligatorio recuperar las calorías del aire extraído, y cederlas al aire de ventilación introducido en caudales de ventilación mayores de 0,5 m³/s (en el RITE a punto de modificarse son 4 m³/s). Aunque los recuperadores son equipos caros, cada día se van introduciendo más en las instalaciones comerciales.

6.- **Temperatura de la mezcla.** Se calculan la temperatura y humedad de la mezcla del aire de retorno con el aire exterior de ventilación que es necesario introducir. Ello se hace con la fórmula de las mezclas que vimos en otra unidad (utilizando caudales volumétricos en lugar de máscicos, porque el error es muy pequeño).

$$t_{\text{mezcla}}(t_3) = \frac{q_v}{q_{\text{impulsión}}} \cdot (t_1 - t_2) + t_2$$

7.- **Temperatura del aire de impulsión.** Una vez que el aire de la mezcla pase por la batería de frío, teniendo en cuenta el factor de by-pass (FB), la temperatura será:

$$t_{\text{impulsión}}(t_5) = FB \cdot (t_3 - t_4) + t_4$$

8.- **Potencia de la batería de frío.** Teniendo en cuenta los valores de las entalpías y la aproximación entre caudales máscicos y volumétricos, podemos determinar la potencia de la batería con la siguiente fórmula:

$$\dot{Q}_{\text{frío}} = 0,336 \cdot q \cdot \Delta h = 0,336 \cdot q \cdot (h_3 - h_5)$$

9.- **Posibilidad de enfriamiento gratuito por funcionar en horario nocturno.** Debe preverse siempre en instalaciones con funcionamiento durante la tarde o noche: hospitales, edificios de seguridad, instalaciones de ciclo continuo, aeropuertos y estaciones, etc.

10.- **Temperaturas de los circuitos de agua fría y caliente.** En general, pueden variar dependiendo de si la fuente de calor es una caldera o una bomba de calor. Anteriormente, ya hemos justificado el que las temperaturas del agua de calefacción deben ser lo más bajas posibles, las calderas de condensación, el suelo radiante y el hecho de que el RITE indique que la temperatura de entrada a un radiador no supere los 60 °C, avalan valores más bajos que con los que se operaba hace años. Respecto al agua fría en verano, las temperaturas no deben ser muy bajas, ya que se puede alcanzar la temperatura de rocío con facilidad y originar condensaciones. Es mejor realizar los cálculos con temperaturas de distribución de 12 °C que de 7 °C.

Para aclarar los conceptos vamos a realizar un ejercicio resuelto a continuación.

Ejercicio resuelto

1.- Queremos climatizar un local con los siguientes valores de carga térmica:

Carga sensible efectiva: 14,3 kW

Carga latente efectiva: 5,2 kW

En el interior queremos mantener las siguientes condiciones térmicas

$t_2 = 26^\circ\text{C}$ HR₂= 60%

Las condiciones exteriores son

$t_1 = 30^\circ\text{C}$ HR₁= 70%

La batería de frío tiene un factor de by-pass de 0,25. El caudal de aire exterior de ventilación es 750 m³/h.

Mostrar retroalimentación

1.- Lo primero que tenemos que calcular es el **factor de calor sensible FCS**. Se trata del cociente entre la carga sensible dividida por la carga total.

2.- Ahora hay que calcular la **temperatura de rocío de la batería** de frío t_4 (Punto 4). Para ello en el diagrama psicrométrico se traza una recta que une el valor en la escala FCS con el foco del diagrama. Paralela a esa recta trazamos otra que pase por el Punto 2, correspondiente a las condiciones interiores. El punto dónde esa recta corte a la curva de saturación nos da el valor $t_4 = 16^\circ\text{C}$.

3.- El siguiente paso es obtener el **caudal de aire que debemos introducir en el local**.

4.- **Sistema de recuperación.** La previsión es que el nuevo RITE exija la instalación de recuperadores de calor a partir de caudales de expulsión superiores a 0,5 m³/s, es decir, a partir de 1 800 m³/h, por ello, 750 m³/h no llega a este valor y no sería obligatorio.

5.- A continuación hay que calcular el valor de la **temperatura de mezcla** t_3 . Se obtiene mediante la fórmula:

6.- Obtención de la **temperatura de salida** t_5 con la fórmula vista

En el diagrama psicrométrico, vemos que a esta temperatura tenemos una elevada humedad, cerca del 90 % que, al aumentar la temperatura en el interior, esa humedad relativa disminuye a valores cercanos a los deseados. El diagrama nos muestra los distintos puntos.

7.- Para obtener la **potencia frigorífica**, tenemos que determinar en primer lugar las entalpías de los puntos 3 y 5. Para su determinación necesitamos conocer primero los valores de las entalpías en los puntos 3 y 5. En el diagrama psicrométrico obtenemos, aproximadamente: $h_3 = 51$ kJ/kg y $h_5 = 65$ kJ/kg

La potencia frigorífica de la UTA será

Ejercicios para resolver

1.- En un sistema SCADA de control de instalaciones en un hospital vemos la siguiente pantalla. Indica que puede representar y en qué modo está funcionando.

Mostrar retroalimentación

Solución: Es un fancoil a cuatro tubos, funcionando en modo refrigeración, con una temperatura de impulsión del aire de 20,1 °C y una temperatura ambiente en el recinto que climatiza de 21,8 °C. Está funcionando a la velocidad máxima el ventilador, aportando el mayor caudal de aire.

2.- Responde a la misma cuestión anterior, a partir de la siguiente imagen

Mostrar retroalimentación

Solución: En este caso es un fancoil de techo a cuatro tubos, que está en modo calor pero está apagado. Por la imagen, podemos deducir que es techo radiante, con una bandeja que recoge las posibles condensaciones en modo refrigeración.

3.- Analiza el dibujo sinóptico del SCADA de control de instalaciones térmicas

Mostrar retroalimentación

Solución: El dibujo corresponde a una Unidad de Tratamiento de Aire (UTA) o climatizadora. Está en modo automático, en calentamiento, y el aire sale a una temperatura de 19,3 °C, siendo la temperatura de consigna de impulsión de 20 °C. La batería de calor funciona al 22% de su caudal y la temperatura exterior es de 6,4 °C. Los ventiladores de impulsión y de retorno están funcionando.

2.- Distribución de aire en los locales.

Caso práctico: acondicionar un gran auditorio

[GN](#). Auditorio del Conservatorio de Música de Navarra (Todos los derechos reservados)

Ya sabes que muchas de las instalaciones de climatización y ventilación tienen como fluido final el aire de impulsión que, en verano es fresco y en invierno caliente. Las climatizadoras, en muchos casos UTAS (Unidades de Tratamiento del Aire), como has visto, filtran y acondicionan higrotérmicamente el aire antes de distribuirlo por las distintas estancias y locales. En esta unidad veremos estas instalaciones de forma más detallada, pero ahora el caso práctico que vas a ver es el de cómo se resuelve la distribución del aire en locales de gran volumen: cines, teatros, salones de actos, etc.

¿Te acuerdas de la ecuación de continuidad? Como el caudal de un fluido que circula por una tubería de sección variable es constante, en las secciones más pequeñas el fluido va más rápido. Este es el principio de funcionamiento de las **toberas**: la velocidad del aire aumenta a la salida y es impulsado para que llegue a la distancia necesaria. Es un flujo de aire direccional que distribuye el aire por todo el volumen, procurando que no existan corrientes de aire en la zona habitable o transitable.

Si te fijas en algunos aeropuertos, estaciones, auditorios o teatros y otros grandes espacios, esta es una solución frecuente, pero has de saber que si impulsamos aire tratado al interior de un local, debemos disponer de vías de salida para que el aire interior salga. En la foto de la imagen, en la que vemos un auditorio, las rejillas de salida se encuentran ocultas debajo del escenario y en la pared vertical que separa las dos zonas de asientos. **El mismo caudal de aire que entra debe salir**, pero hay que tener cuidado de que no existan **cortocircuitos térmicos**. En esta unidad verás que son y cómo se evitan.

JBL. Biblioteca de Siena (Italia) (Todos los derechos reservados)

El aire llega a los locales a través de dispositivos llamados en forma genérica Unidades Terminales de Impulsión (UTI). Pueden tener formas diversas pero todos deben facilitar la llegada del aire tratado y su posterior difusión con el aire del local. Para experimentar sensación de confort necesitamos que el aire tenga cierto grado de humedad y una cierta velocidad de impulsión. Además de las unidades de impulsión en un sistema de aire acondicionado disponemos de unos conductos de retorno. La entrada a estos conductos se hace por medio de bocas de unidades terminales de extracción.

Citas para pensar

Un aire sutil, mata a un hombre y no apaga un candil.

Proverbio popular

2.1.- Condiciones de impulsión y retorno

El RITE en la instrucción técnica que define la exigencia de calidad térmica del aire, establece los valores para los parámetros que definen el bienestar térmico, como las temperaturas seca del aire y operativa, la humedad relativa, la temperatura radiante media del recinto, la velocidad media del aire y la turbulencia en la zona ocupada. Para la temperatura y humedad relativa establece unos límites generales que se refieren a una actividad típica de verano o de invierno. Estas condiciones son:

personas con actividad metabólica sedentaria de 1,2 met,
con grado de vestimenta de 0,5 clo en verano y 1 clo en invierno
un PPD (porcentaje de personas insatisfechas) menor del 10%

Los datos de referencia, que ya hemos visto en unidades anteriores, son los de la tabla:

Temperaturas y humedades relativas

Estación	Temperatura operativa °C	Humedad relativa %
Verano	23...25	45...60
Invierno	21...23	40...50

Para otras condiciones remite a la norma [UNE-EN ISO 7730](#).

El sistema de distribución de aire debe conseguir que la temperatura en los locales climatizados se mantenga dentro de los límites tolerables. En una habitación se admite una variación de máximo de 1°C entre distintos puntos. En un conjunto de habitaciones situadas dentro de un mismo espacio climático lo admitido es un máximo de 1,7 °C. Generalmente las diferencias de temperatura se producen más en la época de calefacción que en la de refrigeración, provocando sensación de incomodidad por causa de las corrientes de aire. Las fluctuaciones de temperatura dependen, en gran medida, del sistema de control de temperatura.

Velocidad del aire

En la siguiente tabla puedes ver las velocidades recomendadas del aire en espacios acondicionados. En este aspecto también influyen las reacciones de los ocupantes a distintas velocidades de aire dentro de una zona ocupada.

Velocidades de aire en la zona ocupada de la habitación

Velocidad del aire (m/s)	Manifestaciones
0-0,08	Quejas por estancamiento del aire
0,12	Reacciones favorables - Proyecto ideal
0,12-0,25	Probablemente favorable, pero la máxima velocidad admisible para personas sentadas es 0,25 m/s aproximadamente.
0,35	Desfavorable, los papeles ligeros colocados en las mesas son insuflados.
0,4	Límite máximo para personas que se desplazan lentamente – favorable en este caso
0,40-1,50	Desfavorable - suelen ser instalaciones de acondicionamiento de aire en naves.

Las **velocidades de impulsión** ya se vieron en la unidad 4, que trataba los sistemas de distribución de fluidos y cuya tabla se muestra aquí.. En relación a los **retornos de aire**, las velocidades a través de las rejillas dependen de la pérdida de presión estática admisible y el efecto sobre los ocupantes. Las velocidades suelen ser algo más pequeñas que en las de salida, aunque los conductos puedan llegar a ser iguales que los de impulsión. Hay que pensar que, en un local no herméticamente aislado, se produce una sobrepresión en el interior que hace perder algo del caudal de entrada que se infiltra al exterior, por lo que el caudal de retorno puede ser algo más pequeño (la cantidad de aire en el local debe permanecer constante). En relación a las velocidades del aire de retorno, cuando los conductos están cerca de la zonas en las que están las personas (asientos, mesas, etc.) no conviene superar los 2 m/s, especialmente en lugares como bibliotecas, oficinas, habitaciones de hospitales,... Cuando los conductos de retorno están alejados pueden superarse los 4m/s y en parkings y similares pueden alcanzarse más de 10 m/s.

Caso práctico: la utilidad de las simulaciones

Cuando se trata de proyectos de cierta envergadura, el conocimiento exacto de las velocidades del aire, las pérdidas de carga, la distribución de temperaturas o la dinámica de los procesos de convección, hay que recurrir a programas de simulación. En el mercado existen varios programas profesionales que permiten conseguir datos a partir de distintas configuraciones de la instalación, eligiendo la más favorable. En el siguiente caso de un auditorio, como el visto en esta unidad, vemos dos soluciones diferentes con la simulación en invierno:

[SIMSCALE](#). Simulación de climatización de un sala de conciertos (Copyright (permiso autor))

[Simulación alzado](#) [Simulación planta](#) [Simulación en 3D velocidad aire](#)

Simulación alzado

Simulación planta

Simulación en 3D velocidad aire

2.2.- Distribución del aire.

Como habrás podido ver, hay muchos tipos de bocas de aire. En las imágenes puedes ver parte de la gama que puedes encontrar en el catálogo de fabricantes.

[Airflow](#), Rejillas y difusores (Todos los derechos reservados)

El primer grupo lo componen las rejillas. Disponen de unos elementos móviles que permiten corregir la forma y dirección de los chorros de aire. Pueden ser sencillas, tanto en vertical como en horizontal o de doble deflexión. Otro tipo de rejillas son las de retorno. En este caso su función consiste en aislar el conducto del local, evitando el paso de cuerpos extraños.

Los difusores son bocas con varios separadores que dividen la masa de aire y la ralentizan desde la propia boca. Esto provoca una mayor superficie de contacto con el aire del local, lo que aumenta la inducción. Esa ralentización del aire permite también que la velocidad en el conducto sea mayor que en el caso anterior. Los difusores pueden ser de diversas formas. Lo más habitual es que sean circulares, pero también los hay cuadrados. Pueden ser de conos fijos o de conos regulables, lo que nos permite adaptar la difusión del aire.

Los difusores rotacionales constituyen una innovación importante en comparación con los difusores circulares tradicionales, especialmente en lo concerniente a su alta capacidad de inducción. La turbulencia rotacional producida, provoca una rápida mezcla del aire impulsado con el inducido, y al mismo tiempo consigue una rápida mezcla de temperaturas, acortando considerablemente el alcance de las venas de aire.

Los difusores lineales combinan la estética con las prestaciones técnicas. Su montaje se realiza en falsos techos o suspendidos del techo. Posibilitan la formación de líneas continuas de difusor, con zonas activas e inactivas, sin romper la uniformidad estética del conjunto. Mediante la regulación de sus aletas, orientables individualmente, se puede obtener una distribución horizontal del aire en una u otra dirección o una proyección vertical del mismo sin modificar el volumen del aire.

Las toberas se utilizan para lanzar aire a gran velocidad con una pérdida de carga reducida. Se consigue un gran alcance y una gran inducción. Son adecuadas para grandes superficies.

A la hora de seleccionar la boca de aire adecuada debes tener en cuenta los siguientes parámetros:

Alcance o flecha: es la distancia horizontal que recorre una corriente de aire desde su boca de salida hasta un punto donde la velocidad del aire alcanza un valor mínimo de 0,25 m/s a 2,1 metros por encima del suelo. Depende de la velocidad del aire primario a la salida de la boca.

Caída: es la distancia vertical que se desplaza el aire desde la boca de salida hasta el final de su trayectoria de propulsión.

Inducción: es el arrastre de aire procedente del espacio a acondicionar por el aire impulsado por la boca. Depende de la velocidad del aire de impulsión. El aire de impulsión se denomina primario, mientras que el aire que será aspirado y arrastrado a lo largo de la trayectoria del aire primario se llama secundario. La corriente total, formada por la mezcla, se denomina aire total. La pérdida de velocidad del aire depende de la relación de inducción por lo que cuanto mayor sea ésta menor será el alcance. Si disponemos de dos bocas de salida con la misma área, la de mayor perímetro tiene mayor inducción y, por tanto, su alcance es más corto.

Dispersión: es el ángulo de divergencia de la corriente de aire después de salir de la boca de impulsión. Hay una dispersión el plano horizontal y otra en el plano vertical. Una boca de salida sin ninguna rejilla que haga convergir o divergir el flujo produce una dispersión de unos 20°. El tipo y la forma de la boca de impulsión hacen variar este ángulo, pero lo habitual son valores entre 15° y 25°.

Debes conocer

En la década de 1930 un rumano, Henri-Marie Coanda, descubrió que una corriente de fluido o gas dirigido hacia una superficie convexa tiende a pegarse a la misma. Esto puede comprobarse acercando una cuchara a un chorro de agua. Lo inusual en el **Efecto Coanda** es el hecho de que el fluido o el flujo de gas se atraigan tan fuertemente por una superficie curva.

Coanda descubrió y probó su efecto en los aviones. Estudió su avión durante más de 20 años para demostrar que el aire a lo largo del ala del avión se desvía hacia abajo debido a la forma del ala. El aire sale del ala, empujando el avión hacia arriba dándole un impulso de sustentación.

Este efecto también se utiliza en el acondicionamiento de aire. El efecto Coanda aumenta el alcance de un difusor de techo. Hace que el aire que sale del difusor suba y se pegue al techo, lo que le permite llegar más lejos antes de caer. La corriente de aire en movimiento adyacente a la superficie del techo crea un área de baja presión, haciendo que el aire permanezca en contacto con la superficie. Esto hace que un chorro de alta velocidad de aire acondicionado puede ser descargado o distribuido a lo largo de la superficie de un techo. A medida que el aire fluye desde el difusor, su velocidad disminuye y cae suavemente en la habitación. En la siguiente imagen puedes ver como una vena de aire se adhiere al techo y, para ello, la orientación de la persiana de salida debe direccionarse hacia arriba con un pequeño espacio de salida para aumentar su velocidad y alcance, mediante el efecto Venturi que conocemos. En invierno, la salida de aire caliente debe direccionarse hacia abajo.

2.3.- Selección de difusores.

Las instalaciones en las que se emplean difusores de techo dan lugar, normalmente, a menos quejas por corrientes de aire que las que emplean bocas de salida en paredes laterales. Para evitar corrientes de aire molestas, deben ser tenidas en cuenta las siguientes recomendaciones.

Alcance. Elegir difusores de techo de alcance moderado, generalmente menor o igual al 75% del valor indicado en las tablas. Una distancia de propulsión excesiva puede plantear problemas en muchas instalaciones, lo que no suele ocurrir con distancias cortas.

Pérdidas de carga. La mayoría de las tablas de especificación indican la pérdida de carga a través de la rejilla únicamente, sin incluir la presión necesaria para expulsar el aire del conducto e introducirlo en la habitación a través del cuello y la rejilla. Conviene, pues, hacer un cuidadoso estudio de las pérdidas de carga y aplicar un factor de seguridad.

Limitación de ruido. Un buen criterio para cumplir con los niveles de ruido aceptables es seguir las recomendaciones de velocidades de salida de la tabla siguiente, que proporcionan niveles de ruido aceptables para varias aplicaciones.

Velocidades recomendadas para la impulsión en locales

Aplicación	Velocidad (m/s)
Estudios de radiodifusión	1,5 ÷ 2,5
Residencias, apartamentos	2,5 ÷ 4
Dormitorios (hotel)	2,5 ÷ 4
Teatros	2,5 ÷ 4
Oficinas particulares	2,5 ÷ 4
Salas de cine	5
Oficinas públicas	5 ÷ 6,5
Almacenes comerciales	7,5 ÷ 10

Para ver como se selecciona un difusor vamos a realizar un ejercicio resuelto como ejemplo.

Ejercicio resuelto

Queremos acondicionar un local de oficinas. El caudal que debe emitir cada difusor es de 300 m³/h. El alcance debe estar comprendido entre 1,3 m y 1,6 m, el nivel sonoro menor de 20 dB y la pérdida de carga < 10 Pa.

Mostrar retroalimentación

En un catálogo de difusores buscamos la fila que corresponde a un caudal de 300m³/h. Buscamos en las diferentes columnas hasta encontrar un valor de alcance que esté dentro del rango. En este caso hemos encontrado 1,5 m. Verificamos que el resto de los parámetros cumplan los requisitos: la velocidad es de 2,7 m/s lo que es correcto para unas oficinas, la pérdida de carga es de 2,8 Pa, y un nivel sonoro de 6 dB.

Por lo tanto el modelo que seleccionaremos es el que nos aparece en la tabla subiendo por la columna: diámetro nominal 315 mm y tamaño 12.

Para saber más

En el siguiente enlace vas a poder encontrar un catálogo muy completo de bocas de aire, programas de selección, documentación técnica y otros recursos de interés. Si observas las especificaciones de los distintos productos, verás que la selección de equipos y sus características, los puedes interpretar perfectamente con lo que ya sabes.

[Catálogo bocas de climatización.](#)

2.4.- Cálculo de conductos por recuperación estática.

En una unidad anterior has estudiado una forma de cálculo de conductos, la de pérdida de carga constante. En esta unidad de trabajo vas a estudiar otra forma de calcular los conductos, la de **recuperación estática**. Este método se utiliza **en grandes redes o cuando se necesiten buenos rendimientos energéticos**. Con este método de cálculo se obtienen instalaciones que necesitan un **ventilador de menor potencia a costa de utilizar conductos más grandes**. Se trata de una mayor inversión inicial pero que repercute en menores costes de explotación.

El método se fundamenta en una de las consecuencias del principio de Bernoulli. A caudal constante si se produce un ensanchamiento de la conducción, la velocidad disminuye y por lo tanto disminuye también la presión dinámica, y esta disminución de la presión dinámica se transforma en un aumento de la presión estática. En sentido contrario, si se pierde caudal debido a una derivación o al caudal que sale por una boca de impulsión, manteniendo el diámetro general del conducto, entonces aumenta su presión estática. Ya sabemos que, si disminuye el caudal, con el mismo diámetro o un poco menor, disminuye la velocidad y si disminuye la velocidad, por Bernoulli, aumenta la presión estática. Ello compensa las pérdidas de carga en el siguiente tramo. En la práctica no todo lo que se pierde de presión dinámica se transforma en estática, entre un 25 y un 50% se pierde en las turbulencias ocasionadas por la modificación de la sección. Para el cálculo se utilizan **tres diagramas**, el primero es el de pérdida de carga de un conducto de aire, el segundo nos da la relación entre la longitud equivalente y el caudal y el último nos da la velocidad que debe tomarse después de una derivación. Vamos a ver un ejemplo resuelto.

Ejercicios resueltos

1.- Queremos realizar la siguiente instalación por el método de la recuperación estática. Calcula los diámetros de cada tramo y la presión que debe suministrar el ventilador sabiendo que las rejillas tienen una caída de presión de 20 Pa. La velocidad inicial es 7 m/s.

Para hacer los cálculos vas a necesitar los siguientes diagramas:

Pérdida de carga

Diagrama auxiliar

Diagrama de velocidades

Mostrar retroalimentación

En primer lugar calcularemos el **tramo inicial 1-2**. Los datos son:

$$Q_2 = 20.000 \text{ m}^3/\text{h} = 5\,556 \text{ l/s}$$

$$v = 7 \text{ m/s}$$

$$L = 20 \text{ m}$$

Con esos datos en el diagrama de pérdida de carga se obtiene un valor de 0,04 mm. cda/m y un **diámetro del tramo 1-2 de 1 000 mm**.

La pérdida línea de presión es, según el gráfico, de 0,41 Pa/m. Por ello, en este tramo tenemos unas pérdidas de presión de $\Delta p_{1-2} = 0,41 \times 20 = 8,2 \text{ Pa}$

En el segundo **tramo 2-3**

$$Q_3 = 15.000 \text{ m}^3/\text{h} = 4\,167 \text{ l/s}$$

$$L = 10 \text{ m}$$

Con estos datos, en el diagrama auxiliar, obtenemos: L/Q^* (no es el cociente de ambos valores, ya que es un valor empírico relacionado con este cociente)

$$L/Q^* = 0,14$$

Con ese valor y el de la velocidad anterior que era de 7 m/s, en el diagrama de velocidad nos da un valor de 6,3 m/s, como pueden verse en el gráfico. Con el valor de velocidad y de caudal podemos calcular el **diámetro del tramo 2-3 que será de 900 mm**. Según el ábaco, tendríamos que elegir 800 mm o 1 000 mm, no obstante, al estar justo en medio y existir diámetro de 900, optaríamos por esta medida.

En el **tercer tramo 3-4**:

$$Q_4 = 10.000 \text{ m}^3/\text{h} = 2\,778 \text{ l/s}$$

$$L = 10 \text{ m}$$

Con estos datos, en el diagrama auxiliar, obtenemos:

$$L/Q^* = 0,17$$

Con ese valor y el de la velocidad anterior que era de 6,3 m/s, en el diagrama de velocidad nos da un valor de 5,5 m/s, como pueden verse en el gráfico. Con el valor de esta última velocidad y el caudal de este tramo, podemos calcular el **diámetro del tramo 3-4 que será de 800 mm**.

El último **tramo 4-5**:

$$Q_4 = 5.000 \text{ m}^3/\text{h} = 1\,389 \text{ l/s}$$

$$L = 10 \text{ m}$$

Con estos datos, en el diagrama auxiliar, obtenemos:

$$L/Q^* = 0,26$$

Con ese valor y el de la velocidad anterior que era de 5,5 m/s, en el diagrama de velocidad nos da un valor de 4,6 m/s, como pueden verse en el gráfico. Con el valor de esta última velocidad y el caudal de este tramo, podemos calcular el **diámetro del tramo 4-5 que será de 630 mm**.

El ventilador debe ser capaz de mover el aire en el primer tramo. A partir de la primera derivación la recuperación estática contrarresta las pérdidas de carga en los otros tramos. Es decir, las pérdidas por rozamiento en los conductos las compensamos con una disminución de la velocidad del aire. Por Bernoulli sabemos que si hay una disminución de la velocidad en un fluido, aumenta su presión. Este es ni más ni menos el principio en el que nos basamos, por lo que al valor de la presión perdida en el primer tramo, solo habrá que sumar la pérdida de carga de la última rejilla. Por lo tanto:

$$\Delta p = \Delta p_{1-2} + 20 \text{ Pa} = 8,2 \text{ Pa} + 20 \text{ Pa} = 28,2 \text{ Pa} = 2,88 \text{ mm cda}$$

Los gráficos de cálculo son los siguientes:

2. Averigua el salto térmico que se produce en el fancoil a partir de los datos del dibujo, sabiendo que tiene un factor de by-pass de 0,4. Averigua la velocidad del aire en el conducto de 250 mm de diámetro.

La carga térmica de la habitación se ha estimado en 5,59 kW y el aire introducido tiene que eliminar este calor, por lo que:

Estos valores están en el límite superior. El salto térmico es excesivo y la temperatura de salida del aire será baja. No sabemos la temperatura exterior, la humedad, la temperatura interior ni cuál es el caudal de ventilación. No obstante 16 °C es un salto térmico o diferencial de temperaturas elevado y, además de la sensación de temperatura muy baja en el entorno de los difusores, podría haber condensaciones. Respecto a la velocidad del aire, está dentro del margen, aunque en una vivienda como la del esquema, de techos bajos, sería una velocidad que originaría algunas molestias por el ruido.