

Condiciones para alcanzar confort térmico

Podemos definir el confort como un estado de completo bienestar físico, mental y social. Pretendemos que las personas se encuentren bien, no que estén menos mal. El confort, depende de multitud de factores personales y parámetros físicos.

De entre todos los factores, el confort térmico representa el sentirse bien desde el punto de vista del ambiente higrotérmico exterior a la persona. Los límites extremos, desde el punto de vista térmico, pueden resultar dañinos, e incluso mortales, para el ser humano.

Condiciones atmosféricas que afectan al confort humano

Temperatura

El adecuado control de la temperatura del medio ambiente que circunda el cuerpo humano elimina el esfuerzo fisiológico de acomodación, obteniéndose con ellos un mayor confort y la consiguiente mejora del bienestar físico y de las condiciones de salubridad.

Humedad

Una gran parte del calor que posee el cuerpo humano se disipa por evaporación a través de la piel. Como quiera que la evaporación se favorece con la humedad relativa del aire baja y se retarda si ésta es alta, se deduce que la regulación de la humedad tenga una importancia tan vital como la de la temperatura.

Un exceso de humedad no sólo da como resultado reacciones fisiológicas perjudiciales, sino que también afecta (por lo común en forma perjudicial) a las cualidades de muchas de las sustancias contenidas en el lugar de que se trate, y muy particularmente sobre los vestidos y muebles.

Confort térmico y humedad del aire ambiente

Las transferencias sensibles, (radiación, convección, y casualmente conducción) son menores según se eleva la temperatura (figura 1). Entonces, la disipación del calor metabólico, sólo se efectúa por medio de transferencias latentes, más difíciles de controlar cuanto más alta sea la humedad ambiente. Por encima de un cierto nivel de humedad, se produce un fenómeno de incomodidad fisiológica, que puede llegar a manifestarse en forma de sudor. Por lo tanto, en condiciones de verano, el ambiente será más confortable, cuanto más seco sea el aire.

Se puede observar la disipación de calor del cuerpo humano en función de la temperatura en el grafico situado a continuación:

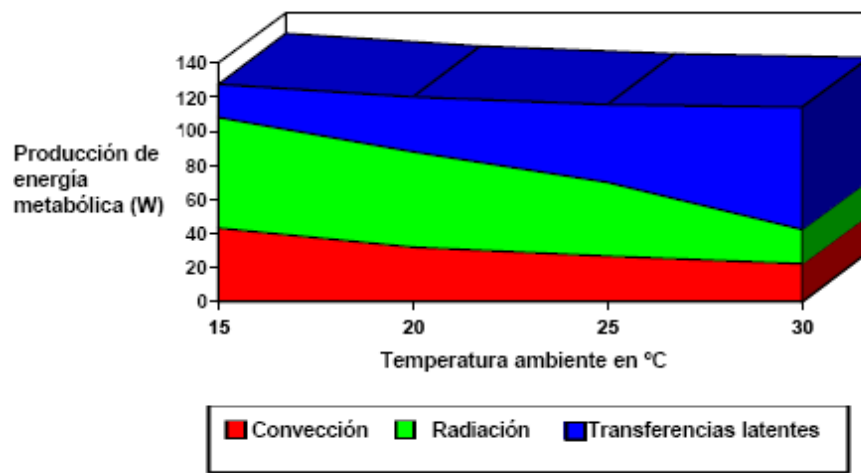


Figura 1. Disipación de calor del cuerpo humano.

Movimiento del Aire

El movimiento del aire sobre el cuerpo humano incrementa la proporción de humedad y calor disipados con respecto a la que correspondería a un aire en reposo, dando ello lugar a que la sensación de calor y frío experimente variación. El aire que nos rodea está en constante movimiento, considerando como valor adecuado los 0,25 m/s a una altura del suelo inferior a 2 m.

Una velocidad mayor produce un efecto desagradable, que se hace difícil de soportar, tanto más cuanto menor sea la temperatura del aire.

Una velocidad inferior a 0,1 m/s produce así mismo una sensación de falta de aire, que ocasiona también molestias.

Pureza del Aire

Las personas respiramos normalmente, alrededor de 15 Kg de aire cada día, por lo que debemos de considerar la importancia que tiene su adecuada limpieza y renovación.

La composición física y química del aire comprende un determinado número de elementos diversos. La disminución de la proporción de oxígeno contenido, así como el aumento del anhídrido carbónico, debido a la combustión fisiológica son factores raramente importantes a causa de la pequeña ventilación que se requiere para anular sus efectos. La dilución de los olores humanos exige una gran ventilación y otros medios de eliminación de olores.

La eliminación de las partículas sólidas, en suspensión en el aire introducido en el recinto, es muy importante no sólo por lo que concierne a la salud, sino también por lo que tienen de molestas, así como por el detrimento que frecuentemente representa la suciedad depositada en los mobiliarios y demás objetos. El humo, ya sea producido en el interior de la habitación, ya en exterior de la misma, debe ser evacuado a causa de lo pernicioso que resulta para la vista y el aparato respiratorio.

Termo-fisiología del cuerpo humano

Condiciones para alcanzar confort térmico

El cuerpo humano se puede considerar como una máquina térmica que intercambia energía con su entorno, en forma de calor y humedad. Se alcanza el confort térmico, sólo si hay equilibrio entre el calor producido por el metabolismo y las diferentes formas de disipación. Estas son:

Transferencias conductivas, por contacto entre el cuerpo y otros sólidos: por ejemplo, los pies con el suelo, o la mano con una mesa. Esas transferencias son de poca importancia, en general.

- Transferencias convectivas: piel, ropa, o circulación de aire en los pulmones.
- Transferencias por radiación desde la piel o la ropa, hacia el entorno.
- Transferencias latentes debido a los procesos de respiración, o evaporación–transpiración.

Criterios de confort

Se considera que existe confort térmico, cuando se dan simultáneamente las dos siguientes condiciones:

Equilibrio térmico global

La producción de calor del cuerpo humano es igual a la emisión de calor hacia el entorno. Con potencias frigoríficas normales y una regulación de temperatura adecuada, la obtención del equilibrio térmico global no presenta dificultad. Este mismo criterio, en la práctica, se usa tanto para la previsión del consumo de energía, como para la verificación formal de las condiciones de confort.

Confort térmico local

El individuo no siente en ninguna parte de su cuerpo, ni calor ni frío desagradable. Las causas de incomodidad (corrientes de aire, efectos de pared, etc.) son múltiples, constituyen el segundo criterio, el cual en la práctica, necesita estudios más profundos.

Balance térmico global

El balance térmico global depende:

- En cuanto a la producción de calor, del metabolismo del ocupante y de la humedad del aire (evaporación más o menos importante en los pulmones);
- En cuanto a la emisión de calor, de la vestimenta, de la temperatura operativa y de la velocidad del aire.

Cuanto menor sea el equilibrio, mayor será el porcentaje previsible de insatisfacción.

Ecuación de confort

La ecuación comúnmente admitida, para la previsión de la sensación térmica global, fue establecida por el Prof. FANGER de la Universidad de Lyngby, en Dinamarca. Este, analizó las sensaciones de confort experimentadas por más de 1.300 sujetos sometidos a diversas condiciones climáticas. Los resultados de estos ensayos, conducen a una expresión matemática, que expresa el PPD (% de insatisfechos), en función, principalmente de:

- El metabolismo expresado en Met,

La producción de calor por parte del ser humano crece en proporción a la intensidad de la actividad que desarrolla.

La unidad de medida del calor metabólico es el met, equivalente a:

$$1 \text{ met} = 58,2 \frac{W}{m^2} \left[= 50 \frac{kcal}{h \cdot m^2} \right]$$

(calor en la unidad de tiempo por metro cuadrado de superficie de cuerpo desnudo).

Tabla 02.2.1- Actividad metabólica		sensible	latente	me
ACTIVIDAD		W	W	
durmiendo		50	25	0,8
tumbado		55	30	0,9
sentado, sin trabajar		65	35	1,1
de pie, relajado		75	55	1,2
paseando		75	70	1,3
andando	a 1,6 km/h	50	110	1,4
	a 3,2 km/h	80	130	2,0
	a 4,8 km/h	110	180	2,2
	a 6,4 km/h	150	270	2,6
bailando moderadamente		90	160	2,1
atlética en gimnasio (hombres)		210	315	5,0
deporte de equipo masculino (valor medio)		290	430	6,0
trabajos:				
	muy ligero, sentado	70	45	1,0
	moderado (en oficinas; valor medio)	75	55	1,1
	sedentario (restaurante, incluidas comidas)	80	80	1,2
	ligera de pie (industria ligera, de compras etc.)	70	90	1,3
	media de pie (trabajos domésticos, tiendas etc.)	80	120	1,4
	manual	80	140	1,5
	ligero (en fábrica; sólo hombres)	110	185	2,0
	pesado (en fábrica; sólo hombres)	170	255	2,6
	muy pesado (en fábrica; sólo hombres)	185	285	2,8

Nota importante: el 55% aproximadamente del calor sensible se emite en forma de calor radiante y como tal debe tratarse para el cálculo de la carga térmica de un local.

- El vestido de los ocupantes, expresado en Clo.

La medida de la resistencia térmica de la vestimenta se expresa en clo, siendo:

$$1 \text{ clo} = 0,155 \frac{m^2 \cdot K}{W} \left[= 0,18 \frac{h \cdot m}{k} \right]$$

Indumentaria	Resistencia térmica de la ropa según ISO 7730	
	m ² .°C / W	Clo
Ropa tropical (short, camisa de cuello abierto, mangas cortas, calcetines finos y sandalias)	0,045	0,3
Ropa ligera de verano (pantalón ligero, camisa de cuello abierto, mangas cortas, calcetines finos y zapatos)	0,08	0,5
Ropa ligera de trabajo (ropa int. ligera, camisa de trabajo de algodón, mangas largas, pantalón de trabajo, calcetines y zapatos)	0,11	0,7
Ropa de interior para invierno (ropa interior, camisa de mangas largas, pantalón de trabajo, calcetines gruesos y zapatos)	0,16	1,0
Ropa de vestir tradicional (ropa interior de algodón con mangas y piernas largas, camisa, traje, chaleco, calcetines de lana)	0,23	1,5

- La temperatura operativa, la cual es función de la temperatura radiante media, de la temperatura del aire y de la velocidad del aire.
- La humedad.

La Figura 2, da, para un PPD del 10%, la temperatura operativa óptima, en función de la actividad, expresada en Met, y del vestido, expresado en Clo. Esta figura indica, en la zona sombreada, los intervalos admisibles en torno a la temperatura operativa, para mantener un PPD inferior al 10%.

Se observa que la temperatura operativa óptima es tanto más baja, cuanto más importantes sean los niveles de actividad y vestido. Pero la indicación más interesante para conceptuar instalaciones, es sin duda, que la tolerancia a la temperatura es tanto menor, cuanto menos importantes sean la actividad y el vestido. Por tanto, es en edificios de oficinas y para condiciones de verano, donde la regulación deberá ser más precisa.

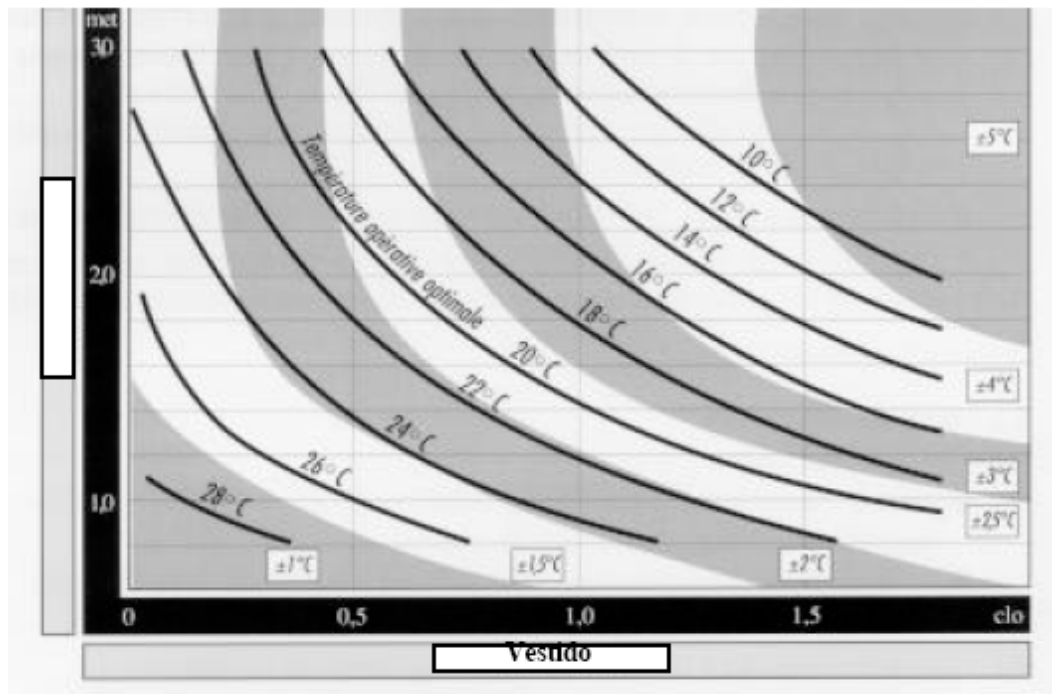


Figura 2. Temperatura operativa óptima en función de la actividad y el vestido

Las pérdidas térmicas del cuerpo humano, se producen por convección, radiación y por los intercambios latentes (evaporación). En verano, como la temperatura ambiente es normalmente mayor, los dos primeros modos de intercambio son menos importantes, y es por tanto importante, que la humedad del aire sea baja, para favorecer el intercambio por evaporación. La deshumidificación, permite a la vez, mejorar el confort y controlar mejor el riesgo de condensación.

Incomodidad local

La ecuación del confort, expresa el equilibrio térmico de los ocupantes. Sin embargo, puede ocurrir que el equilibrio térmico, sólo sea alcanzado como media, quedando partes del cuerpo más calientes, y otras más frías. Se produce entonces, malestar localizado. En consecuencia, es necesario como complemento del equilibrio térmico global, evitar malestar local por calor o frío. Para ello se deben tener en cuenta los criterios expuestos a continuación.

Molestias debidas a corrientes de aire

Investigaciones recientes han demostrado, que a una velocidad media del aire, el malestar aumenta al aumentar las fluctuaciones temporales de velocidad del aire. Las fluctuaciones de velocidad se caracterizan por la intensidad de turbulencia Tu .

Esos trabajos, recogidos en el manual de ASHRAE, y más recientemente en el proyecto de norma europea, han llevado a proponer un índice de molestia DR (Draught Risk), que corresponde al porcentaje previsible de ocupantes sensibles a las corrientes de aire, y en función de la intensidad de turbulencia:

$$DR = (34 - T_a) \cdot (V - 0,05)^{0,62} \cdot (0,37 \cdot V \cdot Tu + 3,14)$$

La intensidad de turbulencia se toma de tablas al respecto. Así, para una temperatura de aire de 20°C y un índice de molestia DR del 20%, la velocidad límite del aire V , será alrededor de 15 cm/s para una difusión de

aire tipo clásico, con una intensidad de turbulencia Tu , igual al 40%. En las mismas condiciones, será 25 cm/s para una ventilación por desplazamiento con intensidad de turbulencia del 20%. Esta ecuación ha sido establecida para corrientes de aire cerca de la cabeza. Para apreciación de confort a la altura de pies o tobillos, se estima que el porcentaje de insatisfechos, es inferior al 5% del resultante de la citada ecuación.

Gradiente de temperatura vertical

Criterio de confort

Una diferencia de temperatura demasiado alta entre la cabeza y los pies, puede causar sensación de incomodidad. Este criterio es particularmente importante en el caso de ventilación por desplazamiento, ya que ese tipo de ventilación conduce a gradientes verticales de temperatura elevados.

Caso de ventilación por desplazamiento

La potencia fría suministrada por el aire de ventilación, es dada por:

$$P = 3,6 \cdot \rho \cdot Cp \cdot Q \cdot \Delta t$$

donde:

Q (m³/h) caudal de renovación de aire,

(kg/m³) densidad del aire,

δT °C diferencia entre temperatura de extracción del aire y temperatura de impulsión,

P (W) potencia de frío

Temperatura del suelo

Si el suelo está demasiado caliente o frío, puede existir sensación de incomodidad en los pies, si la persona lleva calzado ligero. Los rangos de temperatura de suelo recomendados en el proyecto de norma europea, son:

Clase de confort	A	B	C
Rango admisible de temperatura	19-29°C	19-29°C	17-31°C

Aunque este criterio se aplica principalmente a suelos calientes o fríos, conviene tenerlo presente al pensar en techos radiantes. De hecho, los intercambios por radiación entre suelo y techo, son potencialmente susceptibles de llevar al suelo a temperaturas no confortables, especialmente en casos de suelos de gran superficie, de suelos con revestimiento aislante, o en modo frío, si existe a la vez un sistema de ventilación forzada a baja temperatura.

Asimetría de radiación

La asimetría de la radiación, es una causa frecuente de insatisfacción, particularmente en el caso de techos calientes o de paredes acristaladas frías. La normativa (norma ASHRAE y proyecto de norma europea) hace referencia a curvas que dan el porcentaje previsible de insatisfacción, en función de la temperatura asimétrica de radiación, para techo frío, techo caliente, pared fría (ventana) y pared caliente.

Aplicación a los techos climáticos – modo calefacción

Caso particular de techos en modo calefacción

En modo calefacción, las exigencias de confort limitan la potencia emitida por un panel radiante, a valores restrictivos. Hay que recordar que estas especificaciones no tienen carácter absoluto. Es igualmente posible reducir la asimetría de temperatura, mediante ciertas disposiciones. Un revestimiento aislante de suelo es favorable, cuando por influencia del techo calefactor, su temperatura pueda ser más alta. Esto disminuirá la asimetría de temperatura radiante y permitirá mayores potencias. De la misma manera, una solución para mejorar el confort, consiste en disponer los paneles radiantes en las cercanías de las zonas acristaladas. Así se establece una cierta compensación de los efectos radiantes de frío y calor.

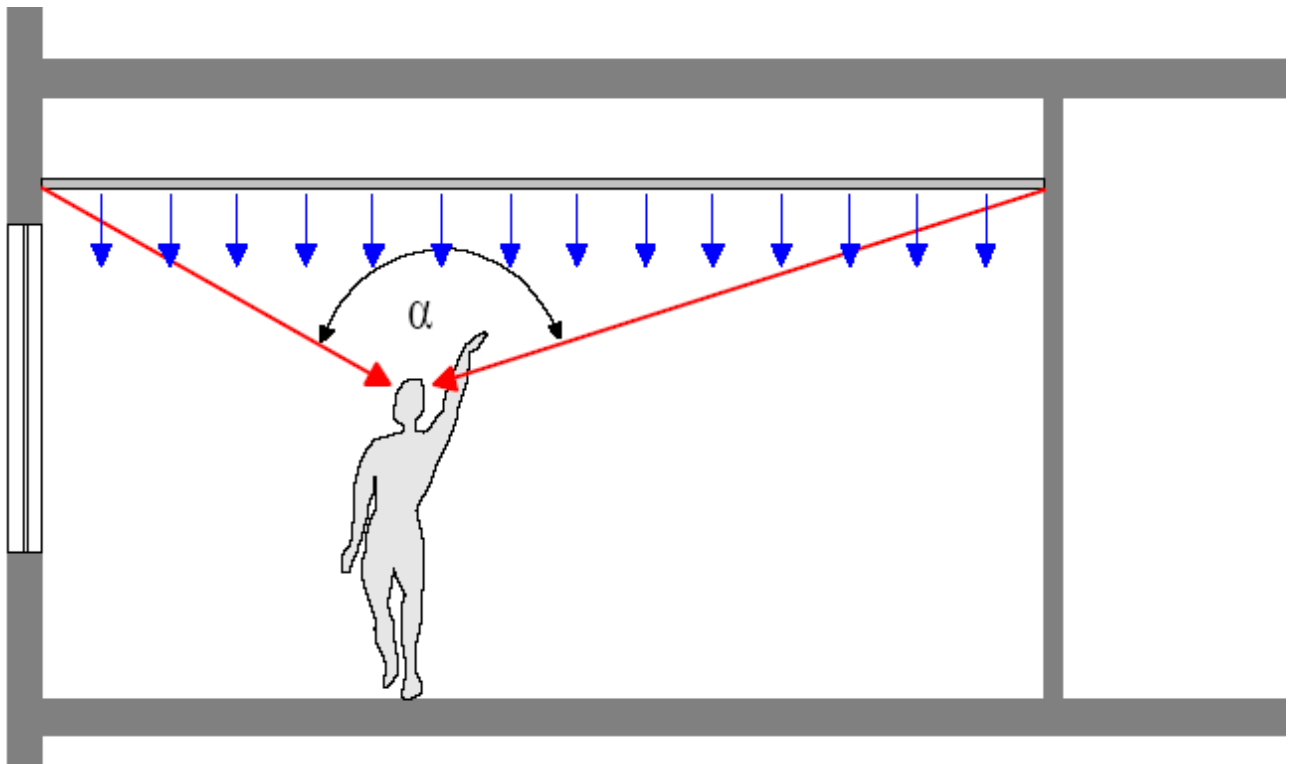


Figura 3. La temperatura máxima admisible del techo es función del ángulo α .

Es determinante para el confort el factor de forma entre el sujeto y el techo. Este factor de forma es función del ángulo α bajo el cual el sujeto ve el techo. Cuanto más bajo y amplio sea el local, más expuesta está la cabeza al calor radiante.

La Figura 4 da las potencias máximas de calefacción para diferentes alturas de techo y longitud de local, suponiendo una profundidad del local de 6 m. Esta figura muestra como la potencia máxima admisible de calefacción aumenta con la altura del local y disminuye cuando su superficie aumenta.

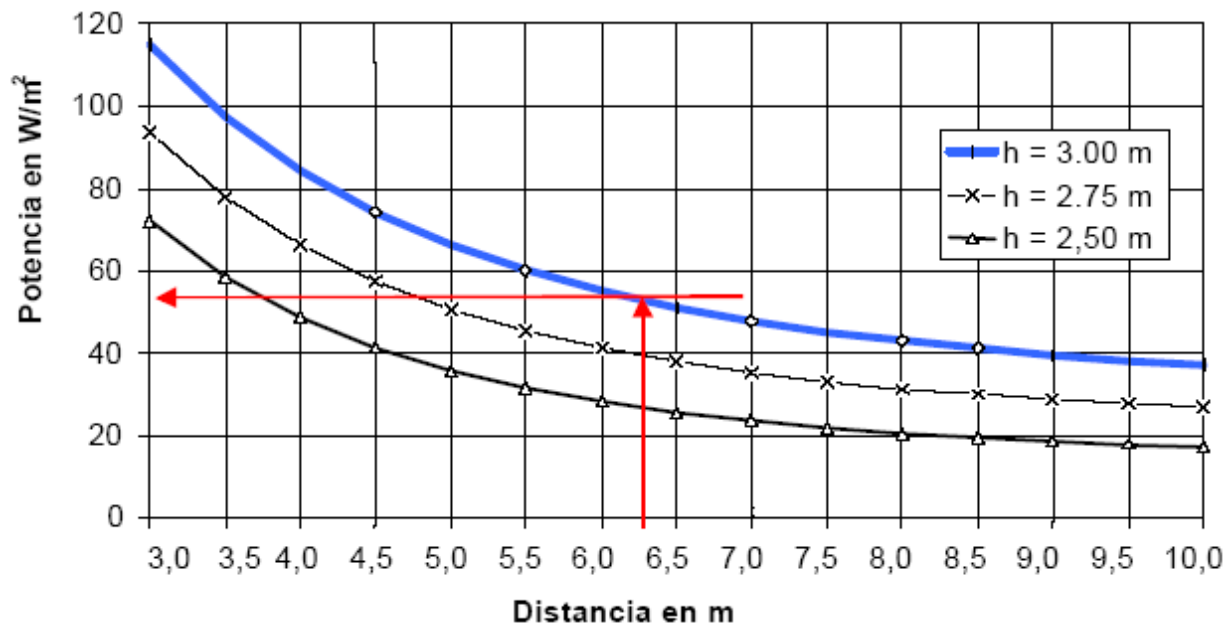


Figura 4. Potencia máxima admisible en calefacción, en función de la longitud del techo calentado y de la altura h del local

Influencia de las ventanas

Para alcanzar el confort, conviene, independientemente del modo de calefacción, tener en cuenta el riesgo de molestia debido a paredes exteriores con aislamiento pobre.

El factor clave, es la pérdida de calor por metro lineal de fachada, pues su valor determina la temperatura media de su superficie y así pues, la velocidad de la corriente convectiva fría a la ventana. Las velocidades de aire son mayores, cuanto más alto sea el local. Para las alturas habituales, (alrededor de 2,80 m), la experiencia demuestra que hasta unos 100 à 150 W/ml, las velocidades de aire se mantienen moderadas y no hay insatisfacción.

En edificios con cristales dobles, las pérdidas son casi siempre inferiores a 150 W/ml de fachada. Si no fuera así, se recomienda, para compensar el efecto de pared fría, instalar elementos de calefacción complementarios sobre la pared en cuestión.

Calidad del aire exterior

Los contaminantes del aire

Los edificios modernos, equipados con fachadas cada vez más estancas al aire, con locales específicos y con instalaciones de aire acondicionado, han modificado de tal manera los términos del problema, que actualmente se ha llegado a usar por convenio, el término Síndrome de Edificios Enfermos, conocido bajo la apelación SBS o Sick Building Syndrome. Entre los factores que dan origen a este síndrome, se destacan aquellos que tienen una relación directa con los sistemas de climatización o con el edificio en sí.

Factores relacionados con la humedad del aire

La humedad es responsable de dos tipos de patologías: las relacionadas con la retención de agua en las instalaciones de distribución de aire, origen de la legionela, y las relacionadas con la humedad del aire interior. Este último es un contaminante muy particular, que puede tener efectos nocivos no solamente sobre

la salud, sino también sobre la sensación de confort y sobre el estado del edificio.

Para evitar deterioros en la edificación (mohos...), la humedad relativa del aire interior (referida a la temperatura interior de la pared), debe mantenerse, como media temporal, por debajo del 85%.

En lo concerniente a la salud, se considera generalmente, que la humedad relativa debe estar dentro de cierto rango (entre 40% y 60%), para evitar afecciones respiratorias tales como la rinitis, y patologías de hiperactividad bronquial (asma), que pueden ser inducidas por la presencia de ácaros, cuya proliferación se incrementa con el aumento de humedad.

Legionela y retenciones de agua en las instalaciones

La Legionela es una enfermedad provocada por un bacilo Gram negativo. Esta bacteria se desarrolla en aguas tibias estancadas; pueden encontrarse aisladas en depósitos de agua dulce, en distribuciones de agua caliente sanitaria e incluso en el agua para beber.

Dentro de los edificios, las fuentes principales de contaminación son los sistemas de aire acondicionado y las redes de agua caliente sanitaria.

El primer foco de Legionela está en los sistemas de aire acondicionado, particularmente en los dispositivos de humidificación del aire y las estaciones aero-refrigerantes. El mecanismo de contaminación es el siguiente: la legionela presente en las gotitas en suspensión en las torres de refrigeración, es transportada por el aire e introducida a través de las rejillas de aspiración de las instalaciones vecinas, si éstas no están equipadas con dispositivos eficaces.

Las redes de agua sanitaria han sido identificadas como una fuente de Legionela, responsable de numerosas patologías. Una encuesta realizada por el Laboratorio de Higiene de la Villa de París, mostró que esta bacteria se desarrolla en instalaciones interiores de inmuebles, donde el estancamiento de agua es importante. La prevención técnica está sencillamente en su principio y consiste en eliminar toda posibilidad de agua estancada. Para ello se citan, como precauciones:

- Recogida de las aguas residuales en canalizaciones cerradas lo más cerca de su origen, con colector directo al alcantarillado. Tratamiento de estos colectores contra la invasión de musgos y algas.
- Inspección periódica y limpieza de pulverizadores y ventiladores.

Materiales de construcción y mobiliario

Los materiales utilizados en mobiliario, revestimientos o construcción, pueden dar lugar a emanaciones de contaminantes químicos, que deberán ser evacuadas por la ventilación. Es esencial reducir las emisiones de contaminantes. Entre ellos, el formaldehído es una causa mayor de insalubridad, dada su presencia en ciertas resinas (madera, contrachapado, pegamentos,...), aún después de varios años de su instalación. Igualmente se deben mencionar los aislantes fibrosos, que dejan escapar polvo de fibra de vidrio, o de lana mineral. En locales específicos, las máquinas (fotocopiadoras, reproductoras de planos,...) emiten frecuentemente ozono, amoníaco, y otros disolventes volátiles perjudiciales a la salud. Tales locales, deben ser clasificados dentro de la categoría de locales con contaminación específica, donde el reciclado de aire queda prohibido.

Efecto del reciclado de aire

El reciclado de aire, consiste en introducir de nuevo en los locales, una parte del aire extraído, y así recuperar energía. Esta práctica, motivada por las crisis de energía, es cuestionada hoy por los especialistas en higiene, ya que a pesar de los filtrados y tratamientos del aire reciclado, ciertos contaminantes, y en especial los contaminantes gaseosos, no pueden ser eliminados. Existe además la contaminación de la superficie interior

de los conductos, especialmente en lugares donde se fuma.

Si se prevé una instalación con reciclaje de aire, conviene respetar un mínimo de disposiciones:

- Prohibir revestimientos que puedan ser fuente de polución y polvo en el aire
- Reservar preferentemente el reciclado para los periodos de no ocupación, dando prioridad a los periodos de todo aire nuevo durante la ocupación de los locales
- Verificar regularmente con mantenimiento, el buen funcionamiento de las compuertas de admisión de aire nuevo
- Prohibir todo reciclaje de aire proveniente de locales de contaminación específica, lo cual significa, que durante la vida del edificio, no deben ser modificados los destinos de los locales, sin tomar precauciones.

Conceptos para asegurar la calidad del aire

Tomas de aire nuevo

Las tomas de aire nuevo, no deben permitir la introducción de aire contaminado. No deben estar situadas ni tan cerca del suelo, que permitan la entrada de gases de escapes, ni demasiado cerca de salidas de aire del edificio o de otro edificio vecino. Las tomas de aire además, deben estar protegidas de la lluvia y de la nieve y diseñadas para evacuar el agua estancada.

En locales específicos, se deben implantar unidades especiales. Estos locales no pueden servir de paso ni de almacén. Para limitar la entrada de aire viciado, se aconseja que tales locales se mantengan con una ligera depresión, respecto a los locales cercanos. Las unidades especiales, que incluirán las puertas de visita, deben presentar las características de estanqueidad al aire, conforme a la norma europea EN 1886.

Humidificación y deshumidificación del aire

Se debe evitar la humidificación del aire en la medida que ello sea posible. La humidificación centralizada puede producir efectos secundarios tales como el desarrollo de ácaros que favorecen patologías asmáticas, la enfermedad del legionario y otras patologías. Para ciertos ambientes o procesos, pueden ser exigidas especificaciones especiales en materia de humedad, que requieran técnicas especialmente adaptadas al caso.

Es oportuno prever una batería de deshumidificación. Conviene también prever un drenaje eficaz, acompañado de un sistema que no permita el paso de gotitas, cuando la velocidad del aire sea superior a 2,5 m/s.

Filtrado del aire

Al reducir la concentración de partículas en el aire, el filtrado protege por un lado a los ocupantes del local climatizado, contra polvos o aerosoles portadores de partículas biológicas, y por otra parte, protege a los equipos contra atascos o contra partículas perjudiciales a su buen funcionamiento.

Las bacterias, lo mismo que las esporas de ciertos hongos, miden menos de un micrómetro y se desplazan con el aire, bien sea transportadas por partículas relativamente gruesas (más de 5 micrones) que producen alergia o son tóxicas, o bien por aerosoles, donde la dimensión no excede, en general, a 1 micrón.

La calidad de un filtrado depende de la elección de filtros, y de su instalación. La estanqueidad lateral, que es

su punto débil, debe ser sometida a una cuidadosa ejecución. Es frecuente que una mala instalación, sea causa de fugas laterales que reduzcan a nada la calidad del filtrado.

Los filtros, según la normativa europea, deben estar protegidos de la humedad proveniente de humidificadores, baterías de frío, lluvia o nieve y filtrado de aire nuevo:

- En 1er lugar, a la entrada del aire
- En 2º lugar, a la salida de las unidades especiales

El aire reciclado es tratado mediante filtros en las mismas tomas. Es de notar que salvo cuando se coloquen absorbentes del tipo carbón activo, esta disposición no protege ni contra las partículas de humo, ni contra los contaminantes gaseosos reciclados.

Materiales y accesibilidad

Los componentes que exigen mantenimiento, deben ser fácilmente accesibles y reemplazables. Lo mismo sirve para los elementos constructivos de las redes de impulsión y extracción, especialmente las baterías de frío y los ventiladores centrífugos. Para ellos deben proveerse aberturas, que permitan la limpieza de las paredes internas del armazón, de manera que se evite el desarrollo de bacterias o musgos.

Los componentes de las instalaciones deben ser de materiales no emisores de contaminantes, y no deben constituir un terreno propicio al desarrollo de microorganismos. Esto concierne particularmente a los conceptos siguientes:

- Materiales fibrosos provenientes, por ejemplo, de silenciadores
- Fuga de contaminantes por filtros mal mantenidos
- Aceites residuales de la fabricación, en conductos de aire
- Paredes internas de los conductos de aire que deben ser lisas, resistentes a la abrasión, y sin zonas con posibilidad de retención de aire.