

NTP 501: Ambiente térmico: inconfort térmico local

Environnement thermique: Inconfort thermique local
Thermal environment: Local thermal discomfort

Vigencia	Actualizada por NTP	Observaciones
Válida	779	Actualizada por la NTP 779
ANÁLISIS		
Criterios legales		Criterios técnicos
Derogados:	Vigentes: Si	Desfasados:
		Operativos: Si

Redactora:

Ana Hernández Calleja
Licenciada en Ciencias Biológicas

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO

Introducción

En el Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. En particular, en su anexo III "Condiciones ambientales de los lugares de trabajo" figuran los requisitos en cuanto a ambiente térmico y ventilación que deben cumplirse en dichos lugares de trabajo. La información incluida en este anexo es una mezcla entre valores cuantitativos más o menos precisos, por ejemplo: "...la temperatura de los locales donde se realicen trabajos sedentarios propios de oficinas o similares estará comprendida entre 17°C y 27°C..." o "...la humedad relativa estará comprendida entre el 30 y el 70 por ciento, excepto en los locales donde existan riesgos por electricidad estática en los que el límite inferior será el 50 por ciento..." y una serie de recomendaciones genéricas cualitativas referentes a la posible incomodidad o molestia de los ocupantes de esos lugares, por ejemplo: "En la medida de lo posible, las condiciones ambientales de los lugares de trabajo no deben constituir una fuente de incomodidad o de molestia para los trabajadores. A tal efecto, deberán evitarse las temperaturas y las humedades extremas, los cambios bruscos de temperatura, las corrientes de aire molestas, los olores desagradables, la irradiación excesiva y, en particular, la radiación solar a través de ventanas, luces o tabiques acristalados".

A continuación se citan algunos de los aspectos que tienen importancia en la evaluación del inconfort térmico local. En los trabajos de P.O. Fanger sobre confort térmico en el conjunto del cuerpo (ver NTP-74), se mencionan dos condiciones que deben cumplirse para que las personas manifiesten satisfacción con el ambiente térmico. En primer lugar, debe cumplirse la ecuación del balance térmico, es decir, debe existir un equilibrio entre la ganancia de calor (ambiental o metabólico) y la eliminación del mismo y, en segundo lugar, y dado que el cumplimiento de la ecuación del balance térmico no es suficiente para conseguir el confort térmico, la temperatura de la piel y la cantidad de sudor evaporado deben estar comprendidas entre ciertos límites. Cuando se cumplen estas dos condiciones, un individuo puede manifestar su satisfacción con el ambiente térmico para el conjunto de su cuerpo. No obstante, todavía existe una tercera condición para obtener confort térmico, y es que no exista inconfort térmico local. Este inconfort ocurre cuando una persona, que expresa confort en el conjunto de su cuerpo, puede sentirse inconfortable térmicamente si alguna parte de su cuerpo está, por ejemplo, fría y otra caliente.

Este inconfort puede estar causado por:

- Corrientes de aire.
- Asimetría de planos radiantes.
- Contacto con superficies frías o calientes.
- Diferencias verticales de temperatura.

El objetivo de esta Nota Técnica es proporcionar información sobre los aspectos termoambientales que pueden provocar inconfort térmico local, así como sobre los estudios experimentales que han proporcionado los valores recomendables para mantener el porcentaje de insatisfechos por debajo de unos determinados límites.

Estos valores están recogidos en distintas normas nacionales e internacionales, por ejemplo: la Norma UNE-EN-ISO 7730/1996, "Ambientes térmicos moderados" o en el borrador de norma europea PrENV-1752/1997 "Ventilation for buildings. Design criteria for the indoor environment". La primera está incluida en la Instrucción Técnica Complementaria ITE 02.2.1 "Bienestar térmico", del Reglamento de Instalaciones térmicas en los edificios (Real Decreto 1751/1998, de 31 de julio), por lo que forma parte de la legislación vigente en

nuestro país.

Corrientes de aire

Una corriente de aire se define como un enfriamiento localizado del cuerpo causado por el movimiento del aire. Las corrientes de aire han sido identificadas como uno de los factores ambientales más molestos en los lugares de trabajo en general y como el más molesto en las oficinas. En ocasiones, este hecho lleva a los ocupantes de un espacio a cerrar los difusores del aire e incluso a parar el sistema de ventilación.

En lugares con calefacción, pero que no tienen sistemas mecánicos de ventilación, las molestias pueden ser debidas a las corrientes convectivas que se forman a lo largo de las ventanas u otras superficies frías.

El flujo de aire en un local es normalmente turbulento y la velocidad fluctúa al azar. La intensidad de la turbulencia es función de la velocidad media del aire y de la desviación estándar de la velocidad de fluctuación. La percepción de una corriente de aire depende de:

- La velocidad del aire.
- El grado de turbulencia del aire.
- La temperatura del aire.
- El área del cuerpo expuesta.
- El estado térmico de la persona, por ejemplo: una persona calurosa percibe la corriente como una brisa agradable, mientras que una friolera la percibe como corriente molesta.

Fanger y su equipo realizaron una serie de experimentos en cámaras climáticas en las que 150 personas fueron expuestas a temperaturas del aire que oscilaban entre los 20°C y 26°C, a velocidades medias del aire entre 0,05 y 0,4 m/s y a unas intensidades de turbulencia que oscilaban entre el 0% y el 70%. Las personas participantes mantenían una actividad ligera, sedentaria y se mantenían próximos a la neutralidad térmica para el conjunto del cuerpo modificando su indumentaria.

De las experiencias se obtuvo el índice DR (del inglés Draught Risk) que expresa el porcentaje de insatisfechos por corrientes de aire. Este índice es función de la temperatura y del movimiento del aire, que está definido por la velocidad media del aire y la intensidad de la turbulencia.

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

DR= Es la molestia por corrientes de aire, es decir, el porcentaje de la población insatisfecha por las corrientes de aire.

t_a = Es la temperatura del aire (°C).

v = Es la velocidad media local del aire (m/s).

Tu = Es la intensidad de turbulencia, en tanto por ciento, definida como la relación entre la desviación estándar de la velocidad instantánea del aire y la velocidad media del aire.

En la figura 1 se muestra la gráfica de la velocidad media del aire permitida en función de la temperatura del aire y de la turbulencia, para un índice DR de molestia por corrientes de aire de un 15% de insatisfechos. La figura es aplicable a actividades ligeras, esencialmente sedentarias ($70 \text{ W/m}^2 = 1,2 \text{ met} = 110 \text{ kcal/hora}$).

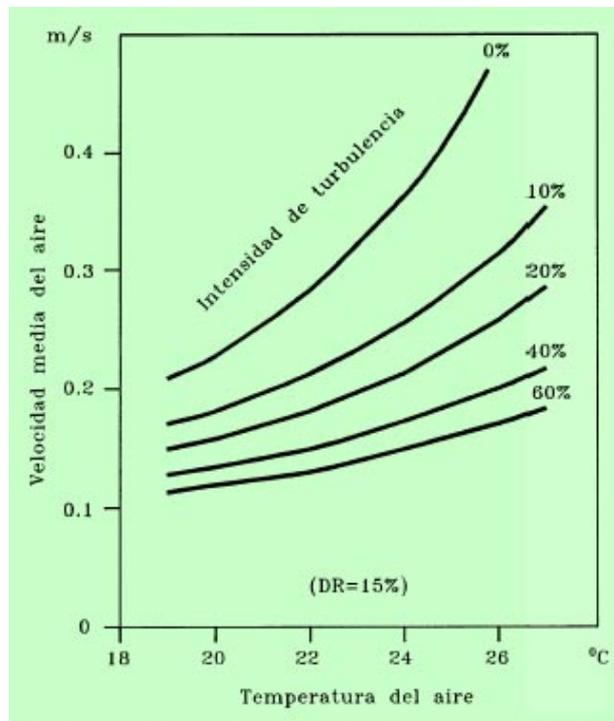


Fig. 1: Velocidad del aire permitida en función de la temperatura del aire y de la intensidad de la turbulencia

A modo de conclusión:

- Para una misma temperatura y velocidad media del aire, un flujo de aire con una intensidad de turbulencia alta es percibido como una corriente de aire por más personas que un flujo de aire con una intensidad de turbulencia baja.
- Las personas son más sensibles a las corrientes de aire que llegan por detrás en la zona de la cabeza, nuca y hombros, y en los tobillos.
- Las personas con tareas que precisan una mayor actividad física son menos sensibles a las corrientes de aire que las que desarrollan trabajos de tipo sedentario.
- Una forma de paliar los problemas por corrientes de aire consistiría en la utilización de sistemas de ventilación cuya distribución del aire creara flujos de aire menos turbulentos, por ejemplo, los sistemas por desplazamiento de aire.

Asimetría de planos radiantes

La asimetría de planos radiantes o, lo que es lo mismo, una distribución no uniforme de la transferencia de calor por radiación puede estar causada por la existencia de grandes superficies frías o calientes, por ejemplo: ventanas, paredes frías, techos calientes y por la presencia de productos o maquinaria fría o caliente. En edificios de tipo no industrial, por ejemplo, oficinas o domicilios, las causas más frecuentes de este fenómeno son la existencia de ventanas frías o techos calientes.

La temperatura radiante media describe el intercambio de calor por radiación entre el cuerpo y las superficies que lo rodean (planos anterior y posterior, superior e inferior y planos derecho e izquierdo). La asimetría de planos radiantes describe la diferencia de temperatura radiante entre dos planos; por ejemplo, derecha e izquierda o superior e inferior.

Para determinar la relación entre la asimetría de la temperatura radiante y la insatisfacción, se realizaron una serie de experiencias en cámaras climáticas. En estas cámaras, las personas participantes se encontraban sentadas, con un vestido estándar de 0,6 clo (del inglés clothes, 1 clo = 0,155 m² · °C/W) y estaban expuestos a planos horizontales calientes por encima de la cabeza y a planos verticales laterales fríos. La temperatura de esos planos se iba modificando a lo largo de la experiencia, con lo que la asimetría fue aumentada o disminuida, mientras que el resto de los planos se mantenía a temperatura constante. Ya que estos cambios alteraban el valor de la temperatura radiante media y, por lo tanto, el grado de confort general, se adecuó el resto de parámetros para mantener la neutralidad térmica del conjunto del cuerpo, una de las opciones consistía en modificar la temperatura del aire.

Las personas sometidas a estas experiencias daban la opinión subjetiva sobre su sensación de confort respecto a los planos radiantes. De estas opiniones se estableció la relación entre la asimetría de planos radiantes y el porcentaje de insatisfechos. En la figura 2 se muestran las gráficas en las que se relacionan estos dos aspectos y de ellas se desprende que las personas son más sensibles a la asimetría de planos horizontales calientes por encima de la cabeza que a los planos verticales laterales fríos. En el primero de los casos, a una diferencia de temperatura radiante de 5°C, le corresponde un 7% de insatisfechos, mientras que en el segundo de los casos, se precisa una diferencia de 10°C para obtener un porcentaje de insatisfechos del 5%. Al analizar el resto de posibilidades, se observa que cuando se trata de planos horizontales fríos por encima de la cabeza, para obtener un 7% de insatisfechos, la diferencia de temperatura radiante debe ser de 15°C; si se trata de planos verticales calientes, la diferencia de temperatura radiante ha de ser de 25°C para tener un 5% de insatisfechos.

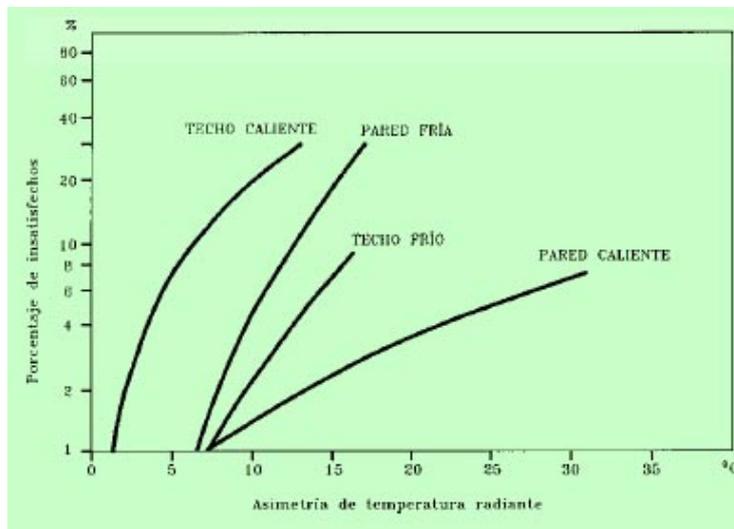


Fig. 2: Porcentaje de insatisfechos en función de la asimetría de la temperatura de radiación

Diferencia vertical de temperaturas

En muchos espacios la temperatura del aire no es uniforme desde el suelo al techo, normalmente aumenta con la altura. Si ese gradiente es suficientemente grande, puede aparecer el incomfort localizado, por ejemplo, el que se produce al tener los pies fríos y/o la cabeza caliente, aunque se mantenga el confort para el conjunto del cuerpo.

Experimentos realizados en la cámara climática con individuos que realizaban una actividad ligera, en confort térmico para el conjunto del cuerpo y sometidos a diferentes gradientes de temperatura entre los tobillos y la cabeza, permitieron obtener la relación entre esos gradientes y el porcentaje de insatisfechos. De la figura 3 se desprende que cuando el gradiente es de 3°C, el porcentaje de insatisfechos es de un 5%. Las personas que desarrollan una actividad física mayor son menos sensitivas y al parecer toleran gradientes de temperatura superiores, aunque no existan datos experimentales que confirmen tal hipótesis.

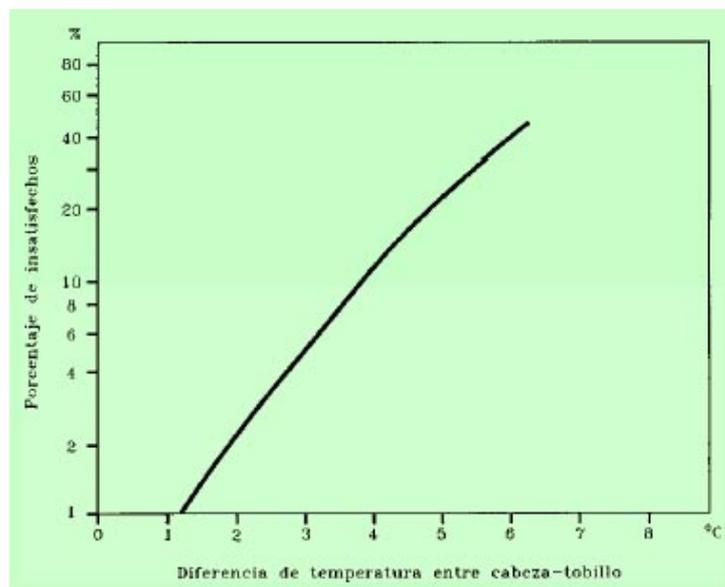


Fig. 3: Porcentaje de insatisfechos en función de la diferencia vertical de temperatura entre los tobillos (0,1 m) y la cabeza (1,1 m en posición sentado y 1,7 m de pie)

Suelos calientes o fríos

Debido al contacto directo de los pies con el suelo, el incomfort local puede estar causado por suelos que se encuentran a temperaturas muy bajas o muy altas. La temperatura del suelo tiene una influencia significativa en la temperatura radiante media y, por tanto, en el confort térmico del conjunto del cuerpo y está influenciada por el tipo de construcción, por ejemplo, si el edificio está construido directamente sobre la tierra, sobre una bodega o sótano, sobre otra habitación o si la calefacción existente llega a través del suelo.

Diversos estudios realizados con personas descalzas sobre suelos de diferentes materiales permitieron determinar el rango idóneo de temperaturas, en la tabla 1 se muestran los intervalos de temperatura recomendados para distintos tipos de materiales.

En los estudios realizados con personas calzadas se observó que la temperatura del suelo tenía una importancia menor; se obtuvieron temperaturas del suelo óptimas: para trabajos de tipo sedentario, 25°C y para personas de pie o andando, 23°C.

En la figura 4, en la que se han incluido los resultados de las experiencias realizadas con personas descalzas y calzadas, se muestra la

gráfica en la que se relaciona el porcentaje de insatisfechos con la temperatura del suelo. De la gráfica se desprende que a la temperatura óptima de 24°C, un 6% se mostrará insatisfecho.

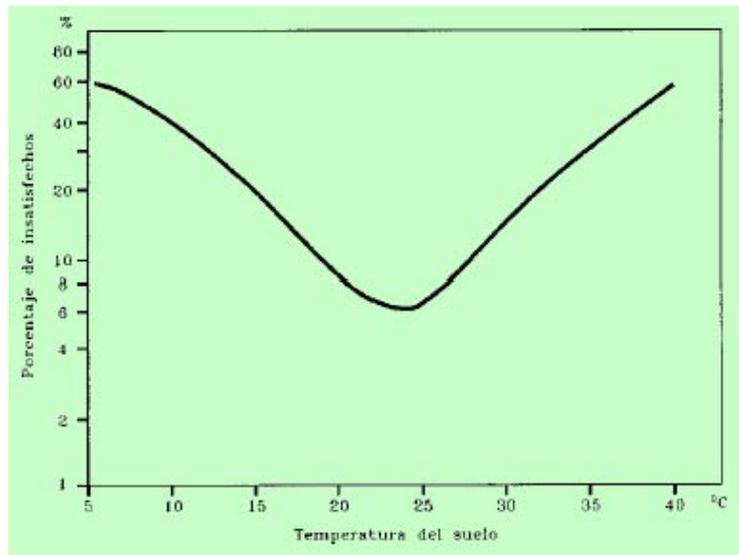


Fig. 4: Porcentaje de insatisfechos en función de la temperatura del suelo

Tabla 1. Temperaturas de confort del suelo para personas descalzas

MATERIAL DEL SUELO	TEMPERATURA DEL SUELO ÓPTIMA		INTERVALO RECOMENDADO DE TEMPERATURAS
	OCUPACIÓN 1 MINUTO	OCUPACIÓN 10 MINUTOS	
Textiles	21	24,5	21-28
Corcho	24	26	23-28
Madera (pino)	25	26	22,5-28
Madera (roble)	26	26	24,5-28
PVC	28	27	25,5-28
Linóleo	28	26	24-28
Cemento	28,5	27	26-28,5
Mármol	30	29	28-29,5

Valores de referencia

En el Real Decreto 486/1997 se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. En particular, en su anexo III "Condiciones ambientales de los lugares de trabajo" figuran los requisitos en cuanto a ambiente térmico que deben cumplirse en dichos lugares de trabajo y que son los siguientes:

- La temperatura de los locales donde se realicen trabajos sedentarios propios de oficinas o similares estará comprendida entre 17 y 27 °C. La temperatura de los locales donde se realicen trabajos ligeros estará comprendida entre 14 y 25 °C.
- La humedad relativa estará comprendida entre el 30 y el 70%, excepto en los locales donde existan riesgos por electricidad estática en los que el límite inferior será el 50%.

Los trabajadores no deberán estar expuestos de forma frecuente o continuada a corrientes de aire cuya velocidad exceda los siguientes límites: 0,25 m/s para trabajos en ambientes no calurosos; 0,5 m/s para trabajos sedentarios en ambientes calurosos y 0,75 m/s para trabajos no sedentarios en ambientes calurosos. Estos límites no se aplicarán a las corrientes de aire expresamente utilizadas para evitar el estrés en exposiciones intensas al calor, ni a las corrientes de aire acondicionado, para las que el límite será de 0,25 m/s en el caso de trabajos sedentarios y de 0,35 m/s en los demás casos.

En el anexo informativo D de la norma UNE-EN-ISO 7730/1996, se incluyen los requisitos recomendados para el bienestar térmico, tanto los relativos al bienestar general como al inconfort térmico local.

Bienestar general

Se considera como aceptable que el PPD (Porcentaje Estimado de Insatisfechos, del inglés Predicted Percentage of Dissatisfied) sea inferior al 10%. Esto corresponde a un PMV (Voto Medio Estimado, del inglés Predicted Mean Vote) que oscile entre los valores -0,5 y

0,5. Es conveniente recordar que un PMV igual a 0, es decir, neutralidad térmica, supone un PPD del 5%.

A título de ejemplo, en la figura 5 aparecen límites de bienestar para distintas temperaturas operativas en función de la actividad física y de la ropa. Las áreas sombreadas indican la zona de bienestar más-menos un incremento de temperatura ($\pm\delta t$) alrededor de la temperatura óptima, en el interior de la cual se cumple que el PMV está comprendido entre -0,5 y 0,5.

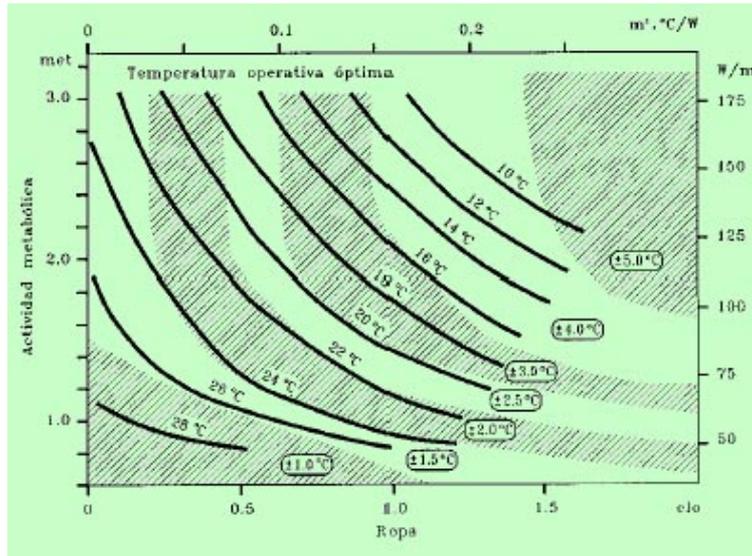


Fig. 5: Temperatura operativa óptima (correspondiente a un PMV = 0) en función de la actividad y de la ropa

La temperatura operativa (t_o) es la temperatura uniforme de un recinto radiante negro en el cual un ocupante intercambiaría la misma cantidad de calor por radiación y convección que en el ambiente no uniforme real. En la mayor parte de los casos prácticos, si la velocidad relativa del aire (v_{ra}) es baja ($< 0,2$ m/s), o si la diferencia entre la temperatura radiante media (t_{rm}) y la temperatura del aire (t_a) es pequeña ($< 4^\circ\text{C}$), la temperatura operativa puede calcularse, con suficiente aproximación, como el valor medio de t_a y t_{rm} . Para obtener una precisión mayor, puede adoptarse la siguiente fórmula

$$t_o = A \times t_a + (1 - A) \times t_{rm}$$

El valor de A es función de la velocidad relativa del aire:

v_{ra}	$< 0,2$ m/s	0,2 y 0,6 m/s	0,6 y 1 m/s
A	0,5	0,6	0,7

La temperatura operativa es el parámetro utilizado cuando el índice PMV se obtiene de las tablas del anexo C (normativo) de la Norma UNE-EN-ISO 7730, para distintas combinaciones de actividad metabólica, ropa, temperatura operativa y velocidad relativa del aire.

Inconfort térmico local

Actividad ligera, esencialmente sedentaria en condiciones invernales (período de calefacción)

- La temperatura operativa debe mantenerse entre los 20°C y los 24°C ($22 \pm 2^\circ\text{C}$).
- La diferencia vertical de temperatura del aire entre 1,1 m y 0,1 m sobre el suelo (nivel de la cabeza y nivel de los tobillos) debe ser inferior a 3°C .
- La temperatura superficial del suelo debe estar normalmente comprendida entre 19°C y 26°C , pero los sistemas de calefacción del suelo deben estar concebidos para mantenerlos a 29°C .
- La velocidad media del aire debe ser inferior a la especificada en la figura 1 para obtener un 15% de insatisfechos por corrientes de aire.
- La asimetría de la temperatura de radiación en ventanas y otras superficies verticales frías debe ser inferior a 5°C (relativa a un pequeño plano horizontal situado a 0,6 m sobre el suelo).
- La asimetría de la temperatura de radiación debida a un techo ligeramente caliente debe ser inferior a 10°C (relativa a un pequeño plano horizontal situado a 0,6 m sobre el suelo).
- La humedad relativa debe permanecer entre el 30% y el 70%.

Actividad ligera, esencialmente sedentaria en condiciones estivales (período de refrigeración)

- La temperatura operativa debe mantenerse entre los 23°C y los 26°C (24,5 ±1,5°C).
- La diferencia vertical de temperatura del aire entre 1,1 m y 0,1 m sobre el suelo (nivel de la cabeza y nivel de los tobillos) debe ser inferior a 3°C.
- La velocidad media del aire debe ser inferior a la especificada en la figura 1 para obtener un 15% de insatisfechos por corrientes de aire.
- La humedad relativa debe permanecer entre el 30% y el 70%.

Bibliografía

(1) MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES

Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, (BOE de 23 de abril de 1997) por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.

(2) MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA

Real Decreto 1751/1998, de 31 de julio, (BOE de 5 de agosto de 1998), por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE).

(3) AENOR

Norma Española UNE-EN-ISO 7730, de julio de 1996. Ambientes térmicos moderados. Determinación de los índices PMV y PPD y especificaciones de las condiciones para el bienestar térmico.

(4) ISO

Norma ISO 7726 Thermal environments. Specifications relating to appliances and methods for measuring physical characteristics of the environment.

(5) P.O. FANGER

Thermal Comfort

Mc Graw Hill, New York, 1972

(6) CASTEJÓN, E.

NTP nº 74. Confort térmico. Método Fanger para su evaluación
Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo, 1983.

(7) OLESEN, B. W.

Thermal Comfort

Nærum, Denmark, Brüel & Kjær, Technical review nº 2, 1982.

(8) OLESEN, B. W.

Local thermal discomfort

Nærum, Denmark, Brüel & Kjær, Technical review nº 1, 1985.

(9) MELIKOV, A. K.

Quantifying Draught Risk

Nærum, Denmark, Brüel & Kjær, Technical review nº 2, 1988.

(10) MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES. INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO

Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de los lugares de trabajo

Madrid, INSHT, 1999.