

1.-DEFINICION DEL BIENESTAR TÉRMICO

El bienestar térmico es el grado de confort térmico que es valorado satisfactoriamente por un conjunto mayoritario de usuarios cuando se cumplen unas condiciones ambientales determinadas.

Éste concepto es utilizado para valorar ambientes y actividades moderadas, esto es, puestos de trabajo en interior y de actividad sedentaria, y especialmente para usuarios de pantallas de visualización de datos.

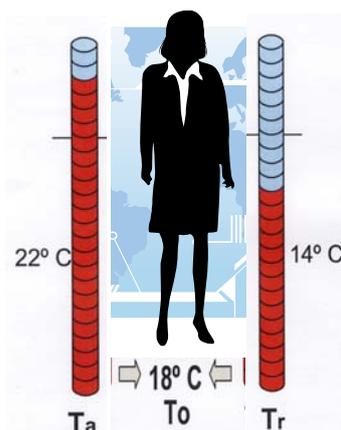
Representa un nivel superior al equilibrio térmico, el cual se produce cuando la temperatura corporal producida y la pérdida son iguales.

El bienestar térmico tiene un componente subjetivo y otro objetivo, por ello en su valoración hay que considerar desde el principio éstos aspectos:

- ✚ Recoger el grado de satisfacción de los ocupantes de los edificios o locales de trabajo, integrándolo en los métodos usados de evaluación.
- ✚ Y utilizar una metodología que incluya la magnitud de la temperatura operativa y las variables vinculadas a ésta: temperatura del aire o seca, temperatura radiante media, humedad relativa, velocidad relativa del aire, aislamiento del vestido y la actividad metabólica del individuo.

2.-DEFINICIÓN DE TEMPERATURA OPERATIVA

La temperatura operativa es la temperatura uniforme de un recinto negro imaginario en el que un ocupante intercambiaría la misma cantidad total de energía por radiación y convección en el ambiente, que en el local real no uniforme.



La temperatura operativa es una ponderación de la temperatura radiante media de los cerramientos del local y la temperatura seca del aire, considerando que ambas contribuyen a la temperatura ambiental con sus coeficientes de transferencia de calor radiante y convectivo.

Esta magnitud mide las condiciones ambientales que determinan la temperatura en las que el cuerpo humano elimina calor por convección y por radiación, para garantizar un grado mínimo de bienestar térmico.

Su expresión es la siguiente, de acuerdo con la norma UNE-EN-ISO 7726:2002.Ergonomía en ambientes térmicos. Instrumentos de medida de las magnitudes física.

$$t_o = \frac{h_c \cdot t_a + h_r \cdot \bar{t}_r}{h_c + h_r}$$

- t_o es la temperatura operativa
- t_a es la temperatura del aire
- \bar{t}_r es la temperatura radiante media
- h_r es el coeficiente de intercambio de calor por radiación
- h_c es el coeficiente de intercambio de calor por convección

Los parámetros que en la actualidad son utilizados en las normas reglamentarias de edificación y diseño, en las normas técnicas estandarizadas sobre confort térmico, Guías del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene y métodos de evaluación, son las que relacionan el concepto de temperatura operativa con el porcentaje de insatisfechos en esas condiciones determinadas.

Por lo que a efectos de evaluar el bienestar térmico en un ambiente laboral tendremos que realizar los pasos siguientes:

- 1.- Calcular la temperatura operativa (t_o en adelante).

Para ello hay que obtener una serie de parámetros ambientales previos: temperatura del globo, temperatura radiante media, temperatura del aire, velocidad relativa del aire.

- 2.-Determinar el porcentaje de insatisfechos (PPD en adelante) de acuerdo con la normativa técnica aplicable.

- 3.- Comparar los valores obtenidos de t_o y PPD con los rangos establecidos en la normativa reglamentaria y técnica.

3.-MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA OPERATIVA

3.1. Medición directa de la temperatura operativa (t_o).

Para obtener directamente la t_o , es necesario un equipo dotado con un transductor de t_o , el cual debería tener el mismo coeficiente de pérdida de calor por radiación y convección que una persona. Por lo que empleando la fórmula para calcular el coeficiente de pérdida de calor por convección h_c (UNE 7730:2006) es posible estimar el diámetro adecuado del sensor que tenga la misma relación h_c/h_r que una persona.

El diámetro óptimo (aunque dependería de la velocidad del aire) sería el que estaría entre 4cm a 10cm. Un termómetro de globo estándar de 16 cm de diámetro sobrestimaría la temperatura radiante media.

En cuanto a la forma del sensor, es recomendable que sea elipsoide y de color gris, y con el mismo factor de absorción (emisividad) para la radiación de onda corta y larga.

Éste es el caso del instrumental que aparece en la foto siguiente, el cual calcula la t_o directamente, y en función de ésta proporciona el PPD.



Fuente Delta Ohm

3.2. Medición indirecta de la temperatura operativa (t_o).

Si no tenemos el equipo anterior la t_o se obtiene indirectamente a través del equipo que mide el índice del globo húmedo para el control del estrés térmico (WBGT).

Mediante éste obtendríamos los valores de la t_a , y t_g (temperatura de globo). Con ellos, y la fórmula adecuada se habría de calcular la \bar{t}_r según las indicaciones del apartado cuatro. Y después según el apartado cinco la t_o .



4.-CÁLCULO DE LA TEMPERATURA RADIANTE MEDIA

La temperatura radiante media (\bar{t}_r) de un ambiente se define como la temperatura uniforme de un local negro imaginario que produzca la misma pérdida de calor por radiación en las personas como el local real.

Y ésta es su fórmula:

$$\bar{t}_r = \sqrt[4]{t_g^4 + \frac{h_{cg}}{\varepsilon_g \cdot \sigma} (t_g - t_a)}$$

Para calcularla, utilizaremos un termómetro de globo con el que primero obtendremos la t_g y t_a . Y a partir de éstas magnitudes aplicar una de las fórmulas siguientes:

4.1. Una fórmula sencilla, usada de forma habitual y recomendada en publicaciones técnicas:

$$\bar{t}_r = t_g + 1,9 \sqrt{v_a} \cdot (t_g - t_a)$$

4.2. Las formulas recogidas en la norma UNE-EN ISO 7726:2002. Ergonomía en ambientes térmicos.

En ésta se recogen cuatro fórmulas, dependiendo en cada caso, si el trabajador está expuesto a convección natural o forzada, y el tipo de termómetro de globo utilizado.

4.2.1.-Usando un termómetro de globo estandarizado (150mm de diámetro) las fórmulas que se podrían aplicar en función de cual sea el coeficiente más alto en la pérdida de calor son:

1.a. En convección natural:

$$\bar{t}_r = \left[(t_g + 273)^4 + 0,4 \cdot 10^8 \left| t_g - t_a \right|^{\frac{1}{4}} \cdot (t_g - t_a) \right]^{\frac{1}{4}} - 273$$

1.b. En convección forzada:

$$\bar{t}_r = \left[(t_g + 273)^4 + 2,5 \cdot 10^8 \cdot v_a^{0,6} \cdot (t_g - t_a) \right]^{\frac{1}{4}} - 273$$

4.2.2-Usando un termómetro de globo no estandarizado las fórmulas que se podrían aplicar en función de cual sea el coeficiente más alto en la pérdida de calor son:

1. a. En convección natural:

$$\bar{t}_r = \left[(t_g + 273)^4 + \frac{0,25 \cdot 10^8}{\varepsilon_g} \left(\frac{t_g - t_a}{D} \right)^{\frac{1}{4}} \cdot (t_g - t_a) \right]^{\frac{1}{4}} - 273$$

- ϵ_g : emisividad del globo negro
- D : diámetro del globo en metros

1. b En convección forzada:

$$\bar{t}_r = \left[(t_g + 273)^4 + \frac{1,1 \times 10^8 \times v_a^{0,6}}{\epsilon_g \times D^{0,4}} \times (t_g - t_a) \right]^{\frac{1}{4}} - 273$$

5.-CÁLCULO DE TEMPERATURA OPERATIVA

5.1 La ecuación de la temperatura operativa(t_o) es la siguiente :

$$t_o = \frac{h_c \cdot t_a + h_r \cdot \bar{t}_r}{h_c + h_r}$$

5.2. En la práctica en la mayoría de los casos, si la velocidad relativa del aire es inferior a 0,2m/s que es lo normal en trabajos sedentarios, o la diferencia entre la temperatura del aire y la radiante media es inferior a 4°C se puede aplicar la media aritmética de la temperatura radiante y la del aire, ya que en éstos casos el cuerpo humano eliminaría calor por convección y radiación a partes casi iguales.

$$t_o = \frac{\bar{t}_r + t_a}{2}$$

5.3. Para una mayor precisión y en otros ambientes, puede emplearse la siguiente expresión:

$$t_o = A \cdot t_a + (1 - A) \cdot \bar{t}_r$$

Donde el valor de A puede calcularse a partir de la velocidad relativa del aire, V_{ar}^* en m/s, según los valores de cálculo establecidos en la norma UNE-EN ISO 7730:2006:

- Para $M > 1 \text{ met}$, la velocidad relativa causada por el movimiento del cuerpo es $0.3 (M-1)$

$$V_{ar} = v_a + 0.3(M - 1)$$

- Y para $M < 1$, esta velocidad es 0.

$$V_{ar} = v_a + 0$$

v_{ar}	< 0,2	0,2 a 0,6	0,6 a 10
A	0,5	0,6	0,7

V_{ar}^* : Es la suma de la velocidad del aire respecto del cuerpo que se mantenga quieto y la velocidad del movimiento del cuerpo respecto al aire quieto

6.-NORMATIVA DE REFERENCIA Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN

6.6. NORMA UNE-EN 7730:2006. ERGONOMÍA EN AMBIENTES TÉRMICOS

La norma UNE-EN ISO 7730:2006. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local, establece el procedimiento de evaluación de ambientes térmicos moderados.

En esta norma, que se basa en el método FANGER, se vincula la t_o con el voto medio estimado (PMV) y con el porcentaje estimado de insatisfechos (PPD).

El porcentaje estimado de insatisfechos (PPD) es la predicción cuantitativa del porcentaje personas que se sentirían insatisfechas por notar demasiado frío o demasiado calor. Y el PMV predice el valor medio de los votos sobre la sensación térmica que emitiría un grupo de personas sometidas al mismo ambiente.

Las sensaciones térmicas que se pueden sentir se refleja en una escala de siete niveles.

-3 Muy frío
-2 Frío
-1 Ligeramente frío
0 Neutro(confortable)
+1 Ligeramente caluroso
+2 Caluroso
+3 Muy Caluroso

Los votos se distribuyen de tal forma que para una sensación térmica neutra (PMV de 0), existirá un 5% de PPD. Se considera recomendable no superar un PPD de hasta un 10%, que se correspondería con un PMV de - 0.5 a +0.5.

En el Anexo E de la norma se establecen las tablas para la determinación del voto medio estimado (PMV) en función de las variables siguientes:

- ✚ t_o : Temperatura operativa
- ✚ PMV: Voto medio previsto
- ✚ M : producción de energía metabólica, en W/m^2 . Para actividades con nivel de actividad ligera y sentado la Tabla a utilizar es la E.3-Nivel de actividad: 69.6 W/m^2 (1.2met) de la UNE-EN ISO 7730:2006.
- ✚ *Aislamiento de la vestimenta*: resistencia de la ropa. En verano es 0.5 clo y en invierno es 1 clo.
- ✚ H_r : Humedad relativa del aire. Que se estima en un 50%.
- ✚ V_{ar} : Velocidad relativa del aire.

En función de la actividad metabólica se elije la tabla correspondiente. En ella se selecciona el aislamiento de la vestimenta (clo) según la época del año, la t_o , la V_{ar} , y finalmente obtenemos el PMV.

Vestimenta Clo ¹	Temperatura operativa °C	Velocidad relativa del aire m/s								
		< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,0	
0,5	16	-2,01	-2,01	-2,17	-2,38	-2,70				
	20	-1,41	-1,41	-1,58	-1,76	-2,04	-2,25	-2,42		
	22	-0,79	-0,79	-0,97	-1,13	-1,36	-1,54	-1,69	-2,17	
	24	-0,17	-0,20	-0,36	-0,48	-0,68	-0,83	-0,95	-1,35	
	26	0,44	0,39	0,26	0,16	-0,01	-0,11	-0,21	-0,52	
	28	1,05	0,98	0,88	0,81	0,70	0,61	0,54	-0,31	
	30	1,64	1,57	1,51	1,46	1,39	1,33	1,29	1,14	
	32	2,25	2,20	2,17	2,15	2,11	2,09	2,07	1,99	
1,0	16	-1,18	-1,18	-1,31	-1,43	-1,59	-1,72	-1,82	-2,12	
	18	-0,75	-0,75	-0,88	-0,98	-1,13	-1,24	-1,33	-1,59	
	20	-0,32	-0,33	-0,45	-0,54	-0,67	-0,76	-0,83	-1,07	
	22	0,13	0,10	0,00	-0,07	-0,18	-0,26	-0,32	-0,52	
	24	0,58	0,54	0,46	0,40	0,31	0,24	0,19	0,02	
	26	1,03	0,98	0,91	0,86	0,79	0,74	0,70	0,58	
	28	1,47	1,42	1,37	1,34	1,28	1,24	1,21	1,12	
	30	1,91	1,86	1,83	1,81	1,78	1,75	1,73	1,67	

Cuando la t_o obtenida no esté recogida en la tabla correspondiente, para calcular el PMV se pueden hacer estimaciones promedio.

Una vez determinado el PMV se calcula el PPD que existirá en esas condiciones térmicas, mediante el diagrama siguiente:

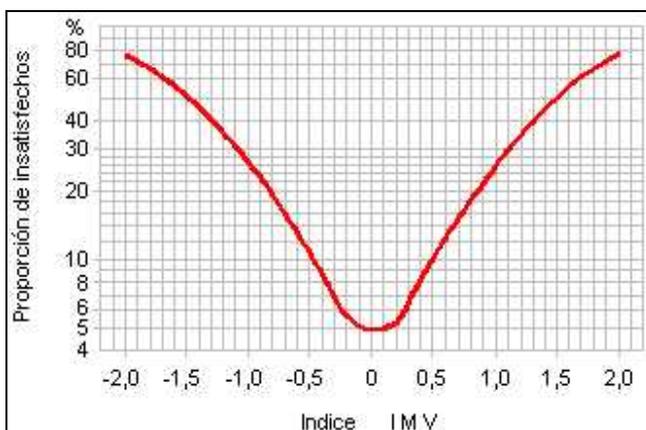


Diagrama 1

Ejemplo: en un despacho de oficinas obtenemos los datos siguientes:

- ✚ t_o : 22°
- ✚ Verano: 0.5 clo de aislamiento térmico del vestido
- ✚ Usuario de PVD con actividad de 1.2 met
- ✚ V_a : 0.10m/s
- ✚ V_{ar} : $0.10 + 0.3(1.2-1) = 0.16$
- ✚ PMV: -0.97
- ✚ PPD: 24%. Situación en la que habría quejas por frío.

En el anexo A de la UNE 7730:2006 se recogen criterios de diseño para espacios (oficinas) (tabla A.5) según las tres categorías (A, B, C) de ambiente térmico especificadas en el Tabla A.1 de la misma.

CATEGORÍAS PPD (%)	Temperatura Operativa		Máxima velocidad media del aire (m/s)	
	Verano	Invierno	Verano	Invierno
A (<6%)	24.5±1.0	22.0±1.0	0,12	0,10
B (<10%)	24.5 ±1.5	22.0±2.0	0,19	0,16
C (<15%)	24.5±2.5	22.0±3.0	0,24	0,21

Tabla 1: categorías de ambiente térmico y t_o correspondientes.

6.2 REGLAMENTO DE INSTALACIONES TÉRMICAS DE EDIFICIOS (RD 1027/2007 de 20 de julio)

El Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RITE *en adelante*) establece en la “Instrucción Técnica 1.1.4 Caracterización y cuantificación de la exigencia de bienestar e higiene” las exigencias de calidad térmica del ambiente en las condiciones de diseño en éstos términos:

a. Para personas con actividad metabólica sedentaria de 1.2 met, con grado de vestimenta de 0.5 clo en verano y 1 clo en invierno, los valores de la temperatura operativa y de la humedad relativa estarán comprendidos entre los límites indicados en la tabla siguiente, y se corresponderían con un porcentaje de insatisfechos (PPD) de un 10-15%.

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

b. Para valores diferentes de la actividad metabólica, grado de vestimenta y PPD del apartado a es válido el cálculo de la temperatura operativa y la humedad relativa realizado por el procedimiento indicado en la norma UNE-EN ISO 7730:2006.

6.3. GUÍA TÉCNICA DEL RD 488/1997, DE 14 DE ABRIL, SOBRE DISPOSICIONES MÍNIMAS DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO CON PANTALLAS DE VISUALIZACIÓN DE DATOS(PVD).

Ésta Guía recomienda que la temperatura operativa sea mantenida dentro del siguiente rango:

- ✚ En época de verano.....23° a 26°C
- ✚ En época de invierno.....20° a 24°C

Estableciendo la HR en un 45 a 65%.

Aunque la Guía no refiere condiciones de la actividad metabólica y el aislamiento de la ropa, se considera que los usuarios de PVD se encuadran en una actividad de 1,2 met y un aislamiento de la ropa de 0.5clo en verano y 1clo en invierno.

Por lo que si tenemos en cuenta las tres categorías de espacios de la UNE-EN ISO 7730:2006, se encuadrará en la categoría B de ambiente térmico.

7.-EJEMPLO DE CÁLCULO DE LA TEMPERATURA OPERATIVA

En un despacho con ventilación forzada, y en verano, se ha de calcular la temperatura operativa, para lo cual se efectúa una medición con un termómetro de globo convencional y obtenemos los siguientes valores:

- T_g :24.7°
- T_a :23.2°
- V_a :0.20 m/s
- Hr:65%
- M:1.2met

1.- Antes de calcular la t_o , necesitamos obtener la temperatura radiante media (\bar{t}_r).

Para calcular la \bar{t}_r podemos utilizar:

1.a. La fórmula sencilla:

$$\bar{t}_r = t_g + 1,9\sqrt{v_a \cdot (t_g - t_a)}$$

$$\bar{t}_r = 24.7 + 1,9\sqrt{0.20 \times 1.5}$$

$$\bar{t}_r = 25.7$$

1.b. La fórmula de la norma (UNE-EN 7726:2002) en convección forzada y termómetro de globo convencional recogida en el apartado 4.2.1.b de ésta Ficha Técnica.

2.- Cálculo de la temperatura operativa:

2. a. Aplicamos la formula de mayor precisión:

$$t_o = A \cdot t_a + (1 - A) \cdot \bar{t}_r$$

$$Var = 0.2 + 0.06 = 0.26m / s$$

$$t_o = 0.6 \cdot 23.2 + (0.4) \cdot 25.7 = 24.2°$$

2. b. Se puede utilizar también la formula de la media aritmética, ya que la diferencia de t_a y t_r es inferior a 4°C, aunque la Var sea superior a 0.2m/s.

3.- Determinación del porcentaje de insatisfechos (PPD).

La medición se efectuó en invierno, por lo que para una t_o superior a 24 ° tomamos la t_o de 24°. Y en consecuencia el voto medio previsto según la Tabla E.3 de la norma 7730:2006 sería de -0.48. Y el correspondiente PPD es según el Diagrama 1 de casi el 10%.

4.- Comprobación con la normativa técnica.

La t_o obtenida se encontraría dentro de las recomendaciones contenidas en la Guía Técnica del INSHT sobre disposiciones mínimas para usuarios de PVD, así como con el RITE.

Por último, la t_o obtenida y el PPD indican que el ambiente térmico valorado estaría dentro de la categoría B (nivel normal de bienestar) según la Tabla 1 de esta ficha.

8. BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

- UNE-EN ISO 7730:2006. Ergonomía en ambientes térmicos. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los PMV y PPD, y especificaciones para el bienestar térmico.
- UNE-EN ISO 7726:2002 Ergonomía en ambientes térmicos. Instrumentos de medida de las magnitudes físicas.
- Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios. RD 1027/2007 de 20 de julio.
- Guía Técnica del RD 488/1997 de 14 de abril sobre Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud en el uso de pantallas de visualización de datos.
- Ergonomía. 5 Edición. INSHT