



BIENESTAR TÉRMICO EN UN ESPACIO CLIMATIZADO

Analizar el nivel de calidad ambiental que podemos percibir en un espacio cerrado se reduce a probar si estamos confortables o no. Si en ese espacio hay una única persona, el resultado no tiene discusión; puede encontrarse bien o mal con un 100% de acierto. Pero si en un mismo espacio conviven más personas, distintos condicionantes hacen que lo que algunos consideran cómodo o confortable, otros perciban como incómodo o inconfortable. Bajo estos condicionantes vamos a analizar el bienestar térmico de las personas en espacios cerrados atemperados por instalaciones de climatización.

Las personas, como seres vitales, somos similares a máquinas que toman combustible (alimento) y lo transforman en actividad y en calor (metabolismo). Es evidente que aquel alimento/energía que no se haya consumido en hacer una actividad/trabajo se deberá igualmente disipar/expulsar al exterior pues nuestra capacidad de acumular/almacenar energía es limitada. La forma de disipar el calor al exterior de nuestro cuerpo es en forma sensible mediante conducción, convección y radiación corporal, y en forma latente por evaporación a través de la respiración, la transpiración por la piel y la sudoración. A su vez, la velocidad con que una persona intercambia este calor con el exterior depende, fundamentalmente, de la temperatura y de la humedad de ese ambiente y del nivel de aislamiento de la ropa que lleve puesta; unas veces será de interés incrementarlo (invierno) y otras reducirlo (verano) a efectos de conseguir el mejor equilibrio de intercambio térmico con el aire que nos rodea. Cuando el balance es neutro habremos conseguido el equilibrio energético, estaremos confortables y ese será nuestro bienestar térmico.

Explicado de forma práctica, lo vivimos cotidianamente: Por ejemplo, se acalora una persona cuando hace un esfuerzo o un ejercicio físico, o cuando está febril, o ingiere una comida copiosa, (parámetros del cuerpo) y lo combate, bien disminuyendo el aislamiento, aligerando su ropa, (parámetros de vestimenta) o bien modificando la temperatura y/o velocidad del aire que le rodea (parámetros del clima): Es precisamente esta última acción - variar los parámetros del clima - la que puede despertar la incomodidad de otra persona que se halle en ese mismo espacio climatizado y que en ese momento puede mantener otro balance de energía específico a su metabolismo y su nivel de vestimenta.

¿Para qué se utiliza una instalación de climatización? Para atemperar el aire que nos rodea en un espacio cerrado aportando calor o frío y facilitar, con ello, de forma confortable la transferencia térmica de nuestro cuerpo con el ambiente, al que cederemos o del que captaremos calor en función de nuestra actividad y nivel de energía interna, alcanzando nuestro equilibrio térmico sin llegar a sudar o pasar frío.

Parámetros del cuerpo humano. Producción de energía metabólica por distintas actividades.

Un primer paso ha sido establecer la cuantía de la generación de calor de nuestros cuerpos para distintas actividades. Existen métodos para estimarla que se hayan recogidos en la norma UNE EN ISO 8996. (El hecho de que una norma UNE EN sea también ISO indica que lo contenido en ella es de aceptación mundial).

La energía que desprendemos se expresa con la unidad de medida “met”, unidad cuyo patrón corresponde al metabolismo de una persona sana, sentada y sin trabajar. Dado que esta actividad corresponde a una emisión por unidad de superficie de $58,2 \text{ W/m}^2$, la cuantía de energía que emitimos al exterior en función de nuestra actividad, calculada en términos de calor sensible y latente y expresada en Vatios, se escala en la siguiente tabla, habiéndose considerado un promedio del 50% de hombres y del 50% de mujeres (el metabolismo de una mujer es el 85% y el de un niño el 75% del metabolismo de un hombre).

Actividad metabólica		sensible	latente	met
ACTIVIDAD		W	W	
durmiendo		50	25	0,76
tumbado		55	30	0,86
sentado, sin trabajar		65	35	1,0
de pie, relajado		75	55	1,3
paseando		75	70	1,5
andando	a 1,6 km/h	50	110	1,6
	a 3,2 km/h	80	130	2,1
	a 4,8 km/h	110	180	2,9
	a 6,4 km/h	150	270	4,2
bailando moderadamente		90	160	2,5
atlética en gimnasio (hombres)		210	315	5,0
deporte de equipo masculino (valor medio)		290	430	6,9
trabajos:				
	muy ligero, sentado	70	45	1,2
	moderado (en oficinas; valor medio)	75	55	1,3
	sedentario (restaurante, incluidas comidas)	80	80	-
	ligera de pie (industria ligera, de compras etc.)	70	90	1,6
	media de pie (trabajos domésticos, tiendas etc.)	80	120	2,0
	manual	80	140	2,1
	ligero (en fábrica; sólo hombres)	110	185	2,8
	pesado (en fábrica; sólo hombres)	170	255	4,0
	muy pesado (en fábrica; sólo hombres)	185	285	4,5

Fuente: UNE-EN ISO 8996 y Alberto Viti Corsi

En la tabla se aprecia no sólo la gran diferencia de nuestras emisiones de calor en función de la actividad que desarrollamos en cada momento, sino también el peso que adquiere la cuantía en calor latente respecto al sensible en esas distintas actividades. Efectivamente, a parte de la función transmisora de calor que ejerce la sangre hacia los capilares superficiales de nuestra piel, nuestro cuerpo está formado por un porcentaje elevado de agua que también contribuye a controlar nuestro balance de energía interna, migrando desde nuestro interior hacia el exterior y fluyendo y evaporándose en la respiración y a través de la piel por transpiración. De esta forma se regula el nivel de energía interna y se disipa su excedente hacia el exterior.

Los parámetros de la tabla son extraordinariamente prácticos. No sólo nos ayudan a comprender y visualizar lo expresado, sino que su cuantificación permite diseñar las instalaciones de climatización adecuando la potencia requerida a las actividades que en los

locales a climatizar se van a desarrollar. No es lo mismo refrigerar un cine, donde la potencia necesaria a instalar será de 100 W por espectador, que un gimnasio donde se necesitarán 525 W de potencia por usuario, y todo ello con independencia de la potencia requerida para vencer las pérdidas o ganancias térmicas a través de los cerramientos de esos locales y en el aire de ventilación.

Parámetros de la vestimenta. Aislamiento térmico de la ropa

Somos cuerpos calientes, a una temperatura en torno a 36,7°C variable con la edad, actividad e incluso hora del día. Mantenernos en ella nos confiere bienestar y actuamos poniéndonos más o menos ropa en función no sólo de lo que hacemos (actividad) sino de donde nos encontramos (temperatura ambiental).

Ello llevó también a tabular los niveles de aislamiento de una persona en función de la ropa que lleva puesta, siendo en este caso la medida de referencia el “clo”, unidad que define el nivel de aislamiento térmico de la vestimenta. El clo = 0 corresponde a un hombre desnudo y a partir de ahí, midiendo la resistencia térmica de las prendas en laboratorio, se determina el clo para distintas composiciones en base a la fórmula:

$$\text{Resistencia térmica de la vestimenta} = 0,155 \times \text{clo} \text{ (m}^2 \text{ }^\circ\text{K/W)}$$

En la siguiente tabla se establecen valores del aislamiento térmico de la vestimenta, en formas combinadas, más práctico para los cálculos del bienestar térmico.

TIPO DE VESTIMENTA	AISLAMIENTO TÉRMICO (clo)
Desnudo	0,0
En pantalón corto	0,1
Vestimenta tropical: pantalón corto, camisa manga corta y sandalias	0,3
Vestimenta de verano ligera: Pantalón largo ligero, camisa de manga corta, calcetines ligeros y zapatos	0,5
Vestimenta de trabajo.	0,7
Vestimenta de invierno ligera: Camisa de manga larga, pantalón grueso, jersey, calcetines gruesos, zapatos,	1,0
Vestimenta de invierno	1,5

Fuente: Norma UNE-EN ISO 9920 y Alberto Viti Corsi

Este es otro factor que interviene en la determinación del bienestar térmico de un ambiente compartido por varias personas, en el que si bien todas podrían hacer la misma actividad, la diferencia de nivel de aislamiento térmico de sus ropas podrá provocar el disconfort de unos respecto a otros para una misma temperatura ambiental.



A modo de ejemplos prácticos, lo vivimos en verano en las oficinas, donde unas personas van con sandalias o manolitas, sin medias y con los brazos u hombros al aire frente a otras con zapatos, calcetines y camisas cerradas e incluso chaquetas: unos desearán subir la temperatura del sistema de climatización frente a otros que la querrán bajar en ese mismo local. O en invierno, cuando en algunos hospitales se tuvieron que sustituir los termostatos accesibles en las habitaciones de los enfermos, que requieren de un ambiente cercano a los 26°C al estar en cama con una simple sábana, y llegar las visitas con ropa de invierno y abrigos, y lo primero que hacían era quejarse del calor y bajarle al enfermo su temperatura en la habitación.

Determinación de la temperatura de confort

Como hemos visto, las personas somos distintas entre nosotros mismos en función de lo que hemos comido, de lo que estemos haciendo en ese momento y de cómo vayamos vestidos. Estos tres factores harán que nuestro cuerpo requiera temperaturas distintas del ambiente que nos rodea para alcanzar el equilibrio en la transferencia de calor, cediendo o captando calor y alcanzar, con ello, el bienestar.

A la hora de seleccionar la temperatura del sistema de climatización de un espacio cerrado, si en el mismo hay una sola persona, como decíamos al inicio, no habrá problema: estará a gusto o no con un 100% de acierto y todo se reducirá a que actuará sobre el termostato a su gusto.

El problema surge cuando son múltiples los usuarios de una misma instalación que climatiza un local. ¿A quién se le da satisfacción? ¿Con qué criterio se fija una temperatura para todos? Lo lógico será buscar el máximo de puntos comunes y satisfacer a ese máximo de personas. Y eso es lo que se ha estudiado en profundidad y su metodología se ha normalizado en la UNE-EN ISO 7730 *Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local*.

Precisamente el trabajo contenido en esta norma es el resultado de haber sometido a ensayo y recogido la opinión de colectivos de personas que fueron sometidas, en un local cerrado, a variaciones de las condiciones térmicas del ambiente, y su opinión sobre la sensación que iban experimentando, en una escala desde mucho calor, calor, bien, frío o mucho frío, arrojó lo que se conoce como Voto Medio Estimado (PMV) que, a su vez, ha permitido establecer el concepto de porcentaje de personas insatisfechas y determinar ese Porcentaje Estimado de Insatisfechos (PPD).

Estas valoraciones permitieron desarrollar un procedimiento de cálculo analítico que determina el porcentaje de personas insatisfechas que se produciría en un espacio cerrado en función de variaciones de los parámetros del ambiente, del cuerpo humano y de la vestimenta.

Aunque hasta ahora nos hemos centrado en dos factores fundamentales, el metabolismo y el nivel de aislamiento de la vestimenta, por ser por un lado los que más peso suponen en la determinación de las condiciones necesarias a aportar por el sistema de climatización y, por



otro, están evidentemente supeditadas al arbitrio, grado de libertad o libre albedrío del usuario de las instalaciones, la realidad es que en la metodología para la determinación del bienestar de un ambiente térmico intervienen otros parámetros que también influyen en la determinación del mismo, de los que caben destacar no sólo la temperatura de ese ambiente sino la humedad relativa y la velocidad del aire que nos rodea.

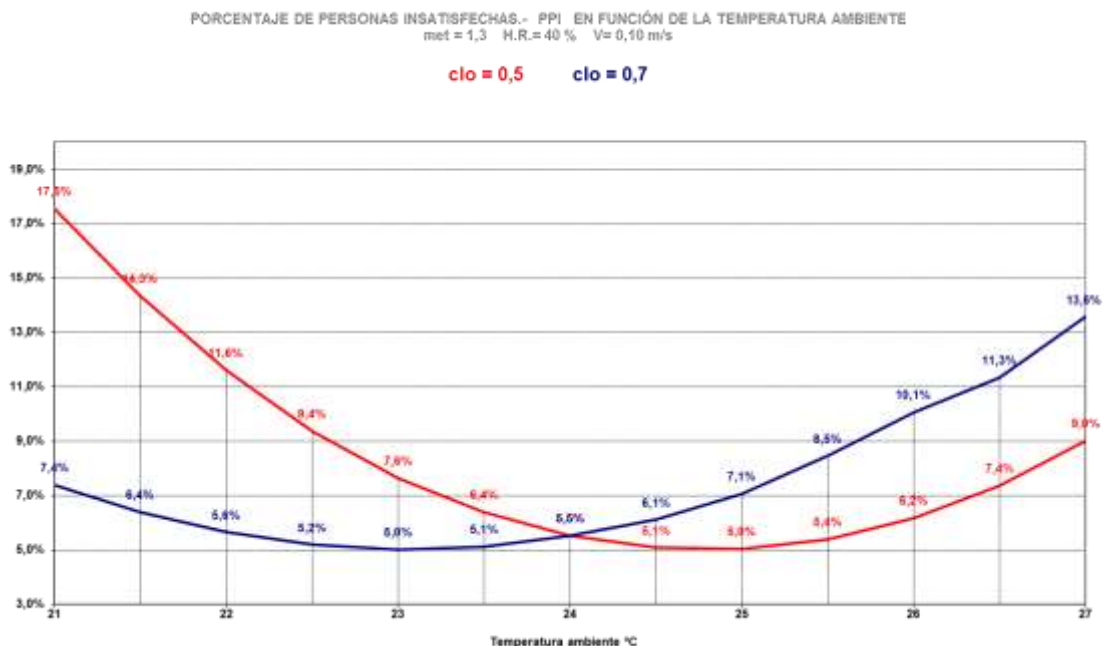
Para tratar de visualizar esta metodología de una forma práctica, vamos a analizar cuál sería la temperatura óptima en una oficina (trabajo moderado), en verano. Para ello seleccionamos una actividad metabólica que podría ser 1,0 met o 1,3 met y un nivel de aislamiento en la vestimenta que podría ser 0,5 clo o 0,7 clo.

A su vez vamos a fijar unos valores estándar en la instalación de climatización: una humedad del 40% y una velocidad del aire de impulsión de 0,10 m/s y vamos a analizar que incidencia tienen la variación de los met y los clo seleccionados en la determinación del PPI mediante la aplicación de las ecuaciones desarrolladas en la norma mencionada.

Variación del PPI en función del nivel de aislamiento de la vestimenta (clo)

Frente al valor adoptado de un clo del 0,5 que corresponde a un nivel de vestimenta ligera de verano ¿qué ocurre si alguien va un poco más “aislado”, con traje en lugar de camiseta de manga corta, y se aproxima a un clo del 0,7?

En la siguiente figura se representa el PPI para distintas temperaturas en función del clo, donde se han mantenido el resto de variables (metabolismo, humedad y velocidad del aire) con los mismos valores de los cálculos.



Como representa la figura, un mayor grado de vestimenta (mayor clo) permite soportar temperaturas más bajas: p.ej. hay menor grado de insatisfechos a 22 °C, el 5,7% de las

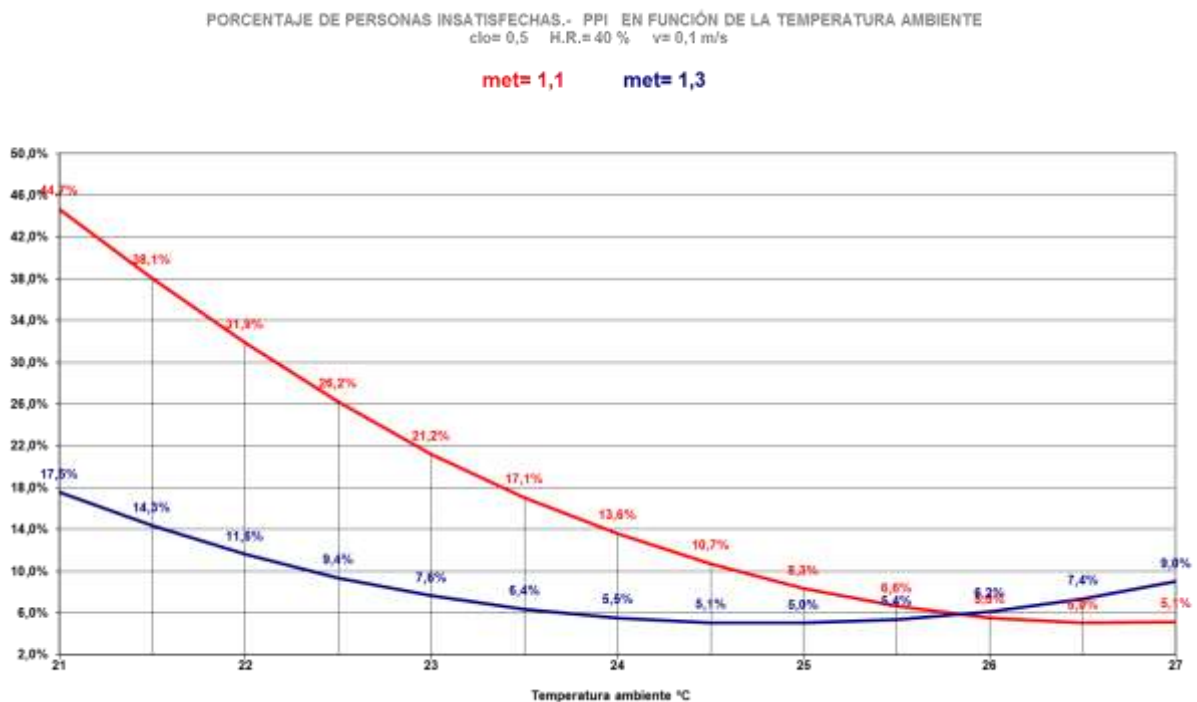


personas con un clo 0,7 frente a un 11,7% de insatisfechos a esa temperatura vestidos un menor grado de vestimenta, con un clo 0,5) Sin embargo, y como viceversa, hombros al aire por ejemplo, produce mayor grado de satisfacción a mayores temperaturas. De ahí que muchas mujeres en verano tengan un chal o rebeca en la oficina para soportar mejor temperaturas de aire acondicionado por debajo de 25°C, mientras que personas más vestidas (chaqueta) empiezan sentirse acaloradas por encima de los 24°C.

En este caso concreto para esta oficina, la temperatura que aportaría el menor porcentaje de insatisfechos sería la de 24 °C (personas con actividad de 1,3 met y vestidas con un clo entre 0,5 y 0,7)

Variación del PPI en función de la variación del metabolismo

Pero ¿qué ocurre si en esa oficina hay personas con actividades distintas? Consideremos al que está trabajando en el ordenador o haciendo un trabajo sentado muy ligero (met 1,1) frente al que se desplaza por la oficina, participa en una reunión, (met 1,3) y supongamos ahora que todos van con el mismo clo a efectos de hacer variable exclusivamente ese metabolismo



Visualizamos en la figura que el grado de insatisfechos a menor temperatura es muy reducido si en su actividad “queman” 1,3 met, pero se convierte en un ambiente insatisfactorio, por sensación de frío, para aquellos trabajadores que apenas utilizan 1,1 met.



En este caso concreto para esta oficina, la temperatura que aportaría el menor porcentaje de insatisfechos sería la de 25,7 °C (personas con un clo de 0,5 y una actividad entre 1,1 y 1,3 met)

Con todo ello, en condiciones en refrigeración, se desprende que un menor nivel de aislamiento térmico en la vestimenta permite elevar unos grados la temperatura de climatización, al igual que a medida que la actividad es más moderada se puede elevar la temperatura de climatización sin riesgo de incrementar de forma notable el PPI.

El análisis en calefacción es similar, siendo en este caso un incremento del aislamiento de la ropa el que permitirá reducir la temperatura del local sin afectar en gran medida al PPI de los usuarios.

¿A la vista de todo esto, se puede fijar una temperatura para las instalaciones de climatización, sea en calor o en frío? El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.- RITE, en su revisión del año 2007 mantuvo como condiciones interiores de diseño los valores de temperaturas y humedad relativa establecidos en las versiones anteriores:

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

Pero introdujo una clarificación y fue que estos valores serían 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 y un PPD entre el 10 y el 20%.

Hablando de bienestar térmico, y olvidándonos de la instalación de climatización y pensando exclusivamente en nuestro cuerpo y en la necesidad de estar en equilibrio, ¿qué obliga a cambiar la temperatura en un local entre verano o invierno, si realizamos la misma actividad? La única diferencia es la ropa que llevamos, que no es la misma en verano que en invierno, ya que debemos salir a la calle. Por ello el RITE indica que la instalación se mueva en un intervalo entre 21 y 25 °C cuando la actividad es de 1,2 met y el clo varía entre 0,5 y 1.

Sí ese local no tuviera también que vencer las ganancias o pérdidas de calor por sus cerramientos y, al estar cerrado y requerir aire exterior de ventilación a la temperatura de la calle, hechos ambos que obligan a trabajar en régimen de calefacción o de refrigeración, la temperatura del local que nuestro bienestar necesita sería función básica de nuestro met y de nuestro clo.

La clarificación del RITE 2007 se debió a que se consideraba que estos valores lo eran de aplicación para todo tipo de edificios y locales, mientras que la realidad es que debemos diferenciar las distintas actividades que se pueden desarrollar en los mismos y actuar en consecuencia. Por ejemplo, no pueden ser éstas las condiciones interiores de una superficie



comercial en invierno, donde la gente entra con abrigos y mantiene una actividad dinámica recorriendo el mismo y cargando con la compra; o de una piscina climatizada, donde la temperatura ambiente deberá estar 2 °C por encima de la del agua para que al salir mojados evaporemos la misma con menor sensación de frío. O que decir de un gimnasio donde, según la práctica deportiva, la temperatura de confort estará sobre los 18 °C.

Angel Sánchez de Vera Quintero
Jefe Departamento Servicios y Agricultura