Confortabilidad higrotérmica y ambiental del hombre

A. ALAMAN, Dr. Ingeniero Industrial
Jefe de la División de Instalaciones del I. E. T.

sinopsis

070-3

Se indica en este artículo el mecanismo de intercambio de calor entre el cuerpo humano y el ambiente, intercambio que es el fundamento de la confortabilidad higrotérmica de las personas.

La consideración de este mecanismo permite, como se expone en este artículo, comprender y prever el efecto que sobre el confort tiene la humedad, el movimiento del aire y la distribución de temperaturas en una habitación, distribución que, como se indica, tiene también influencia, aparte de la sensación térmica, en sensaciones estimulantes cuya consideración en el confort y rendimiento son de interés.

Físicamente hablando, un ser humano se halla higrotérmicamente estable cuando está en equilibrio térmico con el ambiente que le rodea, es decir, cuando el calor producido en su cuerpo es eliminado hacia el exterior. La inestabilidad térmica prolongada puede causar la muerte.

Desde el punto de vista psicológico-fisiológico, el confort higrotérmico del hombre es más exigente, y únicamente se siente confortable dentro de las condiciones de estabilidad térmica cuando las temperaturas, humedades, velocidades de aire, etc., están en un margen relativamente amplio para una sola persona, pero muy estrecho para cuando se trate de un grupo elevado de sujetos.

El cuerpo humano es un generador de calor. Este calor generado en su interior (calor de metabolismo) es variable según la actividad que desarrolle, y así, va desde 60 kcal/hr, cuando está durmiendo, hasta 600 kcal/hr, cuando hace un trabajo penoso. Para una actividad determinada, el metabolismo varía, aunque ligeramente, con la temperatura ambiente.

Las calorías producidas deben ser evacuadas hacia el exterior, y esto se hace a través de la superficie del cuerpo, por transmisión, convección o evaporación, y a través del aire expirado, parte en forma sensible (el aire expirado está caliente), parte en forma de vapor de agua.

En la figura 1 se esquematizan los intercambios de calor, en un sujeto que suponemos tiene una actividad normal equivalente a un metabolismo de $60 \text{ kcal/hr} \cdot \text{m}^2$ de superficie de su cuerpo.

Supongamos un sujeto en equilibrio en una zona neutral, por ejemplo 25°C; si aumenta la temperatura, el calor cedido por radiación y convección disminuye, por ser menor la diferencia de temperatura cuerpo ambiente.

Por ello, el hombre necesita un procedimiento más energético de eliminar calor. Esto lo realiza de dos formas: en primer lugar, por regulación vasomotriz, enviando más sangre a la periferia del cuerpo, con lo que aumenta la temperatura superficial y, por tanto, la posibilidad de eliminar calor por convección y radiación; y en segundo lugar aumentando la pérdida de calor por transpiración, ya que, como se sabe, la evaporación de agua produce un fuerte enfriamiento. En el límite, el hombre tiene una capacidad de evacuación de calor por sudor, que es cuando todo su cuerpo está mojado. Entonces se origina la inevitable elevación de temperatura del cuerpo, y a los 43°C puede ser mortal si dura tan sólo unos minutos.

Si en vez de calentarse el ambiente se enfría, entonces su regulación vasomotriz actúa de forma que la temperatura

de la piel disminuye, con lo que ahorra calorías. En zonas frías la regulación vasomotriz no es suficiente, y el cuerpo instintivamente aumenta su temperatura exterior por procedimientos mecánicos (empezando a tiritar). Un enfriamiento prolongado de la temperatura del cuerpo puede ser también mortal.

Comprendiendo así las respuestas del organismo a los estímulos exteriores de temperatura, es fácil ver la influencia que diversas variables tienen en el confort.

Influencia de la humedad relativa

En la transmisión de calor del cuerpo la humedad relativa del ambiente tiene efectos sobre la transpiración, ya que la velocidad de evaporación depende de la tensión de vapor del aire. En estas condiciones se comprende que la humedad relativa no afectará a los intercambios térmicos, más que en el caso de que la evaporación por sudor tenga un papel importante, es decir, a temperaturas elevadas. Efectivamente, se ha demostrado experimentalmente que no influye prácticamente en la sensación de frío o calor de los sujetos, más que a partir de 22°C aproximadamente, en el sentido de notar más cálido un ambiente cuanto mayor es su humedad.

No significa lo dicho anteriormente que la humedad relativa pueda ser cualquiera para temperaturas inferiores a los 22°C citados, ya que hay otros efectos, distintos de los térmicos, y no apreciables inmediatamente por el individuo, tales como sequedad de las vías respiratorias y de la piel, con efectos francamente nocivos. En general, ningún ambiente con humedades relativas inferiores a 30 por 100 puede ser considerado como saludable para estancias prolongadas, y es deseable tener humedades relativas no inferiores al 35 por 100.

Por razones diversas no son deseables humedades relativas superiores al 75 por 100. A partir del 70 por 100, las personas, sin que por ello afecte a su sensación térmica, empiezan a notar una molesta sensación de ambiente húmedo. Puede considerarse un ambiente favorable, pues, con humedades relativas comprendidas entre 40 y 60 por 100.

Influencia del movimiento del aire

El movimiento del aire afecta de dos formas a la transmisión de calor del cuerpo humano, y de las dos formas tiende a enfriarlo: favoreciendo la convección y ayudando a la evaporación; vemos, pues, que, como norma general, el movimiento del aire es deseable con temperaturas elevadas (verano) y es molesto con temperaturas bajas (invierno).

Nos referimos naturalmente al movimiento del aire uniforme en casi todo el cuerpo, y no a las venas de aire (corrientes localizadas), las cuales, salvo en contadas excepciones, son molestas y lo son siempre cuando su duración es elevada.

Los movimientos del aire, en la vida normal, son inevitables. El aire de una habitación se mueve por el solo hecho de la presencia de una persona dentro de ella. Si tenemos en cuenta además la infiltración de aire a través de rendijas de ventanas y puertas, comprenderemos la imposibilidad de conseguir su inmovilidad.

Un local con el aire en calma o con velocidad muy baja (inferior a 0,1 m/s), resulta francamente incómodo. En verano, la incomodidad se manifiesta si la velocidad no es superior a 0,2 m/segundo.

Se pueden ordenar diversos grados de molestia producida por el movimiento del aire, en invierno y en verano, en unas escalas tal como se reproduce a continuación:

INVIERNO		VERANO	
Velocidad inferior a 0,1 m/s	Molesto	Velocidad inferior a 0,2 m/s	
Velocidad entre 0,1 y 0,2 m/s	Agradable	Velocidad entre 0,2 y 0,55 m/s	
	Agradable para poco rato, y molesto para trabajo sedentario	Velocidad entre 0,55 y 1,10 m/s	
Velocidad superior a 0,2 m/s	Molesto	Velocidad superior a 1,10 m/s	

Estos valores se refieren a personas sentadas, con trabajo ligero, y deben ser tenidas en cuenta a la hora de comprobar las posibles molestias de una instalación de aire acondicionado. Para personas moviéndose, aun con trabajo ligero (por ejemplo personas que están comprando en unos grandes almacenes), las velocidades pueden subirse, y, de este modo, una velocidad en invierno de 0,4 m/s no es molesta, ni aun para estancias prolongadas, e incluso son admisibles velocidades del orden de 0,6 m/segundo.

Como se ve, la sensación de confort o molestia de aire va ligada con los efectos térmicos que éste tiene en el intercambio de calor del cuerpo, pero existe indudablemente un mayor efecto psicológico que hace que sus variaciones sean más acusadas que las debidas a cualquier otro estímulo, incluida la temperatura.

Una característica que distingue la influencia del movimiento del aire sobre la confortabilidad, en relación con las de humedad y temperatura, es la falta de adaptabilidad del hombre a condiciones que no sean estrictamente confortables. Mientras que al penetrar en una habitación que esté más fría o más caliente que lo normal (siempre, claro es, que no sean grados extremos) notamos la irregularidad del ambiente y, en cambio, esta irregularidad no nos es manifiesta después de un rato de estancia en él, se observa, por el contrario, que la sensación de molestia que recibimos por exceso o defecto del movimiento del aire ambiente se acentúa conforme pasa el tiempo que permanecemos en este ambiente. Es un hecho bien conocido que de los ventiladores para interiores de locales son mucho más agradables los orientables que producen únicamente ráfagas de aire sobre cada uno de los ocupantes de un local, que los que producen una corriente de aire unidireccional y que, por tanto, actúan ininterrumpidamente sobre una determinada persona.

La variación en el movimiento del aire produce sobre el que la soporta una sensación estimulante, mientras que una corriente de aire fuerte o débil, pero de intensidad constante,

origina una sensación de incomodidad. Pequeñas variaciones en la velocidad del aire hacen admisibles ambientes con velocidades de aire inferiores a las mínimas señaladas anteriormente. Similarmente ocurre con las pequeñas variaciones en la temperatura del aire.

Efectos de la ventilación en el confort

La ventilación en el confort puede influir de dos formas: una, purificando y renovando la atmósfera, y otra, creando unas corrientes de aire molestas. Estas últimas deben ser evitadas colocando los dispositivos de ventilación de forma apropiada.

La ventilación es necesaria siempre que se prevea un viciado del ambiente. Tres son las causas principales de viciado del ambiente: la acumulación de anhídrido carbónico, la acumulación de humedad y la presencia de olores. En hospitales existe además la posibilidad de impurificación por gérmenes.

La tolerancia del organismo frente al CO_2 es muy baja, y así, atmósferas con un porcentaje de CO_2 del orden del 0,07 % pueden considerarse como atmósferas cargadas.

En viviendas, con densidad de ocupación normal, es difícilmente alcanzable este margen, por muy escasas que sean las condiciones de ventilación de la vivienda. No ocurre lo mismo en los espectáculos y demás lugares con elevada densidad de personas.

La cantidad de CO_2 emitido por una persona depende, en pequeña proporción, de la temperatura y, fundamentalmente, de la actividad que esté desarrollando, y, por ejemplo, un individuo normal en reposo libera alrededor de 20 l/hora, mientras que trabajando en una actividad no excesivamente pesada esta cifra se eleva a 40 l/hora.

La cantidad de vapor de agua desprendido por las personas depende de la temperatura y de su actividad. Damos a continuación una tabla orientativa:

ACTIVIDAD	VAPOR DE AGUA EMITIDO (g/h)			
	10°C	15°C	20°C	25°C
Reposo	36	36	45	66
Trabajo ligero (2.000 kg/hr)	54	72	110	175
Trabajo normal (4.500 kg/hr)	66	120	170	205
Trabajo muy pesado (8.000 kg/hr)	155	215	300	350

Ocurre con el vapor de agua emitido por las personas algo similar a lo que se ha dicho con el anhídrido carbónico: en viviendas no es presumible que pueda causar efectos apreciables, pero sí en locales con densidad de ocupación elevada.

En viviendas hay otras fuentes de vapor de agua más importantes, como son las cocinas, baños y estufas de gas; una evacuación directa de estos vapores a la atmósfera es la solución más económica y recomendable, y en todo caso se debe asegurar una ventilación que renueve el ambiente una vez por hora, en todas las habitaciones, excepto en cocinas y baños, que la renovación no debe ser inferior a siete veces por hora. Colocando los dispositivos de ventilación adecuadamente, esto no es difícilmente conseguible.

Para los olores, si se utiliza aire acondicionado, existen filtros especiales para eliminarlos. En caso contrario, en habitaciones normales, la ventilación que asegura una humedad correcta es suficiente también para evitar olores.

Efectos de la distribución de temperaturas

Una distribución homogénea de temperaturas no es precisamente la más confortable.

Para una misma temperatura resultante (temperatura que combina el efecto de la radiación de los muros y de la temperatura del aire), el local es más confortable cuando proviene el calor de los muros y no del aire ambiente, es decir, que al cuerpo le es grato un ambiente con aire relativamente fresco y paredes relativamente calientes, siendo óptima la diferencia de hasta 5°C entre pared y aire. Así, salvo excepciones, es aconsejable la calefacción radiante.

Estando las paredes o suelo calientes, la disposición más confortable es la que permite un suelo caliente y las paredes y el aire más frío, y la más inconfortable puede resultar con un techo excesivamente caliente, o poco caliente, pero de poca altura. La calefacción radiante por techo —que en España empieza a utilizarse— debe, según lo anterior, ser cuidada para que no se convierta en una causa de molestia.

La distribución de temperatura más agradable es la que logra que los sujetos tengan la cabeza fría y los pies calientes. Ya los romanos empezaron a utilizar suelos calientes para calefacción, y las condiciones de confort obtenidas eran excelentes. Las temperaturas máximas del suelo deben ser de 21° a 25°C, aunque puede admitirse hasta 27°C.

Por el contrario, el tener la cabeza caliente y los pies fríos se presta a obtener una sensación de «abotargamiento», de pesantez del ambiente. Una diferencia de más de 2°C de temperatura resultante entre cabeza y los pies, no puede considerarse como adecuada.

En general, las condiciones de confort son tanto más agradables cuanto más tienden a reproducir el ambiente exterior. Este es el que mejor se presta a condiciones confortables, y se ha demostrado que la tolerancia de temperaturas al exterior es mucho mayor que en interiores, pudiendo afirmar que temperaturas y humedades perfectamente soportables e, incluso, agradables en un ambiente exterior, se hacen insoportables en un ambiente cerrado.

Otros aspectos del confort higrotérmico

La sensación de confort higrotérmico requiere unas condiciones ambientales, que varían con los sujetos, con su estado anímico, con el tipo de edificio, etc.

En primer lugar diremos que influye el nivel de vida y las costumbres. Conforme aumenta el nivel de vida, aumentan las exigencias y las condiciones de confort varían. Por otra parte, en dos países de nivel de vida similar influyen las costumbres y tenemos un ejemplo típico entre Inglaterra y Estados Unidos, en donde los ingleses son mucho menos exigentes en las condiciones de confort en invierno que los americanos.

Existe también una relación incuestionable entre el ambiente exterior y las condiciones climáticas de confort exigidas. El confort para un habitante de los trópicos es muy diferente al de un centroeuropeo. Sin embargo, hay una aclimatación del cuerpo, de forma que, dentro de cierto tiempo de permanencia en un país, el organismo se acostumbra a la forma de vivir de ese país.

El sexo también influye en las condiciones óptimas. A las mujeres les gusta tener el ambiente más fresco que a los hombres y soportan mejor que éstos los cambios ambientales. Los niños apetecen temperaturas más frescas que los adultos, y se ha comprobado en escuelas que, cuando la temperatura ambiente sube de los 18°C, los escolares pierden rápidamente su capacidad de fijación de ideas. Una persona hambrienta es más sensible a la temperatura que una sin apetito.

Los cambios de temperatura exterior producen una mayor irritabilidad en las personas, lo que se transforma también en una menor tolerancia de condiciones confortables marginales.

No es ajena a este tema la enseñanza de la psicología de que la concentración de la atención en un punto eleva los umbrales de percepción de otras sensaciones ajenas, y así las personas ocupadas tienen un margen de confortabilidad más amplio.

Hay teorías no totalmente comprobadas que aseguran que el estado de ionización de la atmósfera influye en la confortabilidad del ambiente, dando un ambiente cargado de iones negativos una sensación de optimismo y bienestar, mientras que las personas en un ambiente cargado con iones positivos se sienten irritables y experimentan una depresión.

Las personas hipertiroides resisten el calor menos que las personas normales y éstas menos que las hipotiroideas.

También el color de la habitación tiene su efecto en la sensación de calor o frío; un color «cálido» como marfil, crema, amarillo-anaranjado, amarillo-crema, etc., da una sensación de más calor que los llamados colores fríos. Con colores como el azul y verde y los apagados se notan menos los efectos térmicos que con colores inquietantes, como el rojo y el amarillo.

Finalmente, influye el estado psicológico de lo que la persona espera encontrar y lo que de verdad halla. Ocurre esto con frecuencia con el aire acondicionado. Las personas que empiezan a disfrutar de este sistema creen que es equivalente a un ambiente confortable exterior, y al comprobar sus limitaciones reaccionan contra la instalación inadvertidamente. Se ha comprobado que en casos de quejas contra sistemas de aire acondicionado, al simular la puesta en marcha del mismo, las quejas se han reproducido como cuando funcionaba, y también que cuando a los usuarios se les da la posibilidad de poner la instalación fuera de servicio desaparecen radicalmente las quejas sin que utilicen esta posibilidad de pararlo.

Si alguien pretende crear unas condiciones ambientales ideales para una serie de sujetos elevada, se llevará un disgusto porque comprobará que no ha podido conseguir su objetivo. Se consolará si tiene en cuenta las conclusiones de ensayos, como los de Bedford, cuyo gráfico de resultados se indican en la figura 2. En él se observa que con un número elevado de sujetos nunca se consiguió un confort

ideal para todos, ya que en el mejor de los casos un 7 por 100 de las personas se mostraban incómodas.

No se debe sacar, sin embargo, una sensación pesimista de estos resultados. En primer lugar, porque es mejor crear un ambiente en el que se sientan confortables el mayor número de personas posible; y en segundo lugar, porque los resultados del gráfico deben considerarse como anormales, ya que los sujetos interrogados estaban pendientes de su sensación térmica, lo que, como dijimos anteriormente, supone un estado más crítico hacia la sensación de confort. En todo caso, estos resultados deben constituir un estímulo para estudiar más a fondo las condiciones de confort que debemos crear en un ambiente.

Confortabilité hygrothermique et ambiante de l'homme

A. Alamán, ingénieur industriel.

Cet article traite du mécanisme d'échange de chaleur entre le corps humain et le milieu ambiant, échange qui est la base du confort hygrothermique.

La considération de ce mécanisme permet, comme il est exposé dans cet article, de comprendre et de prévoir l'effet qu'ont sur le confort l'humidité, le mouvement de l'air et la distribution des températures dans un local d'habitation. Cette distribution, comme il est indiqué, exerce également une certaine influence —mise à part de la perception thermique— sur les perceptions stimulantes dont la considération dans le confort et rendement est intéressante.

Hygrometric and environmental well being of man

A. Alamán, industrial engineer.

This article describes the heat exchange mechanism between the human body and the environment. This is the basis of the hygrometric sense of well being of human beings.

The study of this mechanism, as stated in this article, leads to the understanding and estimation of the effect which humidity has on human comfort, and also the influence of air movement and the distribution of temperature within a room. This distribution also affects certain sensorial stimuli connected with the sense of well being and efficiency of the individuals.

Hygrothermisches Wohlbefinden des Menschen in seiner Umgebung

A. Alamán, Bauingenieur.

In diesem Artikel wird der Mechanismus des Wärmeaustausches zwischen dem menschlichen Körper und dessen Umgebung behandelt. Dieser Austausch bildet die Grundlage für das hygrothermische Wohlbefinden der Menschen.

Die Berücksichtigung dieses Mechanismus gestattet, wie in diesem Artikel ausgeführt wird, die Wirkung, die die Feuchtigkeit, die Luftbewegung und die Verteilung der Temperaturen in einem Raum auf das Wohlbefinden ausüben, zu erkennen und vorauszusehen. Diese Verteilung der Temperaturen beeinflusst, abgesehen vom thermischen Gefühl, auch anregende Empfindungen, deren Berücksichtigung für das Wohlbefinden und die Leistung von Interesse ist.