TEP

Ergonomía 2
Confort y estrés térmico

Pedro R. Mondelo
Enrique Gregori Torada
Santiago Comas Úriz
Emilio Castejón Vilella
Esther Bartolomé Lacambra

Temes d'Ergonomia i Prevenció
Temas de Ergonomía y Prevención

UPC Edicions UPC
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Mutua Universal



Temes d'Ergonomia i Prevenció
Temas de Ergonomía y Prevención
2

Ergonomía 2
Confort y estrés térmico

Pedro R. Mondelo
Enrique Gregori Torada
Santiago Comas Úriz
Emilio Castejón Vilella
Esther Bartolomé Lacambra

UPC Edicions UPC
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Mutua Universal

Primera edición (Aula Teòrica): septiembre de 1995
Segunda edición (Aula Teòrica): marzo de 1997
Primera edición (Aula Politècnica): septiembre de 1999
Primera edición (TEP): marzo de 2001
Reimpresión (TEP): octubre de 2007
Reimpresión (TEP): mayo de 2013

Diseño de la cubierta: Edicions UPC

© Autores, 1995
© Mutua Universal, 1995
© Edicions UPC, 1995
© Iniciativa Digital Politècnica, 2013
Oficina de Publicacions Acadèmiques Digitals de la UPC
Jordi Girona 31,
Edifici Torre Girona, Planta 1, 08034 Barcelona
Tel.: 934 015 885
www.upc.edu/idp
E-mail: info.idp@upc.edu

Depósito legal: B-43071-2005
ISBN: 978-84-9880-113-2
ISBN (obra completa): 84-8301-484-X

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede realizarse con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista en la ley.

Presentación

Como es bien sabido, un ambiente térmico inadecuado en los puestos de trabajo puede originar diversos problemas en las personas que los ocupan, desde incomodidades como la transpiración o las tiritonas a raíz de temperaturas demasiado altas o demasiado bajas hasta alteraciones de la salud.

La aplicación científica de los conocimientos que aporta la Ergonomía se han revelado como un elemento importante para la adecuación de las condiciones térmicas en los puestos de trabajo, motivo por el cual Mutua Universal, pionera en la búsqueda de soluciones que ayuden a reducir la posibilidad de accidentes y enfermedades profesionales mediante la mejora sistemática de las condiciones de trabajo, ha considerado interesante poner al alcance de todos este libro que pretende ser una guía para el análisis y adecuación del ambiente térmico en los puestos de trabajo.

A través de diez capítulos –Termorregulación del cuerpo humano; Ambiente térmico: magnitudes, unidades e instrumentos de medición; Balance térmico; Índice de Valoración Medio (IVM); Índice de Sobrecarga Calórica (ISC); Índice de Temperatura de Globo y de Bulbo Húmedo (WBGT); Índice de Sudoración Requerida (Swreq); Estrés por frío; Problemas casos y soluciones y El programa Spring 3.0– se ofrecen unos conocimientos amplios para enfrentarse con el problema a aquellos lectores que estén interesados en el mismo.

Los autores, con muchos años de experiencia en la docencia universitaria, en la investigación y en la aplicación de la Ergonomía, han intentado exponer su "saber hacer" y ofrecerlo en forma estructurada y práctica a todas las personas que quieran profundizar en la problemática del ambiente térmico.

Esta obra contribuirá sin duda a la mejora de las condiciones de trabajo y la promoción de la salud laboral que ocupa a todos los países de la Unión Europea.

Juan Aicart Manzanares
Director Gerente
Mutua Universal

Índice general

Introducción 11

1 Termorregulación del cuerpo humano 13

La sobrecarga térmica y la tensión térmica 16
Balance térmico entre la persona y el medio 20
Metabolismo 22
Mecanismos fisiológicos de la termorregulación 22
Sobrecarga calórica 23
Sobrecarga por frío 25
Factores que influyen en el estrés térmico 25
Sexo 26
Constitución corporal 26
Edad 27
Etnia 27
El vestido 29
Aclimatación al calor 29
Indicadores fisiológicos de la tensión calórica 31
Medidas de protección frente al ambiente caluroso 35
Medidas de protección frente al ambiente frío 36

2 Ambiente térmico: magnitudes, unidades e instrumentos de medición 37

Magnitudes y unidades 37
Instrumentos de medida de las temperaturas 38
Mediciones de temperaturas fisiológicas 39
Mediciones de temperaturas psicrométricas 39
Mediciones de la temperatura del aire (t_a), la temperatura de bulbo húmedo (t_{bh}) y de la humedad relativa (HR) 40
Humedad absoluta (HA) y humedad relativa (HR) 41
Medición de la humedad del aire mediante un higrómetro 42
Punto de rocío (t_{pr}) 44
Medición de la temperatura del aire natural (t_{an}) y de la temperatura de bulbo húmedo natural (t_{bhn}) 45
Relación entre temperatura húmeda y temperatura húmeda natural 45
Medición de la temperatura de globo (t_g) y cálculo de la temperatura radiante media (TRM) 46
La temperatura operativa (t_o) 48

Temperatura efectiva (TE) y temperatura efectiva corregida (TEC) 48
Velocidades del aire: absoluta (v_a) y relativa (v_{ar}) 50
Velocidad del aire absoluta (v_a) 51
Velocidad del aire relativa (v_{ar}) 51
Medición de la velocidad del aire (v_a) 51
El anemómetro de aspas 52
El catatermómetro 53
El termoanemómetro 53
El calor metabólico 54
Medición del gasto energético 56
Calorimetría directa 56
Calorímetría indirecta 56
Medición del gasto energético mediante el control de los alimentos 56
Medición del gasto energético mediante el consumo de oxígeno 57
Condiciones BTPS, ATPS y STPD 58
Medición del gasto energético por la frecuencia cardíaca 60
Estimación del gasto energético mediante tablas 60
Metabolismo de un ciclo de trabajo 66
Propiedades térmicas del vestido 66

3 Balance térmico 67
Ecuación general de balance térmico 67
Metabolismo (M) 68
Trabajo externo (W) 69
Intercambio de calor por radiación (R) 69
Intercambio de calor por convección (C) 71
Pérdida de calor por evaporación del sudor (E) 72
Pérdida de calor por respiración (C_{res}) y (E_{res}) 72
Pérdida de calor por difusión del vapor en la piel (E_d) 73
Conducción de calor a través del vestido ($C_{cond.clo}$) 74

4 Índice de valoración medio (IVM) de Fanger 75
Fanger y la ecuación de confort 75
Condiciones para establecer el confort térmico 76
Diferencias individuales 77
Criterios de valoración del confort térmico 78
Recomendaciones para el confort térmico en trabajos sedentarios 78
Temperatura del aire 78
Fuentes de calor radiante 79
Humedad relativa 80
Velocidad del aire 81
Curvas de confort 82
Índice de valoración medio (IVM) y porcentaje de personas insatisfechas (PPI) 82
Nivel de actividad 93
Corrección del IVM 93

Cálculo de la temperatura radiante media (TRM) 93
Porcentaje de personas insatisfechas (PPI) 98
Aplicabilidad del método de Fanger 99

5 Índice de sobrecarga calórica (ISC) (heat stress index) 101
Interpretación del índice ISC 103
Tiempo de exposición permisible (TEP) y tiempo de recuperación (TR) 105
Aplicabilidad del índice ISC 106

6 Índice de temperatura de globo y de bulbo húmedo (WBGT-Index) 107
Metodología para la medición 107
Ponderación por metabolismo, tiempo de actividad y posición del operario 109
Coeficientes de descanso 111
Aplicabilidad del índice WBGT 112

7 Índice de sudoración requerida (SWreq) 113
Flujo máximo de calor por evaporación en la superficie de la piel 113
Cálculo de la evaporación requerida, de la humedad requerida
y del índice de sudoración requerido 114
Interpretación del método de la sudoración requerida (SWreq) 115
Análisis de la situación de trabajo 116
Determinación del tiempo de exposición permitido (DLE) 118
Organización del trabajo en ambientes de estrés térmico 119
Cálculo de los términos de la ecuación de balance térmico 119
Flujo de calor por convección respiratoria (C_{res}) 119
Flujo de calor por evaporación respiratoria (E_{res}) 119
Flujo de calor por radiación (R) 120
Flujo de calor por convección (C) 120
Otros términos necesarios para el cálculo de SW_{req} 121
Temperatura de la piel (t_p) 121
Factor de reducción del vestido (F_{clo}) 122
Resistencia total a la evaporación (R_t) 122
Eficiencia evaporativa del sudor (r_p) 122
Velocidad relativa del aire (v_{ar}) 122
Validez y aplicación del SW_{req} 123

8 Estrés por frío 125
Enfriamiento general del cuerpo humano 125
Índice del aislamiento del vestido requerido (IREQ, Norma ISO 11079) 128
Flujo de calor por la respiración (Cres y Eres) 129
Flujo de calor por evaporación del sudor (E) 130
Flujo de calor por convección (C) 131
Flujo de calor por radiación (R) 132
Flujo de calor a través del vestido 133
Cálculo del aislamiento del vestido requerido (IREQ) 133

Definición y cálculo del tiempo límite de exposición (DLE) 134
Enfriamiento de la piel por convección. Índice de viento frío (WCI) 135
Enfriamiento de las extremidades 136
Enfriamiento por conducción 137
Enfriamiento del aparato respiratorio 137
Medidas contra el frío 138

9 Problemas, casos y soluciones 141
Comentarios generales y criterios de aplicación 141
Método de Fanger 141
Método del índice de sobrecarga calórica (ISC) 141
Método del índice de temperatura de globo y de bulbo húmedo (WBGT) 142
Método del índice de sudoración requerida (SWreq) 142
Método del índice del aislamiento del vestido requerido (IREQ) 142
Método del índice de viento frío (WCI) 142
Ejemplo 1 143
Ejemplo 2 147
Problemas planteados con resolución numérica 150

10 El programa Spring 3.0 167
Introducción 167
Instalación de la aplicación 168
Evaluación del confort y el estrés térmico utilizando el programa Spring 168
Introducción de datos 168
Selección de índices e introducción de los valores de los parámetros 169
Selección del aislamiento del vestido 171
Menú de resultados obtenidos 172
Ventana resumen de resultados 174
Ventana de visualización de la influencia de la velocidad del aire 176
Ventana de impresión de parámetros térmicos 177

Anexo 1 Definiciones, magnitudes y unidades 179
Definiciones 179
Magnitudes y unidades 181

Anexo 2 Normativa española 183

Anexo 3 Índice analítico 187

Anexo 4 Formulario 191

Anexo 5 Tabla de conversiones 199

Bibliografía 203

Introducción

La valoración del confort y del estrés térmico revisten cada día mayor importancia y son múltiples las publicaciones que abordan el tema. Un ambiente térmico inadecuado causa reducciones de los rendimientos físico y mental, y por lo tanto de la productividad; provoca irritabilidad, incremento de la agresividad, de las distracciones, de los errores, incomodidad al sudar o temblar, aumento o disminución de la frecuencia cardíaca, etc..., lo que repercute negativamente en la salud e incluso, en situaciones límite, puede desembocar en la muerte.

Es común que la presentación del análisis del microclima se haga mediante índices evaluativos, omitiendo el proceso de desarrollo y análisis, lo que hace difícil la comprensión y la posterior toma de decisiones. Con frecuencia la lectura de los artículos científicos que abordan el tema impide tener una visión de conjunto, ya que habitualmente se presenta el resultado final obviando el proceso de creación (la teoría en que se apoya el índice) y el análisis, planteando únicamente la fase de evaluación, lo que a nuestro modo de ver agudiza un problema acuciante, la falta de conocimiento de qué se está haciendo y lleva al ergónomo, al ingeniero, o al higienista a tomar decisiones mediatizadas por las previsiones sugeridas por los autores de los índices analizados.

Con este libro se pretende no sólo abordar la problemática del ambiente térmico en el ámbito laboral, sino también ayudar a comprender el complejo problema de la interacción entre éste y la persona.

A través de los diferentes capítulos tratados el lector podrá ahondar en un índice determinado, reflexionar sobre la complejidad de la termorregulación humana, resolver un problema concreto o, mediante el programa informático Spring 3.0, modelar diferentes situaciones y analizar resultados divergentes en función de los cambios en algunas de las variables que definen y configuran el microclima que rodea a la persona y que potencia o limita sus capacidades de acción y toma de decisiones.

La proporción de trabajadores que desarrollan su actividad en el sector de servicios es cada vez más numerosa, y son frecuentes los problemas creados por la falta de confort térmico, por lo que es de gran interés disponer de criterios de valoración y métodos de control para estas situaciones.

Mientras tanto, los estados críticos de estrés térmico se siguen manteniendo no sólo en la industria siderometalúrgica, vidrio y hornos en general, sino también en la agricultura, la pesca y la construcción, por citar los sectores productivos más significativos.

El interés por la valoración del microclima laboral no es nuevo y desde principios de siglo los especialistas han procurado encontrar un índice que resuma en un sólo valor una situación microclimática dada.

En España la normativa vigente que regula las condiciones térmicas de los trabajadores se recoge en el anexo III del R.D. 486/1997 sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo incluido en el anexo 2 de este libro.

De todas formas la proliferación de índices es un argumento más que razonable para poner en duda la eficacia absoluta de éstos. Últimamente diferentes normas ISO han sido publicadas y recogidas como cuerpo de doctrina en el campo del estrés y el confort térmico. En esta obra se presentan diferentes índices recogidos por ISO y se analizan los aspectos más relevantes de éstos.

Las tablas 1.1 y 1.2 recogen los índices de confort y estrés más importantes que han aparecido históricamente, así como los autores y los años de publicación.

TABLA 1.1 Índices de confort más importantes

Año	*Método*	*Autor*
1923	Temperatura efectiva, TE	Houghton & Yaglogou
1929/36	Temperatura equivalente	Dufton
1931/48	Temperatura resultante	Missenard
1967	Temperatura media de la piel	Gagge
1970	Índice valoración media, IVM	Fanger
1972	Temperatura efectiva estándar, SET	Gagge
1973	Humedad de la piel	González & Gagge

TABLA 1.2 Índices de estrés más importantes

Año	*Método*	*Autor*
1945	Índice de viento frío	Siple & Passel
1946	Temperatura efectiva corregida, TEC	Bedford
1947/60	Predicción de la sudoración para 4 horas, P4SR	McArdle & McPhurson
1955	Índice de sobrecarga calórica, ISC (HSI)	Belding & Hatch
1957	Temperatura de globo y de bulbo húmedo, WBGT	Yaglou & Minard
1957	Índice de Oxford, WD	Lind
1960	Predicción de los latidos del corazón	Fuller & Brouha
1963/76	Índice de estrés térmico, ITS	Givoni
1971	Índice de temperatura de globo húmedo, WGT	Bostford
1974/77	Límite de exposición termicofisiológica, PHEL	Dasler
1981	Tasa de sudoración requerida, SW_{req}	Vogt, et al.
1984	Índice del aislamiento del vestido requerido	Holmér

1 Termorregulación del cuerpo humano

El cuerpo humano es un generador constante de calor. Ya, de por sí, una persona sin hacer absolutamente nada y con su gasto energético al mínimo, es decir, sólo para mantener su organismo vivo (metabolismo basal), genera entre 65 y 80 watios de calor, según su sexo, edad y superficie corporal, mientras que una bombilla eléctrica incandescente de 60 W emite, aproximadamente, 55 W de calor.

El ser humano produce la energía que necesita para mantener su cuerpo vivo y activo, a partir de los alimentos y del oxígeno que, a lo largo de complejas reacciones químicas, se va convirtiendo en calor. Así, alrededor del 50% de la energía de los alimentos ya desde el inicio del proceso se transforma en calor y el otro 50% en trifosfato de adenosina (ATP), del cual la mayoría también se convierte en calor al pasar a formar parte de los sistemas metabólicos celulares que sólo aprovechan una pequeña parte de la energía restante; al final prácticamente toda la energía, de una forma u otra, se transforma en calor dentro del organismo, excepto una fracción, generalmente muy pequeña, que lo hace fuera a partir del trabajo externo que realiza el hombre.

Un hombre de una complexión física normal, descansando genera unos 115 W de calor; caminando por una superficie plana a una velocidad de entre 3,5 y 5,5 km/h genera de 235 W a 360 W; pero si acelera el paso a más de 7 km/h su producción de calor estará alrededor de los 520 W. En un trabajo muy severo la producción de calor puede sobrepasar los 900 W, como es el caso de los deportistas de alto rendimiento que, realizando una actividad muy intensa, pueden alcanzar los 2000 W durante unos minutos.

La eficiencia mecánica del hombre es baja, ya que entre el 75% y el 100% de la energía que produce y consume para realizar sus actividades se convierte en calor dentro de su organismo, según el tipo de actividad, al que hay que sumar el calor producido por el metabolismo basal necesario para mantenerse vivo (figura 1.1).

Sin embargo, la generación continua de calor metabólico no siempre garantiza la temperatura interna mínima necesaria para la vida y para la realización de las actividades cuando las personas se encuentran expuestas a determinadas condiciones de frío, con lo cual las bajas temperaturas pueden llegar a constituir un peligro. No obstante, por lo general los ambientes de altas temperaturas son mucho más peligrosos que los fríos, pues normalmente resulta más fácil protegerse del frío que del calor.

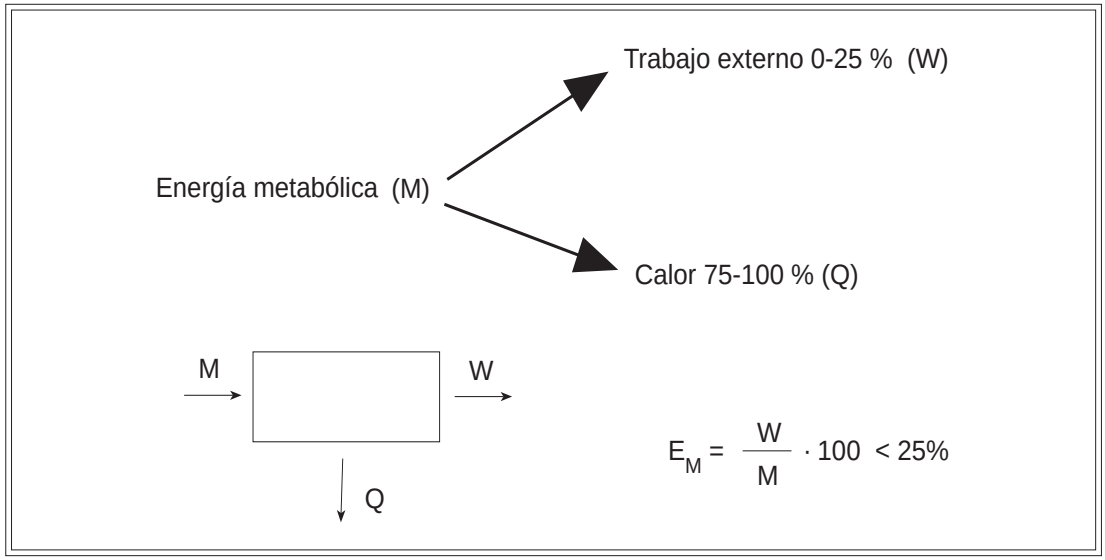


Fig. 1.1 Eficiencia mecánica del hombre

La temperatura interna o central, es decir, la de los tejidos profundos del organismo, es el promedio ponderado de las diferentes temperaturas de las partes y órganos del cuerpo. Estas temperaturas toman diferentes valores según la actividad; la parte del cuerpo y la hora, oscilando con ritmo circadiano, y manteniéndose dentro de ± 0,6 °C aproximadamente, salvo enfermedad febril; incluso si el individuo queda expuesto a temperaturas de bulbo seco tan bajas como 12 °C, o tan altas como 60 °C.

Aunque el intervalo de supervivencia puede extenderse, en algunos casos, desde los 28 °C hasta los 44 °C de temperatura interna (generalmente con daños importantes en el organismo), la temperatura interna considerada normal, en la que no deben producirse afectaciones, oscila alrededor de los 37,6 °C, dentro de un intervalo de 36 °C a 38 °C; no obstante, durante actividades físicas intensas puede llegar a alcanzar los 40 °C, lo cual, en circunstancias específicas, es necesario para lograr el rendimiento adecuado.

También es frecuente hablar de las temperaturas esofágica, axial, bucal o sublingual, rectal y de la piel o cutánea; esta última toma diferentes valores según la parte del cuerpo, por lo que es necesario estimar la temperatura media cutánea. Los valores de la temperatura tomada en el recto (temperatura rectal) son aproximadamente 0,6 °C mayores que los de la temperatura bucal, cuyo valor normal promedio se halla entre 36,7 °C y 37 °C. Mientras que la temperatura media cutánea puede variar en un intervalo más amplio, ya que aumenta y disminuye siguiendo las condiciones ambientales y la actividad metabólica; esta temperatura tiene importancia cuando nos referimos a la capacidad de la piel para ceder calor al ambiente.

Se llega fácilmente a la conclusión de que constituye una condición indispensable, para la salud y para la vida, mantener la temperatura interna dentro de los estrechos límites vitales de la sutil diferencia de 4 ó 5 °C.

El calor generado por el cuerpo (K), puede ser estimado partiendo de las temperaturas rectal y cutánea mediante la siguiente expresión:

$$K = 3{,}48\ Pc\ (0{,}65t_r + 0{,}35t_p) \quad \text{(kilojulios)} \tag{1}$$

donde:

3,48: calor específico del cuerpo, kJ/(kg °C)
Pc: peso corporal, (kg)
t_r: temperatura rectal, (°C)
t_p: temperatura de la piel, (°C)

En la figura 1.2 se muestran esquemáticamente los valores aproximados de las temperaturas en el cuerpo humano bajo las dos situaciones de frío y calor.

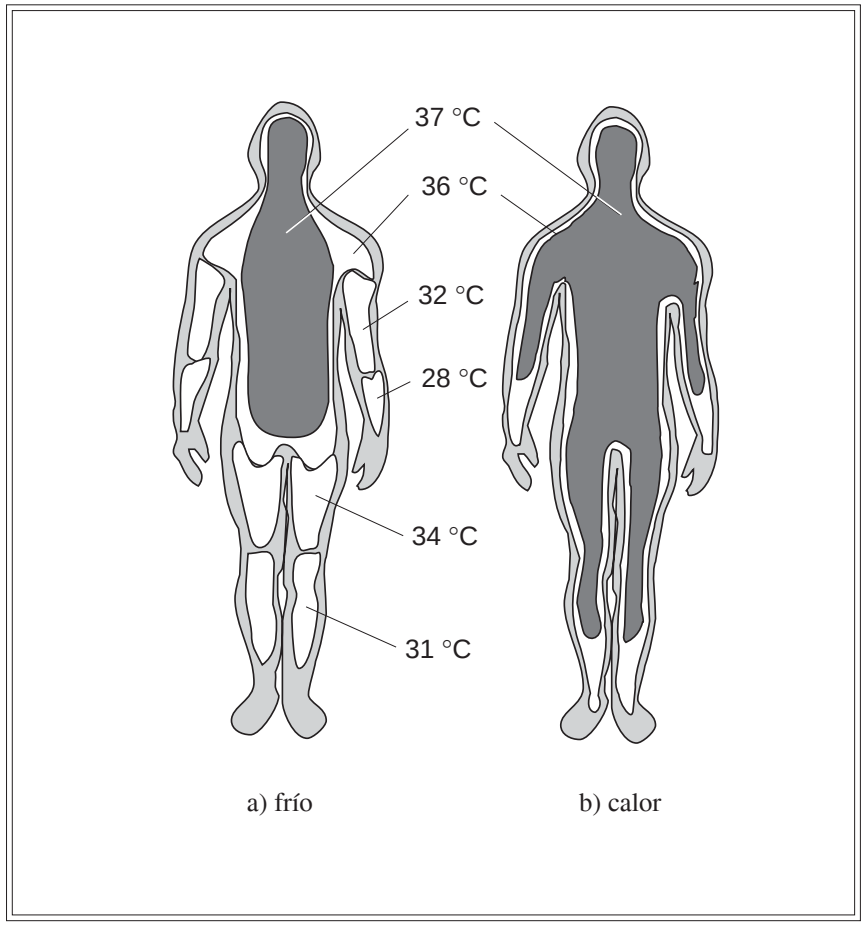


Fig 1.2 Temperaturas aproximadas del cuerpo humano: a) bajo condiciones de frío (20 - 24 °C) y b) bajo condiciones de calor (≥ 35 °C)

En la figura 1.3 puede observarse el ritmo circadiano de la temperatura rectal desde las 8 de la mañana hasta las 8 de la mañana del día siguiente, según Ernst Pöppel.

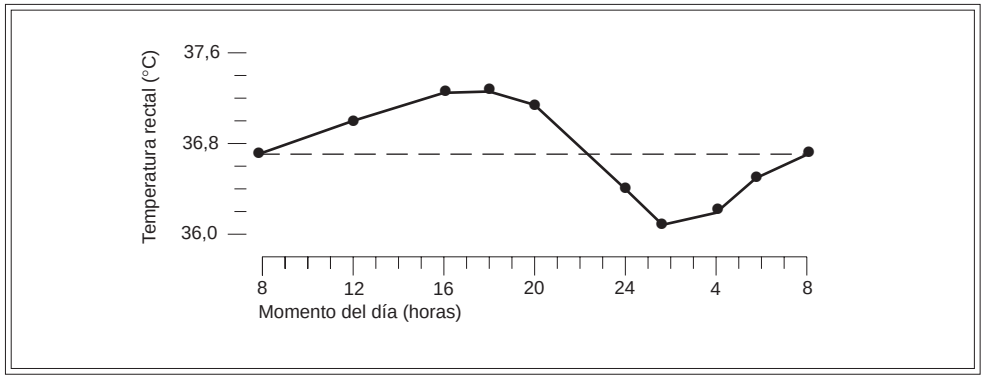


Fig 1.3 Variación circadiana de la temperatura rectal en un período de 24 horas según Ernst Pöppel

Las seis variables que definen la interrelación entre la persona y el ambiente térmico son las siguientes:
1) la temperatura del aire,
2) la temperatura radiante,
3) la humedad del aire,
4) la velocidad del aire,
5) la actividad desarrollada,
6) la vestimenta,
las cuatro primeras las aporta el entorno y las dos segundas la persona.

La sobrecarga térmica y la tensión térmica

Todo ambiente térmico que provoque tensiones en la persona que activen sus mecanismos de defensa naturales para mantener la temperatura interna dentro de su intervalo normal, constituye una sobrecarga. Las sobrecargas térmicas (por calor o por frío) provocan en el hombre las tensiones térmicas (por calor o por frío).

Se define la sobrecarga calórica (*Heat Stress*) como la causa que provoca en el individuo el efecto psicofisiológico que se denomina tensión calórica (*Heat Strain*); mientras que la sobrecarga por frío (*Cold Stress*) es la causa que provoca en el hombre el efecto psicofisiológico que se denomina tensión por frío (*Cold Strain*).

A efectos prácticos, se considera que el ambiente térmico puede ser de cuatro tipos:
1) de bienestar o confort;
2) permisible;
3) crítico por calor;
4) crítico por frío.

Las condiciones de bienestar o confort son las óptimas, el sujeto se encuentra satisfecho y su organismo mantiene el equilibrio térmico, es decir: su temperatura interna se mantiene dentro de los límites fisiológicos normales, sin tener que efectuar para ello ajustes de adaptación a un medio más o menos hostil. Incluso las condiciones permisibles obligan a la persona a efectuar determinados ajustes fisiológicos para alcanzar el equilibrio térmico y conservar su temperatura interna dentro de los límites normales, lo que provoca una tensión térmica más o menos severa, según la sobrecarga térmica existente, la ropa, la actividad y sus características individuales. Estos ajustes, incluso existiendo equilibrio térmico, al menos provocarán molestias psicológicas, aunque teóricamente, defenderán a las personas de la agresión ambiental y no provocarán daños fisiológicos.

En las condiciones críticas, ya sea por frío o por calor, no hay equilibrio térmico entre el ambiente y el cuerpo humano. En ambiente crítico por frío la temperatura interna bajará continuamente hasta provocar la muerte si el sujeto permanece expuesto al mismo, mientras que en el ambiente crítico por calor la temperatura interna se elevará continuamente con el mismo resultado fatal, si el individuo permanece expuesto el tiempo suficiente.

En el gráfico que se muestra en la figura 1.4 aparece la curva aproximada que relaciona la sobrecarga térmica con la tensión térmica en un sujeto.

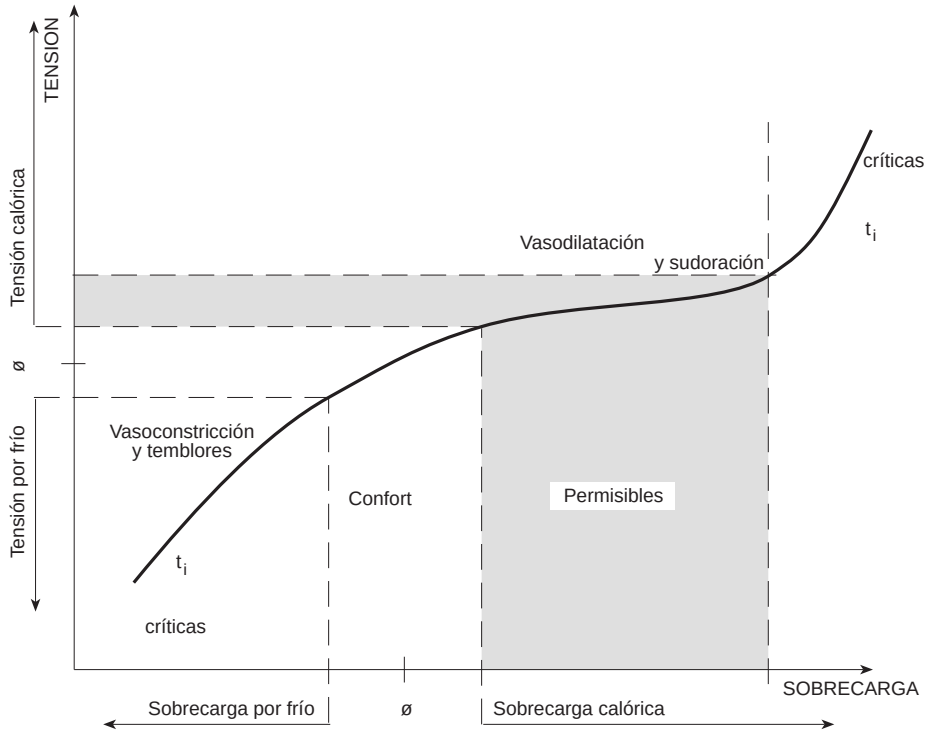


Fig. 1.4 Curva de sobrecarga confort-tensión, aproximada, de un sujeto

Sin embargo, no todos los individuos reaccionan igual frente a la misma sobrecarga térmica y lo que para unos puede constituir un ambiente severo, para otros pudiera no serlo tanto, tal como se observa en la figura 1.5.

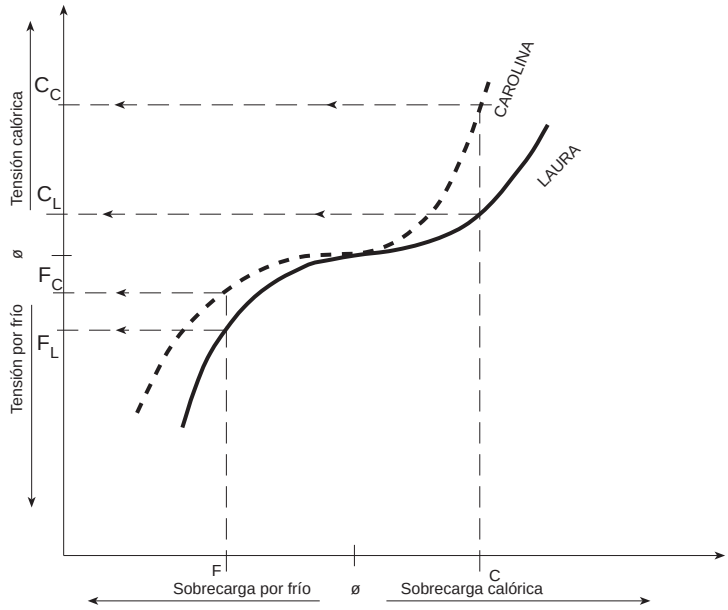


Fig. 1.5 Gráfico con las curvas de sobrecargas y tensiones calóricas y por frío de Laura y Carolina

Obsérvese que, ante una sobrecarga calórica (C), Laura reacciona con una tensión calórica (C_L) y Carolina con una tensión calórica (C_C) mucho mayor que la de Laura ($C_C >> C_L$); mientras que ante la sobrecarga por frío (F), Carolina enfrenta mejor la situación pues responde con una tensión por frío (F_C) y Laura peor, con una tensión por frío (F_L) ($F_C << F_L$).

La exposición a ambientes calurosos, desde el punto de vista conductual, puede provocar la pérdida de la motivación por la actividad, la disminución de la concentración y de la atención, con el consecuente incremento de los accidentes, y una disminución de la calidad del trabajo y del rendimiento, que puede, según algunos autores, decaer hasta en un 40%.

Desde el punto de vista fisiológico la tensión calórica puede provocar: deshidratación, quizás calambres debido a un trabajo pesado con sudoración abundante e ingestión de grandes cantidades de agua, síncope de calor con la pérdida del conocimiento debido a un largo período de inmovilidad en ambientes calurosos, agotamiento por deshidratación y pérdida de sal por exposición de varios días en sujetos no aclimatados; o, de súbito, tras esfuerzos físicos intensos y prolongados, manifestaciones de naturaleza digestiva (náuseas y vómitos), cardiovascular (hipotensión, malestar general, lividez, dolores de cabeza, taquicardia, etcétera), neurológica (vértigos y desorientación), golpe de calor (pérdida súbita del conocimiento, piel seca y caliente, incremento de la temperatura interna hasta más de 40 °C, convulsiones y estado de coma).

Por su parte, la exposición excesiva a ambientes fríos (lo mismo en actividades a la intemperie como en locales industriales especialmente preparados por razones tecnológicas a temperaturas muy bajas) puede provocar, en primer lugar, malestar general, con torpeza manual por el anquilosamiento de las articulaciones y elevación del umbral táctil; en una segunda etapa, eritemas pernios (sabañones), piel de trinchera y congelaciones; y, finalmente, cuando la temperatura interna desciende hasta 36,3-34 °C, aparece la hipotermia con intensa sensación dolorosa de frío, tiriteo, palidez, taquipnea, taquicardia y tensión arterial excesivamente alta; si la temperatura desciende entre 34 °C y 27 °C, se presenta rigidez muscular, bradipnea, bradicardia, hipotensión, somnolencia, embotamiento sensorial y apatía; y por último al descender la temperatura rectal por debajo de los 27 °C, se pierde totalmente la conciencia, los músculos se relajan, se desarrolla la fibrilación ventricular y sobreviene el paro cardíaco o desaparecen totalmente los reflejos y cesa la función respiratoria.

Afortunadamente, los mecanismos fisiológicos de la termorregulación son muy eficientes, y en los casos en que las condiciones microclimáticas y la actividad metabólica no permitan un confortable balance térmico entre el cuerpo y el entorno, se puede desarrollar una tensión más o menos importante según la situación, con el fin de tratar de alcanzar un equilibrio térmico aceptable, aunque creando incomodidades, fatiga, disminución de la capacidad física y de la capacidad mental. De no lograrse tampoco este equilibrio térmico aceptable o permisible porque los mecanismos fisiológicos resultaran insuficientes para resolver el conflicto, la salud de la persona se afectaría al incrementarse o disminuir la temperatura corporal fuera de los límites del intervalo considerado normal.

El mantenimiento de la temperatura corporal dentro de los citados límites es el resultado del equilibrio entre ganancias y pérdidas de calor del cuerpo situado dentro de un microclima determinado: si las ganancias superan a las pérdidas, el calor se acumulará en el organismo y la temperatura de éste tenderá a elevarse constantemente hasta alcanzar valores críticos que, de no variar la situación, pueden poner en peligro la vida.

Por cada grado centígrado de incremento de la temperatura interna, la frecuencia cardíaca se incrementa unas 10 pulsaciones por minuto, y a partir de 41°C disminuye al decaer la eficiencia cardíaca. Si, a la inversa, las pérdidas superan a las ganancias, el organismo irá perdiendo calor y su temperatura disminuirá hasta valores críticos que pueden dar al traste con la supervivencia.

No obstante, sería absurdo pensar que la permanencia de la persona en condiciones de bienestar térmico de forma permanente o estable, sería lo mejor para su salud. El organismo necesita estar entrenado y utilizar sus mecanismos de adaptación dentro de límites razonables; de lo contrario, al perderlos por falta de uso, quedaría indefenso ante posibles situaciones inesperadas, además de perder la posibilidad de continuar desarrollándose como ser vivo.

La sudoración, por ejemplo, no sólo es necesaria para lograr el equilibrio térmico, sino como un mecanismo eliminador de residuos metabólicos y un acondicionador de la piel. El deportista desarrolla su cuerpo entrenándose hasta el estrés, como el intelectual desarrolla sus capacidades mentales ejercitando su profesión también hasta el estrés, porque las tensiones son imprescindibles para el desarrollo. Es más que conocido que el deportista antes de entrar en competición o iniciar una sesión de entrenamiento necesita un calentamiento previo (*warm up*) que incremente su actividad metabólica, de lo contrario