

# EVALUACION DE LAS CONDICIONES DE TRABAJO EN AMBIENTE CALUROSO

I. Galíndez

Ergónomo y Licenciado en Medicina del trabajo por la Universidad Católica de Lovaina.

J. Malchaire

Université Catholique de Louvain. Unité d'Hygiène et Physiologie du Travail.

## INTRODUCCION

En la Encuesta Nacional de Condiciones de Trabajo del año 1987, realizada por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, se puede observar que las condiciones térmicas en el trabajo son la queja más habitual de los trabajadores, excepción hecha del riesgo de accidente.

En referencia a la legislación, la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo estipula que: «... en los locales de trabajo y sus anexos se mantendrá por medios naturales o artificiales, condiciones atmosféricas adecuadas, evitando el aire viciado, exceso de calor y frío, humedad o sequía y los olores desagradables».

Esta reglamentación fija como «LIMITES NORMALES» de temperatura y de humedad los siguientes:

- trabajos sedentarios: 17 a 22°C
- trabajos ordinarios: 15 a 18°C
- trabajos que exijan acusado esfuerzo muscular: 12 a 15°C.

—la humedad relativa de la atmósfera oscilará entre el 40 y el 60 % exceptuando los locales en que haya peligro de producir electricidad estática, en los cuales será siempre superior al 50%.

Por otra parte, la directiva del Consejo de las Comunidades Europeas, concerniente a las prescripciones mínimas de seguridad y salud para los locales de trabajo estipula en sus anexos I y II (CEE, 1989; CEE 1988) que «la temperatura de los locales de trabajo debe ser adecuada para el organismo humano durante el tiempo de trabajo, teniendo en cuenta los métodos de trabajo aplicados y los riesgos físicos impuestos a los trabajadores». Hay que señalar que esta directiva debe entrar en vigor en España como muy tarde el 31 de diciembre de 1992 y, por tanto, para esa fecha debe ser traducida al

derecho español y remplazar la reglamentación actual. La temperatura adecuada, de la cual habla la directiva, será estipulada por un conjunto de normas CEN (Comité Europeo de Normalización). Estas serán establecidas por la Organización Internacional de Estandarización (ISO) y transformadas inmediatamente en normas CEN, las cuales se apoyan sobre los tres índices siguientes:

**1. Índice PMV (Voto Medio Previsto) — PPD (Porcentaje de insatisfechos):** para las condiciones de confort (ISO 7730, 1984)

**2. Índice WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) —** para el diagnóstico rápido de las situaciones de riesgo térmico, aproximación rápida (ISO 7243, 1982).

**3. Índice SWreq (Sudoración Requerida)** para el análisis de las condiciones de trabajo a altas temperaturas y la fijación del tiempo límite de exposición (ISO 7933, 1990)

El objetivo de este artículo es la presentación sucinta de estos índices y describir su puesta en aplicación.



## EL BALANCE TERMICO

La ecuación del balance térmico del hombre expone que la producción interna de calor está totalmente compensada por los intercambios térmicos sobre la piel o en el interior de las vías respiratorias. Esta ecuación se escribe:

$$M - W = K + C + C_{res} + R + E + E_{res}$$

**a) Metabolismo (M, en Watios/m<sup>2</sup>)** es la energía que resulta del conjunto de transformaciones energéticas a nivel celular y del funcionamiento de los órganos.

**b) Trabajo exterior (W, W/m<sup>2</sup>)**: Fracción del metabolismo M transformada en energía útil al exterior. En la mayor parte de las ocasiones es imposible de determinar, por lo tanto se considera nulo, lo que entraña una sobre-estimación de la producción interna de calor y constituye un factor de seguridad para el cálculo de los índices.

**c) Conducción (K, W/m<sup>2</sup>)**: Transmisión de calor entre dos sólidos en contacto. La cual está en función de la diferencia entre la temperatura de la piel y los sólidos en contacto. En la práctica no es tenida en cuenta y es asimilada a las pérdidas por convección o radiación que existirían si no hubiera contacto.



**d) Convección (C, W/m<sup>2</sup>)**: Transferencia de calor entre la piel del cuerpo y el aire ambiente (C), sin olvidar las vías respiratorias (C<sub>res</sub>).

El cálculo de los intercambios por convección a nivel de la piel (C) es función de:

- La diferencia entre la temperatura media de la piel y la temperatura del aire
- la densidad del aire
- la velocidad del aire
- la vestimenta del sujeto

Los cambios por convección respiratoria (C<sub>res</sub>) son función de:

- la diferencia de temperatura entre el aire espirado y el aire ambiente.
- la masa volúmica de los gases espirados e indirectamente del metabolismo del sujeto.

**e) Radiación (R, W/m<sup>2</sup>)**: Transferencia de calor bajo forma de radiación electromagnética. El flujo térmico intercambiado por radiación con las superficies vecinas es función de:

- la emisividad de la superficie de la piel
- la fracción de la superficie del cuerpo expuesta
- las características térmicas de los vestidos
- la temperatura cutánea media
- la temperatura media de radiación

**f) Evaporación (E, W/m<sup>2</sup>)**: Cantidad de calor perdida por el cuerpo debido a la evaporación del sudor de la piel. Esta pérdida es función de:

- el grado de humidificación de la piel llamado Mojadura de la piel.
- la diferencia de las presiones parciales de vapor de agua entre la piel y el aire.
- la velocidad del aire.
- las características del vestido

La evaporación en el interior de los pulmones (E<sub>res</sub>, W/m<sup>2</sup>) está en función de:

- la diferencia de presiones parciales entre el aire espirado y el aire ambiente.
- el débito de ventilación (en relación a su vez con el metabolismo)

## EVALUACION DE LOS PARAMETROS DE LA SITUACION DE TRABAJO

Como se ha visto en la sección precedente, la evaluación de los ambientes desde el punto de vista climático exige determinar los seis valores llamados primarios: temperatura del aire, humedad, temperatura media de radiación, velocidad del aire, metabolismo de trabajo y el aislamiento térmico de los vestidos. Existen otros valores derivados, como la temperatura húmeda natural -t<sub>na</sub>- o la temperatura operativa -t<sub>o</sub>-, necesarios para el cálculo de índices como el WBGT o el PMV-PPD.

Las técnicas y los criterios de medida de estos parámetros climáticos están definidos por la norma ISO 7726 (1985).

**a) Temperatura del aire (t<sub>a</sub>, °C)**: Es la temperatura del fluido del microclima dentro del cual el hombre manobra. El medidor debe estar protegido contra la radiación térmica.

**b) Humedad**: puede ser caracterizada a partir de: la presión parcial de vapor de agua, la humedad relativa o la temperatura húmeda. La presión parcial de vapor de agua (Pa, kilopascales KPa) es la presión que ejercería sólo el vapor de agua. La humedad relativa (HR, %) es el porcentaje de la presión de vapor de agua en el aire en relación al máximo que pudiera haber a la temperatura del aire dada. Finalmente la temperatura húmeda (t<sub>h</sub>, °C) es la temperatura mínima de una superficie de agua ventilada a gran velocidad y, por tanto, expuesta a una evaporación intensa en ausencia de todo aporte calorífico exterior. Todos estos valores están ligados entre ellos matemáticamente, lo cual se expresa en el diagrama psicrométrico (fig. 1). La temperatura húmeda se mide simplemente con el psicrómetro, en tanto que la humedad relativa, por medio de los higrómetros clásicos.

**c) Temperatura media de radiación (t<sub>r</sub>, °C)**: Es la temperatura uniforme de una esfera de gran diámetro, negra y

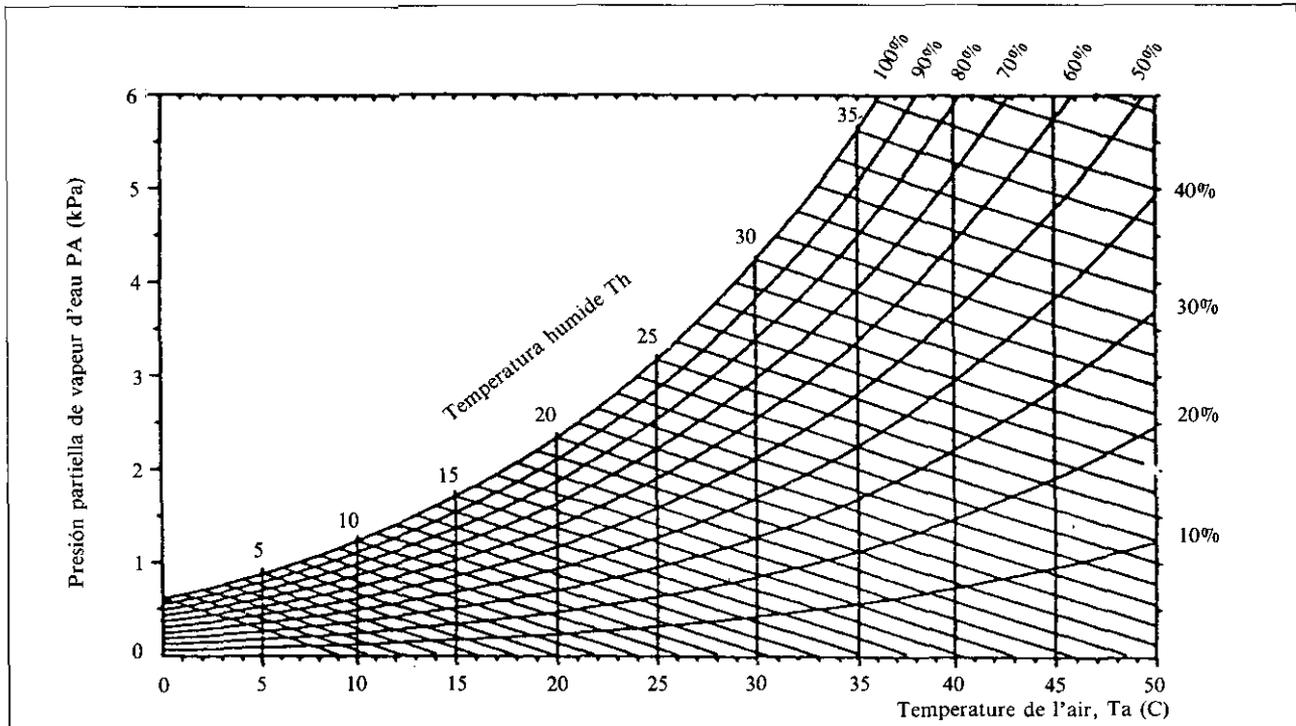


Figura 1 - Diagrama psicrométrico

mate, que daría lugar a los mismos intercambios, por radiación con el cuerpo humano, que el medio real considerado. Esta temperatura media de radiación se evalúa indirectamente a partir de la temperatura de globo negro estándar ( $t_g$ , °C), es decir, de la temperatura dada por un termómetro embutido en el centro de una esfera de cobre 15 cm de diámetro totalmente cerrada y pintada de negro mate. La temperatura media de radiación se calcula a través de la fórmula siguiente:

$$t_r = \frac{4}{(t_a + 273)^4 + 2.5 \cdot 10^8 \cdot V^{0.6} \cdot (t_g - t_a)} - 273 \text{ °C}$$

**d) Velocidad del aire ( $V_a$ , m/s):** se mide con un anemómetro, ya sea mecánico de hélice, ya sea termosensible.

**e) Temperatura húmeda natural:** Es la temperatura obtenida por el termómetro húmedo del psicrómetro no ventilado y expuesto a la radiación térmica. Por lo tanto, no se le puede considerar un valor primario, sino un valor secundario que refleja la influencia de diversos factores: humedad, radiación, temperatura del aire y la velocidad del aire. Mejor que medirla en el puesto de trabajo, puede ser ventajosamente calculada a partir de los parámetros primarios (Malchaire, 1976).

**f) El Metabolismo de trabajo** puede ser medido, entre otros, a partir de dos métodos: la frecuencia cardíaca y la descomposición en gestos y movimientos de la tarea.

**1. Frecuencia cardíaca:** existen en el momento actual diferentes sistemas, económicos y fiables, que permiten registrar la frecuencia cardíaca de manera continua en el mismo puesto de trabajo, durante toda la jornada. Los datos recogidos son

interesantes desde el punto de vista ergonómico, ya que permiten identificar las fases de trabajo que entrañan elevaciones de frecuencia cardíaca importantes y el reconocimiento de las fases más penosas. Si además disponemos de la relación frecuencia-cardíaca-metabolismo obtenida a partir de una prueba de esfuerzo o, en su carencia, estimada en función de la edad y peso del trabajador, es posible deducir de la frecuencia cardíaca el metabolismo llamado equivalente; es decir, el metabolismo que en una prueba de esfuerzo daría lugar al mismo valor de frecuencia cardíaca que el encontrado en el puesto de trabajo (Malchaire, 1988a)

**2. Análisis de los gestos y movimientos:** el método se basa en las tablas de Spitzer y al (1982) o la norma ISO 8996 (1990) y consiste en determinar en todo instante, o en fases sucesivas de trabajo: la posición del cuerpo (sentado, de pie, andando,...), los movimientos relativos de las manos y del cuerpo, así como la intensidad del esfuerzo (ligero, medio o pesado). Esta descomposición puede ser efectuada directamente en el puesto de trabajo o simplemente a partir de la grabación en video; siendo posible entonces, con la ayuda de programas informáticos, reconocer las sucesivas fases de trabajo (Horwat et al., 1988). Para cada una de las fases se estima el nivel metabólico correspondiente, calculando el metabolismo medio a partir de la media ponderada de los diferentes metabolismos instantáneos. Según diferentes autores, la precisión de los valores obtenidos sería alrededor del 20%, siendo su calidad función: de la formación del observador y su experiencia, del soporte utilizado para la recogida de la información y por supuesto de la naturaleza de la tarea analizada.

**3. Comparación de las dos técnicas:** El interés de utilizar ambas técnicas de evaluación del metabolismo reside en el he-

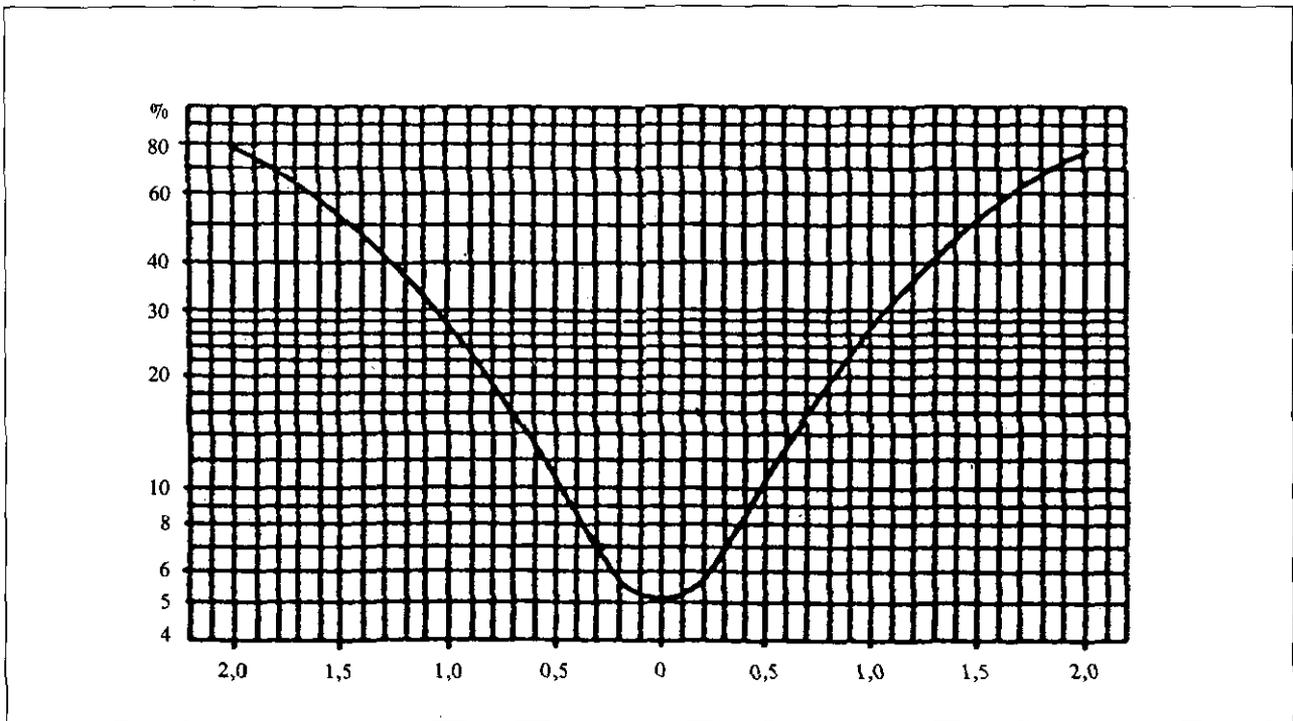


Figura 2 - Porcentaje de Insatisfechos (PPD) en función del Voti Medio Previsto.

cho de que las estimaciones obtenidas no tienen el mismo significado. Así, la frecuencia cardíaca permite estimar el metabolismo equivalente, incluidas las componentes isométrica y térmica, en tanto que el metabolismo calculado a partir de la descomposición de la tarea está poco influenciado por estas últimas. La comparación de las dos técnicas permite, por tanto, valorar la importancia de los efectos secundarios.

**g) Evaluación del aislamiento de los vestidos:** Los vestidos reducen el volumen de intercambios térmicos, modificando los coeficientes de convección, radiación y evaporación. Esta influencia es medida a partir de un parámetro llamado «aislamiento térmico vestimentario» y es expresado en grados centígrados/metro cuadrado/watio ( $^{\circ}\text{C}/\text{m}^2/\text{W}$ ) o en la unidad llamada Clo ( $1 \text{ Clo} = 0,155 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}^2/\text{W}$ ). La norma internacional ISO DP/9220 (1988) da valores Clo para determinados tipos de conjuntos vestimentarios o para elementos de dichos conjuntos. Estos valores, obtenidos experimentalmente, son susceptibles de modificarse en el hombre durante el trabajo por:

- las variaciones de las características de los tejidos a causa de su lavado o su propia utilización,
- el efecto de bombeo causado por los movimientos del cuerpo y los miembros que entrañan una ventilación entre el cuerpo y la ropa.

## CALCULO DE LOS INDICES TERMICOS

### a) PMV-PPD

El confort térmico se define a través del estado de satisfacción dentro de un ambiente térmico determinado; éste se

observa en el momento en el que el balance térmico está equilibrado, mediando los valores óptimos de temperatura de la piel y de evaporación cutánea (Fanger 1972).

Introduciendo estos valores en la ecuación del balance térmico, presentado en el punto A, es posible, conociendo cinco parámetros primarios, deducir el valor óptimo del sexto (generalmente la temperatura de aire), de tal manera que la situación final sea confortable.

El índice PMV -voto medio previsto- permite cuantificar qué sensación de calor está asociada a un ambiente determinado. El Voto Medio Previsto corresponde al valor medio de los votos sobre la sensación térmica de un grupo importante de personas. La escala que se utiliza es la siguiente: +3, muy cálido; +2, cálido; +1, ligeramente cálido; 0, ni frío ni calor; -1, ligeramente frío; -2, frío y -3, muy frío.

La norma ISO sobre la que descansa comprende una serie de tablas que dan el valor de PMV en función de:

- el metabolismo, en Watios/ $\text{m}^2$  de superficie
- el aislamiento vestimentario,  $I_{cl}$  en Clo
- la velocidad relativa del aire,  $V_{ar}$  en m/s
- la temperatura operativa ( $t_o$ ), calculada por la fórmula

$$t_o = (h_c * t_a + h_r * t_r) / (h_c + h_r)$$

$h_c$  = coeficiente por convección

$h_r$  = coeficiente por radiación

En realidad, en condiciones de confort, normalmente la radiación térmica es pequeña y se puede tomar como temperatura operativa la temperatura de globo negro estándar ( $t_g$ ).

El índice PPD es el llamado Porcentaje de Insatisfechos, la figura 2 da la relación que une a los índices PMV y PPD; se puede observar que para un PMV=0, es decir, en condiciones óptimas, el porcentaje de insatisfechos es del 5%.

Para los ambientes tales que el índice PMV se encuentra en +1 ó -1 (sensación ligera de calor o frescor), el porcentaje de insatisfechos es del 27%. La norma preconiza limitar el PPD al 10%, lo que estrecha los límites del PMV, en cuanto al intervalo confortable entre -0,5 a +0,5.

Estos índices se calculan fácilmente por medio de soportes lógicos informáticos mostrados en la norma ISO 7730 (1984) o por Mairiaux y Malchaire (1990).

## b) Índice WBGT

El índice «Wet Bulb Globe Temperature» (WBGT) constituye un índice global, empírico, y, según el informe de la CECA, con «... ecuaciones establecidas de manera casi intuitiva...» (Vogt 1987).

El índice WBGT se calcula mediante las fórmulas siguientes:

$$\text{WBGT} = 0,7 t_{\text{hn}} + 0,3 t_g \text{ (en ausencia de radiación solar)}$$

$$\text{WBGT} = 0,7 t_{\text{hn}} + 0,2 t_g + 0,1 t_a \text{ (radiación solar)}$$

$t_{\text{hn}}$  = temperatura húmeda natural (no confundir con  $t_h$ )

$t_g$  = temperatura de globo negro estándar

$t_a$  = temperatura del aire.

El Índice no necesita medir la velocidad del aire, sin embargo, interviene indirectamente influenciando los intercambios por convección en el globo negro o en el proceso de evaporación del termómetro húmedo natural.

Como se ha dicho anteriormente, este índice puede ser calculado a partir de los parámetros climáticos primarios (Malchaire, 1976). En caso de exposición variable, el índice WBGT medio se calcula a través de la media ponderada en función del tiempo de los valores WBGT de cada una de las fases constitutivas de la exposición.

La probabilidad de riesgo de nocividad térmica es evaluada por comparación del WBGT calculado con los valores WBGT-límites, los cuales son función del metabolismo de trabajo y del estado de aclimatación del trabajador. Los límites han sido fijados para trabajadores con buena salud y vestidos con una ropa tradicional de trabajo (0,6 Clo) (tabla 1).

**TABLA 1**

**Valores límites de WBGT para un trabajo continuo**  
(Sujeto con un vestido de trabajo Clo = 0.6)  
(Norma ISP 7243, 1982)

Metabolismo (wattios)	Sujeto aclimatado	Sujeto no aclimatado
< 118	33	32
118-234	30	29
235-360	28	26
361-468	25-26*	22-23*
> 468	23-25*	18-20

\* La primera cifra es la recomendada en ausencia de corrientes de aire, la segunda en el momento en que los movimientos de aire sean perceptibles.

Según la norma 7243 (1982), si el metabolismo varía en el curso de la jornada, el metabolismo medio es de nuevo calculado por ponderación en función del tiempo. El WBGT límite se determina a partir de este metabolismo medio.

El índice WBGT presenta, por su misma simplicidad, un campo de aplicación bastante limitado: un valor próximo o superior al límite recomendado implica la existencia de un riesgo potencial de nocividad térmica en caso de exposición continua, por lo que se necesita un estudio más profundo de la situación.

Según los resultados de la campaña de validación de los índices térmicos dentro del 4º programa de la CECA (Vogt, 1987) «el índice WBGT puede ser una aproximación sumaria del riesgo térmico». La imprecisión de este índice sobre el conjunto de condiciones higrotérmicas encontradas en el curso de este estudio debe limitar su utilización a valores inferiores a 25º WBGT.

## c) Índice de «Sudoración Requerida»

Se trata de un índice analítico basado en la ecuación del balance térmico (ISO 7933, 1990).

A partir de los seis parámetros de base ( $t_a$ ,  $t_h$ ,  $t_r$ ,  $V_a$ ,  $M$  y  $I_{cl}$ ) y la ecuación del balance térmico, se determina:

— la evaporación máxima ( $E_{\text{max}}$ ) que sería observada si la piel estuviera totalmente mojada (mojadura,  $w = 1$ )

— la evaporación requerida ( $E_{\text{req}}$ ) para el mantenimiento del balance térmico en equilibrio

— la mojadura requerida ( $W_{\text{req}}$ ), que se calcula como el cociente de los dos valores anteriores

— la eficacia evaporatoria requerida ( $r_{\text{req}}$ ), que es la fracción de sudor realmente evaporada, unida a la mojadura requerida por la siguiente expresión:

$$r = 1 - W^2 / 2$$

— la sudoración requerida ( $SW_{\text{req}}$ ) o cociente entre la evaporación requerida y su eficacia evaporatoria.

Es decir:

$$E_{\text{req}} = W_{\text{req}} * E_{\text{max}} = r_{\text{req}} * SW_{\text{req}}$$

En ciertos casos de calor extremo, puede ocurrir que la mojadura requerida o la sudoración requerida sean irrealizables para desarrollar el trabajo sin riesgo. De hecho, la norma ISO 7933 especifica niveles máximos de mojadura y sudoración en función de que el trabajador esté o no aclimatado al calor (es decir: haya estado repetidamente expuesto al calor anteriormente).

También la norma prevé dos niveles de protección:

— **Nivel de alarma:** Todos los trabajadores expuestos y en buena salud son susceptibles de alcanzar los valores límites, asegurando, por tanto, la protección a toda la población obrera.

— **Nivel de Peligro:** Ciertos trabajadores serán incapaces de realizar las mojaduras o débitos sudorales adoptados como valores límites y, por lo tanto, pueden correr un riesgo. En la tabla 2 se pueden encontrar estos valores máximos.

La interpretación está basada sobre la comparación de los valores requeridos a los máximos:

**TABLA 2**  
Valores límites a considerar para la interpretación de la sudoración requerida (ISO 7933)

Criterios	Sujeto No Aclimatado		Sujeto Aclimatado	
	Alarma	Peligro	Alarma	Peligro
Mojadura Cutánea Max. Wmax	0,85	0,85	1,0	1,0
Sudoración Max. SWmax	(W)	360	450	540
	(g/h)	520	650	780
Stockage de Calor Max. Qmax Wh/M <sup>2</sup>	50	60	50	60
Pérdida Hídrica Máxima Dmax Wh/m <sup>2</sup> g	1800	2250	2700	3600
	2600	3250	3900	5200

— Si  $W_{req}$  y  $SW_{req}$  son ambos inferiores a sus límites, el equilibrio térmico puede ser mantenido. Los valores requeridos están asegurados.

— Si la mojadura  $W_{req}$  o la sudoración requerida  $SW_{req}$  son superiores a los valores límites es necesario determinar la evaporación prevista tal que

$$E_p = W_p * E_{max} = r_p * SW_p$$

de tal manera que  $W_p$  y  $SW_p$  sean inferiores a los valores límites.

Finalmente se determinan los tiempos límites de exposición: — Si la evaporación prevista ( $E_p$ ) es inferior a la requerida ( $E_{req}$ ), su diferencia ( $E_{req} - E_p$ ) representa el débito de almacenamiento de calor en el cuerpo. Con el fin de que la elevación de la temperatura no sea excesiva (0,8 a 1°C en los límites de alerta o peligro) el almacenamiento total no puede exceder a  $Q_{max} = 50$  ó  $60$  Wh/m<sup>2</sup> respectivamente.

La duración límite de exposición (DLE) se calcula por la fórmula:

$$DLE1 = 60 * Q_{max} / (E_{req} - E_p)$$

— La pérdida hídrica total no puede superar un cierto valor  $D_{max}$  (Wh/m<sup>2</sup> o g) sin el riesgo de una deshidratación excesiva. Se calcula la segunda duración límite de exposición por la fórmula:

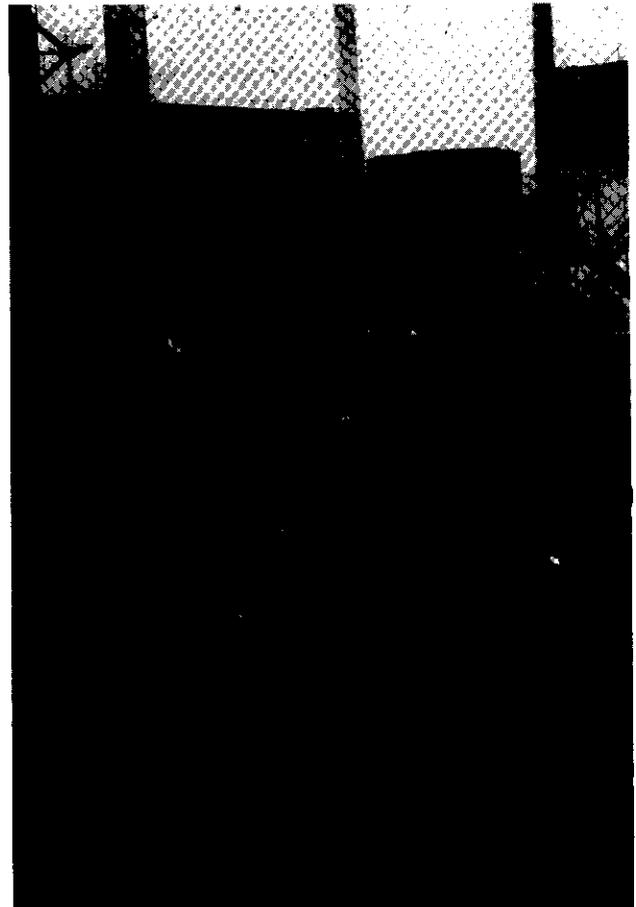
$$DLE2 = 60 * D_{max} / SW_p$$

La DLE a tomar en consideración será siempre la más pequeña entre los dos valores determinados.

La validez de estos tiempos límites es función de:

- la precisión de los parámetros recogidos
- la estabilidad del ambiente, mejora si el clima es poco variable.
- la duración de la observación: si la duración aumenta, la calidad de la predicción también.

Hay que tener en cuenta que el modelo propuesto no es correcto en el caso de llevar vestidos especiales de protección



o si la humedad o la radiación térmica son extremas.

En el caso de ambientes intermitentes, la norma adopta, para el cálculo de la sudoración media, los valores medios ponderados, en función del tiempo, de la  $E_{req}$  y  $E_{max}$  para cada una de las secuencias consideradas. El procedimiento, en realidad, subestima el riesgo medio del conjunto, por lo cual es preferible utilizar un modelo basado sobre una ponderación exponencial; la cual calcula, en función del tiempo, las sudoraciones instantáneas teóricas.

La aplicación de este sistema de ponderación entraña una mejora significativa de la correlación entre los valores observados y previstos (Malchaire, 1988b). La figura 3 (Mairiaux y Malchaire, 1990) da un ejemplo de comparación entre las sudoraciones observadas y previstas a partir de la norma 7933 utilizando una ponderación exponencial.

### EVALUACION DE LA EXPOSICION EN PRACTICA

Las normas ISO y las futuras normas CEN, en cuanto a los ambientes térmicos de trabajo, forman un conjunto coherente describiendo:

- Las técnicas de medida de los diferentes parámetros climáticos y en particular la temperatura del aire, la humedad, la temperatura media de radiación y la velocidad del aire (ISO 7726, 1985).

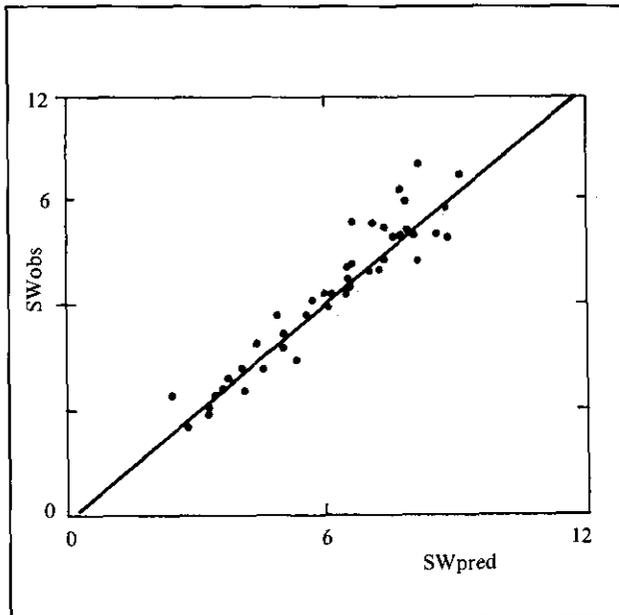


Figura 3 - Correlación entre los débitos sudorales observados (SWObs) y previstos (SWp) en g/min ( $R = 0,949$ ).

— La evaluación del metabolismo del trabajo (ISO 8996, 1990) y de las características térmicas de los vestidos ISO DP 9920, 1988).

— Los Métodos de interpretación del riesgo en ambientes moderados (índices PMV-PPD, ISO 7730, 1984) y cálidos (Índices WBGT, 7243, 1982) y de la sudoración requerida ISO/DIS 9886, 1990).

La evaluación de la exposición puede hacerse con el esquema siguiente:

— Los parámetros climáticos son medidos minuto a minuto en el puesto de trabajo o en las diferentes zonas de trabajo, ya sea de manera continua, ya sea intermitentemente; en este último caso se deducen los valores intermedios.

— de la misma manera, el metabolismo de trabajo puede ser deducido por el registro de la frecuencia cardiaca o la observación continuada de los movimientos, desplazamientos y esfuerzos del sujeto. La observación permite de nuevo calcular el aislamiento vestimentario del trabajador.

— Por medio del programa de cálculo de la sudoración requerida, es evaluado el débito sudoral en cada minuto y, utilizando el principio de la ponderación exponencial, los débitos sudorales requeridos en cada instante.

— Haciendo la suma en función del tiempo de los débitos de almacenamiento ( $E_{req} - E_p$ ) y los débitos sudorales previstos, es entonces cuando se puede calcular fácilmente si el almacenamiento de calor máximo  $Q_{max}$  o la pérdida hídrica máxima  $D_{max}$  son superados; en este caso el trabajo debe ser interrumpido.

— Si éste no es el caso, se concluirá que las condiciones de trabajo no son térmicamente nocivas y la tarea puede ser realizada sin interrupción.

Queda por verificar si las condiciones de confort están aseguradas o no. Se deben utilizar entonces los índices PMV y PPD. De nuevo la opinión de los trabajadores y el número

de insatisfechos no varían instantáneamente con un cambio brutal de las condiciones de trabajo; por lo que parece lógico utilizar el mismo modelo de ponderación exponencial, en función del tiempo, que el utilizado para la sudoración. Sobre esta base la evolución de los índices PMV y PPD es prevista en función del tiempo, lo que permite determinar las fases más incómodas y buscar los métodos más apropiados de mejora de las condiciones de trabajo.

## CONCLUSIONES

Una metodología coherente está a la disposición de los responsables de la salud de los trabajadores para la evaluación de las condiciones de exposición al calor. Dicha metodología utiliza los índices que tienen una formulación matemática bastante compleja y está basada esencialmente en una modelización del balance térmico del cuerpo humano, es decir, de los intercambios térmicos que se dan en las superficie del cuerpo y vías respiratorias. La gran novedad de esta aproximación consiste en tomar en consideración las variaciones ya sean climáticas, ya sean metabólicas por medio de una ponderación exponencial del débito sudoral y, por analogía, del voto medio previsto (PMV). Los medios actuales -ordenadores y sus soportes lógicos- permiten recurrir a estos modelos complejos para una mejor predicción de las reacciones fisiopatológicas de los trabajadores y, por tanto, una mejor protección de la población obrera.

## BIBLIOGRAFIA

- BOE. Ordenanza general de seguridad e higiene en el trabajo. Orden Ministerial de 4 de marzo de 1971.
- CEE. Directiva del consejo concerniente a las prescripciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. Boletín oficial de las Comunidades europeas. 1988.
- CEE. Directiva del consejo concerniente a la puesta en marcha de medidas tendentes a promover la mejora de la seguridad y la salud en el trabajo. Boletín Oficial de las Comunidades europeas. 1989.
- FANGER P.O. Thermal comfort. McGraw-hill, 1972.
- FERNANDEZ DEL PINEDO I., NOGAREDA C. Y ONCINS M.. Encuesta Nacional de condiciones de Trabajo 1987. Salud y Trabajo n° 70, 1988.
- HORWAT F., MEYER J.P., MALCHAIRE J. . Validation of a new pocket computer-assited method for metabolic rate-estimation in field studies. Ergonomics, 1988, 8,31, 1155-1164.
- ISO 7243. Ambiance chaudes - Détermination de l'indice de contrainte thermique WBGT, 1982.
- ISO 7730. Ambiances thermiques moderées. Détermination des indices PMV et PPD et spécifications des conditions de confort thermique. 1984.
- ISO 7726. Ambiances thermiques. Appareils et méthodes de mesure des caractéristiques de l'environnement. 1985.

ISO 7933. *Ambiance thermiques chaudes. Détermination analytique et interprétation de la contrainte thermique fondées sur le calcul de la sudation requise*, 1990.

ISO-DP 8996. *Evaluation de l'astreinte thermique par mesures physiologiques*, 1990.

ISO-DP 9920. *Estimation des caractéristiques thermiques d'un vêtement*, 1988.

MAIRIAUX Ph. et MALCHAIRE J.. *Le travail en ambiance chaude*. Ed. Masson, 1990.

MALCHAIRE J.B. *Evaluation of natural wet bulb globe thermometers*. *Ann. Occup. Hyg.*, 1976, 19, 251-258.

MALCHAIRE J. *Méthodologie générale d'interprétation des enregistrements continus de fréquence cardiaque aux postes de travail*. *Cahiers de Medecine du Travail*, 1988, XXV, 4.

MALCHAIRE J.. *Validation des indices de contrainte thermique pour la prédiction des astreintes et des durées limites d'exposition*. *Rapport final, Etude CECA 7247.22.01*, 1988b.

PETERS H., *Testing climate indices in the field*. IN: *Heat stress indices, ECC Symposium, 25-26 October 1988, Luxembourg*, 135-165.

SPITZER H., HETTINGER T., KAMINSKY G.. *Tafeln für den Energieumsatz bei Körperlicher Arbeit*. 6. Auflage. *Beuth Verlag GmbH, Berlin-Köln*, 1982.

VOGT J.J.. *Campagne de comparaison de la validité respective des principaux indices de contrainte thermique*. *Quatrième programme ergonomique de la CECA*, 1987.

## Sobre .... CONDICIONES DE TRABAJO

"Tiene toda la información."

Ofrece la actualidad sobre Medicina e Higiene del Trabajo, Seguridad y Ergonomía aparecida en más de 150 revistas y textos especializados de todo el mundo, así como las disposiciones legales en estas materias que va publicando el Boletín Oficial del Estado y el Diario de las Comunidades Europeas.

Solicite ejemplar de muestra GRATUITO llamando al Teléf: (93) 280 01 02, Ext. 1106, ó por escrito a: INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO . C/ Dulcet, 2-10 - 08034 Barcelona.

Suscripción anual (12 números) 3.000 Ptas. (+ 6% IVA)

