

NTP 18: Estrés térmico. Evaluación de las exposiciones muy intensas

Heat stress evaluation of sever exposures

Las NTP son guías de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. A efectos de valorar la pertinencia de las recomendaciones contenidas en una NTP concreta es conveniente tener en cuenta su fecha de edición.

Redactor:

Emilio Castejón Vilella
Ingeniero Industrial
Lcdo. en Farmacia

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ASISTENCIA TÉCNICA - BARCELONA

Introducción

La agresión térmica muy intensa puede tener sobre el organismo humano consecuencias fatales; por ello en situaciones extremas es necesario limitar estrictamente el tiempo de permanencia en tales condiciones. En la industria esta limitación se pone en práctica, en la mayoría de los casos, permitiendo que los trabajadores intercalen a su libre albedrío los periodos de actividad y de reposo, aunque usualmente este método conduce a resultados bastante satisfactorios, implica un riesgo considerable de que en ciertas circunstancias (por ejemplo para terminar una tarea y evitar así un nuevo periodo de exposición) el trabajador prolongue su exposición hasta límites peligrosos.

El método que aquí se presenta permite calcular con relativa exactitud cuál es el tiempo máximo que un trabajador puede permanecer en una cierta situación térmicamente agresiva, y cuál es la duración del preceptivo periodo de reposo que debe seguir a la exposición antes de que pueda recomenzar el trabajo.

Como veremos más adelante el método es particularmente apropiado para situaciones muy agresivas, con un tiempo máximo de permanencia inferior a 30 minutos, perdiendo sensibilidad para situaciones de exposición menos intensa.

Fundamentos

El método que se presenta fué publicado en 1.966 por McKarns y Brief (1) y es una adaptación del llamado Heat Stress Index (Indice de estrés térmico) desarrollado por Belding y Hatch (2) en base a trabajos anteriores de Haines y Hatch (3).

El método se basa en el cálculo de la magnitud de los intercambios térmicos entre el hombre y el ambiente por medio de los tres mecanismos fundamentales a través de los cuales tiene lugar dicho intercambio: convección, radiación y evaporación.

El cálculo se efectúa a partir de tres hipótesis principales:

- Hombre standard de 70 Kg. de peso.
- El vestido es ligero (camisa y pantalón de verano o similar).
- La temperatura de la piel es de 35°C.

La temperatura de la piel no debe confundirse con la temperatura interna del cuerpo que es la que estimamos, aproximadamente, cuando nos ponemos el termómetro.

Frente a un valor normal de la temperatura así medida de 36,5 a 37°C, la temperatura de la piel de un hombre en actividad moderada y en un ambiente confortable se sitúa alrededor de 32°C; en una situación de estrés térmico la temperatura de la piel asciende notablemente (de ahí la elección de los 35°C aludidos más arriba) pero la temperatura interna del cuerpo se modifica en mucha menor medida, gracias a la actuación de los mecanismos termorreguladores del organismo humano.

Una vez efectuado el cálculo de la magnitud de los intercambios que tendrán lugar por convección y radiación, y de la cantidad máxima de calor que el sujeto es **capaz de eliminar** por evaporación del sudor (evaporación máxima, E_{max}) en las condiciones ambientales existentes, el método procede al cálculo de la cantidad de calor que el individuo **debería eliminar** por evaporación para alcanzar el equilibrio térmico (pérdida = ganancia) mediante la expresión:

$$E_{req} = M + C + R$$

donde:

E_{req} = evaporación necesaria para el equilibrio, Kcal/h

M = calor generado por el organismo (metabolismo), Kc/h

C = calor ganado o perdido por convección, Kcal/h

R = calor ganado por radiación, Kcal/h

La diferencia entre E_{req} y la evaporación máxima E_{max} es evidentemente la **ganancia neta** de calor que recibe el organismo del sujeto expuesto.

Admitiendo que la exposición debe cesar cuando la temperatura interna del cuerpo se ha incrementado 1°C y puesto que ese aumento se debe al hecho de que la evaporación máxima es inferior a la necesaria para el equilibrio térmico, el tiempo necesario para que se produzca dicho incremento (para un calor específico medio del organismo de $0,82 \text{ Kc/Kg}^{\circ}\text{C}$) vendrá dado por la expresión:

$$t_{ex} = 3600 / (E_{req} - E_{max})$$

donde t_{ex} es el tiempo máximo de permanencia en el ambiente considerado, expresado en minutos.

Por el mismo razonamiento es posible calcular el tiempo de descanso necesario entre dos exposiciones sucesivas; en las zonas de reposo se pretende que el cuerpo elimine el calor acumulado durante la exposición hasta recuperar la temperatura interna inicial.

En una zona de reposo debe cumplirse que E_{max} sea superior a E_{req} , y el tiempo mínimo necesario de permanencia en la zona, tiempo de recuperación t_r , vendrá dado por:

$$t_r = 3600 / (E_{max} - E_{req})$$

donde t_r se expresa también en minutos.

En la figura se representan esquemáticamente los diferentes términos del balance térmico en situaciones típicas de trabajo y reposo.



Mediciones

La puesta en práctica del presente método exige el conocimiento de los siguientes parámetros ambientales:

- Temperatura seca.
- Temperatura de rocío.
- Temperatura de globo.
- Velocidad del aire.

Aunque existen en el mercado equipos que permiten medir directamente la temperatura de rocío, éstos son caros y por tanto poco usuales; por ello es más práctico sustituir su medida por la de la temperatura húmeda sicrométrica calculando a partir de ella y de la temperatura seca el valor de la temperatura de rocío mediante la tabla:

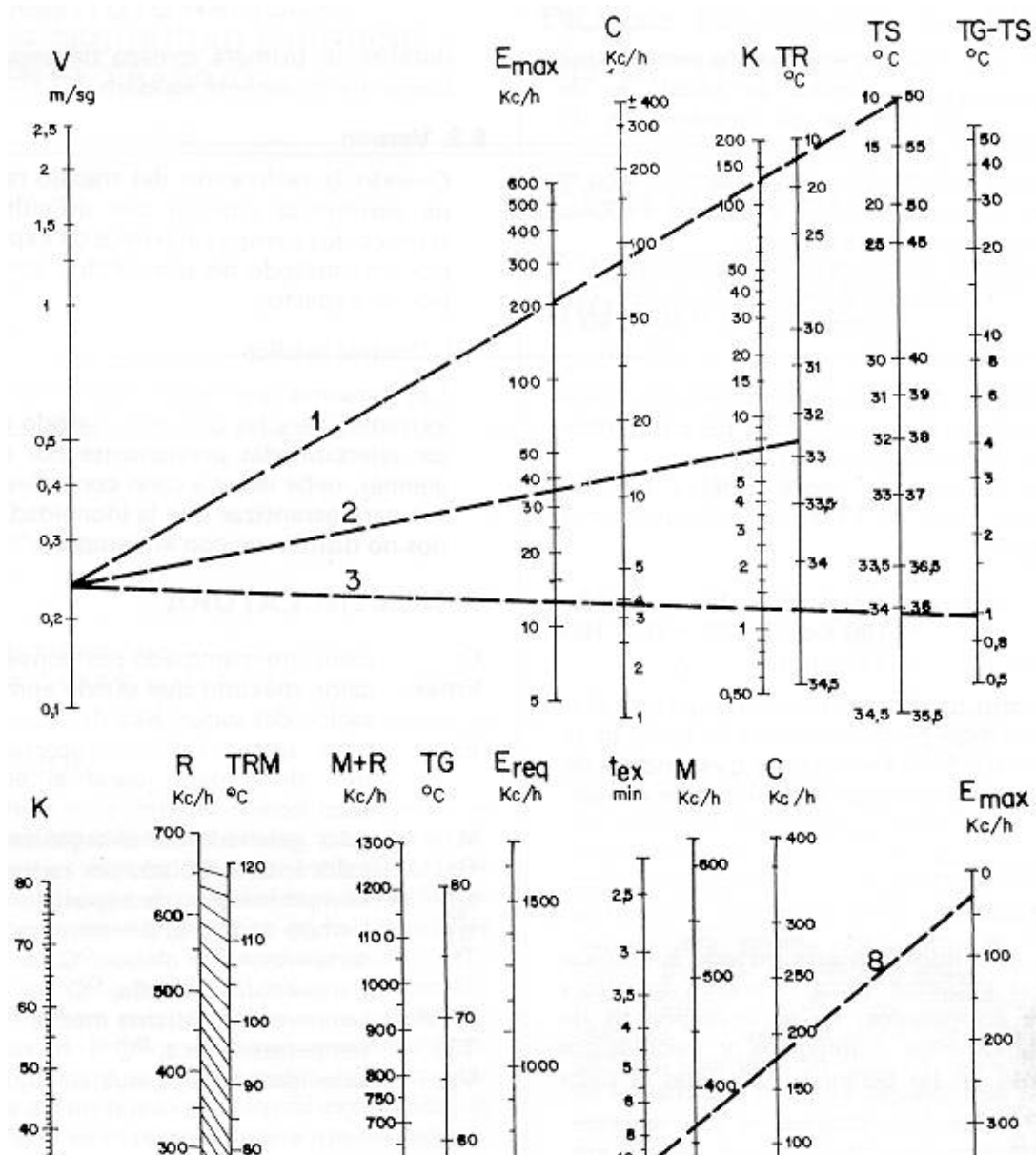
| | | Temperatura seca | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|----|----|
| | | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 40 | 42 | 44 | 46 | 48 | 50 | 52 | 54 | 56 | 58 | 60 | | |
| 10 | 10 | 8,1 | 6,0 | 3,6 | 8,8 | -2,7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 10 | |
| | 12 | 10,3 | 8,5 | 6,5 | 4,1 | 1,4 | -1,9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 12 | |
| | | 14 | 12,5 | 10,9 | 9,1 | 7,2 | 4,9 | 2,3 | 0,7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 14 | |
| | | | 16 | 14,7 | 13,2 | 11,8 | 10,1 | 8,2 | 6,1 | 3,7 | 0,9 | -2,5 | | | | | | | | | | | | | | | | 16 | |
| | | | | 18 | 16,7 | 15,6 | 14,2 | 12,8 | 11,2 | 9,5 | 7,5 | 5,4 | 2,9 | -0,1 | | | | | | | | | | | | | | 18 | |
| | | | | | 20 | 18,9 | 17,8 | 16,7 | 15,5 | 14,1 | 12,6 | 11,0 | 9,2 | 7,3 | 5,1 | 2,5 | -0,5 | | | | | | | | | | | 20 | |
| | | | | | | 22 | 21,1 | 20,1 | 19,1 | 18,0 | 16,8 | 15,5 | 14,2 | 12,8 | 11,2 | 9,4 | 7,5 | 5,3 | 2,8 | -0,2 | | | | | | | | 22 | |
| | | | | | | | 24 | 23,1 | 22,3 | 21,4 | 20,4 | 19,4 | 18,3 | 17,2 | 16,0 | 14,7 | 13,2 | 11,7 | 10,0 | 8,1 | 6,0 | 3,6 | 0,8 | -2,6 | | | | 24 | |
| | | | | | | | | 26 | 25,3 | 24,5 | 23,7 | 22,8 | 21,9 | 21,0 | 20,0 | 19,0 | 17,9 | 16,7 | 15,4 | 14,1 | 12,6 | 11,0 | 9,2 | 7,3 | 5,1 | | | 26 | |
| | | | | | | | | | 28 | 27,3 | 26,7 | 26,9 | 26,2 | 24,4 | 23,5 | 22,7 | 21,8 | 20,9 | 19,9 | 18,8 | 17,7 | 16,5 | 15,2 | 13,9 | 12,4 | | | 28 | |
| | | | | | | | | | | 30 | 29,4 | 28,8 | 28,1 | 27,4 | 26,8 | 26,0 | 25,3 | 24,5 | 23,7 | 22,9 | 22,0 | 21,0 | 20,0 | 19,0 | 17,9 | 16,7 | | | 30 |
| | | | | | | | | | | | 32 | 31,5 | 30,9 | 30,3 | 29,7 | 29,1 | 28,5 | 27,8 | 27,1 | 26,4 | 25,7 | 24,9 | 24,1 | 23,3 | 22,4 | | | | 32 |
| | | | | | | | | | | | | 34 | 33,5 | 33,0 | 32,5 | 31,9 | 31,4 | 30,9 | 30,2 | 29,6 | 29,0 | 28,4 | 27,7 | 27,0 | 26,3 | | | | 34 |
| | | | | | | | | | | | | | 36 | 35,5 | 35,1 | 34,6 | 34,1 | 33,6 | 33,1 | 32,6 | 32,1 | 31,5 | 31,0 | 30,4 | 29,8 | | | | 36 |
| | | | | | | | | | | | | | | 38 | 37,6 | 37,2 | 36,7 | 36,3 | 35,9 | 35,4 | 35,0 | 34,5 | 34,0 | 33,5 | 33,0 | | | | 38 |

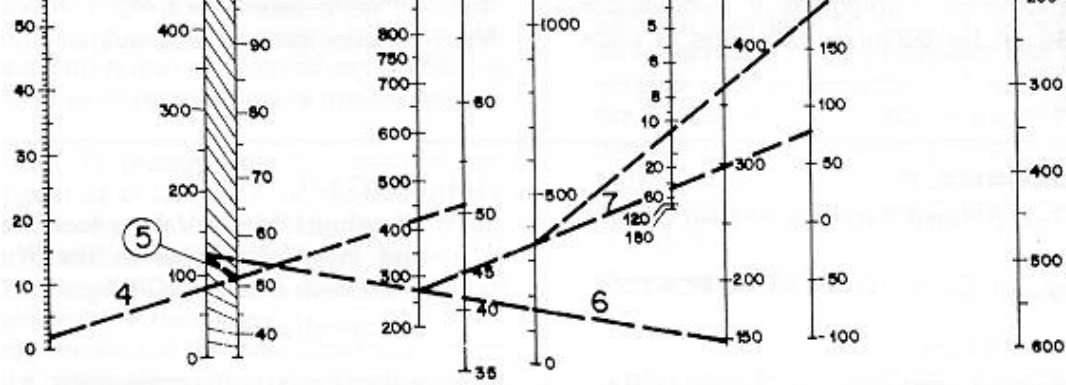
Recuérdese que para obtener un resultado correcto la medición de la temperatura húmeda debe efectuarse manteniendo una circulación forzada de aire alrededor del bulbo del termómetro, y que tanto en este caso como en la medición de la temperatura seca debe apantallarse el bulbo para que no incida sobre él la radiación térmica procedente de los focos caloríficos próximos.

Por otra parte la aplicación del método exige el conocimiento previo del calor generado en el organismo debido a la actividad física realizada por el sujeto; a dicho valor suele designarse con el nombre de metabolismo o, más propiamente, con el de carga térmica metabólica. Para su cálculo existen en la bibliografía diversos métodos (4), (5), (6).

Utilización

Para su empleo en la práctica el método se presenta en forma de nomograma (fig. 2); la búsqueda del tiempo máximo de permanencia se desarrolla en ocho etapas de cálculo gráfico cada una de las cuales viene representada por una recta en la que, en el dibujo, se ha indicado con un número el orden sucesivo de las etapas:





1. La recta que une el punto representativo de la velocidad de aire con la temperatura seca del mismo da la magnitud del calor intercambiado por convección C.

Obsérvese que la escala de temperatura seca es doble y que los valores del calor de convección vienen afectados del signo \pm . El signo + es el que se toma cuando la temperatura seca es superior a 35°C y el signo - corresponde a valores de la temperatura inferiores a 35°C .

2. La recta que une la velocidad del aire con la temperatura de rocío da la cantidad máxima de calor que puede eliminarse por evaporación, E_{max} .
3. La recta que une la velocidad de aire con la diferencia entre la temperatura de globo y la temperatura seca, $TG - TS$, da una constante intermedia K.
4. La recta que une el valor de K con la temperatura de globo TG da la temperatura radiante media, TRM.
5. De la temperatura radiante media se "asciende" por las rectas auxiliares dibujadas hasta el valor del calor ganado por radiación, R. El método supone que en condiciones de estrés térmico R no puede ser negativo, aunque teóricamente el cuerpo puede ganar o perder calor por radiación.
6. La recta que une el valor de la radiación con el del metabolismo efectúa la suma gráfica de ambas cantidades.
7. El valor obtenido, unido con el de la convección da el valor de la evaporación requerida E_{req} .
8. La recta que une E_{req} con E_{max} da directamente el valor del tiempo máximo de permanencia, t_{ex} .

Obsérvese que, tal como ya se ha comentado anteriormente, la fiabilidad del resultado obtenido disminuye mucho a partir de valores alrededor de 30 minutos, donde la escala se vuelve ya muy "comprimida".

Para el cálculo del tiempo de recuperación necesario se repiten las 7 primeras fases del proceso tomando las condiciones ambientales y el metabolismo correspondientes a la situación de recuperación. Una vez obtenidos E_{req} y E_{max} se aplica la fórmula dada más arriba. El cálculo de t_r puede efectuarse también gráficamente repitiendo la fase 8 anterior pero situando E_{req} en la escala de E_{max} y E_{max} en la de E_{req} . El valor leído entonces en la escala de t_{ex} será el tiempo de recuperación buscado, t_r .

Ejemplo de aplicación

Un trabajador debe penetrar tres veces al día en una cámara de secado de papel en la que existen las siguientes condiciones ambientales:

- Temperatura de globo: 51°C
- Temperatura seca: 50°C
- Temperatura húmeda: 31°C
- Velocidad del aire: Inapreciable

El trabajo que realiza en el interior de la cámara es de engrasar determinados elementos; se estima que la carga térmica metabólica es de 150 Kc/h .

Después de realizar el trabajo descansa sentado (carga metabólica de 80 Kc/h) en un banco próximo; en ese lugar las condiciones ambientales son las siguientes:

- Temperatura de globo: 35°C
- Temperatura seca: 25°C

- Temperatura húmeda: 18°C
- Velocidad del aire: 0,5 m/s

Se trata de calcular el tiempo máximo que el trabajador puede permanecer en el interior de la cámara de secado, y el tiempo que debe descansar después de dicha permanencia.

Solución: Consideraremos que en el interior de la cámara de secado la velocidad efectiva del aire respecto al cuerpo es de 0,25 m/s ya que, aunque el aire esté en reposo, el individuo se mueve y por tanto existe una velocidad relativa del aire respecto al cuerpo.

De la tabla 1 se obtiene que la temperatura de rocío en la cámara de secado es de 32,6°C y en el lugar de descanso es de 13,5°C.

Con estos datos y para las condiciones en la cámara de secado, el nomograma proporciona los siguientes resultados:

$$C = 85 \text{ Kcal/h} \quad E_{\text{max}} = 37 \text{ Kcal/h} \quad K = 1,25$$

$$\text{TRM} = 51^\circ\text{C} \quad R = 130 \text{ Kcal/h} \quad M + R = 280$$

$$E_{\text{req}} = 365 \text{ Kcal/h} \quad t_{\text{ex}} = 11 \text{ minutos} \quad \text{Kcal/h.}$$

En la figura 2 se han representado los pasos de cálculo gráfico necesarios para la obtención de los resultados anteriores.

Para el periodo de reposo la tabla 1 da un punto de rocío de 13,5°C y del nomograma se obtiene:

$$C = 60 \text{ Kcal/h} \quad E_{\text{max}} = 350 \text{ Kcal/h} \quad K = 19$$

$$\text{TRM} = 48^\circ\text{C} \quad R = 100 \text{ Kcal/h} \quad M + R = 180$$

$$E_{\text{req}} = 220 \text{ Kcal/h} \quad t_{\text{r}} = 17 \text{ minutos}$$

La conclusión obtenida es pues que el trabajador no debe permanecer en el interior de la cámara más de 11 minutos y que después de ese tiempo precisa de 17 minutos de reposo.

Observaciones

Aplicabilidad

Los resultados obtenidos con este método son únicamente aplicables a sujetos físicamente bien dotados y adecuadamente aclimatados.

La aclimatación es un conjunto de fenómenos fisiológicos y psicológicos que se producen en las personas expuestas al calor durante su primera semana de exposición a un ambiente térmicamente agresivo.

Vestido

Cuando la realización del trabajo requiera el empleo de vestimenta especial que dificulte el intercambio térmico, los tiempos máximos de exposición obtenidos por este método no son válidos, debiendo ser fijados por un experto.

Control médico

Las personas que deban exponerse a las condiciones extremas para las que este método es aplicable deben ser seleccionadas previamente por un médico quien, además, debe llevar a cabo controles periódicos estrictos para garantizar que la idoneidad de los seleccionados no disminuye con el tiempo.

Nomenclatura

C: calor intercambiado por convección, Kcal/h

E_{max}: calor máximo que puede eliminarse por evaporación del sudor, Kcal/h

E_{req}: calor que debería eliminarse por evaporación del sudor para lograr el equilibrio térmico, Kcal/h.

M: calor generado por el organismo, Kcal/h.

R: calor intercambiado por radiación, Kcal/h.

t_{ex} : tiempo máximo de exposición, min.

t_r : tiempo necesario de recuperación, min.

TG: temperatura de globo, °C.

TH: temperatura húmeda, °C

TRM: temperatura radiante media, °C

TS: temperatura seca, °C

V: velocidad del aire, m/s

Bibliografía

(1)McKARNs, J.S., BRIEF, R.S.

Nomographs Give Refined Estimate of Heat Stress Index.

Heating, Piping, Air Cond., 1966, N° 1.113-116.

(2)BELDING, H.S., HATCH, T. F.

Index for Evaluating Heat Stress in Terms of Resulting Physiological Strains.

Heating, Piping, Air Cond., 1955, N° 8, 129-136.

(3)HAINES, G.F., HATCH, T.F.

Industrial Heat Exposures - Evaluation and Control.

Heating and Ventilating, 1952, Vol. 49, N° 11, 93-104.

(4)A.C.G.I.H.

Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment with Intended Changes for 1981.

Cincinnati, 1981.

(5)SPITZER, H. y HETTINGER, TH.,

Tables donnant la dépense énergétique en calories pour le travail physique.

L'étude du travail, N° 164, 1965.

(6)GARG, A. y OTROS.

Prediction of metabolic rates for manual materials handling jobs.

A.I.H.A. Journal, (39), 8, 1978, 661-674.