

Estrés térmico y sobrecarga térmica: evaluación de los riesgos (II)

Heat stress and heat strain: Risk assessment (II)
Contrainte thermique et astreinte thermique: évaluation des risques (II)

Redactores

Eugenia Monroy Martí
Licenciada en Ciencias Ambientales

MC PREVENCIÓN

Pablo Luna Mendaza
Licenciado en Ciencias Químicas

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES
DE TRABAJO

En esta Nota Técnica de Prevención (NTP) se exponen los fundamentos de la metodología de evaluación del estrés térmico y la sobrecarga térmica (IST), basada en la norma UNE-EN ISO 7933:2005, que proviene de la evolución del conocido Índice de Sudoración Requerida (ISR) al que sustituye. Del método IST sólo se destacan las diferencias respecto al anterior (ISR), incluyendo una serie de situaciones termohigrométricamente diferentes a modo de ejemplos. Debido a que esta nueva metodología se parece mucho a la del índice de sudoración requerida, se recomienda su lectura previa que se explica en la NTP 350, aunque tal como se indica allí, se considera ya superada y sustituida por la que se presenta en la UNE-EN ISO 7933:2005.

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.

1. INTRODUCCIÓN

Tal como se indica en el esquema de evaluación de estrés térmico que se presenta en la figura 1 de la primera parte de esta NTP, el cálculo del índice WBGT corresponde a una primera fase de valoración y detección de aquellas condiciones que puedan resultar peligrosas para la salud. En aquellos casos en los que se detecte un posible riesgo, se puede aplicar el método de Sobrecarga Térmica, pues permite conocer mejor las fuentes de estrés térmico y valorar los beneficios de las modificaciones propuestas. Las principales ventajas del método consisten en poder determinar los parámetros físicos del ambiente que conviene modificar para reducir el riesgo de sobrecargas fisiológicas y organizar el trabajo en secuencias periódicas de trabajo y descanso. Aunque la complejidad de los cálculos que supone el método representa a priori un inconveniente, éste puede solventarse con ayuda del calculador que se halla en la Web del INSHT (<http://calculadores.insht.es:86>).

La metodología del IST, que como ya se ha indicado, se describe pormenorizadamente en la norma UNE-EN ISO 7933:2005, se basa en el cálculo de dos parámetros: el incremento excesivo de la temperatura interna y la pérdida máxima de agua corporal a través de la estimación de la tasa de sudoración. También se calcula el tiempo máximo de permanencia para el que la sobrecarga térmica es aceptable, es decir, el tiempo en el que la temperatura interna y/o la pérdida de agua se mantiene por debajo de los límites establecidos.

Las variables que, a partir de la ecuación del balance térmico, permiten el desarrollo del método pueden dividirse en cuatro grupos:

- Características del ambiente térmico, estimadas o medidas de acuerdo con la UNE-EN ISO 7726, son la temperatura del aire, la temperatura radiante media

(se suele medir la temperatura de globo termómetro), la presión parcial del vapor de agua (en mediciones de campo se utiliza la temperatura húmeda psicométrica y humedad relativa) y la velocidad del aire.

- Características de los individuos expuestos y su actividad en el trabajo, expresadas con la tasa metabólica, estimada en base a la posición de la persona y el esfuerzo físico (de acuerdo con la ISO 8996).
- Características térmicas de la ropa utilizada, como el aislamiento térmico, la capacidad de reflexión de la radiación térmica y su permeabilidad al vapor de agua, estimadas de acuerdo con la UNE-EN ISO 9920.
- Características específicas del movimiento de la persona durante el trabajo, como su velocidad y el ángulo de movimiento.

2. NUEVO PLANTEAMIENTO DEL BALANCE TÉRMICO

El método se basa, como en el caso del índice de sudoración requerida, en la resolución de la ecuación del balance térmico. Cuando no se cumple el balance térmico el calor sobrante (S), positivo o negativo, se almacena calentando o enfriando el cuerpo respectivamente.

La ecuación del balance térmico se puede expresar como sigue:

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

Siendo los diferentes términos:

M es la tasa o potencia metabólica, W es la potencia mecánica efectiva, C_{res} y E_{res} representan los intercambios de calor que se producen en el tracto respiratorio mediante convección y evaporación respectivamente, K, C y R representan los intercambios de calor que se

producen en la piel mediante conducción, convección y radiación, E representa los intercambios de calor que se producen en la piel por evaporación del sudor y S es el almacenamiento de calor en el cuerpo que puede ser positivo o negativo, como se ha indicado. Por convenio se entiende, independientemente de los signos predeterminados de la ecuación, que un valor positivo de alguno de estos términos significa que el cuerpo gana calor y un valor negativo indica que lo pierde.

Debido a que las partes del cuerpo que están en contacto con objetos sólidos respecto a la superficie corporal son despreciables, al aislamiento que supone la ropa y a que, habitualmente, no existen superficies de contacto no aisladas que estén a una temperatura diferente de la piel, se puede despreciar el término K de conducción y la ecuación general del balance térmico se puede escribir así:

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

Los términos de intercambio de calor a través de la respiración se calculan mediante las siguientes ecuaciones, que difieren de las ya utilizadas en el cálculo del índice de sudoración requerida, y que dependen del metabolismo (M), la presión parcial del vapor de agua (p_a) y la temperatura del aire (t_a):

$$C_{res} = 0,00152 M (28,56 + 0,885t_a + 0,641p_a)$$

$$E_{res} = 0,00127 M (59,34 + 0,53t_a - 11,63p_a)$$

Una diferencia importante entre la nueva metodología (IST) respecto al método del Índice de Sudoración Requerida (ISR) se encuentra a la hora de calcular la Evaporación requerida (E_{req}), es decir el flujo de calor por evaporación del sudor necesario para mantener el equilibrio térmico del cuerpo y por lo tanto para que el almacenamiento de calor sea nulo ($S = 0$). La nueva interpretación supone que incluso en un ambiente térmico neutro, existe un almacenamiento de calor asociado (dS_{eq}) al incremento de temperatura interna, ya que incluso en ambientes neutros debe alcanzar un valor de equilibrio ($T_{cr,eq}$). De la ecuación del balance térmico se calcula la evaporación del sudor requerida (E_{req}) como sigue:

$$E_{req} = M - W - C_{res} - E_{res} - C - R - dS_{eq}$$

Por otra parte y como sucedía al utilizar el ISR, la humedad (o mojadura) requerida de la piel (w_{req}) corresponde a la relación entre el flujo de calor por evaporación y el flujo máximo de calor por evaporación en la superficie de la piel:

$$w_{req} = E_{req} / E_{max}$$

La sudoración requerida (SW_{req}) se obtiene al dividir el flujo de calor por evaporación requerido por la eficiencia evaporativa (r_{req}) o fracción de sudor que condensa debido a variaciones pronunciadas de la humedad local de la piel:

$$SW_{req} = E_{req} / r_{req}$$

Cuando la evaporación de sudor requerida (E_{req}) es mayor que la (E_p) se produce un almacenamiento de calor (S) en el organismo (además de dS_{eq}), que se determina a partir de la diferencia entre la evaporación del sudor requerida para que se cumpla el balance térmico (E_{req}), la evaporación previsible (E_p) y las pérdidas por respiración (E_{res}).

Estos términos adquieren importancia en el método, ya

que a partir de la determinación del almacenamiento de calor se estiman la temperatura interna (t_{cr}) y, posteriormente la temperatura rectal (t_{re}), cuyo valor determina el tiempo máximo de permanencia. Dicho de otro modo el tiempo máximo de permanencia es el tiempo necesario para que dicha temperatura rectal alcance el límite establecido en norma.

3. INCORPORACIÓN DEL AISLAMIENTO DINÁMICO DE LA ROPA

La actividad (movimiento del cuerpo) y la ventilación modifican las características de aislamiento de la ropa y de la capa de aire adyacente, debido a esto, es necesario introducir una corrección en el coeficiente de transferencia de calor por convección, al calcular el término de convección.

$$C = hc_{dyn} f_{cl} (t_{sk} - t_a)$$

f_{cl} es el factor de área de la ropa y t_{sk} es la temperatura media de la piel, como se definía ya al desarrollar el ISR.

hc_{dyn} es el coeficiente dinámico de transferencia de calor por convección que incluye un factor de corrección para el efecto del aislamiento que se produce en función de las características de la ropa que se utiliza (aislamiento estático), pero además, al introducir el concepto de aislamiento dinámico, se incorporan las variables de movimiento del individuo (ángulo y velocidad con la que se mueve) y del movimiento del aire (velocidad del aire). La velocidad con que el trabajador se mueve, a falta de datos, se estima como una función de la actividad (potencia metabólica, M).

La evaporación máxima (E_{max}) es el flujo máximo de calor por evaporación que puede darse en la superficie de la piel en el caso hipotético de que la piel estuviera completamente mojada. Su expresión matemática, ya empleada en el método ISR, es $E_{max} = (P_{sk,s} - P_a) / R_{tdyn}$, siendo $P_{sk,s}$ la presión de vapor de agua saturado a la temperatura de la piel, pero ahora se incorpora una modificación en la resistencia dinámica total a la evaporación de la ropa y la capa límite de aire (R_{tdyn}), que se calcula teniendo en cuenta la influencia del movimiento del aire y del cuerpo, así como también el índice de permeabilidad de la ropa. Este último, representa la resistencia del atuendo indumentario al paso del vapor de agua o sea la resistencia a la evaporación, en este caso del sudor. El valor que se toma en ausencia de datos más concretos, es un valor medio para tejidos estándar (no ropa especial de trabajo), $i_{mst} = 0,38$.

4. FACTOR DE CORRECCIÓN PARA PRENDAS REFLECTANTES

El flujo de calor por radiación en la superficie de la piel, cuya expresión es $R = h_r f_{cl} (t_{sk} - t_r)$ incluye el coeficiente de transferencia de calor por radiación (h_r), en el que ahora se introduce un factor de corrección F_{clR} , que tiene en cuenta el efecto de las prendas de vestir reflectantes. Su expresión matemática es:

$$F_{clR} = (1 - A_p) \cdot 0,93 + A_p \cdot F_r$$

Siendo F_{clR} el factor de reducción del intercambio de calor por radiación, debido a la ropa, A_p la fracción de la superficie del cuerpo cubierta con prendas reflectantes y F_r es la emisividad de la prenda reflectante.

5. EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LAS VARIABLES CORPORALES DURANTE LA EXPOSICIÓN AL CALOR

En el caso de condiciones de trabajo intermitentes, el método del Índice de Sudoración Requerida (ISR) utilizaba los valores medios obtenidos a partir de las diferentes secuencias, de E_{req} y de E_{max} , ponderados en el tiempo. El método del Índice de Sobrecarga Térmica (IST) permite predecir la tasa de sudoración, temperatura de la piel, interna y rectal en cada instante (minuto a minuto), teniendo siempre en cuenta la exposición anterior y efectuando ponderaciones exponenciales de algunas de las variables. Así por ejemplo calcula la Temperatura de la piel en el instante de tiempo i a partir de la temperatura de la piel en el instante $i-1$ y de la temperatura media de la piel ($T_{sk,eq}$), mediante la ecuación $T_{sk,i} = (e^{-1/k})T_{sk,i-1} + (1-e^{-1/k})T_{sk,eq}$, donde $T_{sk,i}$ y $T_{sk,i-1}$ = Temperatura de la piel en el instante de tiempo i y $i-1$ y $T_{sk,eq}$ = Temperatura de la piel en equilibrio.

La temperatura media de la piel ($T_{sk,eq}$) se halla en función de las variable termohigrométricas propias de la situación de trabajo, temperatura del aire (t_a), temperatura radiante (t_r), velocidad del aire (v), presión parcial del vapor de agua (p_a), actividad metabólica (M), temperatura rectal (T_{re}) y aislamiento térmico de la ropa (I_{cl}). Las ecuaciones que determinan la temperatura media de la piel varían según que el valor de I_{cl} sea menor de 0,2 clo, entre este valor y 0,6 clo y mayor de 0,6 clo.

La Tasa de sudoración prevista también se obtiene de una ecuación de ponderación exponencial, que para el instante i es, $SW_{p,i} = (e^{-1/k}) SW_{p,i-1} + (1-e^{-1/k}) SW_{req}$; donde $SW_{p,i}$ es la Tasa de sudoración prevista en el instante de tiempo i , y SW_{req} es la Tasa de sudoración requerida.

En las ecuaciones exponenciales anteriores, k es la constante de tiempo asociada, a la que, en la metodología expuesta en la UNE ISO 7933, se da un valor $k = 3$ en el caso de la temperatura de la piel y $k = 10$, cuando se calcula la tasa de sudoración. También se hace $k = 10$ en la ecuación de cálculo la temperatura interna (T_{cr}), que se menciona mas adelante.

6. DISTRIBUCIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE CALOR EN EL CUERPO

El modelo que propone el método IST asume que, en el interior del cuerpo, la temperatura varía linealmente desde T_{sk0} (temperatura de la piel inicial) a T_{cr0} (temperatura interna inicial) inicialmente y desde T_{sk} a T_{cr} al final del periodo de tiempo de un minuto. La temperatura interna (T_{cr}) se calcula teniendo en cuenta la distribución entre el interior y la capa de piel del calor almacenado en el cuerpo:

$$T_{cr,i} = \frac{1}{1 - \frac{\alpha}{2}} \left[\frac{dSi}{c_p \cdot wb} + T_{cr,i-1} - \frac{T_{cr,i-1} - T_{sk,i-1}}{2} \cdot \alpha_{i-1} - T_{sk,i} \frac{\alpha_i}{2} \right]$$

$T_{cr,i}$ = Temperatura interna en el instante i
 c_p = calor específico del aire seco, a presión constante
 wb = masa del cuerpo
 $T_{cr,i-1}$ = Temperatura interna en el instante $i-1$

El factor de ponderación utilizado $(1-\alpha)$ representa la fracción de masa corporal que se encuentra a la temperatura media interna, y se calcula así:

$$(1 - \alpha) = 0,7 + 0,09 (T_{cr} - 36,8)$$

Que está limitada por los valores:

$$\alpha = 0,7 \text{ para } T_{re} < 36,8^\circ\text{C}$$

$$\alpha = 0,9 \text{ para } T_{re} > 39^\circ\text{C}$$

El modelo de sobrecarga térmica utiliza la temperatura rectal como criterio de sobrecarga fisiológica limitándola a 38°C. A partir de ese valor se considera que existe riesgo por sobrecarga térmica.

La temperatura rectal se obtiene minuto a minuto mediante una fórmula empírica que depende directamente de la temperatura interna en un instante determinado y de la temperatura rectal del instante anterior.

$$T_{re,i} = T_{re,i-1} + \left[T_{cr,i-1} \frac{2T_{cr,i} - 1,962T_{cr,i-1} - 1,31}{9} \right]$$

7. EFICIENCIA EVAPORATIVA DE LA SUDORACIÓN

Tal como se definía en el método del Índice de sudoración requerida y se comentó al principio de este documento la humedad o mojadura requerida de la piel es:

$$w_{req} = E_{req} / E_{max}$$

Cuando E_{req} es mayor que E_{max} la humedad de la piel (fracción de la piel mojada por el sudor) es mayor que la unidad, en este caso el significado es que hay un cierto espesor de la capa de agua sobre la piel (capa sobre capa). Debido a que en la evaporación interviene sólo la superficie, la eficacia evaporativa (r), cuando $w < 1$, es mas pequeña y se considera mas acertado, en ese caso, adoptar esta expresión

$$r_{req} = \frac{2 - w_{req}^2}{2}$$

No obstante la eficacia evaporativa no es menor de 0,05 por lo que se limita el valor de r_{req} a como mínimo 0,05 (este valor corresponde a $w_{req} = 1,7$, aproximadamente).

Por el contrario, cuando w_{req} calculada es menor o igual a uno se sigue utilizando la expresión de r_{req} , tal como se indica en el ISR, es decir

$$r_{req} = 1 - \frac{2 - w_{req}^2}{2}$$

Aunque para el cálculo de la tasa de sudoración estimada (Sw_p) se permite, en teoría, que la humedad requerida de la piel sea mayor que 1, para el cálculo de la pérdida de calor por evaporación previsible (E_p), como ésta se encuentra restringida a la superficie de la capa de agua, es decir, la superficie de la piel, la humedad de la piel prevista no puede ser mayor que 1. Esto ocurre en el momento en que la tasa de sudoración estimada es más de dos veces el flujo de calor por evaporación máximo ($k = 0,5$).

8. CRITERIOS DE VALORACIÓN

Los individuos aclimatados son capaces de transpirar más rápidamente, con más abundancia y más uniformemente sobre la superficie de la piel, que los no aclimatados. En consecuencia, los individuos aclimatados tienen

menor almacenamiento de calor y esfuerzo cardíaco (y menor temperatura interna), para una determinada situación. Además, pierden menos sales por el sudor, por lo que dichos individuos son capaces de resistir una mayor pérdida de agua. Con el fin de considerar las diferencias en la respuesta de los individuos aclimatados y no aclimatados se consideran, en ambos casos, valores de referencia máximos de la humedad o mojadura de la piel y de la sudoración. (ver tabla 1).

Variable	Individuos no aclimatados	Individuos aclimatados
Mojadura máxima de la piel (w_{max})	0,85	1
Tasa máxima de sudoración (SW_{max})	$(M-32) \times A_{Du}$	$1,25 (M-32) \times A_{Du}$
A_{Du} = área de la superficie de Du Bois del cuerpo, se obtiene de la expresión, $A_{Du} = 0,202 \times (\text{peso en Kg})^{0,425} \times (\text{altura en m})^{0,725}$. SW_{max} debe estar comprendida entre 250 y 400 W/m ²		

Tabla 1. Valores máximos para la humedad de la piel y la tasa de sudoración

Además de los indicados en la tabla 1, el método fija valores máximos admisibles para la temperatura rectal de 38 °C, (en la metodología del ISR se limitaba el incremento de la temperatura interna) y para la pérdida de agua por deshidratación suponiendo que los trabajadores pueden beber agua durante el trabajo a voluntad. Para un individuo medio la pérdida de agua corporal máxima admisible (D_{max50}) es del 7% de su peso total. Esta limitación se considera suficientemente preventiva para el 50% de la población. Una limitación mas conservadora, es la del 5% del peso corporal total, que supone proteger al 95% de la población trabajadora y por tanto a personas de respuesta mas sensible a la deshidratación (D_{max95}).

Cuando la rehidratación del trabajador durante la exposición al calor no es posible se debe limitar D_{max} al 3% del peso corporal.

9. DESARROLLO DE LOS CÁLCULOS

Como ya se ha indicado los cálculos para la obtención del tiempo máximo de permanencia y los distintos parámetros fisiológicos de interés, son demasiado laboriosos para hacerlos a mano por lo que, debido al interés que en la valoración de los riesgos por sobrecarga térmica pueda tener esta metodología, existe, en el apartado de "herramientas" un calculador en la Web del INSHT (<http://calculadores.insht.es:86>), que realiza dichos cálculos, presentando las gráficas de evolución de la temperatura interna, rectal y de la piel y de la pérdida de agua y mostrando el tiempo máximo de permanencia en la situación de trabajo definida previamente. Si la exposición no es uniforme sino compuesta de varias etapas, pueden asimismo obtenerse los datos correspondientes. Además la metodología permite, si se dispone de la herramienta de cálculo, simular las jornadas de trabajo, obteniendo la óptima ordenación de las secuencias que pueda suponer la exposición al calor menos agresiva.

La forma en que se deben desarrollar los diferentes cálculos que constituyen el método IST se puede seguir mediante el diagrama de flujo que se presenta en la figu-

ra 1. Considerando los parámetros y expresiones mencionados en anteriores párrafos, se obtienen los valores de las siguientes variables para el instante t_i , a partir de las condiciones del cuerpo en el instante anterior t_{i-1} y en función de las condiciones ambientales y metabólicas existentes durante el incremento de tiempo (1 minuto).

De forma resumida las etapas son las siguientes:

1. Partiendo de la ecuación del balance térmico se calcula E_{req} , w_{req} y SW_{req} .
2. Se estiman los valores previsibles de la mojadura de la piel (w_p), la evaporación del sudor (E_p) y de la tasa de sudoración (S_{wp}), teniendo en cuenta las limitaciones del cuerpo (w_{max} y Sw_{max}) y la respuesta exponencial del sistema de sudoración.
3. A partir de la diferencia entre los flujos de calor por evaporación requerido (E_{req}) y previsto (E_p), se estima la tasa de acumulación de calor. Este calor contribuye a incrementar o disminuir las temperaturas de la piel y el cuerpo y se utiliza en su cálculo.
4. Se calculan las temperaturas de la piel, del cuerpo y rectal.
5. Se repiten sucesivamente los cálculos para los incrementos de tiempo siguientes.
6. Finalmente, se calcula la sudoración total a partir de la sudoración total del instante anterior, la tasa de sudoración prevista y las pérdidas por respiración: $SW_{tot(i)} = SW_{tot(i-1)} + SW_{p(i)} + E_{res(i)}$. A partir de la sudoración total se determinan los valores límite respecto a la pérdida de agua (D_{max}).

Este procedimiento hace posible el considerar no sólo condiciones de trabajo continuo, sino también condiciones ambientales o cargas de trabajo características que varíen con el tiempo.

El tiempo de exposición máximo permisible (D_{lim}) se alcanza cuando la temperatura rectal o bien la pérdida acumulada de agua llegan a sus correspondientes valores máximos.

En aquellas situaciones en las que no se puede garantizar una exposición en la que no haya riesgo para la salud, la adopción de medidas de precaución especiales y la vigilancia fisiológica directa e individual de los trabajadores serán necesarias. Las situaciones son las siguientes:

- En aquellas situaciones en que los cálculos realizados indican que el flujo de calor por evaporación máximo en la superficie de la piel es un valor negativo ($E_{max} < 0$) o cuando el tiempo de exposición máximo permisible es inferior a 30 minutos, no se puede garantizar la exposición segura para el trabajador por lo que es necesario la adopción de las medidas de prevención que se consideren suficientes y la vigilancia de la salud de los trabajadores expuestos, ya que se pueden producir diferentes respuestas fisiológicas individuales.

La metodología del IST, se considera aplicable, de acuerdo con lo indicado en la norma UNE-EN ISO 7933:2005, en ambientes de trabajo cuya temperatura del aire no supere 50°C y donde la humedad no sea tal que el valor de la presión parcial del vapor de agua sea superior a 4,5 kPa.

10. EJEMPLOS DE APLICACIÓN DEL MÉTODO DE SOBRECARGA TÉRMICA

En las tabla 2 y 3 se muestran los resultados de la aplicación del método a exposiciones al calor, de diferentes características. En ellos se ha considerado un individuo

de 75 Kg de peso y 1,80 m de altura ($D_{max50} = 3750$ g y $D_{max95} = 5625$ g). A la vista de los resultados en todas las exposiciones que se muestran, el valor del tiempo máxi-

mo de exposición debería tomarse como el menor de los referidos para alcanzar la temperatura rectal de 38° C y la pérdida hídrica máxima correspondiente.

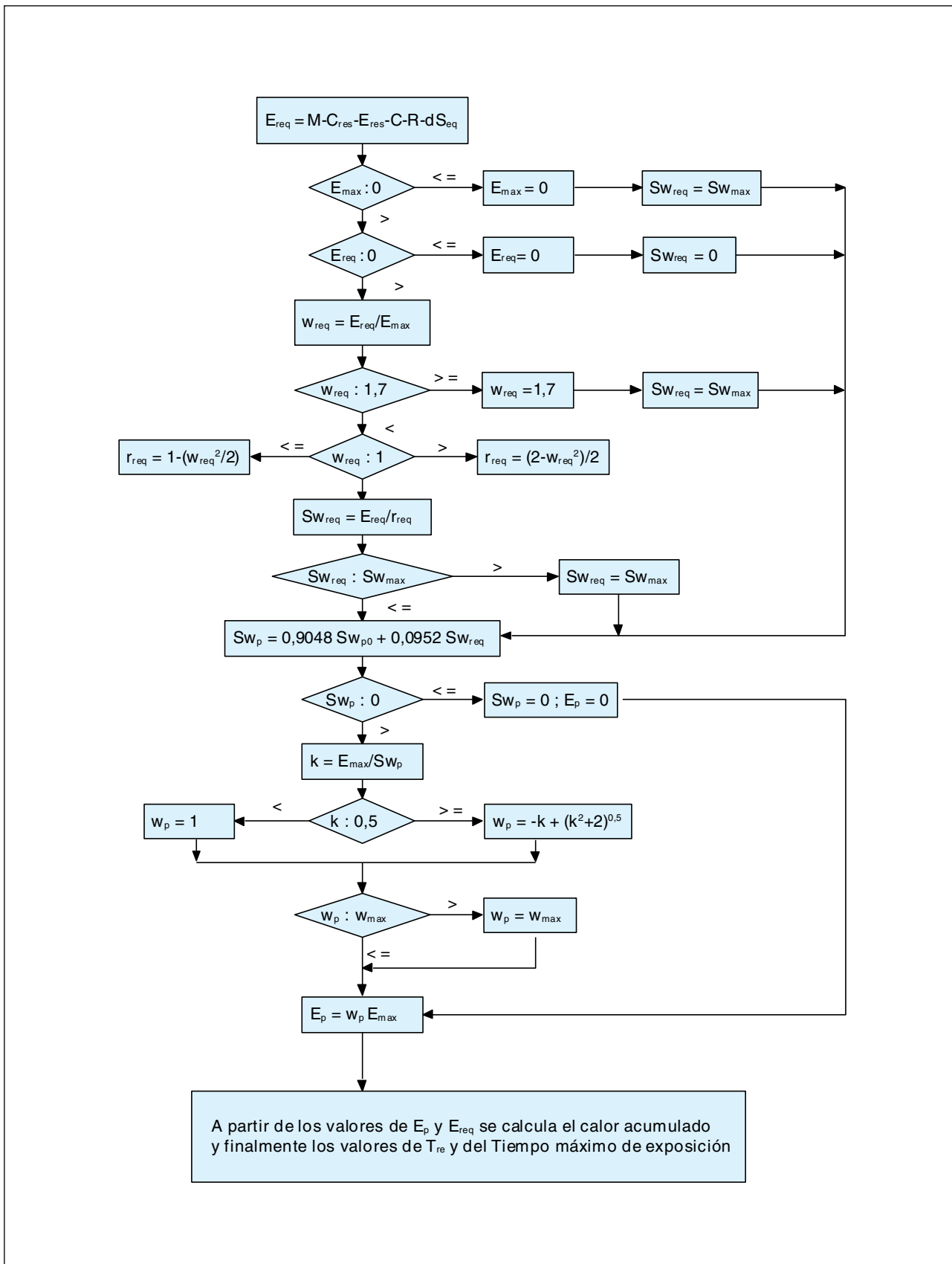


Figura 1. Diagrama de flujo. Metodología del IST

Características de la exposición	Exposiciones											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Trabajador aclimatado	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Postura de trabajo	De pie	De pie	De pie	De pie	De pie	De pie	De pie	Sentado	De pie	De pie	De pie	De pie
Temperatura aire (°C)	40	40	40	40	40	35	40	35	40	40	40	30
Humedad relativa (%)	34	40	40	40	40	60	34	40	40	40	40	35
Temperatura globo (°C)	40	50	40	40	40	35	40	35	40	40	40	50
Velocidad aire medida (m/s)	0,3	0,3	1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5
Actividad Potencia metabólica estimada (W/m ²)	150	150	150	200	150	150	150	100	150	150	150	150
Aislamiento térmico ropa (clo)	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1
Velocidad con la que se camina (m/s)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,5
Ángulo (θ) (grados sexagesimales)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	0	0
Posibilidad de hidratación	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
Ropa reflectante	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	Sí (2)	Sí (2)
Resultados obtenidos al aplicar el método del Índice de Sobrecarga Térmica (IST)												
Temperatura rectal final (°C)	37,5	42,6	37,6	38,5	41	37,4	38,1	37,3	37,7	37,6	37,7	38,7
Tiempo transcurrido hasta superar 38°C (minutos)	No supera	40	No supera	120	63	No supera	383	No supera	No supera	No supera	No supera	113
Pérdida total de agua (g)	6180	7269	5269	9372	7243	6324	5827	2720	7188	5604	7188	7284
Tiempo transcurrido hasta superar D _{max95} (min)	297	253	346	200	254	292	314	No supera	154(1)	326	257	253
Tiempo transcurrido hasta superar D _{max50}	439	375	No supera	294	375	429	464	No supera	154(1)	No supera	379	373
Notas: (1) En la situación 9 se limita al 3% la pérdida de agua debido a que no se produce rehidratación, por lo que D _{max95} = D _{max50} = 2250 g. (2) En las situaciones 11 y 12 se considera la utilización de ropa reflectante que le cubre el tórax, la espalda, brazos y los muslos. El coeficiente de emisividad de dichas prendas es 0,97.												

Tabla 2. Aplicación del IST a exposiciones que se mantienen uniformes durante las 8 horas

Características de la exposición	Periodos de tiempo con diferentes condiciones de exposición (duración del periodo en minutos)					
	120	60	120	30	60	90
Trabajador aclimatado	Sí					
Postura de trabajo	De pie	Sentado	De pie	Sentado	De pie	De pie
Temperatura aire (°C)	35	25	40	25	30	35
Humedad relativa (%)	40	50	40	50	35	60
Temperatura globo (°C)	35	26	40	26	50	50
Velocidad aire medida (m/s)	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,3
Actividad Potencia metabólica estimada (W/m ²)	150	100	200	100	150	150
Aislamiento térmico ropa (clo)	0,8	0,5	0,8	0,5	0,8	0,8
Velocidad con la que se camina (m/s)	0	0	0	0	0	0,5
Ángulo (θ) (grados sexagesimales)	0	0	0	0	0	90
Posibilidad de hidratación	Sí					
Ropa reflectante	Sí (1)	No (2)	Sí (1)	No (2)	Sí (1)	Sí (1)
Resultados obtenidos con la aplicación del método del Índice de Sobrecarga Térmica (IST)						
Temperatura rectal final (°C)	39,2					
Tiempo transcurrido hasta superar 38°C (minutos)	230 minutos					
Pérdida total de agua (g)	6089 g					
Tiempo transcurrido hasta superar D _{max95} (min)	308 minutos					
Tiempo transcurrido hasta superar D _{max50}	450 minutos					
Notas: (1) Se considera la utilización de ropa reflectante que le cubre el tórax, la espalda, brazos y los muslos. El coeficiente de emisividad de dichas prendas es 0,97. (2) Cuando se encuentra en las zonas de descanso se quita la ropa reflectante.						

Tabla 3. Aplicación del IST a jornadas de trabajo compuestas de diferentes periodos de exposición

BIBLIOGRAFÍA

- (1) AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS
Threshold Limit Values (TLVs) and Biological Exposure Indices (BEIs).
Cincinnati, OH 45211-4438. EEUU.
- (2) UNE-EN ISO 7933:2005.
Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del estrés térmico mediante el cálculo de la sobrecarga térmica estimada.
- (3) J. MALCHAIRE, A. PIETTE, B. KAMPMANN, P. MEHNERT, H. GEBHARDTÛ, HAVENITH, E. DEN HARTOG, I. HOLMER, K. PARSONS, G. ALFANO AND B. GRIEFAHN.
Development and Validation of the Predicted Heat Strain Model.
Ann. occup. Hyg., Vol. 45, No. 2, pp. 123-135, 2001. British Occupational Hygiene Society
- (4) HSE 2002.
The development of a practical heat stress assessment methodology for use in UK industry.
Research Report 008.

