

Como consecuencia de la llegada de los meses de verano y el aumento de las temperaturas, volvemos a encontrarnos con una problemática desgraciadamente muy habitual, los riesgos derivados del estrés térmico y sus posibles consecuencias, siendo una de las más habituales “el golpe de calor”. Desde la secretaría de Salud Laboral y Medioambiente hemos recogido una serie de documentos que creemos pueden servir de ayuda para combatir los riesgos derivados de tal exposición.

Detallamos a continuación la documentación adjunta:

- Nota Práctica 89 sobre el **Golpe de Calor**.
- Cartel informativo **“Que el Calor no te quemé”**
- Folleto informativo **“Trabajar con Calor”**
- Notas Técnicas Preventivas (NTP) 922 y 923 sobre **“Estrés Térmico y Sobrecarga térmica: evaluación de los riesgos”**
- Nota Técnica Preventiva (NTP) 322 sobre **“Valoración del estrés térmico: índice WBGT (Wet Bulb Globe Thermometer)”**.

NOTAS PRÁCTICAS

Golpe de calor

Cuando el cuerpo es incapaz de enfriarse mediante el sudor en actividades laborales que se realizan en medios muy calurosos, como la agricultura, la construcción, los trabajos en autopistas, canteras, reparación de calles, etc. pueden presentarse una gran variedad de trastornos como: síncope, edema, calambres, agotamiento y afecciones cutáneas.

El efecto más grave de la exposición a situaciones de calor intenso es el llamado «golpe de calor», que se caracteriza por una elevación incontrolada de la temperatura corporal, pudiendo causar lesiones en los tejidos. La elevación de la temperatura provoca una disfunción del sistema nervioso central y un fallo en el mecanismo normal de regulación

térmica, acelerando el aumento de la temperatura corporal. Cuando se produce un golpe de calor, la piel se calienta, se seca y cesa la sudoración; aparecen convulsiones; aumenta el ritmo respiratorio y cardíaco; la temperatura corporal puede llegar a ser superior a los 40° C y aparecen alteraciones de la conciencia.

INTERCAMBIO TÉRMICO ENTRE LA PERSONA Y EL MEDIO

El cuerpo humano libera calor mediante tres mecanismos: la evaporación del sudor, la convección y la radiación.

En la *evaporación del sudor*, éste toma de la piel con la que está en contacto el calor necesario para el paso del estado líquido a vapor. Se evaporará más o menos sudor, dependiendo de la humedad y de la velocidad del aire.

A través de la *convección*, la piel da o cede calor al aire que la rodea cuando las temperaturas son distintas. Cuando la temperatura de la piel es mayor que la del aire, la piel cede calor a éste y cuando la temperatura del aire supera a la de la piel, es esta última la que recibe calor del primero.

La *radiación* es el intercambio térmico que se produce entre dos cuerpos sólidos a diferente temperatura y que se encuentran uno «a la vista» del otro. Dependiendo de que la temperatura del cuerpo sea superior o inferior a la temperatura media de los objetos de su alrededor, el efecto resultante será una ganancia o una pérdida de calor del cuerpo en cuestión.

HAY QUE EVITAR LA EXPOSICIÓN DIRECTA DE LA PIEL AL SOL

PREVENCIÓN

- Informar a los trabajadores, antes de realizar un esfuerzo físico en un ambiente caluroso, sobre la carga de trabajo y el nivel de estrés por calor que tendrán que soportar, así como sobre los riesgos de sufrir un golpe de calor.
- Conocer los síntomas de los trastornos producidos por el calor: mareo, palidez, dificultades respiratorias, palpitaciones y sed extrema.
- Evitar, o al menos reducir, el esfuerzo físico durante las horas más calurosas del día.
- Prever fuentes de agua potable próximas a los puestos de trabajo.
- Utilizar ropa amplia y ligera, con tejidos claros que absorban el agua y que sean permeables al aire y al vapor, ya que facilitan la disipación del calor.
- Evitar beber alcohol o bebidas con cafeína, ya que deshidratan el cuerpo y aumenta el riesgo de sufrir enfermedades debidas al calor.
- Distribuir el volumen de trabajo e incorporar ciclos de trabajo-descanso. Es preferible realizar ciclos breves y frecuentes de trabajo-descanso que períodos largos de trabajo y descanso.
- Dormir las horas suficientes y seguir una buena nutrición son importantes para mantener un alto nivel de tolerancia al calor.
- Proteger la cabeza con casco, gorras o sombreros, según sea el trabajo realizado.
- Utilizar cremas de alta protección contra el sol.
- Beber agua fresca, si la víctima está consciente.

ES CONVENIENTE BEBER UN VASO DE AGUA CADA CUARTO DE HORA



- Incrementar paulatinamente la duración de la exposición laboral hasta alcanzar la totalidad de la jornada para lograr la aclimatación a las altas temperaturas.

EN LAS PAUSAS, HAY QUE DESCANSAR EN LUGARES FRESCOS Y A LA SOMBRA

PRIMEROS AUXILIOS

- *Colocar a la persona accidentada en un lugar fresco y aireado.* Se debe reducir la temperatura corporal disminuyendo la exposición al calor y facilitando la disipación de calor desde la piel. Se deben quitar las prendas innecesarias y airear a la víctima.
- *Refrescar la piel.* Es conveniente la aplicación de compresas de agua fría en la cabeza y empapar con agua fresca el resto del cuerpo. El enfriamiento del rostro y la cabeza puede ayudar a reducir la temperatura del cerebro. Es conveniente abanicar a la víctima para refrescar la piel.
- *No controlar las convulsiones.* Las convulsiones son movimientos musculares que se producen de manera incontrolada debido a un fallo en el sistema nervioso central. Si se intentan controlar estos movimientos, se podrían producir lesiones musculares o articulares importantes.

Es conveniente colocar algún objeto blando (ropa, almohada, cojín, etc.) debajo de la cabeza de la víctima para evitar que se golpee contra el suelo.

• *Trasladar al paciente a un hospital.*

SE DEBEN EVITAR LAS COMIDAS CALIENTES Y PESADAS

Bibliografía: Documentación del INSHT y Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Vol. II. OIT.

NORMATIVA SOBRE EL TEMA

- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales. BOE nº

269, de 10 de noviembre.

- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril. BOE nº 97, de 23 de abril sobre lugares de trabajo.

- Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de los lugares de trabajo. (Real Decreto 486/1997). INSHT.

- UNE EN 27726:95. Ambientes térmicos. Instrumentos y métodos de medida de los parámetros físicos.

- UNE EN 28996:95. Ergonomía. Determinación de la producción de calor metabólico.

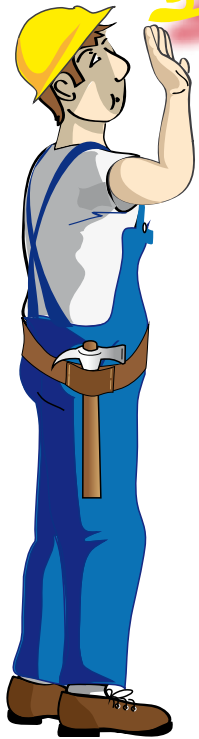
- UNE EN 27243:95. Estimación del estrés térmico del hombre en el trabajo basado en el índice WBGT.

- UNE EN ISO 7730:96. Ambientes térmicos moderados. Determinación de los índices PMV y PPD y especificaciones de las condiciones de bienestar térmico.

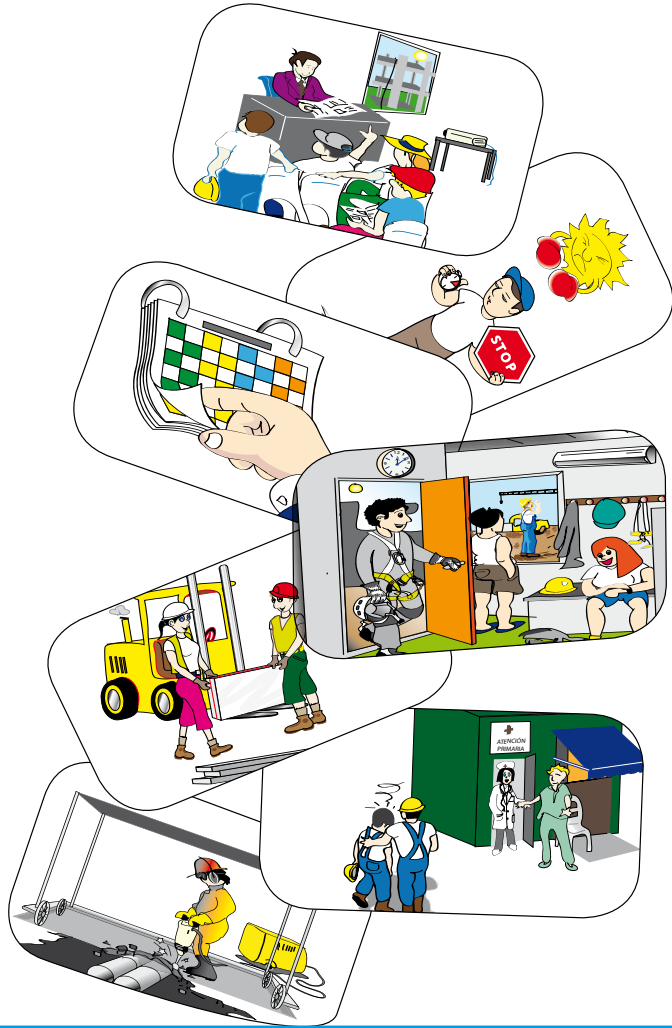
- UNE EN 12515:97. Ambientes calurosos. Determinación analítica e interpretación del estrés térmico basados en el cálculo de la sudoración requerida.



¡QUE EL CALOR NO TE QUEME!



La exposición intensa a la radiación solar, en especial durante la época estival, en actividades realizadas a la intemperie puede aumentar la posibilidad de que un trabajador sufra un golpe de calor.



Si eres EMPRESARIO :

No esperes a que tus trabajadores muestren los primeros síntomas (taquicardias, cefaleas, náuseas, vómitos, confusiones, convulsiones...).

ANTICIPATE

- Planifica un periodo de adaptación al comienzo de los trabajos
- Limita las actividades más intensas en las horas centrales del día
- Establece rotaciones para reducir el tiempo de exposición
- Permite que tus trabajadores adapten su propio ritmo de trabajo
- Evita los trabajos individuales y facilita el trabajo en equipo
- Garantiza a tus trabajadores una vigilancia de la salud específica
- Protege la zona de trabajo del sol

Si eres TRABAJADOR :

Tu actitud va a ser muy importante y la prevención será tu mejor herramienta.

Protege tu cabeza del sol



Evita las comidas copiosas y las bebidas alcohólicas



Haz pausas y descansa en lugares de sombra



Viste ropas holgadas, ligeras y de colores claros



NO TE CONFÍES

No esperes a tener sed, bebe frecuentemente agua y bebidas isotónicas



Utiliza cremas de protección solar



Ante los primeros síntomas de alarma, no pongas en riesgo tu salud y avisa al servicio médico



Juntos podremos ¡ESQUIVAR EL GOLPE DE CALOR!






MINISTERIO
DE EMPLEO
Y SEGURIDAD SOCIAL



INSTITUTO NACIONAL
DE SEGURIDAD E HIGIENE
EN EL TRABAJO

Trabajar con calor





En época estival, las condiciones climáticas a las que se encuentran expuestos los trabajadores pueden ser la causa de accidentes de trabajo, algunos de ellos mortales.

La causa del problema no es sólo la elevada temperatura, sino la acumulación excesiva de calor en el organismo, que se puede producir tanto por las altas temperaturas, como por el calor que genera el cuerpo en actividades físicas intensas. Además, existen factores personales que incrementan el riesgo de accidente como, por ejemplo, que los trabajadores puedan padecer dolencias previas (enfermedades cardiovasculares o respiratorias, diabetes, etc.)

El estrés térmico por calor resulta especialmente peligroso en los trabajos al aire libre, como en la construcción, la agricultura o en los trabajos de obras públicas, ya que, al tratarse de una situación peligrosa que fundamentalmente se da en los días más calurosos de verano, no suele haber programas específicos de prevención de riesgos como en el caso de los trabajos donde el estrés por calor es un problema a lo largo de todo el año.

La exposición al calor puede causar diversos efectos sobre la salud, de diferente gravedad, tales como erupción en la piel, edema en las extremidades, quemaduras, calambres musculares, deshidratación, agotamiento, etc. Pero, sin duda, el efecto más grave de la exposición a situaciones de calor intenso es el golpe de calor. Cuando se produce el llamado golpe de calor, la temperatura corporal supera los 40,6 °C, siendo mortal entre el 15 % y 25 % de los casos.

Golpe de calor

Síntomas generales	Temperatura interna superior a 40,6 °C Taquicardia Respiración rápida Cefalea Náuseas y vómitos
Síntomas cutáneos	Piel seca y caliente Ausencia de sudoración
Síntomas neurosensoriales	Confusión y convulsiones Pérdida de consciencia Pupilas dilatadas

Factores de riesgo

Los factores de riesgo en el estrés térmico son:

Factores climáticos

- Exposición a temperaturas y humedades relativas altas.
- Ventilación escasa. Al aumentar la velocidad del aire, disminuye la sensación de calor porque se facilita la pérdida de calor por convección y por evaporación.
- Exposición directa a los rayos del sol.

Factores relacionados con el tipo de tarea

- Dificultad para suministrar a los trabajadores agua fresca (trabajos en el exterior donde no existe punto de alimentación de agua, por ejemplo).
- Realización de trabajo físico intenso.
- Pausas de recuperación insuficientes. Es preferible descansar a cada hora. A medida que la temperatura es mayor, las pausas deben ser más largas y frecuentes.
- Utilización de equipos de protección que impidan la evaporación del sudor.

Factores individuales

- Pérdida de aclimatación. La aclimatación se consigue en 7-15 días pero desaparece en tan sólo una semana.
- Condición física. La falta de entrenamiento en la ejecución de tareas físicas intensas constituye un factor de riesgo.
- Existencia de antecedentes médicos, tales como enfermedades del sistema cardiovascular, de las vías respiratorias, diabetes o insuficiencia renal.
- Ingesta de determinados medicamentos, tales como antihistamínicos, diuréticos o antidepresivos.
- Consumo de sustancias tóxicas, tales como alcohol o cafeína.
- Sobrepeso. Las personas gruesas presentan una menor capacidad para disipar calor al ambiente.
- Edad avanzada. Las personas mayores presentan más riesgo de deshidratación, ya que con la edad el mecanismo de termorregulación se ve alterado, produciéndose una disminución importante de la sensación de sed.

Medidas preventivas

- Verificar las condiciones meteorológicas de forma frecuente e informar a los trabajadores.
- Limitar las tareas pesadas que requieran un gasto energético elevado. Si es posible, proporcionar ayudas mecánicas para la manipulación de cargas.
- Proporcionar agua potable en las proximidades de los puestos de trabajo.
- Habilitar zonas de sombra o locales con aire acondicionado para el descanso de los trabajadores.
- Instalar ventiladores, equipos de climatización, persianas, estores y toldos para disminuir la temperatura en caso de locales cerrados.
- Limitar el tiempo o la intensidad de la exposición, haciendo rotaciones de tarea siempre que haya sitios con menor exposición que lo permitan.
- Planificar las tareas más pesadas en las horas de menos calor, adaptando, si es necesario, los horarios de trabajo.
- Considerar que es necesario un periodo de 7 a 15 días para que el trabajador se aclimate al calor. Cuando se deja de trabajar en condiciones calurosas durante periodos como las vacaciones o bajas laborales, es necesario volver a aclimatarse al incorporarse de nuevo al trabajo.
- Aumentar la frecuencia de las pausas de recuperación (cada hora, por ejemplo)
- Permitir al trabajador, en la medida de lo posible, adaptar su propio ritmo de trabajo.
- Procurar vestir con ropas amplias, de tejido ligero y colores claros. Proteger la cabeza con gorra o sombrero.



- Evitar el trabajo individual, favoreciendo el trabajo en equipo para facilitar la supervisión mutua de los trabajadores.
- Informar a los trabajadores sobre los riesgos relacionados con el calor, sus efectos y las medidas preventivas y de primeros auxilios que hay que adoptar.

Actuación en caso de un golpe de calor

- Colocar al trabajador en una zona a la sombra y en un ambiente frío, a ser posible.
- Debe desvestirse al trabajador y se recomiendan duchas con agua fría (15-18°C). No debe utilizarse agua más fría de 15°C, ya que se produciría una disminución de la pérdida del calor, debido a una constricción de los vasos sanguíneos cutáneos.
- Si el trabajador está consciente, suministrarle agua fría para beber. Si está inconsciente, colocarlo en posición recostado sobre un lateral de su cuerpo, con la cabeza ligeramente ladeada, el brazo inferior atrás, extendido, el superior flexionado hacia adelante y arriba y las piernas flexionadas, más la superior que la inferior.
- Otra posibilidad es cubrir el cuerpo con toallas húmedas, cambiándolas con frecuencia y, preferiblemente, en combinación con un ventilador eléctrico o un dispositivo similar, para que la temperatura del cuerpo disminuya algo más.
- Contacte con un médico y, si es posible, lleve al paciente al hospital lo más pronto posible. A menudo, una persona que sufre un golpe de calor puede precisar oxígeno, administración de suero por vía intravenosa y, algunas veces, medicación adecuada.

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

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

Redactores

Eugenia Monroy Martí
Licenciada en Ciencias Ambientales

MC PREVENCIÓN

Pablo Luna Mendaza
Licenciado en Ciencias Químicas

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES
DE TRABAJO

Esta Nota Técnica de Prevención es la primera de dos que tratan sobre la evaluación del estrés térmico y la sobrecarga térmica. En ella se explican los fundamentos de la exposición laboral a ambientes calurosos así como de sus riesgos y se propone, además, un esquema de gestión de las situaciones de calor intenso basado en los criterios de la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) y las metodologías de evaluación normalizadas que actualmente se utilizan. La segunda parte de este documento, se centra en la metodología del índice de Sobrecarga Térmica (IST) que describe 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. ESTRÉS TÉRMICO Y SOBRECARGA TÉRMICA

En el ámbito de la física de los materiales, las curvas stress/strain son muy utilizadas. Mientras que la fuerza (o la temperatura) aplicada sobre la pieza constituye el stress, la deformación que se produce en ella constituye el strain. Tradicionalmente, en el argot de la prevención de riesgos, se ha utilizado el término *estrés térmico* para referirse a las circunstancias que envuelven a las situaciones de trabajo muy calurosas, pero para evaluar los riesgos del calor debe distinguirse entre lo que constituye la causa y el efecto, entre el estrés térmico y la sobrecarga térmica.

El estrés térmico corresponde a la carga neta de calor a la que los trabajadores están expuestos y que resulta de la contribución combinada de las condiciones ambientales del lugar donde trabajan, la actividad física que realizan y las características de la ropa que llevan. La sobrecarga térmica es la respuesta fisiológica del cuerpo humano al estrés térmico y corresponde al coste que le supone al cuerpo humano el ajuste necesario para mantener la temperatura interna en el rango adecuado.

Entre los factores que se miden y que determinan el estrés térmico potencial se incluyen: la temperatura del aire, la humedad relativa, la velocidad del aire, la radiación, la actividad metabólica y el tipo de ropa (emisividad y radiación de la misma). La medición de estos factores permite determinar las demandas térmicas internas y externas que dan lugar a la termorregulación del cuerpo humano. En definitiva, las mediciones de estrés térmico constituyen la base de la evaluación del ambiente térmico de trabajo, pero no predicen de manera exacta si las

condiciones bajo las que está trabajando una persona no suponen un riesgo para su salud.

Un nivel de estrés térmico medio o moderado puede dificultar la realización del trabajo, pero cuando se aproximan a los límites de tolerancia del cuerpo humano, aumenta el riesgo de trastornos derivados de la exposición al calor.

La sobrecarga térmica refleja las consecuencias que sufre un individuo cuando se adapta a condiciones de estrés térmico. No se corresponde con un ajuste fisiológico adecuado del cuerpo humano, sino que supone un coste para el mismo. Los parámetros que permiten controlar y determinar la sobrecarga térmica son: la temperatura corporal, la frecuencia cardíaca y la tasa de sudoración.

Un aspecto a destacar es que la sobrecarga térmica no se puede predecir de manera fiable a partir solamente del estudio del estrés térmico, ya que las mediciones del ambiente térmico no permiten determinar con precisión cual será la respuesta fisiológica que sufrirá el individuo o el grado de peligro al que se enfrenta una persona en cualquier momento. Esto es debido a que la sobrecarga térmica depende de factores propios de cada persona que incluso puede variar en el tiempo, por lo que estos factores o características personales son los que determinan la capacidad fisiológica de respuesta al calor.

2. FACTORES INDIVIDUALES DE RIESGO

Entre estos factores personales de riesgo, que reducen la tolerancia individual al estrés térmico, se encuentran la edad, la obesidad, la hidratación, el consumo de medicamentos o bebidas alcohólicas, el género y la aclimatación.

Edad

El riesgo a sufrir las consecuencias del estrés térmico es "a priori" independiente de la edad, siempre que el individuo tenga un adecuado sistema cardiovascular, respiratorio y de sudoración, unos buenos reflejos, se encuentre totalmente hidratado y en buen estado de salud. De todas formas, se debe considerar que las personas de mayor edad son más susceptibles a padecer problemas de control de la circulación periférica o menor capacidad de mantener la hidratación y, en consecuencia, verse incrementada su vulnerabilidad al estrés térmico.

Obesidad

La persona con sobrepeso presenta una serie de desventajas a la hora de enfrentarse a una situación de estrés térmico debido al incremento del aislamiento térmico que sufre el cuerpo, las posibles deficiencias del sistema cardiovascular y la baja condición física. De todas formas, existen excepciones, por lo que se deben analizar de manera específica los requerimientos individuales de cada persona a la hora de evaluar el riesgo de exposición al estrés térmico para cada trabajador.

Hidratación

El cuerpo pierde agua por difusión a través de la piel y por la respiración, pero principalmente la pérdida de agua durante una situación de estrés térmico se produce mediante la sudoración. La rehidratación bebiendo agua es efectiva y rápida. El problema es que mantener la hidratación adecuada no es fácil, debido entre otros factores a que la sensación de sed no es siempre proporcional a la pérdida de agua.

Medicamentos y bebidas alcohólicas

Existen medicamentos anticolinérgicos que pueden llegar a inhibir la sudoración especialmente en individuos de mayor edad. Algunos sedantes afectan a la sensación de sed, otros fármacos intervienen en la termorregulación, incrementan el calor metabólico y reducen la distribución del calor, condicionando la circulación periférica.

En relación al alcohol, produce vasodilatación periférica y diuresis, que afectan a la respuesta del cuerpo al estrés térmico. Asimismo, bajas dosis de alcohol reducen la capacidad de termorregulación, incluyendo los reflejos vasomotores y la sudoración, y aumentan la probabilidad de una bajada de tensión durante la exposición.

Género

Son difícilmente demostrables las diferencias en la respuesta al estrés térmico entre hombres y mujeres, debido a que la respuesta al calor puede estar enmascarada por la condición física y el nivel de aclimatación. Existen estudios en los que se ha observado infertilidad temporal para hombres y mujeres cuando la temperatura interna alcanza los 38 °C. También se ha observado que durante el primer trimestre de embarazo existe riesgo de malformación en el feto cuando la temperatura interna de la madre excede los 39 °C en un periodo prolongado.

Aclimatación

La aclimatación es un proceso gradual que puede durar de 7 a 14 días en los que el cuerpo se va adaptando a

realizar una determinada actividad física en condiciones de calor (se recomienda que el primer día de trabajo la exposición al calor se reduzca a la mitad de la jornada; después día a día se debería aumentar progresivamente el tiempo de trabajo (10%) hasta la jornada completa. La aclimatación es específica para unas determinadas condiciones ambientales y de ropa, por lo que no se garantiza la respuesta cuando se cambian dichas condiciones. Aunque la aclimatación se produce rápidamente durante el periodo de exposición al calor, también se pierde muy rápidamente cuando se interrumpe la exposición (una o dos semanas sin exposición requieren de 4 a 7 días para volver a recuperar la aclimatación). Los beneficios de la aclimatación consisten en mejorar la efectividad y la eficiencia del sistema de distribución y pérdida de calor, mejorar el confort en la exposición al calor y dificultar la aparición de sobrecarga térmica.

3. EFECTOS SOBRE LA SALUD DE LA EXPOSICIÓN AL CALOR

Además de los posibles efectos de la exposición al calor que se relatan a continuación, se debe tener en cuenta el incremento del nivel de estrés térmico como un factor que, junto con otros puede dar lugar a accidentes (p.e atrapamientos, golpes o caídas al mismo o distinto nivel derivadas de mareos o desvanecimientos, etc.).

Síncope por calor

La pérdida de conciencia o desmayo son signos de alarma de sobrecarga térmica. La permanencia de pie o inmóvil durante mucho tiempo en un ambiente caluroso con cambio rápido de postura puede producir una bajada de tensión con disminución de caudal sanguíneo que llega al cerebro. Normalmente se produce en trabajadores no aclimatados al principio de la exposición al calor.

Deshidratación y pérdida de electrolitos

La exposición prolongada al calor implica una pérdida de agua y electrolitos a través de la sudoración. La sed no es un buen indicador de la deshidratación. Un fallo en la rehidratación del cuerpo y en los niveles de electrolitos se traduce en problemas gastrointestinales y calambres musculares.

Agotamiento por calor

Se produce principalmente cuando existe una gran deshidratación. Los síntomas incluyen la pérdida de capacidad de trabajo, disminución de las habilidades psicomotoras, náuseas, fatiga, etc. Si no es una situación muy grave, con la rehidratación y el reposo se produce la recuperación del individuo.

Golpe de calor

Se desarrolla cuando la termorregulación ha sido superada, y el cuerpo ha utilizado la mayoría de sus defensas para combatir la hipertermia (aumento de la temperatura interna por encima de la habitual). Se caracteriza por un incremento elevado de la temperatura interna por encima de 40,5 °C, y la piel caliente y seca debido a que no se produce sudoración. En este caso es necesaria la asistencia médica y hospitalización debido a que las consecuencias pueden mantenerse durante algunos días.

4. EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS DEBIDOS AL CALOR

La *American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)* propone un esquema de actuación para la evaluación de los riesgos por calor (figura 1). En él se indican los pasos a seguir teniendo en cuenta la valoración del estrés térmico y la sobrecarga térmica. Las pautas que se describen no marcan la diferencia exacta entre lo que se considera niveles seguros o peligrosos, el proceso requiere del juicio profesional y de una gestión adecuada de las situaciones, por parte de la empresa, para garantizar la protección adecuada. Las diferentes etapas del proceso, numeradas en el esquema, se explican a continuación.

Ropa (1)

En el diagrama de actuación se observa la importancia que adquiere la ropa en la toma de decisión, ya que condiciona la pérdida de calor del cuerpo y, en consecuencia, la respuesta al calor.

La circulación de aire frío y seco sobre la superficie de la piel mejora el intercambio de calor a través de la evaporación y convección. Las prendas de ropa térmicamente aislantes e impermeables al paso del aire o vapor de agua (p.e. varias capas superpuestas o trajes aislantes) limitan severamente este intercambio sobre la superficie de la piel. La consecuencia es que con un incremento de la actividad metabólica puede producirse una situación de sobrecarga térmica, a pesar de que en un principio las condiciones ambientales no sean consideren peligrosas.

A la hora de elegir el tipo de ropa para un puesto de trabajo se debe tener en cuenta no solo que su aislamiento térmico sea reducido (posibilidad de intercambio térmico por convección) sino que también permita la evaporación del sudor de la piel. En ambientes muy calurosos, a menudo es necesario que la ropa proteja de quemaduras por contacto o de la radiación térmica, debe tenerse en cuenta que ello puede dificultar la evaporación del sudor, e incrementar el nivel de estrés térmico.

En definitiva, si la vestimenta de trabajo que se va a utilizar presenta alguna de las características descritas a continuación, se debe proseguir en el apartado 6.

- La ropa supone una barrera para el paso de vapor de agua o del aire a través de ella.
- Se trata de un traje hermético (p.e. traje protección frente al riesgo químico).
- La indumentaria de trabajo está constituida de múltiples capas de ropa.

Cálculo del índice WBGT (2)

En la evaluación de riesgo por calor se utiliza el método del índice WBGT con el fin de realizar una primera detección de aquellas situaciones en las que puedan existir riesgos por calor (ver referencias bibliográficas). Se trata de una primera aproximación, un método empírico que únicamente discrimina las situaciones que pueden ser peligrosas.

El método del índice WBGT fue desarrollado para un uniforme de trabajo de camisa de manga larga y pantalones (aproximadamente $I=0,5$ clo). No obstante, tal como se indica en la Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de lugares de trabajo (INSHT), se pueden realizar ciertas correcciones, aplicables siempre que la ropa no dificulte de forma im-

portante el intercambio de calor entre la superficie de la piel y el ambiente, en cuyo caso se desaconseja la evaluación de las condiciones de trabajo a partir de los métodos de análisis teórico que se proponen (índice WBGT o Índice Sobrecarga Térmica) y se debería recurrir a la monitorización fisiológica (ver apartado 6).

Comparación con los valores límite del Índice WBGT (3)

En función de la tasa metabólica, el ritmo de trabajo (% de cada hora dedicado al trabajo) y la aclimatación de los individuos, están establecido los valores límite para el índice WBGT, que determina el grado de exposición.

En aquellos casos en que la aplicación de la metodología del índice WBGT para la valoración de los riesgos por calor (ver NTP 322: Valoración del riesgo de estrés térmico: índice WBGT) indica que dicho índice es inferior al valor establecido como límite (con corrección de la ropa, si es pertinente), se considera que puede continuar el trabajo de forma controlada.

Si se observan trastornos en la salud de los trabajadores expuestos al calor se debe reconsiderar el análisis de forma inmediata.

Por el contrario, si el índice WBGT existente es superior a los valores límite, se debe proceder como se indica en el apartado 4.

Análisis detallado (4)

El cálculo del índice WBGT es una primera fase en el proceso de evaluación y control de situaciones muy calurosas. Cuando dicho índice WBGT es superior a los límites establecidos es conveniente realizar un análisis más detallado de la situación, empleando una metodología de mayor precisión que informe en profundidad de las condiciones de estrés térmico. El Método del Índice de Sobrecarga Térmica (IST) que describe la UNE-EN ISO 7933 permite identificar (y priorizar) las causas de la exposición, calcular el tiempo máximo de permanencia en esas condiciones y organizar el trabajo en etapas de forma que se puedan compensar periodos de actividad y de recuperación.

Los fundamentos de esa metodología se explican en la segunda parte de esta NTP y los cálculos correspondientes se pueden llevar a cabo mediante el "Calculador" que se ofrece como herramienta informática en la página web del INSHT (<http://calculadores.insht.es:86>).

Si no se superan los valores límite establecidos en la metodología basada en IST, se puede continuar trabajando siempre que se establezcan los controles suficientes (ver apartado 5) sobre las condiciones que originan el estrés térmico.

Controles generales (5)

De acuerdo con el diagrama de flujo de actuación propuesto (ver figura 1) En el caso de que no se superen los límites establecidos por el Método del Índice de Sobrecarga Térmica (pero si se vulneran para el índice WBGT) o cuando se trabaje con ropa que limite de alguna forma la pérdida de calor, se deben realizar controles generales que pueden incluir las siguientes acciones:

- Ofrecer información y formación a los trabajadores sobre el estrés térmico y la sobrecarga térmica, así como instrucciones y procedimientos de trabajo precisos y programas de entrenamiento frecuentes.
- Fomentar en los trabajadores expuestos la ingesta de

pequeñas cantidades de agua fresca o bebida isotónica (aproximadamente un vaso) cada 20 minutos.

- Permitir la autolimitación de las exposiciones y fomentar la observación, con la participación de los trabajadores, con el fin de detectar los primeros síntomas de sobrecarga térmica en los demás.

- Controlar especialmente y en su caso limitar la exposición de aquellos trabajadores que tomen medicación que pueda afectar al funcionamiento del sistema cardiovascular, a la presión sanguínea, a la regulación térmica, a la función renal o a la sudoración; así como la ingesta de alcohol.

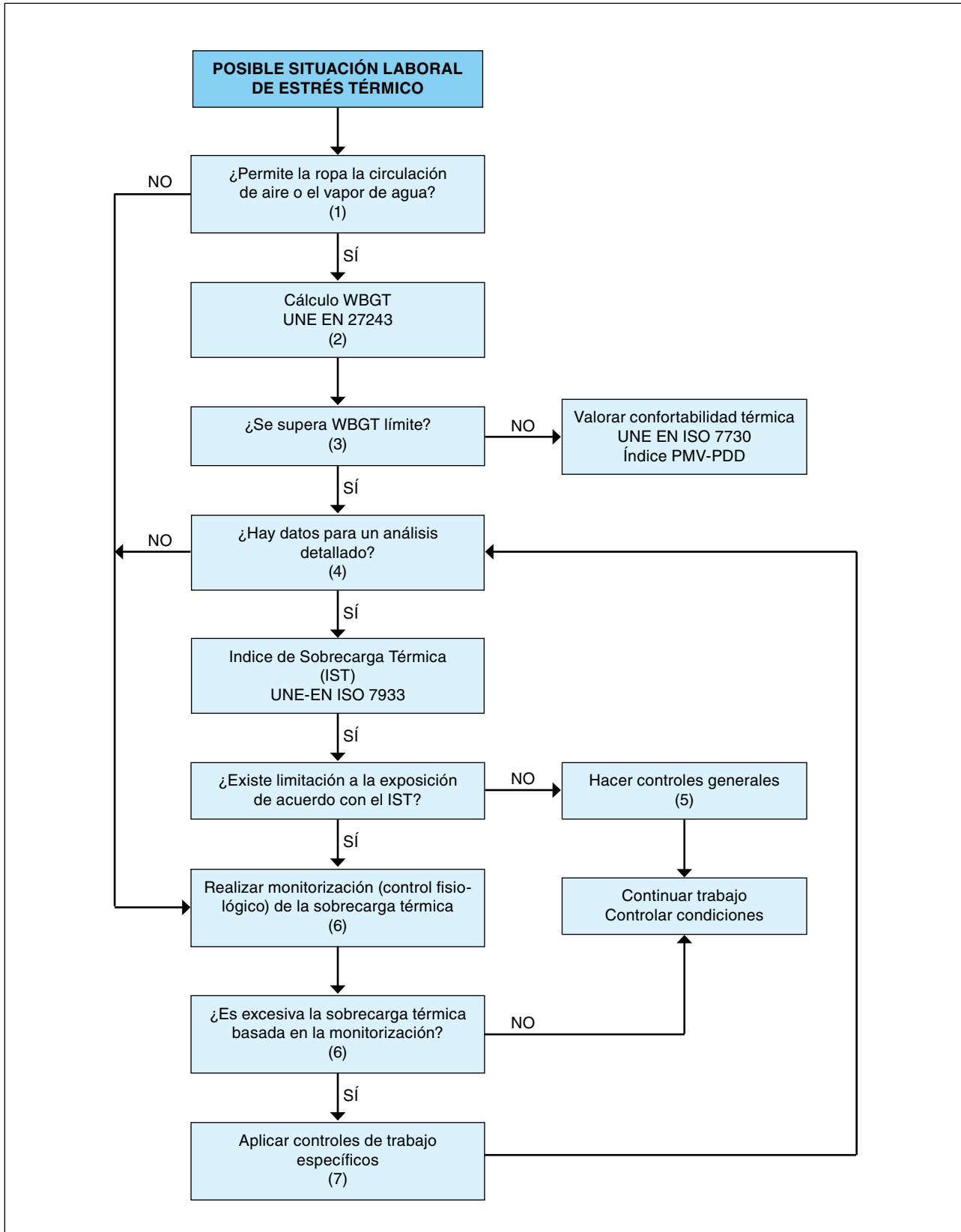


Figura 1.

- Fomentar el mantenimiento físico de los trabajadores, peso corporal controlado, alimentación etc. Controlar especialmente a aquéllos trabajadores que han permanecido durante un largo periodo sin exposición al calor y que han modificado sus parámetros de aclimatación.
- Considerar dentro de la vigilancia de la salud, la realización de pruebas médicas específicas con el fin de detectar precozmente la sensibilidad por exposición al calor.

Monitorización fisiológica del riesgo de sobrecarga térmica (6)

La monitorización de los signos y síntomas de los trabajadores que sufren estrés térmico es especialmente importante sobre todo cuando la ropa reduce significativamente la pérdida de calor. Los siguientes síntomas permiten identificar cuando existe sobrecarga térmica, en cuyo caso la exposición al calor debe ser interrumpida.

- Para personas con un sistema cardíaco normal, se debe interrumpir durante varios minutos la exposición cuando el pulso cardíaco supera 180 pulsaciones por minuto, restada la edad en años del individuo (180-edad).
- Si la temperatura corporal interna supera los 38°C en el caso de personal no aclimatado.
- Si tras un gran esfuerzo, cuando el pulso de recuperación (1 minuto después del esfuerzo máximo) es mayor de 110 pulsaciones por minuto.
- Si existen síntomas como fuerte fatiga repentina, náuseas, vértigo o mareos.
- Si un trabajador en exposición al calor aparece desorientado o confuso, o sufre una irritabilidad inexplicable, malestar general, síntomas gripales, se le debería retirar a una zona refrigerada con circulación rápida de aire y permanecer en observación por personal cualificado.
- Si la sudoración se interrumpe y la piel se vuelve caliente y seca, se le debe proporcionar atención médica inmediata, seguida de la hospitalización.

Bajo ningún concepto deben desatenderse los signos o síntomas en los trabajadores que puedan relacionarse con posibles consecuencias de la sobrecarga térmica excesiva.

Los controles generales son necesarios aunque la sobrecarga térmica entre los trabajadores se considere aceptable en el tiempo. Además, debe continuarse con el control fisiológico periódico para asegurar que la exposición al calor se mantiene en niveles aceptables.

Si durante el seguimiento fisiológico se observa que los individuos alcanzan situaciones de sobrecarga térmica, entonces debe plantearse la implantación de controles de trabajo específicos (de ingeniería, administrativos y de protección personal) y un mayor control del riesgo.

Controles de trabajo específicos (7)

Para proporcionar la protección adecuada frente al estrés térmico, además de la implantación de los controles generales, frecuentemente se requieren controles de trabajo específicos. En todos los casos, el objetivo principal de la gestión del estrés térmico es prevenir el golpe de calor.

Al respecto se ofrecen las siguientes propuestas.

- Incrementar la circulación general de aire, reducir los procesos que liberan calor y vapor de agua y apantallar las fuentes de calor radiante.
- La ventilación natural (corrientes naturales de aire) es un medio lento pero eficaz para incrementar la transferencia de calor desde la piel al exterior. El aumento de la velocidad del aire incrementa la pérdida de calor, aunque se trate de aire del local, al facilitar la evaporación del sudor.
- El calor radiante se puede reducir mediante la interposición de barreras materiales que reduzcan la radiación térmica. Si no es posible aislar las fuentes de calor mediante pantallas y la radiación térmica es muy intensa se utilizará ropa que proteja la piel. Por el contrario al cubrir la piel también se reduce la refrigeración de la piel por convección o evaporación del sudor.
- La mayor dificultad se suele dar si la temperatura del aire es superior a la temperatura de la piel (35-36°C). En esa situación el cuerpo está ganando calor y la evaporación del agua en la superficie de la piel es la única vía de pérdida de calor. En estos casos juega un papel crucial la permeabilidad de los tejidos y la capacidad de circulación de aire a través de la ropa. A pesar de que la refrigeración del lugar de trabajo se considere una medida poco viable, existen casos localizados en los que puede resultar muy efectivo, por lo que es interesante estudiar cada caso.
- La aplicación de medidas administrativas que permitan establecer tiempos de exposición aceptables para los trabajadores, tiempos de recuperación suficientes y limitación de la carga física (tasa metabólica). Estas medidas constituyen una vía de limitación de la exposición y de gestión del riesgo a través de la implantación de procedimientos de trabajo y gestión del personal.
- En última instancia, cuando los controles de ingeniería o administrativos son impracticables, la posibilidad de utilizar mecanismos de refrigeración personal, conjuntamente con ropa de protección, puede llegar a ser una alternativa. Existen chalecos refrigerados o trajes con mecanismos de refrigeración incorporados que impiden el incremento de la temperatura del cuerpo.

Tras la implantación de los controles de trabajo específicos es necesario evaluar su eficacia y realizar un ajuste en caso que fuera necesario. En estos casos el diagrama vuelve a la etapa del análisis detallado y, si no se dispone de mayor información que asegure la protección se deberá continuar con el control o monitorización fisiológica.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). 2010 TLVs® and BEIs®.
- (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) UNE EN 27243:1995. Ambientes calurosos. Estimación del estrés térmico del hombre en el trabajo basado en el índice WBGT.

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 ($D_{\max 50} = 3750$ g y $D_{\max 95} = 5625$ 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.

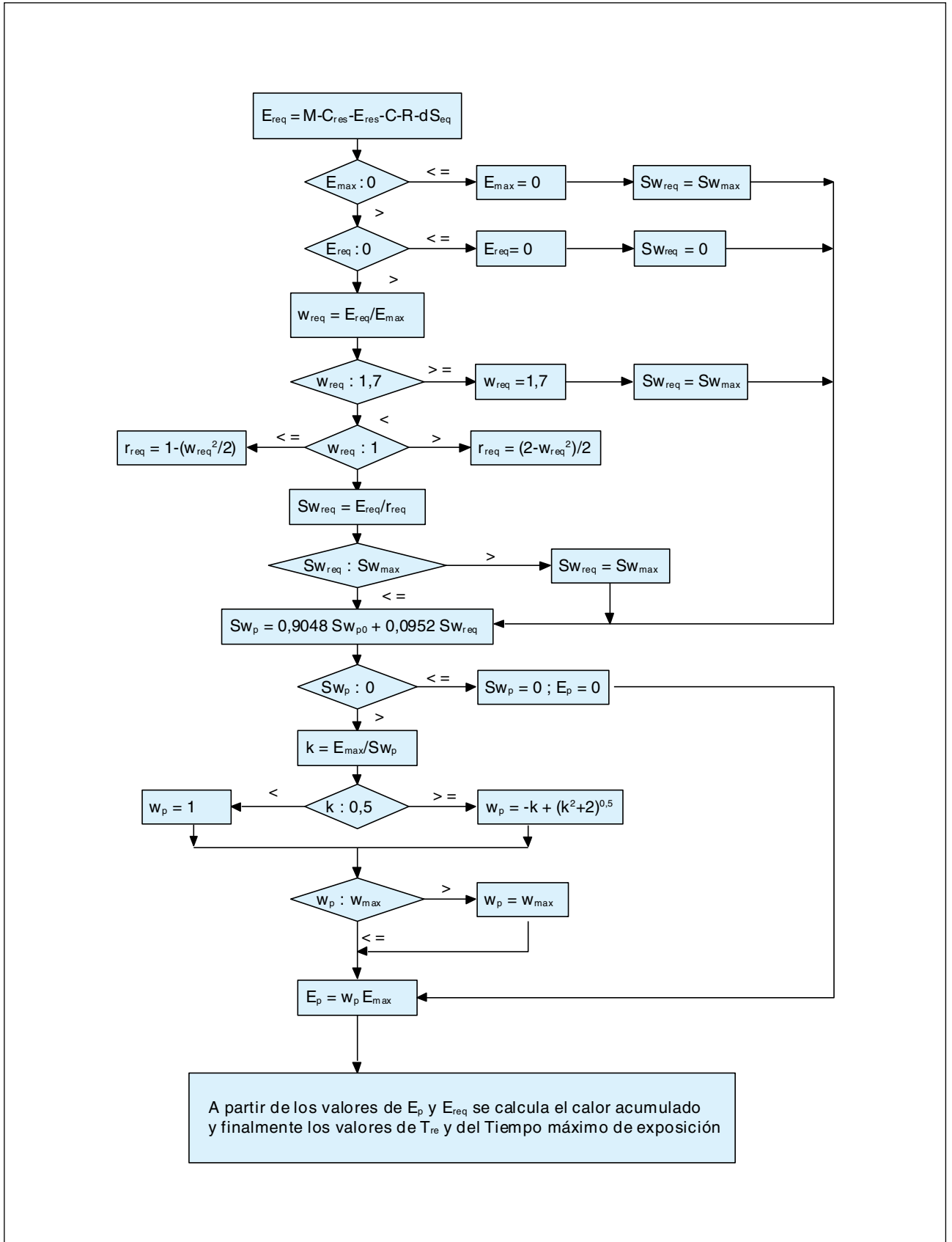


Figura 1. Diagrama de flujo. Metodología del IST

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.



NTP 322: Valoración del riesgo de estrés térmico: índice WBGT

Estimation de la cointrante thermique: indice WBGT
Estimation of the heat stress: WBGT index

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:

Pablo Luna Mendaza
Ldo. en Ciencias Químicas

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO

Introducción

La existencia de calor en el ambiente laboral constituye frecuentemente una fuente de problemas que se traducen en quejas por falta de confort, bajo rendimiento en el trabajo y, en ocasiones, riesgos para la salud.

El estudio del ambiente térmico requiere el conocimiento de una serie de variables del ambiente, del tipo de trabajo y del individuo. La mayor parte de las posibles combinaciones de estas variables que se presentan en el mundo del trabajo, dan lugar a situaciones de inconfort, sin que exista riesgo para la salud. Con menor frecuencia pueden encontrarse situaciones laborales térmicamente confortables y, pocas veces, el ambiente térmico puede generar un riesgo para la salud. Esto último está condicionado casi siempre a la existencia de radiación térmica (superficies calientes), humedad (> 60%) y trabajos que impliquen un cierto esfuerzo físico.

El riesgo de estrés térmico, para una persona expuesta a un ambiente caluroso, depende de la producción de calor de su organismo como resultado de su actividad física y de las características del ambiente que le rodea, que condiciona el intercambio de calor entre el ambiente y su cuerpo. Cuando el calor generado por el organismo no puede ser emitido al ambiente, se acumula en el interior del cuerpo y la temperatura de éste tiende a aumentar, pudiendo producirse daños irreversibles.

Existen diversos métodos para valorar el ambiente térmico en sus diferentes grados de agresividad.

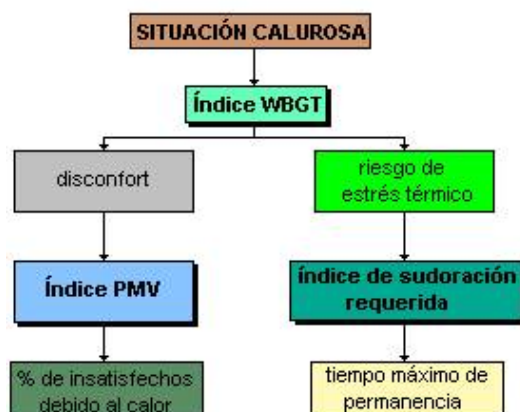


Fig. 1: Índices de valoración de ambiente térmico

Para ambientes térmicos moderados es útil conocer el índice **PMV**, cuyo cálculo permite evaluar el nivel de confort o disconfort de una situación laboral (1).

Cuando queremos valorar el riesgo de estrés térmico se utiliza el **índice de sudoración requerida**, que nos da entre otros datos, el tiempo máximo recomendable, de permanencia en una situación determinada (2).

El índice **WBGT** (3), objeto de esta Nota Técnica, se utiliza, por su sencillez, para discriminar rápidamente si es o no admisible la

situación de riesgo de estrés térmico, aunque su cálculo permite a menudo tomar decisiones, en cuanto a las posibles medidas preventivas que hay que aplicar.

Metodología

El índice **WBGT** se calcula a partir de la combinación de dos parámetros ambientales: la temperatura de globo **TG** y la temperatura húmeda natural **THN**. A veces se emplea también la temperatura seca del aire, **TA**.

Mediante las siguientes ecuaciones se obtiene el índice **WBGT**:

$$WBGT = 0.7 THN + 0.3 TG \text{ (I)}$$

(en el interior de edificaciones o en el exterior, sin radiación solar)

$$WBGT = 0.7 THN + 0.2 TG + 0.1 TA \text{ (II)}$$

(en exteriores con radiación solar)

Cuando la temperatura no es constante en los alrededores del puesto de trabajo, de forma que puede haber diferencias notables entre mediciones efectuadas a diferentes alturas, debe hallarse el índice **WBGT** realizando tres mediciones, a nivel de tobillos, abdomen y cabeza, utilizando la expresión (III):

$$WBGT = \frac{WBGT \text{ (cabeza)} + 2 \times WBGT \text{ (abdomen)} + WBGT \text{ (tobillos)}}{4}$$

Las mediciones deben realizarse a 0.1 m, 1.1 m, y 1.7 m del suelo si la posición en el puesto de trabajo es de pie, y a 0.1 m, 0.6 m, y 1.1 m, si es sentado. Si el ambiente es homogéneo, basta con una medición a la altura del abdomen.

Este índice así hallado, expresa las características del ambiente y no debe sobrepasar un cierto valor límite que depende del calor metabólico que el individuo genera durante el trabajo (**M**).

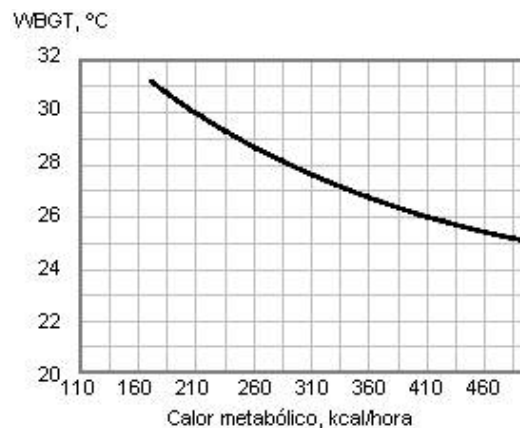


Fig. 2: Valores límite del índice WBGT (ISO 7243)

Mediante lectura en la curva correspondiente, el máximo que puede alcanzar el índice WBGT según el valor que adopta el término **M**.

Mediciones

Las mediciones de las variables que intervienen en este método de valoración deben realizarse prerentemente, durante los meses de verano y en las horas más cálidas de la jornada. Los instrumentos de medida deben cumplir los siguientes requisitos:

- **Temperatura de globo (TG):** Es la temperatura indicada por un sensor colocado en el centro de una esfera de las siguientes características:
 - 150 mm de diámetro.
 - Coeficiente de emisión medio: 90 (negro y mate).
 - Grosor: tan delgado como sea posible.
 - Escala de medición: 20 °C-120 °C.
 - Precisión: $\pm 0,5$ °C de 20 °C a 50 °C y ± 1 °C de 50 °C a 120 °C.

Temperatura húmeda natural (THN): Es el valor indicado por un sensor de temperatura recubierto de un tejido humedecido que es ventilado de forma natural, es decir, sin ventilación forzada. Esto último diferencia a esta variable de la **temperatura húmeda psicrométrica**, que requiere una corriente de aire alrededor del sensor y que es la más conocida y utilizada en termodinámica y en las técnicas de climatización.

- El sensor debe tener las siguientes características:

- Forma cilíndrica.
- Diámetro externo de 6mm ±1 mm.
- Longitud 30mm ±5mm.
- Rango de medida 5 °C 40 °C.
- Precisión ±0,5 °C.
- La parte sensible del sensor debe estar recubierta de un tejido (p.e. algodón) de alto poder absorbente de agua.
- El soporte del sensor debe tener un diámetro de 6mm, y parte de él (20 mm) debe estar cubierto por el tejido, para reducir el calor transmitido por conducción desde el soporte al sensor.
- El tejido debe formar una manga que ajuste sobre el sensor. No debe estar demasiado apretado ni demasiado holgado.
- El tejido debe mantenerse limpio.
- La parte inferior del tejido debe estar inmersa en agua destilada y la parte no sumergida del tejido, tendrá una longitud entre 20 mm y 30 mm.
- El recipiente del agua destilada estará protegido de la radiación térmica.

Temperatura seca del aire (TA): Es la temperatura del aire medida, por ejemplo, con un termómetro convencional de mercurio u otro método adecuado y fiable.

- El sensor debe estar protegido de la radiación térmica, sin que esto impida la circulación natural de aire a su alrededor.
- Debe tener una escala de medida entre 20 °C y 60 °C (±1°C).

Cualquier otro sistema de medición de estas variables es válido si, después de calibrado, ofrece resultados de similar precisión que el sistema descrito (4).

Consumo metabólico (M)

La cantidad de calor producido por el organismo por unidad de tiempo es una variable que es necesario conocer para la valoración del estrés térmico. Para estimarla se puede utilizar el dato del consumo metabólico, que es la energía total generada por el organismo por unidad de tiempo (potencia), como consecuencia de la tarea que desarrolla el individuo, despreciando en este caso la potencia útil (puesto que el rendimiento es muy bajo) y considerando que toda la energía consumida se transforma en calorífica.

El término **M** puede medirse a través del consumo de oxígeno del individuo, o estimarlo mediante tablas (5). Esta última forma, es la más utilizada, pese a su imprecisión, por la complejidad instrumental que comporta la medida del oxígeno consumido.

Existen varios tipos de tablas que ofrecen información sobre el consumo de energía durante el trabajo. Unas relacionan, de forma sencilla y directa, el tipo de trabajo con el término **M** estableciendo trabajos concretos (escribir a máquina, descargar camiones etc.) y dando un valor de **M** a cada uno de ellos. Otras, como la que se presenta en la tabla 2, determina un valor de **M** según la posición y movimiento del cuerpo, el tipo de trabajo y el metabolismo basal (6). Este último se considera de 1 Kcal / min como media para la población laboral, y debe añadirse siempre.

Tabla 1: Valores límite de referencia para el índice WBGT (ISO 7243)

Consumo metabólico Kcal/hora	WBGT límite °C			
	Persona aclimatada		Persona no aclimatada	
	v=0	v≠0	v=0	v≠0
≤ 100	33	33	32	32
100 ÷ 200	30	30	29	29
200 ÷ 310	28	28	26	26
310 ÷ 400	25	26	22	23
> 400	23	25	18	20

El consumo metabólico se expresa en unidades de potencia o potencia por unidad de superficie corporal. La relación entre ellas es la siguiente:

$$1 \text{ Kcal/hora} = 1,16 \text{ watos} = 0,64 \text{ watos/m}^2 \text{ (para una superficie corporal media de } 1,8 \text{ m}^2\text{)}.$$

Variación de las condiciones de trabajo con el tiempo

Durante la jornada de trabajo pueden variar las condiciones ambientales o el consumo metabólico, al realizar tareas diferentes o en diferentes ambientes. En estos casos se debe hallar el índice **WBGT** o el **consumo metabólico**, ponderados en el tiempo, aplicando las expresiones siguientes:

$$WBGT = \frac{\sum_{i=1}^n WBGT_i \times t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} (V); \quad M = \frac{\sum_{i=1}^n M_i \times t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} (V);$$

Esta forma de ponderar sólo puede utilizarse bajo la condición de que:

$$\sum_{i=1}^n t_i \leq 60$$

Esto se debe a que las compensaciones de unas situaciones térmicas con otras no ofrecen seguridad en periodos de tiempos largos.

Adecuación de regímenes de trabajo - descanso

Cuando exista riesgo de estrés térmico según lo indicado, puede establecerse un régimen de trabajo-descanso de forma que el organismo pueda restablecer el balance térmico. Se puede hallar en este caso la fracción de tiempo (trabajo-descanso) necesaria para que, en conjunto, la segura, de la siguiente forma:

$$ft = \frac{(A-B)}{(C-D)+(A-B)} \times 60 (\text{minutos / hora}) \quad (\text{VI})$$

Siendo:

- ft = Fracción de tiempo de trabajo respecto al total (indica los minutos a trabajar por cada hora)
- A = WBGT límite en el descanso (M < 100 Kcal/h.)
- B = WBGT en la zona de descanso
- C = WBGT en la zona de trabajo
- D = WBGT límite en el trabajo

Si se trata de una persona aclimatada al calor, que permanece en el lugar de trabajo durante la pausa, la expresión (VI) se simplifica:

$$ft = \frac{33-B}{33-D} \times 60 (\text{minutos / hora}) \quad (\text{VII})$$

Cuando $B \geq A$, las ecuaciones Vi y VII no son aplicables.

Esta situación corresponde a un índice **WBGT** tan alto, que ni siquiera con un índice de actividad relativo al descanso (< 100 kcal 1 hora) ofrece seguridad. Debe adecuarse un lugar mas fresco para el descanso, de forma que se cumpla $B < A$.

Limitaciones a la aplicación del método

La simplicidad del método hace que esté sujeto a ciertas limitaciones, debidas a las obligadas restricciones en algunas variables. Así por ejemplo, la curva límite sólo es de aplicación a individuos cuya vestimenta ofrezca una resistencia térmica aproximada de 0,6 clo, que corresponde a un atuendo veraniego.

La velocidad del aire: Sólo interviene a partir de cierto valor del consumo metabólico y de forma cualitativa, aumentando 1 ó 2 °C los límites del índice **WBGT**, cuando existe velocidad de aire en el puesto de trabajo. Ver tabla 1

Los límites expresados en la figura 1 sólo son válidos para individuos sanos y aclimatados al calor. La **aclimatación** al calor es un proceso de adaptación fisiológica que incrementa la tolerancia a ambientes calurosos, fundamentalmente por variación del flujo de sudor y del ritmo cardíaco. La aclimatación es un proceso necesario, que debe realizarse a lo largo de 6 ó 7 días de trabajo, incrementando poco a poco la exposición al calor.

A.C.G.I.H. (6), que adopta este método como criterio de valoración de estrés térmico y presenta una curva límite (TLV) similar, pero añadiendo además otra para individuos no aclimatados, bastante más restrictiva.

Cuando la situación de trabajo no se adapte al campo de aplicación del método, es decir, que la velocidad del aire o el vestido sean muy diferentes de lo indicado, debe recurrirse a métodos más precisos de valoración (1) y (2).

Ejemplo de aplicación

Supongamos una situación de trabajo caracterizada por una temperatura de globo de **40 °C** y temperatura húmeda natural de **29 °C**, en la que un individuo aclimatado al calor y con indumentaria veraniega (0,5 clo), descarga un horno que trabaja en continuo, secando piezas que circulan por su interior, las cuales pesan 10 Kg. Una vez descargada la pieza debe dejarla en un lugar cercano para que posteriormente otra persona proceda a su almacenamiento.

El ciclo de trabajo (mínimo conjunto de tareas que se repiten de forma ordenada a lo largo de la jornada y que constituye el trabajo habitual del individuo) se puede desglosar de la siguiente forma:

1. Descolgar y transportar la pieza	10 seg..... 27% del tiempo total
2. Volver caminando a la cadena	7 seg..... 19% del tiempo total
3. Esperar de pie la siguiente pieza	20 seg..... 54% del tiempo total
TOTAL DEL CICLO: 37 seg. 100%	

El cálculo del término M podría hacerse con ayuda de la Tabla 2 de la forma siguiente:

Tabla 2: Estimación del consumo metabólico M (ACGIH)

1. Descolgar y transportar la pieza	Andando..... 2,0 kcal/min Trabajo pesado con ambos brazos..... 2,5 kcal/min
2. Volver caminando a la cadena	Andando..... 2,0 kcal/min
3. Esperar de pie la siguiente pieza	De pie..... 0,6 kcal/min

A. Posición y movimiento del cuerpo			
			Kcal/min
Sentado			0,3
De pie			0,6
Andando			2,0 - 3,0
Subida de una pendiente andando			añadir 0,8 por m de subida
B. Tipo de trabajo			
		Media Kcal/min	Rango Kcal/min
Trabajo manual	Ligero	0,4	0,2 - 1,2
	Pesado	0,9	
Trabajo con un brazo	Ligero	1,0	0,7 - 2,5
	Pesado	1,7	
Trabajo con dos brazos	Ligero	1,5	1,0 - 3,5
	Pesado	2,5	
Trabajo con el cuerpo	Ligero	3,5	2,5 - 15,0
	Moderado	5,0	
	Pesado	7,0	
	Muy pesado	9,0	

Teniendo en cuenta la distribución de tiempos y el Metabolismo Basal considerado de 1 Kcal/min, $M = 4,5 \text{ Kcal/min} \times 0,27 + 2 \text{ Kcal/min} \times 0,19 + 0,6 \text{ Kcal/min} \times 0,54 + 1 \text{ Kcal/min} = 2,92 \text{ Kcal/min} = 175 \text{ Kcal/h}$

El índice WBGT calculado según las temperaturas indicadas y la ecuación (I), resulta ser de 32,3°C, mientras que el WBGT límite para el consumo metabólico determinado, es según indica la gráfica 1 de 30 °C, por lo que existe una situación de riesgo no admisible de estrés térmico en estas condiciones y según este método.

Si queremos aplicar al puesto, un régimen de trabajo-descanso, para disminuir el riesgo:

$$\text{WBGT (límite) descansando} = 31 \text{ °C (tabla 1)}$$

Si el periodo de descanso lo realiza en las inmediaciones del puesto de trabajo, el índice WBGT es el mismo por lo que, WBGT descansado = 32,3 °C.

Aplicando la ecuación VII:

$$ft = \frac{33 - 32,3}{33 - 30} \times 60 = 14 \text{ minutos de trabajo por hora}$$

Si por el contrario descansa en un lugar más fresco, cuyo WBGT fuera por ejemplo, de 27 °C, aplicando la ecuación VI:

$$ft = \frac{(33 - 27)}{(32,3 - 31) + (33 - 27)} \times 60 = 49 \text{ minutos de trabajo por hora}$$

Bibliografía

(1) ISO 7730. 1984 y revisión 1992

Ambiances thermiques modérés. Determination des indices PMV et PPD et specification des conditions de confort thermique

(2) ISO 7933. 1989

Ambiances thermiques chaudes. Determination analytique et interpretation de la contrainte thermique fondées sur le calcul de la sudation requise

(3) ISO 7243. 1989

Hot environments. Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT index (Wet bulb globe temperatures)

(4) ISO 7726. 1985

Ambiances thermiques. Appareils et méthodes de mesure des caractéristiques physiques de l'environnement

(5) ISO/DIS 8996

Determination du métabolisme énergétique

(6) American Conference of Governmental Industrial Hygienists

Threshold limits values and Biological exposure indices of 1992-93

Cincinnati. A.C.G.I.H. 1992