

TEMA 57

AMBIENTE TÉRMICO. ECUACIÓN DEL BALANCE TÉRMICO. MECANISMOS DE TERMORREGULACIÓN Y DE INTERCAMBIO DE CALOR ENTRE EL ORGANISMO Y EL AMBIENTE. EFECTOS DEL CALOR Y EL FRÍO SOBRE EL ORGANISMO. MÉTODOS DE VALORACIÓN: ÍNDICE WBGT. ÍNDICE DE SOBRECARGA TÉRMICA. ÍNDICE IREQ (AISLAMIENTO REQUERIDO DE LA VESTIMENTA). TEMPERATURA DE ENFRIAMIENTO POR EL VIENTO. CONTROL DE LAS EXPOSICIONES. PRINCIPALES MEDIDAS PREVENTIVAS

INTRODUCCIÓN

El ambiente térmico, junto a las radiaciones ionizantes, las radiaciones ópticas, los campos electromagnéticos, el ruido y las vibraciones mecánicas conforman lo que se denominan agentes físicos, que tienen en común la transmisión de una cantidad de energía que puede ocasionar daños a la seguridad y salud de las personas, en particular en el ámbito laboral.

Por otro lado, el ambiente térmico se diferencia de los demás agentes físicos en que no está sujeto a una legislación específica para la prevención y el control de los riesgos derivados de la exposición laboral. Únicamente existen una limitación de los rangos de temperaturas para trabajos sedentarios y trabajos ligeros y las disposiciones sobre las condiciones ambientales durante el trabajo al aire libre en el Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo; y una regulación de tiempos de permanencia en cámaras frigoríficas en el Real Decreto 1561/1995, de 21 de septiembre, sobre jornadas especiales de trabajo.

No obstante, lo anterior no es óbice para que la empresa deba evaluar el riesgo de desequilibrio térmico y adoptar las medidas preventivas que procedan para evitar las consecuencias de la ganancia/pérdida de calor corporal, es decir, hipertermia/hipotermia, cuyos efectos van desde el discomfort hasta la muerte.

Previo al desarrollo de este tema merece especial atención la mencionada disposición adicional única del Real Decreto 486/1997, que indica que en los trabajos al aire libre deberán tomarse medidas adecuadas para la protección de las personas frente a cualquier riesgo derivado de los fenómenos meteorológicos adversos. Estas medidas incluirán la prohibición de desarrollar determinadas tareas si no puede garantizarse de otro modo la seguridad y la salud. Adicionalmente, cuando la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) o el órgano autonómico correspondiente emita un aviso por fenómenos meteorológicos adversos de nivel naranja o rojo y las medidas preventivas implementadas no garanticen la protección de las personas, resultará obligatoria la adaptación de las condiciones de trabajo, incluida la reducción o modificación de las horas de desarrollo de la jornada prevista.

A estos efectos, obsérvese que AEMET emite avisos frente a las siguientes condiciones meteorológicas: temperaturas máximas, temperaturas mínimas, precipitaciones, viento, polvo en suspensión y fenómenos costeros. Por tanto, esta disposición no sólo se refiere a los riesgos derivados del estrés térmico objeto de este tema.

1. ECUACIÓN DE BALANCE TÉRMICO E INTERCAMBIO DE CALOR ENTRE EL ORGANISMO Y EL AMBIENTE

El balance térmico está regido por dos fuentes de calor; por un lado, el propio organismo del ser humano genera calor, y por el otro, el entorno exterior, existiendo un intercambio de energía entre el ser humano y el ambiente exterior.

La ecuación simplificada de balance térmico relaciona este intercambio energético mediante la expresión:

$$\text{Ganancia} = Q_{\text{metabólico}}(M) \pm Q_{\text{convectivo}}(C) \pm Q_{\text{radiante}}(R) \pm Q_{\text{conductivo}}(K) - Q_{\text{evaporación}}(E)$$

Donde:

M es el calor producido por el metabolismo. Existen dos componentes, uno es el metabolismo basal que es el calor que se produce como consecuencia del mantenimiento de las funciones vitales del ser humano, por ejemplo, la respiración, los latidos del corazón, etc., es decir, todas aquellas funciones del organismo necesarias para seguir vivo. La segunda componente es la actividad física, que genera más calor cuanto más intensa es la actividad como, por ejemplo, caminar, correr, etc.; o en el ámbito laboral, puestos de trabajo que implican manipulación manual de cargas.

C es el Calor que se transmite por convección. Se trata de la energía que se intercambia entre dos fluidos que están a distinta temperatura. Un ejemplo cotidiano de este fenómeno es la calefacción de los hogares, por la que circula agua que está a mayor temperatura que el aire de la habitación. En este caso hay una transmisión de calor desde el agua del interior del calefactor al aire de la habitación, calentándose el aire y enfriándose el agua. Esta componente convectiva de transmisión de calor suele estar muy presente en el entorno industrial, por ejemplo, en puestos de trabajo que se desarrollan en obradores de pan o en cámaras frigoríficas, así como en industrias que utilizan hornos de polimerización.

R es el calor que se transmite por radiación, que consiste en el calor emitido desde cualquier objeto por el hecho de estar a una determinada temperatura. El calor irradiado por un objeto es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura. Tiene una gran relevancia en procesos industriales de forja o de fundición, donde en ocasiones se superan de largo los 1.000 °C, y en trabajos que se desarrollan al aire libre en los que se está expuesto al sol.

K es el calor que se transmite por conducción, es aquel que se transmite por contacto directo con superficies muy calientes, o muy frías. Esta componente no tiene mucho peso en la exposición laboral al estrés térmico por calor, sino que está más relacionada con el riesgo de quemaduras. Por ello, es habitual que en la bibliografía no aparezca esta componente reflejada en la ecuación de balance térmico. Sin embargo, la componente conductiva puede ser relevante en el estrés por frío, ya que el contacto de partes del cuerpo con superficies que estén a temperaturas extremadamente bajas puede originar lesiones por enfriamiento local.

E es la pérdida de calor por evaporación. Se trata de un mecanismo de termorregulación, al que se hará referencia más adelante.

Se dice que hay equilibrio térmico cuando la ganancia es nula. Si la ganancia es distinta de cero se produce un desequilibrio térmico, que puede ser compensado por mecanismos de termorregulación, de forma que la temperatura corporal se mantiene estable en un estrecho

intervalo de 35 – 37 °C. En el caso de que los mecanismos de termorregulación sean incapaces de hacer frente a la ganancia o pérdida de calor (ganancia negativa), se producirá un riesgo de estrés térmico por calor o frío, respectivamente.

2. MECANISMOS DE TERMORREGULACIÓN

Existen dos tipos de mecanismos termorreguladores, el comportamental como pueden ser ponerse a la sombra, beber agua fresca o refrescarse, aligerarse la ropa y modificar la actividad física, que consiste en actuaciones voluntarias del ser humano. Está asociado a la percepción individual de pérdida de confort térmico, sin que necesariamente se haya producido variación de la temperatura corporal.

Por otra parte, el tipo fisiológico consiste en actos reflejos involuntarios regidos por el hipotálamo, que está situado en el cerebro. Por ejemplo, la sudoración o la vasodilatación cuando la temperatura corporal aumenta, y la vasoconstricción o aumento de la actividad metabólica para generar calor mediante escalofríos y tiritonas cuando la rotura del equilibrio térmico es por pérdida de calor.

A continuación, se describen los principales mecanismos fisiológicos de termorregulación:

- La **sudoración** es un mecanismo muy eficaz de enfriamiento del organismo cuando el entorno permite, e incluso, facilita la evaporación del sudor. Si el organismo humano genera calor o absorbe calor, la temperatura corporal tiende a aumentar. A fin de mantener el equilibrio térmico las glándulas sudoríparas se activan y emanan sudor. Para evaporarse el sudor necesita calor, que lo toma de la piel de la persona. De esta forma hay una transmisión de calor desde la piel hacia el sudor que cambia de estado, de líquido a vapor y se diluye en el aire. El organismo se enfría y el sudor utiliza el calor para evaporarse. Este fenómeno es posible si el aire no está saturado de vapor de agua, es decir si la humedad relativa es lo suficientemente baja como para diluir el vapor del sudor y se verá favorecido al aumentar la velocidad de aire.
- La **vasodilatación** es otro mecanismo para que el organismo del ser humano elimine calor generado internamente por el que los vasos sanguíneos de la piel se dilatan y se desplazan internamente hacia la superficie cutánea para favorecer el intercambio de calor de la sangre con el ambiente exterior.
- La **vasoconstricción** es el mecanismo inverso. Cuando el organismo necesita mantener el calor interno ante un ambiente exterior muy frío, el hipotálamo envía señales que ocasionan la constricción de los vasos sanguíneos de la piel. Al disminuir el diámetro de los vasos sanguíneos cutáneos, se reduce el flujo de sangre en las capas externas de la piel, que se enfrían. La diferencia de temperatura entre la superficie corporal y el ambiente disminuye, y con ella la pérdida de calor.
- **Aumento de la actividad metabólica** mediante el consumo de tejido adiposo acumulado, o bien a través de la activación del músculo esquelético que a fin de generar calor en el interior del organismo se producen rápidas y repetitivas contracciones, que se conocen como escalofríos y tiritonas, produciéndose calor por fricción celular del músculo.

3. EFECTOS DEL CALOR Y EL FRÍO SOBRE EL ORGANISMO

Otra característica del ambiente térmico es que todos los efectos debidos a una exposición a condiciones térmicas extremas se producen de forma súbita, manifestándose de forma inmediata, es decir, sin período de latencia

Si las condiciones ambientales son muy adversas pueden requerir un esfuerzo excesivo de los mecanismos fisiológicos de termorregulación, con consecuencias perjudiciales para la salud. **En ambientes calurosos**, pueden aparecer los siguientes efectos:

- **Síncope por calor.** Consiste en un cuadro que va desde el aturdimiento y visión borrosa hasta el desmayo o pérdida de conocimiento como consecuencia de la combinación de una exposición a ambientes muy calurosos y de mantener una postura de pie e inmóvil durante períodos prolongados de tiempo. La razón fisiológica es que a causa del calor se produce una vasodilatación en las capas externas de la piel aumentando el flujo sanguíneo a la periferia del cuerpo, que hace que no llegue suficiente sangre a la cabeza. Suele ir acompañado de una bajada repentina de tensión arterial. Habitualmente se produce en aquellas personas trabajadoras que no se hayan aclimatado previo a la exposición al calor.
- **Deshidratación y déficit salino.** Ambos están relacionados con la pérdida de agua y sales minerales debida a la sudoración. Por un lado, se pierde mayor cantidad de agua que la que se ingiere directamente o a través de los alimentos. Al sudar también se pierde cloruro sódico, provocando calambres principalmente en aquellos músculos que realizan el trabajo y que afectan, sobre todo, a las personas trabajadoras no aclimatadas.
- **Agotamiento por calor.** Es un efecto que tiene su origen en una importante deshidratación. Entre sus síntomas más comunes destacan la pérdida de la capacidad de trabajo, reducción de las habilidades psicomotrices, náuseas, fatiga, etc. En la mayoría de los casos se consigue la recuperación del individuo con la rehidratación y el reposo, produciéndose la recuperación del organismo, salvo que la situación sea extrema.
- **Golpe de calor.** Se produce una excesiva acumulación de calor en el organismo debido a que la carga metabólica por trabajo en un ambiente térmico agresivo supera ampliamente las pérdidas de calor y, con ello, un aumento de la temperatura corporal. Los mecanismos termorreguladores no son capaces de controlar la temperatura y se pueden producir daños en el sistema central nervioso, que pueden provocar vértigos, delirios, inconsciencia, e incluso la muerte. Una intervención rápida que procure el enfriamiento, por ejemplo, aligerar la ropa de la víctima, envolverle con ropa empapada en agua, suele favorecer su recuperación.

Por otra parte, **en ambientes extremadamente fríos** pueden darse los siguientes efectos:

- **Hipotermia.** Consiste en una reducción de la temperatura corporal debida a que hay una pérdida neta de calor en el organismo, las ganancias de energía son menores que sus pérdidas. La disminución de la temperatura en el cerebro produce confusión, descoordinación, incapacidad para mantener el ritmo de trabajo y aletargamiento. En casos raros y extremos puede sobrevenir la muerte.
- **Congelación.** Se localiza preferentemente en la periferia del cuerpo (mejillas, nariz, orejas, manos, pies) ocasionando dolor y lesiones. Puede darse incluso a temperaturas superiores a 0°C si la ropa está mojada.

- El frío provoca un **agravamiento de enfermedades** respiratorias, cardiovasculares; asimismo, desencadena episodios de crisis en personas con síndrome de Raynaud.

4. MÉTODOS DE VALORACIÓN: ÍNDICE WBGT

El índice WBGT (*Wet bulb globe temperature*, Temperatura de globo y de bulbo húmedo) es un método de evaluación de riesgo por calor muy utilizado por su sencillez y sirve para discriminar si la situación es admisible o no. Se puede emplear tanto en trabajos que se realizan en locales interiores como en trabajos desarrollados al aire libre. Por el contrario, sus limitaciones son diversas, se trata de un método no muy preciso, no tiene en cuenta las características individuales de las personas trabajadoras, ni permite determinar las variables que causan el riesgo.

El método se encuentra descrito en la norma UNE-EN ISO 7243:2017. El índice WBGT¹ es una temperatura aparente que combina las contribuciones de tres parámetros ambientales, la temperatura húmeda natural, T_{HN} , con peso del 70%, la temperatura de globo, T_G , con peso del 20% y la temperatura del aire ambiental, T_A , con un peso del 10%. Tiene, por tanto, en cuenta la temperatura, la humedad, la velocidad del aire y la radiación visible e infrarroja procedente del sol.

En el caso de que los trabajos se lleven a cabo en locales interiores, o bien en el exterior, pero sin exposición solar, no hay contribución de la temperatura del aire ambiental en el WBGT², y el peso de la temperatura de globo, T_G , pasa del 20 al 30%.

La temperatura húmeda natural es el valor obtenido por un sensor de temperatura envuelto en un paño humedecido y expuesto a una ventilación natural, es decir, sin ventilación forzada, que es precisamente lo que le diferencia de la temperatura húmeda psicrométrica que requiere una corriente de aire alrededor del sensor con una velocidad mínima de 1 m/s. La temperatura húmeda psicrométrica se utiliza habitualmente en la termodinámica y las técnicas de climatización porque conociendo esta y la temperatura seca pueden obtenerse otras magnitudes características del aire como, por ejemplo, la humedad relativa del aire o la temperatura de rocío.

La temperatura de globo es la temperatura indicada por un sensor colocado en el centro de una esfera de color negro mate y de 150 milímetros de diámetro.

La temperatura seca del aire es la indicada por un termómetro convencional, por ejemplo, de mercurio.

En aquellas ocasiones en las que la temperatura puede variar en distintas partes del cuerpo, se suele utilizar el $\overline{WBGT}$ ³, que se calcula como promedio ponderado de los WBGT de la cabeza, del abdomen y de los tobillos, de forma que el correspondiente al abdomen pesa el doble que los otros dos.

Para evaluar las situaciones de exposición intensa al calor se comparan los valores WBGT del ambiente obtenidos tal como se ha comentado anteriormente, con los valores máximos de WBGT que varía según la carga térmica metabólica de la persona trabajadora.

¹ $WBGT = 0,7 \cdot T_{HN} + 0,2 \cdot T_G + 0,1 \cdot T_A$ para trabajos con exposición solar

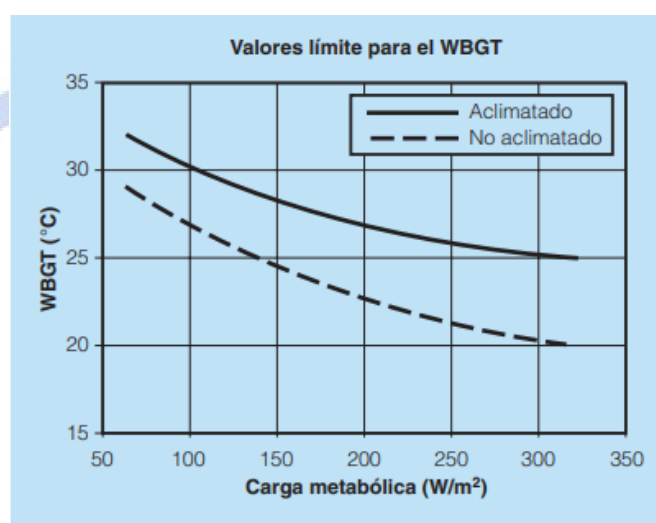
² $WBGT = 0,7 \cdot T_{HN} + 0,3 \cdot T_G$ para trabajos en interiores o en el exterior con sombra

³ $\overline{WBGT} = \frac{1 \cdot WBGT_{\text{CABEZA}} + 2 \cdot WBGT_{\text{ABDOMEN}} + 1 \cdot WBGT_{\text{TOBILLOS}}}{4}$

De esta forma, si el índice $WBGT_{\text{ambiente}}$ no alcanza el valor máximo correspondiente a una carga metabólica determinada, la situación será aceptable. En caso contrario será inaceptable.

La norma UNE-EN ISO 7243:2017 ha representado las curvas que relacionan el $WBGT_{\text{máxima}}$ con la carga térmica metabólica. Se puede observar en la gráfica de "Valores límite para el WBGT" que a medida que aumenta la carga térmica metabólica, menor es la temperatura máxima de WBGT. Véase el ejemplo⁴ que figura al pie de página.

Por otra parte, se observa que para personas trabajadoras no aclimatadas la variación de los valores límite del WBGT se representa con una curva desplazada (curva de trazo discontinuo), de forma que se alcanzan los valores límite antes que para las personas aclimatadas. Así mismo, las curvas de valor límite de WBGT dependen de la velocidad de aire.



Habitualmente, las personas trabajadoras no están expuestas a unas determinadas condiciones ambientales que se mantengan constantes a lo largo de la jornada laboral, ni tampoco el ritmo de trabajo es el mismo durante toda la exposición, sino que van variando con el tiempo. De esta forma, se puede caracterizar distintas exposiciones a las que se puede estar expuesto durante la jornada, cada una con su WBGT y con su correspondiente duración.

El WBGT continuo equivalente, $WBGT_{eq,T}$ ⁵, se calcula como el promedio de los WBGT de cada exposición ponderado en el tiempo. Igualmente se puede calcular la carga metabólica continua equivalente, $M_{eq,T}$ ⁶.

El tiempo máximo de este promedio es una hora. Esto se hace con la intención de evitar que periodos largos en condiciones peligrosas puedan ser compensados con otros periodos largos de condiciones más benignas.

⁴ Ejemplo: Para una carga térmica metabólica de 100 w/m² el valor máximo de WBGT para personas trabajadoras aclimatadas es de 30º C, mientras que el valor máximo de WBGT para una carga térmica metabólico de 300 w/m² es de 25º C.

⁵ $WBGT_{eq,T} = \frac{\sum_{i=1}^n WBGT_i \times t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}$, donde $\sum_{i=1}^n t_i = T$ y n es el número de exposiciones diferentes

⁶ $M_{eq,T} = \frac{\sum_{i=1}^n M_i \times t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}$, donde $\sum_{i=1}^n t_i = T$ y n es el número de exposiciones diferentes

5. MÉTODOS DE VALORACIÓN: ÍNDICE DE SOBRECARGA TÉRMICA

Cuando el índice WBGT es superior a los límites establecidos es conveniente recurrir a una metodología más precisa que informe en detalle de las condiciones de estrés térmico. Esta metodología se basa en la determinación del índice de Sobrecarga Térmica, el cual viene descrito en la norma UNE EN ISO 7933:2005.

Este método estima la tasa de sudoración y la temperatura interna que el cuerpo humano alcanzará en respuesta a las condiciones de trabajo. La norma antes mencionada tiene un doble objetivo; por un lado, la evaluación del estrés térmico que podría provocar un incremento de la temperatura corporal o de pérdida de agua; y por el otro, la determinación de tiempos de exposición para los que la sobrecarga térmica es aceptable. Esta norma no tiene en cuenta las características individuales de las personas expuestas, sino que solo considera individuos "normales", es decir, con buena salud y adaptados al trabajo que desempeñan.

Este método tiene en cuenta las siguientes características:

- los parámetros ambientales: temperatura del aire, temperatura radiante media, presión parcial de vapor y velocidad del aire
- la tasa metabólica, y
- las características térmicas de la ropa.

El método propone las siguientes etapas:

1. A partir de la ecuación de balance energético se calcula el flujo de calor por evaporación, la mojadura de la piel y la tasa de sudoración requeridos.

El flujo de calor por evaporación requerido, E_{req}^7 , es el necesario para mantener el equilibrio térmico, es decir, para que la ganancia, también denominada almacenamiento de calor, sea cero.

La mojadura de la piel requerida, W_{req}^8 , es la relación entre el flujo de calor por evaporación y el flujo máximo de calor por evaporación en la superficie de la piel.

La tasa de sudoración requerida, SW_{req}^9 , es la relación entre el flujo de calor requerido y un valor adimensional que se refiere a la capacidad de que se evapore el sudor.

2. Teniendo en cuenta las limitaciones del cuerpo y la respuesta del mecanismo de sudoración, se estiman los valores previsibles del flujo de calor por evaporación, la mojadura y la tasa de sudoración.
3. Se estima la tasa de almacenamiento de calor a partir de la diferencia entre los flujos de calor por evaporación requerido y previsto.

⁷ $E_{req} = M - W - C_{res} - E_{res} - C - R - dS_{eq}$ según ecuación de balance térmico en el que se añade la convección y la evaporación por la respiración del individuo y dS_{eq} que es el almacenamiento de calor debido al incremento de la temperatura interna asociado a la tasa metabólica.

⁸ $W_{req} = \frac{E_{req}}{E_{máx}}$

⁹ $SW_{req} = \frac{E_{req}}{r_{req}}$, donde r_{req} es la eficiencia evaporativa requerida de la sudoración

4. Una vez estimadas la temperatura rectal y la pérdida acumulada de agua, el tiempo necesario para que alguna de ellas alcance su correspondiente valor máximo determina el tiempo de exposición máximo permisible.

6. MÉTODOS DE VALORACIÓN: ÍNDICE IREQ (AISLAMIENTO REQUERIDO DE LA VESTIMENTA)

Previo a entrar en el método IREQ debe tenerse presente que los riesgos debidos a ambientes fríos se combaten principalmente incrementando bien la actividad metabólica, o sino el aislamiento del vestido, que es independiente del material y depende del aire atrapado en la trama de fibras. Existen tablas para el cálculo del aislamiento por la vestimenta.

Se suele utilizar el clo como unidad del aislamiento y el valor para mantener confortable a una persona en estado sedentario a 21°C.

El índice IREQ tiene como objeto cuantificar el aislamiento térmico de la vestimenta que permita evitar el enfriamiento general del cuerpo. El método está descrito en la norma UNE EN ISO 11079:2009.

El método se basa en el cálculo del intercambio de calor y de la resistencia de la ropa requerida para que no haya pérdida ni ganancia de calor, es decir para que se consiga el equilibrio térmico, que corresponde al concepto IREQ. Además, por otra parte, se calcula la resistencia térmica de la ropa utilizada para su comparación con el IREQ calculado, y de ahí se concluye el nivel de riesgo.

El procedimiento incluye varias etapas:

- La medición de las condiciones ambientales. Se toma lectura de la temperatura del aire, temperatura radiante media, velocidad del aire y humedad relativa.
- La determinación del consumo metabólico de las personas expuestas a partir de la actividad realizada,
- La determinación del aislamiento térmico de la ropa utilizada en el puesto de trabajo a partir de las tablas incluidas en la norma EN ISO 9920:2009. En dichas tablas se indica la resistencia térmica de las distintas prendas de vestir en función de su tipo y de los materiales empleados.
- El cálculo del índice IREQ para su comparación con la ropa usada en el puesto de trabajo. Si es superior a la resistencia térmica de la ropa utilizada, esta será insuficiente y permitirá calcular el tiempo límite de exposición.

Los movimientos del cuerpo permiten la penetración de aire y la pérdida de calor por convección, pudiendo disminuir el aislamiento hasta un 50% respecto al aislamiento básico proporcionado por las tablas de la norma antes citada que corresponde al aislamiento real en condiciones estáticas y sin viento. La reducción del aislamiento se puede estimar en función del metabolismo de trabajo, y de esta forma se puede calcular el nuevo aislamiento térmico que se denomina aislamiento térmico corregido de la ropa utilizada¹⁰.

¹⁰ $I_{cl} = I_{cl,r} + \frac{[0,092 \cdot e^{(0,15 \cdot v_a - 0,22 \cdot v_w)} - 0,045] / f_{cl}}{[0,54 \cdot e^{(0,075 \cdot \ln(ap)) - 0,15 \cdot v_a - 0,22 \cdot v_w} - 0,06 \cdot \ln(ap) + 0,5]} - 0,085 / f_{cl}$, donde $I_{cl,r}$ es el aislamiento

corregido de la ropa, v_a es la velocidad del aire, v_w es la velocidad del aire alrededor del cuerpo, f_{cl} es el factor de superficie de la ropa y ap es la permeabilidad del aire.

7. MÉTODOS DE VALORACIÓN: TEMPERATURA DE ENFRIAMIENTO POR EL VIENTO

La temperatura de enfriamiento, t_{wc} , es un concepto que se utiliza en el método de evaluación del estrés por frío, enfriamiento local. Se trata de un método que evalúa el efecto local de enfriamiento en el exterior debido a la temperatura del aire y a la velocidad del viento. La actividad física de la persona trabajadora modifica el desplazamiento de aire en el entorno próximo de trabajo, por lo que la velocidad del viento se corrige mediante un factor que se calcula a partir del consumo metabólico. El método viene descrito en la norma UNE-EN ISO 11079:2009.

Todas las personas han sentido alguna vez una sensación de que la temperatura es menor que la medida en el termómetro por efecto del viento. La temperatura de enfriamiento por el viento se define como aquella temperatura ambiente que en condición de calma produce el mismo enfriamiento de las superficies expuestas de la piel que el producido bajo las condiciones ambientales reales.

Se considera como condición de calma cuando la velocidad del viento es menor o igual a 1,16 m/s, es decir, 4,2 Km/h.

Su valor se calcula mediante una ecuación¹¹ que la relaciona con la temperatura ambiente y con la velocidad del viento medida a 10 metros sobre el nivel del suelo. Si se mide a nivel de suelo, debe multiplicarse por 1,5. También se encuentra tabulada en la norma y sus resultados categorizados en 4 niveles de riesgo, cuyos efectos corresponden a: frío molesto; muy frío; frío intenso y frío extremo.

Clasificación del riesgo	t_{wc} (°C)	Efecto
1	-10 a -24	Frío molesto
2	-25 a -34	Muy frío riesgo de congelación de la piel
3	-34 a -59	Frío intenso riesgo de congelación profunda en 10 min.
4	-60 e inferiores	Frío extremo riesgo de congelación en 2 min.

El método proporciona una tabla que indica el tiempo de congelación de las partes al descubierto en función de la temperatura de enfriamiento.

8. CONTROL DE LAS EXPOSICIONES

Cuando se habla de control de las exposiciones se hace referencia a la monitorización fisiológica del riesgo de sobrecarga térmica. Se realiza en base a:

- las características del personal expuesto, por ejemplo, constitución corporal, edad, sexo, aptitudes físicas, etc.
- su nivel de aclimatación y/o su adaptación al frío
- la higiene alimentaria, y

¹¹ $t_{wc} = 13,12 + 0,6215 \cdot t_a - 11,37 \cdot v_{10}^{0,16} + 0,3965 \cdot t_a \cdot v_{10}^{0,16}$

- el reconocimiento médico.

Por tanto, se trata de un control sobre las funciones vitales del individuo y deberá realizarse por personal sanitario competente.

Se suele recurrir a la monitorización fisiológica en aquellas situaciones en las que la ropa utilizada reduce significativamente la pérdida de calor, es decir, cuando la ropa es no permeable al vapor o se utilizan varias capas de ropa superpuestas, deberán monitorizarse los signos y síntomas del personal expuesto. Algunos de los signos y síntomas que permiten identificar la existencia de sobrecarga térmica y determinar la necesidad de interrumpir la actividad son:

- 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 de la persona ($180 - \text{edad}$).
- 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 (un minuto después del esfuerzo máximo) es mayor de 110 pulsaciones por minuto.
- Si existen síntomas como fuerte fatiga repentina, náuseas, vértigo o mareos.
- Si una persona expuesta al calor aparece desorientada o confusa, o sufre una irritabilidad inexplicable, malestar general o 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.

9. PRINCIPALES MEDIDAS PREVENTIVAS

En este apartado se van a distinguir las medidas preventivas frente a la exposición a ambientes calurosos de aquellas destinadas a prevenir los riesgos derivados de la exposición a ambientes fríos.

1. MEDIDAS PREVENTIVAS FRENTE AL ESTRÉS TÉRMICO POR CALOR

Las principales medidas preventivas para el control de las exposiciones son la reducción de la agresividad térmica del ambiente.

Esto puede realizarse actuando sobre el foco mediante:

- Automatización del proceso. Si la automatización es parcial, esta medida se suele complementar instalando cabinas térmicamente acondicionadas que permiten aislar a la persona del ambiente térmico agresivo, minimizando su exposición al calor.
- Aislamiento de la fuente. De esta forma se impide que el calor del foco pueda emitirse al entorno de trabajo evitando la generación de un ambiente térmico peligroso.

También se puede actuar sobre el medio mediante:

- Instalación de cabinas acondicionadas, antes mencionadas.

- Utilización de pantallas en caso de la presencia de focos de calor radiantes para evitar que la radiación procedente de estos llegue hasta las personas. Las pantallas pueden ser de los siguientes tipos:
 - Pared simple de aluminio brillante o doble con tres centímetros de separación que permita la circulación y evacuación del aire.
 - Pared traslúcida de vidrio opaco al infrarrojo, o bien
 - Entramados metálicos de malla pequeña.
- Reducción de aportes externos de calor mediante:
 - Paredes y techos opacos, mejor dobles con alto coeficiente de reflexión por láminas de aluminio, cobre o tratamientos de pintura.
 - Colocación de toldos, persianas,
 - Doble vidrio o vidrios opacos al infrarrojo, mejor con una hoja de cobre en el interior.
 - Extracción localizada de gases calientes.
- Ventilación general. Lograr una velocidad de aire elevada que favorezca la evaporación del sudor, requiere que la humedad del aire no sea muy alta. Se puede utilizar deshumidificador, o bien, ventilar con aire exterior más seco. En todo caso, la temperatura del aire debe ser inferior a 35 °C para que permita la pérdida de calor por convección. Si el aire está a más de 35 °C, el efecto sería contraproducente. El aire exterior debe penetrar por la parte de abajo y el aire caliente salir por la de arriba. Para ambientes con temperatura y humedad elevadas, la solución podría ser la utilización de sistemas de climatización.

Se pueden adoptar medidas organizativas, entre las que destacan:

- Priorizar la participación del personal que está en el puesto de trabajo, ya que son quienes mejor conocen las tareas y las circunstancias que rodean su labor.
- En el caso de trabajos al aire libre, planificar las actividades considerando las condiciones meteorológicas previstas por AEMET o, en su caso, por el órgano de la Comunidad Autónoma que corresponda, incluyendo la posibilidad de reducir o modificar las horas de desarrollo de la jornada prevista.
- Disponer de un sistema de comunicación y control, favoreciendo el trabajo entre dos personas, especialmente en lugares alejados del resto de puestos de trabajo. En caso de trabajos en situación de soledad y aislamiento, se debe considerar el uso de dispositivos "hombre muerto" que envíen señal de alarma en caso de inmovilización prolongada.

Como último recurso, o bien complementariamente a las anteriores cuando no sean suficientes, se puede actuar sobre el individuo:

- Reduciendo la actividad física y por tanto la carga metabólica.
- Empleando medios mecánicos que aligeren la carga metabólica.
- Disminuyendo el tiempo de exposición. Se puede reducir el tiempo de exposición bien mediante la rotación de personas trabajadoras, pero implicaría un aumento del número de personas expuestas; o bien, propiciando descansos en ambientes frescos que, además permitan la recuperación del individuo.

En los descansos se suministrarán bebidas refrigeradas entre 10 y 15°C, evitando el alcohol y la cafeína. La alimentación deberá ser rica en sal y sin muchas calorías.

La exposición repetida y gradual a las condiciones calurosas hace que se desarrollen mecanismos fisiológicos de adaptación que mejoran la tolerancia del organismo al calor. En esto se basa, precisamente, el entrenamiento para la aclimatación al calor y debe de preceder a la exposición al mismo. La aclimatación se logra en un periodo de tiempo breve (una semana) pero se pierde por incremento de la actividad, de la carga ambiental o bien de una ausencia prolongada, del orden de 3 semanas. En estos casos, se procederá a nueva aclimatación.

Los mecanismos fisiológicos que se desarrollan para mejorar la tolerancia al calor son los siguientes:

- Menor ritmo cardiaco,
- sudoración más abundante y a más bajas temperaturas, y
- menor concentración salina en el sudor.

Por último, se debe utilizar ropa ligera evitando ropa impermeable. También se pueden utilizar EPI que dispongan de algún medio de climatización interno, tales como:

- Trajes aluminizados, que reflejan el calor transmitido por radiación, por ejemplo, en proximidad de material fundido.
- Trajes provistos de refrigeración por agua o aire. Existen chalecos con burbujas rellenas de hidrogeles que absorben el calor del cuerpo al evaporarse, o también rellenas de sales que se licuan, absorbiendo el calor latente necesario para el cambio de estado de la piel de la persona expuesta a calor. Este tipo de traje es adecuado para calor convectivo.

Estas prendas solo son apropiadas para cortos periodos de tiempo, justo el necesario para realizar operaciones concretas de inspección o mantenimiento.

Por ejemplo, en el caso de puestos de trabajo que implican la utilización de hornos de fundición es habitual que se disponga de salas de control térmicamente acondicionadas, desde la que se pilotan mediante automatismos la mayoría de las tareas. De esta forma, se minimizan las operaciones que solo se pueden realizar fuera de la sala de control y en proximidad del horno o del material fundido y, por tanto, con exposición al calor radiante. Para estas operaciones puntuales con riesgo de estrés térmico por calor debe utilizarse trajes aluminizados y, para las operaciones que pueden realizarse automáticamente, debe permanecerse en la sala de control térmicamente acondicionada que, además, permitirá la recuperación de la persona expuesta.

En este ejemplo se han combinado medidas preventivas que actúan sobre los distintos ámbitos. Se ha automatizado el proceso, aunque sea parcialmente, actuando sobre el foco. Por otro lado, se ha actuado sobre el medio al disponer de una sala de control aislada y con climatizador, desde donde se realizan la mayoría de las tareas y, por último, se actúa sobre el individuo al proporcionarle trajes aluminizados para aquellos trabajos que sólo puedan hacerse fuera de dicha sala. También, como medida individual, se podría recurrir a un entrenamiento para la aclimatación de las personas al calor y mejorar su tolerancia al mismo.

2. MEDIDAS PREVENTIVAS FRENTE AL ESTRÉS TÉRMICO POR FRÍO

Las medidas preventivas frente a las exposiciones al frío pueden ser de tres tipos:

➤ Medidas técnicas en los lugares de trabajo.

En general:

- Disponer de locales de descanso calefactados, pero evitando el sobrecalentamiento, en los que se pueda consumir bebidas calientes.
- Colocar aislamiento en superficies metálicas y diseñar equipos que puedan usarse con guantes.
- Utilizar mecanismos automáticos que permitan evitar el contacto con partes frías, o incluso, la proximidad a espacios fríos.

En el caso específico de las cámaras frigoríficas u otras instalaciones de frío algunos ejemplos de medidas técnicas de diseño son:

- Permitir las aperturas de las puertas de las cámaras frigoríficas desde el interior en cualquier situación.
- Disponer de un sistema de alarma, por si accidentalmente alguna persona se queda encerrada en su interior.
- Instalar un sistema de ventilación que garantice una velocidad de aire inferior a 0,2 m/s² y que evite la condensación.

➤ Medidas de organización del trabajo. Al igual que se ha mencionado en apartado anterior, se pueden adoptar las siguientes medidas:

- Priorizar la participación del personal que está en el puesto de trabajo.
- En el caso de trabajos al aire libre, planificar las actividades considerando las condiciones meteorológicas previstas.
- Disponer de un sistema de comunicación y control, favoreciendo el trabajo entre dos personas, especialmente en lugares alejados del resto de puestos de trabajo.

➤ Medidas preventivas personales, que se basan en el control del balance térmico del cuerpo:

- Reducir la pérdida de calor, mediante el uso de ropa de protección caracterizada por su aislamiento térmico y su protección frente a la humedad, el aislamiento de superficies expuestas al contacto con partes del cuerpo humano, y la disminución al mínimo posible del tiempo de exposición. En el caso de las cámaras de refrigeración y congelación debe respetarse las pausas establecidas en el Real Decreto 1561/1995 de jornadas especiales.
- Incrementar el calor generado en el interior del cuerpo, aumentando la actividad muscular en la medida que las circunstancias laborales lo permitan.
- Aumentar el calor externo a partir de la instalación de sistemas de calefacción auxiliares en los propios equipos de protección, o bien del establecimiento de pausas en locales climatizados que permitan calentarse e ingerir bebidas calientes.
- Formar a las personas trabajadoras sobre los riesgos que entraña el frío y la detección de los signos de congelación.