

Estrés por frío (II)

Cold stress (II)
Contrainte liée au froid (II)

Autor:

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT)

En esta NTP, que es la 2ª parte de la dos que figuran bajo el título de "Estrés por frío", se afronta la evaluación del riesgo de estrés por frío, de acuerdo a la UNE-EN ISO 11079:2009.

Elaborado por:

Eugenia Monroy Martí
MC PREVENCIÓN

Pablo Luna Mendaza

CENTRO NACIONAL DE
CONDICIONES DE TRABAJO

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

Siguiendo el esquema de actuación frente a una situación de estrés por frío de la primera parte de la NTP (*figura 1*), la evaluación de estrés por frío se realiza con el *método del aislamiento requerido de la ropa (IREQ)* y los *efectos del enfriamiento local* descritos en la normativa UNE-EN ISO 11079. Tal como se indica, el estrés por frío puede evaluarse desde el punto de vista del enfriamiento general del cuerpo o a través de la evaluación del enfriamiento localizado en algunas partes del cuerpo (diferentes tipos: extremidades, cara, etc.).

En el caso del enfriamiento general, el método se basa en el cálculo del intercambio de calor, de la resistencia térmica de la ropa requerida para mantener el equilibrio térmico (qué tipo de ropa mínima o necesaria se necesita en función del grado de sobrecarga fisiológica al frío) y también del cálculo corregido de la resistencia térmica que se utiliza (qué tipo de ropa estoy utilizando). A través de la comparación de estos dos últimos valores de resistencia térmica de la ropa se determina el grado de riesgo, así como tiempos de exposición y recuperación. La diferencia principal respecto a la metodología anterior (ISO TR 11079:1993 – NTP 462) es la incorporación de más variables (aislamiento de la capa de aire, velocidad del aire, etc.) al cálculo de la resistencia térmica del vestido (Icl,r).

En el caso del enfriamiento local, la evaluación del riesgo se realiza según diversas metodologías: enfriamiento convectivo (efecto del viento), enfriamiento de las extremidades, enfriamiento por conducción y enfriamiento del tracto respiratorio.

2. EVALUACIÓN DEL RIESGO POR ENFRIAMIENTO GENERAL

En la determinación del riesgo por enfriamiento general los factores determinantes son las características térmicas de la ropa, el calor que produce el cuerpo y las con-

diciones ambientales (parámetros físicos). Por lo que para la aplicación de la metodología es necesario conocer:

- **Características físicas del ambiente estimadas o medidas** según UNE-EN ISO 7726:2002. Temperatura del aire, temperatura radiante media (temperatura de globo), velocidad del aire y humedad relativa (A bajas temperaturas, se recomienda utilizar un valor estándar de 50% por debajo de -5 °C).
- **Tipo de actividad en el trabajo** de los individuos expuestos, expresado con la tasa metabólica estimada según UNE-EN ISO 8996:2005, y el ritmo de trabajo externo (para la mayoría de tipos de trabajo manual y de movimientos a ras del suelo, el ritmo suele ser considerado 0).
- **Aislamiento térmico de la ropa** de protección frente al frío utilizado, según UNE-EN ISO 15831:2004 o según las tablas correspondientes de la EN ISO 9920:2009.

A partir de la ecuación de balance térmico se obtiene el aislamiento requerido de la ropa (IREQ) para mantener dicho balance según los criterios de sobrecarga fisiológica (elevada o baja). El valor de IREQ obtenido se compara con el nivel de protección que ofrece la ropa que utiliza el trabajador. Si la ropa que utiliza presenta una resistencia térmica menor que la requerida se calcula el tiempo límite de exposición.

De esta forma, el IREQ permite medir el nivel de riesgo producido por el efecto combinado de la producción de calor interno derivado de la actividad metabólica y el intercambio de calor con el ambiente exterior. Cuanto más severas sean las condiciones ambientales respecto al frío, el valor del IREQ será más alto independientemente de la actividad metabólica. En cambio, dadas unas condiciones de frío, el valor de IREQ se reducirá cuanto mayor sea la actividad metabólica.

La evaluación del equilibrio térmico y el cálculo del aislamiento requerido se aplican a una persona media tal como sucede con la mayoría de modelos matemáticos de evaluación de la exposición térmica. Por lo que es importante destacar que los valores obtenidos son orientativos y se debe ajustar cada tipo de ropa según las

experiencias y necesidades de cada individuo, debido a que las características individuales (respuesta fisiológica, costumbres de tipo de ropa, etc.) influyen notablemente.

De todas formas, la aplicación de la metodología está sujeta a los valores de los siguientes parámetros:

- Temperatura del aire (seca) menor a 10°C.
- Velocidad del aire entre 0,4 m/s y 18 m/s.
- Resistencia térmica de la ropa (I_{cl}) superior a 0,078 m²K/W (0,5 clo).

Ecuación balance térmico

De manera equivalente al método de sobrecarga térmica en los casos de estrés térmico, la ecuación del balance térmico de calor que se debe cumplir para el cálculo del aislamiento de la ropa requerido es la siguiente:

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

Siendo M la actividad metabólica del trabajo, W es la potencia mecánica (despreciable en la mayoría de casos), E_{res} y C_{res} representan los intercambios de calor que se producen a través de la respiración por convección y evaporación respectivamente, C y R representan los intercambios de calor que se producen en la piel mediante convección y radiación, K representa el intercambio de calor por conducción (a pesar de que tiene importancia para el balance térmico local, es despreciable respecto al intercambio de calor por convección y radiación), E representa los intercambios de calor que se producen a través de la evaporación y S es el almacenamiento de calor en el cuerpo (para el cálculo de la IREQ será 0 para mantener la situación en la que no hay pérdida ni ganancia de calor, es decir, el balance térmico).

Tanto los términos de intercambio de calor por respiración (E_{res} y C_{res}), como los que se producen por convección y radiación (C y R) se calculan mediante expresiones equivalentes a las utilizadas en el método de evaluación al frío ISO TR 11079:1993 descrito en la NTP 462.

En el caso del cálculo del intercambio de calor por respiración (E), la expresión también es similar pero con el matiz de incorporar en la variable $R_{e,t}$ (resistencia evaporativa total de la ropa y de la capa de aire) el aislamiento de la capa límite de aire entre el tejido y la piel, no únicamente el aislamiento de la ropa como sucedía en la expresión del método anterior:

$$E = (p_{sk} - p_a) / R_{e,T}$$

Donde p_{sk} es la presión de saturación del vapor de agua a la temperatura de la piel, p_a (presión parcial del vapor de agua) y $R_{e,T}$, como se ha comentado, es la resistencia evaporativa total de la ropa y de la capa límite de aire (que se calcula a partir del aislamiento térmico de la ropa y de su permeabilidad al vapor de agua).

$$R_{e,T} = 0,16 \cdot \left[\frac{I_{a,r}}{f_{cl}} \right] + I_{cl,r}$$

Donde $I_{a,r}$ es el aislamiento térmico resultante de la capa de aire (entre la ropa y la piel), f_{cl} , factor de superficie de la ropa y $I_{cl,r}$, el aislamiento térmico resultante o corregido de la ropa.

Determinación del aislamiento resultante de la ropa (inclusión aislamiento capa de aire)

El aislamiento básico que proporciona la normativa técnica (EN ISO 9920:2009) corresponde al aislamiento real proporcionado en condiciones estáticas y sin viento (en

un maniquí térmico estático). Los movimientos del cuerpo y el viento provocan cambios en las capas de aire fijas y reducen el aislamiento de la ropa. Asimismo, la permeabilidad al aire de los tejidos (materiales impermeables al viento son menos sensible al efecto del frío), el diseño y fabricación de las prendas, el tipo de actividad que desarrolla el trabajador y la manera en que uno se coloca la ropa también influyen en el aislamiento real.

La incorporación más significativa respecto a la anterior metodología de evaluación del frío es el nuevo cálculo del aislamiento térmico resultante o corregido de la ropa ($I_{cl,r}$), en el que se incorporan junto con las condiciones reales de utilización (efecto de la penetración del aire y la actividad), el efecto del anteriormente mencionado del aislamiento de la capa límite de aire:

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

Donde $I_{cl,r}$ es el aislamiento corregido de la ropa, v_a es la velocidad de 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.

Esta corrección considerando el viento, la actividad y la permeabilidad al aire de la capa externa proporciona un valor del aislamiento térmico de la ropa que permite una comparativa más realista con el valor requerido de ropa (IREQ). Es importante considerar que el IREQ calculado se refiere a una repartición homogénea de la ropa sobre el cuerpo, por lo que no implica necesariamente que las extremidades se mantengan calientes (debe evaluarse por separado, *ver evaluación de riesgo por enfriamiento local*).

En definitiva, la fórmula anterior permite obtener un valor más realista del aislamiento que proporciona la ropa dadas unas condiciones ambientales y actividad metabólica determinada. Y también permite obtener un valor de ropa necesaria dado un IREQ determinado. De manera adicional, también se utiliza el valor de ropa corregido con el fin de calcular el tiempo límite de exposición (D_{lim}).

Determinación e interpretación del aislamiento requerido de la ropa (IREQ).

De forma análoga a lo que sucedía con la anterior metodología de evaluación de estrés al frío, se obtiene el valor del aislamiento requerido de la ropa (IREQ). Por lo que partiendo de la ecuación de balance térmico anterior y en la que el flujo de calor seco (R+C) hasta la superficie de la ropa depende del aislamiento térmico de la ropa y del gradiente de temperatura entre las superficies de la piel y de la ropa se obtiene:

$$\frac{T_{sk} - T_{cl}}{I_{cl,r}} = R + C = M - W - E_{res} - C_{res} - E - S$$

Considerando que el índice IREQ es el valor de aislamiento térmico resultante ($I_{cl,r}$) que garantiza que no hay pérdida neta de calor en el cuerpo ($S = 0$), se obtiene la siguiente expresión que se resuelve por iteración o a través del programa informático que se indica posteriormente para obtener el valor del aislamiento de ropa requerido (IREQ):

$$T_{cl} = T_{sk} - IREQ \cdot (M - W - E_{res} - C_{res} - E - S)$$

Tal como se ha comentado en el párrafo anterior, el requisito para el cálculo del IREQ es que se mantenga el

balance térmico ($S=0$), pero esto no significa que la situación sea confortable para el trabajador. El equilibrio térmico del cuerpo puede obtenerse a diferentes niveles de sobrecarga fisiológica: alta o baja (ver primera parte NTP). Estos niveles de sobrecarga fisiológica están definidos mediante los valores de la temperatura media de la piel, de la sudoración (humedad de la piel) y de la variación de la temperatura corporal. La situación de confort térmico implica que los valores de la temperatura de la piel y la evaporación del sudor estén acotados entre ciertos límites (ver tabla 1).

De esta forma, para la evaluación de la exposición al frío se propone el cálculo del índice IREQ en las 2 situaciones:

- IREQ min (evaluación al frío según sobrecarga fisiológica alta): representa el aislamiento térmico del vestido resultante ($I_{cl,r}$) mínimo para evitar el enfriamiento general del cuerpo, en el que el equilibrio térmico se mantiene por vasoconstricción de la piel y de las extremidades. Esta situación se alcanza cuando el equilibrio térmico no se puede mantener a un nivel de sobrecarga bajo.
- IREQ neutro (evaluación al frío según sobrecarga fisiológica baja): además de evitar el enfriamiento general del cuerpo proporciona confort térmico.

Enfriamiento general	Sobrecarga alta	Sobrecarga baja
IREQ	mínimo	neutro
T_{sk} (°C)	$T_{sk} = 33,34 - 0,0354 \cdot M$	$T_{sk} = 35,7 - 0,0285 \cdot M$
w	0,06	$w = 0,0001 \cdot M$
D_{lim}	largo	corto
Q_{lim} (KJ/m ²)	144	144

Tabla 1. Criterios fisiológicos de enfriamiento general

El principal objetivo del método IREQ consiste en analizar si la ropa seleccionada ofrece un aislamiento suficiente como para mantener un equilibrio térmico determinado. Por lo que una vez obtenidos los valores de IREQ, se obtienen para cada criterio (mínimo o neutro) el aislamiento de la ropa necesario ($I_{cl,min}$ e $I_{cl,neutro}$) y comparándolos con el valor de ropa utilizado (I_{cl}) se pueden dar tres situaciones (ver tabla 2).

Tal como se indica en el cuadro, un aislamiento térmico excesivo de la ropa respecto del valor requerido (IREQ neutro), en particular en el caso de una actividad intensa, da lugar a un aporte de calor excesivo. La sudoración asociada, la absorción del sudor y el progresivo aumento de humedad de las capas de la ropa, disminuyen las propiedades aislantes y pueden poner en peligro el adecuado equilibrio térmico durante una exposición prolongada al frío. En tales condiciones, se recomienda que las personas tengan acceso a ropa adicional para cambiarse y/o a un refugio con calefacción para pausas y descanso.

Cálculo del tiempo máximo de exposición y tiempo de recuperación

En aquellos casos en los que la ropa que utiliza el trabajador corregida según las condiciones de utilización ($I_{cl,r}$) sea inferior al aislamiento térmico requerido IREQ, se produce un enfriamiento progresivo del cuerpo por lo que debe limitarse la exposición (calcular D_{lim}).

Para el cálculo de D_{lim} se considera el tiempo máximo de exposición según la ropa que utiliza el trabajador, es decir, corresponde al tiempo necesario para perder 144 kJ/m² de calor (Q_{lim}). En el inicio de la exposición (durante 20-40 min), se produce esta pérdida de calor periférica comentada (piel y extremidades). Posteriormente se equilibra la temperatura del cuerpo para los valores de sobrecarga fisiológica alta y no existe almacenamiento de calor.

De esta forma, el valor de D_{lim} se calcula mediante la ecuación:

$$D_{lim} = \frac{Q_{lim}}{S}$$

Donde Q_{lim} corresponde a una pérdida de 144 KJ/m² y S (almacenamiento de calor) se calcula por iteración considerando las expresiones de la ecuación de balance térmico y de la suma del calor seco (R+C).

El valor límite de exposición (D_{lim}) se recomienda calcularlo a partir del valor del IREQ_{neutro} y valorar una reducción del tiempo cuando el trabajador ya haya sufrido cierta pérdida de calor en el inicio de la exposición.

Tras una exposición al frío en la que se ha producido un enfriamiento general del cuerpo, es decir, cuando nos encontramos en la zona neutra ($I_{cl,r} < IREQ_{neutro}$) se puede calcular el tiempo de recuperación para restablecer el equilibrio térmico. En este caso, se calcula de manera equivalente al tiempo límite de exposición pero consi-

VALORACIÓN	EFFECTO	ACCIONES
$I_{cl} > I_{cl,neutro}$	Zona cálida o sobrecalentada: Aislamiento excesivo por lo que hay riesgo de sobrecalentamiento, sudoración excesiva y absorción de humedad por la ropa, que asila menos de lo previsto.	Se debe reducir el nivel de aislamiento de la ropa.
$I_{cl,min} < I_{cl} < I_{cl,neutro}$	Zona neutra: La ropa utilizada proporciona un aislamiento térmico adecuado. La percepción es de "ligeramente frío" hasta "neutro". Cuando I_{cl} es inferior a $I_{cl,neutro}$, el cuerpo no puede mantener el equilibrio de forma prolongada.	<ul style="list-style-type: none"> • No se requiere acción alguna respecto al enfriamiento general. Se debe realizar la evaluación del enfriamiento local. • Cálculo de D_{lim} (tiempo exposición antes de llegar a sobrecarga baja) y también del tiempo de recuperación (D_{rec}).
$I_{cl} < I_{cl,min}$	Zona fría: La ropa utilizada no evita el enfriamiento del cuerpo, por lo que el aislamiento térmico es insuficiente y aumenta el riesgo de hipotermia.	Existen 2 posibilidades: <ul style="list-style-type: none"> • Incrementar el aislamiento de la ropa. • Limitar la exposición (cálculo D_{lim}).

Tabla 2. Criterios de valoración

derando las condiciones ambientales y del tipo ropa (si existe cambio) de la zona de recuperación:

$$D_{\text{rec}} = \frac{Q_{\text{lim}}}{S}$$

Donde Q_{lim} es el mismo valor que el utilizado para D_{lim} , pero en este caso positivo (ganancia), ya que es el valor necesario de calor para que el cuerpo recupere el equilibrio térmico y vuelva a las condiciones anteriores. En el caso de cambio de ropa durante la recuperación debe efectuarse un nuevo cálculo para el IREQ.

3. EVALUACIÓN DEL RIESGO POR ENFRIAMIENTO LOCAL

En el caso del enfriamiento local, los principales efectos se observan en una falta de destreza y habilidades manuales que provocan molestias y que afectan especialmente a las manos, pies y cabeza. Con el fin de evaluar dicho riesgo, se utilizan varios métodos descritos a continuación y que permiten valorar de forma más global y precisa los posibles efectos. Se recomienda la evaluación del riesgo por enfriamiento local en aquellos casos en los que se ha evaluado el enfriamiento general y la ropa ha resultado adecuada, ya que a pesar de que se mantiene el balance térmico, puede existir riesgo de frío local.

Asimismo también se incluyen los criterios fisiológicos que permiten valorar el enfriamiento local en función de la metodología utilizada (ver tabla 3).

Enfriamiento local	Sobrecarga alta	Sobrecarga baja
Temperatura de enfriamiento por el viento, t_{wc} (°C)	-30	-15
Temperatura de los dedos (°C)	15	24
Vías respiratorias		
• Actividad baja ($M \leq 115 \text{ w/m}^2$)	$T_a = -40 \text{ °C}$	$T_a = -20 \text{ °C}$
• Actividad alta ($M > 115 \text{ w/m}^2$)	$T_a = -30 \text{ °C}$	$T_a = -15 \text{ °C}$

Tabla 3. Criterios fisiológicos de enfriamiento local

Enfriamiento local por convección

Las pérdidas de calor se aceleran por la combinación de las bajas temperaturas y la acción del viento que incrementan el enfriamiento sobre la piel. Las partes que no se encuentran protegidas o cubiertas por la ropa (por ejemplo la cara o las manos) son las más susceptibles a sufrir la acción del viento y pueden enfriarse muy rápidamente. Con el fin de determinar dicho efecto, se determina la **temperatura de enfriamiento por el viento (t_{wc})**, que corresponde a la temperatura ambiente a la que, para un viento de 4,2 km/h, produce la misma sensación que las condiciones ambientales reales, es decir, describe el efecto refrigerante sobre la piel. Se determina mediante la siguiente expresión matemática:

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

Donde T_a (temperatura del aire), v_{10} se define como el valor meteorológico normalizado medido a 10 m sobre el

nivel del suelo (se obtiene mediante estaciones y previsiones meteorológicas, o multiplicando 1,5 por la velocidad local del viento a nivel del suelo (v_a)).

En la tabla 4 se indica la valoración del riesgo en función de los valores obtenidos de temperatura de enfriamiento por el viento (t_{wc}):

Clasificación del riesgo	t_{wc} (°C)	Efecto
1	-10 a -24	Frío molesto (sobrecarga baja límite -15 °C).
2	-25 a -34	Muy frío, riesgo de congelación de la piel (Sobrecarga alta límite -30 °C).
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.

Tabla 4. Valoración del riesgo por enfriamiento local por convección (efecto del viento)

Enfriamiento local por conducción

En estos casos se evalúa el intercambio de calor inmediato entre la piel caliente y una superficie fría, que puede llegar a producir una sensación desagradable o daño local al frío (quemaduras) en función de la temperatura de la superficie. Este riesgo de enfriamiento local por conducción/contacto debe evaluarse conforme a lo establecido en la norma UNE-EN ISO 13732-3:2008.

Enfriamiento local de las extremidades

Las extremidades, concretamente las manos, pueden sufrir enfriamiento a pesar de que las condiciones térmicas generales sean neutras respecto al frío. Esto es debido a que el aporte calorífico de la circulación sanguínea depende mucho del equilibrio térmico en conjunto. En aquellos casos en los que el balance térmico es negativo (ropa insuficiente), como respuesta a esta situación, el cuerpo disminuye la circulación periférica (a las extremidades) debido a la vasoconstricción, por lo que el aporte de calor es muy bajo a dichas zonas. De esta forma, los dedos de las manos y de los pies, que son las partes más periféricas, empezarán a enfriarse progresivamente.

Este enfriamiento progresivo de las manos y pies pueden reducirse o dificultarse a través de la utilización de guantes, calcetines y calzado aislante. En la NTP 940 "Ropa y guantes de protección contra el frío" se especifican las características de guantes y ropa de protección frente al frío.

Enfriamiento local por tracto respiratorio

La inhalación de aire a baja temperatura, enfría las membranas y mucosas de las paredes del tracto respiratorio superior y puede llegar a dañar los tejidos (inflamación). El enfriamiento de las vías respiratorias se incrementa con la actividad física, ya que el volumen de aire frío que entra principalmente por la boca es más alto (se necesita mayor aporte de oxígeno). De esta forma, tal como se observa en la tabla 3, los criterios fisiológicos de valoración se encuentran establecidos en función de la actividad o consumo metabólico.

El enfriamiento de las vías respiratorias se evalúa considerando la temperatura mínima del aire recomendada que debe aspirarse. A temperaturas inferiores a -15 °C, se recomienda el empleo de protección respiratoria para niveles de actividad altos (que requieren un volumen de ventilación aumentado). A temperaturas inferiores a -30 °C se recomienda el empleo de protección respiratoria.

4. EJEMPLOS DE EVALUACIÓN DEL FRÍO

Exposición continua al frío: Evaluación enfriamiento general y local

Los cálculos del IREQ, del tiempo límite (D_{lim}) y de los tiempos de recuperación (D_{rec}), así como el cálculo de twc se han realizado a través del programa

Calculation of Required Clothing Insulation (IREQ), Duration Limited Exposure (D_{lim}), Required Recovery Time (Rt), and Wind Chill Temperature (twc). IREQ 2007 ver 4.1, Hakan O. Nilsson and Ingvar Holmer. En la dirección <http://wwwold.eat.lth.se>

El programa de cálculo requiere la temperatura radiante media pero se puede utilizar la temperatura de globo, ya que en condiciones de bajas temperaturas, ambas variables son equivalentes.

Exposición intermitente al frío: Evaluación enfriamiento general

Habitualmente el trabajo en zonas de frío se suele organizar en intervalos de tiempo de trabajo en zonas frías a diferentes temperaturas y con diversos niveles de actividad en función de la tarea. A la hora de realizar la evaluación al frío se debe prestar especial atención los siguientes intervalos:

- El intervalo que denominamos “**más frío**”, debido a la actividad menos intensa o la temperatura más baja. Se realiza el cálculo de la ropa necesaria para mantener

el equilibrio térmico y se compara con la ropa utiliza, en caso de ser inferior se calcula la exposición recomendada (D_{lim}).

- El intervalo “**más cálido**”, definido por la actividad más intensa o la temperatura más alta. De manera análoga, se calcula la ropa necesaria y se compara con la ropa utilizada para así determinar si se puede mantener el equilibrio térmico o no (calcular D_{lim} en este último caso).

En estos casos en los que se alternan tareas a diferentes temperaturas, es necesario un tipo de ropa que permita ajustes dentro del rango de aislamiento térmico necesario/duración de la exposición. Asimismo, también se requiere que las capas externas sean fáciles de abrir/cerrar y de poner y quitar, para poder reducir el aislamiento y mantener el equilibrio térmico del cuerpo. La retirada de una prenda exterior aislante puede corresponder a una disminución del aislamiento térmico básico de 1 clo o más.

Existe la posibilidad también de calcular un valor de IREQ ponderado en el tiempo, especialmente para considerar el tipo de ropa que se necesita cuando existe mucha diferencia entre el tiempo que pasa en la zona fría respecto a la zona más cálida. De esta forma, en el caso de exposiciones intermitentes, el IREQ se calcula para cada tipo de trabajo (incluyendo el descanso) y posteriormente se calcula la ponderación con el tiempo para un mínimo de 1 hora. En estos casos, el tiempo individual de exposición dependerá de la organización del trabajo de la empresa y del tipo de actividad, pero debería ser como mínimo de 15 minutos.

$$IREQ_{ponderado} = \frac{\sum_{i=1}^n IREQ_i \cdot t_i}{60}$$

Donde $IREQ_i$ corresponde al IREQ calculado para cada situación y t_i el tiempo de exposición de cada situación en minutos.

EJEMPLO 1

DATOS DE LA EXPOSICIÓN AL FRÍO					
T_a (°C)	T_{globo} (°C)	V_a (m/s)	M (W/m ²)	I_{cl} (clo)	T dedos (°C)
0	0	2	90	2,5	---
ENFRIAMIENTO GENERAL					
IREQ _{min}	IREQ _{neutro}	$I_{cl\ min}$	$I_{cl\ neutro}$	Valoración	D_{lim}
2,2	2,6	2,7	3,1	$I_{cl} < I_{cl\ min}$ (2,5 < 2,7) Ropa insuficiente	2,6 horas
Si condiciones de recuperación son: T_a y $T_{globo} = 25$ °C, $v_a = 0,1$ m/s, sin caminar y $I_{cl} = 1,5$ clo Tiempo de recuperación $D_{rec} = 0,9$ horas					
ENFRIAMIENTO LOCAL					
No es necesaria la evaluación del enfriamiento local en estas condiciones, ya que se debe incrementar el aislamiento de la ropa y, posteriormente cuando la ropa sea la adecuada se puede proceder a realizar la evaluación.					

NOTA: HR = 85% y permeabilidad de la ropa 8 l/m²s

EJEMPLO 2

DATOS DE LA EXPOSICIÓN AL FRÍO					
T_a (°C)	T_{globo} (°C)	V_a (m/s)	M (W/m ²)	I_{cl} (clo)	T dedos (°C)
-20	-20	2	115	4,2	---
ENFRIAMIENTO GENERAL					
IREQ _{min}	IREQ _{neutro}	$I_{\text{cl min}}$	$I_{\text{cl neutro}}$	Valoración	D_{lim}
3	3,3w	3,6	4,0	$I_{\text{cl}} < I_{\text{cl neutro}}$ (4,2 > 4) Exceso de ropa	Mayor 8 horas
No aplica tiempo de recuperación					
ENFRIAMIENTO LOCAL					
No es necesaria la evaluación del enfriamiento local en estas condiciones, ya que se debe reducir el aislamiento de la ropa y, posteriormente cuando la ropa sea la adecuada se puede proceder a realizar la evaluación.					

NOTA: HR = 85% y permeabilidad de la ropa 8 l/m²s

EJEMPLO 3

DATOS DE LA EXPOSICIÓN AL FRÍO					
T_a (°C)	T_{globo} (°C)	V_a (m/s)	M (W/m ²)	I_{cl} (clo)	T dedos (°C)
-10	-10	5	165	2,5	22
ENFRIAMIENTO GENERAL					
IREQ _{min}	IREQ _{neutro}	$I_{\text{cl min}}$	$I_{\text{cl neutro}}$	Valoración	D_{lim}
1,5	1,8	2,2	2,7	$I_{\text{cl min}} < I_{\text{cl}} < I_{\text{cl neutro}}$ (2,2 < 2,5 < 2,7) Ropa adecuada	4 horas
Se calcula tiempo de recuperación puesto que la situación si se prolonga en el tiempo tiende a la sobrecarga alta. Si condiciones de recuperación son: T_a y $T_{\text{globo}} = 25$ °C, $v_a = 0,1$ m/s, sin caminar y $I_{\text{cl}} = 1,5$ clo Tiempo de recuperación $D_{\text{rec}} = 0,9$ horas					
ENFRIAMIENTO LOCAL					
Conducción	Respiratoria	Extremidades	Viento (twc)	Valoración	
No aplica	$T_a > -15$ °C y $M > 115$ W/m ²	$T_{\text{dedos}} < 24$ °C	-14 °C	No Riesgo vías respiratorias. Riesgo extremidades entre sobrecarga alta y baja. Riesgo enfriamiento por viento = Nivel 1 (Frío molesto).	

NOTA: HR = 85% y permeabilidad de la ropa 8 l/m²s

EJEMPLO 4

DATOS DE LA EXPOSICIÓN AL FRÍO						
Tareas	Tiempo exposición (min)	T _a (°C)	T _{globo} (°C)	V _a (m/s)	M (W/m ²)	I _{cl} (clo)
Intervalo más frío	20	-25	-25	1	115	3,5
Intervalo más calor	40	5	5	1	115	3,5
ENFRIAMIENTO GENERAL						
Tareas	IREQ _{min}	IREQ _{neutro}	I _{cl min}	I _{cl neutro}	Valoración	D _{lim}
Intervalo más frío	3,3	3,6	3,7	4	Considerando los 2 intervalos el requerimiento de ropa (I _{cl neutro}) sería entre 4 y 1,7 clo. La ropa que se utiliza es de 3,5 clo resulta una situación de compromiso adecuada entre ambos requerimientos. Pero siempre garantizando que el trabajador puede ajustarse la ropa y retirarla en las zonas con calefacción.	No aplica
Intervalo más calor	1,2	1,5	1,3	1,7		No aplica
ENFRIAMIENTO GENERAL PONDERADO						
$IREQ_{min\ ponderado} = \frac{3,3 \cdot 20 + 1,2 \cdot 40}{60} = 1,9$ $IREQ_{neutro\ ponderado} = \frac{3,6 \cdot 20 + 1,5 \cdot 40}{60} = 2,2$						

BIBLIOGRAFÍA

HOLMÉR I.

Cold stress: Part I – Guidelines for the practitioner.

Int J Ind Ergonomics, 1994; 14: 139-149.

HOLMÉR I.

Cold stress: Part II – The scientific basis (knowledge base) for the guide.

Int J Ind Ergonomics, 1994; 14: 151-159.

HOLMÉR I.

Evaluation of Cold Workplaces: An Overview of Standards for Assessment of Cold Stress.

Ind Health, 2009; 47 (3): 228–234.

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SÉCURITÉ.

Travail au froid.

Paris: INRS; 2009. 13 pp.

MÄKINEN T, HASSI J.

Health Problems in Cold Work.

Ind Health, 2009; 47 (3): 207–220, 2009.

EN ISO 9920:2009.

Ergonomics of the thermal environment - Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble.

UNE-EN ISO 7726:2002.

Ergonomía de los ambientes térmicos. Instrumentos de medida de las magnitudes físicas.

UNE-EN ISO 8996:2005.

Ergonomía del ambiente térmico. Determinación de la tasa metabólica.

UNE-EN ISO 11079:2009.

Ergonomía del ambiente térmico. Determinación e interpretación del estrés debido al frío empleando el aislamiento requerido de la ropa (IREQ) y los efectos del enfriamiento local.

UNE-EN ISO 13732-3:2008.

Ergonomía del ambiente térmico. Métodos para la evaluación de la respuesta humana al contacto con superficies. Parte 3: Superficies frías.

UNE-EN ISO 15831:2004.

Ropa. Efectos fisiológicos. Medida del aislamiento térmico mediante un maniquí térmico.