

Confort térmico en condiciones ambientales de frío: determinación del aislamiento requerido del atuendo mediante método iterativo

Santiago Eloy Rivera Garrido^a

Recibido: 2 octubre 2009
Aceptado: 26 enero 2010

RESUMEN

Objetivo: Diseñar con el programa Excel una herramienta para la determinación del aislamiento requerido del atuendo (IREQ), tiempo máximo de permanencia (T_{\max}) y tiempo de recuperación (T_{rec}) para exposición laboral a frío y aplicarlo a la industria cárnica.

Métodos: Se midieron y comprobaron las condiciones ambientales en una industria cárnica. Se determinó el metabolismo de los puestos a partir de un estudio de tareas y se comparó con el obtenido, mediante seis ecuaciones diferentes, a partir de la frecuencia cardiaca medida en los trabajadores. Para comprobar la efectividad de los métodos, una vez obtenidos los valores de IREQ, T_{\max} y T_{rec} se realizó una medición de la temperatura en la superficie de la piel y de la ropa y una encuesta del grado de satisfacción de los trabajadores.

Resultados: Se observa la mejor concordancia de metabolismos con los datos obtenidos mediante la ecuación de Karvonen modificada y el $\text{VO}_{2\max}$ determinado. La herramienta diseñada permite obtener los valores de IREQ, T_{\max} y T_{rec} . La encuesta arroja resultado de confort térmico con la excepción de una sección de trabajo. La medición de las temperaturas superficiales no siempre resulta eficaz para la comprobación de los datos obtenidos.

Conclusiones: Resulta posible determinar IREQ, T_{\max} y T_{rec} de un puesto de trabajo mediante la herramienta diseñada, conociendo la frecuencia cardiaca y los datos ambientales. Debe mejorarse la exactitud en la determinación de los metabolismos.

PALABRAS CLAVE: frío, percepción, ropa protectora, metabolismo.

THERMAL COMFORT IN COLD ENVIRONMENTS: DETERMINATION OF CLOTHING ISOLATION REQUIREMENTS BY MEANS OF AN ITERATIVE METHOD

ABSTRACT

Objective: To design an Excel-based tool for the determination of clothing isolation requirements (IREQ), maximum exposure time (T_{\max}) and recovery time (T_{rec}) for occupational exposure to cold, and apply it to the meat industry.

Methods: Environmental conditions in a meat factory were measured and verified. Task analysis was used to determine the metabolic demands of jobs, and these were compared to metabolic demand calculations derived from six different equations based on worker heart rates. To verify the effectiveness of the method, once the values of IREQ, T_{\max} and T_{rec} had been obtained, worker skin surface and clothing surface temperatures were measured, together with administration of a satisfaction survey.

^a Servicio de Prevención Mancomunado de MRS Grupo de Empresas.
Cáceres, España

Correspondencia:
Santiago Eloy Rivera Garrido
Calle Profesor Hernández Pacheco, 16, 3ºA, 10002 Cáceres.
Tf 620 402 170
santiago.se@gmail.com

Results: The highest concordances on metabolic rate were obtained with the Karvonen modified equation and derived maximum oxygen consumption (VO_{2max}). The Excel-based tool allowed calculation of IREQ, T_{max} and T_{rec} . The satisfaction survey showed a good level of thermal comfort, with the exception of one department. Measurement of surface temperatures did not always prove to be an effective way of verifying the obtained information.

Conclusions: This tool allows determination of IREQ, T_{max} and T_{rec} in a workplace, based on measurement of heart rate and environmental conditions. There is a need to improve the precision of methods used to determine metabolic rates.

KEY WORDS: cold temperature, perception, protective clothing, metabolism.

INTRODUCCIÓN

El procedimiento para evaluar el riesgo que supone para la salud la exposición laboral a ambientes fríos es relativamente desconocido, ya que el estudio del estrés por frío ha seguido un curso más lento que el del estrés por calor y se ha realizado más recientemente. El modo que se propone para su estimación es la determinación del aislamiento del atuendo requerido (IREQ), que es un término de la ecuación del balance térmico. La resolución de esta ecuación también es necesaria para calcular el tiempo máximo de exposición a un ambiente frío (T_{max}) y el tiempo de recuperación necesario (T_{rec})¹.

Los manuales y notas técnicas más utilizadas para evaluar este riesgo^{1,2} plantean dicha ecuación, pero no ofrecen una manera de resolverla. El cálculo exacto del IREQ, T_{max} y T_{rec} precisa la utilización de un programa informático o calculadora programable. Se dispone de tablas en las que se muestran los valores de IREQ en función de los valores de los parámetros de entrada - velocidad del viento, temperatura del aire y consumo metabólico (M) -, pero los amplios intervalos entre los mismos limitan su aplicabilidad¹.

Existen en el mercado varias aplicaciones informáticas que permiten obtener el IREQ mediante la resolución de la ecuación del balance térmico, como el programa Evalfrío³ desarrollado por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo o el programa de la norma ISO 11079:98⁴.

La determinación de M es un proceso complejo. Existen distintos métodos para su estimación, que se pueden clasificar en dos tipos: los basados en el uso de tablas, que implica aceptar unos valores estandarizados para distinto tipo de actividad, esfuerzo, movimiento, etc., y los basados en parámetros fisiológicos. Dentro del primer grupo, la obtención a partir de los componentes de la actividad es el más preciso, requiriendo un estudio de las tareas. En lo que respecta al segundo grupo, existen básicamente dos variables cuya medición permite la valoración de M: el consumo de oxígeno VO_2 y la frecuencia cardiaca (FC)⁵. El VO_2 , si se desprecian los componentes anaeróbicos de la actividad, presenta una relación de proporcionalidad con M conocida y por lo tanto su medición permite una obtención más directa y sencilla, pero constituye una prueba de laboratorio y resulta poco aplicable a trabajos de campo⁶. En cuanto a la determinación de M a partir de la medición de FC, requiere encontrar la relación entre esta variable y VO_2 ^{7,8}. La medición de FC permite también analizar la penosidad de los puestos de trabajo⁵.

El presente estudio se plantea a consecuencia de las quejas sobre las bajas temperaturas expresadas por varios trabajadores de una industria de elaboración de derivados cárnicos procedentes de ganado porcino de raza ibérica. En el sector

cárnico es frecuente el acceso a cámaras frigoríficas y congeladoras y la permanencia en salas refrigeradas.

El objetivo principal y de carácter general del trabajo realizado es diseñar, con el programa Excel, una herramienta que permita resolver la ecuación del balance térmico, mediante la introducción de las fórmulas de los distintos parámetros y funciones, y la comprobación de su funcionamiento en los distintos puestos de trabajo de una industria de transformación del cerdo ibérico. Esta herramienta llenaría el vacío que supone la inexistencia de un método sencillo y de acceso general para la determinación del IREQ, T_{max} y T_{rec} , permitiendo obtener sus valores mediante la introducción de los datos de partida de un puesto de trabajo, tanto ambientales como de consumo metabólico (M).

Objetivos secundarios del presente trabajo son conocer las condiciones ambientales en que se desarrolla la actividad laboral en el sector cárnico a lo largo de un ciclo climático anual, las tareas realizadas en el sector y sus características organizativas a lo largo de la campaña anual del cerdo ibérico, así como determinar el M asociado a los diferentes puestos de trabajo existentes en el sector cárnico.

MÉTODOS

El estudio fue realizado entre agosto del 2007 y marzo del 2009 en una industria cárnica con una plantilla media de 150 trabajadores. El centro se encuentra situado a 12 Km. de Salamanca, con una temperatura media en enero de 3,6°C. Participaron en el estudio 48 sujetos, 37 hombres y 11 mujeres (edad media 30,9 ± DT 8,6 años). Se obtuvieron previamente los correspondientes consentimientos informados de los participantes.

Una vez desarrollada la herramienta se utilizó para obtener los valores de IREQ, T_{max} y T_{rec} en los puestos de trabajo en estudio. Para ello fue necesaria la obtención previa e introducción en dicha herramienta de los datos ambientales y M. En la Figura 1 se presenta como ejemplo una de las pantallas del archivo Excel en el que se ha generado la herramienta.

Para la toma de datos ambientales, se utilizó un termoanemómetro marca Alnor modelo 9871 (velocidad de la corriente de aire) y un monitor de estrés térmico marca Casella modelo WBGT (temperatura seca y húmeda y humedad), ambos calibrados según ENAC en julio de 2007. Para comprobar el mantenimiento de las temperaturas en las distintas secciones de la fábrica, se acudió a los registros de las sondas de temperatura integradas en el sistema de refrigeración de la planta.

Figura 1. Ejemplo con una ventana de la aplicación informática desarrollada para la determinación del aislamiento requerido del atuendo (IREQ), tiempo máximo de permanencia (T_{max}) y tiempo de recuperación (T_{rec}) para exposición laboral a frío.

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet with the following data:

DATOS A INTRODUCIR POR EL USUARIO		
SECCIÓN DE TRABAJO		
Temperatura seca, ta (°C)	12,1	
Temperatura de globo, tg (°C)	12	
Velocidad del aire, va (m/s)	0,2	
Humedad relativa, HR (%)	74,3	
Actividad metabólica del trabajo, M (W/m ²)	187	
ACCESO A CÁMARA		
Temperatura seca, ta (°C)	1	
Temperatura de globo, tg (°C)	3	
Velocidad del aire, va (m/s)	0,2	
Humedad relativa, HR (%)	50	
Actividad metabólica, M (W/m ²)	148	
Resistencia térmica del vestido, Id (clo)	0,64	
SECCIÓN DE RECUPERACIÓN		
Temperatura seca, ta (°C)	10,8	
Temperatura de globo, tg (°C)	10,15	
Velocidad del aire, va (m/s)	0,2	
Humedad relativa, HR (%)	71,75	
Actividad metabólica, M (W/m ²)	158	
Resistencia térmica del vestido, Id (clo)	0,64	
RESULTADOS		
IREQmin	0,28	
IREQneutral	0,43	
Tmax estrés	0 h	40 min
Tmax confort	0 h	34 min
Trec estrés	1 h	10 min
Trec confort	2 h	35 min

Confort térmico en condiciones ambientales de frío

Los valores de M se determinaron a partir de un estudio de tareas, por un lado, y de la frecuencia cardíaca (FC), por otro. La estimación de M mediante estudio de tareas se realizó a partir de tablas que ofrecen los valores de los términos A (posición y movimiento del cuerpo), B (tipo de trabajo) y C (metabolismo basal)⁵. Cuando la carga dinámica fuera debida a una manipulación manual de cargas, se utilizó un método alternativo para la estimación de la energía gastada en el transporte y en la elevación de las mismas⁹.

Se realizaron, cuando fue posible, un mínimo de tres mediciones de FC para cada uno de los puestos de trabajo a estudiar, empleándose pulsímetros marca Polar modelo RS200 y RS400. En algunos casos, el reducido número de trabajadores que ocupan el puesto (uno o dos) no permitió llegar a las tres mediciones. La colocación de los pulsímetros a los trabajadores se realizó en los últimos minutos del descanso de mitad de jornada, justo antes de que se reincorporaran a su puesto, introduciendo los datos personales del individuo en el equipo antes de iniciar la medición.

La estimación de M a partir de FC se basó en la relación lineal 1:1 establecida entre el tanto por ciento de frecuencia cardíaca de reserva FCR y el tanto por ciento de volumen máximo de oxígeno VO_{2max} (fórmula de Karvonen) o de volumen de oxígeno de reserva VO_{2R} (fórmula de Karvonen modificada)¹⁰. Para aplicar ambas fórmulas es necesario conocer el VO_{2max} de cada trabajador. El método habitual para su obtención directa consiste en someter al individuo a una prueba de esfuerzo máximo que solicitan al límite sus funciones respiratorias y cardíacas. Por estos y otros motivos no fue utilizada en el trabajo realizado, estimándose el valor de VO_{2max} cuando fue posible mediante la prueba de condición física Polar (Polar Fitness Test) incluida en los pulsímetros utilizados. Sin embargo, dado que la realización de esta prueba requiere de varios minutos y que el descanso de mitad de jornada tiene una duración limitada, en la mayor parte de los casos se asume el valor medio existente para el sexo, rango de edad y actividad física del trabajador. Como alternativa a este método, también se obtuvo VO_{2max} a par-

tir de la edad y el peso del individuo de acuerdo con la ecuación obtenida por Gillet en sus estudios¹¹.

Se comunicó a los trabajadores los valores obtenidos mediante la herramienta desarrollada de IREQ, T_{\max} y T_{rec} , en el primer caso informando sobre el conjunto de prendas combinables que lo confiere. Para poner a prueba la efectividad de la herramienta y de los métodos utilizados para determinar M se realizó, por un lado, una encuesta del grado de satisfacción de los trabajadores y, por otro, una medición de temperatura sobre la superficie de la piel (t_{sk}) y de la ropa (t_{cl}).

En cuanto a las temperaturas de superficie, el valor de t_{sk} determina los de IREQ, T_{\max} y T_{rec} calculados, siendo aquel de 30°C para evitar el estrés y 35,8 °C $-(0,0285 \times M)$ para permitir una situación de confort¹. El valor de t_{cl} , por otro lado, ha sido obtenido por la herramienta al realizar las iteraciones y es aquél que cierra la ecuación del balance térmico. Se comprobó su coincidencia con los valores reales mediante la medición y registro simultáneo de éstos, realizada mediante termómetros de contacto modelo TL-309 con 4 canales de entrada y memoria de datos, calibrados según ENAC en julio de 2007, y sensores de superficie tipo K.

La encuesta se basó en los estudios de Fanger, quien definió el Índice de Valor Medio IMV como el promedio de las calificaciones que un grupo de individuos expuestos a un ambiente asignaría a éste de acuerdo con una escala entre +3 (muy caluroso) y -3 (muy frío)¹². En el caso de que se haya conseguido una población que en su conjunto se encuentre en una situación de confort, la proporción de insatisfechos deberá ser del 5%, que es la mínima que se observa en la práctica y se corresponden con un IMV = 0. Se desarrolló un cuestionario específico.

RESULTADOS

Se comprobó que los parámetros ambientales, tanto los registrados por las sondas de temperatura del sistema de refrigeración de la planta como los medidos en la realización del estudio, se mantienen con valores constantes a lo largo del año, aunque hay pequeñas variaciones pero que no parecen estar relacionadas con la climatología exterior (Tabla 1). La excepción es la sección de expedición de fresco, cuyas temperaturas pueden descender cuando las puertas del túnel de frío y cámara congeladora están abiertas. Aunque las temperaturas de consigna de la sección están puestas a 10–12°C, la sonda de control está alejada de la zona que recibe el frío. Como consecuencia de ello, las temperaturas en la sección son del orden de 8°C, pudiendo descender hasta los 2°C.

En cuanto a la determinación del metabolismo M, en la Figura 2 se muestran los resultados obtenidos a partir de FC mediante seis distintas opciones, por un lado, y a partir de estudio de tareas cuando se realizaron al menos dos mediciones de FC, por otro.

Para conocer la adecuación de los distintos métodos de obtener M a partir de FC, se analiza la Figura 2 en la que se observa que, a grandes rasgos, las distintas líneas mantienen una tendencia paralela. Esto refleja la funcionalidad de la FC con la actividad física, aunque los distintos métodos permiten obtener valores de M sustancialmente distintos. A simple vista se observa que la línea correspondiente a la opción

cuatro se mantiene, salvo excepciones, bastante próxima a la correspondiente al M determinado con tablas (estudio de las tareas). Además los valores obtenidos mediante esta opción son las que presentan una menor dispersión dentro de cada puesto de trabajo, por lo que la opción cuatro parece la más adecuada para la estimación de M.

Mediante la herramienta desarrollada se calcularon los valores de IREQ obtenidos en aquellos puestos en los que se realizaron al menos dos mediciones de FC, con la excepción del puesto *Colgado de Lomo Embuchado* en el que hay un alto valor del coeficiente de variación de los valores de M derivados de FC, así como de T_{\max} en los casos en los que exista acceso a cámaras y T_{rec} utilizando los valores de M y ambientales correspondientes a su puesto habitual. Como valor de M se utilizó el determinado a partir del estudio de las tareas. En la Tabla 2 se exponen los resultados.

Las mediciones de temperaturas de superficie arrojan los resultados que se muestran en la Tabla 3. Se obtuvieron en todos los casos (con la excepción de la primera medición que se desechó por considerarse errónea) valores por encima de los calculados mediante la resolución de la ecuación del balance térmico. Esta falta de coincidencia puede ser debida a que los valores reales de M o del aislamiento (I_{cl}) sean distintos a los supuestos e introducidos en la herramienta. Así, se observa que los trabajadores suelen llevar un aislamiento un 50% superior al teórico necesario para conseguir una situación de confort, observándose en algunos casos valores muy superiores. Sin embargo, el balance térmico debería cumplirse igualmente. Para comprobarlo, se siguieron los siguientes pasos:

Comparar, por un lado, el valor del flujo de calor seco $R + C$ obtenido mediante la fórmula $R + C = (t_{\text{cl}} - t_{\text{sk}}) / I_{\text{cl}}$ y, por otro, por la hoja Excel, en ambos casos introduciendo el valor del aislamiento observado. En ocasiones se realizó alguna pequeña variación en M, t_{cl} ó t_{sk} para comprobar cuándo se obtiene una concordancia.

Obtener el calor perdido por evaporación E mediante la fórmula $E = M \cdot [(t_{\text{cl}} - t_{\text{sk}}) / I_{\text{cl}}] - E_{\text{res}} - C_{\text{res}}$ y compararlo con el obtenido por la hoja Excel mediante su fórmula. Si no coinciden, se puede modificar la proporción de piel húmeda (w) para comprobar cuándo se obtiene una concordancia.

Por último comprobar que coinciden $M \cdot E_{\text{res}} - C_{\text{res}}$ y $E + C + R$. En ese punto, los valores de IREQ estimado e IREQ calculado también deben coincidir.

En la Tabla 4 se presentan los resultados de estas comprobaciones. Tal y como se muestra en la tabla, en cinco de las diez mediciones, correspondientes a tres puestos de trabajo distintos, el balance térmico se cumple con bastante aproximación si se tiene en cuenta el valor real del aislamiento. En una medición se requiere además que el valor de M sea el calculado a partir de FC mediante la opción 4 (153 W/m²), y no el obtenido del estudio de tareas. En otras dos, correspondientes al mismo puesto que el anterior, se requiere que el valor de M sea prácticamente igual al calculado a partir de FC mediante la opción cuatro para el anterior trabajador (155 W/m²). En las dos mediciones restantes no se cumple el balance (por posibles errores en las mediciones de temperatura) y no se pudieron establecer conclusiones.

En cuanto a la encuesta del grado de satisfacción de los trabajadores, el resultado obtenido es que los trabajadores de las secciones refrigeradas tienen, con la excepción del pues-

Tabla 1. Condiciones ambientales medidas en diferentes puestos de trabajo de una industria cárnica.

Puesto	Fecha medición	Hora de inicio	Hora de fin	Duración medición	T _a , °C ^a	T _g , °C ^b	HR ^c	v, m/s ^d
Despiece primario y secundario	27/09/2006	12:22:42	12:47:42	0:25:00	12,1	11,7	77,2	
	05/10/2006	12:22:44	12:47:14	0:24:30	12,6	12,9	86,7	
	01/08/2007	10:14:46	11:54:46	1:40:00	12,7	13,2	90,6	
	22/08/2007	10:03:52	11:49:52	1:46:00	10,5	10,6	67,6	
	Media				12,0	12,1	80,5	0,3
Despiece costillas	19/12/2008	11:12:27	12:00:27	0:48:00	11,9	11,7	74,5	
	23/12/2008	10:18:48	10:56:48	0:38:00	10,5	10,3	78,2	
	Media				11,2	11,0	76,35	0,3
Pulido de espinazos	30/10/2008	10:40:46	12:04:16	1:23:30	12,4	12,1	82,4	
	01/12/2008	10:42:07	12:54:07	2:12:00	11,2	11,0	75,0	
	Media				11,8	11,6	78,7	0,2
Colgado de lomos y costillas	15/09/2008	10:34:44	11:34:14	0:59:30	10,6	10,5	67,6	0,2
Colgado jamones, paletas y tocinos	28/10/2008	10:23:56	11:41:56	1:18:00	12,8	12,8	68,6	
	19/11/2008	11:18:33	12:00:33	0:42:00	11,9	11,8	80,4	
	18/09/2007	10:16:10	11:04:40	0:48:30	11,6	11,4	77,1	
	05/02/2009	11:27:37	12:41:07	1:13:30	12	12,0	71,2	
	Media				12,1	12,0	74,3	0,2
Expedición fresco	13/02/2009	10:10:47	13:26:17	3:15:30	5,2	5,2	72,6	
	26/02/2009	9:38:28	10:46:19	1:07:51	7,2	7,1	77,4	
	17/03/2009	10:05:45	12:04:15	1:58:30	8,1	8,2	81,2	
	18/03/2009	11:20:19	13:14:28	1:54:09	12,1	11,9		
	Media				8,1	8,1	77,1	0,27
Perfilado	06/03/2008	11:30:11	12:31:41	1:01:30	9,4	8,6	64,1	
	05/10/2006	11:45:06	12:17:36	0:32:30	11,8	11,7	79,4	
	Media				10,6	10,15	71,75	0,2
Embutido	24/04/2008	11:20:57	11:53:27	0:32:30	11,3	11,4	69,7	
	27/07/2007	11:09:39	11:46:09	0:36:30	N.A.	N.A.	73,3	
	03/08/2007	10:16:42	11:30:12	1:13:30	11,5	11,6	81,7	
	09/08/2007	10:16:03	12:26:33	2:10:30	11,5	11,6	73,6	
	12/09/2007	9:08:04	12:06:34	2:58:30	12,8	12,5	78,2	
Media				11,8	11,8	75,3	0,2	

Las temperaturas de consigna son de 10 – 12°C, excepto en la sala de despiece donde es de 12°C.

a T_a = temperatura seca.

b T_g = temperatura de globo.

c HR = humedad relativa en tanto por ciento.

d v = velocidad del aire.

to de *Expedición de Fresco*, un grado de satisfacción equivalente al confort térmico. Los tres trabajadores que ocupan el puesto de *Expedición de Fresco* llevan en el momento en que se les realiza la encuesta varios meses solicitando un cambio en la ubicación de su puesto para evitar las corrientes y bajas temperaturas. Es por lo tanto bastante posible que al rellenar el cuestionario los trabajadores hayan expresado su protesta marcando el disconfort más bajo disponible (-3: *mucho frío*) pese a que disponen del aislamiento necesario para la temperatura medida.

DISCUSIÓN

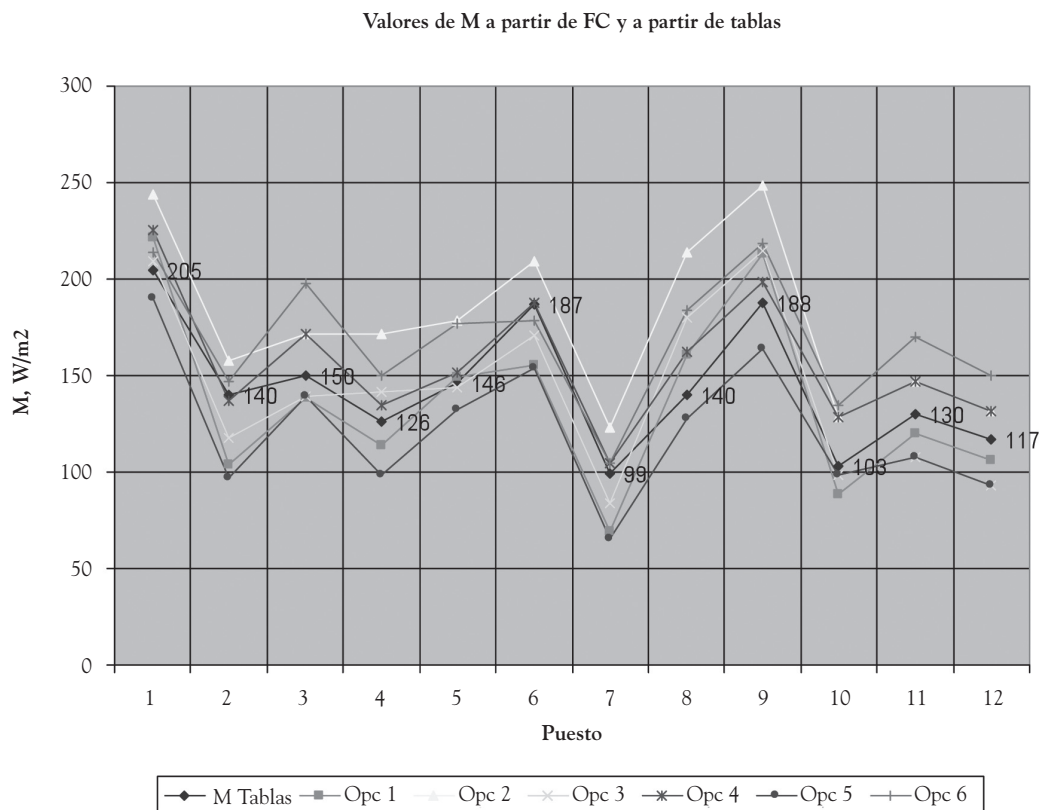
La herramienta diseñada permite obtener IREQ, T_{\max} y T_{rec} de un puesto de trabajo introduciendo los valores de las condiciones ambientales y el metabolismo M, lo que requie-

re una estimación previa de M. La que mejor se ajusta de las utilizadas es la determinada a partir de la frecuencia cardiaca FC mediante la fórmula de Karvonen modificada, utilizando el valor de $V_{O_{2\max}}$ determinado a partir de prueba de condición física o tablas de valores medios.

Con respecto a los programas actualmente existentes para la obtención de IREQ, T_{\max} y T_{rec} , la ventaja de la herramienta desarrollada en el presente trabajo es que se basa en el programa Excel del que ya se dispone en cualquier oficina, y por lo tanto no es necesario invertir dinero ni tiempo en la adquisición del programa o de las destrezas necesarias para su uso.

El cálculo preciso de M requiere la realización de pruebas de esfuerzo máximo sobre cicloergómetro para buscar la función matemática que describe la relación entre FC y M para cada individuo^{7,8}. Estas pruebas son propias de la medicina deportiva y pueden constituir un riesgo para deter-

Figura 2. Determinación del metabolismo a partir de la frecuencia cardiaca mediante distintas ecuaciones y a partir de tablas (estudio de las tareas).



a Los puestos correspondientes a cada número vienen descritos en la Tabla 2.

b Valor dado por el pulsímetro mediante fórmula desconocida.

c Valor calculado por la fórmula de Karvonen modificada a partir del $VO_{2\max}$ asignado automáticamente por el pulsímetro.

d Valor calculado por la fórmula de Karvonen (sin modificar) a partir del $VO_{2\max}$ asignado automáticamente por el pulsímetro.

e Valor calculado por la fórmula de Karvonen modificada a partir del $VO_{2\max}$ estimado mediante prueba de condición física o valor medio asumido.

f Valor calculado por la fórmula de Karvonen (sin modificar) a partir del $VO_{2\max}$ estimado mediante prueba de condición física o valor medio asumido.

g Valor calculado por la fórmula de Karvonen modificada a partir del $VO_{2\max}$ calculado mediante la fórmula de Gillet.

Tabla 2. Aislamiento requerido del atuendo (IREQ), tiempo máximo de permanencia (T_{\max}) y tiempo de recuperación (T_{rec}) por puesto de trabajo determinados mediante la herramienta desarrollada.

Puesto	Sección	IREQ _{estés} ^a clo	IREQ _{neutro} ^a clo	Cámara ^b	M, W/ m ² ·c	T _a , °C ^d	T _g , °C ^e	HR, % ^f	V _a , m/s ^g	T _{max} estrés ^h	T _{max} confort ⁱ	T _{rec} estrés ^j	T _{rec} confort ^k
1. Despiece 1°	Despiece	0,28	0,39 (0,64)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2. Despiece 2°	Despiece	0,57	0,80 (0,84)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
3. Despiece costillares	Despiece	0,57	0,78 (0,84)	Cámara fresco	158	0	0	50	0,2	1h 16min	47 min	1h 46 min	9h 22min
4. Pulido de espinazos	Despiece	0,69 (0,73)	0,96 (1,04)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
6. Colgar jamones en despiece	Despiece	0,50	0,73 (0,73)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
7. Colgar paletas y tocinos	Despiece	0,28	0,43 (0,64)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
9. Expedición de fresco	Fresco	1,29 (1,34)	1,62 (1,65)	Túnel abierto	99	2,3	2,3	77,1	0,27	44 min	32 min	1h 46 min	9h 22 min
10. Perfilado	Perfilado	0,67(0,73)	0,92 (0,93)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
12. Descolgar jamones en perfilado	Perfilado	0,37	0,51 (0,64)	Cámara oreo jamones	148	1	3	50	0,2	49 min	34 min	1 h 10 min	2h 35min
19. Embutado	Embutido	0,98 (1,04)	1,33 (1,34)	Cámara masas	146	4	4	50	0,2	Sin límite	Sin límite	No requiere	No requiere
20. Embuchar lomos	Embutido	0,65 (0,73)	0,92 (0,93)	Cámara adobos	146	4	4	50	0,2	3h 48min	1h 23min	2h 1min	51h 41min

a Aislamiento requerido del atuendo calculado con los datos ambientales de la tabla 1 y los datos de metabolismo obtenidos mediante tablas (estudio de las tareas), ver Figura 2, para evitar el estrés o conseguir sensación neutra. Los valores entre paréntesis se refieren al "paquete" o conjunto de ropa cuyo aislamiento está inmediatamente por encima del IREQ.

b Cámara a la que el trabajador que ocupa el puesto de trabajo accede ordinariamente.

c Metabolismo desarrollado por el trabajador y condiciones ambientales en la cámara para la que se calcula el T_{max}

d T = temperatura seca.

e T_g = temperatura de globo.

f HR = humedad relativa en tanto por ciento.

g v = velocidad del aire.

h T_{max} estrés = tiempo máximo de permanencia en la cámara para evitar una situación de estrés térmico.

i T_{max} confort = tiempo máximo de permanencia en la cámara para conseguir una situación de confort.

j T_{rec} estrés = tiempo para recuperar el calor perdido necesario para evitar una situación de estrés térmico, suponiendo que la recuperación es realiza en la sección habitual de trabajo.

k T_{rec} confort = tiempo para recuperar el calor perdido necesario para conseguir una situación de confort, suponiendo que la recuperación es realiza en la sección habitual de trabajo.

Tabla 3. Resultados de las mediciones de temperaturas superficiales en distintos puestos de una industria cárnica.

Equipo ^a	Puesto	Sección	Teórico ^b			Observado / medido ^f		
			IREQ _{neutro} ^c , °C·m ² /W	t _{sk} ^d , °C	t _{cl} ^e , °C	I _{clr} ^g , °C·m ² /W	t _{sk} ^d , °C	t _{cl} ^e , °C
690	Pulido espinazos	Despiece	0,121	32,1	19,7	0,126	28,3	26,1
646						0,126	34	27
690						0,129	36	21
690						0,129	34,9	21
690	Colgar jamones despiece	Despiece	0,146	31,5	21,0	0,140	33,9	19,0
646						0,153	34,0	19,0
690	Colgar paletas y tocinos	Despiece	0,053	30,4	22,8	0,160	35,2	21,5
646						0,160	35,2	16,8
646	Expedición fresco	Fresco	0,228	32,9	14	0,258	36,7	9,1
759						0,258	37,6	12,3
690						0,241	34,0	13,8

a Número de serie de termómetro de contacto con sensores de superficie utilizado.

b Teórico: Valores obtenidos mediante la herramienta Excel.

c IREQ_{neutro} = aislamiento requerido del atuendo.

d t_{sk} = temperatura sobre la superficie de la piel.

f Observado / Medido: Temperaturas medidas y valores de aislamiento observados.

g I_{clr} = Resistencia térmica del vestido.

minadas personas, ya que exigen la realización de un esfuerzo hasta el agotamiento y solicitan al máximo las funciones respiratorias y cardíacas. Por este motivo su aplicación a la ergonomía es limitada y se recurre a correlaciones lineales como las ecuaciones de Karvonen. La realización de pruebas con trabajadores en buena forma física y abarcando intensidades de esfuerzo correspondientes a situaciones laborales, inferiores a las encontradas en actividad deportiva, puede ser una futura manera de determinar con precisión los metabolismos de los puestos de trabajo.

Se han realizado estudios en puestos de trabajo de la industria automotriz para determinar M a partir de FC sin realizar prueba de esfuerzo¹³. Para ello se ha supuesto un modelo lineal recto de acuerdo con la ecuación $FC = a + bM$, en la que la pendiente de la recta "b" se obtiene a partir de los puntos de valores máximo (FC_{max} y M_{max}) y en reposo (FC₀ y M₀) estimados a partir de características físicas de los trabajadores y la ordenada en el origen "a" a partir de $a = FC_0 - bM_0$. Se trata de un modelo lineal más simplificado que el utilizado en el presente trabajo y válido para valores de la FC comprendidos entre 120 y (FC_{max} - 20) latidos por minuto¹⁴. La aplicación de este modelo a los datos obtenidos en el presente estudio no se ajusta tan bien como el modelo basado en la fórmula de Karvonen modificada, con la excepción de los dos puestos de mayor coste energético que tiene un ajuste similar, debido a que entran dentro de la zona de validez del modelo simplificado. No hay constancia de estudios sobre aislamiento en si-

tuaciones de frío en los que se hayan utilizado M determinados de esta forma.

Por lo tanto, si bien la herramienta diseñada permite la obtención de IREQ, T_{max} y T_{rec}, para un mejor uso de ésta y otras similares, es necesario una determinación más exacta de los valores del metabolismo, lo que sólo se puede conseguir mediante la realización en el futuro de pruebas de esfuerzo a trabajadores.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto de investigación ha sido financiado por la Fundación Prevent, la Mutua MC y la Societat Catalana de Seguretat i Medicina del Treball, dentro de la 2ª convocatoria de Becas I+D en Prevención de Riesgos Laborales (2007-2008).

BIBLIOGRAFÍA

1. Luna Mendaza P. Nota Técnica de Prevención (NTP-462). Estrés por frío: Evaluación de las exposiciones laborales [en línea]. Barcelona: Centro Nacional de Condiciones de Trabajo, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo; 1997 [citado 1 sep 2009]. Disponible en: <http://www.insht.es/>
2. Falagán Rojo MJ. Higiene Industrial Aplicada Ampliada. Oviedo: Editorial Fundación Luís Fernández Velasco; 2005.

Tabla 4. Comprobación del cumplimiento del balance térmico en las mediciones de temperaturas superficiales.

Medición	Puesto	Parámetros	Teórico ^e	Medido ^f	Comprobación ^g	Diferencia ^h
2 ^a	Pulido espinazos, M = 126	w ^a	0,126		0,06	- 52%
		t _{sk} ^b , °C	32,1	34	34	+1,9°C
		t _{cl} ^c , °C	19,7	27	20,1	+0,4°C
		I _{clr} ^d , °C·m ² /W	0,121	0,126	0,126	+ 4%
2 ^a	Pulido espinazos, M = 153	w ^a	0,153		0,26	+70%
		t _{sk} ^b , °C	31,3	34	34	+2,7°C
		t _{cl} ^c , °C	21,1	27	19,8	-1,3°C
		I _{clr} ^d , °C·m ² /W	0,084	0,126	0,126	+50%
3 ^a	Pulido espinazos, M = 155	w ^a	0,155		0,155	Igual
		t _{sk} ^b , °C	31,3	36	36	+4,7°C
		t _{cl} ^c , °C	21,1	21	20,3	-0,8°C
		I _{clr} ^d , °C·m ² /W	0,084	0,129	0,129	+50%
4 ^a	Pulido espinazos, M = 155	w ^a	0,155		0,155	Igual
		t _{sk} ^b , °C	31,3	34,9	36	+4,7°C
		t _{cl} ^c , °C	21,1	21	20,3	-0,8°C
		I _{clr} ^d , °C·m ² /W	0,084	0,129	0,129	+50%
5 ^a	Colgar jamones en despiece	w ^a	0,146		0,34	+ 133%
		t _{sk} ^b , °C	31,5	33,3	33,2	+ 1,7°C
		t _{cl} ^c , °C	21,0	19,0	19,2	- 1,9°C
		I _{clr} ^d , °C·m ² /W	0,090	0,140	0,140	+ 55%
6 ^a	Colgar jamones en despiece	w ^a	0,146		0,35	+ 140%
		t _{sk} ^b , °C	31,5	34,0	34	+ 2,5°C
		t _{cl} ^c , °C	21,0	19,0	19	- 2,0°C
		I _{clr} ^d , °C·m ² /W	0,090	0,153	0,153	+ 70%
7 ^a	Colgado de paletas y tocinos	w ^a	0,187		0,61	+ 250%
		t _{sk} ^b , °C	30,4	35,2	35,2	+ 4,8°C
		t _{cl} ^c , °C	22,8	21,5	18,6	- 4,2°C
		I _{clr} ^d , °C·m ² /W	0,053	0,160	0,160	+ 200%
8 ^a	Colgado de paletas y tocinos	w ^a	0,187		0,61	+ 250%
		t _{sk} ^b , °C	30,4	35,2	35,2	+ 4,8°C
		t _{cl} ^c , °C	22,8	17,0	18,6	- 4,2°C
		I _{clr} ^d , °C·m ² /W	0,053	0,160	0,160	+ 200%
10 ^a	Expedición de fresco, M = 123	w ^a	0,123		0,123	Igual
		t _{sk} ^b , °C	32,2	37,6	37,6	+ 5,4°C
		t _{cl} ^c , °C	15,4	14,7	12,3	- 3,1°C
		I _{clr} ^d , °C·m ² /W	0,166	0,229	0,229	+ 38%
11 ^a	Expedición de fresco, M = 99	w ^a	0,099		0,099	Igual
		t _{sk} ^b , °C	32,9	34,0	34,0	+ 1,1°C
		t _{cl} ^c , °C	14	13,8	13,8	- 0,2°C
		I _{clr} ^d , °C·m ² /W	0,228	0,241	0,244	+ 7%

a w = proporción de la piel húmeda

b t_{sk} = temperatura sobre la superficie de la piel

c t_{cl} = temperatura sobre la superficie de la ropa

d I_{clr} = resistencia térmica del vestido

e Teórico: Valores obtenidos mediante la herramienta Excel.

f Medido: Temperaturas medidas y valores de aislamiento observados.

g Comprobación: Valores que hacen cumplir el balance térmico.

h Diferencia: Diferencia porcentual entre el valor de las columnas Medido y Comprobación.

3. EVALFRÍO. Evaluación de riesgos por exposición laboral a frío [programa informático en CD-ROM] Ver 1.0 [Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene, 2005]. 1 CD-ROM.
4. Evaluación de ambientes fríos. Determinación del aislamiento requerido para la vestimenta. Norma internacional ISO 11079:1998. Ginebra: International Standardization Organization; 1998.
5. Nogareda Cuixart S, Luna Mendaza P. Nota Técnica de Prevención (NTP-323). Determinación del metabolismo energético [en línea]. Barcelona: Centro Nacional de Condiciones de Trabajo, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo; 1993 [citado 1 sep 2009]. Disponible en: <http://www.insht.es>.
6. Aguirre Egan JH. Análisis, evaluación y control del estrés térmico por frío. Trabajo final de Grado de Licenciatura en Higiene y Seguridad en el Trabajo. Argentina: Universidad Nacional Tres de Febrero; 2004.
7. Garatachea Vallejo N, De Paz Fernández JA. Exactitud del método de monitorización de la frecuencia cardiaca en la estimación del coste energético. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. 2003; 3 (9): 15-29.
8. Garatachea Vallejo N, De Paz Fernández, JA. Diferentes modelos de regresión para describir la relación VO₂ – FC y para estimar el VO₂ a diferentes intensidades de esfuerzo. Cultura, Ciencia y Deporte. 2005; 3 (1): 131-135.
9. Chavarría Cosar R. Nota Técnica de Prevención (NTP-177). La carga física del trabajo: definición y evaluación [en línea]. Barcelona: Centro Nacional de Condiciones de Trabajo, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo; 1986 [citado 1 sep 2009]. Disponible en: <http://www.insht.es>.
10. Barbado Villalba C, Barranco Gil D. Manual del ciclo Indoor avanzado. Badalona: Editorial Paidotribo; 2007.
11. Gillet Y. Fréquence cardiaque et consommation d'oxygène au cours d'épreuves d'effort. Populations masculine et féminine. Observations et prédictions. Mémoire de Licence en Médecine du Travail. Bruxelles: Université Catholique de Louvain; 1984.
12. Castejón Vilella E. Nota Técnica de Prevención (NTP-74). Confort Térmico – Método de Fanger para su Evaluación [en línea]. Barcelona: Centro de Investigación y Asistencia Técnica, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo; 1983 [citado 1 sep 2009]. Disponible en: <http://www.insht.es>.
13. Malchaire J. Méthodologie générale d'interprétation des enregistrements continus de fréquence cardiaque aux postes de travail. Cahiers de Médecine du Travail. 1988; XXV (4):181-186.
14. Ergonomía. Determinación de la producción de calor metabólico. ISO 8996:1990. UNE-EN 28996. Ginebra: International Standardization Organization; 1995.

Expoprotection 2010

2 – 4 de noviembre de 2010, París (Francia)

Información:

Tel.: 33 (0)1 47 56 24 98

E-mail: juliette.bonk@reedexpo.fr

[http:// www.expoprotection.com](http://www.expoprotection.com)

III Congreso Nacional de prevencionistas

20 – 22 de octubre de 2010, Barcelona

Información:

Asociación de Especialistas en Prevención y Salud Laboral (AEPSAL),
c/Valencia 333, 4º 2ª, 08009 Barcelona, España.

Tel.: 934 760 998. Fax: 934 765 398.

E-mail: aepsal@aepsal.com

[http:// www.aepsal.com](http://www.aepsal.com)