

ergo

**K**

prevención

## Aproximación al Riesgo y confort térmico en el trabajo: El Calor

Iñaki Galindez Alberdi  
[ergoKprevencion.org](http://ergoKprevencion.org)

## ÍNDICE

<b>Introducción</b>	5
<b>Legislación y normalización</b>	7
<b>Capítulo I. Balance térmico.</b>	10
Introducción	
A. Producción Interna de calor	
B. Conducción	
C. Convección	
1. Convección cutánea	
2. Convección respiratoria	
D. Radiación	
E. Evaporación	
1. Respiratoria	
2. Cutánea	
Anexo	
<b>Capítulo II. Fisiología</b>	17
Introducción	
A. Temperatura central del cuerpo	
B. Reacciones Cardiovasculares	
C. Sudoración	
D. Adaptación al calor	
1. Comportamiento mental	
2. Aclimatación	
E. Efecto de la edad	
F. Efecto del sexo	
<b>Capítulo III. Patología debida al calor</b>	23
Introducción	
A. Deshidratación	
1. Patogenia	
2. Prevención	
B. Déficit Iónico y Calambres	
C. Sincope de calor	
D. Agotamiento por calor	
E. Golpe de calor	
Conclusión	

<b>Capitulo IV. Evaluación de los parámetros climáticos</b>	29
Introducción	
A. Parámetros primarios	
B. Temperatura del aire	
C. Humedad	
D. Temperatura media de radiación	
E. Velocidad del aire	
G. Parametros secundarios	
Conclusión	
Anexo formulas	
Anexo Especificaciones tecnicas segun Normativa	
<b>Capitulo V. Evaluación del Calor Metabólico y Aislamiento Vestimentario</b>	43
Introducción	
A. Evaluación del calor Metabólico	
1. Tablas de estimación	
2. Medición directa del Consumo de Oxigeno	
3. Estimación a partir de la FC	
B. Evaluación del Aislamiento Vestimentario	
Conclusión	
<b>Capitulo VI- Indices térmicos</b>	57
Introducción	
A. Indice WBGT	
B. Indice del Sudor Requerido -Swreq	
C. Indice PHS: Predicted Heat Stres	
D. Indices PMV-PPD	
<b>Capitulo VII. Diagnostico Térmico</b>	69
Introducción	
A. Confort- Inconfort -Riesgo	
B. Diagnostico Previo y definitivo	
C. Diagnostico previo	
D. Diagnostico secundario	
E. Actuación en caso de Riesgo	
<b>Capitulo VIII. Prevención medica</b>	74
Introducción	
A. Vigilancia Fisiológica	
B. Criterios de Selección	
C. Vigilancia Medica	
<b>Capitulo IX. Prevención Organizacional</b>	79
Introducción	
A. Programación de las operaciones	
B. Optimizacion de los ciclos de trabajo reposo	
C. Aclimatación	
D. Rehidratacion	
E. Educación Sanitaria	

<b>Capitulo X. Prevención técnica</b>	82
Introducción	
A. Reducción del calor radiante	
B. Mejora de la Velocidad del aire	
C. Temperatura del aire	
D. Humedad del aire	
E. Modificación de los vestidos	
F. Reducción de la carga física de trabajo	
<b>Capitulo XI. Aproximación desde personal NO experto. La Tecnología SOBANE</b>	84
Introducción	
Objetivos	
Principios generales	
Estrategia	
Condiciones	
Como Proceder?	
Etapa I: Observación	
Objetivos	
Quien?	
Como?	
Procedimiento:	
1. Descripción	
2. temperatura del aire	
3. Humedad	
4. Calor radiante	
5. Corrientes de aire	
6. Carga de trabajo Física	
7. Vestidos para cada trabajo	
8. Opinión de los trabajadores	
9. Sintesis	

## INTRODUCCIÓN

El medio ambiente térmico es la queja más común de los trabajadores. Discernir entre las situaciones que conllevan Riesgo para la salud o las que son queja necesita de una recolección de datos adecuada (temperatura, humedad, radiación, velocidad del aire, carga de trabajo y vestidos) para interpretarla mediante los índices térmicos. (ISO 7243, ISO 7730, ISO 7933, etcetera).

Este documento describe estos principios y además elabora un sistema de decisión con el objeto de tomar la mejor medida preventiva. Tampoco podemos olvidar que, con los conceptos claros, se pueden tomar medidas preventivas a partir de observaciones cualitativas y no necesariamente por personal especializado. Esta tendencia se plasma en la tecnología SOBANE (**S**creening, **O**bservación, **A**nálisis y **E**xperto) que estará presente de forma esquemática en la parte final de este documento, en sus niveles de Observación y experto, siendo el documento en general dirigido a prevenicionistas y/o expertos.

La legislación en su RD 486/1997 de locales de trabajo y la guía técnica del Instituto dejan dudas sobre el método de diagnóstico de Riesgo, confort o inconfort y sobre todo sobre su prevención. Este documento pretende calificar estos detalles desde la amplia normalización en forma de normas ISO, EN o UNE que existen en la actualidad.

Por otra parte la patología producida por el estrés térmico, en la exposición al calor, se caracteriza por su comienzo agudo, pudiendo ocasionar la muerte. La única aproximación realista se proporciona desde la prevención primaria, es decir eliminando o por lo menos disminuyendo el riesgo.

Un medio ambiente térmico precisa el conocimiento de varias variables a la vez (temperatura del aire, humedad, radiación, velocidad del aire, consumo energético y aislamiento vestimentario). Los Índices térmicos resumen estos datos, interpretando un medio ambiente.

Los índices se han venido sucediendo desde principios de siglo y ninguno había sido lo suficientemente fiable como para ser aceptado por todos. Hoy en día la Organización Internacional de Estandarización (ISO), basado en programas de actuación de la CECA (Comunidad Económica del Carbón y del Acero), ha hecho un gran esfuerzo que se traduce en una serie de normas sobre los parámetros de ambiente que es necesario conocer, así como la forma y método de conseguirlos. Finalmente ha normalizado su interpretación: Índices térmicos

Estos índices térmicos han sido por el Comité Europeo de Normalización (CEN) dando lugar a las normas europeas correspondientes (EN). Estas últimas son traducidas sin cambios por la Asociación Española de Normalización (AENOR) a normas UNE.

La complejidad de estos índices ha provocado que su uso sea privativo de técnicos en prevención expertos. En estos momentos se imponen los grupos multidisciplinares, con el objeto de mejorar las condiciones de trabajo desde todos los puntos de vista. Un idioma común es imprescindible con el objeto de evitar que dichos grupos no se conviertan en una pequeña torre de Babel.

Este documento pretende aportar su granito de arena al conocimiento del estrés térmico por calor. En principio se puede considerar dirigido a todo profesional de Salud Laboral: técnicos en prevención, médicos o enfermeras del trabajo.

Como objetivos concretos de este protocolo se pueden considerar:

- facilitar la definición de puestos a riesgo de estrés térmico
- Determinar las medidas de prevención más simples. Página 6 de 9
- definir los criterios de incapacidad médica para trabajar en estos ambientes
- conocer los parámetros a recolectar en la vigilancia médica
- iniciar el estudio para la mejora de las condiciones de trabajo en m. ambiente térmico.

Los mecanismos fisiológicos que el sujeto pone en juego cuando se expone a un ambiente caluroso, así como la influencia de la edad o el sexo se exponen en el capítulo II. El siguiente capítulo hace un repaso de las distintas patologías derivadas de una exposición al riesgo.

La evaluación de los parámetros climáticos se encuentra en el capítulo IV y V. El primero de ellos destinado a las variables físicas y el segundo a la producción interna de calor y el aislamiento vestimentario. En la sección siguiente se da un repaso a los mecanismos de interpretación de todos los valores recolectados, es decir de los Índices Térmicos. Finalmente se configura un nuevo capítulo: diagnóstico térmico, o lo que es lo mismo al mecanismo decisional de todo el esquema anterior.

Los tres últimos capítulos se dedican a la prevención médica, organizacional y técnica.

## LEGISLACIÓN Y NORMALIZACIÓN

La directiva del Consejo de las Comunidades Europeas concerniente a las prescripciones mínimas de seguridad y salud para los locales de trabajo, estipula en sus anexos I y II (CEE, 1989; CEE, 1988) que "la temperatura de los locales de trabajo debe ser adecuada para el organismo humano durante el tiempo de trabajo, teniendo en cuenta los métodos de trabajo aplicados y los Riesgos físicos impuestos a los trabajadores."

Este principio se ha hecho legislación española en el RD 486/97 Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud en los Lugares de Trabajo. En concreto su anexo 3 fija las **CONDICIONES AMBIENTALES DE LOS LUGARES DE TRABAJO**. El cual dice:

1. La exposición a las condiciones ambientales de los lugares de trabajo no debe suponer un riesgo para la seguridad y la salud de los trabajadores.
2. Asimismo, y en la medida de lo posible, las condiciones ambientales de los lugares de trabajo no deben constituir una fuente de incomodidad o molestia para los trabajadores. A tal efecto, deberán evitarse las temperaturas y las humedades extremas, los cambios bruscos de temperatura, las corrientes de aire molestas, los olores desagradables, la irradiación excesiva y, en particular, la radiación solar a través de ventanas, luces o tabiques acristalados.
3. En los locales de trabajo cerrados deberán cumplirse, en particular, las siguientes condiciones:
  - a. La temperatura de los locales donde se realicen trabajos sedentarios propios de oficinas o similares estará comprendida entre 17 y 27° C.  
La temperatura de los locales donde se realicen trabajos ligeros estará comprendida entre 14 y 25°.
  - b. La humedad relativa estará comprendida entre el 30 y el 70%, excepto en los locales donde existan riesgos por electricidad estática en los que el límite inferior será el 50%.
  - c. Los trabajadores no deberán estar expuestos de forma frecuente o continuada a corrientes de aire cuya velocidad exceda los siguientes límites:
    1. Trabajos en ambientes no calurosos: 0,25 m/s.
    2. Trabajos sedentarios en ambientes calurosos: 0,5 m/s.
    3. Trabajos no sedentarios en ambientes calurosos: 0,75 m/s.

Estos límites no se aplicarán a las corrientes de aire expresamente utilizadas para evitar el estrés en exposiciones intensas al calor, ni a las corrientes de aire acondicionado, para las que el límite será de 0,25 m/s en el caso de trabajos sedentarios y 0,35 m/s en los demás casos.
  - d. Sin perjuicio de lo dispuesto en relación a la ventilación de determinados locales en el Real Decreto 1618/1980, de 4 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria, la renovación mínima del aire de los locales de trabajo, será de 30 metros cúbicos de aire limpio por hora y trabajador, en el caso de trabajos sedentarios en ambientes no calurosos ni contaminados por humo de tabaco y de 50 metros cúbicos, en los casos restantes, a fin de evitar el ambiente viciado y los olores desagradables.  
El sistema de ventilación empleado y, en particular, la distribución de las entradas de aire limpio y salidas de aire viciado, deberán asegurar una efectiva renovación del aire del local de trabajo.
4. A efectos de la aplicación de lo establecido en el apartado anterior deberán tenerse en cuenta las limitaciones o condicionantes que puedan imponer, en cada caso, las características particulares del propio lugar de trabajo, de los procesos u operaciones que se desarrollen en él y del clima de la zona en la que esté ubicado. En cualquier caso, el aislamiento térmico de los locales cerrados debe adecuarse a las condiciones climáticas propias del lugar.
5. En los lugares de trabajo al aire libre y en los locales de trabajo que, por la actividad desarrollada, no puedan quedar cerrados, deberán tomarse medidas para que los trabajadores puedan protegerse, en la medida de lo posible, de las inclemencias del tiempo.
6. Las condiciones ambientales de los locales de descanso, de los locales para el personal de guardia, de los servicios higiénicos, de los comedores y de los locales de primeros auxilios

deberán responder al uso específico de estos locales y ajustarse, en todo caso, a lo dispuesto en el apartado 3

En este mismo decreto se obligaba al Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo a desarrollar una Guía. La llamada Guía de Locales de trabajo ha sido editada y cita a un gran número de normas. Este documento explica estas normas y sus mecanismos de interpretación.

Volviendo a la legislación armonizada **la temperatura adecuada**, a la cual se refiere la directiva, será estipulada por un conjunto de normas CEN (Comité Europeo de Normalización). Estas han sido establecidas por la Organización Internacional de Estandarización (ISO) y, en algunos casos, se han traducido a normas EN (norma europea) o normas UNE-EN (norma española).

En la tabla siguiente se pueden observar las diferentes normas nacionales e internacionales en las que se basa el presente documento técnico.

Tabla I- Normatva Nacional e Internacional para el estudio de Ambientes térmicos

n° ISO	UNE	Título
ISO 7.726	UNE-EN 27.726/ (1995)	Aparatos y métodos de medida de las características físicas de un ambiente desde el punto de vista térmico.
ISO 9.886	UNE-EN 29.886 (1995)	Determinación de la producción interna de calor
ISO 7.243	UNE-EN 27.243 (1995)	Índice de estress térmico: I: WBGT
7.730	UNE-EN-ISO 7.730 (1996)	Índice de confort térmico: Índice PMV e Índice PPD
ISO 7.933	UNE-EN 12515:97	El índice del Sudor requerido (SWreq).
ISO 9.920		Estimación de las características térmicas de los vestidos
ISO 9886		Evaluation of thermal strain by physiological measurements (Evaluación de la sobrecarga térmica del organismo a través de mediciones fisiológicas).
ISO 11079	UNE-ENV ISO 11079:97	Evaluación de ambientes fríos. Determinación del aislamiento requerido para la vestimenta

**CAPITULO I**

**BALANCE TÉRMICO**

**INTRODUCCIÓN**

El hombre debe mantener el medio interno a una temperatura constante, es decir la producción o captación de calor debe ser compensada por una cantidad equivalente de pérdida de calor. De esta manera se mantiene la homeotermia.

El *Hombre produce calor*, el cual depende del gasto energético que exige su trabajo, es decir de la "cantidad de ejercicio" que realiza.

El *Hombre pierde calor* principalmente a través de la evaporación del sudor en la piel o de la evaporación de agua en las vías respiratorias.

El *hombre puede ganar o perder calor* con el aire que le rodea (convección), con los objetos que toca (conducción) o con las radiaciones térmicas (radiación).

El termino **Balance térmico** se usa para designar la suma algebraica de todos estos términos (anexo correspondiente a este capítulo).

En general podemos hablar que tres grandes sistemas se ponen en juego en el equilibrio térmico:

- El cuerpo entero, mediante el metabolismo (en especial el sistema muscular)
- La piel.
- La respiración

Tabla I.1. Fuentes de acumulación o pérdida de calor del hombre (Aubertin, 1983)

Termino	Definición	Sentido del Acumula	Intercambio Perdida
<b>Convección</b>	Intercambios debidos al movimiento del aire en contacto con la piel	$t_a > t_{sk}$	$t_a < t_{sk}$
<b>Radiación</b>	Intercambios por radiación térmica entre las paredes del recinto y el hombre	$t_r > t_{sk}$	$t_r < t_{sk}$
<b>Evaporación sudor</b>	Perdidas de calor al evaporarse el sudor de la piel		Siempre
<b>Producción interna calor</b>	Calor producido por el metabolismo no transformado en trabajo exterior	Siempre	

ta=temperatura del aire ; tr= temperatura media de radiación; tsk= temperatura media de la piel

### A. PRODUCCIÓN INTERNA DE CALOR

La producción interna de calor esta ligada al conjunto de reacciones metabólicas que desarrolla un sujeto. El hombre se comporta como un motor de combustión para efectuar su trabajo. El rendimiento mecánico de este motor es muy pequeño, en las mejores condiciones solo del orden del 25% del metabolismo es aprovechado en realizar el trabajo, el resto se transforma en calor.

El calculo de la producción interna de calor considera dos variables:

- Metabolismo(M): conjunto de reacciones químicas del sujeto
- Trabajo exterior (W): la parte del metabolismo que realiza un trabajo exterior y no se traduce en producción de calor interno.

Por consiguiente la producción interna de calor se expresa por la diferencia entre el Metabolismo total y su rendimiento externo:

$$H = M - W \tag{I.2.}$$

En la tabla I.2. se puede observar el rendimiento mecánico, en porcentaje según el tipo de ejercicio. Visualizando dicha tabla se puede concluir que la mayor parte del metabolismo es productor de calor (mínimo un 75 %). En el mejor de los casos el rendimiento mecánico es del orden del 25% del metabolismo.

En circunstancias reales de trabajo la mayor parte de ocasiones es imposible de determinar este rendimiento mecánico, por lo que se considera que todo el metabolismo es productor de calor.

Las diferentes formas de determinar la producción interna de calor son objeto de la Norma ISO 8996 (1990), EN-28996 (1993) y UNE-EN 28996 (1995) que será comentada posteriormente.

Tabla I.2- Rendimiento mecánico según ciertas actividades (Fanger)

Actividad	Rendimiento (%)
Marcha o carrera según pendiente y velocidad	
5 % pendiente 1.6 Km/h	7
5 % " + 3.2 "	10
5 % " + 4.8 "	11
5 % " + 6.4 "	15
15 % " + 1.6 "	11
15 % " + 3.2 "	15
15 % " + 4.8 "	19
25 % " + 1.6 "	21
25 % " + 3.2 "	21
Empujar un carrito de 57 kg a 4.5 km/h	20
Manipular sacos de 50 kg	20
Cavar una zanja	20
Pedalear a 60 vueltas/minuto	25

## B. CONDUCCIÓN (K)

La conducción es la transmisión de calor entre dos sólidos en contacto. En nuestro caso sería la pérdida de calor al tocar un sólido más frío que nuestra piel o la ganancia al entrar en contacto con uno más caliente.

En general la superficie de contacto suele ser pequeña y por lo tanto su influencia es escasa. En los cálculos de los índices basados en el balance térmico no suele ser tenido en cuenta y es asimilado a los términos de convección y radiación.

Los intercambios por conducción se calculan en función de la diferencia entre las temperaturas de la piel y la del sólido en contacto.

## C. CONVECCIÓN (C y $C_{res}$ )

La convección es la transferencia de calor entre el cuerpo y el fluido que le rodea, el aire en la mayor parte de ocasiones o el agua en los buceadores.

Hay dos tipos de transferencia por convección:

- - entre la piel y el aire ambiente (C = convección cutánea)
- - entre las vías respiratorias y el aire inhalado ( $C_{res}$  = convección respiratoria)

### 1. Convección Cutánea (C)

Los intercambios por convección a nivel de la piel están en función sobre todo de la temperatura del aire que rodea al cuerpo humano. Más exacto es hablar de la diferencia entre la temperatura de la piel y la del aire ambiente. Así la convección puede representar un factor de pérdida de calor (si la temperatura ambiente es menor que la de la piel) o ganancia (si la temperatura ambiente es mayor)

Los intercambios también están en función de la velocidad del aire ( $V_a$ ). De tal forma que el aumento de dicha velocidad supone un aumento de los intercambios por convección.

Estos intercambios por convección se modifican substancialmente por los factores siguientes:

- Posición del cuerpo: ya que sentado o de pie la superficie expuesta es diferente.
- Calidad y cantidad de los vestidos.

## 2. Convección respiratoria

Los intercambios por convección respiratoria están influenciados por parecidas condiciones que en el caso anterior.

- La diferencia entre la temperatura del aire espirado ( $t_{es}$ ) y la temperatura del aire ( $t_a$ ).
- El volumen de los gases espirados y su masa.
- El calor específico de los gases.
- La superficie corporal

## D. RADIACIÓN (R)

Todo cuerpo emite una radiación electromagnética portadora de energía, la piel emite y recibe, la radiación de las distintas superficies que le rodean. El flujo térmico intercambiado esta en función de:

- La diferencia entre la temperatura de la piel ( $t_{sk}$ ) y la temperatura media de radiación ( $t_r$ ).
- La fracción de la superficie del cuerpo que participa en los intercambios.
- El aislamiento de los vestidos
- El porcentaje de la superficie corporal que interviene en los intercambios.

## E. EVAPORACIÓN (E y $E_{res}$ )

### 1. Evaporación respiratoria ( $E_{res}$ )

Al inspirar introducimos una cantidad de aire con una determinada presión parcial de vapor de agua, al espirar ese aire se ha saturado en agua. Este fenómeno evaporatorio supone una pérdida de calor para el cuerpo humano, ya que cada litro de agua evaporada supone 49 kcal perdidas. Los intercambios por Evaporación respiratoria están en función de:

- La diferencia entre las presiones parciales de vapor de agua del aire ambiente ( $P_a$ ) y el aire espirado ( $P_e$ ).
- El débito ventilatorio.

### 2. Evaporación Cutánea (E)

El ser humano para perder calor suda, con lo que mojara su piel formando una capa saturada en vapor de agua; la cual se evapora hacia la atmósfera en caso de que el aire ambiente no este saturado en agua.

En un ambiente caluroso si queremos mantener la temperatura necesitamos sudar y evaporar dicho sudor. Es decir REQUERIMOS SUDAR O EVAPORAR UNA CANTIDAD DADA ( $E_{req}$ ).

Ahora bien puede suceder que:

- *No podamos sudar tanto*, o lo que es lo mismo superamos nuestro límite máximo ( $E_{max}$ ) y al no poder todo el calor necesario aumenta la temperatura interna (**golpe de calor**),.
- *Perdemos demasiada agua* por el sudor (**deshidratación**)

Los intercambios por evaporación (E) hacia la atmósfera son función de:

- \* la diferencia de las presiones parciales de vapor de agua entre la piel y la atmósfera.
- \* los factores que influyen los intercambios por convección.

La tabla I.3. resume las influencias sobre el balance térmico de los distintos parámetros que caracterizan un ambiente desde el punto de vista térmico

Tabla I.3.- Principales variables independientes que intervienen en el estudio de ambientes térmicos

Parámetros	temperatura aire	temperatura media radiación	Velocidad aire	Humedad absoluta	Aislamiento vestidos	Metabolismo energético
Balance térmico	ta	tr	Va	Pa	Icl	M
Producción interna calor (H)	no	no	no	no	no	si
Radiación (R)	no	si	no	no	si	no
Convección (C)	si	no	si	no	si	no
Evaporación respiratoria	no	no	no	si	no	si
Evaporación cutánea	no	no	si	si	si	no
si= Interviene en el intercambio térmico			No interviene en el intercambio térmico			

## ANEXO CAPITULO I

### BALANCE TÉRMICO

$$S = H \pm R \pm K \pm C \pm C_{res} \pm E \pm E_{res} \quad (I.1)$$

S = almacenamiento de calor (en equilibrio nulo).  
 H = producción interna de calor.  
 R = intercambios térmicos por radiación calorífica.  
 K = intercambios térmicos por conducción.  
 C = intercambios térmicos por convección a nivel de la piel.  
 C<sub>res</sub> = intercambios térmicos por convección respiratoria.  
 E = intercambios térmicos por evaporación cutánea.  
 E<sub>res</sub> = intercambios térmicos por evaporación respiratoria.

### INTERCAMBIOS POR CONDUCCIÓN

$$K = h_k * (t_{sk} - t_m) \quad (I.3)$$

K = conducción  
 h<sub>k</sub> = coeficiente de intercambio por conducción  
 t<sub>sk</sub> = temperatura media de la piel  
 t<sub>m</sub> = temperatura media del solido en contacto

### INTERCAMBIOS POR CONVECCIÓN CUTÁNEA

$$C = h_c F_{clC} (t_{sk} - t_a)$$

C = convección  
 h<sub>c</sub> = coeficiente de convección (Wattios/m<sup>2</sup> °C)  
 F<sub>clC</sub> = Factor de reducción debido a la vestimenta  
 t<sub>sk</sub> = temperatura media de la piel  
 t<sub>a</sub> = temperatura del aire

### INTERCAMBIOS POR CONVECCIÓN RESPIRATORIA

$$C_{res} = (V \hat{u} c_p (t_{es} - t_a) / A_p$$

C<sub>res</sub> = convección respiratoria  
 V = ventilación (litros/minuto)  
 $\hat{u}$  = masa volumica de los gases espirados ( Kg/l)  
 c<sub>p</sub> = calor especifico de los gases ( J/kg aire seco /°C)  
 t<sub>es</sub> = temperatura del aire espirado (°C)  
 t<sub>a</sub> = temperatura del aire (t<sub>a</sub>)  
 A<sub>p</sub> = Superficie corporal (m<sup>2</sup>)

### INTERCAMBIOS POR RADIACIÓN

$$R = h_r (A_R/A_D) F_{clR} (t_{sk} - t_r)$$

R= intercambio por radiación  
 $A_R$ = Superficie de la piel que interviene en los intercambios por radiación  
 $A_D$ = superficie total de la piel  
 $F_{clR}$  = Factor de reducción de los intercambios por el vestido  
 $t_{sk}$  = temperatura media de la piel  
 $t_a$  = temperatura del aire

#### INTERCAMBIOS POR EVAPORACIÓN RESPIRATORIA

$$E_{res} = 0.0173 M (P_a - P_e)$$

$E_{res}$  = Evaporación respiratoria

M = Metabolismo (Wattios)

$P_a$ = presión parcial de vapor de agua en el aire ambiente

$P_e$ = 5.87 kilopascales = presión parcial de vapor de agua en el aire espirado

#### INTERCAMBIOS POR EVAPORACIÓN CUTÁNEA

La presión parcial de vapor de agua en la piel esta en función entre otros elementos de la cantidad de sudor producida por el cuerpo humano. Este elemento por el momento no es posible calcularlo, por lo que no conocemos la presión parcial de agua cutánea y no podemos calcular el termino evaporación cutánea del balance térmico.

Ahora bien si el cuerpo humano esta en equilibrio el almacenamiento de calor es nulo ( $S=0$ ) (no aumenta la fiebre). En la formula del balance térmico conocemos todos los datos excepción hecha del termino evaporación (E):

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

De esta forma podemos definir una Evaporación requerida ( $E_{req}$ ), como aquella evaporación necesaria para mantener el equilibrio térmico del cuerpo humano. Es decir:

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

También podemos definir una evaporación máxima ( $E_{max}$ ), como aquella cantidad de agua máxima que se puede evaporar en una ambiente determinado estando la piel saturada en agua y a una temperatura dada. Esta definición se traduce en la formula siguiente:

$$E_{max} = h_e F_{pcl} (P_{s,sk} - P_a)$$

$E_{max}$  = Evaporación máxima

$h_e$  = factor de evaporación

$F_{pcl}$  = factor corrector de la vestimenta

$P_{s,sk}$  = máxima presión parcial de vapor de agua para una temperatura de la piel dada

$P_a$  = presión parcial de vapor de agua del aire ambiente

## CAPITULO II

### FISIOLOGÍA

#### INTRODUCCIÓN

El cuerpo humano desde el punto de vista térmico se comporta como un animal tropical, ya que en las condiciones siguientes: desnudo, en reposo, a la sombra de la radiación solar y con una humedad del 50 % necesita una temperatura ambiente de 28 °C para mantenerse en la zona de bienestar. En estas condiciones el metabolismo es el mínimo para el mantenimiento de la vida, compensando las pérdidas por convección, radiación y evaporación.

El hombre discurre su vida en temperaturas lejanas a las condiciones enumeradas. En realidad hay animales y seres humanos que viven muy cerca de su temperatura de muerte. Para poder soportarlo es condición indispensable el mantenimiento de un medio interno estable, pudiendo variar la temperatura central únicamente alrededor de 4 °C sin deterioro importante. Por contra el ambiente exterior en el cual el hombre se mueve varía entre -50°C y +100 °C sin problemas evidentes para su salud.

El extremo caliente de la gama de temperaturas es mucho más peligroso que el frío, ya que las personas logran protegerse con más facilidad contra este último (Astrand, 1985).

El hombre pone a disposición una serie de mecanismos de control de la temperatura central los cuales van a ser comentados en este capítulo. Los mecanismos de regulación se pueden dividir en dos grandes grupos según su naturaleza.

- voluntaria: ejercicio o vestidos
- refleja: cardiovascular, sudoral y muscular

#### A. TEMPERATURA CENTRAL DEL CUERPO HUMANO

El cuerpo humano tiene una temperatura variable según la región considerada, se encuentran hasta 20 °C de diferencia entre distintas partes del cuerpo (manos y el hipotálamo). Por todo ello es necesario definir una temperatura como central.

El organismo posee receptores periféricos, en la piel y en diferentes órganos, que transmitirán sus señales hacia el sistema nervioso central. Este último integra las señales en varios niveles. La primera de estas integraciones se produce en la médula espinal de manera grosera y según se asciende en el SNC se va haciendo más compleja.

La acción termorreguladora principal se realiza en la región preóptica del hipotálamo anterior, formado por:

- una red de neuronas que aseguran una termodetección local
- estructuras destinadas a la integración de las señales provenientes de estratos inferiores y la red anterior.

A su vez el hipotálamo anterior genera respuestas las cuales son moduladas por el hipotálamo posterior.

El sistema termorregulador humano reacciona frente a variaciones de temperatura en cualquier parte del cuerpo. Ahora bien existen señales que se califican de primer orden entre las que tenemos: temperatura esofágica (dependiente de la sangre en el corazón) y la hipotalámica.

## B. REACCIONES CARDIOVASCULARES

En ambiente neutro la circulación cutánea es 10 veces mas importante que el débito necesario para su nutrición. En las manos la circulación puede pasar de un mínimo de 0.2 ml a 15 ml por cada 100 gramos de tejido, esto representa un aumento de 75 veces el mínimo. Esta adaptabilidad no es mas que el reflejo de una de las funciones principales de esta circulación: el mantenimiento de la homeotermia humana.

En ambiente frío esta circulación cutánea puede verse reducida, en tanto que en el caso contrario aumenta. El cierre de los "canales de riego" hacia la piel esta regido por fibras simpáticas adrenergicas, en tanto que su apertura se produce por la inhibición de las mismas.

Un **sujeto en reposo al exponerse al calor** aumenta el débito cardíaco dirigiendo hacia la piel una mayor cantidad de sangre.

Un **sujeto que realiza un trabajo físico en ambiente neutro**, aumenta el gasto cardíaco con el fin de aumentar el riego a nivel muscular. Es decir la exposición al calor y el ejercicio provocan un incremento del débito cardíaco con un fin distinto: aumento del riego a nivel cutáneo o muscular respectivamente.

En el caso de que **ambas condiciones se den a la vez: trabajo muscular en ambiente cálido** las siguientes consideraciones son a tener en cuenta:

- \* la piel demanda sangre para mantener la homeotermia, el musculo para realizar el trabajo. El corazón tiene que aumentar el débito incrementando, sobre todo, la frecuencia cardíaca.
- \* para el aumento del riego cutáneo y muscular, es necesario una vasodilatación en los territorios afectos, lo cual produce una caída de las resistencias periféricas y puede ser incompatible con el mantenimiento de una tensión arterial aceptable.
- \* los influjos vasodilatadores citados son contrabalanceados por otros en sentido contrario en el momento que la temperatura central aumenta por encima de 38 °C; esto provoca una disminución de la efectividad de los mecanismos de mantenimiento de la temperatura central.

En estas circunstancia el equilibrio es muy frágil. Si además el individuo, en ambiente caluroso y que realiza su trabajo en posición de pie, suspende la tarea bruscamente el efecto beneficioso de la bomba muscular para el retorno venoso se ve interrumpido. Todo ello sigue de una caída de la presión venosa central, disminución de la precarga y caída del débito sistólico. Estos mecanismos pueden ser la base de la fisiopatología del golpe de calor.

## C. SUDORACION

El sudor es un liquido rico en agua (99%) e hipotonico, producido por unas glándulas exocrinas repartidas por todo el cuerpo de manera desigual. La glándula sudorípara cuenta de dos estructuras:

- \* Un glomerulo, situado entre 2 a 5 mm de profundidad con respecto a la piel. Anatomicamente no es mas que un tubo enroscado sobre si mismo. Su función es la de formar un liquido isotónico con el plasma, llamado sudor primario.
- \* Un tubulo hacia la superficie cutánea en la cual se abre. Su función principal es la reabsorción de sales minerales de tal manera que el sudor final es hipotónico.

En la exposición al calor estas glándulas están muy solicitadas y la reabsorción no es tan efectiva; ya sea por la disminución del tiempo de contacto del sudor en el tubulo o por saturación de sus mecanismos. Es decir si la exposición obliga a secretar una gran cantidad de sudor, la pérdida de sales es mayor, que si la sollicitación de dichas glándulas es moderada.

La regulación del sudor se realiza por fibras ortosimpaticas en su mayor parte de naturaleza colinérgica, ahora bien también puede segregar noradrenalina o VIP (vasopeptido intestinal).

El aumento de la sudoración es función del incremento de la temperatura central ( $t_c$ ), de la temperatura de media de la piel ( $t_{sk}$ ) o de ambas. En este ultimo caso el efecto de ambas temperaturas es aditivo.

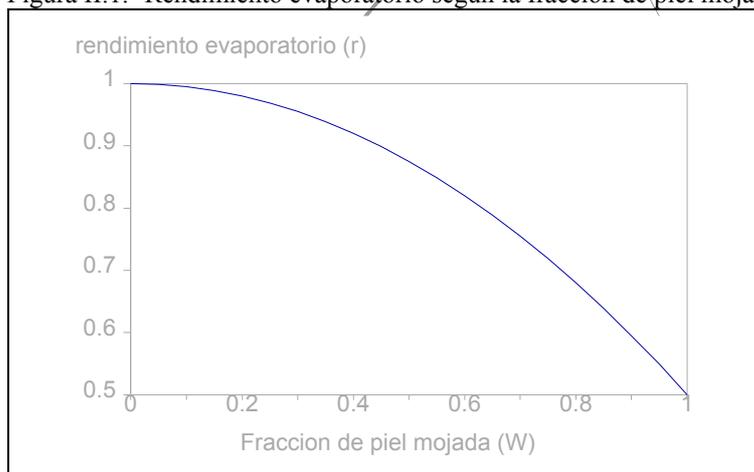
Un mecanismo muy importante en el control de la sudoración se produce en la piel y es dependiente de la fracción de piel mojada debido al sudor (mojadura). Si esta fracción aumenta se deprime la función sudoral, es decir a medida que el cuerpo esta más mojado se produce menos sudor. Esto es muy importante en ambientes húmedos, en el cual el sudor se evapora difícilmente y la piel esta más mojada con menor cantidad de sudor. En cambio en ambientes secos el sudor se evapora rápidamente, la piel se mantiene seca y puede ser mojada por nuevo sudor.

Esto se traduce en la figura II.1. o en la fórmula siguiente:

$$r = 1 - W^2 / 2$$

- $r$  = eficacia evaporatoria (máxima =1 -> 100%)
- $W$  = mojadura o fracción de la piel mojada (máximo 1 -> 100%)

Figura II.1.- Rendimiento evaporatorio según la fracción de piel mojada.



Esta fórmula expresa que el 100 % de rendimiento evaporatorio ( $r=1$ ) se obtiene si la piel esta totalmente seca (mojadura =0). En cambio si toda la piel esta mojada ( $W=1$ ) el rendimiento evaporatorio es de 0,5 (50%).

## D. ADAPTACIÓN AL CALOR

Dos son los mecanismos de adaptación: comportamental y fisiológico (aclimatación)

### 1. Adaptación del comportamiento

Una serie de comportamientos de naturaleza voluntaria puede mejorar la tolerancia al calor:

- \* Ingesta regular de bebidas frescas.
- \* Adaptación de los vestidos.
- \* Utilización de pantallas, toldos... para evitar el calor radiante.
- \* Modificación de los horarios de trabajo: evitando trabajar al mediodía.
- \* Reducción de la actividad física (la productividad en verano es menor en todos los segmentos de la población).

Estos mecanismos son muchas de las veces más eficaces que las reacciones fisiológicas que se enumeran a continuación

### 2. Aclimatación al calor

La aclimatación al calor permite trabajar con menor riesgo en ambiente cálido, debido fundamentalmente a:

- \* Aumento del volumen sudoral producido.
- \* Secreción sudoral más uniforme, permitiendo una fracción de la piel mojada más alta ( $W=1$ , no aclimatados  $W=0.85$ ). Es decir los aclimatados pueden mojar toda su superficie cutánea, en tanto que los no aclimatados solo lo pueden hacer en el 85% de su superficie.
- \* Acortamiento del período entre el comienzo de la exposición y el inicio de la sudoración.
- \* Reducción de sales en el sudor excretado.
- \* Disminución de la sobrecarga cardíaca, menor aumento de la frecuencia cardíaca.

Todo ello conlleva a una disminución de la temperatura central entre 0.3 a 1°C y de la frecuencia cardíaca entre 10 a 40 pulsaciones por minuto (Mairiaux y Malchaire, 1990).

El tiempo necesario para la finalización de la aclimatación es del orden de 15 días, lo cual debe ser tenido en cuenta en la planificación de las tareas de los nuevos sujetos y en los primeros días de verano.

La pérdida de la aclimatación es muy rápida, ya que en tres o cuatro días ha perdido gran parte de su eficacia. Se deben de considerar no aclimatados a aquellos trabajadores que retornan a un puesto de trabajo después de:

- \* vacaciones
- \* baja laboral
- \* cualquier motivo por el que no hayan trabajado durante varios días seguidos en el puesto considerado.
- \* exposición alternante

La aclimatación al calor es específica para el tipo de ambiente considerado. Es decir una adaptación al calor húmedo no es lo mismo que a un calor seco, ahora bien una aclimatación a uno supone un adaptación parcial al otro.

Esta misma aclimatación parcial se obtiene con el entrenamiento físico, el cual en el fondo supone también una exposición al calor por aumento de la producción interna. Además el entrenamiento mejora los siguientes parámetros fisiológicos:

- \* Disminución de la frecuencia cardíaca para un trabajo dado
- \* Aumento del volumen sistólico.
- \* Disminución del umbral para el desencadenamiento de la sudoración.

De todas maneras no es indiferente el tipo de deporte que se realice. Están mejor aclimatados al calor los corredores de fondo, que los de carreras cortas. (Los nadadores no se consideran aclimatados, ya que evolucionan en un ambiente frío)

En resumen se puede decir que la aclimatación al calor es:

- \* Específica para un ambiente dado.
- \* Finaliza a los 15 días del inicio de la exposición y se pierde en 3 o 4 días de interrupción.
- \* El entrenamiento físico y la exposición a ambientes diferentes producen una aclimatación parcial.

### E. EFECTO DE LA EDAD

La edad a nivel fisiológico supone:

- \* Una disminución del débito cardíaco, tanto en volumen sistólico eyectado, como en frecuencia cardíaca.
- \* Una disminución de la potencia aeróbica máxima.
- \* Una atenuación de la vasodilatación cutánea.
- \* Una elevación del umbral para el inicio de la sudoración.

Es decir supone todos los efectos contrarios a una aclimatación y el entrenamiento físico. No es de extrañar que la mortalidad de las personas mayores de 65 años sea superior a las personas más jóvenes en las oleadas de calor.

### F. EFECTO DEL SEXO

En relación a la población masculina la población femenina presenta:

- \* Una masa corporal inferior en un 20 %.
- \* Una superficie cutánea con respecto a su masa corporal mayor del 10 %.
- \* Una menor masa de tejido magro, alrededor del 33%.
- \* Una menor cantidad de sangre circulante.
- \* Una menor cantidad de Hemoglobina en la sangre.

Estas consideraciones explican en parte por que las mujeres presentan una capacidad aeróbica máxima inferior en un tercio a la del hombre. Por lo que en general su tolerancia al calor es inferior a la del personal masculino.

Ahora bien si consideramos hombres y mujeres con la misma capacidad aerobica máxima se encuentran las siguientes diferencias:

\* Ambiente cálido y seco

- Antes de la aclimatación: la mujer presenta un comienzo mas tardío de la sudoración, con temperaturas centrales y cutáneas mas altas, así como una frecuencia cardiaca mas elevada.
- Después de la aclimatación: ninguna diferencia

\* Ambiente cálido y húmedo

Es indiferente antes o después de la aclimatación, en ambos casos la cantidad de sudor excretado es menor en la mujer, lo cual no se traduce en una menor tolerancia a ese ambiente (las temperaturas centrales son similares en ambos sexos) (Frye-Kamon,1983).

El ciclo hormonal en la mujer supone modificaciones en la temperatura central, siendo esta mas elevada en la segunda parte del ciclo. Esto supone que la mujer trabaja en un régimen mas elevado de temperatura central, sin mayor trascendencia fisiológica (Candas y al,1982).

Como conclusión se puede afirmar que la población femenina presenta una capacidad aerobica máxima menor que la de la población masculina, por lo que tolera peor una exposición al calor. Ahora bien considerando personas con la misma capacidad aerobica máxima, independiente de su sexo, y aclimatadas al calor no existe ninguna diferencia. Por lo que si se debiera descartar a una persona se debe de hacer por su capacidad aerobica máxima y no por su sexo.

**CAPITULO III**

**PATOLOGÍA DEBIDA A LA EXPOSICIÓN AL CALOR**

**INTRODUCCIÓN**

En el capítulo anterior se han citado los mecanismos que el cuerpo humano pone a disposición con el fin de mantener su temperatura interna constante. Cuando estos mecanismos no son suficientes o su actuación se prolonga más allá de unos límites se pueden producir las siguientes enfermedades:

- \* Deshidratación
- \* Déficit en sal y calambres
- \* Agotamiento por calor
- \* Síncope de calor
- \* Golpe de calor

Estas patologías se caracterizan por: su comienzo más o menos súbito, pudiendo llegar hasta la muerte, y en muchas ocasiones criterios diagnósticos inconcretos. Un breve resumen de los factores individuales de susceptibilidad se encuentra en la tabla siguiente.

Tabla III.1. Factores individuales que reducen la tolerancia al calor

<p>Edad</p> <p>Obesidad</p> <p>Capacidad sudoral disminuida:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ausencia de glándulas sudoríparas</li> <li>lesión de nervios periférico: diabetes, alcoholismo</li> <li>hipotiroidismo</li> <li>sustancias medicamentosas: <ul style="list-style-type: none"> <li>. anticolinérgicos</li> <li>. psicotrópicos: barbitúricos, fenotiacinas IMAO</li> <li>. antihistamínicos</li> <li>. diuréticos (deshidratación)</li> </ul> </li> </ul> <p>Perdidas de sal excesivas: Mucoviscidosis</p> <p>Convalecencia de una afección médica aguda o intervención quirúrgica</p> <p>Estado febril</p> <p>Consumo de alcohol antes y durante la exposición</p> <p>Mala condición física</p> <p>Ausencia o mala aclimatación</p>
---

## A. DESHIDRATACION

La deshidratación se produce desde el momento que se pierde mas agua de la que se ingiere. Hay que tener en cuenta que un individuo puede sudar hasta 2 litros/hora y que el mecanismo de la sed siempre va por detras de las necesidades de agua.

### 1. Patogenia y Fisiopatología

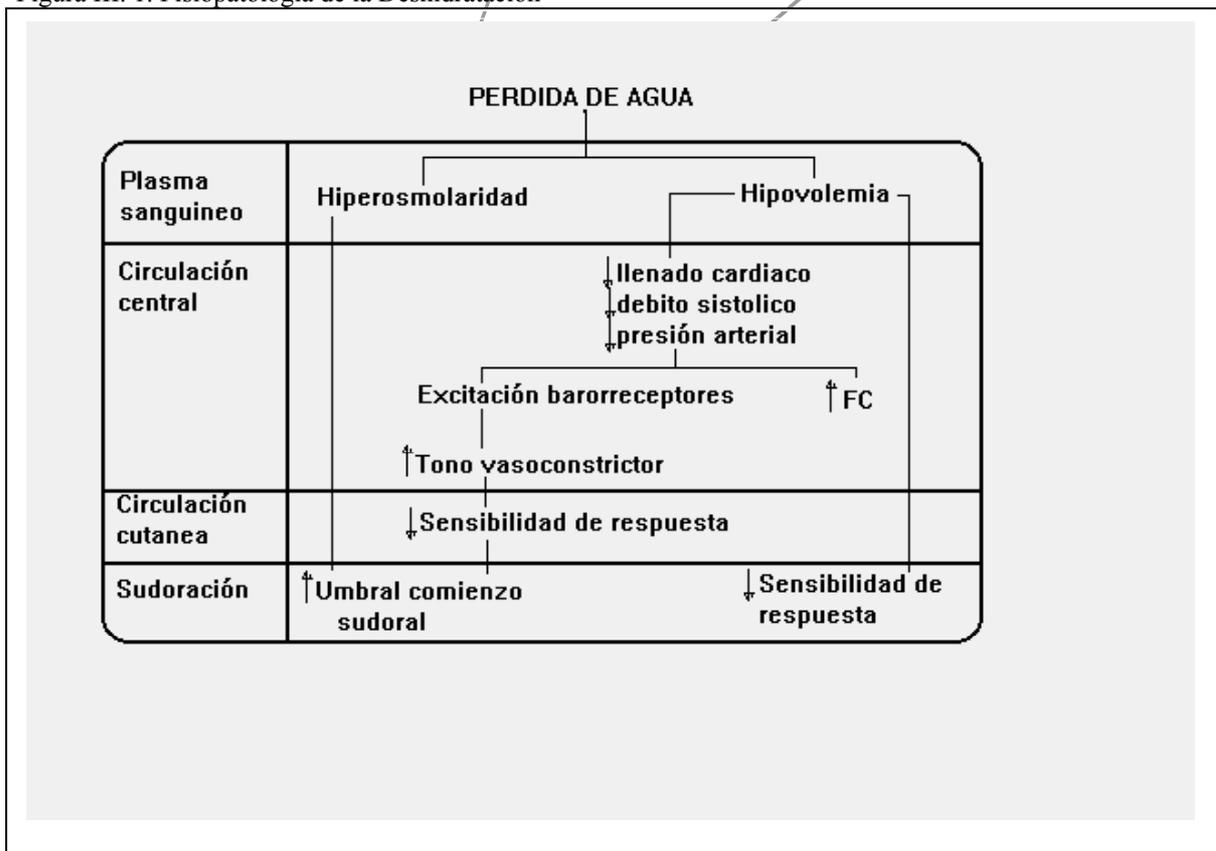
En la patogenia de todas las enfermedades consecutivas a la exposición al calor es importante recalcar que desde el momento que el **déficit hídrico** es superior al 1,5% del peso corporal (alrededor de un litro) hay una interferencia con los mecanismos de regulación de la temperatura interna, disminuyendo la tolerancia al calor.

La deshidratación por aumento del sudor produce una pérdida de líquido hipotónico, lo que conlleva a:

- \* Hipovolemia
- \* Hiperosmolaridad.

Sus consecuencias son analizadas en la figura III.1.

Figura III. 1. Fisiopatología de la Deshidratación



A manera de resumen de esta figura se puede decir que los mecanismos en una deshidratación fracasan de tal forma que:

- \* Se produce un aumento del umbral de comienzo de la sudoración con el objeto de evitar la deshidratación, lo que se traduce en aumento de la temperatura central
- \* En el corazón se produce una auténtica insuficiencia cardíaca por disminución de la precarga, a la cual hay que añadir el aumento del tono vasoconstrictor, todo lo cual disminuye la circulación cutánea y el fracaso de los mecanismos fisiológicos.

## 2. Prevención

Además de las mejoras técnicas y la limitación del tiempo de exposición, que se tratara posteriormente, se debe de intentar rehidratar al sujeto lo máximo posible facilitándole la ingesta regular de líquidos. Las reglas siguientes se deben de tener en cuenta:

- \* Beber frecuentemente en poca cantidad (250 ml)
- \* La mejor bebida es el agua fresca y su temperatura 12°C
- \* NO se debe de ingerir alcohol de ningún tipo
- \* El recorrido hasta el aprovisionamiento de agua debe ser lo mas corto posible.
- \* El tiempo debe ser suficiente
- \* En principio no es necesario añadir sal.

## B. DÉFICIT IONICO Y CALAMBRES

La sal que se pierde por el sudor puede causar problemas especialmente en el caso de sujetos no aclimatados.

En general se puede decir que la ingesta de sal es suficiente como para no añadir suplementos. Incluso se ha comprobado que sueros hipertónicos pueden ralentizar el vaciado gástrico, ralentizando la absorción de líquidos.

Los calambres por el calor pueden ser atribuidos a un déficit salino, ya que la ingesta de sal mejora el cuadro clínico, pero su mecanismo exacto esta sin dilucidar.

La sintomatología comienza después de varias horas de trabajo pesado, sudoración abundante e ingesta de grandes cantidades de agua. Su manifestación primordial es la contractura de los músculos mas solicitados, sobre todo de miembros inferiores.

Su tratamiento se basa en el reposo en lugar fresco y rehidratación con suplementos de sal por vía oral al 1% (1/4 de cuchara de café en 250 ml de agua) o por vía intravenosa con suero fisiológico.

### C. SINCOPE DE CALOR

El síncope por calor se manifiesta en la pérdida de conciencia rápida, pero de corta duración con el cuerpo revestido de sudor.

Normalmente se explica por el desfallecimiento de los mecanismos que tienden a mantener la tensión arterial. Es sin duda la patología mas frecuente en la exposición al calor, afortunadamente no representa gravedad por si misma.

La sintomatología comienza con una serie de síntomas premonitorios caracterizados por la sensación de debilidad, nauseas, vómitos y sudoración fría. La cual se sigue de una pérdida de conciencia, la persona se recupera rápidamente sobre todo en decúbito supino con las piernas elevadas.

No es grave, pero en muchas ocasiones su inicio no se diferencia de un golpe de calor. Es por tanto necesario valorar en todos los casos:

- \* La temperatura central.
- \* La frecuencia cardiaca y la tensión arterial.
- \* Síntomas del golpe de calor como confusión o/y desorientación.
- \* Vigilar al trabajador los días subsiguientes y valorar la posibilidad de un cambio del puesto de trabajo temporalmente.

### D. AGOTAMIENTO POR CALOR

El desfallecimiento por el calor suele instaurarse progresivamente tras una exposición prolongada.

Su etiología puede ser debida a pérdidas hídricas o salinas. Los síntomas son:

- \* Cardiovasculares: hipotensión, palidez, taquicardia con sensación de debilidad.
- \* Neurologicos: vértigos y desorientación
- \* Digestivos: nauseas o/y vómitos.

En todos los casos la sudoración esta presente y la temperatura elevada, pero sin sobrepasar los 39°C.

Como en el caso anterior hay que tener en cuenta el diagnostico diferencial con el golpe de calor: en el agotamiento las funciones mentales se conservan, aunque exista cierto grado de irritabilidad.

De todas maneras la actitud a seguir debe contar con:

- \* Toma de la temperatura central
- \* Valorar la Frecuencia cardiaca y la tensión arterial.
- \* Control hematocrito
- \* Ionograma
- \* Explorar síntomas del golpe de calor como confusión o/y desorientación.
- \* Vigilar al trabajador los días subsiguientes.
- \* Valorar la posibilidad de un cambio del puesto de trabajo.

El tratamiento consiste en:

- \* Reposo tumbado en un local fresco.
- \* Bebidas abundantes y frescas (12°C)
- \* Mojar y ventilar al sujeto.

Si la temperatura central no disminuyera o el resto de síntomas persisten el sujeto debe ser tratado como si se tratara de un golpe de calor.

### E. GOLPE DE CALOR

El golpe de calor es una entidad clínica no demasiado frecuente, pero de alta mortalidad (15 al 25 % de los casos a pesar de un tratamiento correcto). Es más frecuente en:

- \* Niños o ancianos que se exponen de súbito en una oleada de calor o en un viaje a un país cálido.
- \* Jóvenes que realizan un ejercicio intenso en un ambiente cálido (ej.: entrenamiento militar)
- \* Trabajadores que realizan un trabajo físico de moderado a pesado en ambientes: cálido y húmedo, con calor radiante importante o ropas de trabajo impermeables.

Los primeros síntomas se pueden parecer a las entidades clínicas antes citadas, posteriormente se manifiesta la triada clásica del golpe de calor:

- \* piel cálida y seca, sin sudoración.
- \* temperatura interna muy elevada: superior a 40°C.
- \* síntomas Neurológicos: confusión, lenguaje incoherente, coma, convulsiones...

Generalmente la triada completa es difícil de observar. Otros síntomas importantes que se encuentra son:

- \* taquicardia mayor de 130 pulsaciones por minuto, tensión arterial baja
- \* hiperventilación
- \* lesión hepática: aumento de las transaminasas, que pueden mantenerse durante varias semanas.
- \* lesión muscular: elevación de la CPK.
- \* lesión renal: elevación de la creatinina sérica.
- \* perturbación de los test de coagulación sanguínea.

Hay que decir que estos síntomas se puede dar en el propio puesto de trabajo o al cabo de unas horas de cesar la exposición.

El primer tratamiento debe ser llevado a cabo inmediatamente: después de haberle retirado de la fuente de calor se le desnudara, regándolo o bañándolo en agua, ventilándolo y si es posible pasando hielo por el cuello, axila e ingles. Posteriormente ingreso en un hospital.

Si este enfriamiento produce efecto la mayor parte de las veces la evolución será favorable; pero la evolución hacia la insuficiencia renal aguda o una coagulación intravascular diseminada es siempre una posibilidad a tener en cuenta.

### CONCLUSIÓN

Los dos riesgos más graves en la exposición al calor son: la deshidratación y el golpe de calor.

Todo síntoma como mareos, náuseas, vómitos, confusión, taquicardia evidente, sensación de fiebre, piel caliente, pérdida de conciencia momentánea debe llevar a:

- Los trabajadores:

- \* Reposar tumbado en lugar fresco.
- \* Ingesta de agua abundante si no existe pérdida de conocimiento.
- \* Ventilación.
- \* Toma de la temperatura axilar o sublingual.
- \* Aviso al enfermero/a y médico.
- \* Si la temperatura es mayor de 38 °C y la piel seca, comenzar el tratamiento del golpe de calor, avisar a la ambulancia.

- Personal Médico en el puesto de trabajo

- \* Toma de la temperatura central
- \* Valorar la Frecuencia cardiaca y la tensión arterial.
- \* Observar si la piel esta seca.
- \* Observación neurológica
- \* Explorar síntomas del golpe de calor como confusión o/y desorientación.
- \* Vigilar al trabajador los días subsiguientes y valorar la posibilidad de un cambio del puesto de trabajo.
- \* Si existiera cualquier duda ingreso en el hospital y tratamiento como golpe de calor

La formación e información a los trabajadores sobre los riesgos y las formas de prevención secundaria es uno de los ejes importantes.

**CAPITULO IV**

**EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS CLIMÁTICOS**

**INTRODUCCIÓN**

El presente capítulo se basa principalmente en la norma ISO 7726- Ergonomía- Ambientes térmicos: Especificaciones relativas a los aparatos y métodos de medida de las características físicas del medio ambiente.

La citada norma fue traducida a norma EN-27726 en 1993 y desde 1995 es norma UNE- EN-27726. Presenta como objetivos:

- \* definir los términos a utilizar en las diferentes medidas
- \* el establecimiento de especificaciones relativas a los métodos de medida de los parámetros físicos que caracterizan los ambientes térmicos.

En resumen el objetivo fundamental es fijar las características mínimas de los diferentes aparatos de medida, normalizando la recogida de información. La cual servirá como base para el cálculo de los diferentes índices térmicos.

En la tabla siguiente se aprecian los parámetros necesarios para caracterizar un medio ambiente desde el punto de vista térmico. Los llamados *parámetros primarios* son todas y cada una de las *variables independientes* que se utilizan para este fin. En otros casos se utilizan *variables derivadas* que conjugan en una misma medida varias variables primarias, por lo que los llamamos *secundarios*

Tabla IV.1. Parámetros que caracterizan un ambiente

Parámetros Primarios	Parámetros secundarios
1. humedad del aire, Pa	• temperatura húmeda natural(thn) (función de: ta, tr, humedad y Va)
2. temperatura del aire, ta	• temperatura globo negro (tg) (función de: ta, tr y Va)
3. temperatura media radiación, tr	• Temperatura de globo húmedo (función de ta, tr, humedad y Va)
4. Velocidad del aire Va	
5. Metabolismo, M	
6. Aislamiento de los vestidos, clo	

## A. PARÁMETROS PRIMARIOS

Un ambiente desde el punto de vista térmico se define por 6 variables independientes:

- 1) temperatura del aire  $t_a$  (°C, centígrados)
- 2) temperatura media de radiación  $t_r$ (°C)
- 3) Humedad absoluta del aire  $P_a$  (en kilopascales, kPa)
- 4) Velocidad del aire  $V_a$  (en metros/segundo)
- 5) Metabolismo (en wattios, Wattios o Wattios/m<sup>2</sup> de superficie corporal)
- 6) Aislamiento vestimentario (unidades clo).

Las cuatro primeras variables ( $t_a$ ,  $t_r$ ,  $V_a$  y humedad) son dependientes del ambiente de trabajo. El metabolismo y el aislamiento vestimentario de la tarea a desarrollar y del sujeto.

## B. TEMPERATURA DEL AIRE ( $t_a$ , °C)

Es la temperatura del fluido del microclima dentro del cual el hombre maniobra. El captor debe de tener obligatoriamente una buena protección contra el calor radiante.

Los errores mas habituales que se puede cometer a la hora de comprobar sus valores son por:

- \* no tener una adecuada protección contra la radiación térmica
- \* no esperar al tiempo de estabilización del termómetro.

El tiempo de estabilización depende del tipo de captor utilizado:

- \* *Bulbo de Mercurio*: cuya respuesta se sitúa alrededor de 5 minutos. Su gran ventaja es que no necesita mantenimiento.
- \* *Electrónicos* por termistencias, resistencias de platino,...: cuya respuesta es bastante mas corta( 5 a 60 segundos), pero su mantenimiento debe de ser riguroso y periódico.

Una buena protección contra la radiación se puede conseguir con un cilindro de aluminio brillante abierto en sus extremos. Este artificio aumenta el tiempo de respuesta, el cual puede verse reducido si forzamos la ventilación del captor. Este principio se recoge en el aparato llamado *psicrometro.*, del cual se hablara posteriormente.

En todos los casos la precisión de la medida debe situarse entre:

- \* +/- 0.2 °C en la gama de temperatura de 10 a 30°C.
- \* +/- 0.5 °C para el resto de temperaturas (-40 a 120 °C)

## C. HUMEDAD

La humedad es un parámetro primario que puede ser medido a partir de:

- \*  $P_a$ : presión parcial de vapor de agua, en kilopascales kPa.
- \* **HR**: humedad relativa, en porcentaje (%).
- \*  $t_h$ : temperatura húmeda psicrométrica, en °C.

**1)  $P_a$ :** La presión parcial de vapor de agua de una mezcla de aire húmedo, es la presión que ejercería el vapor de agua contenido en la mezcla si este ocuparía el volumen del aire húmedo a la misma temperatura.

Se mide en kilopascales y es la medida de referencia para el cálculo de diversos índices.

**2) HR(%):** La humedad relativa es la relación, en porcentaje, de la presión de vapor de agua existente con respecto a la máxima posible (la cual depende de la temperatura del aire).

Los higrómetros son los aparatos encargados de la medida de la humedad relativa. Existen de dos tipos:

- . de fibra higroscópica, la cual se encoge y estira según la humedad relativa.
- . electrónicos o cloruro de litio, con tiempos de respuesta menores.

En ambos casos el mantenimiento debe ser cuidadoso y la comprobación de las medidas regular.

**3)  $t_h$ :** La temperatura húmeda (psicrométrica) es la temperatura mínima de una superficie de agua ventilada a gran velocidad y, por tanto, expuesta a una evaporación intensa en ausencia de todo aporte calorífico exterior (radiación).

En la descripción del psicrometro se observa un ejemplo para calcular cualquiera de los valores de humedad citados a partir de conocer uno de ellos y la temperatura del aire

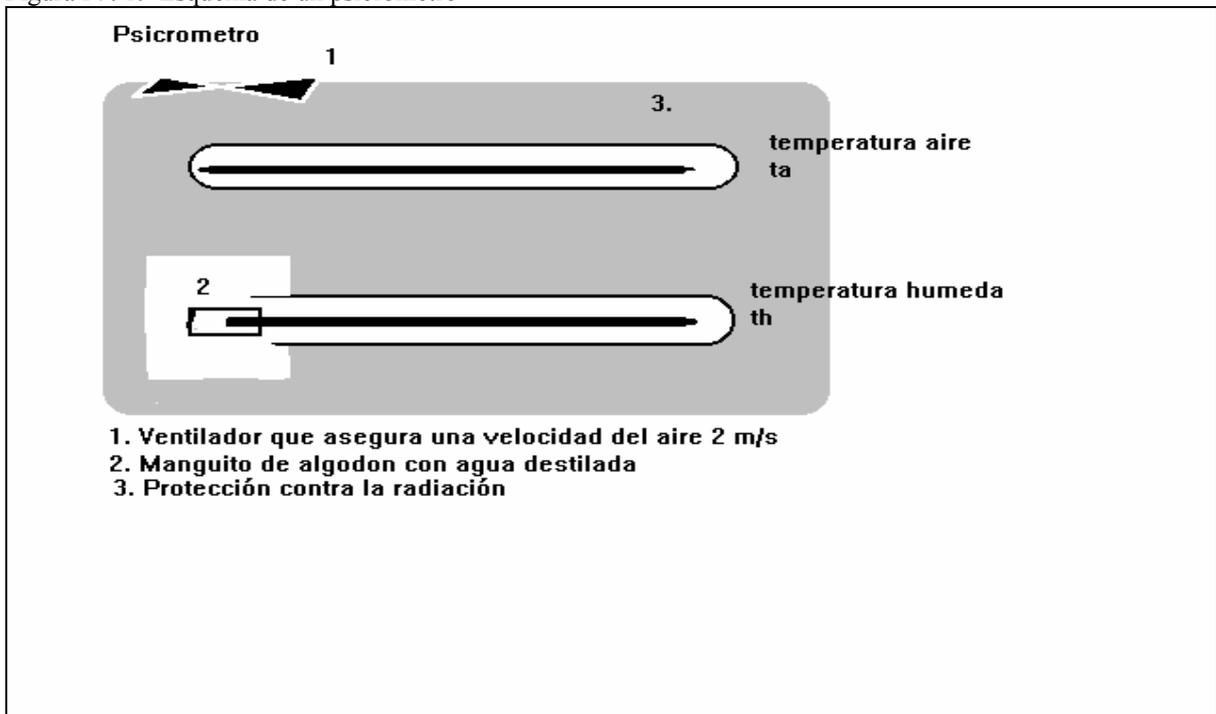
### El Psicrometro (figura 1)

La determinación de la temperatura húmeda ( $t_h$ ) se realiza por medio del aparato llamado Psicrometro, por lo que se le denomina también temperatura húmeda psicrométrica. Este aparato consta de dos termómetros de mercurio protegidos contra el calor radiante y un ventilador que asegura una velocidad del aire mínima de 2 m/s. Uno de los termómetros tiene su captor enfundado en un manguito de fibra vegetal mojado en agua destilada, para la determinación de la temperatura húmeda ( $t_h$ ). En estas condiciones el aparato determina:

- \* temperatura del aire,  $t_a$
- \* temperatura húmeda,  $t_h$

El psicrometro es un aparato que sin ser caro es robusto, ligero y compacto. Ahora bien si no se respetan una serie de normas, a la hora de su construcción (protección contra el calor radiante, ventilador,...) o en el momento de su uso, su precisión será mas que dudosa.

Figura IV. 1.- Esquema de un psicrometro



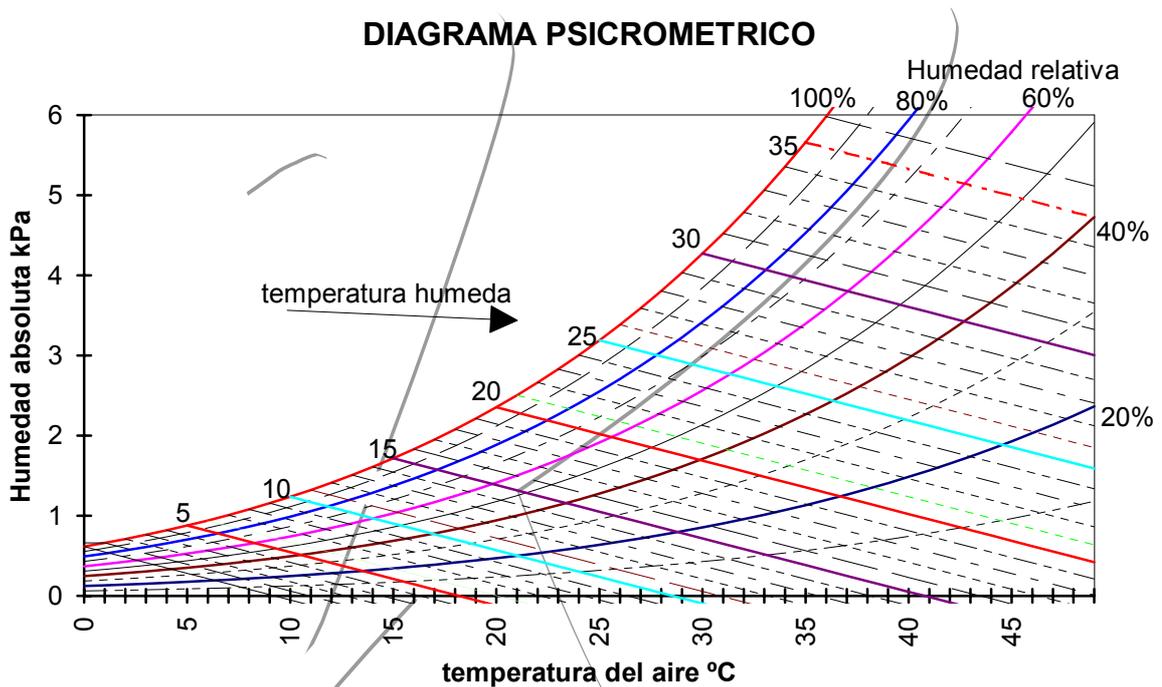
Entre las normas de explotación podemos destacar las siguientes:

1. El psicrometro debe estar 15 minutos en el ambiente a medir antes de la primera medida.
2. El manguito debe ser higroscópico de naturaleza vegetal, evitando las fibras sintéticas o animales. Debe ser recambiado frecuentemente, sobre todo si se utiliza en ambientes polvorientos.
3. El manguito debe estar bien humedecido.
4. Si la radiación exterior es muy intensa, conviene añadir una protección suplementaria (laminas de aluminio doméstico).
5. La ventilación forzada debe ser al menos de 2 m/s. Una velocidad menor supone un aumento de la  $t_h$  acercándose al valor de la temperatura húmeda natural ( $t_{hn}$ ), con la cual no debe ser confundida.
6. El psicrometro debe ser manipulado lo menos posible, evitando falsear con nuestro cuerpo la medida.
7. La primera lectura se debe realizar pasados al menos 4 minutos, se anotara el valor después de haberse comprobado su estabilización a intervalos regulares (10 a 20 segundos).

Todos los valores de humedad citados están unidos matemáticamente. Esta asociación se expresa de manera gráfica en el diagrama psicrometrico (ver figura). Este diagrama es un gráfico con cuatro entradas:

- . eje de ordenadas: temperatura del aire,  $t_a$  (°C)
- . eje de abscisas: presión parcial de vapor de agua,  $P_a$ (kPa)
- . Líneas rectas cruzadas: temperatura húmeda,  $t_h$  (°C).
- . líneas curvas: humedad relativa, HR (%).

En este diagrama conociendo dos de los cuatro valores se conocen el resto.



Ejemplos:

- a) Conociendo  $t_a = 35$  °C y  $P_a = 2.8$  kilopascales:
  1. En la confluencia de las dos coordenadas trazamos un punto.
  2. Siguiendo las líneas rectas cruzadas de manera ascendente conoceremos la temperatura húmeda.  $t_h = 28$  °C.
  3. Siguiendo las líneas curvas conoceremos la humedad relativa. HR= 50 %.
- b) Conociendo  $t_a = 15$  °C y  $t_h = 15$  °C
  1. Trazamos un punto en la confluencia de las dos coordenadas, en la  $t_h$  siguiendo descendentemente las líneas rectas cruzadas.
  2. Siguiendo las coordenadas del eje de abscisas.  $P_a = 1.7$  kPa
  3. Siguiendo las líneas curvas. HR= 100 %
- c) Conociendo  $t_a = 25$  °C y HR= 75 %.  
 Con el mismo esquema anterior:  
 $P_a = 2.4$  kPa y  $t_h = 20.5$  °C.

#### D. TEMPERATURA MEDIA DE RADIACIÓN

Es la temperatura uniforme de una esfera virtual de gran diámetro, negra y mate, que daría lugar a los mismos intercambios por radiación con el cuerpo humano que el medio real considerado. Esta temperatura se evalúa indirectamente a partir de las tres formas siguientes:

- \* temperatura de globo negro estándar  $t_g$  (°C)
- \* temperaturas planas de radiación,  $t_{pr}$  (°C)
- \* integración de diferentes fuentes de calor radiante.

### 1. Temperatura de globo negro, $t_g$ (°C)

Se basa en la medida que ofrece un termómetro con su captor embutido en el centro de una esfera de cobre de 15 cm. de diámetro negra y mate. El fin de este color es la transmisión de las radiaciones térmicas al interior de la esfera.

La temperatura que se obtiene con este aparato es la llamada temperatura de globo negro, la cual es función no solo de la temperatura media de radiación sino también de la Velocidad y temperatura del aire.

El tiempo de respuesta de este termómetro con captor de bulbo de mercurio es de 20 a 30 minutos aproximadamente. Con captores electrónicos el tiempo de respuesta disminuye ligeramente, también disminuye con esferas negras más pequeñas, pero la relación matemática entre las temperaturas cambia (en el anexo de este capítulo se encuentran las diferencias).

Los errores mas comunes de medida se deben a:

1. La emisividad de la superficie debe mantenerse próxima a 0.95, lo cual se consigue renovando la pintura negra y mate.
2. No respetar el tiempo de respuesta de globo negro.
3. Utilización en ambientes no estables.

La temperatura de globo negro estándar es utilizada directamente en el Índice WBGT, el resto de índices considerados utilizan la temperatura media de radiación. El calculo de esta ultima a partir de las medidas de base exige una cuidadosa recogida de los datos.

De todas maneras los errores siempre tienden a acumularse, la norma ISO 7726 tolera precisiones de +/- 2°C en la gama de 10 a 40°C y +/- 5°C fuera de esta gama.

## 2. Temperaturas planas de radiación.

La temperatura plana de radiación se define como la temperatura de la superficie uniforme de un recinto en el que el flujo radiante incidente sobre una pequeña superficie plana es el mismo que en el ambiente real. Es decir lo que determina es los intercambios de radiación en un plano, la cual estará en relación del calor radiante y de su ángulo de incidencia.

La temperatura media de radiación se puede calcular midiendo las temperatura planas de radiación en los seis planos de un cubo.

Los instrumentos necesarios para su calculo suelen ser lo suficientemente sofisticados como para dar:

- la lectura de las temperatura planas de radiación
- la temperatura media de radiación
- la asimetría de esta temperatura.

Esta ultima es interesante en el estudio del confort térmico.

## 3. Integración de las fuentes radiantes de calor.

La temperatura media de radiación puede ser estimada indirectamente a partir de las temperaturas de las paredes, su forma y la posición respecto al cuerpo. Este procedimiento es posible siempre y cuando los elementos a considerar sean pocos, en caso contrario el error puede ser importante.

La dificultad de la técnica y de sus mediciones hace que simplemente sea citada, para mas información recurrir a la norma ISO 7726.

## D. VELOCIDAD DEL AIRE ABSOLUTA Y RELATIVA ( $V_a$ y $V_{ar}$ , m/s)

Los intercambios térmicos por convección y evaporación están influenciados por la velocidad del aire relativa ( $V_{ar}$ ) al cuerpo humano, la cual tiene dos componentes:

- \* la velocidad del aire absoluta ( $V_a$ , m/s)
- \* la velocidad del cuerpo o de un segmento respecto al aire considerado inmóvil.

### 1. Velocidad del aire absoluta ( $V_a$ , m/s)

Este parámetro se define tanto por su intensidad como por su dirección, por consiguiente se determina a través de sondas:

- \* omnidireccionales
- \* captos direccionales en los tres ejes del espacio (x,y,z) y luego se utiliza la formula siguiente:

$$V_a = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$$

La norma ISO 7726 exige una precisión del 5% y la siguiente gama de medidas:

- \* Confort: 0.05 a 1 m/s
- \* Riesgo: 0.2 a 10 m/s

En general los anemómetros a utilizar son de dos tipos: mecánicos y termosensibles. Los primeros se basan en el movimiento que produce el aire en una hélice, suelen ser altamente direccionales y su gama de medida se extiende desde 0.3 a 8 o incluso 20 m/s. En situaciones de confort térmico se

recomienda no sobrepasar los 0.25 m/s, por tanto este tipo de captosres no son validos para el análisis del confort.

Los anemómetros termosensibles se basan en la perdida de calor de un captor. Su direccionalidad depende del tipo de protector que posean y su gama de medidas suele situarse entre 0 a 5 m/s. Este tipo de captosres es valido para el análisis de las situaciones de confort, encontrándose limitado para las situaciones de riesgo con altas velocidades.

La retención de una medida de velocidad del aire puede ser problemática debido a las variaciones instantáneas muy rápidas que presenta este parámetro. Con el objeto de evitarlo existen en el mercado aparatos que promedian la media de un valor después de 30 segundos o un minuto, lo cual aumenta la fiabilidad de la medida.

## 2. Velocidad del aire relativa ( $V_{ar}$ , m/s)

Como ya hemos citado es función de la Velocidad del aire absoluta ( $V_a$ ) y de un valor dependiente de la actividad ( $V_M$ ). Este segundo valor se puede calcular por cualquiera de los dos métodos expresados en anexo.

## G. PARÁMETROS SECUNDARIOS

Existen otros parámetros ambientales que son derivados de los primarios ( $t_a$ ,  $t_r$ ,  $V_a$  y  $P_a$ ) y en realidad representan la unión de varios de ellos en un aparato. Algunos ya han sido vistos como el termómetro de globo negro.

Entre estos parámetros llamados secundarios se encuentran:

**a) Temperatura húmeda natural  $t_{hn}$** , se obtiene con el termómetro húmedo del psicrometro no ventilado y expuesto a la radiación térmica. Es función de:

- . humedad del aire,  $P_a$
- . temperatura del aire,  $t_a$
- . temperatura media de radiación.  $t_r$
- . Velocidad del aire,  $V_a$

Esta  $t_{hn}$  no se debe confundir con la temperatura húmeda psicrometrica ( $t_h$ )

La forma de entrar en juego estos factores es dependiente en gran medida de la concepción del aparato: espesor, longitud y calidad del manguito húmedo, tipo de captor y sus dimensiones. Por estas razones la norma específica (ISO 7243, UNE-EN 27243) da instrucciones precisas sobre su construcción, a pesar de todo es difícil encontrar dos valores iguales en las mismas condiciones ( Mairiaux-Malchaire, 1990).

Este parámetro es fundamental para el calculo del índice WBGT.

**b) Temperatura de globo negro estándar  $t_g$** , función de:

- . temperatura del aire,  $t_a$
- . temperatura media de radiación,  $t_r$
- . velocidad del aire,  $V_a$

c) **Temperatura de globo húmedo ( $t_{gh}$ )**, la cual es función de los mismos parámetros que la  $t_{hn}$ , pero ligados de diferente manera. No se debe confundir con el Índice WBGT.

## CONCLUSIÓN

Existen cuatro parámetros de ambiente llamados primarios que sirven para caracterizar un ambiente desde el punto de vista térmico:

- \*Temperatura del aire  $t_a$
- \*Humedad  $P_a$
- \* Temperatura media de radiación  $t_r$
- \* Velocidad del aire  $V_a$ .

Las características de las medidas están resumidas en las tablas IV.3..

Los valores llamados secundarios ( $t_{hn}$ ,  $t_g$ ) sirven para el calculo directo de algunos índices (WBGT), pero tienen el problema de esconder la realidad del ambiente a estudio, ya que sus valores son fuertemente dependientes de los valores primarios los cuales se desconocen.

Existen en el mercado aparatos que calculan directamente el índice WBGT, los cuales tienen el mismo problema que las medidas que lo soportan.

Si no se dispone de los aparatos necesarios una buena inversión inicial, con una calidad aceptable y costo razonable se obtiene con: Un psicrometro, un termómetro de globo negro y un anemómetro.

Como conclusión final es ciertamente muy aconsejable la determinación de los valores primarios y calcular los secundarios a partir de ellos.

## ANEXO FÓRMULAS

### Humedad relativa

$$HR = \frac{P_a}{P_{s,t_a}} * 100$$

- HR = humedad relativa
- $P_a$  = presión parcial de vapor de agua.
- $P_{s,t_a}$  = presión saturante a la temperatura  $t_a$ .

Este valor  $P_{s,t_a}$  es la máxima presión parcial de vapor de agua posible a la temperatura  $t_a$ . Calculada por la formula:

$$P_{s,t_a} = 0.615 \exp[17.27 * t_a / (t_a + 237.3)]$$

### *Temperatura húmeda psicrometrica*

La relación matemática entre la temperatura húmeda y la presión parcial de vapor de agua es:

$$P_a = P_{s,th} - \frac{t_a - t_h}{15}$$

$P_a$  = presión parcial de vapor de agua

$P_{s,th}$  = presión saturante a la temperatura  $t_h$

$t_a$  = temperatura del aire

$t_h$  = temperatura húmeda

### Temperatura globo negro- temperatura media de radiación

El tamaño del globo negro determina que tenga intercambios en su superficie por convección, lo que provoca que la temperatura de globo,  $t_g$ , es función también de:

- \* la temperatura media de radiación  $t_r$
- \* la temperatura  $t_a$
- \* la velocidad del aire  $V_a$ .

Conociendo las tres variables  $t_g$ ,  $t_a$  y  $V_a$  se puede calcular la temperatura media de radiación ( $t_r$ ) a partir de la fórmula siguiente:

$$t_r = \sqrt[4]{(t_g + 273)^4 + 2.5 * 10^8 * V_a^{0.6} * (t_g - t_a)} - 273$$

### Termómetros de globo negro No estandar

Los tiempos de espera del globo negro pueden verse disminuidos mediante la utilización de esferas mas pequeñas, las cuales serán mas sensibles a los intercambios por convección. Existe una fórmula general, en la cual es necesario conocer los datos anteriores y el diámetro de la esfera y el tipo de recubrimiento:

$$t_r = \sqrt[4]{(t_g + 273)^4 + \frac{1.1 * 10^8}{D^{0.4} * e_g} * V_a^{0.6} * (t_g - t_a)} - 273$$

D= diámetro de la esfera

$e_g$ = emisividad de la superficie( negra y mate = 0.95)

### Calculo Velocidad del aire relativa

La velocidad del aire relativa se calcula a través de estas dos fórmulas:

$$V_{ar} = V_a + V_M$$

$$V_{ar} = \sqrt{V_a^2 + V_M^2 + 2 * V_a * V_M * \cos \alpha}$$

La primera de las expresiones es valida si el trabajador no se desplaza, la segunda si el sujeto esta en movimiento.

\*  $V_M = 0.0052 (M - 58)$

M= metabolismo en watos/m<sup>2</sup>.

\*  $V_M$  a partir de la tabla V. 2.

Este valor  $V_M$  se limita, de todas maneras, en su rango superior a 0.7 m/s.

Temperatura húmeda natural

La  $t_{hn}$  puede a ser evaluado a partir de los parámetros primarios según la expresión siguiente, la cual solo se puede solucionar por iteración sucesiva:

$$4.182 V_a^{0.444} (t_a - t_{hn}) + 10^{-8} (T_r^4 - t_{hn}^4) + 77.115 V_a^{0.421} (P_a - P_{hn}) = 0$$

$V_a$  = velocidad absoluta del aire (m/s)

$t_a$  = temperatura del aire (°C)

$t_{hn}$  = temperatura húmeda natural (°C)

$T_r$  = temperatura absoluta media de radiación (°K)

$T_{hn}$  = temperatura absoluta húmeda natural (°K)

$P_a$  = presión parcial de vapor de agua (kPa)

$P_{hn}$  = presión saturante de vapor de agua a la temperatura  $t_{hn}$

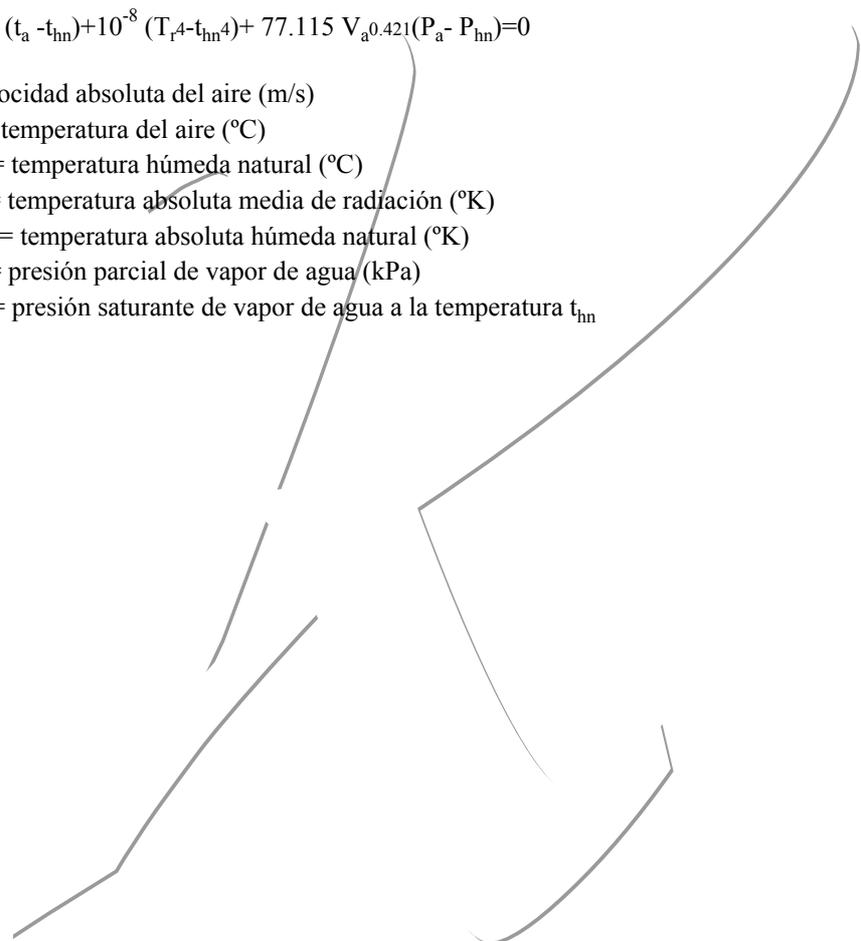


Tabla IV. 3- Características de los aparatos de medida

Parámetro	CONFORT -C-			RIESGO -R-			Observaciones
	Gama de medida	Precisión	Tiempo de respuesta	Gama de medida	Precisión	Tiempo de respuesta	
<b>temperatura del aire</b> <b>ta</b>	10 a 30 °C	Específica: ± 0.2 °C Aconsejable: ± 0.1 °C Esta precisión debe ser mantenida para:  tr-ta  = 10 °C	Lo más bajo posible. Dependiente de las características del aparato	-40 a 120 °C	Específica: ± 0.5 °C Aconsejable: ± 0.2 °C Esta precisión debe ser mantenida para:  tr-ta  = 10 °C	Lo más bajo posible. Dependiente de las características del aparato	El captor de la temperatura del aire debe estar protegido contra el calor radiante. Es aconsejable retener un valor medio en un minuto
<b>Velocidad del aire</b> <b>Va</b>	0.05 a 1 m/s	Específica: ± 0.05+0.05 Va m/s Aconsejable ± 0.02+0.07 Va  m/s (Garantizadas en cualquier dirección)	Específica < 1 s Aconsejable: < 0.5 s	0.2 a 10 m/s	Específica: ± 0.01+0.05 Va m/s Aconsejable ± 0.05+0.05 Va  m/s (Garantizadas en cualquier dirección)	Lo más bajo posible. Dependiente de las características del aparato	Salvo corriente de aire unidireccional, el captor debe medir la Velocidad eficaz. Un valor medio en un minuto es aconsejable El grado de turbulencia es importante para el estudio del confort En ambientes fríos medir siempre con aparatos C (confort)
<b>Humedad absoluta</b> <b>Pa</b>	0.5 a 2.5 Kpa	±0.15 Kpa Mantenida para temperaturas del aire y de las paredes iguales o superiores a 30°C y  tr-ta =10 °C	Lo más bajo posible dependiente de las características del aparato	0.5 a 6.0 kpa	±0.15 Kpa Mantenida para temperaturas del aire y de las paredes iguales o superiores a 30°C y  tr-ta =10 °C	Lo más bajo posible dependiente de las características del aparato	

Tabla IV. 3- Características de los aparatos de medida

Parámetro	CONFORT -C-			RIESGO -R-			
	Gama de medida	Precisión	Tiempo de respuesta	Gama de medida	Precisión	Tiempo de respuesta	Observaciones
<b>temperatura media de radiación</b> <b>tr</b>	10 a 40 °C	Específica: ± 0.2 °C Aconsejable: ± 0.1 °C Esta precisión es difícil de mantener con el material habitual. Indicar la precisión real.	Lo más bajo posible. Dependiente de las características del aparato	-40 a 150 °C	Específica: ± 0.5 °C Aconsejable: ± 0.2 °C Esta precisión es difícil de mantener con el material habitual. Indicar la precisión real.	Lo más bajo posible. Dependiente de las características del aparato	Si la medida es efectuada con globo negro, la imprecisión de la medida puede ser del orden de 5°C en confort y 10°C en riesgo, según la precisión de Va, ta y tg.
<b>Asimetría de radiación</b>	0 a 20 °K	Específica: ± 0.1 °C Aconsejable: ± 0.05 °C	Lo más bajo posible. Dependiente de las características del aparato	0 a 200 °K	Específica: entre 0-20°K: ±2°K de 20-200°K: ±0.1°K Aconsejable entre 0-20°K: ±1°K de 20-200°K: ±0.05°K	Lo más bajo posible. Dependiente de las características del aparato	
<b>temperatura de globo negro</b> <b>tg</b>	No recomendado			0 a 40 °C	±0.5 °C	idem	idem
<b>temperatura húmeda natural</b> <b>thn</b>	No recomendada			0 a 40 °C	±0.5 °C	Valor a precisar. característico del aparato	Captor determinado

## EVALUACION DEL CALOR METABOLICO Y AISLAMIENTO VESTIMENTARIO

### INTRODUCCION

Estos dos parámetros primarios forman un conjunto con los estudiados en el capítulo anterior y son imprescindibles para la caracterización de un ambiente.

La evaluación del calor metabólico se basa en la norma ISO 8996, publicada en diciembre de 1990, es norma EN 28996 desde 1993 y UNE-EN 28996 desde 1995. El aislamiento vestimentario se calcula a partir del proyecto de norma ISO 9920.

### A. EVALUACION DEL CALOR METABOLICO

La primera consideración es que la norma calcula la producción de calor metabólico (metabolismo) en vatios o vatios por m<sup>2</sup> de superficie corporal.

Se establecen las siguientes correspondencias:

1 kcal/minuto= 70 W
100 kcal/hora = 116,6 W
1 MET= 100 W = metabolismo en reposo

Para el cálculo de la superficie corporal se puede utilizar la fórmula de Dubois:

$$\text{Superficie corporal} = 0,202 * \text{peso}^{0,425} * \text{talla}^{0,725} (m^2)$$

Como se observara en el desarrollo de este capítulo 1 met, corresponde al metabolismo de reposo sentado.

En la norma ISO 8996 se indican varios niveles de determinación del metabolismo, los cuales se reflejan en la tabla V.1.

**Tabla V.1.- Métodos de determinación del gasto energético (UNE-EN 8996)**

Nivel	Método	Precisión	Estudio puesto trabajo
I	A Clasificación en función del tipo actividad	Grosera. Riesgo de error importante	No Necesaria
	B Clasificación en función de la profesión		Información sobre el equipamiento técnico y la organización del trabajo
II	A Estimación a partir de los componentes de la actividad	Riesgo elevado de error	Estudios de tiempo necesario
	B. Tablas estimación de la actividad tipo	Precisión $\pm 15\%$	
	C Utilización de la frecuencia cardíaca, dentro de las condiciones definidas		No es necesario
III-	Medición Consumo de oxígeno	Riesgo de error dentro de los límites de precisión de la medida y el estudio de tiempos  Precisión $\pm 5\%$	Estudio de tiempos necesario

Las técnicas citadas se pueden dividir en 3 grupos:

1. **Metodos de Tabla (métodos I, IIA y IIB)**, en el que el cálculo se realiza por los valores expresados en diferentes tablas. Los errores que puede cometerse se deben fundamentalmente a las diferencias a nivel entre observadores y su nivel de formación.
2. **Metodo de la frecuencia cardiaca (IIC)**, el cual exige una relación Frecuencia cardiaca-metabolismo adecuada.
3. **Determinación directa del consumo de oxígeno**, que es el metodo de referencia, a pesar del 5% de error posible.

### 1. Tablas de estimación del metabolismo.

#### a) Clasificación del metabolismo por tipo de actividad (I.A.)

La tabla V.2. clasifica los metabolismos en reposo, débil moderado, elevado y muy elevado. Por lo tanto da una información grosera de la producción de calor interna. Esta tabla es necesaria para que las referencias de ligero o pesado sean validas para todos los observadores.

**Tabla V.2.- Determinación del metabolismo por tipo de actividad (NIVEL IA)**

Metabolismo	W/m <sup>2</sup>	W	Ejemplo
Reposo	65	115	
Debil	100	180	Sentado:• Trabajo manual ligero:escritura, mecanografía, contabilidad • Trabajo de manos y brazos: inspección, ensamblado o selección de material ligero. • Trabajo de piernas y brazos: Conducción, interruptores de pie De pie:• Taladrar o fresar piezas, bobinado, enrollar pequeñas armaduras, marcha ocasional
Moderado	165	295	• Trabajo sostenido de manos y brazo: clavar, limar • Trabajo de manos y de piernas: conducción de camiones o tractores • Trabajo de brazos y tronco: con martillo neumatico, empujar vehiculos, enyesado, manipulación intermitente de materiales moderadamente pesados, escardado, recolección de frutas • Empujar carretas ligeras o carretillas • Marcha a velocidad normal (3,5 a 5.5 Km/h) • Forja
Elevado	230	415	• Trabajo intenso de brazos y tronco; transporte de materiales pesados, palear, serrar, cepillar o cincelar madera dura, segar a mano, cavar, andar rapido (5.5 a 7 km/h). • Empujar carretas a mano o carretillas pesadas, levantar piezas moldeadas.
Mu elevado	290	520	• Marcha muy rapida, trabajo con hacha, cavar con intensidad, subir escaleras, rampasa o escalas.

**b) Tablas de estimación del metabolismo por profesiones (I.B.)**

La tabla V.3. da los metabolismos medios de una jornada de trabajo de diferentes profesiones, sin tener en cuenta los largos reposos (como la comida del mediodía). Evidentemente no representa mas que otra aproximación grosera al metabolismo real del sujeto.

**Tabla V.3. Estimación por profesiones (NIVEL I B)**

Profesiones	Metabolismo W/m2
<b>Artesanos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Albañil</li> <li>• Carpintero -Vidriero</li> <li>• Pintor</li> <li>• Carnicero</li> <li>• Panadero</li> <li>• Relojero</li> </ul>	<p>110-160</p> <p>110-175</p> <p>90-125</p> <p>105-140</p> <p>110-140</p> <p>55-70</p>
<b>Industria Minera</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Picador de hulla</li> <li>• Obrero de horno de cocke</li> </ul>	<p>140-240</p> <p>115-175</p>
<b>Industria siderurgica</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Obrero de alto horno</li> <li>• Obrero de horno electrico</li> <li>• Moldear a mano</li> <li>• Fundidor</li> </ul>	<p>170-220</p> <p>125-145</p> <p>105-165</p> <p>140-240</p>
<b>Herrería y Serrería</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Herrero</li> <li>• Soldador</li> <li>• Tornero</li> <li>• Fresador</li> <li>• Mecánico de precisión</li> </ul>	<p>90-200</p> <p>75-125</p> <p>75-125</p> <p>80-140</p> <p>70-110</p>
<b>Imprenta</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compositor manual</li> <li>• Encuadernador</li> </ul>	<p>70-95</p> <p>75-100</p>
<b>Agricultura</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jardinero</li> <li>• Conductor de tractor</li> </ul>	<p>110-190</p> <p>85-110</p>
<b>Conducción</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Coche</li> <li>• Autobús</li> <li>• Tranvia</li> <li>• Grúa</li> </ul>	<p>70-90</p> <p>75-125</p> <p>80-115</p> <p>65-145</p>
<b>Diversas</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Laboratorio</li> <li>• Profesor</li> <li>• Vendedor</li> <li>• Secretaria</li> </ul>	<p>85-100</p> <p>85-100</p> <p>100-120</p> <p>70-85</p>

c) Tablas de estimación del metabolismo según la actividad (II.A.)

El metabolismo de una persona se puede estimar sumando los diferentes componentes de la actividad. El metabolismo de una actividad concreta se compone de (Ver tabla V.4):

- Metabolismo de base +• postura +• actividad + • desplazamiento y su velocidad

Para el cálculo del valor metabólico de un gesto o movimiento se suman los valores correspondientes a cada componente. El metabolismo basal de la tabla se corresponde con una persona estándar como la siguiente:

- Hombre: 170 cm, 70 Kg, 1,8 m<sup>2</sup> de superficie corporal, 35 años.
- Mujer: 160 cm, 60 Kg, 1,6 m<sup>2</sup> de superficie corporal, 35 años

Ejemplo: Albañil masculino que en el momento del estudio está realizando su trabajo en cuclillas y consiste en picar con un martillo una base de hormigón duro, lo realiza con piqueta (una mano)

- 140 W/m<sup>2</sup> = 44 + 20 + 75 + sin desplazamiento.
- Total = • Met. de base +• postura +• actividad + • desplazamiento y su velocidad

Como se observa cada gesto tiene un valor metabólico determinado. Un trabajo se caracteriza por diferentes gestos. Para calcular el metabolismo medio de todo el trabajo es necesario conocer el tiempo de cada una de las actividades. El valor metabólico medio se obtiene ponderando por el tiempo de cada una de las actividades:

$$M = \sum m_i t_i / T$$

- M = Metabolismo medio
- m<sub>i</sub> = metabolismo de la actividad i
- t<sub>i</sub> = tiempo de duración de la actividad i
- T = tiempo total.

Es decir la técnica completa requiere:

- \* Reconocimiento de cada gesto
- \* Cronometraje

Este método puede llevarse a cabo a partir de la observación directa o la grabación en video de varios ciclos de trabajo y el reconocimiento de los gestos (codificación). Evidentemente el segundo método tiene la ventaja de poder codificar con más tranquilidad repitiendo las veces que sea necesario.

La codificación de las actividades se puede realizar:

- con papel, lápiz y cronómetro
- con la ayuda de un ordenador, en el cual el analista introduce la postura y el ordenador cronometra.

Tabla V.4- Estimación del metabolismo según la actividad en w/m2(NIVEL II.A.)

METABOLISMO DE BASE			
Hombre		44 w/m2	Mujer
			41 W/m2
POSTURA			
Sentado		10 W/m2	
Arrodillado		20	
De cuclillas		20	
De pie		25	
De pie inclinado		30	
ACTIVIDAD			
Tipo de Trabajo		Valor medio	Intervalo
• Con las manos	Ligero	15	< 20
	Medio	30	20-35
	Pesado	40	>35
• Con un brazo	Ligero	35	<45
	Medio	55	45-65
	Pesado	75	>65
• Con dos brazos	Ligero	65	< 75
	Medio	85	45-65
	Pesado	105	> 95
• Con el cuerpo	Ligero	125	< 155
	Medio	190	155-230
	Pesado	280	230-330
	Muy pesado	390	> 330
DESPLAZAMIENTO*			
Andar entre 2 a 5 km/h		110	
Subir: velocidad 2-5 km/h: Pendiente 5°		210	
Pendiente 10 °		360	
Bajar velocidad 5 km/h: Inclinación 5°		60	
Inclinación 10°		50	
Andar con una carga 10 Kg al dorso, 4 Km/h		125	
carga 30 Kg		185	
carga 50 Kg		285	
Subir por una escalera		1.725	
Descender por una escalera		480	
Subir una escala inclinada: Sin carga		1.660	
Con 10 Kg de carga		1.870	
Con 50 Kg de carga		3.320	
Subir por una escala vertical: Sin carga		2.030	
Con 10 Kg de carga		2.335	
Con 50 Kg de carga		4.750	

Los valores del desplazamiento incluyen la Postura y sus unidades son W/m2 por m/s. Es decir necesitan corrección según la velocidad del sujeto.

Este método aumenta su fiabilidad en el caso de trabajos de ciclo corto y repetido. En este caso las secuencias de trabajo y por lo tanto sus gestos se repiten.

Como conclusión se puede decir que es un método fiable sobre todo en los casos de ciclos cortos y repetidos, mejorando con una codificación informatizada de los gestos y las posturas.

- Ejemplo (tabla V.4.): Un administrativo femenino trabaja en un archivo. Durante 1,5 horas a la mañana su trabajo consiste en introducir al ordenador los numeros de historia que le han pedido en consultas externas de un hospital. Durante 0,5 horas lleva las historias hasta un mostrador donde las deja y recoge otras hasta otro mostrador. Normalmente las lleva en bloques de tres historias.

Cual es el costo energetico de estas 2 horas de trabajo:

	Basal	Postura	Actividad	Movimiento	Total
Introducir datos	41	10 sentado	15 ligero manos	0	66
Llevar h°	41	0 incluido en movimiento	15 ligero con un brazo	110 andar	166

Metabolismo medio =  $(66 * 1.5 \text{ horas} + 166 * 0.5 \text{ horas}) / 2 \text{ horas} = 182 \text{ W/m}^2$

Su valor en watos y aproximado a multiplos 5:  $182 \text{ W/m}^2 * 1.6 \text{ m}^2 = 290 \text{ W}$

d) Tablas indicando el metabolismo por actividades tipo (IIB)

En realidad se utiliza el mismo sistema de calculo que el punto anterior con la diferencia de la utilización de la tablas V.5.- metabolismo por actividades tipo de las paginas siguientes

Tabla 7.5- Cálculo metabolismo por actividades tipo

Actividad	W/m <sup>2</sup>
<b>1. Actividades de base</b>	
<b>1.1. Andar en llano</b>	
2 km/h	110
3 km/h	140
4 km/h	165
5 km/h	200
<b>1.2. Subir a 3 Km/h</b>	
pendiente de 5°	195
pendiente de 10°	275
pendiente de 15°	390
<b>1.3. Bajar a 5 km/h</b>	
pendiente 5°	130
pendiente 10°	115
pendiente 15°	120
<b>1.4. Subir escalera 172cm/escalón</b>	
80 escalones/minuto	440
<b>1.5. Descender escalera</b>	
80 escalones/minuto	155
<b>1.6 Transportar una carga en llano:</b>	
10 Kg	185
30 Kg	250
50 Kg	360
<b>2. PROFESIONES</b>	
<b>2.1. Construcción</b>	
ladrillo macizo (3.8 kg)	150
ladrillo Hueco (4.2 kg)	140
ladrillo Hueco (15.3 kg)	135
ladrillo Hueco (23.4 Kg)	125
<b>2.1.2 Prefabricación de productos acabados en hormigón: encofrado-desencofrado</b>	
Colocar armaduras acero	130
Colocar hormigón	180
<b>2.1.3 Construcción de paredes de:</b>	
cemento amasado	155
colado de cemento para cimientos compactado por vibración	275
encofrado	220
carga carretilla con piedra-mortero	180
	270
<b>2.2 Industria Siderurgica</b>	
<b>2.2.1 Alto Horno</b>	
preparación canal colada	340
taladras	430
<b>2.2.2. Moldeado a mano</b>	
moldeado con piezas medianas	285
comprimir con martillo neumático	175
moldeado piezas pequeñas	140
<b>2.2.3. Moldeado a máquina</b>	
desmoldeado	125
moldeado, colado por un hombre	220
moldeado, colado por dos hombre	210
moldeado, colada suspendida	190
<b>Actividad</b>	<b>W/m<sup>2</sup></b>

<b>2.2.4. Taller de acabado</b> con martillo neumático moler, cortar	175 175
<b>2.3. INDUSTRIA FORESTAL</b>	
<b>2.3.1. Transporte</b>	
Marcha y transporte(7 kg) en el bosque a 4 km/h	285
llevar tronadora:18 Kg a 4 km/h	385
trabajo con hacha de 2 Kg 33 golpes/minuto	500
cortar raíces	375
poda de árboles	415
<b>2.3.2. Serrar</b>	
Corte a contrahilo, dos hombres 60 golpes/min, 20 cm <sup>2</sup>	415
40 golpes/min, 20 cm <sup>2</sup>	240
Abatir con la tronadora un hombre	235
dos hombres	205
Corte a contrahilo con tronadora un hombre	205
dos hombres	190
Quitar la corteza valor medio en verano	225
valor medio en invierno	390
<b>2.4. AGRICULTURA</b>	
Cavar - 24 golpes/min	380
Labrar con arado y caballos	235
Labrar con tractor	170
Fertilizar a mano	280
semillero tirado por animales	250
tractor	95
Segar	170
<b>2.5. DEPORTES</b>	
<b>2.5.1. Carrera</b>	
9 km/h	435
12 Km/h	485
15 Km/h	550
<b>2.5.2. Ski en llano, buena nieve</b>	
7 Km/h	350
9 Km/h	405
12 Km/h	510
<b>2.5.3. Patinaje</b>	
12 Km/h	225
18 Km/h	360
<b>2.6. TRABAJOS DOMESTICOS</b>	
menaje	100-200
cocinar	80-135
fregar la vajilla	145
lavado a mano	120-220
rasurado a mano	100

## 2. Medición del consumo de oxígeno (nivel III)

La valoración del consumo de oxígeno se igual a la diferencia entre la cantidad de oxígeno inspirada y la espirada, calculada en un tiempo determinado. Normalmente se calcula en litros de oxígeno por minuto.

Existen aparatos portátiles, mas o menos ligeros que permiten una fiabilidad entre el 5 al 10%. Estos aparatos son una especie de mochila ajustable a la espalda, con unos tubos que se unen a una mascarilla por la que el sujeto respira.

Los datos necesarios para el calculo son la concentración de oxígeno a la inspiración y a la espiración así como el débito ventilatorio en un minuto. Es decir se calcula a partir de:

- la concentración por litro de oxígeno a la entrada (inspiración) y a la salida (espiración)
- el volumen de aire por minuto.

Es el método mas fiable para el conocimiento del metabolismo de trabajo pero su puesta en practica no esta exenta de problemas:

- El costo de los aparatos es elevado.
- El efecto observador. La medida requiere la presencia del observador a proximidad del trabajador, lo cual unido al incomfort del aparato pueden inducir modificaciones en el comportamiento del trabajador.
- Aceptabilidad por parte del trabajador. El trabajador debe respirar con una máscara a la vez que realiza su tarea, lo cual es dificilmente aceptable.
- El peso del aparato. Aunque hoy día los aparatos son ligeros introducen un peso adicional, con lo cual tenemos una fuente de error, mas importante cuanto menos ejercicio exija la tarea.

En la practica solo es valido para trabajos físicos importantes.

## 3. Estimación del metabolismo a partir de la frecuencia cardiaca

### a) Introduccion

Este tipo de estimaciones se basan en que existe una relación entre la Frecuencia cardiaca y el gasto energetico de un sujeto. Asimismo se basa en que esta relación es de tipo lineal. Todo esto no es más que una simplificación de un proceso más complejo.

La propia norma UNE-EN 28996 dice que la relación Frecuencia cardíaca-Metabolismo es recta en la "zona media" de toda la curva. Es decir entre los rangos de Frecuencia cardíaca que se encuentran a partir de 120 ppm (el componente nervioso es mínimo) hasta unas 20 ppm menor que la máxima. Esta interpretación se discute más adelante

Hoy en día existen en el mercado diversos sistemas de recolección continua de la frecuencia cardiaca fiables, simples y aceptables para el trabajador. Los datos recogidos pueden ser transmitidos a un ordenador compatible. De esta forma conocemos un parámetro fundamental de la respuesta fisiologica de un sujeto en su trabajo, nos queda la metodología necesaria para poder explotar estos datos.

El registro de la frecuencia cardiaca comienza después de haber recabado los datos siguientes del trabajador: edad, sexo, talla, peso; siendo interesante conocer su carácter fumador o no.

Después se colocara el aparato de monitorizacion, compuesto de un cinturón torácico y un reloj. El primero contiene dos electrodos electrocardiográficos y emite radiofónicamente la frecuencia cardiaca, la cual es captada por el reloj de pulsera. Este segundo elemento es un microordenador capaz de registrar y almacenar los datos sobre frecuencia cardiaca.

Al final de la grabación se podrán pasar estos datos a un ordenador compatible, comenzando la explotación de los detalles de la siguiente manera:

- \* Análisis de la gráfica.
- \* Obtención del metabolismo equivalente, es decir el metabolismo que, en una prueba de esfuerzo, habría dado lugar a la frecuencia cardiaca media FCm.
- \* Descomposición de la FC, la FC térmica e isométrica.

#### b) Análisis gráfico

Su interés radica en el estudio cualitativo de las respuestas fisiológicas del sujeto, observando en un primer golpe las distintas fases de trabajo, pudiendo orientar si hay algún período crítico, ya sea por las propias capacidades del trabajador o de la tarea que realiza.

#### c) Metabolismo equivalente

Si conocemos la relación FC-M, mediante una prueba de esfuerzo: al conocer la FC conocemos el metabolismo.

Esta relación, simplificando, sigue un modelo lineal recto como el siguiente:

$$FC = a + b M$$

Los factores "a" y "b" se pueden estimar en ausencia de prueba de esfuerzo de la siguiente manera.

Para caracterizar una recta con conocer dos puntos es suficiente, si además son el más "alto" y el más "bajo" conocemos todo el recorrido de la relación entre la FC y M:

- el más alto (FCmax-Mmax)
- el inferior (FCo- Mo)

Las formulas a utilizar para estimar estos cuatro datos son:

- 1°  $FC_{max} = 205.5 - 0.62 * \text{edad}$  (Chaffin, 1966)
- 2°  $M_{max} = (75 - 0.4 * \text{edad}) * \text{Peso}^{2/3}$  (Hombres)  
 $M_{max} = (56 - 0.35 * \text{edad}) * \text{Peso}^{2/3}$  (Mujeres).  
 (unidades: edad en años, peso en kgs y metabolismo en Watios)
- 3°  $FC_o$ : se obtiene teniendo al sujeto sentado durante 5 minutos en ambiente neutro.
- 4°  $Mo = 105 \text{ W}$  hombres ( $105 \text{ W}$ ) (=  $M_{basal}$ +posicion sentado)  
 $95 \text{ W}$  mujeres ( $95 \text{ W}$ ) (=  $M_{basal}$ +posicion sentado)

De acuerdo con estas consideraciones la pendiente de la recta ( factor "b") se calcula de la siguiente manera:

$$b = \frac{FC_{max} - FC_o}{M_{max} - Mo}$$

La intersección o factor "a" de la recta se calcula por la formula:

$$a = FC_o - b Mo$$

Si conocemos  $FC_m$  podemos calcular fácilmente el Metabolismo equivalente por la formula:

$$FC_m = a + b Meq$$

#### d). Descomposición de la FC: FC térmica e isométrica

La frecuencia cardiaca en un momento dado se puede considerar como la suma de las frecuencia siguientes:

- reposo ( $FC_o$ )
- metabolica ( $FC_m$ )
- isométrica ( $FC_i$ )
- térmica ( $FC_t$ )
- neurogena ( $FC_n$ )
- error

$$FC = FC_o + FC_m + FC_i + FC_t + FC_n + \text{error}$$

El calculo del metabolismo a partir de la frecuencia cardiaca es valido si lo que hemos recogido son los dos primeros componentes ( FC basal y metabolica). En este punto vamos a comentar el resto:

- La  $FC_n$  (neurogena) y el error tienden a desaparecer si el trabajo necesita un ejercicio fisico moderado o intenso.
- La  $FC_t$  (térmica) solo aparece si hay una exposición al calor evidente. Ella va a ser la causa de una sobrestimación del metabolismo del trabajo, ahora bien se puede estimar de la siguiente manera:
  - a°\* Calculamos el metabolismo por el método descrito de la FC (sobrestimado) .
  - b°\* Calculamos el metabolismo por la medida directa del consumo de oxígeno o por la Descomposición de movimientos y gestos. Estos métodos no tienen en cuenta la sobrestimación citada anteriormente.
  - c°\* La diferencia entre los puntos a\* y b\* es la sobrestimación del calculo de la  $FC_t$  (térmica).

Existe un segundo método para conocer la sobrecarga cardiaca en la exposición al calor: *FC a los 4 minutos de reposo*.

Este se basa en que a los 4 minutos de cesar el ejercicio las FCm(metabolica) y FCi(isométrica) desaparecen, no así la FCt(térmica). En ese momento la FC es función de la FCo y la FCt, si conocemos la basal(FCo) es facil obtener la termica. Se puede mejorar este conocimiento de la FCt haciendo la media del 3º, 4º y 5º minuto después del ejercicio y restandole el valor basal:

$$FC^* = \frac{FC3 + FC4 + FC5}{3}$$

$$FCt = FC^* - FCo$$

- La FCi(isométrica) va a inducir una sobrestimación semejante a la producida por la FCt y en realidad con el primer método citado descomponemos la frecuencia cardiaca térmica e isométrica, siendo imposible separarlas mas que con la observación del trabajo y comprobar la existencia de ejercicios isométricos o no, también puede ayudarnos el método de la FC a los 4 minutos después del ejercicio.

En cuanto al limite de tolerancia de la frecuencia cardiaca termica se aconseja como maximo 30 pulsaciones por minuto.

## B. EVALUACION DEL AISLAMIENTO DE LOS VESTIDOS

Los vestidos reducen el volumen de los intercambios térmicos, modificando los coeficientes de convección, radiación y evaporación.

Esta influencia es medida a partir del parámetro llamado "aislamiento térmico vestimentario" y es expresado en grados centígrados/ metro cuadrado/ watio ( $^{\circ}\text{C}/\text{m}^2/\text{W}$ ) o en la unidad llamada clo.

$$1 \text{ clo} = 0.155 \text{ } ^{\circ}\text{C}/\text{m}^2/\text{W}$$

Su determinación se realiza a partir del proyecto de norma ISO/DP 9920 (1988). La determinación de este parámetro se realiza sumando los valores clo de cada ropa que posee el conjunto vestimentario del sujeto (tabla V.11.).

En realidad esta tabla solo es válida para vestidos permeables al vapor de agua y no para los vestidos especiales impermeables al agua o aluminizados para la protección contra el calor radiante. Para el cálculo de este parámetro, si están presentes estos vestidos, se sugiere la lectura del libro de Mairiaux y Malchaire(1990) citado en la bibliografía.

Los valores obtenidos suelen ser una sobreestimación del aislamiento vestimentario, ya que los resultados obtenidos en laboratorio son susceptibles de modificarse durante el trabajo por dos circunstancias:

- \* Las variaciones a causa del lavado o su utilización
- \* El efecto "Bombeo" causado por los movimientos del cuerpo y los miembros que extrañan una ventilación suplementaria entre el cuerpo y la ropa.

## CONCLUSION

El aislamiento vestimentario tal y como esta expuesto se consigue con la suma de los valores de la tabla V.11..

El metabolismo tiene varias formas de ser determinado, se debe de escoger el método más fiable. Teniendo en cuenta que:

- \* La medida directa del consumo de oxígeno tiene su interés en los trabajos físicos moderados o importantes.
- \* La determinación continua de la frecuencia cardiaca tiene un interés mucho más allá de la propia evaluación del metabolismo.
- \* Los métodos de tabla son medianamente satisfactorios si se utilizan los del nivel II.
- \* Los métodos del nivel I son aproximativos.
- \* La recogida continua de la frecuencia cardiaca depara un valor metabólico sobrestimado por el riesgo térmico. Es interesante conocer esta sobrestimación, lo cual se consigue si se conoce el metabolismo determinado por otro método del nivel II o III.
- \* La importancia de la sobrecarga térmica en el corazón se conoce al 4º minuto de reposo después de haber trabajado en ambiente caluroso y conociendo el valor basal habitual del sujeto.

Vestido	Aislamiento (clo)
<b>Ropa Interior</b>	
• Sujetador + slip	0.04
• Idem +media hasta la rodilla	
• Slip hombre	0.06
• Calzoncillo corto	0.03
• Calzoncillo media pierna	0.04
• Camiseta tirantes algodón	0.08
• Camiseta algodón en "T"	0.06
• Idem mangas largas	0.10
	<b>0.12</b>
<b>Camisas y Blusas</b>	
• Polo mangas cortas	0.17
• Camisa mangas cortas	
(C)	0.19
(S)	0.24
• Camisa mangas largas: ligera	
• normal	0.20
• franela	0.25
• Blusa sin cuello	0.34
	<b>0.25</b>
<b>Pantalones</b>	
• Cortos de algodón	0.08
• Pantalón: Ligero	0.20
• normal	0.25
• franela	0.28
• Pantalón peto con tirantes	0.28
<b>Faldas y vestidos</b>	
• Falda altura rodilla: verano	
• invierno	0.15
• Vestido mangas cortas	0.23
• Vestido mangas largas: verano	0.29
• invierno	0.29
	<b>0.40</b>

**TABLA- Aislamiento Vestimentario de diferentes ropas**

Zapatos- calcetines	
• Calcetines finos	0.02
• Calcetines gruesos	0.05
• Media pierna finos	0.03
• Media pierna gruesos	0.10
• Zapatos	0.03
• Zapatillas de deporte	0.02
• Guantes gruesos	0.08
(C) algodón / (S) sintético	

Ejemplo: Operario con su mono de trabajo y camiseta

Mono de trabajo	0.52
Calcetines	0.03
Botas	0.06
Calzoncillo	0.04
Camiseta mangas cortas	0.10
<b>Total</b>	<b>0.75 clo</b>

Vestido	Aislamiento (clo)
<b>Chaquetas</b>	
• Mono de trabajo	0.52
• Chaqueta de trabajo (S)	0.21
• (C)	0.26
• Blusa de laboratorio	0.35
• Smoking: Verano	0.13
• invierno	0.45
• Chaleco	0.13

## CAPITULO VI

### INDICES TERMICOS

#### INTRODUCCION

Conocidos los valores que caracterizan un ambiente ( $t_a$ ,  $P_a$ ,  $t_r$ ,  $V_a$ , metabolismo y aislamiento vestimentario) es necesario un marco interpretativo, esta función cumplen los llamados índices térmicos.

Desde principios de siglo se han venido sucediendo distintos índices con el objetivo de analizar los ambientes calurosos. Todos los índices se puede dividir en tres categorías:

- \* Globales:
  - la integración se realiza en el momento de sus medidas de base.
  - ejemplos: WBGT, WGT
- \* Analíticos empíricos:
  - conociendo los valores primarios se determinan una serie de valores a partir de ábacos de cálculo, construidos empíricamente.
  - ejemplos: Temperatura efectiva, P4SR
- \* Basados en el balance térmico:
  - conociendo los valores primarios ensayan el cálculo del balance térmico (capítulo I).
  - Ejemplos: HSI, Índices PMV-PPD, ITS, Sudoración requerida (SWreq) y PHS (Predicted Heat Stress).

Estos índices han sido objeto de estudio en distintas campañas al amparo de la Comunidad Económica del Carbón y del Acero. De entre sus conclusiones destacan (VOGT, 1985; Malchaire, 1986):

- \* El índice de Sudoración requerida (SWreq) es de todos los índices el más fiable en la predicción de las reacciones sudorales del sujeto en situaciones industriales variadas.
- \* El índice WBGT puede ser una aproximación sumaria del riesgo térmico.

En realidad estudios posteriores y la creación del grupo BIOMED II han ido soslayando los diferentes problemas de aplicabilidad de los índices, especialmente de la Norma ISO 7933 o índice Swreq que han desembocado en el llamado índice PHS (Predicted Heat Stress) que pretende cambiar la norma ISO y por tanto su equivalente UNE.

En la próximas líneas se revisan los índices WBGT, Swreq, PSH. Sin olvidar los índices PMV-PPD, cuya filosofía se centra en el análisis del confort térmico.

## A. INDICE WBGT

Este índice se encuentra plasmado en distintas legislaciones de países industrializados (Bélgica, Finlandia, Japón, EEUU). Las normas que lo sustentan son: ISO 7243, EN.27243 y UNE-EN 27243.

### 1. Calculo WBGT

Es un índice que precisa unos cálculos relativamente sencillos apoyados en "... ecuaciones establecidas de manera cuasi-intuitiva". (Vogt, 1985)

Las ecuaciones de este índice son:

$$\text{WBGT} = 0.7 t_{\text{hn}} + 0.3 t_{\text{g}}$$

$$\text{WBGT} = 0.7 t_{\text{hn}} + 0.2 t_{\text{g}} + 0.1 t_{\text{a}} \quad (\text{en presencia de radiación solar}).$$

$t_{\text{hn}}$  = temperatura húmeda natural

$t_{\text{g}}$  = temperatura de globo negro estándar

$t_{\text{a}}$  = temperatura del aire

Como se puede comprobar no es necesario conocer los parámetros primarios de ambiente; aunque a partir de estos se puedan calcular estos "parámetros WBGT".

En el caso de existir diferentes ambientes de trabajo el WBGT será la ponderación en el tiempo de los valores WBGT para cada uno de los ambientes:

$$\text{WBGT}_m = \text{WBGT}_i * t_i / T$$

$\text{WBGT}_m$  = WBGT medio

$\text{WBGT}_i$  = WBGT del ambiente  $i$

$t_i$  = tiempo de estancia en el ambiente  $i$

$T$  = tiempo total

### 2. Calculo WBGT limite

El WBGT límite es el equivalente a la TLV de las diferentes sustancias químicas. Es decir es aquel valor por encima del cual el sujeto está expuesto a riesgo.

Para su cálculo se necesita:

- \* una aproximación al metabolismo del sujeto
- \* saber si el sujeto está aclimatado o no

Tabla V.1. Valores limites (TLV) segun el Indice WBGT

Metabolismo (wattios)	Limite en °C (WBGT) Persona aclimatada	Limiet en °C Persona NO aclimatada
<118	33	32
118-234	30	29
235-360	28	26
361-468	25 / 26 *	22 / 23 *
>468	23 / 25 *	18 / 20 *

\* La primera cifra esta recomendada en ausencia de corriente de aire y la segunda en el momento que sea perceptible.

Con estos datos el WBGT limite se obtiene leyendo la tabla VI.1., los cuales están calculados para una prenda de trabajo habitual ( $I_{cl}=0.6$  clo).

Estos limites deben ser reducidos en las siguientes condiciones:

- chaqueta impermeable: WBGT limite - 2
- chaqueta + pantalón impermeable: WBGT limite - 4
- Combinación impermeable estanca: WBGT limite - 5

En el caso de existir diferentes ambientes o el mismo con diferentes metabolismos el WBGT limite se calcula ponderando por el tiempo el valor de cada fase.

### 3) Determinación del tiempo de reposo.

En caso de sobrepasar el limite se determina un tiempo de trabajo y otro de reposo para cada hora.

Para el calculo de la fracción de hora que puede trabajar un individuo se necesita conocer:

- $WBGT_{trabajo}$  y  $WBGT_{lim_{trabajo}}$ , es decir ambos valores en fase de trabajo.
- $WBGT_{reposo}$  y  $WBGT_{lim_{reposo}}$ , es decir sus valores en reposo

$$\text{Jamás } WBGT_{lim_{reposo}} < WBGT_{reposo}$$

Con estos valores se calcula:

- La diferencia de los valores en trabajo

$$dWBGT_t = WBGT_t - WBGT_{lim_t}$$

- La diferencia contraria de los valores en reposo

$$dWBGT_o = WBGT_{lim_{reposo}} - WBGT_{reposo}$$

La fracción horaria de reposo se obtiene con la formula

$$K = \frac{dWBGT_o}{dWBGT_t + dWBGT_o}$$

Este valor K es la fracción de hora que puede trabajar. Es decir con un valor  $K=0.25$ , puede trabajar 15 minutos ( $0.25$  de hora =  $0.25 * 60$  minutos).

Esta es la formula general para el calculo del reposo, pero en realidad la norma propone que el reposo se haga en el mismo puesto de trabajo sentado. En estas condiciones el WBGTlim es de 32°C. La formula anterior queda:

$$K = \frac{32 - \text{WBGT}}{32 - \text{WBGTlim}}$$

La formula citada se expresa en la figura VI.2. La norma ISO 7243, propone ciclos de trabajo/ reposo de: 45/15, 30/30, 15/45 minutos.

Hay que decir que tal como se expresa en la norma 7243 el trabajo es imposible si el WBGT ambiental es mayor de 32° C. Es evidente que en este caso hay que buscar lugares de reposo mas frescos.

Ejemplo 1: Un trabajador realiza en el interior de la fabrica un trabajo medio (280 W) en las condiciones siguientes:  $t_{hn} = 28^{\circ}\text{C}$   $t_g = 34^{\circ}\text{C}$ .

¿Cuanto tiempo debe descansar estos trabajadores en el mismo ambiente, sentado (105 W)?

Trabajo

$$\text{WBGT} = 0.7 * 28 + 0.3 * 34 = 29.8$$

$$\text{WBGTlim} = 26$$

$$d\text{WBGT}_t = 29.8 - 26 = 3.8$$

Reposo

$$\text{WBGT} = \text{en el mismo ambiente} = 29.8$$

$$\text{WBGTlim} = 32$$

$$d\text{WBGT}_o = 32 - 29.8 = 2.2$$

Fracción horaria

$$K = 3.2 / 2.8 + 3.2 = 0.53$$

Es decir el trabajador puede realizar su tarea durante 0.53 de hora (32 minutos).

Ejemplo 2: El mismo trabajador pero en condiciones:

$$t_{hn} = 35\text{ °C} \quad t_g = 40\text{ °C}$$

Metabolismo trabajo = 280 W

Metabolismo reposo = 105 W en el mismo ambiente

Trabajo

$$WBGT=37.5 ; WBGTlim= 26; dWBGT =11.5$$

Reposo

$$WBGT=37.5 ; WBGTlim= 32;$$

EN ESTE AMBIENTE ES IMPOSIBLE EL REPOSO.

Ejemplo 3: El caso anterior pero el reposo se realiza en el comedor:  $t_{hn} = 26\text{ °C}$   $t_g = 27\text{ °C}$

Trabajo

$$WBGT=37.5 ; WBGTlim= 26 ; dWBGT=11.5$$

Reposo

$$WBGT=26.3 ; WBGTlim=32 ; dWBGT_o = 5.7$$

Fracción horaria

$$k = 5.5 / 5.5 + 11.5 = 0.32 \text{ (19 minutos de trabajo)}$$

#### 4. Validez del Índice WBGT

La principal ventaja de este índice es su sencillez, ya que solo es esencial conocer dos o tres temperaturas, no se necesita conocer los parámetros primarios. Esta ventaja es a su vez la mayor desventaja ya que es imposible conocer los factores realmente implicados en el riesgo térmico. Preguntas como las siguientes no tienen respuesta: ¿el responsable del estrés es el calor radiante o la humedad? o ¿aumentando la velocidad del aire mejora la situación?

Otra desventaja se encuentra en la obtención de los datos para sus fórmulas. La temperatura húmeda natural es de una reproductibilidad mediocre y la temperatura de globo negro susceptible de errores. Los tiempos de trabajo-reposo deben ser considerados orientativos.

A pesar de estas críticas es reconocido su valor como un índice de aproximación al problema térmico (Vogt, 1985; Malchaire, 1986; Mairiaux-Malchaire, 1990)

Un ambiente con el WBGT igual a superior a su límite:  
\* se diagnostica como potencialmente peligroso  
\* se deben procurar tiempos de descanso

Si el límite está cercano, pero no se sobrepasa se impone la utilización del índice de la Sudoración requerida (SWreq), con el objeto de comprobar si su población tiene riesgo térmico.

### B. INDICE DE LA SUDORACION REQUERIDA (SWreq)

#### 1. Bases teóricas

Este índice, objeto de la norma ISO 7933(1989) -UNE-EN 12515:97- se basa en la formulación del balance térmico. El índice se basa en que el cuerpo humano debe sudar una determinada cantidad (sudor requerido), en el caso de que por cualquier circunstancia no pueda llegar a evaporar esa cantidad de sudor la temperatura interna aumenta (riesgo de golpe de calor), pero si la cantidad es alcanzable pero es excesiva deshidratación.

El índice mediante un complejo sistema matemático calcula el sudor requerido, para ello necesita conocer los parámetros primarios de ambiente: temperatura del aire, temperatura media de radiación, humedad, velocidad del aire, metabolismo de trabajo y aislamiento vestimentario.

Al final calcula la **Duración límite de exposición.**

## 2. Límites Máximos

En medio de los cálculos el índice de Sudor requerido va introduciendo varios límites ( $W_{max}$ ,  $SW_{max}$ ,  $Q_{max}$  y  $H_{max}$ ):

Mojadura cutánea máxima o fracción de la piel que se puede mojar. ( $W_{max}$ ) Un sujeto aclimatado puede mojar toda su piel ( $W_{max}=1$ ), en tanto que el no aclimatado solo el 85% ( $W_{max}=0.85$ )

- $SW_{max}$  Sudoración requerida máxima: En realidad los sujetos están limitados en la cantidad de sudor que puede excretar. lo cual también es función de su grado de aclimatación:  
No Aclimatados: entre 520 a 650 g/h  
aclimatados: entre 780 a 1040 g/h

- $Q_{max}$ : Stockage o almacenamiento de calor máximo. En realidad el sujeto puede aumentar su temperatura central 1°C sin problemas para su salud (OMS,1969). El índice de sudor requerido lo expresa en watios-hora/m<sup>2</sup>, se corresponden a incrementos de 1°C y 1,4°C según el nivel de alarma o peligro (Mairiaux, 1989). Si estos límites se superan hay riesgo de golpe de calor.

- $H_{max}$  Perdida hídrica máxima. Un sujeto aclimatado puede sudar hasta dos litros/hora, lo cual le puede llevar a una deshidratación. La norma prevé este problema y limita las pérdidas hídricas con el objeto de limitar el riesgo de deshidratación:  
No aclimatados entre 2600 a 3250 g  
aclimatados entre 3900 a 5200 g.

## 3. Riesgos -Duración límite de exposición (DLE)

Los riesgos fundamentales son dos:

- \* Deshidratación
- \* Golpe de calor.

El Índice del sudor requerido calcula una **Duración límite de exposición** para cada uno de los riesgos y según los niveles de alarma y peligro

- **Nivel de alarma:** Ningún trabajador tendrá problemas de salud si no se sobrepasa el tiempo de estancia para el citado nivel. Si se sobrepasara algún trabajador pudiera tener algún problema de salud.
- **Nivel de Peligro:** la mayor parte de los trabajadores tendrían problemas de salud si se sobrepasa este límite.

#### 4. Validez del Índice de SWreq

El análisis e interpretación expuesto en la norma ISO 7933 da resultados validos para la determinación de la duración limite de exposición sobre todo en:

- \* Ambiente estables
- \* Humedad inferior a 2,8 kilopascales

La validez es dudosa en ambientes:

- \* Calor radiante muy fluctuante
- \* humedad superior a 2,8 KPa
- \* determinación del tiempo de reposo
- \* Vestidos especiales de protección

#### 5. Ponderacion Exponencial

El indice de sudoracion requerida tal y como es formulado en la Norma ISO 7933 supone que el nivel de sudoracion prevista se alcanza instantáneamente. En tanto que en la realidad la produccion de sudor aumenta progresivamente hasta llegar a su régimen de estado. Este incremento en la fase inicial se parece a una curva exponencial, por lo que se ha utilizado este tipo de ponderacion para mejorar la prediccion de las reacciones fisiologicas del sujeto.

Este sistema de ponderación entraña una mejora significativa de las correlación entre lo valores observados y previstos (Malchaire, 1988b).

#### 6. En practica

Desde un punto de vista practico este indice exige:

- 1° Determinar los 6 parámetros primarios que caracterizan un ambiente:  $t_a$ ,  $t_r$ ,  $P_a$ ,  $V_a$ , metabolismo y clo.
- 2° Seguir las indicaciones de la Norma ISO 7933 (Un programa informatico en BASIC se encuentra en el anexo).
- 3° Al final se determina:
  - Si existe riesgo de deshidratacion o golpe de calor.
  - La duración limite de exposición según si el individuo esta o no aclimatado y en los niveles de alarma o peligro.
- 4° Si el ambiente es muy fluctuante, se impone la utilización de la ponderacion exponencial del indice.
- 5° Si el ambiente es muy húmedo o el trabajador lleva vestidos de protección el indice no calcula bien la sudoracion prevista.

## C. INDICE PHS (Predicted Heat Stress)

### 1. Introducción

La normalización de un índice como el del sudor requerido no se ha seguido de un uso generalizado del mismo, relacionado probablemente por su complejidad, no tener el mismo lenguajes que lo usuarios y ser su uso complicado (Bethea, 2003).

En este estado de la ciencia el grupo BIOMED II ha estudiado una serie de modificaciones de l Índice del sudor requerido en 1113 experimentos, 747 laboratorios y 366 trabajos de campo. Hoy en día se ha propuesto un cambio de la norma ISO 7933 siguiendo el modelo PHS (Malchaire, 2001).

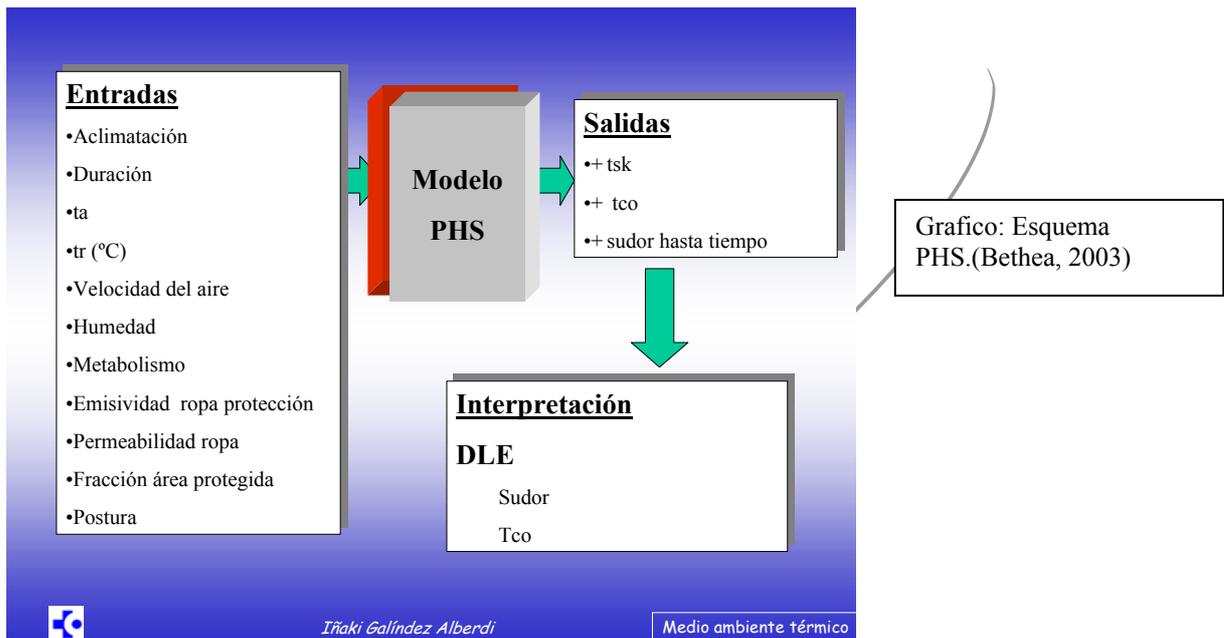


Grafico: Esquema PHS.(Bethea, 2003)

En la figura anterior se resume el procedimiento que se debe seguir para calcular el índice PHS y su significado. Académicamente se pueden dividir en tres grandes grupos:

1. Entradas, define los datos que debemos conocer para calcular el índice
2. Salidas define los datos sobre los que se basa el modelo.
3. Interpretación o lo que es lo mismo Duración Limite de Exposición en razon al sudor generado o al incremento de la temperatura rectal.

### 2. Uso del Programa Informatico

En practica se resume en:

- 1) Introducir las siguientes variables:
  - a) **Duración** de la exposición en minutos
  - b) **-ta-**Temperatura del aire
  - c) **-tr-** Temperatura media de radiación o **-tg-** temperatura de globo negro
  - d) Humedad en forma de: **th** -temperatura húmeda-, **HR** -humedad relativa- o **Pa** -Presión parcial de vapor de agua-.
  - e) **Va** -Velocidad del aire- en metros/segundo.
  - f) Aislamiento vestimentario en unidades **-clo-**
  - g) Metabolismo de trabajo **-M-** y trabajo exterior **-trav-** en Watios.
  - h) Postura: sentado o de pie.
- 2) El programa proporciona (despues de presionar F4):
  - a) Para un sujeto de 75 Kg de peso y según este aclimatado o No aclimatado:
    - i) Pérdida hídrica al final del período
    - ii) Temperatura rectal al final del período

- b) Interpretación. El programa da el momento en el tiempo (minutos de exposición) en el que un parametro es sobrepasado (niveles de aclimatado no aclimatado)
- i) Temperatura rectal:
  - ii) Perdida Hídrica:
    - (1) Para un sujeto medio (5265 gr)
    - (2) Para el 95% de la població (3750 gr)
- c) Finalmente da la Duración Limite de exposición para el 95% de los sujetos.

El Indice PHS modifica

### 3. Conclusión

El índice PHS supone una modificación en los calculo que aporta al índice del sudor requerido (Malachaire, 2001):

- Una predicción basada en las temperaturas corporales, más que en el almacenamiento de calor.
- Una predicción que tiene en cuenta toda la exposición y no solamente una situación concreta y constante.
- Una profunda revisión de los criterios de parada para una perdida hídrica o elevación dela temperatura corporal.

### D. INDICES PMV-PPD

Una gran parte de las quejas de los trabajadores se producen a causa del ambiente térmico, normalmente por problemas de inconfort. Las ideas de Fanger, recogidas en la Norma ISO 7730 (UNE-EN-ISO 7.730:1996), basadas en el balance térmico pretenden cuantificar este grado de inconfort y que pudieran servir para diferentes culturas y razas. Así los indices PMV -Voto Medio Previsto - y PPD - Porcentaje de Insatisfechos- responden a estas necesidades.

#### 1. Indice PMV (voto medio previsto)

El Voto Medio Previsto de una población importante de personas se puede cuantificar en un escala como la siguiente:

+ 3 Mucho calor
+ 2 Calor
+ 1 Ligeramente cálido
0 Ni frío Ni calor
- 1 Ligeramente frío
- 2 frío
- 3 Mucho frío

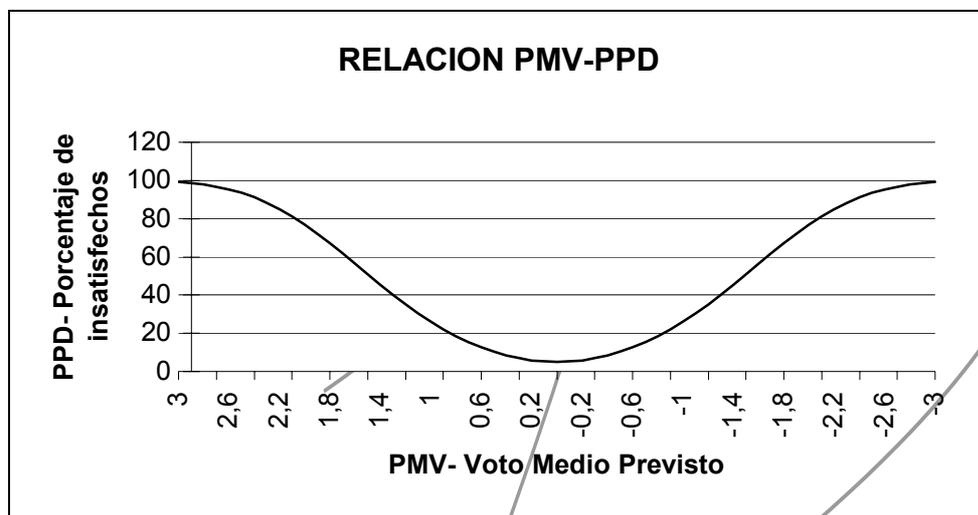
Este voto se obtiene en una serie de tablas existentes en la norma, conociendo los siguientes parámetros:

- \* Metabolismo en W/m<sup>2</sup>
- \* Aislamiento vestimentario en clo
- \* Velocidad del aire relativa en m/s
- \* temperatura operativa en °C, obtenida por la formula:

$$t_o = (h_c * t_a + h_r * t_r) / (h_c + h_r)$$

La temperatura operativa en el caso de no existir una radiación evidente se puede considerar igual a la temperatura de globo negro.

Un programa informático se encuentra en el anexo para calcular este índice a partir de los parámetros primarios.



## 2. Índice PPD

El voto PMV se puede traducir en porcentaje de insatisfechos (PPD) a partir de la figura VI. De esta figura se puede entresacar los siguientes datos:

- \* Ningún ambiente es capaz de obtener un PPD nulo. Para un voto medio previsto  $PMV = 0$ , el porcentaje de insatisfechos PPD es del 5%.
- \* Para un PMV de  $+1$  o  $-1$  el porcentaje de insatisfechos se sitúa en el 27%, un 25% votarían la neutralidad y un 5% votaría  $+3$  o  $-3$ .

## 3. Validez de los índices PMV-PPD

Este índice se ha comprobado en encuestas a grandes poblaciones, llegando a la conclusión de que es independiente de factores raciales o culturales.

Con este índice es posible, conociendo cinco parámetros primarios, deducir el valor óptimo del sexto (generalmente la temperatura de aire) de tal manera que la situación final sea confortable.

Sus límites de aplicación son:

- \*  $t_a$  10 a 30 °C
- \*  $t_r$  10 a 40 °C
- \* Velocidad relativa del aire máxima: 1 m/s
- \* Presión parcial de vapor de agua: 2.7 kPa
- \* Aislamiento térmico vestimentario máximo 2 clo
- \* Metabolismo de trabajo: 58-232 W/m<sup>2</sup> (105-420 W)

En realidad si nos encontramos fuera de estos valores se puede presuponer que el voto sería de incomfortabilidad.

## 4. Límites del confort

La norma 7730 recomienda limitar el porcentaje de insatisfechos a un 10 %, es decir encontrar unos votos medios previstos entre  $-0.5$  a  $+0.5$ .

En realidad el bienestar térmico depende también de otras variables como son las corrientes de aire localizadas, la asimetría de la radiación. De esta manera para trabajos sedentarios se recomienda las siguientes condiciones de confort:

- \* PMV entre -0.5 a +0.5
- \* La diferencia entre la temperatura del aire a 10 cm y a 110 cm del suelo debe ser como máximo de 3°C.
- \* La asimetría de calor radiante entre las paredes verticales máxima de 10 °C.
- \* La asimetría de calor radiante entre las paredes horizontales (techos y suelo) máxima de 5 °C.
- \* La velocidad del aire máxima 0.15 en invierno y 0.25 en verano. Si existe una corriente de aire en la nuca o la cara jamás debe sobrepasar los 0.15 m/s.

A nivel de la industria las consideraciones siguientes deben ser tenidas en cuenta:

- \* Los picos máximos de velocidad del aire deben ser del orden de 0.5 m/s sentado y 1 m/s de pie, mientras la media jamás debe sobrepasar los 0.25 m/s.
- \* La humedad del aire debe situarse entre 40 al 70 % en el rango de 18 a 24 °C de  $t_a$ .

## CAPITULO VII

### DIAGNOSTICO TERMICO

#### INTRODUCCION

Hasta este momento se ha descrito los diferentes parámetros primarios y los índices, que permiten interpretar un ambiente desde el punto de vista termico. Este capitulo va a abordar los distintos diagnósticos posibles y la manera de recoger los parámetros en diferentes situaciones industriales. Todo ello con el objeto de proveerse de una metodología coherente de estudio.

#### A. CONFORT-INCONFORT-RIESGO

Desde el punto de vista termico un ambiente puede tener tres tipos de diagnostico:

- Bienestar (Confort o Comfort) , en el cual el grado de quejas va a ser pequeño.
- Malestar (Inconfort o Discomfort) sin riesgo para la salud
- Riesgo ( Contraincte o stress) o con riesgo para la salud.

En estos tres diagnósticos se añaden los mismos conceptos en francés e inglés, utilizados habitualmente en nuestro léxico.

Un **ambiente de bienestar o comfortable** es aquel que presenta:

- menos de un 10% de insatisfechos
- el PMV se encuentra en el intervalo que va desde -0.5 a + 0.5.
- otras condiciones necesarias:
  - \* la diferencia entre la temperatura del aire a 10 cm y a 110 cm del suelo debe ser como máximo de 3°C.
  - \* la asimetría de calor radiante entre las paredes verticales máxima de 10 °C.
  - \* la asimetría de calor radiante entre las paredes horizontales(techos y suelo) máxima de 5 °C.
  - \* La velocidad del aire máxima 0.15 en invierno y 0.25 en verano. Si existe una corriente de aire en la nuca o la cara jamas debe sobrepasar los 0.15 m/s.

El ambiente **inconfortable** se caracteriza por:

- Voto Medio Previsto (PMV) superior a +0.5 o inferior a -0.5.
- más de un 10% de insatisfechos sin llegar a las condiciones de riesgo antes enumeradas.
- las condiciones citadas en confort no se dan

*En el caso de superar el valor +1.5 en el Indice PMV se debe eliminar cualquier posibilidad de ambiente de riesgo.*

Podemos hablar de **ambiente de riesgo** si se da alguna de las condiciones siguientes:

- El indice WBGT sea igual o superior al limite
- El trabajo esta limitado en el tiempo mediante el indice de sudoración requerida

El siguiente caso debe ser considerado con mucha precaución:

- no superar el limite en el indice WBGT, pero estar a menos de 2°C de diferencia del mismo.
- En caso de duda considerarlo siempre como puesto a riesgo*

Dentro del ambiente de riesgo existe uno de **alto riesgo**:

- Duracion Limite de Exposicion es menor de 30 minutos (segun el Indice del sudor requerido).

## B. DIAGNOSTICO PREVIO Y DEFINITIVO

Los diagnósticos anteriores deben ser llevados a cabo secuencialmente de dos formas:

- \* una primera aproximación o diagnostico previo.
- \* un diagnostico definitivo o definitivo.

El diagnostico previo tiene como objetivos:

- \* Una aproximación rápida al problema termico, despistando los puestos de riesgo
- \* Tomar las medidas de urgencia para reducir el riesgo
- \* Adaptar los medios de análisis para el diagnostico definitivo

Los fines del diagnostico definitivo son:

- \* Determinación de las Duraciones Limites de exposición.
- \* Tomar medidas definitivas para reducir el riesgo
- \* Estudiar las medidas tecnicas para reducir el riesgo

La diferencia entre estos tipos de diagnostico radica en la calidad y cantidad de los medios diagnosticos que vamos a utilizar.

En realidad se podía introducir un tercer tipo de diagnostico, que por su complejidad se escapa de este documento. Este tercer diagnostico, exigiría, por ejemplo, la recogida continua de los parámetros ambientales, una evaluación exacta del metabolismo, etc.. Todo ello para utilizar las ponderaciones exponenciales de los índices PMV-PPD o Sudoracion requerida. Este tercer diagnostico o diagnostico ergonomico tendra como fin llegar a las ultimas causas del problema con el objeto de proponer las soluciones tecnicas mas adecuadas.

### C. DIAGNOSTICO PREVIO (figura 1)

En primer lugar es fundamental la experiencia del observador para determinar si estamos ante un problema de Riesgo o no (en caso de cualquier duda utilizar secuencia de riesgo).

*Las mediciones se realizaran en el momento de mayor exposición al calor: más quejas o más riesgo de stress térmico.*

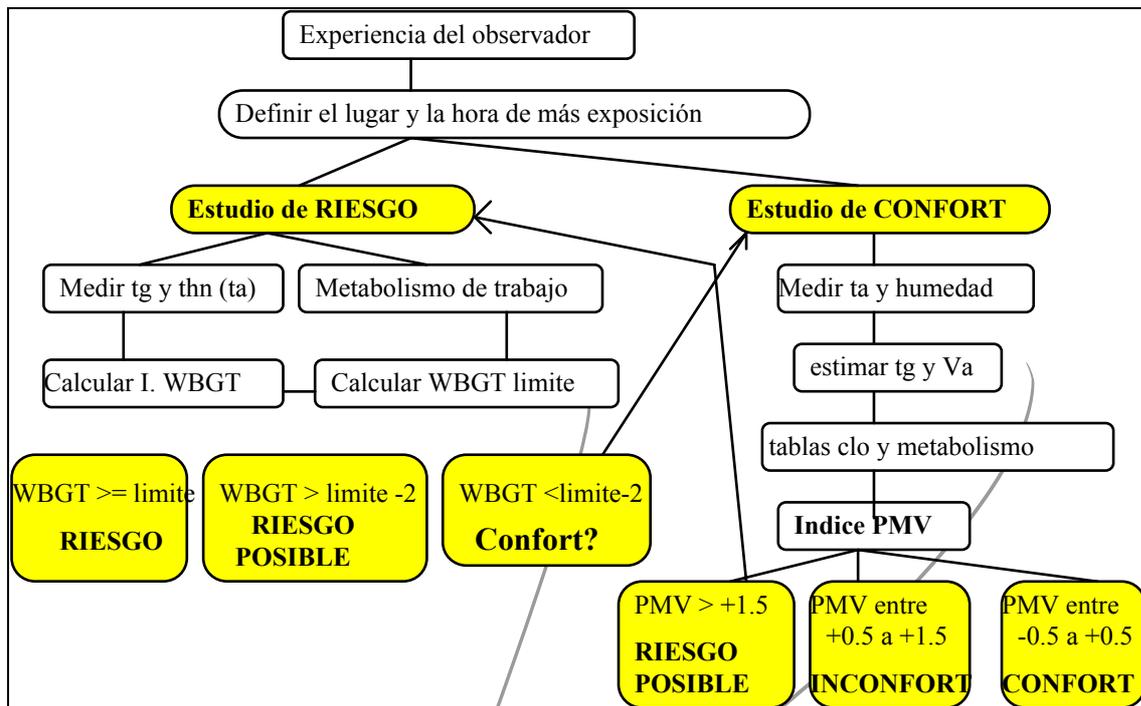
#### En caso de riesgo utilizar el Indice WBGT:

1. Medir la temperatura de globo negro, la temperatura humeda natural y eventualmente (exterior) la temperatura del aire.  
**Calcular el Indice WBGT**
2. Estimar el metabolismo de trabajo (tabla ) y **Calcular el WBGT limite**
3. Decidir segun este esquema:
  - a. Si el WBGT calculado es menor de 2°C del limite pasar a **estudio de confort**.
  - b. Si el WBGT calculado se encuentra cerca del limite pasar a **Riesgo Posible**
  - c. Si el WBGT calculado es igual o superior al limite **-Riesgo térmico-** :
    - determinar el tiempo de reposo
    - considerar el ambiente de RIESGO TERMICO, pasar a estudio definitivo de riesgo
    - determinar las medidas provisionales necesarias

#### En caso de Inconfort utilizar los Indices PMV-PPD

- 1 y 2. Se recoge la temperatura del aire y la humedad (formular hipótesis para el resto)
3. Para calcular tg (temperatura de globo negro) añadir a la temperatura del aire (ta) los siguientes valores :
  - \* + 0°C en ausencia de radiación.
  - \* + 0.5 a 1° C ventanas ocultas por stores o cortinas
  - \* + 1.5 a 2° C ventanas sin cortinas, abiertas y sin radiación solar directa.
  - \* + 3 a 4° C ventanas sin cortinas, cerradas y sin radiación solar directa.
  - \* + 9 a 11° C radiación solar directa sobre el sujeto, ventanas abiertas.
  - \* +14 a 15° C radiación solar directa sobre el sujeto, ventanas cerradas.
4. Velocidad del aire
  - \* 0.15 m/s ausencia de ventilación, ventanas cerradas
  - \* 0.3 a 0.8 m/s movimientos de aire perceptibles.
  - \* 0.9 m/s o mas con corriente de aire, vuelo de papeles.
5. Aislamiento vestimentario (tabla V.6.)
6. Metabolismo de trabajo (tabla V.2)

Figura 1- Esquema de actuación en diagnostico Previo



**D. DIAGNOSTICO SECUNDARIO (Figura 2)**

Después de haber realizado el diagnóstico previo y haber determinado las medidas urgentes necesarias se realiza el diagnóstico secundario. Este tipo de diagnóstico necesita:

- conocer todos los parámetros fiablemente según indican las normas
- medir los parámetros durante toda la exposición al calor.
- medir los parámetros en todos los lugares de trabajo y reposo.

La secuencia de actuación:

1. determinar los lugares de medida y el tiempo que pasa el sujeto en cada uno de los mismos
2. determinar la frecuencia con que va a ser retenidos los valores.  
En caso de ambientes poco variables reteniendo un valor cada 30 minutos es suficiente, en cambio en ambientes muy variables puede ser necesario cada minuto o menos.
3. calcular los índices WBGT y Sudoración requerida según norma (programa informático anexo)

En caso de tener la duda entre Inconfort o confort la actuación debiera ser la misma, pero calculando los índices PMV-PPD.

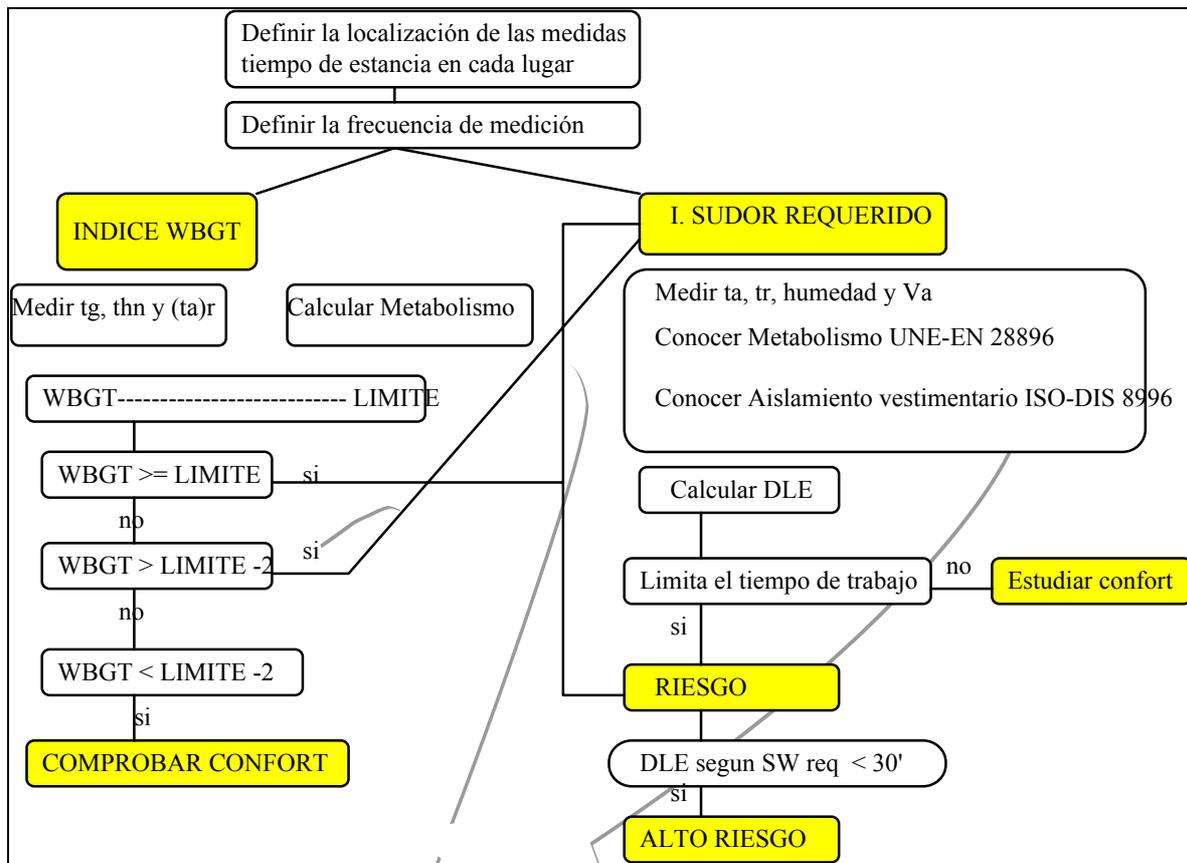


Figura 2 - Diagnostico térmico

### E. Actuación en caso de RIESGO

El diagnostico de riesgo exige:

- Cumplir las DLE.
- En el caso de tener una DLE menor de 120 minutos segun el indice de sudor requerido:
  - \* es conveniente un estudio en un tercer nivel con la ponderacion exponencial del indice Sudoracion requerida.
  - \* si además la DLE es menor de 30 minutos es necesario una vigilancia fisiológica directa.
- Se debe llevar a cabo un programa de educación sanitaria continuado.
- Llevar a cabo todos los puntos de los apartados sobre vigilancia fisiológica y médica en el capítulo sobre prevención médica.
- Discutir las medidas de organización mas efectivas para las características específicas de riesgo.
- Contactar con el equipo técnico adecuado para intentar reducir el riesgo.

## CAPITULO VIII

### PREVENCION MEDICA

#### INTRODUCCION

En este capitulo vamos a abordar la prevencion medica tanto en el terreno de los criterios de exclusión, la vigilancia medica regular o la vigilancia fisiológica de las operaciones a riesgo.

La Educación Sanitaria será tratada en un capitulo posterior dentro de las medidas de organización de una empresa, en las cuales el servicio de salud de la empresa debe intervenir.

#### A. VIGILANCIA FISIOLÓGICA

Algunos de los índices del capitulo VI, particularmente la Sudoración Requerida (SWreq), intentan aproximarse a las reacciones fisiológicas que el sujeto pone a disposición en el momento de la exposición a un ambiente caluroso.

Existen situaciones con riesgo alto, en las que problemas para la salud sobrevienen en un cortísimo período de tiempo. En estos casos es muchas de las veces necesario conocer inmediatamente las distintas variables fisiológicas con el objeto de evitar una patología grave (golpe de calor). Estas se encuentran en la norma ISO 9886: 1992 - Evaluation of thermal strain by physiological measurements (Evaluación de la sobrecarga térmica del organismo a través de mediciones fisiológicas).

Las variables que en principio pudieran ser medidas, en el mismo puesto de trabajo, son:

- \* temperatura central
- \* temperatura media de la piel
- \* Frecuencia cardiaca.
- \* Perdida de peso.

#### 1. Temperatura central.

Varios son los lugares accesibles:

- Esófago
- Recto
- Boca
- Conducto auditivo externo

- **Esofago:** El captor se coloca en el tercio inferior del esofago, con el objeto de conocer el temperatura de la sangre en el corazón. Es evidentemente una experiencia desagradable y solo utilizable en laboratorio.
- **Recto:** La sonda se debe de introducir unos 10 cm por encima del esfinter anal. Esta temperatura es fiel reflejo de la temperatura central del cuerpo, pero con media hora de retraso en relación a la temperatura de los centros termorreguladores. Su aceptación es mas que dudosa.
- **Auditiva:** El captor debe ser introducido justo hasta la membrana timpánica y ser retirado algunos milímetros (10 mm máximo) ya que el contacto con el tímpano es doloroso. Puede ser un buen reflejo de la temperatura de los centros termorreguladores si se cumplen las siguientes condiciones:
  - . mantenimiento de la posición inicial del captor
  - . Aislamiento del conducto auditivo externo
  - . Condiciones ambientes:  $t_a > 18^\circ\text{C}$ ,  $V_a < 1 \text{ m/s}$ ,  $t_r$  cerca  $t_a$
- **Oral:** Un captor pequeño y plano debe ser colocado debajo de la lengua en las condiciones siguientes:
  - . boca cerrada (5 a 8 minutos)
  - . no ingerir alimento, bebida o fumar en los 15 minutos anteriores
  - . ambiente  $t_a > 18^\circ\text{C}$ .

Este tipo de temperatura solo se puede utilizar en los descansos de los operarios. Además la influencia de las condiciones exteriores es muy importante. Esta temperatura es valida si se liga a una temperatura central de referencia, antes de comenzar las operaciones.

Como conclusión se puede llegar a que *la valoración directa de la temperatura central es técnicamente difícil y de dudosa aceptabilidad* por parte de los trabajadores. Su uso se debe restringir a los casos cuyo riesgo sea muy importante. En el puesto de trabajo solo son valorables la temperatura oral y la auditiva.

## 2. Temperatura media de la piel

Es una temperatura que se obtiene valorando las temperaturas de la piel en diversas zonas del cuerpo. Esta temperatura ha tenido y tiene su interés en la modelización de los índices térmicos, sobre todo en confort. En cambio en el estudio de un puesto de trabajo específico es de interés muy limitado.

### 3. Frecuencia Cardíaca

Es una herramienta válida en el estudio de los ambientes térmicos y en todo acercamiento ergonómico a un puesto de trabajo. La aceptabilidad por parte del trabajador es buena e interesa para conocer o estimar:

- \* metabolismo de trabajo
- \* sobrecarga cardíaca de origen térmico.

Estos puntos han sido discutidos en el capítulo V.

### 4. Pérdida de peso

En ambiente cálido la pérdida de masa corporal es función de la evaporación del sudor. Su evaluación se consigue con pesadas sucesivas del operario considerando a su vez las ganancias por la comida o bebida y las pérdidas en la orina y las heces. Las dificultades que se encuentran habitualmente son:

- \* la precisión de las balanzas
- \* seguir al individuo en sus momentos más íntimos.

### 5. En práctica

La mayor parte de las medidas citadas son importantes para el estudio de laboratorio. En el propio puesto de trabajo solo se pueden valorar:

- la frecuencia cardíaca
- la temperatura central (oral o timpánica).

De todas maneras tienen unas indicaciones muy concretas (tabla VIII.1)

Tabla VIII.1.- Indicaciones de la vigilancia fisiológica

<p>DLE menor de 30 minutos Vestidos especiales Parámetros climáticos poco o mal conocidos</p>
---

Vamos a considerar dos casos, según si el aparato tenga o no sistema de alarma:

a) *Alarma* Los aparatos de FC y temperatura central poseen alarma regulable. Los criterios límites son:  
 Frec. cardíaca: 200 - edad en años pulsaciones/min  
 temp. central: alarma 38°C de temp. timpánica

b) *Sin alarma o la temperatura central se valora de manera discontinua:*

- Temperatura oral: mayor de 37.7°C o un incremento sobre la basal de 1°C.
- FC: después del 4º minuto de reposo es de 30 pulsaciones/minuto

En cuanto al retorno al trabajo se puede realizar siempre y cuando :

- \* La temperatura central sea de 37,2°C
- \* La diferencia entre la FC cardíaca y la de reposo sea menor de 15 ppm.

### B. CRITERIOS DE SELECCION

El número de enfermedades que limitan el acceso a un puesto de trabajo expuesto al calor es más bien reducido. Los criterios a utilizar van a ser divididos en absolutos y relativos:

Criterios absolutos:

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deficiencia congénita de glándulas sudoríparas</li> <li>- Mucoviscidosis</li> <li>- Diabetes mellitus descompensada o con polineuropatía.</li> </ul>
---

- Descompensacion cardiaca

Criterios relativos:

- Enfermedad coronaria: antecedente de infarto o isquemia, angina de pecho, anomalías en el ECG de esfuerzo.
- Afecciones respiratorias crónicas que disminuyan la función pulmonar.
- Hipertensión arterial: en sí misma no supone un criterio para descartar a un operario, pero los tratamientos que lleva asociados (diurético, B-bloqueantes,..) pueden ser perjudiciales.
- Diabetes insulino-dependiente bien compensada, a pesar de que la tolerancia al calor sea normal.
- Alcoholismo: el golpe de calor es mas habitual.
- Enfermedades de la piel que afectan a gran parte de la superficie y que interfieren los mecanismos sudorales.
- Medicamentos: Barbitúricos, fenotiacinas, neurolepticos, antidepressivos triciclicos, antihistaminicos.
- Condición física mediocre.
- Obesidad superior al 30 % del peso ideal.
- Antecedente de síncope de calor.

A pesar de estos criterios se debe de tener en cuenta que entre el 2 al 4 % de los sujetos seleccionados pueden tener problemas de intolerancia al calor. Es fundamental en todo servicio médico llevar a cabo un seguimiento del personal expuesto y una educación sanitaria sobre: los síntomas y normas de actuación en caso de síncope o malestar.

Es aconsejable una prueba de esfuerzo en aquellos puestos de alto riesgo. Su interés radica en conocer si la capacidad aerobica máxima es aceptable o si existe una lesión coronaria subyacente ( sobre todo después de los 35 años). El consumo de oxígeno máximo preconizado para bomberos o equipos de salvamento debe estar por encima de los 40 ml/min/kg.

### C. VIGILANCIA MEDICA

- En el examen de entrada se deben de buscar los criterios de seleccion citados e interrogar sobre sintomas como: mareos, fiebre, sensación de debilidad frecuente, síncope en épocas del año calurosas.
- El trabajador nuevo en las dos primeras semanas de trabajo en el puesto sometido a riesgo térmico debe tener un seguimiento especial valorando la posibilidad de intolerancia al trabajo, mediante:
  - \* la vigilancia fisiológica: Tomas de temperatura sublingual y frecuencia cardiaca al 4º minuto de reposo.
  - \* revisión medica a la semana y a los 15 días.
- Todo síntoma como mareos, nauseas, vómitos, confusión, taquicardia evidente, sensación de fiebre, piel caliente, perdida de conciencia momentánea debe llevar a:
  - \* Tomar de la temperatura central
  - \* Valorar la Frecuencia cardiaca y la tensión arterial.
  - \* Observar si la piel esta seca.
  - \* Observación neurologica
  - \* Explorar síntomas del golpe de calor como confusión o/y desorientación.
  - \* Vigilar al trabajador los días subsiguientes y valorar la posibilidad de un cambio del puesto de trabajo.
  - \* Si existiera cualquier duda ingreso en el hospital y tratamiento como golpe de calor.
- Registro de los incidentes aunque sean considerados menores.
- Examen anual investigando los posibles incidentes y los cambios sobre los criterios de seleccion.
- Examen después de una ausencia prolongada sobre todo de baja por enfermedad o accidente.

## CAPITULO IX

### PREVENCION ORGANIZACIONAL

#### INTRODUCCION

Las acciones posibles desde el punto de vista organizacional son múltiples. La mayor parte de ellas paliativas.

#### A. PROGRAMACION DE LAS OPERACIONES

Una programación diaria de las tareas más expuestas al calor fuera de las horas centrales del día reduce por sí mismo el riesgo de estrés térmico. Con este mismo criterio se pueden programar las operaciones de mantenimiento anuales fuera de los meses cálidos.

Las operaciones de mantenimiento deben recibir un tratamiento especial, ya que con toda probabilidad son las que mayor peligro encierran. Es aconsejable en estas circunstancias tener una valoración o aproximación de los parámetros primarios, incluyendo el gasto energético que van a realizar y los vestidos que deben de llevar. Esta valoración tendrá como objetivo:

- \* Calcular la Duración Límite de Exposición DLE, a través del Índice de la Sudoración Requerida.
- \* Determinar si la vigilancia fisiológica directa es necesaria y los medios que debe de disponer. (Tabla VIII.1.)

#### B. OPTIMIZACION DE LOS CICLOS DE TRABAJO-REPOSO

Este problema ha sido abordado desde los cálculos matemáticos del índice de Sudoración Requerida. Una alternativa consiste en dejar al trabajador escoger su propio ritmo de trabajo y sus pausas, según reconozca una serie de síntomas. Existen estudios en que los propios operarios se mantienen dentro de los límites tolerables para sus condiciones físicas, siempre y cuando se respeten ciertas reglas:

- Aplicación en tareas rutinarias
- Ausencia de primas financieras u de otro tipo.
- Programa de Formación-Información adecuado.

Cualquiera que sea la solución adoptada la presencia de un local cercano de reposo, con una temperatura adecuada (nunca menor a 18°C) reduce la fatiga y disminuye el tiempo de reposo.

### C. ACLIMATACION

Es conveniente recordar las siguientes nociones sobre aclimatacion:

- Durante los 3 o 4 primeros días de exposición el trabajador no tiene ningún tipo de aclimatacion.
- Después de 10 o 12 días de exposición continuada la aclimatacion es completa.
- La aclimatacion es en parte especifica para el ambiente considerado.
- Una buena forma física y una aclimatacion a otro tipo de ambiente cálido son dos formas de aclimatacion parcial.
- La aclimatacion se pierde rápidamente, después de dos semanas de ausencia.

El trabajador NO aclimatado deberá observar las reglas siguientes en cuanto al tiempo de trabajo:

a) Operario familiarizado con la tarea:

- \* 1º día 50 % del tiempo
- \* 2º día 60 % del tiempo
- \* 3º día 80 % del tiempo
- \* 4º día 100 % del tiempo

b) Operario no familiarizado:

- \* 1º día 20 % del tiempo
- \* 2º día 40 %
- \* 3º día 60 %
- \* 4º día 80 %
- \* 5º día 100 %.

### D. REHIDRATACION

Los trabajadores no beben espontáneamente toda la cantidad de liquido perdida.

Las normas siguientes son interesantes con objeto de evitar la deshidratacion:

- \* La mejor bebida es el agua fresca y su temperatura 12°C
- \* Beber poco (250 ml) pero frecuentemente
- \* El recorrido hasta la fuente de hidratación debe ser lo mas corto posible.
- \* El tiempo debe ser suficiente
- \* NO se debe de ingerir alcohol de ningún tipo
- \* En principio no es necesario añadir sal.

## E. EDUCACION SANITARIA

Tanto los trabajadores como la línea jerárquica deben de recibir a intervalos regulares una información adaptada (NIOSH, 1986) sobre:

- Naturaleza y severidad del riesgo.
- Las razones que justifican la ingesta de líquido frecuentemente.
- Los síntomas precursoros de una intolerancia al calor y normas de actuación claras.
- La importancia de la progresiva exposición al calor con el objeto de obtener una buena aclimatación.
- Las circunstancias por las que es necesario reducir la exposición al calor:
  - \* los primeros días después de una baja laboral o vacaciones.
  - \* la sensación febril o de comienzo de una gripe.
  - \* la utilización de ciertos medicamentos, como las gotas nasales (anticolinérgicos) o antihistamínicos...
  - \* el alcoholismo agudo
  - \* la sensación de fatiga.
- El interés de realizar cortas y frecuentes pausas en ambiente caluroso, más que largas y raras.

## CAPITULO X

### PREVENCION TECNICA

#### INTRODUCCION

La reducción de la exposición al calor es el único método que proporciona una solución duradera. Un estudio global del puesto de trabajo es necesario tanto para llevar a cabo un correcto diagnóstico y la búsqueda de las intervenciones más correctas.

En este punto hay que volver a señalar la importancia de haber estudiado todos y cada uno de los seis parámetros primarios, no solo con el objeto de determinar los índices térmicos, sino también para conocer las verdaderas causas de los problemas.

Una serie de medidas serán objeto de este capítulo, cuyo único fin es el conocer algunas soluciones.

#### A. REDUCCION DEL CALOR RADIANTE

Tres medidas pueden ser eficaces:

- Aislamiento térmico
- Reducción de la emisividad de la superficie radiante. Emiten mucho menos calor las superficies lisas y brillantes que las rugosas y oscuras.
- Interposición de pantallas reflectantes.

Las dos primeras medidas son importantes en el caso de procesos industriales en los que el calor ambiental es una pérdida de energía. La interposición de pantallas reflectantes es eficaz si la pérdida de energía es necesaria en el propio proceso.

#### B. MEJORA DE LA VELOCIDAD DEL AIRE

El aumento de la velocidad del aire supone un aumento de los intercambios por convección y evaporación.

En la convección aumenta las pérdidas siempre y cuando la temperatura media de la piel sea menor que la temperatura del aire. En caso contrario aumenta la ganancia de calor.

En la evaporación pasa lo mismo, pero con la única diferencia de que el factor a considerar es la humedad ambiente  $P_a$  y la de la piel ( $P_{sk}$ ):

$P_a < P_{sk}$  -> aumento de las pérdidas por evaporación.

$P_a > P_{sk}$  -> aumento de las ganancias por evaporación.

De los casos expuestos las ganancias por convección se darán alrededor de temperaturas del aire superiores a 35 °C y las ganancias por evaporación con presiones parciales de vapor de agua superiores a 5,87 kPa (100% de HR a 35°C).

Se puede concluir que en la mayor parte de los casos el aumento de la velocidad del aire va a suponer un aumento de las pérdidas de calor. Las velocidades máximas aceptables son:

- 1 m/s en posición de pie, trabajo pesado, exposición continua y ventilación horizontal.
- 3 m/s en posición de pie, trabajo pesado, exposición intermitente.
- 10 m/s de pie, en situaciones de alto riesgo con exposición muy corta

#### C. TEMPERATURA DEL AIRE

La construcción de las naves industriales se hace cada vez con materiales más ligeros, por los que el calor difunde más fácilmente. En estos casos la temperatura ambiente es función de las fuentes internas y de el

calor que difunde a través de las paredes. Es necesario también actuar sobre los diferentes tipos de fuentes caloríficas: paredes, superficies acristaladas y fuentes internas. En la tabla X.1. se nombran distintas formas de prevención.

#### **D. HUMEDAD DEL AIRE**

Las soluciones pueden ser:

- Evacuación del vapor de agua producida en el interior de la fábrica, el límite de la humedad posible es la humedad exterior.
- Ventilación general con aire del exterior siempre que sea más "seco".

Si la humedad exterior es importante el único remedio es el acondicionamiento de aire

#### **E. MODIFICACION DE LOS VESTIDOS**

Normalmente todo sujeto expuesto al calor tiene tendencia a disminuir la cantidad y calidad de sus ropas, con el objeto de favorecer los intercambios por convección y evaporación. Los vestidos de protección deben ser la última de las medidas a tener en cuenta, los cuales deben ser lo más ligeros posibles y proporcionar una adecuada protección.

Generalmente se tienen como vestidos específicos aquellos que disminuyen los intercambios por radiación, es decir los vestidos con alto poder de reflexión (aluminizados). La característica común es que aumentan el incomfort por lo que su uso efectivo va a depender de:

- intensidad del calor radiante
- Exposición continua o intermitente
- Carga física del trabajo: si la carga es importante van a reducir los intercambios por evaporación.

#### **F. REDUCCION DE LA CARGA DE TRABAJO**

En ambientes medianamente peligrosos hay una disminución espontánea del ejercicio. Por contra en ambientes extremos el trabajador ensaya acabar más rápido aumentando el metabolismo y por tanto empeorando sus condiciones de exposición.

La reducción de la carga física se puede obtener por la mecanización de ciertas operaciones, útiles de asistencia mecánica, reducción de los desplazamientos, mejora de las posturas adecuando a las necesidades antropométricas de los sujetos.

## CAPITULO XI

### APROXIMACIÓN PARA NO EXPERTOS. TECNOLOGIA SOBANE

#### INTRODUCCIÓN

Este documento esta basado en gran parte en lo publicado por el Profesor J MALCHAIRE, Universidad Católica de Lovaina. Solo se habla de la fase de Observación, ya que en las demás fases se recogen sistemáticamente y mediante medidas habituales (análisis) o extraordinarias (experto).

#### OBJETIVOS

El objetivo principal del análisis de riesgos ligados al Medio Ambiente Térmico es:

- no tanto cuantificar los riesgos
- sino prevenirlos, eliminándolos o al menos reducirlos

El método que se describe pretende recoger única y exclusivamente aquella información que sea pertinente y necesaria para la búsqueda de medidas de prevención.

#### PRINCIPIOS GENERALES

- Normalmente el numero de situaciones de trabajo donde existen problemas (inconfort o riesgo) de Medio Ambiente Térmico es muy elevado, sería utópico e imposible estudiarlas en su totalidad.

Además se debe intentar solventar la mayor parte de los problemas en la primera fase de estudio, a partir de observaciones sencillas y realizadas por le personal directo de la empresa. (Etapa I OBSERVACIÓN)

- En algunos casos un ANÁLISIS más exhaustivo puede ser necesario (etapa II ANÁLISIS).
- Solo en algunos casos particulares un EXPERTO puede ser indispensable. (etapa III EXPERTO)

#### ESTRATEGIA

Definimos un método basado en un acercamiento progresivo al problema planteado

	<b>Etapa I OBSERVACIÓN</b>	<b>Etapa II ANÁLISIS</b>	<b>ETAPA III EXPERTO</b>
Quando?	Siempre	Casos difíciles	Casos complejos
Como ?	Observaciones cualitativas	Mediciones cuantitativas	Mediciones especializadas
Coste ?	Bajo	Medio	Elevado

Quien ?	Personal de la empresa	Personal empresa + Sº Prevención	Personal empresa + Sº Prevención + Expertos
Conocimientos ? <ul style="list-style-type: none"> <li>• Del trabajo</li> <li>• Técnicos</li> </ul>	Elevados Medios	Medios Elevados	Débil Especializados

### CONDICIONES

- **Participación**, sobre todo en la etapa I, incluyendo a los trabajadores y sus representantes.
- **Estructurada** en función del tamaño de la empresa.
- **Complementaria:**  
 En el momento que la etapa I no permite establecer las medidas de prevención adecuadas, es necesario profundizar primero con el Sº prevención (etapa II) y luego con los expertos (etapa III).
  - estos últimos aportan a la empresa su competencia especializada con el objeto de llegar a una prevención adecuada, siempre como colaboradores de la línea jerárquica.

## COMO PROCEDER ?

- Se utilizará un método general con el objeto de **DESPISTAR LOS RIESGOS**:
  - ◊ rápidamente
  - ◊ por medio de observaciones simples del trabajo y de los trabajadores.
  - ◊ que permita reconocer las situaciones de trabajo donde pueda existir un problema de Medio Ambiente Térmico
  - ◊ situando este problema dentro de un contexto más general.
  
- Desde el momento que un problema sea sospechado:
  - ◊ **Las personas de la empresa** ( cuadros técnicos, ingenieros, Sº Prevención,...)
    - Observaran de manera sistemática la situación de trabajo
    - recogerán la información cualitativa disponible, con los trabajadores y mandos intermedios.
    - determinan si el problema es real
    - en caso contrario retomar el tema en el contexto general de análisis de riesgos y determinar las causas subyacentes reales del problema.
    - determinan las primera medidas de prevención/mejora.
  
- ⇒ Estiman si el **riesgo residual**<sup>1</sup> es aceptable o no.
  - Si el riesgo residual es inaceptable:
    - se pide la asistencia de un prevencionista formado sobre el problema concreto.
    - después de la búsqueda conjunta se estima de nuevo el riesgo.
- ⇒ Si el riesgo residual todavía es inaceptable será necesario la asistencia de un experto.
  
- ⇒ Una protección médica o una vigilancia de la salud debe ser instaurada:
  - a la espera de que las medidas de prevención sean instauradas.
  - o el riesgo sea inevitable.
- ⇒ La estrategia es delegada por el empresario a los servicios técnicos internos o externos que deben asumir su responsabilidad en: la calidad de las observaciones, de sus mediciones y la pertinencia de las medidas de prevención/mejora.
  
- ⇒ La responsabilidad de la puesta en practica de estas medidas de prevención/mejora incumbe al empresario.
- ⇒ los diferentes documentos de los servicios internos-externos son comunicados al empresario y al Comité de Seguridad y Salud que decidirán las acciones.

<sup>1</sup>riesgo después de haber aplicado las medidas de prevención/mejora propuestas



**Etapa I- OBSERVACIÓN**

**OBJETIVOS**

- Recoger la información sobre la situación en relación a:
  - ◊ Trabajo: Tipo de trabajo, locales
  - ◊ sobre las condiciones de trabajo, vestidos necesarios
  - ◊ Las fuentes de calor, humedad corrientes de aire
- sobre el campo
- con la colaboración de los trabajadores y cuadros de la empresa.
- Determinar las medidas técnicas inmediatas que puede ser tomadas para la prevención de riesgos. Los objetivos se resumen en esta tabla.

Ta	18 -24 °C
Humedad	40-70 %
Radiación térmica	Ausencia
Velocidad del aire	NO corrientes
Carga trabajo	Ligera
Vestidos	Normales

- Determinar si un análisis (etapa II) es :
  - ◊ Necesario
  - ◊ con que urgencia
  - ◊ que objetivos

**QUIEN**

- Personal de la empresa (cuadros, oficinas técnicas, mantenimiento, prevencionistas internos) que conozcan muy bien la situación de trabajo.
- En colaboración con los trabajadores y mandos intermedios.

## COMO

- **Procedimiento**
- **Descripción** sucinta de la situación de trabajo
  - ◇ Croquis
  - ◇ zonas de trabajo
  - ◇ Actividad en cada zona
  - ◇ Numero de trabajadores y tareas
- **Recogida** de información concerniente a:
  - ⇒ Temperatura del aire
  - ⇒ Humedad
  - ⇒ Radiación calorífica o térmica
  - ⇒ Corrientes de aire
  - ⇒ Carga de trabajo física
  - ⇒ Vestidos
  - ◇ Sobre la situación general, abstrayéndose del día concreto.
  - ◇ en cada zona y por cada actividad
  - ◇ con búsqueda de soluciones inmediatas.
- **Síntesis:**
  - ◇ emitiendo un juicio de la situación de trabajo en su conjunto.
  - ◇ Balance de las acciones prevención y su mejora.
  - ◇ Estudio de la situación futura
  - ◇ Necesidad de una segunda fase: Análisis.
- **Documentos**
  - ◇ **Paginas izquierda** : GUIA
    - ⇒ Puntos a considerar sucesivamente
    - ⇒ En el momento necesario estudiar las fichas técnicas dando más detalles a apreciar o a solucionar determinados problemas
  - ◇ **Pagina derecha:** NOTAS
    - ⇒ Esquema guiado para recoger información:

### **Procedimiento - etapa I OBSERVACIÓN-**

- 1.Descripción
2. Información parámetros climáticos
3. Síntesis

#### **1. Descripción**

- Zonas de trabajo
- Actividades
- Trabajadores
- Fuentes de calor y tipo

## 2. temperatura del aire ta

---

- Evaluar según experiencia (no medir, sino sobre la base del conocimiento de un periodo largo).

Puntuación	Significado
-3	Mucho Frío (<0 °C)
-2	Frío (0-10 °C)
-1	Algo frío (12-18 °C)
0	Cómodo (18-25 °C)
1	Algo calor (25-32 °C)
2	Calor (32-40 °C)
3	Mucho Calor (> 40 °C)

(probablemente para cada estación del año habrá que recoger estos datos separadamente)

- Localizar fuentes: calor o frío.
  - Describir su importancia
- Prevención:
  - aislamiento
  - captación calor,
  - ventilar, (el objetivo ser tener la misma temperatura que en el exterior)
  - favorecer la salida o entrada.
- Estado previsible:
  - En caso de no tomar ninguna medida
  - De la medida tomada.

### 3. Humedad

- Estado actual

Puntuación	Significado
-1	Sequedad (mucosas, electric)
0	Normal (exterior)
+1	Elevada (piel mojada)
+2	Muy elevada ( piel calada)

- Localizar fuentes
- Prevención: captación, favorecer la salida o entrada.
  - aislamiento
  - captación calor,
  - ventilar, (el objetivo ser tener la misma humedad que en el exterior)
  - favorecer la salida o entrada.
- Estado previsible
  - En caso de no tomar ninguna medida
  - De la medida tomada.

### 4. Calor radiante

- Evaluar según experiencia

Puntuación	Significado
-1	frío (frío en mano o cara 2-3')
0	Cómodo
1	Calor (calor mano-cara 2-3')
2	Mucho calor (no aguantar >2')
3	Extremo (quemadura inmediata)

- Localizar fuentes
- Prevención:
  - Aislamiento (por ejemplo: el sol solo se puede tapar)
  - Evitar superficies: las superficies lisas y claras emiten menos radiación que las oscuras y rugosas
  - Vestidos
- Estado previsible
  - En caso de no tomar ninguna medida
  - De la medida tomada.

## 5. Corrientes de aire

---

Evaluar según experiencia

Puntuación	Significado
-2	Fuerte y fría
-1	Ligera y fría
0	Sin corrientes de aire
1	Ligera y cálida
2	Fuerte y muy cálida

- Localizar fuentes.
- Prevención.
  - Las corrientes de aire son incómodas para cualquier tipo de temperatura.
- Estado previsible.
  - En caso de no tomar ninguna medida
  - De la medida tomada.

## 6. Carga de trabajo

---

- Estado actual

	Significado
0	Ligero: oficina, desplazamientos ocasionales a velocidad normal
+1	Medio :Trabajo más fatigante para alguna parte del cuerpo. La mayor parte de los trabajos
+2	Pesado: intenso de brazos o tronco: cavar, cortar leña,...
+3	Muy pesado: intenso gran velocidad.

- Prevención
  - Reducción de los desplazamientos.
  - Reducción de esfuerzos
  - Mejora de posturas
- Estado previsible.

## 7. Vestidos para cada actividad

---

- Estado actual

	Significado
0	Confortable:
+1	Molesto
+2	Muy Molesto
+3	Agobiante

- Vestidos normales / especiales.
- Prevención
- Estado previsible.

## 8. Opinión de los trabajadores

---

Puntuación	Significado
-3	Mucho Frío: molestias en todo el cuerpo
-2	Frío: molestias en manos, pies o brazos
-1	Algo frío
0	Cómodo
1	Algo calor: molestias leves. Corrientes de aire, toma de bebidas frescas.
2	Calor: Transpiración importante, sed, enlentecimiento del trabajo
3	Mucho Calor: Trabajo muy penoso, palpitaciones, sincopes,..

- Por qué?:
  - A qué lo achaca cada trabajador.
- Síntesis

### 1.9. Síntesis

- Riesgo actual:

	Temp.	Radiación	Humedad	Corrientes	Esfuerzo	Vestidos
-3	Muy baja					
-2	Baja			Fuerte-y fría		
-1	Débil	Fría	Débil	Ligera- y fría		
0	normal	Normal	Normal	ligera	Ligero	Confort
+1	Ligero Calor	Ligero Calor	Elevada	Ligera-calida	Media	Molestia
+2	Calor	Calor	Muy elevada	Fuerte y Cálida	Pesada	Muy molesta
+3	Extrema	Extrema			Muy pesada	Extrema

- Riesgo residual

	Temp.	Radiación	Humedad	Corrientes	Esfuerzo	Vestidos
-3	Muy baja					
-2	Baja			Fuerte-y fría		
-1	Débil	Fría	Débil	Ligera- y fría		
0	normal	Normal	Normal	ligera	Ligero	Confort
+1	Ligero Calor	Ligero Calor	Elevada	Ligera-calida	Media	Molestia
+2	Calor	Calor	Muy elevada	Fuerte y Cálida	Pesada	Muy molesta
+3	Extrema	Extrema			Muy pesada	Extrema

- Balance de las medidas de mejora
- Necesidad de una análisis más profunda.
- Medidas a corto termino:
  - Bebidas
  - Organización del trabajo
  - Vigilancia médica.

## BIBLIOGRAFIA

- AUBERTIN G. Los riesgos debidos a la exposicion al calor y al frio. Travail y Sécurité, nº 1-2, 1983, pags 16-.
- AUBERTIN G: Reduccion de la agresion termica y de la afliccion fisiologica al calor y al frio. Travail et Sécurité, nº 1-2, 1983.
- ASTRAND P., RODAHL K. Fisiologia del trabajo fisico. Ed Panamericana. 2\_ edicion, 1985.
- BETHEA D., PARSONS K. The development of a practical heat stress assessment methodology for the UK industry. Health & Safety executive. 2003.
- BOE . LEY 31/1995. Ley de Prevección de Riesgos laborales .1995.
- BOE RD 486/1997.
- CANDAS V., LIBERT J.P., SAGOR J.C., VOGT J.J.- Thermophysiological reponses to humide heat: sex differences. J. Physiol (Paris),1982,78,240-242.
- CEE. Directiva del consejo concierne las prescripciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. Boletín oficial de las Comunidades europeas. 1988.
- CEE. Directiva del consejo concierne la puesta en marcha de medidas tendentes a promover la mejora de la seguridad y la salud en el trabajo. Boletín Oficial de las Comunidades europeas. 1989.
- DESOLLE H. MARTI MERCADAL J.A., SCHERRER J., TRUHAUT R.- Medicina del Trabajo. Ed Masson. 1990.
- FANGER P.O . Thermal comfort. McGraw-hill, 1972.
- FERNANDEZ DE PINEDO I., NOGAREDA C. Y ONCINS M.. Encuesta Nacional de condiciones de Trabajo 1987. Salud y Trabajo nº70, 1988.
- FRYE A. J., KAMON E.. Sweating efficiency in acclimated men and women exercising in humid and dry heat. J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise physiol., 1983, 54, 4, 972-977.
- GALINDEZ I., MALCHAIRE J.- Evaluacion de las condiciones de trabajo en ambiente Caluroso. Salud y Trabajo nº 83- 1991/1, 28-35, 1991.
- HORWAT F., MEYER J.P., MALCHAIRE J. . Validation of a new pocket computer-assited method for metabolic rate-estimation in field studies. Ergonomics, 1988, 8,31, 1155-1164.
- CASTEJON E.(INSHT). Confort termico. Metodo de Fanger para su evaluacion. Nota Tecnica de Prevencion nº 74. 1983.

ISO 7243. Ambiance chaudes - Détermination de l'indice de contrainte thermique WBGT, 1982. (NORMA EN 27.243-93 / NORMA UNE-EN 27.243-95)

ISO 7730. Ambiances thermiques modérées. Détermination des indices PMV et PPD et spécifications des conditions de confort thermique. 1984.

ISO 7726. Ambiances thermiques. Appareils et méthodes de mesure des caractéristiques physiques de l'environnement. 1985 (NORMA EN-27726-93 / NORMA UNE-EN 27.276-95)

ISO 7933. Ambiance thermiques chaudes. Détermination analytique et interprétation de la contrainte thermique fondées sur le calcul de la sudation requise, 1990.

ISO 8996.- Détermination de la production de chaleur métabolique. 1990 (NORMA EN 28.8996-93 / NORMA UNE-EN 28.8996-95).

ISO-DP 9886. Evaluation de l'astreinte thermique par mesures physiologiques. 1990.

ISO-DP 9920. Estimation des caractéristiques thermiques d'un vêtement. 1988.

MAIRIAUX Ph. et MALCHAIRE J.. Le travail en ambiance chaude. Ed. Masson. 1990.

MALCHAIRE J.B. Evaluation of natural wet bulb globe thermometers. Ann. Occup. Hyg, 1976, 19, 251-258.

MALCHAIRE J. Méthodologie générale d'interprétation des enregistrements continus de fréquence cardiaque aux postes de travail. Cahiers de Médecine du Travail. 1988, XXV, 4.

MALCHAIRE J.. Validation des indices de contrainte thermique pour la prédiction des astreintes et des durées limites d'exposition. Rapport final, Etude CECA 7247.22.01, 1988b.

MALCHAIRE J. Ambiances Thermiques de travail. Strategie d'évaluation et de prevention des risques. Ministère belge fédéral de l'Emploi et du travail. 1997.

MALCHAIRE J., KAMPMANN B., MEHNERTE P., GEBHART H., PIETTE A. HAVENITH G., DEN HARTOG E., HOLMER I. PARSONS K. ALFANO G., GRIEFAHN B. Evaluation du risque de contrainte lors du travail en ambiances chaudes. Médecine du travail & Ergonomie. Vol. XXXVIII, n° 3· 2001.

NIOSH. Occupational exposure to hot environments. Revised Criteria, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH). Publication n° 86-113. 1986.

O.I.T. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Organizacion Internacional del trabajo.

OLESEN, Ph. D. Thermal Comfort. Technical Review. 1982

OLESEN, Ph. D. Local Thermal Comfort. Technical Review. 1985.

PETERS H., Testing climate indices in the field. IN: Heat stress indices, ECC Symposium, 25-26 October 1988, Luxemburg, 135-165.

RAPP R. AUBERTIN G. Thermique previsionnelle. Calcul et mesure de la temperature moyenne de rayonnement dasn les ateliers. Notes dcoumentaires. 1550-121-1985.

SPITZER H., HETTINGER T., KAMINSKY G.. Tafeln für den Energieumastz bei Körperlicher Arbeit. 6. Auflage. Beuth Verlag GmbH, Berlin-Köln, 1982.

VOGT J.J.. Campagne de comparaison de la validité respective des principaux indices de contrainte thermique. Quatrième programme ergonomique de la CECA. 1987.