

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**INDUSTRIAL**



**SOBRECARGA TÉRMICA DEL ORGANISMO EN LOS PROCESOS DE FUSIÓN**  
**DE METALES EN HORNO DE CRISOL**

**Titulación:** I.T.I. Mecánica

**Intensificación:** Higiene Industrial

**Alumno/a:** David Saorín Candel

DNI: 48418657-T

**Director/a/s:** Prof. Antonio García  
Sánchez

Cartagena 11 de Junio de 2009



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNO DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

<b>1. RESUMEN .....</b>	<b>6</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>7</b>
<b>3. OBJETIVOS DEL PROYECTO .....</b>	<b>13</b>
<b>3.1. GENERAL .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2. ESPECÍFICOS .....</b>	<b>13</b>
<b>4. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS Y POSIBLES IMPACTOS TERMICOS SOBRE LOS TRABAJADORES. ....</b>	<b>15</b>
<b>4.1. PROCESO DE FUSIÓN DE METALES EN HORNO DE CRISOL.....</b>	<b>15</b>
<b>4.2. EL AMBIENTE TÉRMICO Y EL ORGANISMO HUMANO. ....</b>	<b>17</b>
<b>5. BALANCE CALÓRICO Y MAGNITUD DE LA TASA METABÓLICA. RIESGOS ASOCIADOS. .....</b>	<b>20</b>
<b>5.1. BALANCE CALÓRICO.....</b>	<b>20</b>
<b>5.2. MAGNITUD DE LA TASA METABÓLICA .....</b>	<b>23</b>
5.2.1. <i>Tolerancia al calor</i> .....	24
5.2.2. <i>Aclimatación al calor</i> .....	25
<b>6. PROCESOS DE TRANSPORTE DE CALOR E IMPACTO SOBRE LA SALUD. ....</b>	<b>28</b>
<b>6.1 CONVECCION .....</b>	<b>28</b>
<b>6.2 LA EVAPORACIÓN DEL SUDOR. ....</b>	<b>29</b>
<b>6.3 LA RADIACIÓN .....</b>	<b>33</b>
<b>6.4 CONDUCCIÓN (K) .....</b>	<b>35</b>
<b>7. PRODUCCIÓN METABÓLICA DE CALOR Y CONSUMO ENERGÉTICO. ....</b>	<b>43</b>
I.....	49
II .....	50
III.....	50
<b>7.1. EQUILIBRIO TÉRMICO.....</b>	<b>58</b>
<b>8. DETERMINACIÓN DEL RIESGO DE ESTRÉS TÉRMICO. CRITERIOS DE EVALUACIÓN....</b>	<b>61</b>
<b>8.1 VARIABLES DEL MEDIO AMBIENTE.....</b>	<b>62</b>
8.1.1. <i>Temperatura seca del aire</i> .....	62
8.1.2. <i>Humedad del aire.</i> .....	63

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 2 de 201



8.1.3. Temperatura húmeda natural( <i>thn</i> ) .....	64
8.1.4. Temperatura húmeda psicrométrica ( <i>thp</i> ).....	66
8.1.5. Velocidad del aire.....	68
8.1.6. Calor radiante. ....	70
8.1.7. Temperatura de globo o radiante.....	70
<b>8.2. ESTIMACIÓN DE LA CARGA FÍSICA METABÓLICA. ....</b>	<b>71</b>
<b>8.3. ADECUACIÓN DE LOS REGÍMENES DE TRABAJO-DESCANSO. ....</b>	<b>81</b>
<b>8.4. VARIABLES PERSONALES .....</b>	<b>82</b>
8.4.1. Consumo metabólico .....	83
8.4.2. El vestido .....	83
<b>9. PROCEDIMIENTOS DE ESTIMACIÓN DEL CONFORT TÉRMICO METABÓLICO.....</b>	<b>85</b>
<b>9.1. ÍNDICE PMV – PPD. MÉTODO DE FANGER .....</b>	<b>87</b>
9.1.1. PMV, voto medio previsto .....	87
9.1.2. PPD. Porcentaje previsto de personas en disconfort. ....	90
<b>9.2. MÉTODO DEL ÍNDICE DE TEMPERATURA EFECTIVA (ITE) .....</b>	<b>92</b>
<b>9.3. MÉTODO DEL ÍNDICE DE TENSIÓN TÉRMICA.....</b>	<b>94</b>
<b>9.4. MÉTODO DEL ÍNDICE DE SUDORACIÓN REQUERIDA (SWREQ).....</b>	<b>98</b>
9.4.1. Bases teóricas.....	98
9.4.2. Límites Máximos.....	99
9.4.3. Riesgos -Duración límite de exposición (DLE).....	100
9.4.4. Validez del Índice de SWreq.....	101
9.4.5. Ponderación Exponencial.....	101
9.4.6. En practica .....	102
<b>10. RIESGOS Y DAÑOS A LA SALUD.....</b>	<b>103</b>
<b>10.1. CALAMBRES POR CALOR.....</b>	<b>104</b>
<b>10.2. GOLPE DE CALOR. ....</b>	<b>105</b>
Tratamiento.....	108
<b>11. VIGILANCIA DE LA SALUD.....</b>	<b>110</b>
<b>11.1. CONTROL Y EXAMEN. ....</b>	<b>110</b>
<b>11.2. EXÁMENES MÉDICOS .....</b>	<b>111</b>
<b>12. SERVICIOS DE LA SALUD EN EL TRABAJO.....</b>	<b>115</b>
<b>12.1. SISTEMAS DE CONTROL. ....</b>	<b>115</b>
12.1.1. Sobre el foco. ....	118



12.1.2. Sobre el individuo.....	119
<b>13. CASO PRÁCTICO.....</b>	<b>127</b>
<b>13.1 SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE LOS TRABAJADORES. ....</b>	<b>132</b>
<b>13.2 RECOMENDACIONES A LOS TRABAJADORES.....</b>	<b>132</b>
13.2.1. Programación de las operaciones.....	132
13.2.2. Rehidratación.....	133
13.2.3. Educación sanitaria.....	134
<b>13.3 RECOMENDACIONES A LA EMPRESA. ....</b>	<b>135</b>
13.3.1. Reducción del calor radiante.....	135
13.3.2. Mejora de la velocidad del aire.....	136
13.3.3. Temperatura del aire.....	137
13.3.4. Humedad del aire.....	137
13.3.5. Formación del personal.....	138
<b>A N E X O .....</b>	<b>139</b>
<b>1. LEGISLACIÓN Y NORMALIZACIÓN .....</b>	<b>140</b>
<b>2. NTP 279: AMBIENTE TÉRMICO Y DESHIDRATACIÓN.....</b>	<b>142</b>
2.1 <i>Introducción</i> .....	142
2.2 <i>Necesidades hídricas en el puesto de trabajo</i> .....	143
2.3 <i>Deshidratación</i> .....	145
2.4 <i>Actuación inmediata</i> .....	146
2.5 <i>Medidas preventivas de la deshidratación</i> .....	147
<b>3. NTP 323: DETERMINACIÓN DEL METABOLISMO ENERGÉTICO .....</b>	<b>149</b>
3.1 <i>Introducción</i> .....	149
3.2 <i>Estimación del consumo metabólico a través de tablas</i> .....	150
<i>Consumo metabólico según el tipo de actividad</i> .....	151
<i>Consumo metabólico según la profesión</i> .....	153
<i>Consumo metabólico en tareas concretas</i> .....	154
<i>Consumo metabólico a partir de los componentes de la actividad</i> .....	157
3.3 <i>Variación del gasto energético con el tiempo</i> .....	163
3.4 <i>Determinación del consumo metabólico mediante medición de parámetros fisiológicos</i> .....	166
<b>4. NTP 501: AMBIENTE TÉRMICO: INCONFORT TÉRMICO LOCAL .....</b>	<b>169</b>
4.1 <i>Introducción</i> .....	169
4.2 <i>Corrientes de aire</i> .....	171



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

4.3	<i>Asimetría de planos radiantes</i> .....	173
4.4	<i>Diferencia vertical de temperaturas</i> .....	175
4.5	<i>Suelos calientes o fríos</i> .....	176
4.6	<i>Valores de referencia</i> .....	177
4.7	<i>Bienestar general</i> .....	178
4.8	<i>Inconfort térmico local</i> .....	180
5.	<b>NTP 74: CONFORT TÉRMICO - MÉTODO DE FANGER PARA SU EVALUACIÓN</b> .....	<b>181</b>
5.1	<i>Introducción</i> .....	181
5.2	<i>Requerimientos para el confort térmico</i> .....	182
5.3	<i>Índice de valoración medio</i> .....	183
	<i>Influencia del vestido</i> .....	184
	<i>Influencia de la humedad relativa</i> .....	184
	<i>Influencia de la temperatura radiante media</i> .....	186
5.4	<i>Proporción de insatisfechos</i> .....	187
6	<b>BIBLIOGRAFÍA:</b> .....	<b>201</b>



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

## **1. RESUMEN**

El proyecto que presento a continuación trata sobre la sobrecarga térmica que sufren los trabajadores en los procesos de fusión de metales en horno de crisol. A lo largo del cual, de la forma más clara posible, se explicará el proceso de fusión de los metales que se llevan a cabo en las instalaciones.

Otro de los puntos que se desarrollan a lo largo del proyecto es la influencia que ejercen las altas temperaturas sobre el organismo humano, además de las medidas generales que se han de tomar para evitar o atenuar estos efectos.

Al unir ambos puntos, el proceso que se lleva a cabo en el horno y la influencia de las altas temperaturas sobre el trabajador, se detectan una serie de riesgos para la salud que están presentes, y se intentan presentar una serie de medidas preventivas que más se ajusten a la situación.

Para finalizar, se expone un caso práctico para facilitar la comprensión de lo expuesto en el proyecto.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 6 de 201

 <p>Universidad Politécnica de Cartagena</p>	<p><b>SOBRECARGA TÉRMICA DEL ORGANISMO EN LOS PROCESOS DE FUSIÓN DE METALES EN HORNO DE CRISOL</b></p>	<p><b>DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA Y AMBIENTAL</b></p>
---	--	--

## 2. INTRODUCCIÓN

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 clarificar 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

<p><b>Ingeniería técnica Industrial, Especialidad: mecánica.</b></p>	<p>David Saorín Candel</p>	<p>Revisión: Página 7 de 201</p>
--	----------------------------	--------------------------------------

 <p>Universidad Politécnica de Cartagena</p>	<p><b>SOBRECARGA TÉRMICA DEL ORGANISMO EN LOS PROCESOS DE FUSIÓN DE METALES EN HORNOS DE CRISOL</b></p>	<p><b>DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA Y AMBIENTAL</b></p>
---	---	--

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 ultima son traducidas sin cambios por la Asociación

Española de Normalización (AENOR) a normas UNE.

Los trabajadores de los altos hornos se ven sometidos a continuas elevaciones de la temperatura ambiental en la zona de fusión de metales junto con un aumento de la temperatura corporal interna, debido al aumento del consumo energético por un aumento de la actividad física (al desarrollar la tarea que se le haya encomendado, por ejemplo: el traslado de piezas metálica, necesarias para la fundición).

Estas exposiciones térmicas están provocando la aparición de trastornos fisiológicos en los trabajadores, que les impiden trabajar con un rendimiento pleno y, en ocasiones, son motivos de absentismo laboral por baja como enfermedad laboral.

Como consecuencia, cada vez van apareciendo más estudios sobre este tema. Y una de las explicaciones de por qué afecta la temperatura al hombre, puede ser:

<p><b>Ingeniería técnica Industrial, Especialidad: mecánica.</b></p>	<p>David Saorín Candel</p>	<p>Revisión: Página 8 de 201</p>
--	----------------------------	--------------------------------------



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

El ser humano protegido puede tolerar variaciones de la temperatura ambiental entre  $-50^{\circ}\text{C}$  y  $-100^{\circ}\text{C}$ . Pero una persona puede tolerar una variación de sólo aproximadamente  $4^{\circ}\text{C}$  en la temperatura corporal profunda sin que se produzca una disminución del rendimiento óptimo físico y mental.

Los cambios en la temperatura corporal afectan a las estructuras celulares, los sistemas enzimáticos y numerosas reacciones químicas dependientes de la temperatura y procesos físicos que tienen lugar en el cuerpo.

Los límites máximos que puede tolerar la célula viva van desde aproximadamente  $-1^{\circ}\text{C}$  en un extremo de la escala, cuando se rompen los cristales de hielo formados durante la congelación, hasta el calor de coagulación de las proteínas vitales en la célula a aproximadamente  $45^{\circ}\text{C}$  en el otro extremo de la escala.

Sólo puede tolerar por periodos cortos una temperatura interna que exceda los  $41^{\circ}\text{C}$ . De hecho, muchos animales, incluso a los humanos, viven su vida entera sólo con unos pocos grados de diferencia de su punto de muerte térmica.

El extremo caliente en la escala es más problemático que el extremo frío, dado que las personas pueden protegerse así mismas más fácilmente contra el sobreenfriamiento que contra el sobrecalentamiento. En consecuencia, el mecanismo de control para la regulación de la temperatura está particularmente preparado para proteger los tejidos corporales contra el sobrecalentamiento.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 9 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

Existe una Norma Española (UNE EN 27243) sobre la estimación del Estrés Térmico del hombre en el trabajo basado en el índice WBGT ( Temperatura Húmeda y Temperatura de Globo), que es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 27243, DE FECHA Octubre de 1993.

Esta Norma Europea es la adopción de la Norma ISO 7243: 1989 sin ninguna modificación.

La adopción de la Norma ISO fue recomendada por el Comité Técnico CEN/TC 122 Ergonomía bajo cuya competencia está esta Norma Europea.

Por lo tanto, esta Norma Europea recibió el estatus de una Norma Nacional con un plazo máximo hasta abril de 1994.

La norma fue aprobada, y de acuerdo con las reglas comunes CEN/CENELEC los siguientes países tuvieron que adaptar esta Norma Europea:

Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, Suecia y Suiza.

La publicación de esta Norma europea era necesaria debido al incremento de interés mostrado hacia los problemas presentados por la exposición de los individuos a los ambientes térmicos y al hecho que hay pocos documentos o normas nacionales en este campo.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 10 de 201

 <p>Universidad Politécnica de Cartagena</p>	<p><b>SOBRECARGA TÉRMICA DEL ORGANISMO EN LOS PROCESOS DE FUSIÓN DE METALES EN HORNOS DE CRISOL</b></p>	<p><b>DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA Y AMBIENTAL</b></p>
---	---	--

El Índice de Temperatura Húmeda – Temperatura de Globo (WBGT) es uno de los índices empíricos que representa el estrés térmico al que un individuo está expuesto.

Este índice es fácil de determinar en un ambiente industrial.

Un método de estimación del estrés térmico basado en el análisis del intercambio de calor entre el hombre y el ambiente permite una estimación más exacta del estrés térmico y un análisis de los métodos de protección.

Con la tecnología actual de evaluación, el método tiene el defecto de ser más largo y más difícil de acometer.

Por tanto, tal método será aplicado bien directamente cuando se desee realizar un análisis detallado de las condiciones de trabajo en ambientes calurosos, o además del método basado en el índice WBGT cuando los valores obtenidos superan los valores de referencia.

Establecer un método de evaluación del estrés térmico basado en el índice WBGT es sólo un paso hacia la definición de un índice que muestre las ventajas de ambos métodos juntas.

En el índice WBGT, la temperatura del aire y la actividad física son unos parámetros básicos ya que:

<p><b>Ingeniería técnica Industrial, Especialidad: mecánica.</b></p>	<p>David Saorín Candel</p>	<p>Revisión: Página 11 de 201</p>
--	----------------------------	---------------------------------------



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

El estrés térmico al que está sometida una persona expuesta mientras trabaja en un ambiente caluroso es, en particular, dependiente de la producción interna de calor en el cuerpo como resultado de la actividad física y de las características del ambiente que rigen la transferencia de calor entre el entorno y el cuerpo.

Por todo esto, he visto apropiado desarrollar el tema de los efectos de la sobrecarga térmica sobre la salud de los trabajadores, y en concreto, en los procesos de fusión de metales en hornos de crisol.

Es el lugar idóneo para observar las consecuencias que conllevan el trabajar en zonas donde la temperatura ambiente es muy elevada, junto con un esfuerzo físico, propio de la actividad que deba desarrollar el trabajador.

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.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 12 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNO DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

### **3. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

#### **3.1. GENERAL**

Obtener unos conocimientos básicos sobre el tipo de trabajo que debe desarrollar un empleado de una planta de fusión de metales en hornos de crisol, y su influencia en la salud del trabajador.

#### **3.2. ESPECÍFICOS**

Conocer qué es un horno de crisol, cómo se utiliza y cuál es su proceso.

Saber cuáles son las condiciones térmicas ambientales en las que están sometidos los trabajadores de una planta de fusión de metales.

Informarse sobre: la tolerancia que tiene el organismo humano al calor, la producción metabólica de calor y el consumo energético.

Averiguar de qué forma se puede obtener el equilibrio térmico.

Definir el término “estrés térmico” y averiguar el riesgo de su aparición en los operarios de las zonas donde se encuentran los hornos de crisol.

Establecer unos criterios de evaluación del riesgo de estrés térmico, así como buscar unos sistemas de control para obtener una adecuada prevención.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 13 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

Indicar los riesgos y los daños que se pueden producir en la salud de los trabajadores en la fusión de metales.

Cómo realizar la vigilancia de la salud en estos casos.

Determinar el tipo de vestimenta que se debe utilizar en un ambiente cálido y, sobre todo, si se realiza un trabajo físico.

Elaborar un informe de evaluación en ambientes calurosos.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 14 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNO DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

## **4. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS Y POSIBLES IMPACTOS TERMICOS SOBRE LOS TRABAJADORES.**

### **4.1. PROCESO DE FUSIÓN DE METALES EN HORNO DE CRISOL.**

Cualquier proceso de producción de acero a partir de arrabio consiste en quemar el exceso de carbono y otras impurezas presentes en el hierro. Una dificultad para la fabricación del acero es su elevado punto de fusión ( $1.400^{\circ}\text{C}$ ), lo que impide utilizar combustibles y hornos convencionales.

Para superar la dificultad se desarrolló el horno de crisol, que funciona a altas temperaturas gracias al precalentado regenerativo del combustible gaseoso y el aire empleados para la combustión.

En el precalentado regenerativo, los gases que escapan del horno se hacen pasar por una serie de cámaras llenas de ladrillos, a los que ceden la mayor parte de su calor. A continuación se invierte el flujo a través del horno, y el combustible y el aire pasan a través de las cámaras y son calentados por los ladrillos. Con este método, los hornos de crisol abierto alcanzan temperaturas de hasta  $1.650^{\circ}\text{C}$ .

El horno propiamente dicho suele ser un crisol de ladrillo plano y rectangular de unos  $6 \times 10$  m, con un techo de unos 2,5 m de altura. Una serie de puertas da a una planta de trabajo situada delante del crisol. Todo el crisol y la planta de trabajo están situados a una altura determinada por encima del suelo, y el espacio situado bajo el crisol

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 15 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

lo ocupan las cámaras de regeneración de calor del horno. Un horno del tamaño indicado produce unas 100 toneladas de acero cada 11 horas.

El horno se carga con una mezcla de arrabio (fundido o frío), chatarra de acero y mineral de hierro, que proporciona oxígeno adicional. Este proceso puede acelerarse introduciendo tubos refrigerados por agua (lanzas), los que suministran un grueso flujo de oxígeno sobre la carga. Se añade caliza como fundente y fluorita para hacer que la escoria sea más fluida.

Las proporciones de la carga varían mucho, pero una carga típica podría consistir en 60.000 Kg. De chatarra de acero, 11.000 Kg. De arrabio frío, 45.000 Kg. De arrabio fundido, 12.000 Kg. De caliza, 1.000 Kg. De mineral de hierro y 200 Kg. De fluorita.

Una vez cargado el horno, se enciende, y las llamas oscilan de un lado a otro del crisol a medida que el operador invierte su dirección para regenerar el calor.

Desde el punto de vista químico la acción del horno de crisol abierto consiste en reducir por oxidación el contenido de carbono de la carga y eliminar impurezas como silicio, fósforo, manganeso y azufre, que se combinan con la caliza y forman la escoria. Estas reacciones tienen lugar mientras el metal del horno se encuentra a la temperatura de fusión, y el horno se mantiene entre 1.550 y 1.650°C durante varias horas, hasta que el metal fundido tenga el contenido de carbono deseado. Un operario experto puede juzgar el contenido de carbono del metal a mártir de su aspecto, pero por lo general se prueba la fundición extrayendo una pequeña cantidad de metal del horno, enfriándola y

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 16 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNO DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

sometiéndola a examen físico o análisis químico. Cuando el contenido en carbono de la fundición alcanza el nivel deseado, se sangra el horno a través de un orificio situado en la parte trasera. El acero fundido fluye por un canal corto hasta una gran cuchara situada a ras de suelo, por debajo del horno. Desde la cuchara se vierte el acero en moldes de hierro colado para formar lingotes, que suelen tener una sección cuadrada de unos 50 cm de lado, y una longitud de 1,5 m. Estos lingotes- la materia prima para todas las formas de fabricación del acero- pesan algo menos de 3 toneladas, aunque también existen otros métodos para procesar el acero de forma continua (colada continua) sin tener que pasar por el proceso de fabricación de lingotes.

#### 4.2. EL AMBIENTE TÉRMICO Y EL ORGANISMO HUMANO.

El vínculo entre el hombre y los aspectos térmicos del medio ambiente laboral puede estructurarse, de manera esquemática, considerando al cuerpo humano como un depósito al que llega un fluido (el calor) a través de una serie de mecanismos, y de forma simultánea, éste es evacuado por mediación de otros. Del binomio resultante de la combinación de estos mecanismos de aporte y eliminación del calor, se obtiene como resultado lo que se conoce como el “nivel térmico” del organismo que se fija a una cota concreta.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 17 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNO DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

Las relaciones entre el hombre y el ambiente térmico del entorno que lo rodea difieren de las que se fijan en el resto de tipos de agresiones ambientales en, al menos, tres aspectos primordiales:

a) Es necesario para su supervivencia que la temperatura interna del cuerpo se mantenga dentro de unos límites muy reducidos, de tal forma que cuenta con unos mecanismos de regulación muy activos que le habilitan para que esa temperatura interna permanezca prácticamente constante incluso en condiciones ambientales muy extremas.

b) La actividad física del hombre origina un calor que el propio organismo almacena y que puede ser muy trascendente cuando el individuo desarrolla una actividad física de intensidad considerable. Este calor de origen interno tiene la misma capacidad de agredir al organismo que aquel procedente del entorno. Por este motivo, en una evaluación técnica deberán tenerse en consideración tanto las características térmicas del ambiente de trabajo (agresividad térmica ambiental), como la intensidad del trabajo a realizar.)

c) El tercer aspecto hace referencia al campo de las consecuencias. La exposición excesiva al calor no implica un deterioro lento y paulatino de ninguna función vital, sino que las consecuencias se manifiestan de manera brusca, como puede ser un desmayo. Esto mismo podría indicarse también para las agresiones por frío, aunque éstas no son objeto de estudio en el presente trabajo.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 18 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

El hombre es un animal homeotermo, pues su temperatura, de 36,7°C se mantiene constante, oscilando en un estrecho margen de +/- 1,5°C.

Relacionados con estos aspectos se encuentran los conceptos de balance calórico y magnitud de la tasa metabólica.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 19 de 201



## **5. BALANCE CALÓRICO Y MAGNITUD DE LA TASA METABÓLICA. RIESGOS ASOCIADOS.**

### **5.1. BALANCE CALÓRICO**

Si el contenido de calor del cuerpo debe permanecer constante, la producción y ganancia de calor deber ser iguales a la pérdida del calor, de acuerdo con la ecuación:

$$M \pm R \pm C - E = 0$$

Donde:

M= producción de calor metabólico.

R= intercambio de calor radiante (positivo si el medio ambiente está más caliente que la temperatura de la piel, pero negativo si la temperatura del medioambiente es más baja que la de la piel)

C= intercambio de calor convectivo (positivo se la temperatura del aire es mayor que la de la piel, negativo si ocurre lo contrario)

E= pérdida de calor por evaporación.

Esta ecuación sólo es válida para las condiciones en las que la temperatura corporal es constante.



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

Si la temperatura varía, debe introducirse una corrección, y se aplica la siguiente ecuación:

$$M \pm S \pm R \pm C - E = O$$

Donde:

S= almacenamiento del calor corporal (es positivo si el contenido del calor del cuerpo está cayendo, y negativo si se incrementa)

El calor específico de la mayoría de los tejidos es aproximadamente 0'83.

El intercambio de calor conductivo (K) en la mayoría de las condiciones es despreciable, pero aumenta en importancia durante actividades tales como la natación, dado que el agua tiene una capacidad de remover calor que es aproximadamente 20 veces la del aire.

Una función muy importante de la circulación sanguínea es transportar calor: enfriar o calentar varios tejidos cuando pueda necesitarse, y llevar el exceso de calor desde el interior del cuerpo hacia la superficie corporal, o sea, a la piel.

La sangre es muy efectiva en esta función, dado que tiene una alta capacidad calorífica (0'9) lo cual significa que la sangre puede llevar una gran cantidad de calor con sólo un aumento moderado en la temperatura.



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

La conductancia del tejido ( $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{C}^{\circ-1}$ ) es la cantidad de calor que sale por metro cuadrado de superficie corporal por hora y por grado de diferencia de temperatura entre el interior del cuerpo y sus alrededores.

Cuando se incrementa el flujo sanguíneo en la piel hay un aumento en la temperatura de ésta y se aumenta la conductancia.

Cuando el flujo sanguíneo de la piel se reduce hay una caída de la temperatura cutánea y se reduce la conductancia, o sea, el valor aislante de la piel aumenta.

Este control de la temperatura corporal, del balance entre el sobreenfriamiento y el sobrecalentamiento, es el papel que desempeña la regulación de la temperatura.

Esta regulación intenta mantener la temperatura en ciertos tejidos, tales como el cerebro, el corazón y los intestinos, relativamente constante.

Dentro del cuerpo la temperatura no es uniforme. El mayor gradiente se encuentra entre el “caparazón” (la piel) y el “núcleo” (áreas centrales profundas que incluyen el corazón, los pulmones, los órganos abdominales y el cerebro).

La temperatura del núcleo puede ser hasta  $20^{\circ}\text{C}$  más alta que la del caparazón, pero la diferencia ideal entre el caparazón y el núcleo es de aproximadamente  $4^{\circ}\text{C}$  en reposo. Aun dentro del núcleo la temperatura varía de un lugar a otro. Esto complica el cálculo del contenido calórico del cuerpo y hace difícil estudiar la regulación de la temperatura.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 22 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

Evidentemente el término temperatura corporal es erróneo.

El mantenimiento de la temperatura corporal normal es en realidad compatible con las pérdidas o ganancias considerables de calor.

El problema es qué temperaturas son las que están reguladas.

## 5.2. MAGNITUD DE LA TASA METABÓLICA

Los seres humanos pueden ser considerados animales tropicales en tanto requieren de una temperatura ambiente entre 28°C y 30°C para mantener el balance térmico desnudos en reposo. Sin ropas ni protección, el hombre sólo puede vivir en una zona estrecha a lo largo del ecuador. La captación de oxígeno en estas condiciones es aproximadamente 0'2 a 0'3 litros · min. Esto es ligeramente superior cuando el tamaño corporal es mayor. Corresponde a una producción de 60 a 90 Kcal · h<sup>-1</sup> o 70 a 100 vatios. Esta energía es el producto lateral de los procesos metabólicos esenciales para el mantenimiento de la vida. Este calor producido resulta de la suma del calor perdido por convección (C), radiación (R) y evaporación (E). En estas condiciones, C + R dan cuenta de aproximadamente el 75% de la pérdida de calor, y E da cuenta de sólo el 25%. El calor perdido a través de los pulmones, a través de la saturación del aire con vapor de agua durante la respiración, da cuenta de aproximadamente dos quintos de E.

No toda la E restante se debe a la evaporación del sudor, dado que parte del agua se pierde a través de la piel sin estar vinculada a las glándulas sudoríparas, es la

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 23 de 201

	Universidad Politécnica de Cartagena	<b>SOBRECARGA TÉRMICA DEL ORGANISMO EN LOS PROCESOS DE FUSIÓN DE METALES EN HORNO DE CRISOL</b>	<b>DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA Y AMBIENTAL</b>
---	--	---	---

transpiración llamada insensible. La pérdida total del agua a través de la piel suma un mínimo de  $0,5 \text{ litro} \cdot \text{día}^{-1}$ .

El ejercicio muscular está asociado con un aumento de la tasa metabólica. Dado que la eficiencia mecánica (el cociente de trabajo externo sobre energía extra usada) puede variar entre 0 a 50% dependiendo del tipo de ejercicio, al menos el 50% de la energía usada se convierte en calor. Con la fiebre, o durante el temblor debido a la exposición al frío, la producción de calor puede incrementarse de dos a cuatro veces.

### 5.2.1. Tolerancia al calor

La solución de los problemas asociados con la exposición al calor industrial puede estar basada en una combinación de mediciones prácticas tales como protección de la fuente de calor, reducir cada periodo de exposición al calor a alrededor de 20 minutos, con espacios intermedios breves de 10 minutos, pausas para el enfriamiento, la eliminación del trabajo físico extenuante cerca de la fuente de calor cuando sea posible, la introducción de trabajo mecanizado para reemplazar el trabajo manual cuando sea posible, el cuidado del proceso industrial adecuadamente en todas ocasiones de modo tal de evitar complicaciones que necesiten medidas drásticas que causen excesiva exposición al estrés calórico. Un punto clave es el evitar una exposición prolongada al calor intenso, la que llevará a una sudoración profusa. Esto reducirá la pérdida de fluido y por lo tanto la necesidad de ingesta del fluido de manera concomitante. De cualquier modo, la pérdida de fluido debe reemplazarse a medida que se produce, y para el

<b>Ingeniería técnica Industrial, Especialidad: mecánica.</b>	David Saorín Candel	Revisión: Página 24 de 201
---	---------------------	-------------------------------



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

trabajador el objetivo debe ser abandonar su lugar de trabajo completamente hidratado, para ser capaz de disfrutar de su tiempo de ocio.

### 5.2.2. Aclimatación al calor

Después de unos pocos días de exposición a un medio ambiente cálido, el individuo es capaz de tolerar el calor mucho mejor que en la primera exposición. Esta mejora en la tolerancia a al calor está asociada con un aumento de la producción de sudor, una disminución de la temperatura de la piel y del cuerpo, y una disminución de la frecuencia cardiaca. Habitualmente el flujo sanguíneo de la piel disminuye; en un experimento se redujo de 2'6 a 1'5 litros  $\cdot$  m<sup>2</sup>  $\cdot$  min<sup>-1</sup>, o sea, a aproximadamente el 60% del valor original. El aumento en el ritmo de la sudoración da la posibilidad de un enfriamiento más efectivo de la piel a través de la pérdida de calor por evaporación, y la temperatura de la piel disminuida que provee un mejor enfriamiento a la sangre que fluye a través d ella. Así, el cuerpo puede disminuir la temperatura sobre la base del flujo sanguíneo a la piel. En los experimentos agudos, las glándulas sudoríparas tienen la capacidad de producir más sudor del que producen en circunstancias ordinarias. La razón por la cual esta capacidad no se utiliza completamente hasta después de varios días de exposición a un medio ambiente cálido aún no se conoce. El aumento de la producción de sudor puede ser hasta del 100%.

A continuación, se expondrán cuáles son las circunstancias en las que una agresión térmica por calor puede ser peligrosa para las personas expuestas a ella.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 25 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

En primer lugar, el ambiente térmico es un conjunto de factores (temperatura, humedad, actividad del trabajo, etc.) que determina los diversos puestos de trabajo y que el valor integrado de estos factores ocasiona diferentes grados de aceptabilidad de los ambientes. El ambiente térmico puede dar lugar a un riesgo a corto plazo, cuando las condiciones son extremas, así como a disconfort térmico en la mayoría de los casos.

Como se ha mencionado anteriormente, el hombre necesita mantener la temperatura de sus órganos vitales dentro de unas límites muy reducidos, a causa de las múltiples y complejas reacciones metabólicas que se producen en el organismo, y de las que depende de su vida.

La temperatura interna media puede estimarse en torno a los  $37.2^{\circ}\text{C}$ . Cuando la temperatura se encuentra por debajo de  $35^{\circ}\text{C}$  hablaremos de hipotermia, pudiendo alcanzarse una situación letal a temperaturas de  $25^{\circ}\text{C}$ . La situación opuesta se originaría cuando la temperatura central está alrededor de  $40^{\circ}\text{C}$ , llegándose al riesgo de muerte si la temperatura rectal sobrepasa  $43^{\circ}\text{C}$ .

Se entiende como estrés térmico la presión que se ejerce sobre una persona al estar expuesta a temperaturas extremas y que, a igualdad de valores de temperatura, humedad y velocidad del aire (confort), presenta para cada persona una respuesta diferente sobre la base de la susceptibilidad individual y de su aclimatación.

No hay que olvidar que cuanto más intensa sea la actividad física del trabajador, mayor será también la cantidad de calor que deberá disipar para que el equilibrio térmico

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 26 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

pueda conservarse. De tal manera, el cuerpo humano está continuamente recibiendo o cediendo calor al medio ambiente a través de distintos mecanismos. La forma de liberar este calor se produce a través de los siguientes mecanismos: convección, evaporación del sudor, conducción y radiación; no obstante, puede darse el caso de situaciones muy calurosas en las que sólo es posible liberar calor por medio de la evaporación del sudor.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 27 de 201



## **6. PROCESOS DE TRANSPORTE DE CALOR E IMPACTO SOBRE LA SALUD.**

### 6.1 CONVECCION

#### **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. Mas 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 perdida 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.



## **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

### **6.2 LA EVAPORACIÓN DEL SUDOR.**

Se trata de un mecanismo que puede considerarse como un caso particular de la convección, en el que la eliminación de calor se obtiene al evaporarse el sudor con el calor procedente de la piel con la que está en contacto, necesario para el tránsito del estado líquido a vapor. Hay que indicar que, la eliminación de calor, no se origina, por tanto, por el mero hecho de sudar, sino solamente si se evapora el sudor. De esta forma, en un medio laboral muy húmedo donde se pueda sudar y no se evapore ese sudor, el efecto protector de la sudoración queda prácticamente anulado.



La cantidad de sudor que puede evaporarse por unidad de tiempo varía en función de dos variables ambientales: la humedad relativa y la velocidad del aire. Cuanto mayor es la primera, más complicado resulta evaporar el sudor, y, por el contrario, cuanto mayor es la segunda, mayor es el flujo de sudor que es factible evaporar.

Por consiguiente, la capacidad protectora de la sudoración puede quedar anulada por unas condiciones ambientales adversas. Por otro lado, debemos comentar que dicho mecanismo es únicamente de eliminación de calor y, por tanto, no es bidireccional como puede ser el caso de otros.

### **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 mojará 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 (Ereq).

Ahora bien puede suceder que:

*No podamos sudar tanto*, o lo que es lo mismo superamos nuestro limite máximo

(E<sub>max</sub>) y al no poder expulsar todo el calor necesario aumenta la temperatura interna (**golpe de calor**),,

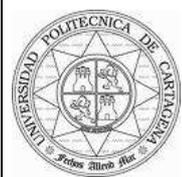
*Perdemos demasiada agua* por el sudor ( **deshidratación**)

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

\* la diferencia de la presiones parciales de vapor de agua entre la piel y la atmósfera.

\* los factores que influyen los intercambios por convección.

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



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

\* Un glomérulo, situado entre 2 a 5 mm de profundidad con respecto a la piel. Anatómicamente 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 túbulo 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 túbulo o por saturación de sus mecanismos. Es decir, si la exposición obliga a secretar una gran cantidad de sudor, la perdida de sales es mayor, que si la sollicitación de dichas glándulas es moderada.

La regulación del sudor se realiza por fibras ortosimpáticas en su mayor parte de naturaleza colinérgica, ahora bien también puede segregar noradrenalina o VIP (vasopéptido 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 mas 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.

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

r = eficacia evaporatoria (máxima =1 -> 100%)

W = mojadura o fracción de la piel mojada (máximo 1 -> 100%)

Esta formula 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%).

### 6.3 LA RADIACIÓN

Se trata de un fenómeno de intercambio térmico que se origina entre dos cuerpos sólidos a distinta temperatura y que se encuentren uno en las proximidades del otro, sin estar en contacto mutuo. El origen de este fenómeno obedece al hecho de que cualquier objeto emite rayos infrarrojos, y, por tanto, energía, en cantidad tanto mayor cuanto más alta sea su temperatura, al mismo tiempo que absorbe una porción de la radiación

 <p>Universidad Politécnica de Cartagena</p>	<p><b>SOBRECARGA TÉRMICA DEL ORGANISMO EN LOS PROCESOS DE FUSIÓN DE METALES EN HORNOS DE CRISOL</b></p>	<p><b>DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA Y AMBIENTAL</b></p>
---	---	--

infrarroja que le llega de otros objetos del entorno que le rodea, reflejando el resto de energía que no puede absorber.

Al través de este mecanismo, el sol calienta la tierra y todo lo que ésta contiene por transmisión de los rayos infrarrojos. La radiación puede tener un efecto aditivo de relevancia si un trabajador está en las cercanías de fuentes (no aisladas) cuya superficie tiene una temperatura significativamente más elevada que la de su piel, como puede ser el caso de un horno de fundición. En estas circunstancias, la radiación puede ser lo suficientemente alta como para convertirse en un factor vital de riesgo. Resumiendo, todo cuerpo sólido emite radiación infrarroja de forma constante (a razón de su temperatura) y a la vez recibe rayos infrarrojos emitidos por los objetos que le rodean.

En función de que la temperatura del cuerpo sea mayor o menor que la temperatura media de los objetos de su entorno, el efecto final será una ganancia o una pérdida de calor del cuerpo evaluado. A la temperatura media de los objetos que rodean al cuerpo se le denomina temperatura radiante media, ponderada con la superficie de los diferentes objetos y su distancia al cuerpo.

Por otro lado, si el sujeto estuviera en contacto con una superficie sólida debería considerarse la conducción.

<p><b>Ingeniería técnica Industrial, Especialidad: mecánica.</b></p>	<p>David Saorín Candel</p>	<p>Revisión: Página 34 de 201</p>
--	----------------------------	---------------------------------------

 <p>Universidad Politécnica de Cartagena</p>	<p><b>SOBRECARGA TÉRMICA DEL ORGANISMO EN LOS PROCESOS DE FUSIÓN DE METALES EN HORNOS DE CRISOL</b></p>	<p><b>DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA Y AMBIENTAL</b></p>
---	---	--

## 6.4 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 mas frío que nuestra piel o la ganancia al entrar en contacto con uno mas caliente.

En general la superficie de contacto suele ser pequeña y por lo tanto su influencia escasa. En los cálculos de los índice 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.

- a) Reacción del cuerpo al estrés térmico por calor.

El cuerpo humano posee mecanismos de autorregulación para defenderse de las temperaturas superiores o inferiores a las que comportan el bienestar. En el caso del calor, se produce una gran dilatación de los vasos sanguíneos para hacer un mayor contacto con el aire (efecto de radiador), y se facilita la transpiración con la producción de sudor. Pero los mecanismos de regulación tienen sus límites, y en casos de ambientes extremadamente calurosos, en los que además es necesario llevar a cabo una fuerte actividad física, se sobrepasan las defensas fisiológicas del organismo y se origina lo que se ha denominado como “estrés térmico”, y que puede llegar a tener graves consecuencias.

<p><b>Ingeniería técnica Industrial, Especialidad: mecánica.</b></p>	<p>David Saorín Candel</p>	<p>Revisión: Página 35 de 201</p>
--	----------------------------	---------------------------------------



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

La reacción de una persona ante un ambiente térmico no presenta una respuesta homogénea en todas las situaciones, dado que para unos puede significar una simple molestia y para otros unas manifestaciones concretas y características al estrés térmico.

Cuando las personas se exponen a un calor excesivo, el calor cedido por el organismo al medio ambiente es inferior al recibido o generado por el metabolismo, en cuyo caso el organismo ve aumentada su temperatura, desencadenando mecanismos de defensa frente a la hipertermia mediante la vasodilatación sanguínea, activación de las glándulas sudoríparas o aumentando la circulación periférica. Así, como consecuencia de la hipertermia, pueden presentarse diversas afecciones o patologías clínicamente diferenciadas:

Trastornos Sistémico:

-Agotamiento por calor: Es una forma benigna de patología que remite rápidamente si se trata con prontitud, trasladando al afectado a un ambiente más frío en el que poder reposar, tumbado con las rodillas dobladas o sentarse con la cabeza baja. Suele estar acompañada por un aumento de la temperatura del cuerpo, dolor de cabeza, náuseas, vértigo, fatiga física, debilidad, sed y aturdimiento.

-Calambres por calor: Son atribuibles a la continua pérdida de sal a través del sudor, acompañada por una abundante ingestión de agua sin una adecuada reposición salina.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 36 de 201

 <p>Universidad Politécnica de Cartagena</p>	<p><b>SOBRECARGA TÉRMICA DEL ORGANISMO EN LOS PROCESOS DE FUSIÓN DE METALES EN HORNOS DE CRISOL</b></p>	<p><b>DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA Y AMBIENTAL</b></p>
---	---	--

-Golpe de calor: Incluye una alteración importante del sistema nervioso central (inconsciencia, vértigo, delirio, agitación o convulsiones), con síntomas como ausencia de sudoración y rápida elevación de la temperatura corporal superior a 40-43°C. el golpe de calor es una emergencia médica, pudiendo llegar a producir la muerte, y cualquier procedimiento que sirva para enfriar al paciente mejora el pronóstico. Afecta primordialmente a las personas no aclimatadas, obesos, personas que utilizan vestimenta inadecuada, consumidores de alcohol y enfermos con trastornos cardiovasculares.

#### Trastornos en la piel.

-Erupciones cutáneas y quemaduras: Se presenta en forma de pápulas roja, usualmente en áreas de la piel cubierta por la ropa, y produce una sensación de picazón, especialmente cuando se produce un incremento de la sudoración. Se origina así, un enrojecimiento en la piel permanentemente cubierta de sudor sin evaporar, aparentemente porque las capas queratinosas de la piel absorben agua, se inflaman y obstruyen mecánicamente los conductos sudoríparos. Las pápulas pueden infectarse si no reciben tratamiento. En cuanto a las quemaduras, se producen cuando el aporte de calor hace que se sobrepase la temperatura máxima cutánea en una zona determinada.

- Deshidratación: Consiste en una pérdida excesiva de agua corporal (cantidad de agua perdida por el sudor mayor que la ingerida). Con una pérdida del 5% se deteriora la capacidad física y mental, un 10% es el límite para realizar trabajos, y un 15% da lugar al fallecimiento.

<p><b>Ingeniería técnica Industrial, Especialidad: mecánica.</b></p>	<p>David Saorín Candel</p>	<p>Revisión: Página 37 de 201</p>
--	----------------------------	---------------------------------------



## **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.

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



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

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.

### **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.

- Desalinización: Se trata de un déficit en el nivel de cloruro sódico, lo que acarrea calambres en los músculos que realizan el trabajo. Para combatirla, se debe reducir la sudoración, e ingerir bebidas salinas.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 39 de 201

 <p>Universidad Politécnica de Cartagena</p>	<p><b>SOBRECARGA TÉRMICA DEL ORGANISMO EN LOS PROCESOS DE FUSIÓN DE METALES EN HORNOS DE CRISOL</b></p>	<p><b>DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA Y AMBIENTAL</b></p>
---	---	--

## **b) tolerancia al calor.**

### Aclimatación.

El hombre tiene la capacidad de adaptarse a un amplio rango de condiciones ambientales, de forma natural (aclimatamiento) o de forma artificial (aclimatación).

Cuando personas no aclimatadas se exponen por primera vez a ambientes con sobrecarga térmica, experimentan elevaciones en la frecuencia cardiaca, aumentos de la temperatura rectal, baja pérdida de sudor, molestias y sensación de angustia que se compensan en días sucesivos de exposición por efecto de una serie de ajustes fisiológicos y psicológicos. Se puede hablar de aclimatación total al cabo de dos o tres semanas de exposición al calor, empezando en gran parte a desarrollarse en los 4 ó 6 primeros días. Para la aclimatación en ambientes de trabajo muy calurosos, como puede ser el caso de los trabajadores en procesos de fusión de metales en horno de crisol, se recomienda que la exposición se limite durante el primer día a un 50% del total del tiempo de la jornada, continuando con incrementos diarios del 10% hasta alcanzar el sexto día el 100% de la exposición diaria.

Esta adaptación a la exposición al calor se basa fundamentalmente en una mejora progresiva de la circulación central, así como una disminución del coste fisiológico, de tal forma que el calor es transportado con mayor facilidad hacia la piel, y se aumenta la producción de sudor, incluso con cambios en la composición del sudor excretado. En

<p><b>Ingeniería técnica Industrial, Especialidad: mecánica.</b></p>	<p>David Saorín Candel</p>	<p>Revisión: Página 40 de 201</p>
--	----------------------------	---------------------------------------

 <p>Universidad Politécnica de Cartagena</p>	<p><b>SOBRECARGA TÉRMICA DEL ORGANISMO EN LOS PROCESOS DE FUSIÓN DE METALES EN HORNOS DE CRISOL</b></p>	<p><b>DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA Y AMBIENTAL</b></p>
---	---	--

individuos aclimatados, el sudor no sólo es más abundante, sino más diluido, con niveles de cloruro sódico que van de 1 a 2 g/Kg de sudor.

De esta forma, se hace posible que una persona trabaje eficazmente bajo condiciones que serían insoportables con anterioridad a la aclimatación.

Sin embargo, no debe olvidarse que la aclimatación puede perderse con la misma rapidez con que se logra, por lo que si se produce una ausencia prolongada del trabajo, será preciso someter a la persona a un nuevo proceso de aclimatación.

#### Constitución corporal.

En el caso de individuos obesos, la relación entre la superficie corporal o área de la piel y el peso es más baja. Dado que la producción de calor es función del peso y la disipación función de la superficie, el hombre corpulento está en desventaja, dado que la relación entre el área y el volumen corporal es menor en él. Además, las personas obesas suelen tener peor funcionamiento del aparato circulatorio, que es quien transporta el calor al exterior de la capa subcutánea. Así, se presentan síncope de calor más frecuentemente que en personas sin problemas de peso.

#### Edad y aptitudes físicas.

En general, las personas adultas se aclimatan sin muchos problemas. No obstante, durante el trabajo pesado en ambientes calurosos, el sistema cardiovascular se ve sometido a una doble carga, ya que se implica la necesidad de incrementar el flujo

<p><b>Ingeniería técnica Industrial, Especialidad: mecánica.</b></p>	<p>David Saorín Candel</p>	<p>Revisión: Página 41 de 201</p>
--	----------------------------	---------------------------------------



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNO DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

sanguíneo hacia la piel y hacia los músculos que trabajan; a su vez, la capacidad cardiovascular disminuye con la edad, con lo que se disminuye la tolerancia a este tipo de situaciones. Además, los individuos más veteranos disipan con más facilidad el calor por sudoración que los noveles, debido principalmente a una menor capacidad de generación de sudor.

Un operario en buenas condiciones físicas se aclimata mejor en gran parte a su mayor capacidad cardiovascular, que junto con otros factores (ritmo cardíaco, incremento de  $VO_2$  máx., denominado volumen máximo de oxígeno, etc.) le dan un amplio margen de seguridad.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 42 de 201

 <p>Universidad Politécnica de Cartagena</p>	<p><b>SOBRECARGA TÉRMICA DEL ORGANISMO EN LOS PROCESOS DE FUSIÓN DE METALES EN HORNOS DE CRISOL</b></p>	<p><b>DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA Y AMBIENTAL</b></p>
---	---	--

## **7. PRODUCCIÓN METABÓLICA DE CALOR Y CONSUMO ENERGÉTICO.**

El consumo metabólico es la energía que le organismo necesita para realizar un trabajo, y que es obtenida por medio de la oxidación de las sustancias alimenticias que ingiere la persona. Como una conversión de energía química en mecánica y térmica, mide el coste energético de la carga muscular y arroja un índice numérico de la actividad. Así, es necesario conocer el consumo metabólico para medir la producción de calor metabólico y poder evaluar la regulación térmica en el hombre.

Como ya hemos citado, la actividad física del cuerpo humano produce, como subproducto, una determinada cantidad de calor que se acumula en el propio cuerpo. El organismo humano puede ser considerado como cualquier otra máquina térmica, que sólo convierte en trabajo útil una pequeña parte de la energía que utiliza, con un rendimiento energético global muy pequeño, disipando el resto en forma de calor. La fuente de energía en este caso, la constituyen las diversas sustancias químicas que el cuerpo obtiene de los alimentos y que almacena a modo de reservas energéticas (hidratos de carbono, lípidos, proteínas, etc.).

De tal manera que el organismo genera la energía necesaria mediante proceso de oxidación para mantener sus funciones vitales y realizar trabajos: mecánico (movimiento de las partes del cuerpo o bombeo del corazón), osmótico (producción de orina con presión osmótica superior a la de la sangre), eléctrico (potenciales eléctricos en

<p><b>Ingeniería técnica Industrial, Especialidad: mecánica.</b></p>	<p>David Saorín Candel</p>	<p>Revisión: Página 43 de 201</p>
--	----------------------------	---------------------------------------

 <p>Universidad Politécnica de Cartagena</p>	<p><b>SOBRECARGA TÉRMICA DEL ORGANISMO EN LOS PROCESOS DE FUSIÓN DE METALES EN HORNOS DE CRISOL</b></p>	<p><b>DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA Y AMBIENTAL</b></p>
---	---	--

determinadas partes del cuerpo), químico (síntesis de glucógeno a partir de glucosa), biológico (mantenimiento de la estructura viva de las células y tejidos).

Por lo tanto, en el organismo, aún en reposo, se genera calor, dada la producción de energía necesaria para mantener las funciones vegetativas (respiración, circulación, etc.).

A su vez, al moverse el cuerpo y realizar una labor, presenta una producción metabólica extra que se presenta finalmente en forma de calor, después que las proteínas contráctiles (componentes principales del tejido muscular) obtienen energía para realizar su función.

Con el trabajo corporal, el gasto energético total se incrementa de forma apreciable. La producción de calor en el trabajo es la suma del metabolismo basal y el metabolismo o la carga térmica del trabajo, y se denomina “carga térmica total o producción metabólica de calor”.

En base a todo ello, existen dos tipos de metabolismo:

Metabolismo basal: calor generado por el cuerpo humano en su interior, cuando está en reposo, y del cual depende de factores como la edad, peso, estatura, sexo, pudiendo ser modificado por trastornos patológicos individuales.

Metabolismo de trabajo: calor generado por el cuerpo cuando está sometido a esfuerzos musculares, y que dependerá del tipo de trabajo.

<p><b>Ingeniería técnica Industrial, Especialidad: mecánica.</b></p>	<p>David Saorín Candel</p>	<p>Revisión: Página 44 de 201</p>
--	----------------------------	---------------------------------------

 <p>Universidad Politécnica de Cartagena</p>	<p><b>SOBRECARGA TÉRMICA DEL ORGANISMO EN LOS PROCESOS DE FUSIÓN DE METALES EN HORNOS DE CRISOL</b></p>	<p><b>DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA Y AMBIENTAL</b></p>
---	---	--

Metabolismo total=Metabolismo Basal+Metabolismo de Trabajo

Normalmente, el metabolismo basal suele estimarse entre valores de 1-1,2kcal/min y el metabolismo de trabajo ponderado para una jornada de trabajo rara vez supera los 350 Kcal/hora.

La máxima capacidad del organismo para eliminar calor, por evaporación de sudor en las condiciones más favorables, es de unas 600Kcal/hora, es decir, evaporar un litro de sudor por hora.

Otros índices fisiológicos límites de esfuerzo en ambientes extremadamente calurosos pueden ser: el volumen de oxígeno quemado en el aire respirado, la presión sanguínea (nº máximo pulsaciones/min= 165) o la recuperación del latido normal del corazón, en un minuto una vez cesado el ejercicio, y por último la temperatura rectal (límite aceptable= 38°C).

La estimación del consumo energético a través de tablas es la forma más sencilla de obtener esta información, que pueden ser de gran utilidad, siempre y cuando se lleve a cabo un manejo riguroso de las mismas.

En la siguiente tabla, y a modo de ejemplo, se recogen datos acerca del calor producido por el cuerpo como consecuencia de la realización de distintas tareas.

<p><b>Ingeniería técnica Industrial, Especialidad: mecánica.</b></p>	<p>David Saorín Candel</p>	<p>Revisión: Página 45 de 201</p>
--	----------------------------	---------------------------------------



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>CALOR (kcal/ h)</b>
Durmiendo	60
Sentado sin hacer nada	100
Trabajo de oficina sentado	125
Sentado conduciendo o tocando piano	150
De pie, trabajo ligero de banco sin andar	150
Trabajo ligero de banco andando un poco	175
Cocinar de pie	210
Poner ladrillos	260
Limar a 60 golpes/ minuto	270
Lavar el coche	300
Hacer la cama	360
Bailar un vals	460

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 46 de 201

 <p>Universidad Politécnica de Cartagena</p>	<p><b>SOBRECARGA TÉRMICA DEL ORGANISMO EN LOS PROCESOS DE FUSIÓN DE METALES EN HORNOS DE CRISOL</b></p>	<p><b>DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA Y AMBIENTAL</b></p>
---	---	--

Dado que el rendimiento mecánico del cuerpo humano es escaso, o bien la energía consumida no se emplea apenas en realizar trabajo útil, el resto se manifiesta en forma de calor. Con la salvedad de algunos casos, como subir escaleras, en los que se logran rendimientos del orden del 20%, en el resto de las actividades cotidianas o laborales, el rendimiento es casi siempre irrelevante, llegando a ser nulo, como sucede con el caso del trabajo estático.

En general, cuanto mayor sea la intensidad de la actividad física desarrollada por el individuo, mayor será también la cantidad de calor que, en principio, deberá ser disipado para que el equilibrio térmico pueda conservarse a la larga. El calor se expresa en kilocalorías (Kcal), siendo una kilocaloría la cantidad de calor necesaria para elevar un grado centígrado la temperatura de un kilogramo de agua.

En las actividades laborales cotidianas que conlleven trabajar de pie y con una actividad física moderada (una cadena de montaje, por ejemplo), la cantidad de calor aportada al organismo debido a la actividad física o carga térmica metabólica es del orden de 200 Kcal/h. En individuos con reposo absoluto, la mera actividad biológica produce entorno a 60 Kcal/hora.

A su vez, en las actividades laborales corrientes, las cargas térmicas metabólicas suelen estar por debajo de 330 Kcal/h y puntualmente pueden superarse al realizar un esfuerzo importante o en el caso de las actividades deportivas.

<p><b>Ingeniería técnica Industrial, Especialidad: mecánica.</b></p>	<p>David Saorín Candel</p>	<p>Revisión: Página 47 de 201</p>
--	----------------------------	---------------------------------------



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

Algunos estudios admiten como límite, en relación con el consumo de energía para una actividad física profesional repetida durante varios años, que el metabolismo de trabajo no debería sobrepasar la cantidad de 2000-2500 Kcal/día.

Teniendo en cuenta que los valores calculados se expresan para valores medios, calculados para grandes periodos de tiempo (prácticamente toda la vida laboral de un hombre adulto medio y sano) y admitiendo que se puedan alcanzar valores más altos en determinados momentos, podemos clasificar las actividades según su nivel de exigencia según la tabla siguiente:

<b>NIVEL DE ACTIVIDAD</b>	<b>METABOLISMO DE TRABAJO (kcal/jornada)</b>
Trabajo ligero (trabajo de oficina, control de máquinas de pie o sentado, etc.)	< 1600
Trabajo medio (caminar con peso moderado, empujando o sosteniendo,...)	1600 – 2000
Trabajo pesado (trabajo con pico y pala,...)	> 2000

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 48 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

En general, para un hombre medio, el consumo del trabajo profesional no debe superar las 2000 Kcal/jornada, considerando para una actividad media profesional 1600 Kcal/jornada. Y para una mujer, el consumo del trabajo profesional no debe superar las 1600 kcal/jornada, considerando para una actividad media profesional 1000 Kcal/jornada.

En la siguiente tabla se muestran tres aproximaciones para la determinación del consumo metabólico, de la cual se desprenden tres niveles distintos:

Nivel	Método	Precisión	Estudio del puesto de trabajo
I	A) Clasificación en función del tipo de actividad.	Informaciones con riesgo de errores muy importante.	No es necesario.
	B) Clasificación en función de las profesiones.		Información sobre el equipo técnico y organización del trabajo.

Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.

David Saorín Candel

Revisión:

Página 49 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

<b>II</b>	A) Estimación del método a partir de los componentes de la actividad.	Riesgo elevado de errores.  Precisión: +/- 15 %	Estudios de tiempos necesario.
	B) Utilización de tablas de estimación por actividad tipo.		
	C) Uso de la frecuencia cardiaca bajo condiciones definidas.		No es necesario
<b>III</b>	Medida	Riesgo de errores dentro de los límites de la precisión de la medida y del estudio de los tiempos.  Precisión: +/- 5%	Estudio de tiempos necesario.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 50 de 201

	Universidad Politécnica de Cartagena	<b>SOBRECARGA TÉRMICA DEL ORGANISMO EN LOS PROCESOS DE FUSIÓN DE METALES EN HORNOS DE CRISOL</b>	<b>DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA Y AMBIENTAL</b>
---	--	--	---

En el nivel I, se presentan dos métodos para la estimación del consumo metabólica. El método A es una clasificación de acuerdo con el tipo de actividad, el método B es una clasificación de acuerdo con la ocupación. Ambos métodos proporcionan una estimación grosera y hay un considerable error. Esto limita su precisión considerablemente. En este nivel, no es necesario una inspección del puesto de trabajo.

En el nivel II, cuando se aplica el método A, el consumo metabólico se determina sumando el consumo metabólico basal, el consumo metabólico por la postura del cuerpo, el consumo metabólico por el tipo de actividad y el consumo metabólico por el movimiento del cuerpo relacionado con la velocidad de trabajo. Cuando se aplica el método B, el consumo metabólico se determina por medio de valores tabulados para diferentes actividades. La posibilidad de cometer errores puede ser alta. Es necesario un estudio de tiempos para determinar el consumo metabólico del trabajo que se refiere a un ciclo con diferentes actividades. Cuando se aplica el método C, el consumo metabólico se determina por medio de la frecuencia cardiaca. Este método de determinación indirecta del consumo metabólico se basa en la relación existente entre el consumo de oxígeno y la frecuencia cardiaca bajo determinadas condiciones.

En el nivel III, el consumo metabólico se determina por medición directa. Es necesario un análisis del trabajo detallado durante la medición.

La precisión de cada método está limitada por varios factores.

<b>Ingeniería técnica Industrial, Especialidad: mecánica.</b>	David Saorín Candel	Revisión: Página 51 de 201
---	---------------------	-------------------------------

 <p>Universidad Politécnica de Cartagena</p>	<p><b>SOBRECARGA TÉRMICA DEL ORGANISMO EN LOS PROCESOS DE FUSIÓN DE METALES EN HORNOS DE CRISOL</b></p>	<p><b>DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA Y AMBIENTAL</b></p>
---	---	--

Cuando se estudia una sola persona que realiza una tarea en un tiempo los principales factores pueden ser descritos como sigue.

En el caso de las tablas, las diferencias entre los observadores y su nivel de experiencia influyen principalmente en los resultados. Cuando se aplica el método C del nivel II, la precisión de la relación existente entre el consumo de oxígeno y la frecuencia cardiaca debe tener en cuenta la existencia de otros factores de estrés, que no pueden ser despreciados.

Las diferencias culturales también influyen en los resultados. En el nivel III, la precisión de la medición (determinación del volumen de gas y fracción de oxígeno) determinará el grado de error.

En el caso de normalización de los resultados –por ejemplo una afirmación generalizada relativa a los puestos de trabajo –otros factores tales como:

- variabilidad individual.
- Diferencias en el equipo de trabajo.
- Diferencia en la velocidad de trabajo.
- Diferencias en la técnica de trabajo...

Influyen en la posible precisión de cada método.

<p><b>Ingeniería técnica Industrial, Especialidad: mecánica.</b></p>	<p>David Saorín Candel</p>	<p>Revisión: Página 52 de 201</p>
--	----------------------------	---------------------------------------

 <p>Universidad Politécnica de Cartagena</p>	<p><b>SOBRECARGA TÉRMICA DEL ORGANISMO EN LOS PROCESOS DE FUSIÓN DE METALES EN HORNOS DE CRISOL</b></p>	<p><b>DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA Y AMBIENTAL</b></p>
---	---	--

De esta manera la precisión de los resultados y también los costes implicados se incrementan desde el nivel I al nivel III.

La medición directa proporciona los valores más precisos. Así como sea posible debería ser usado el método más preciso.

De manera general, podemos clasificar los métodos de medición directa en dos tipos:

- Método parcial.
- Método integral.

El método parcial será aplicado para trabajos ligeros y moderadamente pesados. El método integral será aplicado para trabajos pesados de corta duración. Los diferentes métodos tienen que ser aplicados por las siguientes razones. En el caso de trabajadores ligeros y moderadamente pesados, el consumo de oxígeno alcanza el requerimiento de oxígeno después de un corto periodo de trabajo. El consumo de oxígeno alcanza un “estado estable” e igual al requerimiento de oxígeno. En el caso de trabajos pesados, el requerimiento de oxígeno está por encima del límite a largo plazo de la capacidad aeróbica y, en el caso de trabajo muy pesado, sobrepasa la capacidad aeróbica máxima.

Durante el trabajo pesado, el consumo de oxígeno no puede alcanzar el requerimiento de oxígeno. El déficit de oxígeno se equilibra después que el trabajo cesa. De este modo, la medición incluye el trabajo y la subsiguiente fase de reposo. El método

<p><b>Ingeniería técnica Industrial, Especialidad: mecánica.</b></p>	<p>David Saorín Candel</p>	<p>Revisión: Página 53 de 201</p>
--	----------------------------	---------------------------------------

 <p>Universidad Politécnica de Cartagena</p>	<p><b>SOBRECARGA TÉRMICA DEL ORGANISMO EN LOS PROCESOS DE FUSIÓN DE METALES EN HORNOS DE CRISOL</b></p>	<p><b>DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA Y AMBIENTAL</b></p>
---	---	--

integral debería ser aplicado para un consumo de oxígeno de más de 60 l. de oxígeno por hora, equivalente a un litro por minuto.

En el procedimiento seguido aplicando el método parcial, el trabajo comienza y no se recoge el aire espirado. Puesto que se alcanza el “estado estable” pasados aproximadamente entre 3 y 5 minutos, la recogida de aire espirado comienza, sin interrumpir el trabajo, después de 5 minutos (periodo preliminar). El trabajo continúa de 5 min a 10 min (periodo principal). La recogida de gas, o bien completa (por ejemplo con un saco de Douglas) o bien con un muestreo regular (por ejemplo con un gasómetro), se detiene cuando cesa el trabajo. De este modo, una parte del “estado estable” del trabajo ha sido suprimida. Cuando se aplica el método parcial es esencial que el consumo metabólico durante el trabajo sea menor que el límite del estrés a largo plazo.

Con el método integral, la recogida de aire espirado se inicia inmediatamente con el comienzo del trabajo, y el trabajo continúa un cierto tiempo, generalmente inferior de 2 a 3 min (periodo principal). Al final del trabajo, el individuo se sienta, mientras que la medición continúa hasta que se alcanza el valor de reposo. Durante este periodo de recuperación, se compensa la deuda de oxígeno contraída durante el trabajo. Puesto que la medición incluye la actividad de trabajo (periodo principal) y la actividad en posición de sentado (periodo de recuperación), el consumo metabólico durante la fase de sentado tiene que ser restado del valor medido, para obtener sólo el consumo metabólico relacionado con el trabajo.

<p><b>Ingeniería técnica Industrial, Especialidad: mecánica.</b></p>	<p>David Saorín Candel</p>	<p>Revisión: Página 54 de 201</p>
--	----------------------------	---------------------------------------



A continuación, y a modo de ejemplo, se presenta una tabla en la que se recoge una clasificación del consumo metabólico según distintas ocupaciones:

<b>OCUPACION</b>	<b>CONSUMO METABOLICO ( W/m2 )</b>
<b>ARTESANO</b>	
Albañil	110 a 160
Carpintero	110 a 175
Vidriero	90 a 125
Pintor	100 a 130
Panadero	110 a 140
Carnicero	105 a 140
Relojero	55 a 70
<b>INDUSTRIA MINERA</b>	
Operador de transporte	70 a 85
Picador de carbón	140 a 240
Fogonero	115 a 175



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

**INDUSTRIA DEL HIERRO Y  
EL ACERO**

Operador de alto horno	170 a 220
Operador de horno eléctrico	125 a 245
Moldeador a mano	140 a 240
Operador de maquina moldeadora	105 a 165
Fundidor	140 a 240

**INDUSTRIA DEL HIERRO Y  
TRABAJO DEL METAL**

Herrero	90 a 200
Soldador	75 a 125
Tornero	75 a 125
Operador de maquina de perforación	80 a 140
Mecánico de precisión	70 a 110

**PROFESION GRAFICA**

Delineante	70 a 95
Encuadernador	75 a 100

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 56 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

<b>AGRICULTURA</b>	
Jardinero	115 a 190
Conductor de tractores	85 a 100
<b>TRAFICO</b>	
Conductor de coche	70 a 90
Conductor de autobuses	75 a 125
Conductor de tranvías	80 a 115
Conductor de carretilla eléctrica	80 a 125
Conductor de grúa	65 a 145
<b>DIVERSAS PROFESIONES</b>	
Ayudante de laboratorio	85 a 100
Profesor	85 a 100
Dependiente	100 a 120
Secretaria	70 a 85



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

## 7.1. EQUILIBRIO TÉRMICO.

Cuando la cantidad de calor que se genera en el cuerpo por el metabolismo es igual a la que el cuerpo intercambia con el medio ambiente, se dice que está en situación de equilibrio térmico, es decir, cuando la temperatura interna del cuerpo permanece constante, las ganancias y pérdidas de calor en el organismo deben equipararse. Cuando la cantidad de calor generada es mayor que la que intercambia con el medio que le rodea, se origina un incremento de la temperatura corporal; por el contrario, cuando la cantidad de calor generada es menor que la cedida al medio, se origina una disminución de la temperatura corporal.

Uno y otro caso pueden traer consigo graves consecuencias para la salud del individuo. Se puede establecer una ecuación de balance en la que se tengan en cuenta todas las variables que influyen en el mantenimiento o pérdida de este equilibrio, que puede expresarse como sigue:

Acumulación=Producción – Pérdida

$$A = M - (R + C + E)$$

Y considerando el fenómeno de la conducción:

$$A = M - (K + R + C + E)$$

Donde:



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

A: es la acumulación de calor.

M: es el calor producido por el metabolismo.

R: representa la energía de radiación.

C: es el calor de convección.

E: es el calor de evaporación perdido por medio del sudor.

K: es el calor transmitido por conducción.

En situación de equilibrio la acumulación de calor será nula.

La cantidad de calor generada por el metabolismo M, viene determinada esencialmente por la actividad que realiza el individuo, por el tipo de trabajo y el movimiento general del cuerpo; ya se ha comentado que existen tablas de valores para cuantificar el metabolismo del trabajo en función del tipo que se trate. Si deseamos determinar el consumo metabólico total de energía, habrá que sumar al valor precedente el término correspondiente al metabolismo basal, imprescindible para mantener las funciones vegetativas y que se puede determinar fácilmente por correlaciones experimentales, ya tabuladas.

Ya que los mecanismos de termorregulación del organismo tienen por objeto primordial el mantenimiento de una temperatura interna constante, está claro que tendrá que existir un equilibrio entre la cantidad de calor producido en el cuerpo y su transmisión al medio ambiente. La ecuación que integra mediante todos los factores presentes tal estado de equilibrio se denomina balance térmico y se expresa como:

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 59 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

$$M - E_d - E_s - E_r - L = K = R + C$$

Siendo:

M=Producción metabólica de calor.

E<sub>d</sub>= Pérdida de calor por difusión de vapor de agua a través de la piel.

E<sub>s</sub>= Pérdida de calor por evaporación del sudor desde la superficie de la piel.

E<sub>r</sub>= Pérdida de calor latente en la respiración.

L= Pérdida de calor sensible en la respiración.

K= Calor transmitido desde la superficie de la piel hasta la superficie exterior del vestido.

R= Calor perdido por radiación desde la superficie exterior del vestido.

C= Calor perdido por convección desde la superficie exterior del vestido.

Por tanto, de una forma resumida podemos indicar que los intercambios de calor entre el individuo y el medio ambiente se pueden desglosar en calor por radiación, convección y evaporación, los cuales están influenciados por variables como la temperatura del aire, temperatura radiante media, velocidad del aire, humedad del ambiente y ropa de trabajo.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 60 de 201

 <p>Universidad Politécnica de Cartagena</p>	<p><b>SOBRECARGA TÉRMICA DEL ORGANISMO EN LOS PROCESOS DE FUSIÓN DE METALES EN HORNOS DE CRISOL</b></p>	<p><b>DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA Y AMBIENTAL</b></p>
---	---	--

## **8. DETERMINACIÓN DEL RIESGO DE ESTRÉS TÉRMICO. CRITERIOS DE EVALUACIÓN.**

La evaluación del estrés térmico se realiza midiendo los factores climáticos y físicos del ambiente y evaluando en consecuencia sus efectos sobre el organismo humano a través del índice de estrés térmico idóneo.

Se dispone de métodos de medida fisiológicos, utilizados en el estudio de grandes colectivos de personas, como el método de la temperatura efectiva, que está fundamentado en el estudio de grupos de personas numerosos cuando son expuestos a diversas combinaciones de temperatura, humedad y movimiento de aire. Sin embargo, prácticamente sólo se usa como criterio de evaluación del confort térmico, ya que no considera la carga metabólica ni la posible influencia de la radiación térmica. Esta temperatura efectiva se determina mediante diagramas psicrométricos, basados en la respuesta de dichos colectivos, en donde se encuentran los tres parámetros.

Los métodos instrumentales tratan de establecer modelos físicos que justifiquen las reacciones del hombre cuando se le somete a condiciones termohigrométricas variadas, mediante la cuantificación de valores externos.

Los métodos de balance térmico son los más modernos y precisos, pero son a su vez bastante complicados en la práctica. Tratan de obtener todas las variables que intervienen en el balance térmico a través de la resolución de ecuaciones a veces complejas.

<p><b>Ingeniería técnica Industrial, Especialidad: mecánica.</b></p>	<p>David Saorín Candel</p>	<p>Revisión: Página 61 de 201</p>
--	----------------------------	---------------------------------------

	Universidad Politécnica de Cartagena	<b>SOBRECARGA TÉRMICA DEL ORGANISMO EN LOS PROCESOS DE FUSIÓN DE METALES EN HORNOS DE CRISOL</b>	<b>DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA Y AMBIENTAL</b>
---	--	--	---

Los factores que determinan el ambiente térmico y como consecuencia, los causantes del confort o disconfort del mismo son:

- Temperatura seca del aire
- Humedad del aire. Temperatura húmeda natural
- Temperatura radiante o de globo
- Velocidad del aire

Es necesaria la medida de cada uno de estos factores para evaluar el ambiente térmico. Por tanto, existen una serie de variables que deben conocerse con anterioridad a la medida del estrés térmico, y son las llamadas

## 8.1 VARIABLES DEL MEDIO AMBIENTE.

### 8.1.1. Temperatura seca del aire.

Es la temperatura del aire medida con un termómetro, en grados centígrados o Kelvin ( $K = ^\circ C + 273$ ). La temperatura seca es la reflejada por un termómetro ordinario cuyo bulbo esté apantallado de la radiación procedente del sol y de las superficies radiantes del entorno, pero alrededor del cual pueda circular libremente el aire. Dicho termómetro debe tener un rango de  $-5^\circ C$  a  $50^\circ C$  y una precisión de lectura de  $0.5^\circ C$ . Además, el sensor debe tener las siguientes características: forma cilíndrica, diámetro externo de 6 mm a 11 mm, longitud 30 mm a 65 mm.

<b>Ingeniería técnica Industrial, Especialidad: mecánica.</b>	David Saorín Candel	Revisión: Página 62 de 201
---	---------------------	-------------------------------



En el mercado existen dispositivos sencillos que permiten efectuar correctamente esta medición, dispositivos que, por otra parte, pueden construirse con un poco de alambre y papel de aluminio, por ejemplo. Es importante tener en cuenta las precauciones descritas porque, de otro modo, el valor de la temperatura seca que se obtiene puede ser tanto más erróneo cuanto más intensa sea la radiación existente.

### 8.1.2. Humedad del aire.

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

 <p>Universidad Politécnica de Cartagena</p>	<p><b>SOBRECARGA TÉRMICA DEL ORGANISMO EN LOS PROCESOS DE FUSIÓN DE METALES EN HORNOS DE CRISOL</b></p>	<p><b>DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA Y AMBIENTAL</b></p>
---	---	--

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.

### 8.1.3. Temperatura húmeda natural( $t_{hn}$ )

Es la temperatura reflejada por un termómetro cuyo sensor está recubierto por una muselina de algodón humedecida y que está expuesto al movimiento natural del aire en el punto de medida.

La temperatura húmeda natural es la expresada por un termómetro ordinario cuyo bulbo está recubierto en el extremo por una muselina o mecha humedecida que se introduce en un recipiente de agua destilada, ascendiendo por capilaridad y evaporándose en mayor o menor medida a razón de la humedad del aire, aunque para hacer la medición no hay que esperar a que se humedezca sino que se hará a través de una jeringa media hora antes de cada lectura. Dicho termómetro no está sometido a ventilación forzada y no estará apantallado contra la radiación térmica. La parte sensible del sensor debe estar recubierta de un tejido (p.e. algodón) de alto poder absorbente de

<p><b>Ingeniería técnica Industrial, Especialidad: mecánica.</b></p>	<p>David Saorín Candel</p>	<p>Revisión: Página 64 de 201</p>
--	----------------------------	---------------------------------------



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNO DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

agua. El soporte del sensor debe tener un diámetro de 6 mm, y parte de él (20 mm) debe estar cubierto por el tejido, para reducir el calor transmitido por conducción desde el soporte al sensor. El tejido debe formar una manga que ajuste sobre el sensor. No debe estar demasiado apretado ni demasiado holgado. El tejido debe mantenerse limpio. La parte inferior del tejido debe estar inmersa en agua destilada y la parte no sumergida del tejido, tendrá una longitud entre 20 mm y 30 mm. El recipiente del agua destilada estará protegido de la radiación térmica.

El termómetro debe tener un rango de  $-5^{\circ}\text{C}$  a  $50^{\circ}\text{C}$  y una precisión de lectura de  $0.5^{\circ}\text{C}$ . en estas condiciones la indicación del termómetro depende de la temperatura del aire, de su humedad, de la velocidad del aire y de la temperatura radiante media. La temperatura húmeda natural es pues una magnitud que abarca en sí misma la influencia de las cuatro variables ambientales elementales y es resultado del enfriamiento del termómetro, que será mayor cuanto más seco sea el aire. La temperatura húmeda natural, no obstante, es escasamente sensible a las variaciones de la temperatura radiante media, de tal forma que en la definición del índice WBGT se determina con la temperatura de globo.

Generalmente la temperatura húmeda natural es menor que la seca, y cuanto más cercana se halle de ésta, mayor es la humedad del aire.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 65 de 201



#### 8.1.4. Temperatura húmeda psicrométrica ( $t_{hp}$ )

**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).

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 psicrómetro 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 más que dudosa.



Entre las normas de explotación podemos destacar las siguientes:

1. El psicrómetro 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 psicrómetro 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).



### 8.1.5. Velocidad del aire.

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:

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

$$V_a = (V_x + V_y + V_z)^{1/2}$$

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

	Universidad Politécnica de Cartagena	<b>SOBRECARGA TÉRMICA DEL ORGANISMO EN LOS PROCESOS DE FUSIÓN DE METALES EN HORNOS DE CRISOL</b>	<b>DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA Y AMBIENTAL</b>
---	--	--	---

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 ( $V_M$ ).

<b>Ingeniería técnica Industrial, Especialidad: mecánica.</b>	David Saorín Candel	Revisión: Página 69 de 201
---	---------------------	-------------------------------



#### 8.1.6. Calor radiante.

Es la carga térmica de radiación solar e infrarroja que incide sobre el cuerpo humano. Se mide a través de un termómetro de globo que consiste en una esfera de cobre, hueca, de 15 cm de diámetro y pintada de negro mate, en cuyo centro se inserta un termómetro de mercurio.

#### 8.1.7. Temperatura de globo o radiante

La temperatura de globo es la que expresa un termómetro ordinario de mercurio cuyo bulbo se encuentra en el centro de una superficie esférica metálica hueca, con material que sea buen conductor de calor (cobre, aluminio), de quince centímetros de diámetro y de espesor fino (0,5-0,2 mm) y pintada exterior e interiormente de color negro mate, con un coeficiente de emisividad no menor de 0,95. Se coloca, mediante un tapón perforado de goma, el termómetro de rango  $-5^{\circ}\text{C}$  a  $100^{\circ}\text{C}$  y precisión de lectura de 60.5 QC. En estas condiciones la indicación del termómetro se denomina temperatura de globo o radiante, y depende de la temperatura del aire ambiental, de su velocidad y de la temperatura radiante media (TRM). Cuando se maneje el termómetro de globo es importante colocarlo en la misma posición que ocupa el trabajador durante su tarea puesto que, al ser la radiación un fenómeno muy direccional, pequeñas distancias pueden suponer diferencias relevantes en el valor medido de la temperatura de globo. Las



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

lecturas se harán después de 25 minutos de haber sido situado en el punto de medida. El margen de lectura debe encontrarse entre los  $-5^{\circ}\text{C}$  y los  $100^{\circ}\text{C}$ , con una precisión de lectura de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ .

En algunos casos, como en un despacho o en nuestra casa, el valor normal de la temperatura de Globo es de uno o dos grados por encima de la temperatura del aire (seca).

Uno de los métodos que más frecuentemente se usa es el índice de temperatura de globo con bulbo húmedo, conocido como WBGT, recomendado por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) Para los límites de alerta, para el ambiente térmico y recogido en la norma UNE-EN 27243.

## 8.2. ESTIMACIÓN DE LA CARGA FÍSICA METABÓLICA.

Se puede realizar usando tablas de consumo metabólico o de análisis de tareas.

Es necesario calcular los valores del índice WBGT, mediante las ecuaciones siguientes:

Para interiores sin carga solar, el índice WBGT es:

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 71 de 201



$$WBGT = 0.7t_{hn} + 0.3t_s$$

Para exteriores con carga solar es:

$$WBGT = 0.7t_{hn} + 0.2t_g + 0.1t_s$$

En donde WBGT es el valor del índice WBGT, en °C,  $t_{hn}$  es la temperatura húmeda natural en °C,  $t_g$  es la temperatura de globo en °C y  $t_s$  es la temperatura seca medida en °DC.

Si durante la jornada el trabajador se encuentra expuesto a distintas condiciones ambientales, el valor del índice WBGT promedio se determina así:

$$WBGT_{media} = \frac{\sum_{i=1}^n WBGT_i \times t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}, \text{ siendo siempre } \sum_{i=1}^n t_i \leq 60$$
$$WBGT_{media} = \frac{WBGT_1 \times t_1 + WBGT_2 \times t_2 + \dots + WBGT_n \times t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$$

Donde  $t_i$  es el tiempo de permanencia a cada índice calculado  $WBGT_i$

Cuando los valores de las variables térmicas en el entorno del trabajador no son constantes, es preciso calcular el índice WBGT a tres alturas: cabeza, abdomen y tobillos:



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

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

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

El índice WBGT integra el efecto de la humedad y del movimiento del aire, de la temperatura del aire y de la radiación, y de la temperatura del aire como un factor propio de exteriores con carga solar.

Las exigencias de medida vienen especificadas en la norma ISO 7243, “Estimación del estrés térmico en el ambiente de trabajo basada en el índice WBGT”, y en la norma ISO 7726, “Ambientes térmicos, instrumentos y métodos para la cuantificación de magnitudes físicas”.

En el mercado se cuenta con instrumentos que facilitan lecturas instantáneas de los componentes individuales del índice WBGT o una lectura digital integrada, permitiendo además su registro y su tratamiento estadístico.

Una vez que se ha determinado el valor del índice WBGT y la carga térmica metabólica correspondiente a una tarea determinada, es posible

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 73 de 201



efectuar una evaluación del posible estrés térmico, comparando las temperaturas del método WBGT con los valores límites TLV`s

En la Norma ISO 7243 se establece una clasificación de trabajo por rangos de metabolismo.

<b>VALORACIÓN DE LA CARGA DE TRABAJO</b>	
<b>Valores medios de la carga térmica metabólica durante la realización de distintas actividades</b>	
<b>A. Postura y movimientos</b>	<b>Kcal/minuto</b>
- Sentado	0.3
- De pie	0.6
- Andando	2.0-3.0
- Subida de una pendiente andando	Añadir 0.8 por metro de subida



<b>B. Tipo de trabajo</b>		Media Kcal/minuto
Trabajo manual	Ligero	0.4
	Pesado	0.9
Trabajo con el brazo	Ligero	1.0
	Pesado	1.7
Trabajo con dos brazos	Ligero	1.5
	Pesado	2.5
Trabajo con el cuerpo	Ligero	3.5
	Moderado	5.0
	Pesado	7.0
	Muy	9.0
<b>C. Metabolismo basal</b>		1Kcal/min

Los límites recomendados distinguen entre trabajadores aclimatados y no aclimatados, incluyen el efecto del vestido y especifican valores techo según una serie de curvas para los valores límite de alerta recomendados, límites de exposición recomendados y valores techo. Debe disponerse del documento guía de la NIOSH o su traducción de cualquier manual.



<b>TLV'S PARA LA EXPOSICIÓN AL CALOR</b>			
<b>Régimen de trabajo y descanso</b>	<b>Tipos de trabajo</b>		
	Ligero	Moderado	Pesado
Trabajo continuo	30.0	26.7	25.0
75% trabajo y 25% descanso, cada hora	30.6	28.0	25.4
50% trabajo y 50% descanso, cada hora	31.4	29.4	27.9
25% trabajo y 50% descanso, cada hora	32.2	31.1	30.0

La validez de un índice no se fundamenta en que sus planteamientos resulten lógicos, sino en que sea capaz de predecir claramente las consecuencias de la exposición. La validez del índice que nos ocupa, el



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

WBGT, viene determinada por el hecho de que sus valores se vinculan racionalmente bien con la respuesta fisiológica humana al calor, por lo cual la Asociación Americana de Higienistas Industriales (ACGIH) lo incluyó en los valores TLV's a principios de los setenta.

Como ya se ha dicho, estos TLV's expuestos expresan los niveles de estrés térmico por debajo de los cuales se considera que la mayoría de los trabajadores pueden estar expuestos repetidamente sin sufrir efectos adversos para su salud. Estos TLV's se basan en la hipótesis de que la mayoría de los trabajadores aclimatados, físicamente aptos, con buen estado de nutrición, adecuadamente vestidos y con una ingestión adecuada de agua y sal, sean capaces de realizar con efectividad sus funciones en las condiciones ambientales dadas sin que la temperatura interna de su cuerpo supere los 38°C. Esto no tiene por qué significar que no se presenten situaciones de discomfort puestas de manifiesto por el porcentaje de personas insatisfechas como consecuencia del calor. El estudio de estas situaciones cae dentro de la denominada ergonomía ambiental, de forma que los límites WBGT pueden modificarse tomando decisiones basadas en distintas variables:

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 77 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

**TLV'S PARA LA EXPOSICIÓN AL CALOR (VALORES EN °C WBGT)**

Régimen de trabajo y descanso	Tipos de trabajo							
	Ligero		Moderado		Pesado		Muy pesado	
	S.A.	A	S.A.	A	S.A.	A	S.A.	A
100% trabajo	27.5	29.5	25.0	27.5	22.5	26.0	21.0	25.0
75% trabajo, 25% descanso	29.0	30.5	26.5	28.5	24.5	27.5	22.5	26.5
50% trabajo, 50% descanso	30.0	31.5	28.0	29.5	26.5	28.5	25.0	27.5
25% trabajo, 75% descanso	31.0	32.5	29.0	31.0	28.0	30.0	26.5	29.5

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 78 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

Aunque el índice WBGT se exprese en grados centígrados (dado que tanto la temperatura húmeda natural como la de globo se miden en grados centígrados), no debe ser confundido con la temperatura del local, que es únicamente una de las variables ambientales que contribuyen al confort térmico ambiental.

La simplicidad del índice WBGT hace que esté supeditado a algunas limitaciones, como consecuencia de las obligadas restricciones de algunas de sus variantes. Por ese motivo la curva límite sólo es de aplicación a individuos cuya vestimenta ofrezca una resistencia térmica aproximada de 0.6 clo (aislamiento térmico del vestido), que corresponde a un atuendo veraniego.

Los límites expresados sólo son válidos para individuos sanos y aclimatados al calor.

Por otra parte, la velocidad del aire sólo interviene a partir de cierto valor del consumo metabólico y de forma cualitativa, aumentando 1 ó 2°C los límites del índice WBGT, cuando existe velocidad de aire en el puesto de trabajo.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 79 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

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

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 80 de 201

 <p>Universidad Politécnica de Cartagena</p>	<p><b>SOBRECARGA TÉRMICA DEL ORGANISMO EN LOS PROCESOS DE FUSIÓN DE METALES EN HORNOS DE CRISOL</b></p>	<p><b>DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA Y AMBIENTAL</b></p>
---	---	--

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

Cuando la situación de trabajo no se adapte al campo de aplicación de método, es decir, cuando la velocidad del aire o el vestido sean muy diferentes de lo indicado, se debe recurrir a los métodos más precisos de valoración.

### 8.3. ADECUACIÓN DE LOS REGÍMENES DE TRABAJO-DESCANSO.

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

$$T_{\min} = (A-B) / [(C-D) + (A-B)] * 60 \text{ (minutos / hora)}$$

Donde:

T<sub>min</sub>= Fracción de tiempo de trabajo respecto al total (indica los minutos a trabajar por cada hora)

<p><b>Ingeniería técnica Industrial, Especialidad: mecánica.</b></p>	<p>David Saorín Candel</p>	<p>Revisión: Página 81 de 201</p>
--	----------------------------	---------------------------------------



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

A= WBGT límite en el descanso (M= 100 Kcal/hora)

B= WBGT en la zona de descanso.

C= WBGT en la zona de trabajo.

D= WBGT límite en el trabajo.

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

$$T_{\min} = (33-B/33-D) * 60 \text{ (minutos/hora)}$$

Cuando B/A, ambas ecuaciones no son aplicables.

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

#### 8.4. VARIABLES PERSONALES

Además de las variables ambientales antes expuestas, tienen una influencia demostrada algunas otras que dependen del propio trabajador, como son el consumo metabólico y la vestimenta

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 82 de 201



#### 8.4.1. Consumo metabólico

Ya se ha mencionado con anterioridad, así que a continuación se expone la influencia del factor vestimenta:

#### 8.4.2. El vestido

Es un aspecto fundamental en el intercambio de calor del operario con el medio ambiente, de tal forma que si la resistencia térmica del mismo es grande, siempre es más difícil que organismo pueda ceder calor, tratándose, por tanto, de un efecto directamente proporcional.

Se denomina resistencia térmica del vestido a la capacidad que tienen las prendas de vestir para aislar térmicamente. La unidad que representa esta resistencia térmica de la ropa, o el valor de su aislamiento, se denomina “Clo” y es equivalente a 0.155 m<sup>2</sup>°C/W o a 5.55 Kcal/m<sup>2</sup>/h de intercambio de calor por radiación y convección por cada °C de diferencia de temperatura entre la piel y la temperatura ajustada de bulbo seco (promedio de la temperatura de bulbo seco ambiental y la temperatura radiante media).

$$T_{adb} = (t_a + t_r) / 2$$



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

<b>Tipo de ropa</b>	<b>Valor de Clo</b>	<b>Medición WBGT</b>
Uniforme de trabajo de verano	0.6	0
Bata de algodón	1.0	-2
Uniforme de trabajo de invierno	1.4	-4
Protección antihumedad permanente	1.2	-6

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 84 de 201



## **9. PROCEDIMIENTOS DE ESTIMACIÓN DEL CONFORT TÉRMICO METABÓLICO**

Aunque un ambiente térmico no sea lo suficientemente agresivo como para originar daños a la salud, los trabajadores pueden indicar su malestar ante el mismo, ya sea por calor o por frío. Esta situación de disconfort o de insatisfacción puede desencadenar un descenso de la productividad y de la calidad del sistema productivo.

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

 <p>Universidad Politécnica de Cartagena</p>	<p><b>SOBRECARGA TÉRMICA DEL ORGANISMO EN LOS PROCESOS DE FUSIÓN DE METALES EN HORNO DE CRISOL</b></p>	<p><b>DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA Y AMBIENTAL</b></p>
---	--	--

valores a partir de ábacos de cálculo, construidos empíricamente.

\* Basados en el balance térmico:

- conociendo los valores primarios ensayan el cálculo del balance térmico.

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 las próximas líneas se revisan los índices  $i_{te}$ , ITT, Swreq. Sin olvidar los índices PMV-PPD, cuya filosofía se centra en el análisis del confort térmico.

<p><b>Ingeniería técnica Industrial, Especialidad: mecánica.</b></p>	<p>David Saorín Candel</p>	<p>Revisión: Página 86 de 201</p>
--	----------------------------	---------------------------------------

 <p>Universidad Politécnica de Cartagena</p>	<p><b>SOBRECARGA TÉRMICA DEL ORGANISMO EN LOS PROCESOS DE FUSIÓN DE METALES EN HORNOS DE CRISOL</b></p>	<p><b>DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA Y AMBIENTAL</b></p>
---	---	--

## 9.1. ÍNDICE PMV – PPD. MÉTODO DE FANGER

El procedimiento para la estimación del confort térmico en el trabajo basado en el índice PMV-PPD está desarrollado en la norma UNE-EN ISO 7730. Dicho procedimiento está fundamentado en la comparación entre el voto medio previsto o estimado (PMV) y el porcentaje estimado de insatisfechos, conocido también como porcentaje previsto de personas en discomfort (PPD). Estos índices se determinan en base a seis parámetros: velocidad del aire, temperatura radiante media, temperatura del aire, presión de vapor, ritmo metabólico de la persona (met o W/m<sup>2</sup>) y aislamiento térmico de los vestidos (Clo).

Los estudios realizados por P.O. Fanger han permitido correlacionar los diversos ambientes térmicos, caracterizados por su voto medio estimado (PMV) a razón del número de personas que se manifiestan insatisfechas frente a tales ambientes o porcentaje estimado de insatisfechos (PPD)

### 9.1.1. PMV, voto medio previsto

Se denomina PMV al promedio de las calificaciones que un colectivo de individuos expuesto a un determinado ambiente térmico asignaría a éste, según la escala de valoración siguiente:

<p><b>Ingeniería técnica Industrial, Especialidad: mecánica.</b></p>	<p>David Saorín Candel</p>	<p>Revisión: Página 87 de 201</p>
--	----------------------------	---------------------------------------



Muy caluroso	+3
Caluroso	+2
Ligeramente caluroso	+1
Confortable	0
Ligeramente frío	-1
Frío	-2
Muy frío	-3

El voto medio estimado se calcula a través de tablas que facilita el propio método de Fanger, y en ellas se muestran relacionadas las siguientes variables:

- Carga térmica metabólica
- Temperatura
- Velocidad relativa del aire respecto al cuerpo
- Tipo de vestido



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

Se elige la tabla correspondiente a la carga térmica metabólica estimada para la actividad desarrollada por el operario y se obtiene el voto medido estimado sobre la base de los valores de otras tres variables.

Todos los valores, apuntados directamente en estas tablas, se refieren a condiciones en las que la temperatura media de radiación y la temperatura del aire son iguales y la humedad relativa es del 50%.

En el caso de que la temperatura media de radiación sea diferente de la temperatura del aire, se maneja la temperatura operativa, que es el valor medio de ambas, siempre que su diferencia no sea superior a 4°C. No obstante, se puede calcular la temperatura operativa con más precisión usando la expresión siguiente:

$$t_o = A * t_a + (1-A) * t_r$$

De donde:

**t<sub>a</sub>**: Temperatura del aire

**t<sub>r</sub>**: Temperatura media de radiación

A: Es función de la velocidad relativa del aire.



$V_{\text{aire}}$	Menor de 0.2	De 0.2 a 0.6	De 0.6 a 1
A	0.5	0.6	0.7

La influencia de la humedad relativa es muy pequeña en las zonas cercanas al confort, de forma que la corrección por humedad relativa distinta del 50% puede despreciarse.

No se pueden esperar condiciones de confort con temperaturas medias de radiación importantes o humedad relativa muy diferente del 50%.

Hoy día se cuenta con programas informáticos que facilitan el cálculo del voto medio previsto.

#### 9.1.2. PPD. Porcentaje previsto de personas en disconfort.

La verdadera utilidad del voto medio estimado es que dicho método permite correlacionarlo con el porcentaje estimado de personas que se manifestarán insatisfechos con la situación térmica prevista.

El método proporciona una curva que relaciona el voto medio estimado con el porcentaje estimado de insatisfechos, siguiendo la expresión siguiente:

<b>Ingeniería técnica Industrial, Especialidad: mecánica.</b>	David Saorín Candel	Revisión: Página 90 de 201
---	---------------------	-------------------------------



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

**PPD = 100-95 exp (-0.03353 PMV<sup>4</sup> - 0.2179 PMV<sup>2</sup> ).** Hay que tener en cuenta que en ambientes neutros, donde el PMV tiene un valor de 0, el PPD es del 5%, lo que quiere decir que, aún en las mejores condiciones, siempre habrá una pequeña proporción de personas insatisfechas. Se considera aceptable un ambiente térmico en el caso de que el porcentaje estimado de insatisfechos sea menor del 10%.

Como ejemplo para hallar el voto medio estimado para una actividad ligera, se tomará el caso de un relojero con 70 W/m<sup>2</sup>. Una vez situado el dato en la tabla correspondiente a ese nivel de actividad, y determinadas las otras variables, como 0.5 clo para la ropa de verano, 24°C de temperatura y 0.1 m/s de velocidad del aire, resulta un voto medio previsto de -0.2. Para el valor de .0.2 voto medio estimado, encontramos según la gráfica un porcentaje estimado de insatisfechos del 6%, pudiendo afirmar que las condiciones expuestas en el ejemplo planteado corresponden a una situación de confort térmico.

Este método es recomendable para valores de PMV entre 62 y se evidenciará una situación de desconfort si se superan los rangos de los parámetros: actividad metabólica (46-232 w/m<sup>2</sup>), vestido (0-2 clo), TS(10-30°), TRM(10-40°C), velocidad del aire (0-1m/s) y presión parcial de vapor de agua (0-2700 Pa).

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 91 de 201

 <p>Universidad Politécnica de Cartagena</p>	<p><b>SOBRECARGA TÉRMICA DEL ORGANISMO EN LOS PROCESOS DE FUSIÓN DE METALES EN HORNOS DE CRISOL</b></p>	<p><b>DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA Y AMBIENTAL</b></p>
---	---	--

## 9.2. MÉTODO DEL ÍNDICE DE TEMPERATURA EFECTIVA (ITE)

Éste es un método propuesto por la ASHVE (American society of Ventilating Engineers), inicialmente fijado como criterio de evaluación de confort, fundamentado en el estudio de las repuestas de grandes grupos de personas que trabajan en distintos ambientes, según las variables de temperatura, humedad relativa y movimiento de aire patentes.

La OMS seleccionó este método en 1961, descrito por C.P. Yaglon para control de ambientes calurosos, pero no se emplea en la práctica, dado que al extrapolar excesivamente fuera de la zona de confort, no es aceptable.

En este índice intervienen los siguientes factores: Temperatura seca, temperatura húmeda y velocidad del aire.

La temperatura efectiva se determina por medio de ábacos, referidos a sujetos vestidos y ambientes en los que las temperaturas de las paredes son iguales a las del aire. La temperatura que se determina corresponde a la del aire saturado, con ligero movimiento, que produce una sensación de frío o de calor idéntico a las de las condiciones ambientales a las que una está expuesta.

<p><b>Ingeniería técnica Industrial, Especialidad: mecánica.</b></p>	<p>David Saorín Candel</p>	<p>Revisión: Página 92 de 201</p>
--	----------------------------	---------------------------------------



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

Si las paredes y el suelo del ambiente estimado se encuentran a diferente temperatura, en la parte superior o inferior, a la temperatura seca del ambiente equivalente, se denomina en este caso temperatura resultante.

Para calcular la temperatura efectiva, primero se selecciona el ábaco más adecuado al tipo de trabajo y ropa, segundo se unen los puntos de las escalas verticales laterales (temperatura seca y húmeda), y donde corte a la línea indicativa de la velocidad del aire, ahí se obtiene la temperatura efectiva.

Para la utilización de los diagramas es preciso que no exista exposición por radiación, en cuyo caso se establece la “Temperatura Efectiva Corregida” siguiendo dos métodos diferentes: el primero reemplaza la temperatura del aire por la temperatura de globo negro, y el segundo, más complejo, sustituye además la temperatura húmeda por una pseudotemperatura húmeda, que corresponde a la que leería si a temperatura del aire fuese igual a la del globo negro, permaneciendo la presión parcial de vapor de agua constante.

Los niveles superiores del índice corregido, en función del metabolismo y del estado de aclimatación, son:

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 93 de 201



Metabolismo	Temperatura	
	No adaptado	Adaptado
220	30° C	32° C
350	28° C	30° C
530	26.5° C	28.5° C

### 9.3. MÉTODO DEL ÍNDICE DE TENSIÓN TÉRMICA.

Este método sólo es aplicable a sujetos físicamente bien dotados así como adecuadamente aclimatados, y está basado en el intercambio térmico entre el cuerpo humano y el medio ambiente expresado mediante la siguiente fórmula de balance térmico:

$$A=M-(R + C + E)$$

$$\text{Acumulación} = \text{Producción} - \text{Pérdida}$$



Los valores de M (calor producido por el metabolismo) y E (calor perdido por evaporación) son siempre positivos, mientras que los de R (calor intercambiado al ambiente por convección), pueden ser positivos o negativos, dado que en función de las condiciones ambientales reinantes, el cuerpo ganará o cederá calor.

Según lo cual, el calor de evaporación del sudor o calor a evacuar, en Kcal/h ( $E_{req}$ ), preciso para mantener el equilibrio, será:

$$E_{req} = M - R + C$$

Este procedimiento es utilizado para valorar situaciones críticas en tiempos de corta duración y maneja para su evaluación el “Índice de Tensión Térmica” (ITT), que representa la relación entre la cantidad de calor que requiere eliminar una persona, por evaporación del sudor, para mantener el equilibrio térmico de su cuerpo en el desarrollo de su actividad  $E_{req}$  (Kcal/h) y la cantidad máxima de calor que sería susceptible evacuar por sudor en las mismas condiciones ambientales  $E_{req}$ (Kcal/h).

$$ITT = (E_{req} / E_{max}) * 100$$

Este método resulta más preciso que el método del índice WBGT, permitiendo a su vez calcular el tiempo máximo de exposición al calor, mediante la ayuda de gráficos y monogramas (diagramas psicrométricos).



Todo valor del tiempo máximo de permanencia referido a los valores de ITT que excedan el valor de 100, viene indicado por la expresión deducida de Mckarns y Brief:

$$T_{exp} = 3900 \text{min} / (E_{req} - E_{max})$$

El cálculo de esta expresión se efectúa a partir de tres hipótesis fundamentales:

- Hombre tipo de 70kg de peso.
- Vestido ligeramente (0.5 – 0.6 clo) o desnudo (0 clo).
- Con una temperatura de la piel de 35°C.

Para la evaluación del riesgo higiénico de estrés térmico, según este método, se pueden manejar los valores expresados en el siguiente cuadro:

ITT °C.	Implicaciones fisiológicas e higiénicas por exposición de 8 horas a diferentes tipos de estrés térmico
-20, -10	Estrés térmico suave por frío



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

0	No existe estrés térmico. Confort térmico
10, 20, 30	Estrés térmico intermedio, entre suave y moderado. Da lugar a una cierta disminución del rendimiento en los trabajos intelectuales o que exigen estar despierto o alerta.
40, 50, 60	Estrés térmico fuerte, severo. Las personas expuestas a él pueden ver afectada su salud si no son suficientemente fuertes físicamente. Debe realizarse una selección previa del personal expuesto. No es adecuado para realizar un trabajo mental continuado
70, 80, 90	Estrés térmico extremo o muy severo. Debe seleccionarse el personal mediante exámenes médicos y pruebas de trabajo con un periodo de aclimatación. Deberá ser retirado de su puesto el trabajador a la menor indisposición.
100	Estrés térmico máximo. Tolerable por hombres jóvenes físicamente fuertes y aclimatados. Condición crítica cuando es > 100.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candell

Revisión:

Página 97 de 201



#### 9.4. MÉTODO DEL ÍNDICE DE SUDORACIÓN REQUERIDA (SWREQ).

Este método está desarrollado por Vogt y otros en 1981, y está recogido en la norma ISO 7933. Es uno de los más completos, proporcionando no sólo los intervalos de sudoración requerida, sino además la comparación entre la sudoración, la humedad de la piel y la evaporación del sudor requeridas por la actividad y lo que es fisiológicamente posible y aceptable para el operario.

##### 9.4.1. 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 de la vestimenta.



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

#### 9.4.2. 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 650g/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  $1^{\circ}C$  sin problemas para su salud (OMS,1969). El índice de sudor requerido lo expresa en watios-hora/ $m^2$ , se corresponden a incrementos de  $1^{\circ}C$  y  $1,4^{\circ}C$  según el nivel de alarma o peligro (Mairiaux, 1989). Si estos límites se superan hay riesgo de golpe de calor.



- $H_{max}$  Pérdida 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.

#### 9.4.3. 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.



#### 9.4.4. 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

#### 9.4.5. Ponderación Exponencial

El índice de sudoración requerida tal y como es formulado en la Norma ISO 7933 supone que el nivel de sudoración prevista se alcanza instantáneamente. En tanto que en la realidad la producción 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 ponderación para mejorar la predicción de las reacciones



fisiológicas del sujeto.

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

#### 9.4.6. En practica

Desde un punto de vista practico este índice exige:

1º Determinar los 6 parámetros primarios que caracterizan un ambiente:  $t_a$ ,  $t_r$ ,  $P_a$ ,  $V_a$ , metabolismo y clo.

2º Seguir las indicaciones de la Norma ISO 7933 .

3º Al final se determina:

- Si existe riesgo de deshidratación 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.

4º Si el ambiente es muy fluctuante, se impone la utilización de la ponderación exponencial del índice.

5º Si el ambiente es muy húmedo o el trabajador lleva vestidos de protección el índice no calcula bien la sudoración prevista.



## **10. RIESGOS Y DAÑOS A LA SALUD.**

Cuando el trabajo se realiza en un ambiente en el que las condiciones termohigrométricas no son las correctas, como en el caso de los ambientes muy calurosos, pueden producirse alteraciones, tanto para la seguridad como para la salud de los trabajadores que pueden ir desde el simple discomfort, al estrés térmico o el golpe de calor, que puede afectar muy seriamente a la salud.

Algunos de los efectos fisiológicos directos que se pueden producir por una sobrecarga térmica son:

- Deshidratación.
- Golpe de calor.
- Fatiga.
- Errores.
- Accidentes.
- Daños materiales y personales.
- Disminución del rendimiento.



- Aumento de la insatisfacción.

Aunque ya se han expuesto todos estos trastornos en un epígrafe anterior, a continuación se desarrollan con más detalle los calambres por calor, y el golpe de calor.

### 10.1. CALAMBRES POR CALOR.

Estos calambres son espasmos dolorosos de la musculatura esquelética debidos a la pérdida por sudoración. Se observa en persona jóvenes, tras un duro esfuerzo o trabajo a temperaturas elevadas. Estas personas sudan copiosamente, perdiendo con ello sales en abundancia y beben grandes cantidades de agua u otros líquidos hipotónicos facilitando la aparición de hiponatremia.

#### **Diagnostico**

Lo fundamental son los espasmos dolorosos de los músculos voluntarios del abdomen y extremidades. La piel puede estar húmeda o seca, fría o caliente. La temperatura corporal es normal o algo elevada.



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

### **Tratamiento.**

Consiste en administrar sal en forma de suero salino al 0.1% por vía oral (parte de una cucharada de sal en un litro de agua) cada 45 minutos. Una alternativa es la utilización de algunas soluciones comerciales de electrolitos, por ejemplo “Acuarius”. Debe colocarse al paciente en un ambiente frío y darle masajes suaves a los músculos doloridos. Por lo general no se requiere hospitalización.

### **10.2. GOLPE DE CALOR.**

Aparece cuando el organismo pierde el control de la temperatura corporal, que asciende hasta 41°C o más, comprometiendo el sistema nervioso central y el cardiovascular con alteraciones de las funciones celulares. La elevación de la temperatura causa importantes daños en los tejidos. La enfermedad y la muerte son consecuencia de la destrucción de los tejidos cerebral, cardiovascular, hepático y renal.

Por cada grado centígrado que se eleve la temperatura el metabolismo celular aumenta en 13%, de forma que a 41°C el metabolismo es un 50% mayor de lo normal. A los 42°C la fosforilación oxidativa se desacopla. A los 45°C se inicia la destrucción celular.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 105 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

La alteración fundamental del golpe de calor es el fracaso del sistema de enfriamiento. La capacidad de soportar el calor varía de unos individuos a otros, pero todos disponemos de un sistema de refrigeración consistente en que la circulación de la sangre se pone en contacto con la piel, a través de la cual se difunde calor hacia la atmósfera. La sobrecarga térmica puede ser endógena o ambiental por diversos factores:

- Causas ambientales: Temperatura ambiente superior a la corporal. Humedad atmosférica elevada. Sobrecarga de calor por radiación:(automóviles, edificios metálicos).
- Causas endógenas Fiebre Esfuerzo muscular por trabajo o deporte. Hipertermia maligna.

Los encargados de eliminar el exceso de calor son la piel y el sistema cardiovascular. Los vasos cutáneos se dilatan, la resistencia periférica disminuye, y el flujo sanguíneo aumenta hasta 20 veces.

Para mantener una tensión normal el gasto cardíaco se duplica o triplica; este efecto se consigue mediante el aumento de volumen de eyección, y sobre todo de la frecuencia cardiaca. Si el calor es lo suficientemente intenso, este mecanismo de refrigeración no evita que la temperatura se eleve hasta alcanzar un punto en el cual el gasto cardiaco es



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

incapaz de satisfacer las necesidades de refrigeración: en ese momento aparece la hipotensión.

### **Diagnostico**

El diagnóstico se fundamenta en gran parte en la sospecha clínica, y debe hacerse con rapidez pues el tiempo influye desfavorablemente en la recuperación y en la aparición de secuelas o muerte. Puesto que el Sistema Nervioso Central es el primer sistema que se altera hay que sospechar este diagnóstico siempre que se altere o pierda la consciencia, en circunstancias de sobrecarga interna o externa de calor.

La disfunción se inicia con irritabilidad, incoherencia, confusión, delirio, convulsiones y coma. Posteriormente se dan posturas de descerebración, pupilas fijas, síntomas, todos ellos, reversibles con enfriamiento precoz.

La piel está caliente y seca. Antes del colapso cardiovascular el pulso es fuerte y rápido. La temperatura rectal puede superar los 45°C. la hiperventilación causa alcalosis respiratoria inicial que puede evolucionar a acidosis metabólica.

El diagnóstico diferencial se hace después de haber iniciado el enfriamiento, de esta forma no se perjudica en nada a los enfermos que

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 107 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

padezcan hipertermia de otra índole y, por otro lado no se retrasa el tratamiento. Si con el descenso de la temperatura no se obtiene mejoría del estado mental y restablecimiento de la tensión arterial normal se hace el diagnóstico diferencial.

### **Tratamiento**

El tratamiento está dirigido a la inmediata eliminación de la hipertermia y el apoyo de los órganos vitales. Una medida práctica es sumergir al paciente en una bañera con agua helada. Hay que desnudar al paciente y cubrirlo con agua y pedacitos de hielo. Se puede mejorar la refrigeración con un ventilador dirigido al enfermo. La alternativa es usar compresas frías con la precaución de mantenerlas muy frías y cambiarla a menudo. El contacto con el hielo produce vasoconstricción dificultando el enfriamiento, para evitar este efecto se hace un masaje corporal continuo todo el tiempo que dure el enfriamiento.

Se deben evitar las fricciones de alcohol, y que son potencialmente peligrosas (intoxicación por alcohol). La aspirina no es eficaz en el golpe de calor porque su mecanismo de acción es restablecer un valor normal para el nivel crítico del termostato corporal que se encuentra elevado en la fiebre. En el golpe de calor el nivel crítico se mantiene en su valor normal, pero el

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 108 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

organismo es incapaz de eliminar el calor necesario para que la temperatura corporal se ajuste a él.

Al mismo tiempo que se hace el enfriamiento se conservan las vías aéreas permeables y una ventilación adecuada y se presta atención a la infusión de líquidos, a la deshidratación y a la hipotensión. La solución utilizada para la infusión puede ser suero fisiológico. La hipotensión debida a la imposibilidad de aumentar el gasto cardíaco se trata con la administración de 250 a 500 ml de líquido endovenoso en unos minutos, vigilando la respuesta por medio de la tensión arterial o la presión venos central. La reposición de líquidos se continúa hasta que se normalice la tensión arterial o se eleve la tensión venosa central.

Durante el enfriamiento es posible la aparición de escalofríos violentos que pueden derivar en convulsiones y generar calor. Este tipo de escalofríos debe ser suprimido mediante fármacos.

### **Pronóstico**

La duración del coma da una idea aproximada del pronóstico. Si dura más de 10 horas es probable un desenlace fatal, mientras que si dura menos de 4 horas el pronóstico es favorable. Es un signo de mal pronóstico que la temperatura rectal sea mayor a 43°C en el momento del ingreso.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 109 de 201



## **11. VIGILANCIA DE LA SALUD**

El objeto principal de la vigilancia de la salud de los trabajadores debe ser lograr una prevención primaria de las lesiones y enfermedades profesionales relacionadas con la exposición al calor. Los programas de vigilancia de la salud de los trabajadores ocupados en actividades realizadas en ambientes calurosos se deben armonizar con todas las normas, recomendaciones y disposiciones que existan al respecto.

La formulación de programas de vigilancia de la salud de los trabajadores debe basarse en sólido conocimientos científicos y técnicos de los procesos que se lleven a cabo, y estar de conformidad con lo estipulado por la autoridad competente. Debe establecerse una relación entre dicha vigilancia y la de los riesgos laborales presentes en el lugar de trabajo.

Los programas de vigilancia de la salud de los trabajadores deben diseñarse y aplicarse en consulta con los trabajadores y sus representantes.

### **11.1. CONTROL Y EXAMEN.**

El control biológico y la vigilancia de la salud deben utilizarse, cuando sea conveniente, con medida adicional para controlar la exposición en curso y para confirmar la eficacia de las medidas de control. Del mismo modo, las



personas competentes deben examinar y especificar los intervalos de tiempo que han de mediar entre cada evaluación de los riesgos.

La frecuencia de los exámenes debe depender, en parte, de la naturaleza y extensión de los riesgos identificados y de la disponibilidad y conveniencia de las medidas de control en curso.

### 11.2. EXÁMENES MÉDICOS

Como el examen médico es el medio más corriente de evaluación de la salud del trabajador, debe perseguir los siguientes objetivos:

- Evaluación de la salud de los trabajadores respecto de las situaciones de peligro o los riesgos derivados de la exposición a factores ambientales peligrosos, prestando particular atención a los trabajadores con necesidades de protección especiales en relación con su condición de salud.
- Detección de las anomalías preclínicas y clínicas den un momento en que la intervención aún resulte beneficiosa para la salud del individuo.
- Prevención de un mayor deterioro de la salud de los trabajadores.



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

- Evaluación de la eficacia de las medidas de control en el lugar de trabajo.
- Fortalecimiento de métodos de trabajo seguros y conservación de la salud.
- Evaluación de la aptitud para desarrollar un tipo particular de trabajo.

Los exámenes médicos previos a la asignación de la tarea deben:

- Recopilar información que sirva de referencia para la futura vigilancia de la salud.
- Ajustarse al tipo de trabajo, a los criterios de adaptación profesional y a los riesgos presentes en el lugar de trabajo.

Deben realizarse exámenes médicos periódicos durante el empleo, con arreglo a lo dispuesto en la legislación nacional, exámenes que deben adaptarse a los riesgos profesionales presentes en la empresa.

Los trabajadores han de tener derecho a pedir que se evalúe su estado de salud (mediante un examen médico u otros medios adecuados) cuando se produzca una disfunción que consideren provocada o relacionada con el trabajo en ambientes térmicos. Cuando los resultados de un reconocimiento

 <p>Universidad Politécnica de Cartagena</p>	<p><b>SOBRECARGA TÉRMICA DEL ORGANISMO EN LOS PROCESOS DE FUSIÓN DE METALES EN HORNOS DE CRISOL</b></p>	<p><b>DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA Y AMBIENTAL</b></p>
---	---	--

médico indiquen un grado de exposición o efectos inaceptables, el empresario tiene la obligación de transferir al trabajador afectado a un puesto de trabajo seguro sin pérdida de salario, y deben adoptarse las medidas oportunas antes de que la persona de que se trata vuelva a ocupar el mismo puesto de trabajo.

En el caso de personas cuya exposición a factores ambientales peligrosos entrañe a largo plazo un riesgo considerable para su salud, deben tomarse medidas adecuadas para la vigilancia médica posterior al empleo, al objeto de asegurar un diagnóstico precoz y el tratamiento de las enfermedades con él relacionadas.

Las autoridades competentes deben garantizar que la legislación en materia de vigilancia de la salud de los trabajadores se aplique correctamente. Los resultados y registros de la vigilancia de la salud de los trabajadores deben:

- Explicarse claramente por profesionales de la salud laboral a los trabajadores interesados o a las personas de su elección.
- Mantenerse confidenciales y que sólo sean accesibles al personal médico competente, a menos que le trabajador haya consentido explícitamente y por escrito en divulgar toda o parte de esta información, con excepción de lo que disponga la autoridad competente.

<p><b>Ingeniería técnica Industrial, Especialidad: mecánica.</b></p>	<p>David Saorín Candel</p>	<p>Revisión: Página 113 de 201</p>
--	----------------------------	--



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

Los trabajadores tienen el derecho de consultar sus expedientes médicos y de salud personales, incluso en el momento en que se jubilan y después de hacerlo. Los resultados de la vigilancia de la salud de los trabajadores deben conservarse en registros de carácter confidencial durante 20 años a partir del último dato registrado, o bien durante 40 años, cualquiera que sea el periodo más prolongado, o según lo disponga la autoridad competente. Si la empresa pone término a sus actividades, los registros relativos a la vigilancia de la salud de los trabajadores los debería conservar la autoridad competente.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candell

Revisión:

Página 114 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

## **12. SERVICIOS DE LA SALUD EN EL TRABAJO**

El empresario debe establecer o adoptar medidas para que los trabajadores tengan acceso a un servicio de salud en el trabajo en cada instalación industrial, y es el responsable de los servicios médicos de urgencia. La organización, funciones, dotación de personal y equipo de los servicios de salud en el trabajo deben estar de conformidad con la normativa vigente.

### **12.1. SISTEMAS DE CONTROL.**

Es posible minimizar el riesgo reduciendo, por un lado, la actividad física del sujeto, y por otro, rebajando la agresividad ambiental que está presente. Además, se puede actuar sobre ambos factores simultáneamente. Sin embargo, en cada situación se debe analizar cuál es la aportación al riesgo de cada factor y actuar en consecuencia.

En general, el control del estrés térmico se debe realizar a través de sistemas e ventilación idóneos, y es posible, utilizando aislamientos que minimicen la transmisión térmica. El calor radiante, por ejemplo, se debe aminorar recubriendo la superficie de los objetos calientes con materiales de baja transmisión o mediante pantallas protectoras que aíslen de la radiación.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 115 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

En trabajos con exposiciones cortas se debe contar con prendas de protección tales como intercambiadores de calor respiratorios, trajes refrigerados y reflectantes, etc.

Si no hay forma de controlar el calor emitido (por ejemplo, como sucede en los altos hornos, la mejor solución es colocar cabinas con aire acondicionado para mantener a los trabajadores bajo una situación de confort razonable.

El tipo de medidas de control que deben implantarse en cada caso depende del tipo de ambiente caluroso que se produzca. De esta manera, lo primero será concretar si el calor es seco o húmedo. En el caso del calor húmedo existen ejemplos como las acerías, las fundiciones, etc., donde la carga térmica sobre el operario se ve aumentada por el calor sensible procedente del equipo de proceso, cuyo mayor componente es el calor de radiación de las grandes superficies calientes, hornos, etc., que deben ser apantalladas de forma eficaz. En el caso de los ambientes calurosos húmedos, como por ejemplo los lavaderos de minas o las lavanderías, ocurre que la capacidad de refrigeración se ve disminuida, y esto hace que sea necesario reducir la HR en el ambiente laboral.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 116 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

<b>Protección frente a fuentes de calor exterior</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Tabiques opacos</li><li>- Tabiques de vidrio (transparentes)</li></ul> <p>En ambos casos es necesario considerar el flujo de calor incidente, y por tanto su orientación</p>
<b>Protección frente a fuentes de calor interior</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Fuentes de calor convectivas: Campanas extractoras o estudio de edificios</li><li>- Fuentes de calor radiactivas: pantallas</li></ul>

Como actuación global, y a pesar de que no es posible fijar fórmulas de validez general frente a las situaciones de estrés térmico, ya que, como se ha dicho, debería efectuarse en cada caso un análisis pormenorizado de las causas del riesgo y estudiar todos los elementos que confluyen el problema, se desarrollarán a continuación algunas de las medidas de prevención que se deben adoptar al realizar trabajos en ambientes calurosos, siguiendo este esquema: Fuente o foco, medio de propagación y receptor.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 117 de 201

 <p>Universidad Politécnica de Cartagena</p>	<p><b>SOBRECARGA TÉRMICA DEL ORGANISMO EN LOS PROCESOS DE FUSIÓN DE METALES EN HORNOS DE CRISOL</b></p>	<p><b>DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA Y AMBIENTAL</b></p>
---	---	--

### 12.1.1. Sobre el foco.

- Selección de equipos y diseños adecuados. Elección de equipos que emitan bajas cantidades de calor o que lo hagan fuera del ambiente de trabajo.
- Reducción de la humedad y temperatura del aire, mediante la evacuación de calor, extracción localizada de humos calientes y aporte de aire seco.
- Modificación del proceso productivo, mediante el diseño de variantes que produzcan menos emisiones de calor, y eliminando las fuentes más importantes.
- Encerramiento del proceso, encapsulando las fuentes de calor para evitar su extensión
- Control de las emisiones de aire caliente con la instalación de campanas de aspiración que lo dirijan al exterior.
- Aislamiento de las fuentes de calor radiante mediante apantallamiento.
- Enfriamientos mediante la disminución de las temperaturas del foco, el revestimiento, etc.

<p><b>Ingeniería técnica Industrial, Especialidad: mecánica.</b></p>	<p>David Saorín Candel</p>	<p>Revisión: Página 118 de 201</p>
--	----------------------------	--



### Sobre el medio de difusión

- Automatización de operaciones
- Ventilación, ya sea ésta por dilución o por ventilación general usando el aire exterior (por regla general más frío que el interior, si se quiere reducir la temperatura), o usando aire previamente tratado o acondicionado y paralelamente instalar extractores de aire o ventiladores en su caso.
- Control de la velocidad del aire
- Instalación del aire acondicionado o cortinas de aire fresco, ajustando su velocidad
- Aislamiento térmico de paredes, techos, estructuras, etc.
- Regado de los pisos con agua.
- Instalación de cristales y redes reflectantes.
- Apantallamientos del puesto de trabajo.

### 12.1.2. Sobre el individuo

- Control de la producción de calor metabólico, disminuyendo la carga de trabajo o distribuyendo ésta a lo largo de toda la jornada de trabajo,



así como la utilización de la automatización de procesos, o aplicación de útiles que reduzcan el esfuerzo físico.

- Instalación de cabinas climatizadas, especialmente en trabajos sedentarios.
- Utilización de áreas de descanso con aire acondicionado, para poder reponerse y lograr un equilibrio físico-psíquico.
- Distribución de las tareas en función de la aclimatación de los trabajadores. Los trabajadores nuevos o recién incorporados deberían realizar tareas no muy pesadas hasta completar el periodo de adaptación aclimatándose. Es necesario establecer un programa de aclimatación donde las exposiciones se ajusten a un tiempo limitado que se incremente hasta la aclimatación completa. Es recomendable el uso de vitamina C.
- Rotación de tareas.
- Programar los trabajos más duros en horas menos calurosas.
- Limitación de la duración de la exposición y descansos en ambientes frescos, así como suministro de agua fresca.
- Información sobre el reconocimiento de síntomas de sobrecarga térmica.

 <p>Universidad Politécnica de Cartagena</p>	<p><b>SOBRECARGA TÉRMICA DEL ORGANISMO EN LOS PROCESOS DE FUSIÓN DE METALES EN HORNO DE CRISOL</b></p>	<p><b>DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA Y AMBIENTAL</b></p>
---	--	--

- Formación en primeros auxilios sobre los síntomas derivados del trabajo en ambiente caluroso.
- Control médico de los trabajadores expuestos a situaciones límites de calor mediante exámenes previos al ingreso y periódicos, impidiendo exposiciones excesivas a aquellos que presenten problemas circulatorios o infecciones respiratorias.
- Información al personal sobre la necesidad de reponer las pérdidas de líquidos mediante la ingestión de agua y sal. Se recomienda beber un vaso de agua cada aproximadamente, 20 minutos.
- Selección adecuada del personal, intentando evitar operarios jóvenes, obesos, con frecuencia cardiaca alta, con temperatura interna alta, enfermos crónicos (corazón, riñón, etc.), consumidores de droga o alcohol, mujeres embarazadas o consumidores de medicaciones que desequilibren la respuesta fisiológica al calor (como por ejemplo sedante, hipotensores, tranquilizadores, etc.).
- Adiestramiento general ante los riesgos y sistemas de control. Instrucciones verbales y escritas.
- Proporcionar ropa de trabajo adecuada, ligera, no voluminosa y que no dificulte sus movimientos.

<p><b>Ingeniería técnica Industrial, Especialidad: mecánica.</b></p>	<p>David Saorín Candel</p>	<p>Revisión: Página 121 de 201</p>
--	----------------------------	--



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNO DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

- Utilizar EPI's apropiados, considerando el calor excesivo, y también ropas especiales que aíslen del calor o lo reflejen, a la vez que faciliten la evaporación del sudor.

Si las medidas técnicas no son suficientes, se debe recurrir a las medidas administrativas. Esto se puede llevar a cabo mediante la modificación de los ciclos de trabajo estableciendo pautas de trabajo – calentamiento, así como mediante la protección colectiva en caso de ser posible, como en el caso del apantallamiento de las zonas de trabajo para evitar elevadas velocidades del aire.

Considerando también que la temperatura seca es menor que la de la piel, se podría tal vez aumentar la velocidad del aire hasta el umbral de lo confortable; incrementando de este modo la capacidad de eliminación del calor en forma de evaporación y convección, lo que supondría una disminución de la temperatura de globo,  $T_g$ , y de la temperatura húmeda natural,  $T_{hn}$ .

Una de las medidas más importantes es reducir la actividad física, como el empleo de medios mecánicos para manejar las piezas o la reducción del tiempo de exposición estableciendo rotaciones entre los distintos puestos.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 122 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

Debido a la poca evidencia efectiva de estas medidas, es aconsejable recurrir a un experto para optar por la adopción de las medidas idóneas en cada situación.

También es muy importante considerar que las exposiciones cercanas a los límites máximos indicados por los TLV's y otras recomendaciones similares no son admisibles para cualquier trabajador sin más consideraciones. Las personas que se expongan a estas situaciones han de someterse a un reconocimiento médico exhaustivo, que garantice su perfecto estado de salud, especialmente en lo que hace referencia al sistema cardio-respiratorio. El control médico debe realizarse, además, periódicamente para garantizar que las facultades iniciales persisten a lo largo del tiempo.

La aclimatación es un fenómeno fisiológico que tiene una génesis poco conocida. Gracias a ella, los individuos sometidos a una situación de estrés térmico intenso, mejoran significativamente su respuesta fisiológica frente a la agresión que reciben, de forma que un individuo aclimatado es capaz de soportar una situación establecida con menor ritmo cardiaco que antes de aclimatarse, así como también reduce la concentración salina del sudor. Sin embargo, aunque la aclimatación se logra en un periodo corto, de una semana aproximadamente, también se pierde con rapidez, por lo que habrá que tener esto muy en cuenta tras una ausencia prolongada del trabajo. Para lograr la

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 123 de 201



aclimatación se recomienda ir aumentando poco a poco la duración de la exposición hasta llegar a la jornada laboral global.

Como se conoce que los trabajadores sometidos a estrés térmico sudan muy intensamente, es necesario compensar el agua perdida facilitando agua abundante no excesivamente fría y ligeramente salada (1g de sal por litro). Esto no será necesario en personal bien aclimatado.

Tipo de trabajo efectuado	Gasto de trabajo (Kcal/día)	Temperatura óptima	Grado higrométrico (%)	Velocidad del aire (m/s)
Trabajo intelectual o trabajo físico en posición de pie	< 800	18° a 24°	40% a 70%	0.1
		17° a 22°	40% a 60%	0.25
Trabajo medio en posición de pie	800 a 1350	17° a 22°	40% a 70% 40% a 60%	0.1 A 0.2 0.25
Trabajo duro	1350 a 1950	15° a 21° 15° a 18°	30% a 65% 40% a 60%	0.4 a 0.4 0.25
Trabajo muy duro	> 1950	12° a 18° 12° a 15°	20% a 60% 40% a 60%	1.0 a 1.5 0.25



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNO DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

Todo lo descrito hasta ahora queda indicado cuando resulta evidente que la intensidad de la exposición hace que esta no sea tolerable durante toda la jornada laboral. Esto sucede por ejemplo en algunos trabajos de mantenimiento. En esas circunstancias es necesario recurrir a un análisis exhaustivo de la situación para poder determinar la duración máxima de la exposición y el tiempo preciso entre una exposición y otra.

Cuando no es posible resolver el problema higiénico del estrés térmico, se debe recurrir a los equipos de protección individual (EPI's) como complemento o como medida provisional mientras se diseñan otras.

Generalmente, estando cerca de focos de altas temperaturas, se utilizan trajes de especiales de protección frente al calor, que aunque son muy sencillos de colocar, resultan muy incómodos una vez puestos, debido a su volumen y a que dificultan el movimiento. Estos trajes deben cumplir las condiciones siguientes:

- No ser inflamables
- Evitar la entrada del calor ambiental
- Eliminar el calor que penetra por medio del traje y el generado por el cuerpo.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 125 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

La inflamabilidad de los tejidos se calcula por medio de diversos ensayos destinados a determinar diversas características tales como la superficie destruida por combustión, la presencia de humos y gases, el tiempo de inflamación, la velocidad media de combustión, la fusión del tejido, la existencia de puntos incandescentes, etc.

En cuanto al segundo aspecto, para impedir la entrada del calor ambiental, se manejan tejidos aluminizados, para reflejar el calor radiante, como elemento interior aislante para impedir la conductividad térmica, de forma que permita además la evaporación del sudor.

Hay trajes especiales dotados de ventilación empleados por las fuerzas especiales, y son de uso esporádico.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 126 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

### 13. CASO PRÁCTICO

EVALUACION DEL PUESTO DE TRABAJO SUJETO A UNA TEMPERATURA MUCHO MAYOR QUE LA AMBIENTAL.

La carga física a la que está sometido un trabajador varón de 54 años de edad, aclimatado al calor, vestido con indumentaria 0.5 clo y que está integrado en un equipo

de trabajo que realiza un proceso continuo (8 horas) de fusión de metal, en el interior de una nave en la que están instalados cinco hornos, es la siguiente:

Tipo de tarea	Características del proceso	Tipo de trabajo	Duración en minutos
A) Preparación de la mezcla de carga del horno y carga del cubo de llenado	Realización mediante el uso de una pala manual	Medio con el tronco: 190 W/m <sup>2</sup>	15
B) Transporte de la carga, mediante puente grúa, hasta la boca del horno	Realización mediante botonera eléctrica del puente grúa	Ligero con los brazos: 65 W/m <sup>2</sup>	4

Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.

David Saorín Candel

Revisión:

Página 127 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

C) D) E) Apertura manual de la boca del horno, y descarga del cubo	Subir escalera; abrir, descargar y cerrar horno; bajar escalera.	Subir escalera, 5 m en 30 s: 1725 W/m <sup>2</sup> Ligero con el tronco: 125 W/m <sup>2</sup> Bajar escalera 5 m en 30 s: 480 W/m <sup>2</sup>	1 5 1
F) Control del horno y acondicionamiento de la zona	Control del proceso, limpieza y recogida de útiles y materiales	Ligero con el tronco: 125 W/m <sup>2</sup>	15
G) Sangrado del horno	Trabajo manual con radiación infrarroja	Intenso con el tronco: 280 W/m <sup>2</sup>	8
H) Retirada de la boca del horno del crisol de fundido	Uso del puente grúa	Ligero con ambos brazos: 65 W/m <sup>2</sup>	3

El metabolismo basal es de 42.6 W/m<sup>2</sup>

Las condiciones ambientales en la nave son:

TG = 35°C

TH = 27°C

TS = 34°C

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 128 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

Las condiciones en la boca del horno son:

$$TG = 38^{\circ}\text{C}$$

$$TH = 28^{\circ}\text{C}$$

$$TS = 36^{\circ}\text{C}$$

Se pide calcular el índice WBGT y establecer los tiempos máximos de ocupación asociados a las condiciones de trabajo.

### **Resolución**

a) En las condiciones ambientales el índice

$$\text{WBGT es: } \text{WBGT} = 0.7 TH + 0.3 TG$$

$$\text{WBGT} = (0.7 * 27) + (0.3 * 35) = 29.4^{\circ}\text{C}$$

Y en la boca del horno, el índice es:

$$\text{WBGT} = 0.7 TH + 0.2 TG + 0.1 TS$$

$$\text{WBGT} = (0.7 * 28) + (0.2 * 38) + (0.1 * 36) = 30.8^{\circ}\text{C}.$$

Ponderando en el tiempo,

$$\text{WBGT}_{\text{media}} = [29.4 * (52 - 8) + (30.8 * 8)] / 52 = 1540/52 = 29.61^{\circ}\text{C}$$



El metabolismo basal es de  $42.6 \text{ W/m}^2$  y las componentes de trabajo son:

Ref.	$\text{W/m}^2$ Tipo trabajo	Minutos	$\text{W/m}^2 \times \text{minutos}$
A	190	15	2850
B	65	4	260
C	$1725 * (5\text{m}/30\text{seg})$	1	287.5
D	125	5	625
E	$480 * (5\text{m}/30\text{seg})$	1	80
F	125	15	1875
G	280	8	2240
H	65	3	195
TOTAL			$8412.5 \text{ W/m}^2$

Por lo tanto,  $M = 8412.5/52 + 42.6 = 204.37 \text{ W/m}^2$

Como  $1 \text{ Kcal/h}$  es equivalente a  $0.644 \text{ W/m}^2$ , para  $204.37 \text{ W/m}^2$  tenemos  $317.3 \text{ Kcal/h}$ . Si la persona está aclimatada y la velocidad del aire es



cero ( $V = 0$ ), para ese gasto o consumo metabólico tenemos un WBGT de  $25^{\circ}\text{C}$

Como el  $\text{WBGT}_{\text{medio}}$  calculado antes es de  $29.61^{\circ}\text{C}$ , el trabajador no puede eliminar el calor que está recibiendo.

b) Se puede calcular en este caso la fracción de tiempo necesaria para que el conjunto de la situación laboral sea seguro según la fórmula

$$T_{\text{min}} = (A-B) / [(C-D) + (A-B)] * 60 \text{ (minutos / hora)}$$

En este caso:  $T_{\text{min}} = (33 - 29.4) / [(29.61 - 25) + (33 - 29.4)] * 60 = 26.30$ . Es decir, se pueden trabajar 26.30 minutos seguidos cada hora.

Como se trata de una persona aclimatada al calor, que permanece en el lugar de trabajo durante la pausa, la fórmula se simplifica:

$$T_{\text{min}} = (33 - B) / (33 - D) * 60 \text{ (minutos / hora)}$$

$$\text{En este caso: } T_{\text{min}} = (33 - 29.4) / (33 - 25) * 60 = 27$$

En **conclusión**, el trabajador no debe trabajar más de 27 minutos por cada hora para evitar una sobrecarga térmica.

	Universidad Politécnica de Cartagena	<b>SOBRECARGA TÉRMICA DEL ORGANISMO EN LOS PROCESOS DE FUSIÓN DE METALES EN HORNOS DE CRISOL</b>	<b>DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA Y AMBIENTAL</b>
---	--	--	---

### 13.1 SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE LOS TRABAJADORES.

En nuestro caso, y pudiéndose generalizar a otros ámbitos, existen una serie de medidas para proteger al trabajador de la exposición a las altas temperaturas:

- Optimización de los ciclos de trabajo; en nuestro caso no superando el tiempo estimado de 27 minutos de exposición por cada hora de trabajo. También es importante que durante el reposo es aconsejable realizarlo en lugares frescos y bien acondicionados, ya sea en una habitación con aire acondicionado o en el exterior.

- Mejorando la vestimenta; en este caso sería la utilización de ropa de trabajo aluminizada para evitar la transferencia de calor, aunque hay que tener en cuenta que para realizar los trabajos alejados del horno o sin cercanía a un foco de calor, sería aconsejable no utilizar este tipo de trajes pues dificultan el movimiento produciendo disconfort en el trabajador.

### 13.2 RECOMENDACIONES A LOS TRABAJADORES.

#### 13.2.1. Programación de las operaciones

Una programación diaria de las tareas mas 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

<b>Ingeniería técnica Industrial, Especialidad: mecánica.</b>	David Saorín Candel	Revisión: Página 132 de 201
---	---------------------	--------------------------------



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 Limite 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.)

### 13.2.2. Rehidratación

Los trabajadores no beben espontáneamente toda la cantidad de liquido perdida. Las normas siguientes son interesantes con objeto de evitar la deshidratación:

- \* 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

	Universidad Politécnica de Cartagena	<b>SOBRECARGA TÉRMICA DEL ORGANISMO EN LOS PROCESOS DE FUSIÓN DE METALES EN HORNOS DE CRISOL</b>	<b>DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA Y AMBIENTAL</b>
---	--	--	---

posible.

- \* El tiempo debe ser suficiente
- \* NO se debe de ingerir alcohol de ningún tipo
- \* En principio no es necesario añadir sal.

### 13.2.3. Educación 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 liquido frecuentemente.
- Los síntomas precursores 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

<b>Ingeniería técnica Industrial, Especialidad: mecánica.</b>	David Saorín Candel	Revisión: Página 134 de 201
---	---------------------	--------------------------------



(anticolinérgicos) o antihistamínicos...

\* el alcoholismo agudo

\* la sensación de fatiga.

- El interés de realizar cortas y frecuentes pausas en ambiente caluroso, mas que largas y raras.

### 13.3 RECOMENDACIONES A LA EMPRESA.

#### 13.3.1. Reducción 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 perdida de energía es necesaria en el propio proceso.



### 13.3.2. 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 ( $P_{sk}$ ):  $P_a < P_{sk} \rightarrow$  aumento de las pérdidas por evaporación.  $P_a > P_{sk} \rightarrow$  aumento de las ganancias por evaporación.

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

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.

### 13.3.3. Temperatura del aire

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

### 13.3.4. Humedad del aire

Las soluciones pueden ser:

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



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

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

### 13.3.5. Formación del personal

Es obligación de la empresa, tener una formación continuada del trabajador, no solo en los aspectos técnicos de su puesto de trabajo si no también en formarle para que tenga conocimiento de los riesgos de su puesto de trabajo y sepa en que consisten y como evitarlos.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 138 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

# Anexo

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 139 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNO DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

## 1. LEGISLACIÓN Y NORMALIZACIÓN

Nº ISO	UNE	TÍTULO
ISO 7.726	UNE-EN 27.726/1.995	aparatos y métodos de medida de las características físicas de un ambiente desde el punto de vista térmico.
ISO-9.886	UNE-EN 29.886/1.995	determinación de la producción interna de calor
ISO-7.243	UNE-EN 27.243/1.995	índice de estrés térmico: I: WBGT
ISO-7.730	UNE-EN-ISO 7.730/1.996	índice de confort térmico: índice PMV e índice PPD
ISO-7.933	UNE-EN 12.515/1.997	el índice del sudor requerido (SWreq)
ISO-9.920		estimación de las características térmicas de los vestidos
ISO-9.886		evaluation of thermal strain by physiological measurements (evaluación de la sobrecarga térmica del organismo a través de mediciones fisiológicas).
ISO-8.996		Tables for estimating metabolic rate from its components.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 140 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

NTP 279		Ambiente térmico y deshidratación
NTP 323		Determinación del metabolismo energético
NTP 501		Ambiente térmico: inconfort térmico local
NTP 74		Confort térmico - Método de Fanger para su evaluación

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 141 de 201



## 2. NTP 279: Ambiente térmico y deshidratación

Cointrainte thermique et besoins hydriques des travailleurs  
Thermal environmental and dehydration

### Redactora:

Silvia Nogareda Cuixart  
Licenciada en Medicina y Cirugía Esp. en Medicina de Empresa

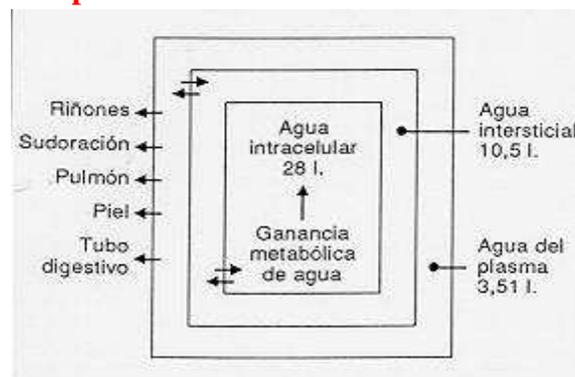
CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO

### 2.1 Introducción

El balance hídrico es de suma importancia para aquellos trabajadores industriales que efectúan su trabajo en ambientes de temperatura elevada, que utilizan ropa impermeable o que realizan trabajos fatigantes.

Alrededor de un 60% del peso total de una persona adulta está compuesto por agua. Una tercera parte de este agua se localiza en el fluido extracelular y dos terceras partes están a nivel intracelular (Cuadro 1).

**Cuadro 1: Distribución del agua del cuerpo**





El agua realiza tres funciones básicas para el organismo: transporta hormonas, anticuerpos, nutrientes, recoge los materiales de deshecho y en ella se llevan a cabo todas las reacciones químicas importantes del cuerpo.

Si el aporte hídrico no es el adecuado, estas reacciones pierden eficacia y las células ven disminuida su capacidad para producir energía.

Otra función del agua, de particular importancia en estos tipos de trabajo, es la regulación de la temperatura corporal: en caso de deshidratación, el cuerpo pierde esta capacidad de termorregulación. Hay que tener en cuenta que la evaporación de líquidos es el único mecanismo preventivo que tiene el cuerpo humano contra la hipertermia, cuando la temperatura en el puesto de trabajo sobrepasa los 35°.

## 2.2 Necesidades hídricas en el puesto de trabajo

Los gastos normales de un sujeto en reposo, en un ambiente térmico confortable y mantenido en equilibrio hídrico son del orden de 1.750 ml/día. (Cuadro 2).

**Cuadro 2: Gastos diarios**

Excreciones urinarias .....	700 ml/día
Excreciones fecales .....	150 ml/día
Excreciones pulmonares .....	400ml/día
Excreción cutánea .....	500 ml/día
Total .....	1.750 ml/día

En ciertas condiciones de trabajo y de calor, la pérdida por sudoración puede alcanzar los 1.000 ml/hora y se admite que para períodos de trabajo de 8 horas/día, todos los días de la semana, esta pérdida representa el máximo compatible con un funcionamiento normal del sistema cardiovascular. Normalmente no se llega a estos extremos ya que la pérdida hídrica sobrepasa rara vez los 5 l/día y alcanza excepcionalmente los 10 l/día.

La pérdida por el sudor ocasiona una disminución de la diuresis que se traduce en un estado de deshidratación parcial; esta reducción de la diuresis tiene unas repercusiones fisiológicas graves y además provoca una insuficiencia en el mecanismo de la sed. La ineficacia del mecanismo de la sed se manifiesta por una relación



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

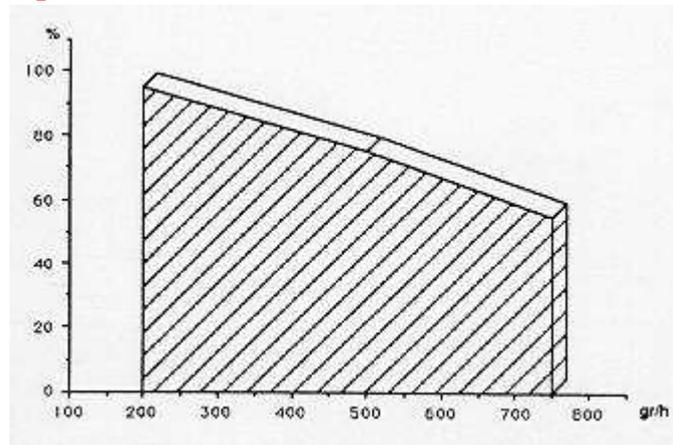
**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

indirectamente proporcional entre las pérdidas de agua y la ingestión espontánea de bebidas. Esta relación es la siguiente: (Cuadro 3)

- Cuando la pérdida de agua es de 200 gr/h, se sule el 95%.
- Cuando la pérdida es de 500 gr/h, se sule el 75%.
- Cuando la pérdida es de 750 gr/h, se sule el 55%.

**Cuadro 3: Relación pérdida de agua e ingesta espontánea de bebidas**



**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 144 de 201



## 2.3 Deshidratación

La deshidratación es la pérdida excesiva de agua corporal. Si nos atenemos a la clasificación de las patologías provocadas por calor dada por la O.I.T. (Cuadro 4), se observa que la mayoría de ellas pueden ser o son provocadas por una insuficiente hidratación.

**Cuadro 4: Clasificación de la patología debida al calor**

ALTERACIONES SISTEMICAS
Hiperpirexia (golpe de calor) Agotamiento (por fallo circulatorio: síncope de calor) Deshidratación Deplección salina Calambres en pantorrillas, abdomen y miembros superiores Anhidrosis (sudoración insuficiente)
ALTERACIONES CUTANEAS
Miliaria rubra (erupción por calor) Ulcus rodens (cancer de piel), en exposición prolongada a radiación ultravioleta
TRANSTORNOS PSICONEUROTICOS
Fatiga crónica leve Pérdida aguda del control emocional

Los síntomas generales de la deshidratación son:

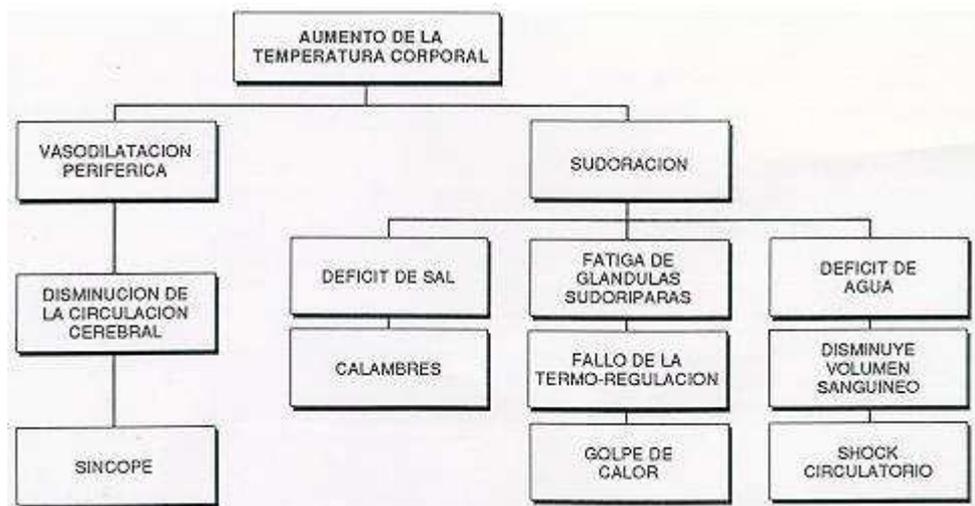
- Elevación de la frecuencia del pulso.
- Elevación de la temperatura corporal.
- Oliguria (disminución de la diuresis).
- Inquietud, laxitud, irritabilidad, somnolencia.
- Pérdida del rendimiento laboral.



- Shock hipovolémico (circulatorio) en casos de pérdidas hídricas superiores al 15% del peso corporal.

Cuando la reducción del agua corporal es de un 1% o inferior se reduce la capacidad de trabajo y la tolerancia al calor; una pérdida de un 2% aumenta el riesgo de lesión y disminuye la habilidad del trabajador; una reducción del 5% entorpece la realización del trabajo y crea una situación potencialmente peligrosa; con una reducción del 15%-20% sobreviene a la muerte. (Cuadro 5)

### Cuadro 5: Fisiología de la deshidratación



## 2.4 Actuación inmediata

Cuando un trabajador presenta alguno de los síntomas antes mencionados, se procederá a la interrupción inmediata de la tarea que esté realizando, al traslado de la persona afectada a otro recinto con ambiente fresco y a la reposición de líquidos, que en caso de calambres deberán ser bebidas salinas.

En caso de síncope, desvanecimiento, se deberá tumbar a la persona boca arriba (en decúbito supino) manteniendo las piernas elevadas y aflojar la ropa (cinturón, cuello de camisa, corbata, etc).



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

Ante una situación de golpe de calor, se frotará el cuerpo con una esponja o paño mojado en agua fría a fin de bajar la temperatura corporal interna hasta alcanzar los 39 °C, una vez conseguida esta temperatura dejar que vaya disminuyendo progresivamente hasta los 37,5 °C. Para evitar que el frío provoque una vasoconstricción puede realizarse un masaje suave en tronco y extremidades.

## **2.5 Medidas preventivas de la deshidratación**

La primera medida a tomar en ambientes calurosos, es la aclimatación previa de los trabajadores, lo que reducirá considerablemente el riesgo de tensión térmica ya que aumenta la actividad de las glándulas sudoríparas y modifica el contenido electrolítico del sudor. Deben ser excluidos de los programas de aclimatación las personas obesas, las mayores de 50 años y las que presenten un consumo de oxígeno inferior a 2,5 l/min.

La producción de agua por parte de las reacciones del metabolismo cubre en parte las pérdidas hídricas; para una pérdida energética de 3.000 calorías/día la producción de agua se eleva a unos 300 grs. A esta cantidad de agua hay que añadir la contenida en los alimentos, la que se añade por la cocción y la bebida.

En el caso que nos ocupa de ambientes térmicos calurosos, es importante la ingesta de dos vasos de agua antes de empezar a trabajar.

Durante la jornada laboral deben ingerirse líquidos a menudo y en cantidades pequeñas: del orden de los 100 a 150 ml. de agua cada 15-20 minutos. Nunca hay que fiarse del mecanismo de la sed, ya que ésta siempre es inferior a la pérdida real de líquidos.

La bebida por excelencia es el agua no carbónica a una temperatura de 9 a 12°C.

También puede darse té con limón o zumos de frutas (naranja, uva, tomate) diluidos en una proporción de 3/11, tres partes de agua por una de zumo, para asegurar una rápida absorción.

Normalmente las pérdidas de sodio se compensan con la sal que contiene la comida, pero en el caso de aparición de calambres, que pueden darse en situaciones de

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 147 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

deplección salina (déficit de sal), pueden suministrarse bebidas que contengan cloruro sódico, o añadir sal al agua en proporción de unos 7 gramos de sal (una cucharada de té o postre) en un litro de agua.

Evitar la ingesta de alcohol, que aumenta la deshidratación, y las bebidas estimulantes, especialmente las que contengan cafeína, ya que aumentan la excreción de orina.

Hay que reducir la ingesta de alimentos grasos.

Para combatir la fatiga producida por las altas temperaturas, es adecuado dar un aporte vitamínico, en especial vitamina B y C.

Es aconsejable establecer pausas de descanso en ambientes más frescos a fin de evitar la elevación de la temperatura corporal central por encima de los 38°C.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 148 de 201



## **3.NTP 323: Determinación del metabolismo energético**

Determination du métabolisme énergétique

Determination of metabolic rate

**Redactores:**

Silvia Nogareda Cuixart

Lda. en Medicina y Cirugía

Especialista en Medicina de Empresa

Pablo Luna Mendaza

Ldo. en Ciencias Químicas

### **CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO**

*El consumo metabólico sirve para evaluar la carga física y es así mismo una variable necesaria para valorar la agresión térmica.*

*El objetivo de esta NTP es presentar distintos métodos para determinar el gasto energético, basados en la Norma ISO 8996. Esta norma forma parte de una serie de normas internacionales que hacen referencia al ambiente térmico. En ella se describen los diferentes métodos de determinación del consumo energético indicando el nivel de precisión de cada uno de ellos.*

### **3.1 Introducción**

El metabolismo, que transforma la energía química de los alimentos en energía mecánica y en calor, mide el gasto energético muscular. Este gasto energético se expresa normalmente en unidades de energía y potencia: kilocalorías (kcal), joules (J), y watios (w). La equivalencia entre las mismas es la siguiente:

- 1 kcal = 4,184 kJ
- 1 M = 0,239 kcal
- 1 kcal/h = 1,161 w
- 1 w = 0,861 kcal/h
- 1 kcal/h = 0,644 w/m<sup>2</sup>



- $1 \text{ w} / \text{m}^2 = 1,553 \text{ kcal} / \text{hora}$  (para una superficie corporal estándar de  $1,8 \text{ m}^2$ ).

Existen varios métodos para determinar el gasto energético, que se basan en la consulta de tablas o en la medida de algún parámetro fisiológico. En la tabla 1 se indican los que recoge la ISO 8996, clasificados en niveles según su precisión y dificultad.

**Tabla 1: Métodos para determinar el gasto energético. ISO 8996**

NIVEL	MÉTODO	PRECISIÓN	ESTUDIO DEL PUESTO DE TRABAJO
I	A. Clasificación en función del tipo de actividad	Informaciones imprecisas con riesgo de errores muy importantes	No necesario
	B. Clasificación en función de las profesiones		Información sobre el equipamiento técnico y la organización
II	A. Estimación del metabolismo a partir de los componentes de la actividad.	Riesgo elevado de errores	Estudio necesario de los tiempos
	B. Utilización de tablas de estimación por actividad tipo	Precisión: $\pm 15\%$	
	C. Utilización de la frecuencia cardíaca en condiciones determinadas		No necesario
III	Medida		Riesgo de errores en los límites de precisión de la medida y del estudio de los tiempos. Precisión: $\pm 5\%$

### 3.2 Estimación del consumo metabólico a través de tablas

La estimación del consumo metabólico a través de tablas implica aceptar unos valores estandarizados para distintos tipos de actividad, esfuerzo, movimiento, etc. y suponer, tanto que nuestra población se ajusta a la que sirvió de base para la confección de las tablas, como que las acciones generadoras de un gasto energético son, en nuestro caso, las mismas que las expresadas en las tablas. Estos dos factores constituyen las desviaciones más importantes respecto de la realidad y motivan que los métodos de



estimación del consumo metabólico mediante tablas ofrecen menor precisión que los basados en mediciones de parámetros fisiológicos. A cambio son mucho más fáciles de aplicar y en general son más utilizados.

### **Consumo metabólico según el tipo de actividad**

Mediante este sistema se puede clasificar de forma rápida el consumo metabólico en reposo, ligero, moderado, pesado o muy pesado, en función del tipo de actividad desarrollada. El término numérico que se obtiene representa sólo el valor medio, dentro de un intervalo posible demasiado amplio. Desde un punto de vista cuantitativo el método permite establecer con cierta rapidez cual es el nivel aproximado de metabolismo. Por su simplicidad es un método bastante utilizado. En la tabla 2 se representa la mencionada clasificación por tipos de actividad.

**Tabla 2: Clasificación del metabolismo por tipo de actividad**

CLASE	W/m <sup>2</sup>
Reposo	65
Metabolismo ligero	100
Metabolismo moderado	165
Metabolismo elevado	230
Metabolismo muy elevado	290

### **Ejemplos**

#### **Metabolismo ligero**

Sentado con comodidad: trabajo manual ligero (escritura, picar a máquina, dibujo, costura, contabilidad); trabajo con manos y brazos (pequeños útiles de mesa, inspección, ensamblaje o clasificación de materiales ligeros); trabajo de brazos y piernas (conducir un vehículo en condiciones normales, maniobrar un interruptor con el pie o con un pedal).

De pie: taladradora (piezas pequeñas); fresadora (piezas pequeñas); bobinado, enrollado de pequeños revestimientos; mecanizado con útiles de baja potencia; marcha ocasional



(velocidad hasta 3,5 km/h).

### **Metabolismo moderado**

Trabajo mantenido de manos y brazos (claveteado, llenado); trabajo con brazos y piernas (maniobras sobre camiones, tractores o máquinas); trabajo de brazos y tronco (trabajo con martillo neumático, acoplamiento de vehículos, enyesado, manipulación intermitente de materiales moderadamente pesados, escarda, bina, recolección de frutos o de legumbres); empuje o tracción de carretillas ligeras o de carretillas; marcha a una velocidad de 3,5 a 5,5 km/hora; forjado.

### **Metabolismo elevado**

Trabajo intenso con brazos y tronco; transporte de materiales pesados; trabajos de cava; trabajo con martillo; serrado; laminación acabadora o cincelado de madera dura; segar a mano; excavar; marcha a una velocidad de 5,5 a 7 km/hora.

Empuje o tracción de carretillas o de carretillas muy cargadas, levantar las virutas de piezas moldeadas, colocación de bloques de hormigón.

### **Metabolismo muy elevado**

Actividad muy intensa a marcha rápida cercana al máximo; trabajar con el hacha; acción de palear o de cavar intensamente; subir escaleras, una rampa o una escalera; andar rápidamente con pasos pequeños, correr, andar a una velocidad superior a 7 km/h.

### **EJEMPLO 1**

Estimación del consumo metabólico medio aproximado del trabajo típico de oficina.

A través de la tabla 2 y teniendo en cuenta las actividades que suelen realizarse en una oficina, se obtiene el valor del consumo metabólico medio:

$M = 100 \text{ w/m}^2$ , clasificable como metabolismo ligero.



## **Consumo metabólico según la profesión**

Se obtiene el consumo metabólico a través de tablas (tabla 3) que lo relacionan con diferentes profesiones. Hay que tener en cuenta que en los valores que figuran en dicha tabla se incluye el metabolismo basal, que se define más adelante.

El progreso tecnológico hace que la actividad física que conllevan las distintas profesiones varíe sustancialmente con el tiempo, por lo que este método puede ser muy impreciso.

### **EJEMPLO 2**

Estimación del consumo metabólico de un soldador.

Mediante la (tabla 3) se obtiene:

$$M = 75 \div 125 \text{ w/m}^2 \text{ (comparar con ejemplo 5)}$$



**Tabla 3: Clasificación del metabolismo según la profesión**

Profesión	Metabolismo W/m <sup>2</sup>	Profesión	Metabolismo W/m <sup>2</sup>	Profesión	Metabolismo W/m <sup>2</sup>
<b>ARTESANOS</b>		<b>INDUSTRIA SIDERÚRGICA</b>		<b>IMPRESA</b>	
Albañil .....	110 a 160	Obrero de altos hornos .....	170 a 220	Compositor manual .....	70 a 95
Carpintero .....	110 a 175	Obrero de horno eléctrico .....	125 a 145	Encuadernador .....	75 a 100
Vidriero .....	90 a 125	Moldeador a mano .....	140 a 240	<b>AGRICULTURA</b>	
Pintor .....	100 a 130	Moldeador a máquina ...	105 a 165	Jardinero .....	115 a 190
Panadero .....	110 a 140	Fundidor .....	140 a 240	Conductor de tractor .....	85 a 110
Carnicero .....	105 a 140	<b>FERRETERÍA Y CERRAJERÍA</b>		<b>CIRCULACIÓN</b>	
Relojero .....	55 a 70	Herrero forjador .....	90 a 200	Conductor de coche .....	70 a 90
<b>INDUSTRIA MINERA</b>		Soldador .....	75 a 125	Conductor de autocar ...	75 a 125
Empujador de vagonetas .....	70 a 85	Tornero .....	75 a 125	Conductor de tranvía .....	80 a 115
Picador de hulla (estratificación base) .....	140 a 240	Fresador .....	80 a 140	Conductor de trolebús ...	80 a 125
Obrero de horno de coque .....	115 a 175	Mecánico de precisión ...	70 a 110	Conductor de grúa .....	65 a 145
				<b>PROFESIONES DIVERSAS</b>	
				Laborante .....	85 a 100
				Profesor .....	85 a 100
				Vendedora .....	100 a 120
				Secretaria .....	70 a 85

### Consumo metabólico en tareas concretas

Este método ofrece mayor precisión que los anteriores, ya que limita la extensión de la actividad a la que asigna el gasto metabólico, utilizando tablas que otorgan valores de gasto energético a tareas que suelen formar parte del trabajo habitual.

La tabla 4 muestra valores de gasto energético para algunas tareas concretas, incluyendo en esos valores el metabolismo basal.



**Tabla 4 Clasificación del metabolismo por actividad-tipo**

Actividad	Metabolismo W/m <sup>2</sup>	Actividad	Metabolismo W/m <sup>2</sup>
<b>ACTIVIDADES DE BASE</b>			
• Andar en llano		ladrillo hueco (masa 4,2 kg) .....	140
2 km/h .....	110	ladrillo hueco (masa 15,3 kg) .....	125
3 km/h .....	140	ladrillo hueco (masa 23,4 kg) .....	135
4 km/h .....	165	PREFABRICACIÓN DE ELEMENTOS	
5 km/h .....	200	ACABADOS EN HORMIGÓN	
• Andar en subida, 3 km/h		encofrado y desencofrado (revesti- miento de hormigón pretensado) .....	180
inclinación de 5° .....	195	colocación de armazones de acero ....	130
inclinación de 10° .....	275	vertido del hormigón (revestimiento de hormigón pretensado) .....	180
inclinación de 15° .....	390	CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS	
• Andar en bajada 5,5 km/h		preparación del mortero de cemento	155
inclinación de 5° .....	130	vertido de hormigón para cimientos	275
inclinación de 10° .....	115	compactaje de hormigón por vibracio- nes .....	220
inclinación de 15° .....	120	encofrado .....	180
• Subir una escalera (0,172m/peldaño)		carga de carretilla con piedras arena y mortero .....	275
80 peldaños/minuto .....	440	• Industria siderúrgica	
• Bajar una escalera (0,172 m/peldaño)		ALTOS HORNO	
80 peldaños /minuto .....	155	preparación del canal de colada .....	340
• Transportar una carga en llano, 4 km/h		perforación .....	430
masa 10 kg .....	185	MOLDEADO (MOLDEADO A MANO)	
masa 30 kg .....	250	moldeado de piezas medianas .....	285
masa 50 kg .....	360	vaciado con martillo metálico .....	175
<b>PROFESIONES</b>		moldeado de piezas pequeñas .....	140
• Industria de la construcción		MOLDEADO A MÁQUINA	
PONER LADRILLOS (CONSTRUCCIÓN DE UN MURO DE SUPERFICIE PLANA)		desmoldeado .....	125
ladrillo macizo (masa 3,8 kg) .....	150	moldeado, colada mediante un opera- rio .....	220



Actividad	Metabolismo W/m <sup>2</sup>	Actividad	Metabolismo W/m <sup>2</sup>
moldeado, colada mediante dos operarios .....	210	valor medio en invierno .....	390
moldeado a partir de una colada suspendida .....	190	<b>• Agricultura</b>	
<b>TALLER DE ACABADO</b>		cavado .....	380
trabajo con martillo neumático .....	175	labranza con tiro de caballos .....	235
amolado, troquelado .....	175	labranza con tractor .....	170
<b>• Industria forestal</b>		sembrado con tractor .....	95
<b>TRANSPORTE Y TRABAJO CON HACHA</b>		bina (masa de la azadilla 1,25 kg) .....	170
andar por el bosque (4 km/h) y transporte (masa 7 kg) .....	285	<b>DEPORTES</b>	
transporte a mano (4 km/h) de una tronadora (18 kg) .....	385	<b>• Carrera</b>	
trabajo con hacha (masa 2 kg, 33 golpes/minuto) .....	500	9 km/h .....	435
cortar raíces con hacha .....	375	12 km/h .....	485
poda (abeto) .....	415	15 km/h .....	550
<b>ASERRADO</b>		<b>• Esquí, en terreno llano y con buena nieve</b>	
corte transversal, tronzado mediante 2 operarios		7 km/h .....	350
60 doble golpes por minuto, 20 cm <sup>2</sup> por doble golpe .....	415	9 km/h .....	405
40 doble golpes por minuto, 20 cm <sup>2</sup> por doble golpe .....	240	12 km/h .....	510
tala por tronzado		<b>• Patinaje</b>	
tronzado por un operario .....	235	12 km/h .....	225
tronzado por dos operarios .....	205	15 km/h .....	285
corte transversal		18 km/h .....	360
tronzado por un operario .....	205	<b>TRABAJOS DOMÉSTICOS</b>	
tronzado por dos operarios .....	190	hacer la limpieza .....	100 a 200
descortezado		cocinar .....	80 a 135
valor medio en verano .....	225	fregar platos, de pie .....	145
		lavar a mano y planchar .....	120 a 220
		afeitarse, lavarse y vestirse .....	100



### EJEMPLO 3

Estimación del consumo metabólico de un albañil que construye un tabique colocando ladrillos huecos de 4,2 Kg de peso.

A través de la tabla 4:

$$M = 140 \text{ w/m}^2$$

### Consumo metabólico a partir de los componentes de la actividad

Mediante este tipo de tablas se dispone, por separado, de información sobre posturas, desplazamientos, etc., de forma que la suma del gasto energético que suponen esos componentes, que en conjunto integran la actividad, es el consumo metabólico de esa actividad. Es posiblemente el sistema más utilizado para determinar el consumo metabólico.

Los términos a sumar son los siguientes:

- **Metabolismo basal.** Es el consumo de energía de una persona acostada y en reposo. Representa el gasto energético necesario para mantener las funciones vegetativas (respiración, circulación, etc.). La tabla 5 muestra su valor en función del sexo y la edad. Puede tomarse como una buena aproximación, 44 w/ m<sup>2</sup> para los hombres y 41 w/m<sup>2</sup> para mujeres (corresponden aproximadamente al metabolismo basal de un hombre de 1,7 metros de altura 70 Kg de peso y 35 años de edad, y de una mujer de 1,6 metros de altura, 60 Kg de peso, y 35 años).



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

**Tabla 5: Metabolismo basal en función de la edad y sexo**

VARONES		MUJERES	
Años de edad	Wattios/m <sup>2</sup>	Años de edad	Wattios/m <sup>2</sup>
6	61,480	6	58,719
7	60,842	6,5	58,267
8	60,065	7	56,979
8,5	59,392	7,5	55,494
9	58,626	8	54,520
9,5	57,327	8,5	53,940
10	56,260	9-10	53,244
10,5	55,344	11	52,502
11	54,729	11,5	51,968
12	54,230	12	51,365
13-15	53,766	12,5	50,553
16	53,035	13	49,764
16,5	52,548	13,5	48,836
17	51,968	14	48,082
17,5	51,075	14,5	47,258
18	50,170	15	46,516
18,5	49,532	15,5	45,704
19	49,091	16	45,066
19,5	48,720	16,5	44,428
20-21	48,059	17	43,871
22-23	47,351	17,5	43,384
24-27	46,678	18-19	42,618
28-29	46,180	20-24	41,969
30-34	45,634	25-44	41,412
35-39	44,869	45-49	40,530
40-44	44,080	50-54	39,394
45-49	43,349	55-59	38,489
50-54	42,607	60-64	37,828
55-59	41,876	65-69	37,468
60-64	41,157		
65-69	40,368		

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 158 de 201



- **Componente postural.** Es el consumo de energía que tiene una persona en función de la postura que mantiene (de pie, sentado, etc.). La tabla 6 muestra los valores correspondientes.

**Tabla 6: Metabolismo para la postura corporal. Valores excluyendo el metabolismo basal**

Posición del cuerpo	Metabolismo (W/m <sup>2</sup> )
Sentado	10
Arrodillado	20
Agachado	20
De pie	25
De pie inclinado	30



- **Componente del tipo de trabajo.** Es el gasto energético que se produce en función del tipo de trabajo (manual, con un brazo, con el tronco, etc.) y de la intensidad de éste (ligero, moderado, pesado, etc.) (Ver tabla 7).

**Tabla 7: Metabolismo para distintos tipos de actividades. Valores excluyendo el metabolismo basal**

Tipo de trabajo	Metabolismo (W/m <sup>2</sup> )	
	Valor medio	Intervalo
Trabajo con las manos		
ligero .....	15	< 20
medio .....	30	20 - 35
intenso .....	40	> 35
Trabajo con un brazo		
ligero .....	35	< 45
medio .....	55	45 - 65
intenso .....	75	> 65
Trabajo con 2 brazos		
ligero .....	65	< 75
medio .....	85	75 - 95
intenso .....	105	> 95
Trabajo con el tronco		
ligero .....	125	< 155
medio .....	190	155 - 230
intenso .....	280	230 - 330
muy intenso .....	390	> 330

- **Componente de desplazamiento.** Se refiere al consumo de energía que supone el hecho de desplazarse, horizontal o verticalmente a una determinada velocidad. El uso de la tabla 8, donde figuran estos datos, implica multiplicar el valor del consumo metabólico, por la velocidad de desplazamiento para obtener el gasto energético correspondiente al desplazamiento estudiado.



**Tabla 8: Metabolismo del desplazamiento en función de la velocidad del mismo. Valores excluyendo el metabolismo basal**

Tipo de trabajo	Metabolismo (W/m <sup>2</sup> )/ (m/s)
Velocidad de desplazamiento en función de la distancia	
Andar 2 a 5 km/h .....	110
Andar en subida, 2 a 5 km/h	
Inclinación 5° .....	210
Inclinación 10° .....	360
Andar en bajada, 5 km/h	
Declinación 5° .....	60
Declinación 10° .....	50
Andar con una carga en la espalda, 4 km/h	
Carga de 10 kg .....	125
Carga de 30 kg .....	185
Carga de 50 kg .....	285
Velocidad de desplazamiento en función de la altura	
Subir una escalera .....	1725
Bajar una escalera .....	480
Subir una escalera de mano inclinada	
sin carga .....	1660
con carga de 10 kg. ....	1870
con carga de 50 kg. ....	3320
Subir una escalera de mano vertical	
sin carga .....	2030
con carga de 10 kg. ....	2335
con carga de 50 kg. ....	4750



El ejemplo 3 estimaba entre 75 y 125 w/ m<sup>2</sup> el consumo metabólico de un soldador. Los datos de la tabla 3 no permiten conocer qué tipo de soldadura es ni el desglose en tareas, por lo que ese tipo de tablas sólo debería emplearse como aproximación. Por otra parte, hay que tener en cuenta que los valores de la tabla 3, aunque no tienen en cuenta períodos de descanso (p.e. desayuno), consideran el trabajo global de una determinada profesión. Así, en el caso del soldador los datos aportados son valores medios, teniendo en cuenta por ejemplo la preparación de las piezas antes de soldar, lo que hace que el consumo metabólico sea menor que si se calcula solamente para la tarea concreta de soldar, como se ha hecho en el ejemplo 5, cuya sistemática permite una mayor precisión.

#### **EJEMPLO 4**

Cálculo del consumo metabólico de un individuo (varón) de 37 años de edad, que realiza un trabajo de limpieza del pavimento de una nave de producción, manejando con ambos brazos una barredora-aspiradora industrial automotora que recorre 20 metros en 30 segundos.

Metabolismo basal (tabla 5)	45 w/m <sup>2</sup>
Componente postural (ver tablas)	0 w/m <sup>2</sup>

Componente del tipo de trabajo (tabla 7)

moderado con dos brazos	85 w/m <sup>2</sup>
-------------------------	---------------------

Componente de desplazamiento (tabla 8)

caminar despacio (110 w/m <sup>2</sup> /m/s)	
velocidad = 20 m / 30 s = 0,666 m/s	73 w/m <sup>2</sup>
0,666 m/ s x 110 w / m <sup>2</sup>	203 w/m <sup>2</sup>



### Ejemplo 5

Cálculo del consumo metabólico de un individuo (varón) de 25 años de edad, que suelda piezas metálicas con soldadura eléctrica al arco de electrodos consumibles. El tipo de trabajo puede considerarse moderado con un brazo (manejo del electrodo) y la posición de trabajo es de pie, ligeramente inclinado sobre la pieza a soldar.

Metabolismo basal (tabla 5)	47 w/m <sup>2</sup>
Componente postural (tabla 6)	30 w/m <sup>2</sup>
Componente del tipo de trabajo (tabla 7)	55 w/m <sup>2</sup>
Componente de desplazamiento	0 w/m <sup>2</sup>
Consumo metabólico global M	132 w/m <sup>2</sup>

### 3.3 Variación del gasto energético con el tiempo

Cuando las condiciones del trabajo varían durante la jornada laboral, las tablas no son de aplicación directa (excepto la tabla 3) y los valores de consumo energético deben ponderarse en el tiempo.

Esto exige el cronometraje del puesto de trabajo, de forma que se conozca la duración de cada tarea, actividad, etc. Cuando estos datos son conocidos, el consumo metabólico medio de una serie de trabajos consecutivos viene dado por la expresión:

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n M_i \times t_i}{T} \quad (1)$$

$$\text{siendo } T = \sum_{i=1}^n t_i$$

M = consumo metabólico medio durante el periodo de tiempo T

M<sub>i</sub> = consumo metabólico durante el periodo de tiempo t<sub>i</sub>



Cuando ninguno de los valores de  $M_i$  incluye el metabolismo basal, es decir que están extraídos de las tablas 6, 7 u 8, hay que añadir ese valor al obtenido en **(I)**.

Si en el cálculo mediante esa ecuación **(I)** se utilizan valores de  $M_i$  que incluyen el metabolismo basal junto a otros que no lo hacen (por ejemplo usando datos de la tabla 4 con otros de las tablas 6, 7 u 8) deben homogeneizarse los términos, añadiendo a cada  $M_i$  el valor del metabolismo basal cuando no esté incluido.

Esta forma de ponderar en el tiempo es útil cuando el trabajo habitual del individuo es la repetición consecutiva de un conjunto de tareas (ciclo de trabajo). En este caso, para determinar el consumo metabólico medio de esa persona (durante su jornada laboral) basta con utilizar la expresión **(I)** aplicada a un ciclo de trabajo.

### EJEMPLO 6

Cálculo del consumo metabólico medio de un operario, varón de 45 años de edad, que controla un proceso químico discontinuo y cuyo trabajo habitual puede considerarse como la repetición de ciclos como el que se describe a continuación:

<b>Actividades elementales de un ciclo</b>	<b>Tiempo de duración (minutos)</b>
Arrastrar sacos de 20 Kg (moderado con el cuerpo)	3
Alimentación de reactores (moderado con dos brazos)	10
Esperar de pie frente a controles	15
Caminar por la planta (0,8 m / s)	15
Subir escaleras (8 metros de altura en 20 segundos)	2
Bajar escaleras (8 metros de altura en 10 segundos)	1
<b>Duración total del ciclo</b>	<b>46</b>



**El consumo metabólico de las diferentes componentes del ciclo será, consultando las tablas 6, 7 y 8:**

**Consumo  
metabólico  
(w/m<sup>2</sup>)**

Arrastrar sacos de 20 Kg	190
Alimentación de reactores, etc.	85
Esperar de pie frente a controles.	25
Caminar por la planta. 110 (w/m <sup>2</sup> /m/s) x 0,8 (m/s)	88
Subir escaleras. 1725 (w/ m <sup>2</sup> /m/s) x 8/20 (m/s)	690
Bajar escaleras. 480 (w/ m <sup>2</sup> /m/s) x 8/10 (m/s)	384

Aplicando la expresión (I) :

$$\sum_{j=1}^n M_j \times t_j = 190 \times 3 + 85 \times 10 + 25 \times 15 + 88 \times 15 + 690 \times 2 + 384 \times 1 = 4495 \text{ w/m}^2 \times \text{min.}$$

Siendo el tiempo total T = 46 min. y el metabolismo basal 43 w/m<sup>2</sup> (Metabolismo basal en función de la edad y sexo <tabla 5), tendremos:

$$M = (4495/46) \text{ w/m}^2 + 43 \text{ w/m}^2$$

**141**



### **3.4 Determinación del consumo metabólico mediante medición de parámetros fisiológicos**

Los dos métodos de valoración de la carga física mediante la medición de parámetros fisiológicos son el basado en el (a) consumo de oxígeno y el de la frecuencia cardiaca (b).

- a. La medición directa del metabolismo se basa en el consumo de oxígeno ya que existe una relación casi lineal entre dicho consumo y el nivel de metabolismo. El consumo de 1 litro de oxígeno corresponde a  $4,85 \text{ kcal} = 20,2 \text{ kilojoules}$ . A pesar de su gran precisión, este método suele utilizarse poco, ya que constituye una prueba de laboratorio.
- b. Así mismo se puede hacer una estimación del metabolismo por medición indirecta, mediante la frecuencia cardiaca. Este método se basa en el aumento de la irrigación sanguínea que exige un trabajo físico. Es especialmente indicado en aquellos casos en que el trabajo es (principalmente) de componente estático, o en aquellos en que se utiliza un pequeño número de músculos. Los datos personales a tener en cuenta son: sexo, edad, talla, peso, hábitos tóxicos, patología actual, actividad deportiva e ingesta de fármacos. En cuanto a factores ambientales se tendrá en cuenta la temperatura y la humedad. Se puede clasificar la penosidad de un puesto de trabajo a partir de la medición individualizada de la frecuencia cardiaca y comparándola posteriormente con unos valores de referencia; se utilizan los criterios de CHAMOUX (tabla 9) para la valoración global del puesto y para duraciones de jornada laboral de ocho horas consecutivas y los criterios de FRIMAT (tabla 10) para fases cortas del ciclo de trabajo.



**Tabla 10: Tabla de los coeficientes de penosidad según los criterios de FRIMAT**

COEFICIENTE DE PENOSIDAD					
	1	2	4	5	6
FCM	90-94	95-99	100-104	105-109	>110
$\Delta FC$	20-24	25-29	30-34	35-39	>40
FCM Max.t	110-119	120-129	130-139	140-149	>150
CCA	10	15	20	25	30
CCR	10%	15%	20%	25%	30%

*La determinación del puntaje se efectuará mediante la suma de los coeficientes correspondientes a los cinco parámetros medidos (FCM,  $\Delta FC$ , FCM Max.t, CCA, CCR)*

Valoración de las puntuaciones:

25 puntos: extremadamente duro	20 puntos: penoso	12 puntos: muy ligero
24 puntos: muy duro	18 puntos: soportable	$\leq 10$ puntos: carga física mínima
22 puntos: duro	14 puntos: ligero	

**Tabla 9: Criterios de CHAMOUX. Permiten clasificar directamente la penosidad del trabajo en función del costo cardíaco absoluto y del relativo, según se indica a continuación**

A PARTIR DEL CCA Coste absoluto del puesto de trabajo		A PARTIR DEL CCR Coste relativo para la persona	
0-9 ..... muy ligero	30-39 ..... pesado	0-9 ..... muy ligero	40-49 ..... algo pesado
10-19 ..... ligero	40-49 ..... muy pesado	10-19 ..... ligero	50-59 ..... pesado
20-29 ..... moderado		20-29 ..... muy moderado	60-69 ..... intenso
		30-39 ..... moderado	

En ambos casos se necesitan conocer los siguientes parámetros:

- Frecuencia cardíaca basal o de reposo (FCB)
- Frecuencia cardíaca media (FCM)
- Frecuencia cardíaca máxima teórica (FCMax.t)

Ingeniería técnica Industrial, Especialidad: mecánica.	David Saorín Candel	Revisión: Página 167 de 201
---	---------------------	--------------------------------



$$FC_{Max.t} = 220 - \text{edad (en años)}$$

- Costo cardíaco absoluto (CCA)

$$CGA = FCM - FCB$$

- Costo cardíaco relativo (CCR)

$$CCR = (CCA/FC_{Max.t} - FCB)$$

- Aceleración de la frecuencia cardíaca (DFC)

$$\delta FC = FC_{Max.t} - FCM$$

#### EJEMPLO 7

Estimación del consumo metabólico de cuatro trabajadores mediante la medición de frecuencia cardíaca.

	T1	coef.	T2	coef.	T3	coef.	T4	coef.
FCB	80		68		76		75	
FCM	114	6	94	1	96	2	103	4
$\Delta FC$	22	1	42	6	24	1	27	2
FC <sub>Max.T</sub>	136	4	134	4	123	2	129	2
CCA	32	6	25	5	21	4	28	6
CCR	28%	6	26%	5	21%	4	28%	6
Total		23		21		13		20
Frimat	Duro		Penoso		Muy ligero		Penoso	

Siguiendo los criterios de Chamoux el puesto de trabajo tendría la consideración de muy moderado/moderado (CCA entre 21 y 32) y el coste individual sería moderado (CCR entre 21% y 28%).



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

## **4. NTP 501: Ambiente térmico: inconfort térmico local**

Environnement thermique: Inconfort thermique local  
Thermal environment: Local thermal discomfort

### **Redactora:**

Ana Hernández Calleja  
Licenciada en Ciencias Biológicas

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO

### **4.1 Introducción**

En el [Real Decreto 486/1997](#), de 14 de abril, se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. En particular, en su [anexo III](#) “Condiciones ambientales de los lugares de trabajo” figuran los requisitos en cuanto a ambiente térmico y ventilación que deben cumplirse en dichos lugares de trabajo. La información incluida en este anexo es una mezcla entre valores cuantitativos más o menos precisos, por ejemplo: “...la temperatura de los locales donde se realicen trabajos sedentarios propios de oficinas o similares estará comprendida entre 17°C y 27°C...” o “...la humedad relativa estará comprendida entre el 30 y el 70 por ciento, excepto en los locales donde existan riesgos por electricidad estática en los que el límite inferior será el 50 por ciento...” y una serie de recomendaciones genéricas cualitativas referentes a la posible incomodidad o molestia de los ocupantes de esos lugares, por ejemplo: “En la medida de lo posible, las condiciones ambientales de los lugares de trabajo no deben constituir una fuente de incomodidad o de 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

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 169 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

lores desagradables, la irradiación excesiva y, en particular, la radiación solar a través de ventanas, luces o tabiques acristalados”.

A continuación se citan algunos de los aspectos que tienen importancia en la evaluación del inconfort térmico local. En los trabajos de P.O. Fanger sobre confort térmico en el conjunto del cuerpo (ver [NTP-74](#)), se mencionan dos condiciones que deben cumplirse para que las personas manifiesten satisfacción con el ambiente térmico. En primer lugar, debe cumplirse la ecuación del balance térmico, es decir, debe existir un equilibrio entre la ganancia de calor (ambiental o metabólico) y la eliminación del mismo y, en segundo lugar, y dado que el cumplimiento de la ecuación del balance térmico no es suficiente para conseguir el confort térmico, la temperatura de la piel y la cantidad de sudor evaporado deben estar comprendidas entre ciertos límites. Cuando se cumplen estas dos condiciones, un individuo puede manifestar su satisfacción con el ambiente térmico para el conjunto de su cuerpo. No obstante, todavía existe una tercera condición para obtener confort térmico, y es que no exista inconfort térmico local. Este inconfort ocurre cuando una persona, que expresa confort en el conjunto de su cuerpo, puede sentirse inconfortable térmicamente si alguna parte de su cuerpo está, por ejemplo, fría y otra caliente.

Este inconfort puede estar causado por:

- Corrientes de aire.
- Asimetría de planos radiantes.
- Contacto con superficies frías o calientes.
- Diferencias verticales de temperatura.

El objetivo de esta Nota Técnica es proporcionar información sobre los aspectos termoambientales que pueden provocar inconfort térmico local, así como sobre los estudios experimentales que han proporcionado los valores recomendables para mantener el porcentaje de insatisfechos por debajo de unos determinados límites.

Estos valores están recogidos en distintas normas nacionales e internacionales, por ejemplo: la Norma UNE-EN-ISO 7730/1996, “Ambientes térmicos moderados” o en el borrador de norma europea PrENV-1752/1997 “ Ventilation for buildings. Design criteria for the indoor environment”. La primera está incluida en la Instrucción Técnica Complementaria ITE 02.2.1 “Bienestar térmico”, del Reglamento de Instalaciones térmicas en los edificios ([Real Decreto 1751/1998](#), de 31 de julio), por lo que forma parte de la legislación vigente en nuestro país.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 170 de 201



## 4.2 Corrientes de aire

Una corriente de aire se define como un enfriamiento localizado del cuerpo causado por el movimiento del aire. Las corrientes de aire han sido identificadas como uno de los factores ambientales más molestos en los lugares de trabajo en general y como el más molesto en las oficinas. En ocasiones, este hecho lleva a los ocupantes de un espacio a cerrar los difusores del aire e incluso a parar el sistema de ventilación.

En lugares con calefacción, pero que no tienen sistemas mecánicos de ventilación, las molestias pueden ser debidas a las corrientes convectivas que se forman a lo largo de las ventanas u otras superficies frías.

El flujo de aire en un local es normalmente turbulento y la velocidad fluctúa al azar. La intensidad de la turbulencia es función de la velocidad media del aire y de la desviación estándar de la velocidad de fluctuación. La percepción de una corriente de aire depende de:

- La velocidad del aire.
- El grado de turbulencia del aire.
- La temperatura del aire.
- El área del cuerpo expuesta.
- El estado térmico de la persona, por ejemplo: una persona calurosa percibe la corriente como una brisa agradable, mientras que una friolera la percibe como corriente molesta.

Fanger y su equipo realizaron una serie de experimentos en cámaras climáticas en las que 150 personas fueron expuestas a temperaturas del aire que oscilaban entre los 20°C y 26°C, a velocidades medias del aire entre 0,05 y 0,4 m/s y a unas intensidades de turbulencia que oscilaban entre el 0% y el 70%. Las personas participantes mantenían una actividad ligera, sedentaria y se mantenían próximos a la neutralidad térmica para el conjunto del cuerpo modificando su indumentaria.

De las experiencias se obtuvo el índice DR (del inglés Draught Risk) que expresa el porcentaje de insatisfechos por corrientes de aire. Este índice es función de la temperatura y del movimiento del aire, que está definido por la velocidad media del aire y la intensidad de la turbulencia.

$$DR = (34 - t_a) \cdot (v - 0,05)^{0,62} \cdot (0,37 \cdot v \cdot Tu \cdot 3,14)$$



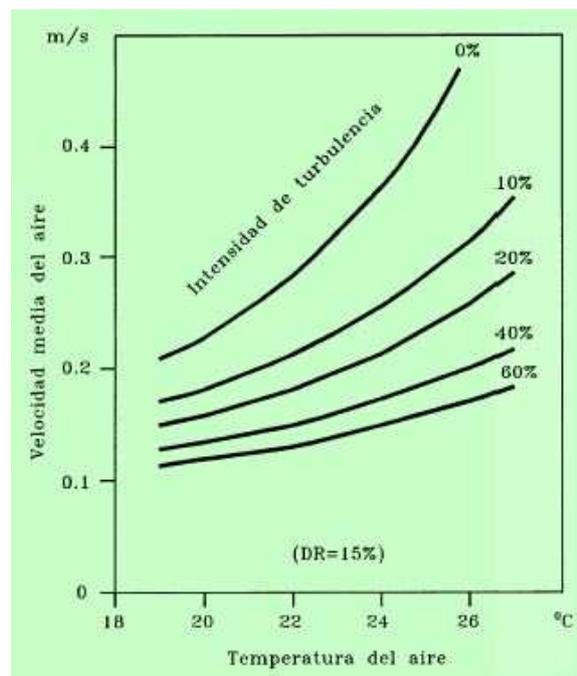
DR= Es la molestia por corrientes de aire, es decir, el porcentaje de la población insatisfecha por las corrientes de aire.

$t_a$ = Es la temperatura del aire ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$v$ = Es la velocidad media local del aire (m/s).

$T_u$ = Es la intensidad de turbulencia, en tanto por ciento, definida como la relación entre la desviación estándar de la velocidad instantánea del aire y la velocidad media del aire.

En la figura 1 se muestra la gráfica de la velocidad media del aire permitida en función de la temperatura del aire y de la turbulencia, para un índice DR de molestia por corrientes de aire de un 15% de insatisfechos. La figura es aplicable a actividades ligeras, esencialmente sedentarias ( $70 \text{ W/m}^2 = 1,2 \text{ met} = 110 \text{ kcal/hora}$ ).



**Fig. 1: Velocidad del aire permitida en función de la temperatura del aire y de la intensidad de la turbulencia**



A modo de conclusión:

- Para una misma temperatura y velocidad media del aire, un flujo de aire con una intensidad de turbulencia alta es percibido como una corriente de aire por más personas que un flujo de aire con una intensidad de turbulencia baja.
- Las personas son más sensibles a las corrientes de aire que llegan por detrás en la zona de la cabeza, nuca y hombros, y en los tobillos.
- Las personas con tareas que precisan una mayor actividad física son menos sensibles a las corrientes de aire que las que desarrollan trabajos de tipo sedentario.
- Una forma de paliar los problemas por corrientes de aire consistiría en la utilización de sistemas de ventilación cuya distribución del aire creara flujos de aire menos turbulentos, por ejemplo, los sistemas por desplazamiento de aire.

### 4.3 Asimetría de planos radiantes

La asimetría de planos radiantes o, lo que es lo mismo, una distribución no uniforme de la transferencia de calor por radiación puede estar causada por la existencia de grandes superficies frías o calientes, por ejemplo: ventanas, paredes frías, techos calientes y por la presencia de productos o maquinaria fría o caliente. En edificios de tipo no industrial, por ejemplo, oficinas o domicilios, las causas más frecuentes de este fenómeno son la existencia de ventanas frías o techos calientes.

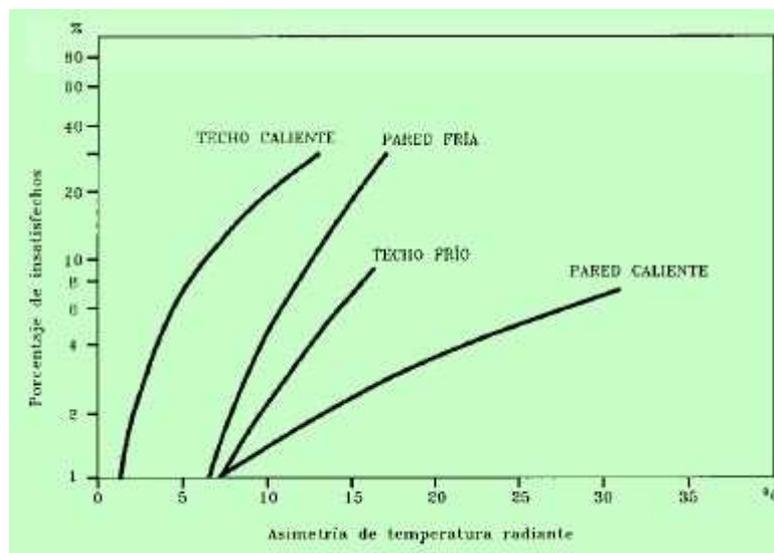
La temperatura radiante media describe el intercambio de calor por radiación entre el cuerpo y las superficies que lo rodean (planos anterior y posterior, superior e inferior y planos derecho e izquierdo). La asimetría de planos radiantes describe la diferencia de temperatura radiante entre dos planos; por ejemplo, derecha e izquierda o superior e inferior.

Para determinar la relación entre la asimetría de la temperatura radiante y la insatisfacción, se realizaron una serie de experiencias en cámaras climáticas. En estas cámaras, las personas participantes se encontraban sentadas, con un vestido estándar de 0,6 clo (del inglés clothes, 1 clo = 0,155 m<sup>2</sup> · °C/W) y estaban expuestos a planos horizontales calientes por encima de la cabeza y a planos verticales laterales fríos. La temperatura de esos planos se iba modificando a lo largo de la experiencia, con lo que la asimetría fue aumentada o disminuida, mientras que el resto de los planos se



mantenía a temperatura constante. Ya que estos cambios alteraban el valor de la temperatura radiante media y, por lo tanto, el grado de confort general, se adecuó el resto de parámetros para mantener la neutralidad térmica del conjunto del cuerpo, una de las opciones consistía en modificar la temperatura del aire.

Las personas sometidas a estas experiencias daban la opinión subjetiva sobre su sensación de confort respecto a los planos radiantes. De estas opiniones se estableció la relación entre la asimetría de planos radiantes y el porcentaje de insatisfechos. En la figura 2 se muestran las gráficas en las que se relacionan estos dos aspectos y de ellas se desprende que las personas son más sensibles a la asimetría de planos horizontales calientes por encima de la cabeza que a los planos verticales laterales fríos. En el primero de los casos, a una diferencia de temperatura radiante de  $5^{\circ}\text{C}$ , le corresponde un 7% de insatisfechos, mientras que en el segundo de los casos, se precisa una diferencia de  $10^{\circ}\text{C}$  para obtener un porcentaje de insatisfechos del 5%. Al analizar el resto de posibilidades, se observa que cuando se trata de planos horizontales fríos por encima de la cabeza, para obtener un 7% de insatisfechos, la diferencia de temperatura radiante debe ser de  $15^{\circ}\text{C}$ ; si se trata de planos verticales calientes, la diferencia de temperatura radiante ha de ser de  $25^{\circ}\text{C}$  para tener un 5% de insatisfechos.



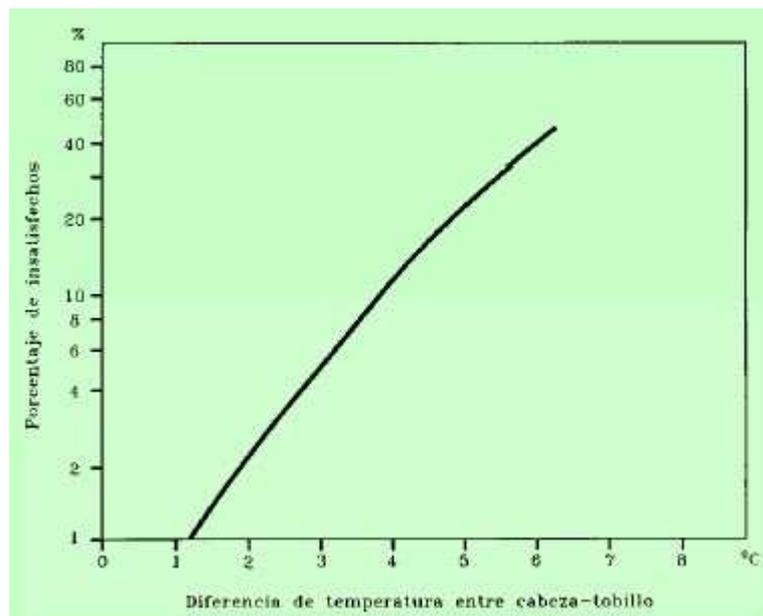
**Fig. 2: Porcentaje de insatisfechos en función de la asimetría de la temperatura de radiación**



## Diferencia vertical de temperaturas

En muchos espacios la temperatura del aire no es uniforme desde el suelo al techo, normalmente aumenta con la altura. Si ese gradiente es suficientemente grande, puede aparecer el inconfort localizado, por ejemplo, el que se produce al tener los pies fríos y/o la cabeza caliente, aunque se mantenga el confort para el conjunto del cuerpo.

Experimentos realizados en la cámara climática con individuos que realizaban una actividad ligera, en confort térmico para el conjunto del cuerpo y sometidos a diferentes gradientes de temperatura entre los tobillos y la cabeza, permitieron obtener la relación entre esos gradientes y el porcentaje de insatisfechos. De la figura 3 se desprende que cuando el gradiente es de 3°C, el porcentaje de insatisfechos es de un 5%. Las personas que desarrollan una actividad física mayor son menos sensitivas y al parecer toleran gradientes de temperatura superiores, aunque no existan datos experimentales que confirmen tal hipótesis.



**Fig. 3: Porcentaje de insatisfechos en función de la diferencia vertical de temperatura entre los tobillos (0,1 m) y la cabeza (1,1 m en posición sentado y 1,7 m de pie)**



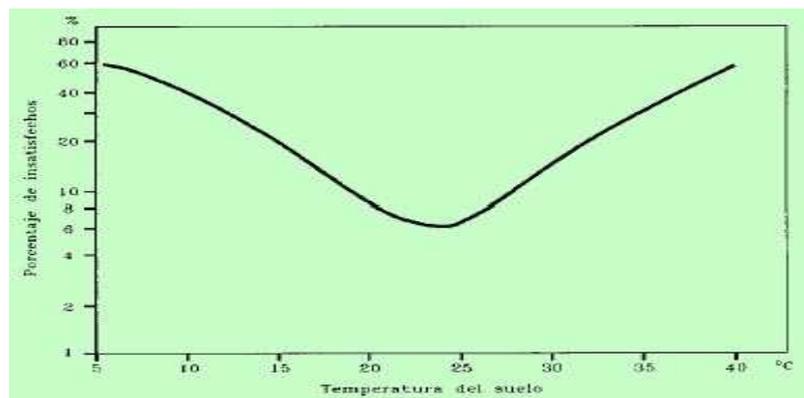
## 4.4 Suelos calientes o fríos

Debido al contacto directo de los pies con el suelo, el incomfort local puede estar causado por suelos que se encuentran a temperaturas muy bajas o muy altas. La temperatura del suelo tiene una influencia significativa en la temperatura radiante media y, por tanto, en el confort térmico del conjunto del cuerpo y está influenciada por el tipo de construcción, por ejemplo, si el edificio está construido directamente sobre la tierra, sobre una bodega o sótano, sobre otra habitación o si la calefacción existente llega a través del suelo.

Diversos estudios realizados con personas descalzas sobre suelos de diferentes materiales permitieron determinar el rango idóneo de temperaturas, en la tabla 1 se muestran los intervalos de temperatura recomendados para distintos tipos de materiales.

En los estudios realizados con personas calzadas se observó que la temperatura del suelo tenía una importancia menor; se obtuvieron temperaturas del suelo óptimas: para trabajos de tipo sedentario, 25°C y para personas de pie o andando, 23°C.

En la figura 4, en la que se han incluido los resultados de las experiencias realizadas con personas descalzas y calzadas, se muestra la gráfica en la que se relaciona el porcentaje de insatisfechos con la temperatura del suelo. De la gráfica se desprende que a la temperatura óptima de 24°C, un 6% se mostrará insatisfecho.



**Fig. 4: Porcentaje de insatisfechos en función de la temperatura del suelo**



**Tabla 1. Temperaturas de confort del suelo para personas descalzas**

MATERIAL DEL SUELO	TEMPERATURA DEL SUELO ÓPTIMA		INTERVALO RECOMENDADO DE TEMPERATURAS
	OCUPACIÓN 1 MINUTO	OCUPACIÓN 10 MINUTOS	
Textiles	21	24,5	21-28
Corcho	24	26	23-28
Madera (pino)	25	26	22,5-28
Madera (roble)	26	26	24,5-28
PVC	28	27	25,5-28
Linóleo	28	26	24-28
Cemento	28,5	27	26-28,5
Mármol	30	29	28-29,5

## 4.5 Valores de referencia

En el [Real Decreto 486/1997](#) se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. En particular, en su [anexo III](#) “Condiciones ambientales de los lugares de trabajo” figuran los requisitos en cuanto a ambiente térmico que deben cumplirse en dichos lugares de trabajo y que son los siguientes:

- 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 °C.
- 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%.



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

Los trabajadores no deberán estar expuestos de forma frecuente o continuada a corrientes de aire cuya velocidad exceda los siguientes límites: 0,25 m/s para trabajos en ambientes no calurosos; 0,5 m/s para trabajos sedentarios en ambientes calurosos y 0,75 m/s para trabajos no sedentarios en ambientes calurosos. 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 de 0,35 m/s en los demás casos.

En el anexo informativo D de la norma UNE-EN-ISO 7730/1996, se incluyen los requisitos recomendados para el bienestar térmico, tanto los relativos al bienestar general como al inconfort térmico local.

## **4.6 Bienestar general**

Se considera como aceptable que el PPD (Porcentaje Estimado de Insatisfechos, del inglés Predicted Percentage of Dissatisfied) sea inferior al 10%. Esto corresponde a un PMV (Voto Medio Estimado, del inglés Predicted Mean Vote) que oscile entre los valores -0,5 y 0,5. Es conveniente recordar que un PMV igual a 0, es decir, neutralidad térmica, supone un PPD del 5%.

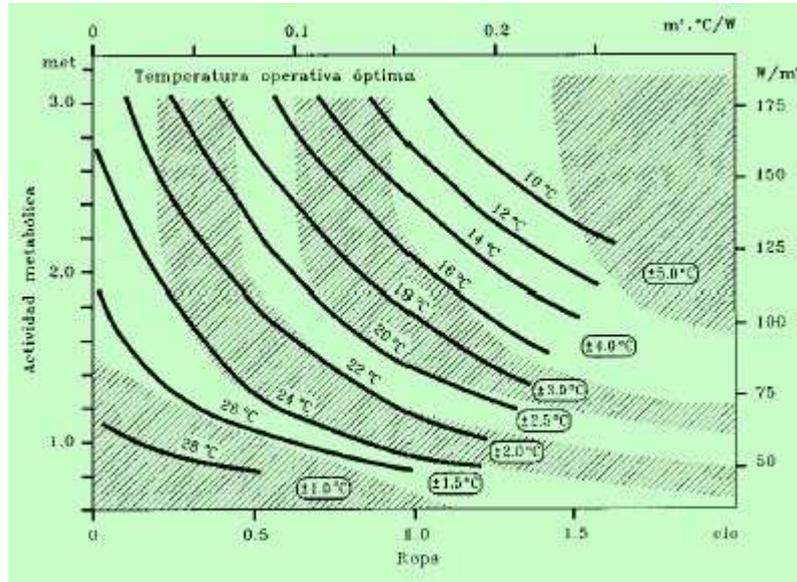
A título de ejemplo, en la figura 5 aparecen límites de bienestar para distintas temperaturas operativas en función de la actividad física y de la ropa. Las áreas sombreadas indican la zona de bienestar más-menos un incremento de temperatura ( $\pm\delta t$ ) alrededor de la temperatura óptima, en el interior de la cual se cumple que el PMV está comprendido entre -0,5 y 0,5.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 178 de 201



**Fig. 5: Temperatura operativa óptima (correspondiente a un PMV = 0) en función de la actividad y de la ropa**

La temperatura operativa ( $t_o$ ) es la temperatura uniforme de un recinto radiante negro en el cual un ocupante intercambiaría la misma cantidad de calor por radiación y convección que en el ambiente no uniforme real. En la mayor parte de los casos prácticos, si la velocidad relativa del aire ( $v_{ra}$ ) es baja ( $< 0,2$  m/s), o si la diferencia entre la temperatura radiante media ( $t_{rm}$ ) y la temperatura del aire ( $t_a$ ) es pequeña ( $< 4^\circ\text{C}$ ), la temperatura operativa puede calcularse, con suficiente aproximación, como el valor medio de  $t_a$  y  $t_{rm}$ . Para obtener una precisión mayor, puede adoptarse la siguiente fórmula

$$t_o = A \times t_a + (1 - A) \times t_{rm}$$

El valor de A es función de la velocidad relativa del aire:

$v_{ra}$	$< 0,2$ m/s	0,2 y 0,6 m/s	0,6 y 1 m/s
A	0,5	0,6	0,7



La temperatura operativa es el parámetro utilizado cuando el índice PMV se obtiene de las tablas del anexo C (normativo) de la Norma UNE-EN-ISO 7730, para distintas combinaciones de actividad metabólica, ropa, temperatura operativa y velocidad relativa del aire.

## 4.7 Inconfort térmico local

### **Actividad ligera, esencialmente sedentaria en condiciones invernales (período de calefacción)**

- La temperatura operativa debe mantenerse entre los 20°C y los 24°C ( $22 \pm 2^\circ\text{C}$ ).
- La diferencia vertical de temperatura del aire entre 1,1 m y 0,1 m sobre el suelo (nivel de la cabeza y nivel de los tobillos) debe ser inferior a 3°C.
- La temperatura superficial del suelo debe estar normalmente comprendida entre 19°C y 26°C, pero los sistemas de calefacción del suelo deben estar concebidos para mantenerlos a 29°C.
- La velocidad media del aire debe ser inferior a la especificada en la figura 1 para obtener un 15% de insatisfechos por corrientes de aire.
- La asimetría de la temperatura de radiación en ventanas y otras superficies verticales frías debe ser inferior a 5°C (relativa a un pequeño plano horizontal situado a 0,6 m sobre el suelo).
- La asimetría de la temperatura de radiación debida a un techo ligeramente caliente debe ser inferior a 10°C (relativa a un pequeño plano horizontal situado a 0,6 m sobre el suelo).
- La humedad relativa debe permanecer entre el 30% y el 70%.

### **Actividad ligera, esencialmente sedentaria en condiciones estivales (período de refrigeración)**

- La temperatura operativa debe mantenerse entre los 23°C y los 26°C ( $24,5 \pm 1,5^\circ\text{C}$ ).
- La diferencia vertical de temperatura del aire entre 1,1 m y 0,1 m sobre el suelo (nivel de la cabeza y nivel de los tobillos) debe ser inferior a 3°C.
- La velocidad media del aire debe ser inferior a la especificada en la figura 1 para obtener un 15% de insatisfechos por corrientes de aire.

La humedad relativa debe permanecer entre el 30% y el 70%.



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

## **5. NTP 74: Confort térmico - Método de Fanger para su evaluación**

Thermal confort  
Confort thermique

### **Redactor:**

Emilio Castejón Vilella  
Ingeniero Industrial  
Ingenieur du Génie Chimique  
Ldo. en Farmacia

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ASISTENCIA TÉCNICA - BARCELONA

### **5.1 Introducción**

El interés por la valoración del nivel de confort térmico nació como una consecuencia de la aparición de las técnicas de acondicionamiento de aire, cuyo fin era justamente lograr que las personas se sintieran confortables y precisaban por tanto de métodos que permitieran evaluar en qué medida se alcanzaban sus objetivos; el más conocido de los índices de evaluación del confort fue la "temperatura efectiva", desarrollado por Yaglou y colaboradores en 1923. Desde entonces han aparecido muchos otros índices, pero la mayoría de ellos no engloban variables que en un ambiente industrial son de gran importancia, como la presencia de calor radiante, la intensidad de trabajo, etc., por lo que su utilidad en el campo laboral es muy limitada.

En este panorama la aparición en 1970 de la obra "Thermal Confort" de P.O. Fanger representó un avance sustancial, al incluir en el método de valoración propuesto la práctica totalidad de las variables que influyen en los intercambios térmicos hombre-medio ambiente y que, por tanto, contribuyen a la sensación de confort; estas variables son: **nivel de actividad, características del vestido, temperatura seca, humedad relativa, temperatura radiante media y velocidad del aire.**

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 181 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

Por otra parte la presentación del resultado expresándolo como **porcentaje de personas que se sentirán incómodas en un ambiente determinado** resulta de gran interés no sólo cuando se trata de evaluar una situación sino cuando se pretende proyectar o modificar un ambiente térmico.

En la presente Nota Técnica se exponen los aspectos principales, desde el punto de vista de su aplicación práctica, del método de Fanger; sin embargo para una mejor comprensión de los fundamentos del método y de las bases experimentales del mismo, consideramos de gran interés la consulta de la obra original.

## **5.2 Requerimientos para el confort térmico**

La primera condición que debe cumplirse para que una situación pueda ser confortable es que se satisfaga la ecuación del balance térmico; en otras palabras, es necesario que los mecanismos fisiológicos de la termorregulación sean capaces de llevar al organismo a un estado de equilibrio térmico entre la ganancia de calor (de origen ambiental y metabólico) y la eliminación del mismo. [NTP 18.82](#)

El equilibrio térmico en sí mismo está sin embargo lejos de proporcionar sensación de confort; en efecto, el organismo es capaz de conseguir satisfacer el balance térmico en una amplísima gama de combinaciones de situaciones ambientales y tasas de actividad pero sólo una estrecha franja de las mismas conducen a situaciones que el propio sujeto califique de confortables; la experiencia ha demostrado que para que se dé la sensación de confort debe cumplirse, además del equilibrio térmico, que tanto la temperatura de la piel como la cantidad de sudor secretado (y evaporado) deben estar comprendidos dentro de ciertos límites.

Los estudios de Fanger han demostrado que los valores de la temperatura de la piel y de la cantidad de sudor secretado en las situaciones confortables dependen del nivel de actividad a través de relaciones lineales; la temperatura de la piel es linealmente decreciente con el consumo metabólico mientras la cantidad de sudor evaporado crece linealmente con la actividad, siempre en el supuesto de hallarnos en situaciones confortables.

La Introducción de las relaciones anteriores en la ecuación del balance térmico conduce a una expresión que Fanger llama la "**ecuación del confort**" que establece la relación que, en situaciones de confort, debe cumplirse entre tres tipos de variables:

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 182 de 201



- A) **Características del vestido:** aislamiento y área total del mismo.
- B) **Características del tipo de trabajo:** carga térmica metabólica y velocidad del aire.
- C) **Características del ambiente:** temperatura seca, temperatura radiante media, presión parcial del vapor de agua en el aire y velocidad del aire.

La inclusión de la velocidad del aire en los apartados B) y C) se debe a considerar la velocidad efectiva del aire respecto al cuerpo tiene dos componentes: una, la velocidad que tendría el aire respecto al cuerpo y si éste estuviera quieto y otra, la velocidad debida al movimiento del cuerpo respecto a aire tranquilo; la suma de ambos valores es lo que llamaremos velocidad relativa del aire respecto al cuerpo.

### 5.3 Índice de valoración medio

Para estudiar la calificación que grupos de personas expuestas a una determinada situación atribuyen a su grado de confort, Fanger emplea la siguiente escala numérica de sensaciones:

- 3 muy frío
- 2 frío
- 1 ligeramente frío
- 0 neutro (confortable)
- + 1 ligeramente caluroso
- +2 caluroso
- +3 muy caluroso

Cuando un conjunto de individuos es expuesto a una determinada situación denominaremos "**Índice de valoración medio**" (**IMV**) al promedio de las respectivas calificaciones atribuidas a dicha situación de acuerdo con la escala anterior.



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNO DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

La [Tabla 1](#) da, para distintos valores del nivel de actividad medido como la carga térmica metabólica total, la temperatura seca, la velocidad relativa del aire respecto al cuerpo y el tipo de vestido, los valores correspondientes del IMV.

### **Influencia del vestido**

Las características térmicas del vestido se miden en la unidad denominada "clo" (del inglés clothing, vestido), equivalente a una resistencia térmica de  $0,18 \text{ m}^2 \text{ hr } ^\circ\text{C}/\text{Kcal}$ ; a continuación se indica, para los tipos más usuales de vestido los correspondientes valores de la resistencia en "clo":

**Desnudo:** 0 clo.

**Ligero:** 0,5 clo (similar a un atuendo típico de vera no comprendiendo ropa interior de algodón, pantalón y camisa abierta).

**Medio:** 1,0 clo (traje completo).

**Pesado:** 1,5 clo (uniforme militar de invierno).

### **Influencia de la humedad relativa**

Los valores de la [Tabla 1](#) presuponen una humedad relativa del 50% y que la temperatura radiante media y la seca son iguales.

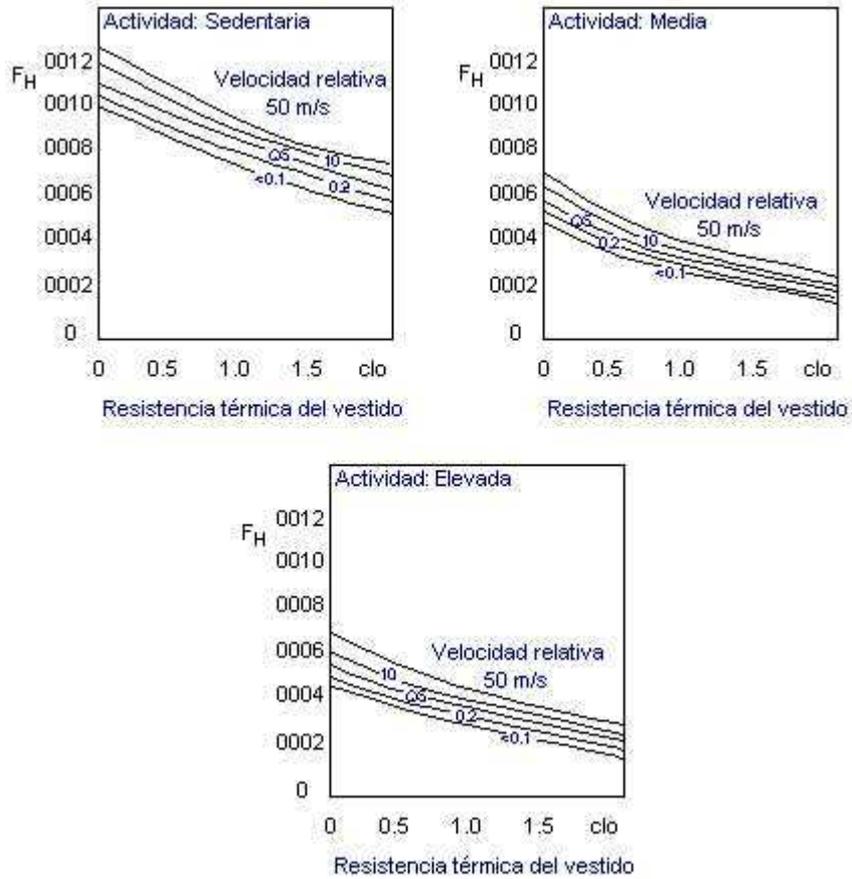
Cuando la humedad difiere de dicho valor su influencia en el IMV se tiene en cuenta mediante el empleo de los gráficos de la figura 1 donde se da el factor de corrección por humedad,  $F_H$ , en función del nivel de actividad, el tipo de vestido y la velocidad relativa del aire. Si, por ejemplo, la humedad relativa es del 30%, de la figura 1 obtenemos para personas sedentarias con vestido de 0,5 clo y velocidad relativa 0,2 m/s que  $F_H$  vale 0,0095; la corrección a añadir el valor IMV leído de la [Tabla 1](#) será:  $0,0095 (30 - 50) = - 0,19$ . La corrección es negativa ya que un ambiente con el 30% de humedad será, a igualdad de las demás variables, ligeramente más frío que uno con el 50%.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 184 de 201



**Fig. 1: Factor de corrección del IMV en función de la humedad (Fuente: P.O. Fanger)**



## Influencia de la temperatura radiante media

La figura 2 muestra el factor de corrección,  $F_R$ , a emplear cuando la temperatura radiante media difiere de la seca; su utilización es similar a la del factor  $F_H$ .

La temperatura radiante media se calcula a partir de los valores medidos de la temperatura seca, la temperatura de globo y la velocidad relativa del aire mediante la siguiente fórmula:

$$TRM = TG + 1,9 \sqrt{v} (TG - TS) >$$

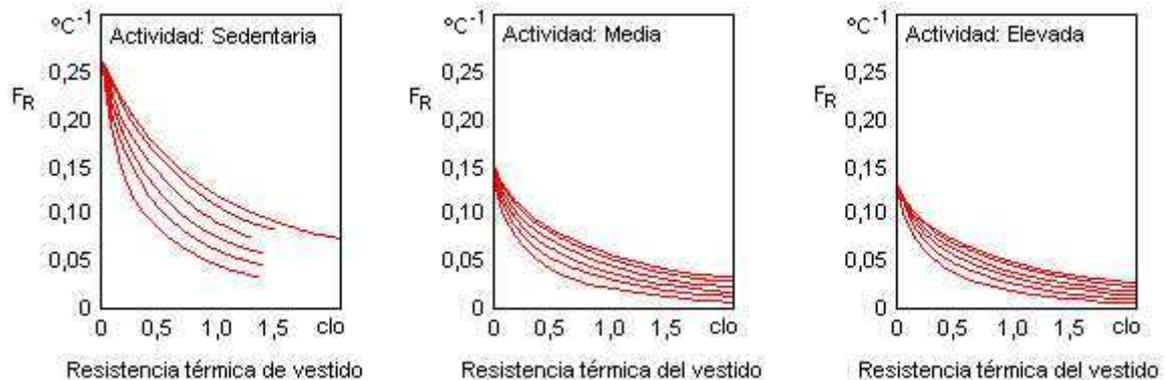
donde:

TRM = temperatura radiante media, °C

TG = temperatura de globo, °C

TS = temperatura seca, °C

v = velocidad relativa del aire, m/s



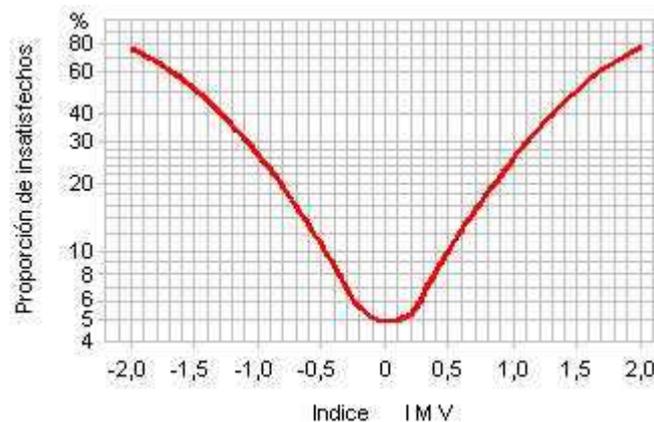
**Fig. 2: Factor de corrección del IMV en función de la temperatura radiante media. (Fuente: P.O. Fanger)**



## 5.4 Proporción de insatisfechos

Aunque el índice IMV resuelve el problema de cuantificar el grado de confort de una situación dada, su utilidad práctica sería reducida si no fuera posible correlacionar sus valores con el porcentaje de personas que para cada valor del índice expresan su conformidad o disconformidad con el ambiente en cuestión. Tal correlación ha sido establecida por Fanger a partir del estudio estadístico de los resultados obtenidos con 1.296 personas expuestas durante tres horas a un ambiente determinado.

En la figura 3 se indican los resultados de Fanger, que se expresan como el porcentaje de personas que se sienten insatisfechas para cada valor del índice IMV; se observa cómo en ambientes neutros, donde el IMV es cero, existe aún un 5% de insatisfechos lo que confirma el hecho bien conocido de que en cualquier situación, por sofisticado que sea el sistema de acondicionamiento térmico del local, existe cierta proporción de insatisfechos.



**Fig. 3: Proporción prevista de personas insatisfechas en función del valor del índice IMV. (Fuente: P.O. Fanger)**



## Ejemplo

Supongamos la siguiente situación:

**Temperatura seca:** 26°C

**Temperatura de globo:** 28,5°C

**Velocidad relativa del aire:** 0,5 m/s

**Humedad relativa:** 70%

**Vestido:** ligero (10,5 clo)

**Actividad:** media (180 Kc/h)

El cálculo da para la temperatura radiante media un valor de 31, 86°C.

La [Tabla 1](#) nos conduce a un valor del índice IMV de 0,91. La figura 1 con 0,5 m/s y 0,5 clo da un factor  $F_H$  de 0,0045 y la figura 2 con los mismos valores da para  $F_R$  un valor de 0,08. El valor corregido del índice IMV será pues:

$$IMV = 0,91 + 20 \times 0,0045 + 4,26 \times 0,08 = 1,34$$

La figura 3 muestra que habrá un 45% de insatisfechos. Si se empleara un vestido más ligero ( $clo = 0,25$ ) y al mismo tiempo se apantallaran los focos radiantes hasta conseguir que la temperatura de globo fuera igual a la seca, la Tabla 1 nos da un valor del índice IMV de 0,46; de la figura 3 con 0,25 clo y 0,5 m/s obtenemos  $F_H = 0,055$ ; la corrección por radiación será nula, al coincidir la temperatura de globo y la seca.

El índice IMV corregido valdrá por tanto:

$$IMV = 0,46 + 0,055 \times 20 = 0,57$$

para el que la figura 3 nos da un 12% de insatisfechos, habiéndose pues logrado una mejoría sensible.



**Tabla 1**

**Nivel de actividad 90 Kcal/h.;**

Vestido clo	Temp. seca °C	Velocidad relativa (m/s)								
		<0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50
0	26.	-1.62	-1.62	-1.96	-2.34					
	27.	-1.00	-1.00	-1.16	-1.69					
	28.	-0.39	-0.42	-0.76	-1.05					
	29.	0.21	0.13	-0.15	-0.39					
	30.	0.80	0.68	0.45	0.26					
	31.	1.39	1.25	1.08	0.94					
	32.	1.96	1.83	1.71	1.61					
33.	2.50	2.41	2.34	2.29						
0.25	24.	-1.52	-1.52	-1.80	-2.06	-2.47				
	25.	-1.05	-1.05	-1.31	-1.57	-1.94	-2.24	-2.48		
	26.	-0.58	-0.61	-0.87	-1.08	-1.41	-1.67	-1.89	-2.66	
	27.	-0.12	-0.17	-0.40	-0.58	-0.87	-1.10	-1.29	-1.97	-2.41
	28.	0.34	0.27	0.07	-0.09	-0.34	-0.53	-0.70	-1.28	-1.66
	29.	0.80	0.71	0.54	0.41	0.20	0.04	-0.10	-0.58	-0.90
	30.	1.25	1.15	1.02	0.91	0.74	0.61	0.50	0.11	-0.14
31.	1.71	1.61	1.51	1.43	1.30	1.20	1.12	0.83	0.63	
0.50	23.	-1.10	-1.10	-1.33	-1.51	-1.78	-1.99	-2.16		
	24.	-0.72	-0.74	-0.95	-1.11	-1.36	-1.55	-1.70	-2.22	
	25.	-0.34	-0.38	-0.56	-0.71	-0.94	-1.11	-1.25	-1.71	-1.99
	26.	0.04	-0.01	-0.18	-0.31	-0.51	-0.66	-0.79	-1.19	-1.44
	27.	0.42	0.35	0.20	0.09	-0.08	-0.22	-0.33	-0.68	-0.90
	28.	0.80	0.72	0.59	0.49	0.34	0.23	0.14	-0.17	-0.36
	29.	1.17	1.08	0.98	0.90	0.77	0.68	0.60	0.34	0.19
30.	1.54	1.45	1.37	1.30	1.20	1.13	1.06	0.86	0.73	
0.75	21.	-1.11	-1.11	-1.30	-1.44	-1.66	-1.82	-1.95	-2.36	-2.60
	22.	-0.79	-0.81	-0.98	-1.11	-1.31	-1.46	-1.58	-1.93	-2.17
	23.	-0.47	-0.50	-0.66	-0.78	-0.96	-1.09	-1.20	-1.55	-1.75
	24.	-0.15	-0.19	-0.33	-0.44	-0.61	-0.73	-0.83	-1.14	-1.33
	25.	0.17	0.12	-0.01	-0.11	-0.26	-0.37	-0.46	-0.74	-0.90
	26.	0.49	0.43	0.31	0.23	0.09	0.00	-0.08	-0.33	-0.48
	27.	0.81	0.74	0.64	0.56	0.45	0.36	0.29	0.08	-0.05
28.	1.12	1.05	0.96	0.90	0.80	0.73	0.67	0.48	0.37	
1.00	20.	-0.85	-0.87	-1.02	-1.15	-1.29	-1.41	-1.51	-1.81	-1.98
	21.	-0.57	-0.60	-0.74	-0.84	-0.99	-1.11	-1.19	-1.47	-1.63
	22.	-0.30	-0.33	-0.46	-0.55	-0.69	-0.80	-0.88	-1.13	-1.28
	23.	-0.02	-0.07	-0.18	-0.27	-0.39	-0.49	-0.56	-0.79	-0.93
	24.	0.26	0.20	0.10	0.02	-0.09	-0.18	-0.25	-0.46	-0.58
	25.	0.53	0.48	0.38	0.31	0.21	0.13	0.07	-0.12	-0.23
	26.	0.81	0.75	0.66	0.60	0.51	0.44	0.39	0.22	0.13
27.	1.08	1.02	0.95	0.89	0.81	0.75	0.71	0.56	0.48	
1.25	16.	-1.37	-1.37	-1.51	-1.62	-1.78	-1.89	-1.98	-2.26	-2.41
	18.	-0.89	-0.91	-1.04	-1.14	-1.28	-1.38	-1.46	-1.70	-1.84
	20.	-0.42	-0.46	-0.57	-0.65	-0.77	-0.86	-0.93	-1.14	-1.26
	22.	0.07	0.02	-0.07	-0.14	-0.25	-0.32	-0.38	-0.56	-0.66
	24.	0.56	0.50	0.43	0.37	0.28	0.22	0.17	0.02	-0.06
	26.	1.04	0.99	0.93	0.88	0.81	0.76	0.72	0.61	0.54
	28.	1.53	1.48	1.43	1.40	1.34	1.31	1.28	1.19	1.14
30.	2.01	1.97	1.93	1.91	1.88	1.85	1.83	1.77	1.74	
1.50	14.	-1.36	-1.36	-1.49	-1.58	-1.72	-1.82	-1.89	-2.12	-2.25
	16.	-0.94	-0.95	-1.07	-1.15	-1.27	-1.36	-1.43	-1.63	-1.75
	18.	-0.52	-0.54	-0.64	-0.72	-0.82	-0.90	-0.96	-1.14	-1.24
	20.	-0.09	-0.13	-0.22	-0.28	-0.37	-0.44	-0.49	-0.65	-0.74
	22.	0.35	0.30	0.23	0.18	0.10	0.04	0.00	-0.14	-0.21
	24.	0.79	0.74	0.68	0.63	0.57	0.52	0.49	0.37	0.31
	26.	1.23	1.18	1.13	1.09	1.04	1.01	0.98	0.89	0.84
28.	1.67	1.62	1.58	1.56	1.52	1.49	1.47	1.40	1.37	



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

**Nivel de actividad 110 Kcal/h.**

Vestido	Temp. seca °C	Velocidad relativa (m/s)									
		<0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50	
0	25.	-1.33	-1.33	-1.59	-1.92						
	26.	-0.83	-0.83	-1.11	-1.40						
	27.	-0.33	-0.33	-0.63	-0.88						
	28.	0.15	0.12	-0.14	-0.36						
	29.	0.63	0.56	0.35	0.17						
	30.	1.10	1.01	0.84	0.69						
	31.	1.57	1.47	1.34	1.24						
32.	2.03	1.93	1.85	1.78							
0.25	23.	-1.18	-1.18	-1.39	-1.61	-1.97	-2.25				
	24.	-0.79	-0.79	-1.02	-1.22	-1.54	-1.80	-2.01			
	25.	-0.42	-0.42	-0.64	-0.83	-1.11	-1.34	-1.54	-2.21		
	26.	-0.04	-0.07	-0.27	-0.43	-0.68	-0.89	-1.06	-1.65	-2.04	
	27.	0.33	0.29	0.11	-0.03	-0.25	-0.43	-0.58	-1.09	-1.43	
	28.	0.71	0.64	0.49	0.37	0.18	0.03	-0.10	-0.54	-0.82	
	29.	1.07	0.99	0.87	0.77	0.61	0.49	0.39	0.02	-0.22	
30.	1.43	1.35	1.25	1.17	1.05	0.95	0.87	0.58	0.39		
0.50	18.	-2.01	-2.01	-2.17	-2.38	-2.70					
	20.	-1.41	-1.41	-1.58	-1.76	-2.04	-2.25	-2.42			
	22.	-0.79	-0.79	-0.97	-1.13	-1.36	-1.54	-1.69	-2.17	-2.46	
	24.	-0.17	-0.20	-0.36	-0.48	-0.68	-0.83	-0.95	-1.35	-1.59	
	26.	0.44	0.39	0.26	0.16	0.01	-0.11	-0.21	-0.52	-0.71	
	28.	1.05	0.98	0.88	0.81	0.70	0.61	0.54	0.31	0.16	
	30.	1.64	1.57	1.51	1.46	1.39	1.33	1.29	1.14	1.04	
32.	2.25	2.20	2.17	2.15	2.11	2.09	2.07	1.99	1.95		
0.75	16.	-1.77	-1.77	-1.91	-2.07	-2.31	-2.49				
	18.	-1.27	-1.27	-1.42	-1.56	-1.77	-1.93	-2.05	-2.45		
	20.	-0.77	-0.77	-0.92	-1.04	-1.23	-1.36	-1.47	-1.82	-2.02	
	22.	-0.25	-0.27	-0.40	-0.51	-0.66	-0.78	-0.87	-1.17	-1.34	
	24.	0.27	0.23	0.12	-0.03	-0.10	-0.19	-0.27	-0.51	-0.65	
	26.	0.78	0.73	0.64	0.57	0.47	0.40	0.34	0.14	0.03	
	28.	1.29	1.23	1.17	1.12	1.04	0.99	0.94	0.80	0.72	
30.	1.80	1.74	1.70	1.67	1.62	1.58	1.55	1.46	1.41		
1.00	16.	-1.18	-1.18	-1.31	-1.43	-1.59	-1.72	-1.82	-2.12	-2.29	
	18.	-0.75	-0.75	-0.88	-0.98	-1.13	-1.24	-1.33	-1.59	-1.75	
	20.	-0.32	-0.33	-0.45	-0.54	-0.67	-0.76	-0.83	-1.07	-1.20	
	22.	0.13	0.10	0.00	-0.07	-0.18	-0.26	-0.32	-0.52	-0.64	
	24.	0.58	0.54	0.46	0.40	0.31	0.24	0.19	0.02	-0.07	
	26.	1.03	0.98	0.91	0.86	0.79	0.74	0.70	0.57	0.50	
	28.	1.47	1.42	1.37	1.34	1.28	1.24	1.21	1.12	1.06	
30.	1.91	1.86	1.83	1.81	1.78	1.75	1.73	1.67	1.63		
1.25	14.	-1.12	-1.12	-1.24	-1.34	-1.48	-1.58	-1.66	-1.90	-2.04	
	16.	-0.74	-0.75	-0.86	-0.95	-1.07	-1.16	-1.23	-1.45	-1.57	
	18.	-0.36	-0.38	-0.48	-0.55	-0.66	-0.74	-0.81	-1.00	-1.11	
	20.	0.02	-0.01	-0.10	-0.16	-0.26	-0.33	-0.38	-0.55	-0.64	
	22.	0.42	0.38	0.31	0.25	0.17	0.11	0.07	-0.08	-0.16	
	24.	0.81	0.77	0.71	0.66	0.60	0.55	0.51	0.39	0.33	
	26.	1.21	1.16	1.11	1.08	1.03	0.99	0.96	0.87	0.82	
28.	1.60	1.56	1.52	1.50	1.46	1.43	1.41	1.34	1.30		
1.50	12.	-1.09	-1.09	-1.19	-1.27	-1.39	-1.48	-1.55	-1.75	-1.86	
	14.	-0.75	-0.75	-0.85	-0.93	-1.03	-1.11	-1.17	-1.35	-1.45	
	16.	-0.41	-0.42	-0.51	-0.58	-0.67	-0.74	-0.79	-0.96	-1.05	
	18.	-0.06	-0.09	-0.17	-0.22	-0.31	-0.37	-0.42	-0.56	-0.64	
	20.	0.28	0.25	0.18	0.13	0.05	0.00	-0.04	-0.16	-0.23	
	22.	0.63	0.60	0.54	0.50	0.44	0.39	0.36	0.25	0.19	
	24.	0.99	0.95	0.91	0.87	0.82	0.78	0.76	0.67	0.62	
26.	1.35	1.31	1.27	1.24	1.20	1.18	1.15	1.08	1.05		

Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.

David Saorín Candel

Revisión:

Página 190 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

**Nivel de actividad 125 Kcal/h.;**

Vestido	Temp. seca °C	Velocidad relativa (m/s)									
		< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50	
0	24.	-1,14	-1,14	-1,35	-1,65						
	25.	-0,72	-0,72	-0,95	-1,21						
	26.	-0,30	-0,30	-0,54	-0,78						
	27.	0,11	0,11	-0,14	-0,34						
	28.	0,52	0,48	0,27	0,10						
	29.	0,92	0,85	0,69	0,54						
	30.	1,31	1,23	1,10	0,99						
	31.	1,71	1,62	1,52	1,45						
	0.25	22.	-0,95	-0,95	-1,12	-1,33	-1,64	-1,90	-2,11		
		23.	-0,63	-0,63	-0,81	-0,99	-1,28	-1,51	-1,71	-2,38	
24.		-0,31	-0,31	-0,50	-0,66	-0,92	-1,13	-1,31	-1,91	-2,31	
25.		0,01	0,00	-0,18	-0,33	-0,56	-0,75	-0,90	-1,45	-1,80	
26.		0,33	0,30	0,14	0,01	-0,20	-0,36	-0,50	-0,98	-1,29	
27.		0,64	0,59	0,45	0,34	0,16	0,02	-0,10	-0,51	-0,78	
28.		0,95	0,89	0,77	0,68	0,53	0,41	0,31	-0,04	-0,27	
29.		1,26	1,19	1,09	1,02	0,89	0,80	0,72	0,43	0,24	
0.50		18.	-1,36	-1,36	-1,49	-1,66	-1,93	-2,12	-2,29		
		20.	-0,85	-0,85	-1,00	-1,14	-1,37	-1,54	-1,68	-2,15	-2,43
	22.	-0,33	-0,33	-0,48	-0,61	-0,80	-0,95	-1,06	-1,46	-1,70	
	24.	0,19	0,17	0,04	-0,07	-0,22	-0,34	-0,44	-0,76	-0,96	
	26.	0,71	0,66	0,56	0,48	0,35	0,26	0,18	-0,07	-0,23	
	28.	1,22	1,16	1,09	1,03	0,94	0,87	0,81	0,63	0,51	
	30.	1,72	1,66	1,62	1,58	1,52	1,48	1,44	1,33	1,25	
	32.	2,23	2,19	2,17	2,16	2,13	2,11	2,10	2,05	2,02	
	0.75	16.	-1,17	-1,17	-1,29	-1,42	-1,62	-1,77	-1,88	-2,26	-2,48
		18.	-0,75	-0,75	-0,87	-0,99	-1,16	-1,29	-1,39	-1,72	-1,92
20.		-0,33	-0,33	-0,45	-0,55	-0,70	-0,82	-0,91	-1,19	-1,36	
22.		0,11	0,09	-0,02	-0,10	-0,23	-0,32	-0,40	-0,64	-0,78	
24.		0,55	0,51	0,42	0,35	0,25	0,17	0,11	-0,09	-0,20	
26.		0,98	0,94	0,87	0,81	0,73	0,67	0,62	0,47	0,37	
28.		1,41	1,36	1,31	1,27	1,21	1,17	1,13	1,02	0,95	
30.		1,84	1,79	1,76	1,73	1,70	1,67	1,65	1,58	1,53	
1.00		14.	-1,05	-1,05	-1,16	-1,26	-1,42	-1,53	-1,62	-1,91	-2,07
		16.	-0,69	-0,69	-0,80	-0,89	-1,03	-1,13	-1,21	-1,46	-1,61
	18.	-0,32	-0,32	-0,43	-0,52	-0,64	-0,73	-0,80	-1,02	-1,15	
	20.	0,04	0,03	-0,07	-0,14	-0,25	-0,32	-0,38	-0,58	-0,69	
	22.	0,42	0,39	0,31	0,25	0,16	0,10	0,05	-0,12	-0,21	
	24.	0,80	0,76	0,70	0,65	0,57	0,52	0,48	0,35	0,27	
	26.	1,18	1,13	1,08	1,04	0,99	0,95	0,91	0,81	0,75	
	28.	1,55	1,51	1,47	1,44	1,40	1,37	1,35	1,27	1,23	
	1.25	12.	-0,97	-0,97	-1,06	-1,15	-1,28	-1,37	-1,45	-1,67	-1,80
		14.	-0,65	-0,65	-0,75	-0,82	-0,94	-1,02	-1,09	-1,29	-1,40
16.		-0,33	-0,33	-0,43	-0,50	-0,60	-0,67	-0,73	-0,91	-1,01	
18.		-0,01	-0,02	-0,10	-0,17	-0,26	-0,32	-0,37	-0,53	-0,52	
20.		0,32	0,29	0,22	0,17	0,09	0,03	-0,01	-0,15	-0,22	
22.		0,65	0,62	0,56	0,52	0,45	0,40	0,36	0,25	0,18	
24.		0,99	0,95	0,90	0,87	0,81	0,77	0,74	0,65	0,59	
26.		1,32	1,28	1,25	1,22	1,18	1,14	1,12	1,05	1,00	
1.50		10.	-0,91	-0,91	-1,00	-1,08	-1,18	-1,26	-1,32	-1,51	-1,61
		12.	-0,63	-0,63	-0,71	-0,78	-0,88	-0,95	-1,01	-1,17	-1,27
	14.	-0,34	-0,34	-0,43	-0,49	-0,58	-0,64	-0,69	-0,84	-0,92	
	16.	-0,05	-0,06	-0,14	-0,19	-0,27	-0,33	-0,37	-0,50	-0,58	
	18.	0,24	0,22	0,15	0,11	0,04	-0,01	-0,05	-0,17	-0,23	
	20.	0,53	0,50	0,45	0,40	0,34	0,30	0,27	0,17	0,11	
	22.	0,83	0,80	0,75	0,72	0,67	0,63	0,60	0,52	0,47	
	24.	1,13	1,10	1,06	1,03	0,99	0,96	0,94	0,87	0,83	

Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.

David Saorín Candel

Revisión:

Página 191 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

**Nivel de actividad 145 Kcal/h.;**

Vestido	Temp. seca °C	Velocidad relativa (m/s)								
		<0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50
0	23.	-1.12	-1.12	-1.29	-1.57					
	24.	-0.74	-0.74	-0.93	-1.18					
	25.	-0.36	-0.36	-0.57	-0.79					
	26.	0.01	0.01	0.17	0.00					
	27.	0.38	0.37	0.51	0.39					
	28.	0.75	0.70	0.90	0.79					
	30.	1.11	1.04	1.27	1.19					
0.25	16.	-2.29	-2.29	-2.36	-2.62					
	18.	-1.72	-1.72	-1.83	-2.06	-2.42				
	20.	-1.15	-1.15	-1.29	-1.49	-1.80	-2.05	-2.26		
	22.	-0.58	-0.58	-0.73	-0.90	-1.17	-1.38	-1.55	-2.17	-2.58
	24.	-0.01	-0.01	-0.17	-0.31	-0.53	-0.70	-0.84	-1.35	-1.68
	26.	0.56	0.53	0.39	0.29	0.12	-0.02	-0.13	-0.52	-0.78
	30.	1.12	1.06	0.96	0.89	0.77	0.67	0.59	0.31	0.12
0.50	14.	-1.85	-1.85	-1.94	-2.12	-2.40				
	16.	-1.40	-1.40	-1.50	-1.67	-1.92	-2.11	-2.26		
	18.	-0.95	-0.95	-1.07	-1.21	-1.43	-1.59	-1.73	-2.18	-2.46
	20.	-0.49	-0.49	-0.62	-0.75	-0.94	-1.08	-1.20	-1.59	-1.82
	22.	-0.03	-0.03	-0.16	-0.27	-0.43	-0.55	-0.65	-0.98	-1.18
	24.	0.43	0.41	0.30	0.21	0.08	-0.02	-0.10	-0.37	-0.53
	28.	0.89	0.85	0.76	0.70	0.60	0.52	0.46	0.25	0.12
0.75	14.	-1.16	-1.16	-1.26	-1.38	-1.57	-1.71	-1.82	-2.17	-2.38
	16.	-0.79	-0.79	-0.89	-1.00	-1.17	-1.29	-1.39	-1.70	-1.88
	18.	-0.41	-0.41	-0.52	-0.62	-0.76	-0.87	-0.96	-1.23	-1.39
	20.	-0.04	-0.04	-0.15	-0.23	-0.36	-0.45	-0.52	-0.76	-0.90
	22.	0.35	0.33	0.24	0.17	0.07	-0.01	-0.07	-0.27	-0.39
	24.	0.74	0.71	0.63	0.58	0.49	0.43	0.38	0.21	0.12
	28.	1.12	1.08	1.03	0.98	0.92	0.87	0.83	0.70	0.62
1.00	12.	-1.01	-1.01	-1.10	-1.19	-1.34	-1.45	-1.53	-1.79	-1.94
	14.	-0.68	-0.68	-0.78	-0.87	-1.00	-1.09	-1.17	-1.40	-1.54
	16.	0.16	0.16	-0.46	-0.53	-0.65	-0.74	-0.80	-1.01	-1.13
	18.	0.04	-0.04	-0.13	-0.20	-0.30	-0.38	-0.44	-0.62	-0.73
	20.	0.28	0.27	0.19	0.13	0.04	-0.02	-0.07	-0.23	-0.32
	22.	0.62	0.59	0.53	0.48	0.41	0.35	0.31	0.17	0.10
	26.	0.96	0.92	0.87	0.83	0.77	0.73	0.69	0.58	0.52
1.25	10.	-0.90	-0.90	-0.98	-1.06	-1.18	-1.27	-1.33	-1.54	-1.66
	12.	-0.62	-0.62	-0.70	-0.77	-0.88	-0.96	-1.02	-1.21	-1.31
	14.	-0.33	-0.33	-0.42	-0.49	-0.58	-0.65	-0.70	-0.87	-0.97
	16.	-0.05	-0.05	-0.13	-0.19	-0.28	-0.34	-0.39	-0.54	-0.62
	18.	0.24	0.22	0.15	0.10	0.03	-0.03	-0.07	-0.20	-0.28
	20.	0.52	0.50	0.44	0.40	0.33	0.29	0.25	0.14	0.07
	24.	0.82	0.79	0.74	0.71	0.65	0.61	0.58	0.49	0.43
1.50	8.	-0.82	-0.82	-0.89	-0.96	-1.06	-1.13	-1.19	-1.36	-1.45
	10.	-0.57	-0.57	-0.65	-0.71	-0.80	-0.86	-0.92	-1.07	-1.16
	12.	-0.32	-0.32	-0.39	-0.45	-0.53	-0.59	-0.64	-0.78	-0.85
	14.	-0.06	-0.07	-0.14	-0.19	-0.26	-0.31	-0.36	-0.48	-0.55
	16.	0.19	0.18	0.12	0.07	0.01	-0.04	-0.07	-0.19	-0.25
	18.	0.45	0.43	0.38	0.34	0.28	0.24	0.21	0.11	0.05
	22.	0.97	0.95	0.91	0.88	0.84	0.81	0.79	0.72	0.68

Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.

David Saorín Candel

Revisión:

Página 192 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

**Nivel de actividad 160 Kcal/h.;**

Vestido	Temp. seca °C	Velocidad relativa (m/s)									
		<0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50	
0	22.	-1.05	-1.05	-1.19	-1.46						
	23.	-0.70	-0.70	-0.86	-1.11						
	24.	-0.36	-0.36	-0.53	-0.75						
	25.	-0.01	-0.01	-0.20	-0.40						
	26.	0.32	0.32	0.13	-0.04						
	27.	0.66	0.61	0.46	0.32						
	28.	0.99	0.94	0.80	0.68						
29.	1.31	1.25	1.13	1.04							
0.25	16.	-1.79	-1.79	-1.86	-2.09	-2.46					
	18.	-1.28	-1.28	-1.38	-1.58	-1.90	-2.16	-2.37			
	20.	-0.76	-0.76	-0.89	-1.06	-1.34	-1.56	-1.75	-2.39	-2.82	
	22.	-0.24	-0.24	-0.38	-0.53	-0.76	-0.95	-1.10	-1.65	-2.01	
	24.	0.28	0.28	0.13	0.01	-0.18	-0.33	-0.46	-0.90	-1.19	
	26.	0.79	0.76	0.64	0.55	0.40	0.29	0.19	-0.15	-0.38	
	28.	1.29	1.24	1.16	1.10	0.99	0.91	0.84	0.60	0.44	
30.	1.79	1.73	1.68	1.65	1.59	1.54	1.50	1.36	1.27		
0.50	14.	-1.42	-1.42	-1.50	-1.66	-1.91	-2.10	-2.25			
	16.	-1.01	-1.01	-1.10	-1.25	-1.47	-1.64	-1.77	-2.23	-2.51	
	18.	-0.59	-0.59	-0.70	-0.83	-1.02	-1.17	-1.29	-1.69	-1.94	
	20.	-0.18	-0.18	-0.30	-0.41	-0.58	-0.71	-0.81	-1.15	-1.36	
	22.	0.24	0.23	0.12	0.02	-0.12	-0.22	-0.31	-0.60	-0.78	
	24.	0.66	0.63	0.54	0.46	0.35	0.26	0.19	-0.04	-0.19	
	26.	1.07	1.03	0.96	0.90	0.82	0.75	0.69	0.51	0.40	
28.	1.48	1.44	1.39	1.35	1.29	1.24	1.20	1.07	1.00		
0.75	12.	-1.15	-1.15	-1.23	-1.35	-1.53	-1.67	-1.78	-2.13	-2.33	
	14.	-0.81	-0.81	-0.89	-1.00	-1.17	-1.29	-1.39	-1.70	-1.89	
	16.	-0.46	-0.46	-0.56	-0.66	-0.80	-0.91	-1.00	-1.28	-1.44	
	18.	-0.12	-0.12	-0.22	-0.31	-0.43	-0.53	-0.61	-0.85	-0.99	
	20.	0.22	0.21	0.12	0.04	-0.07	-0.15	-0.21	-0.42	-0.55	
	22.	0.57	0.55	0.47	0.41	0.32	0.25	0.20	0.02	-0.09	
	24.	0.92	0.89	0.83	0.78	0.71	0.65	0.60	0.46	0.38	
26.	1.28	1.24	1.19	1.15	1.09	1.05	1.02	0.91	0.84		
1.00	10.	-0.97	-0.97	-1.04	-1.14	-1.28	-1.39	-1.47	-1.73	-1.88	
	12.	-0.68	-0.68	-0.76	-0.84	-0.97	-1.07	-1.14	-1.38	-1.51	
	14.	-0.38	-0.38	-0.46	-0.54	-0.66	-0.74	-0.81	-1.02	-1.14	
	16.	-0.09	-0.09	-0.17	-0.24	-0.35	-0.42	-0.48	-0.67	-0.78	
	18.	0.21	0.20	0.12	0.06	-0.03	-0.10	-0.15	-0.31	-0.41	
	20.	0.50	0.48	0.42	0.36	0.29	0.23	0.18	0.04	-0.04	
	22.	0.81	0.78	0.73	0.68	0.62	0.57	0.53	0.41	0.35	
24.	1.11	1.08	1.04	1.00	0.95	0.91	0.88	0.78	0.73		
1.25	8.	-0.84	-0.84	-0.91	-0.99	-1.10	-1.19	-1.25	-1.46	-1.57	
	10.	-0.59	-0.59	-0.66	-0.73	-0.84	-0.91	-0.97	-1.16	-1.26	
	12.	-0.31	-0.33	-0.40	-0.47	-0.56	-0.63	-0.69	-0.86	-0.95	
	14.	-0.07	-0.07	-0.14	-0.20	-0.29	-0.35	-0.40	-0.55	-0.63	
	16.	0.19	0.18	0.12	0.06	-0.01	-0.07	-0.11	-0.24	-0.32	
	18.	0.45	0.44	0.38	0.33	0.26	0.22	0.18	0.08	0.00	
	20.	0.71	0.69	0.64	0.60	0.54	0.50	0.47	0.37	0.31	
22.	0.98	0.96	0.91	0.88	0.83	0.80	0.77	0.69	0.64		
1.50	-2.	-1.63	-1.63	-1.68	-1.77	-1.90	-2.00	-2.07	-2.29	-2.41	
	2.	-1.19	-1.19	-1.25	-1.33	-1.44	-1.52	-1.58	-1.78	-1.88	
	6.	-0.74	-0.74	-0.80	-0.87	-0.97	-1.04	-1.09	-1.26	-1.35	
	10.	-0.29	-0.29	-0.36	-0.42	-0.50	-0.56	-0.60	-0.74	-0.82	
	14.	0.17	0.17	0.11	0.06	-0.01	-0.05	-0.09	-0.20	-0.26	
	18.	0.64	0.62	0.57	0.54	0.49	0.45	0.42	0.34	0.29	
	22.	1.12	1.09	1.06	1.03	1.00	0.97	0.95	0.89	0.85	
26.	1.61	1.58	1.56	1.55	1.52	1.51	1.50	1.46	1.44		

Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.

David Saorín Candel

Revisión:

Página 193 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNO DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

**Nivel de actividad 180 Kcal/h.;**

Vestido clo.	Temp. seca °C	Velocidad relativa (m/s)								
		<0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50
0	18.	-2.00	-2.02	-2.35						
	20.	-1.35	-1.43	-1.72						
	22.	-0.69	-0.82	-1.06						
	24.	-0.04	-0.21	-0.41						
	26.	0.59	0.41	0.26						
	28.	1.16	1.03	0.93						
	30.	1.73	1.66	1.60						
0.25	16.	-1.41	-1.48	-1.69	-2.02	-2.29	-2.51			
	18.	-0.93	-1.03	-1.21	-1.50	-1.74	-1.93	-2.61		
	20.	-0.45	-0.57	-0.73	-0.98	-1.18	-1.35	-1.93	-2.32	
	22.	0.04	-0.09	-0.23	-0.44	-0.61	-0.75	-1.24	-1.56	
	24.	0.52	0.38	0.28	0.10	-0.03	-0.14	-0.54	-0.80	
	26.	0.97	0.86	0.78	0.65	0.55	0.46	0.16	-0.04	
	28.	1.42	1.35	1.29	1.20	1.13	1.07	0.86	0.72	
0.50	14.	-1.08	-1.16	-1.31	-1.53	-1.71	-1.85	-2.32		
	16.	-0.69	-0.79	-0.92	-1.12	-1.27	-1.40	-1.82	-2.07	
	18.	-0.31	-0.41	-0.53	-0.70	-0.84	-0.95	-1.31	-1.54	
	20.	0.07	-0.04	-0.14	-0.29	-0.40	-0.50	-0.81	-1.00	
	22.	0.46	0.35	0.27	0.15	0.05	-0.03	-0.29	-0.45	
	24.	0.83	0.75	0.68	0.58	0.50	0.44	0.23	0.10	
	26.	1.21	1.15	1.10	1.02	0.96	0.91	0.75	0.65	
0.75	10.	-1.16	-1.23	-1.35	-1.54	-1.67	-1.78	-2.14	-2.34	
	12.	-0.84	-0.92	-1.03	-1.20	-1.32	-1.42	-1.74	-1.93	
	14.	-0.52	-0.60	-0.70	-0.85	-0.97	-1.06	-1.34	-1.51	
	16.	-0.20	-0.29	-0.38	-0.51	-0.61	-0.69	-0.95	-1.10	
	18.	0.12	0.03	-0.05	-0.17	-0.26	-0.32	-0.55	-0.68	
	20.	0.43	0.34	0.28	0.18	0.10	0.04	-0.15	-0.26	
	22.	0.75	0.68	0.62	0.54	0.48	0.43	0.27	0.17	
1.00	8.	-0.95	-1.02	-1.11	-1.26	-1.36	-1.45	-1.71	-1.86	
	10.	-0.68	-0.75	-0.84	-0.97	-1.07	-1.15	-1.38	-1.52	
	12.	-0.41	-0.48	-0.56	-0.68	-0.77	-0.84	-1.05	-1.16	
	14.	-0.13	-0.21	-0.28	-0.39	-0.47	-0.53	-0.72	-0.83	
	16.	0.14	0.06	0.00	-0.10	-0.16	-0.22	-0.39	-0.49	
	18.	0.41	0.34	0.28	0.20	0.14	0.09	-0.06	-0.14	
	20.	0.68	0.61	0.57	0.50	0.44	0.40	0.28	0.20	
1.25	2.	-1.74	-1.77	-1.88	-2.04	-2.15	-2.24	-2.51	-2.66	
	4.	-1.27	-1.32	-1.42	-1.55	-1.65	-1.73	-1.97	-2.10	
	6.	-0.80	-0.86	-0.94	-1.06	-1.14	-1.21	-1.41	-1.53	
	10.	-0.33	-0.40	-0.47	-0.56	-0.64	-0.69	-0.86	-0.96	
	14.	0.15	0.08	0.03	-0.05	-0.11	-0.15	-0.29	-0.37	
	18.	0.63	0.57	0.53	0.47	0.42	0.39	0.28	0.22	
	22.	1.11	1.08	1.05	1.00	0.97	0.95	0.87	0.83	
1.50	4.	-1.52	-1.56	-1.65	-1.78	-1.87	-1.95	-2.16	-2.28	
	6.	-1.11	-1.16	-1.24	-1.35	-1.44	-1.50	-1.69	-1.79	
	8.	-0.69	-0.75	-0.82	-0.92	-0.99	-1.04	-1.20	-1.29	
	12.	-0.27	-0.33	-0.39	-0.47	-0.53	-0.58	-0.72	-0.79	
	16.	0.15	0.09	0.05	-0.02	-0.07	-0.11	-0.22	-0.29	
	20.	0.58	0.53	0.49	0.44	0.40	0.37	0.28	0.23	
	24.	1.01	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85	0.79	0.75	

Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.

David Saorín Candel

Revisión:

Página 194 de 201



**Nivel de actividad 215 Kcal/h.;**

Vestido clo	Temp. seca °C	Velocidad relativa (m/s)									
		< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50	
0	16,			-1,88	-2,22						
	18,			-1,34	-1,63						
	20,			-0,79	-1,05						
	22,			-0,23	-0,44						
	24,			0,34	0,17						
	26,			0,91	0,78						
0,25	14,			-1,31	-1,52	-1,85	-2,12	-2,34			
	16,			-0,89	-1,08	-1,37	-1,61	-1,81	-2,49		
	18,			-0,47	-0,63	-0,89	-1,10	-1,27	-1,87	-2,26	
	20,			-0,05	-0,19	-0,41	-0,58	-0,73	-1,24	-1,38	
	22,			0,39	0,28	0,09	-0,03	-0,17	-0,60	-0,88	
	24,			0,84	0,74	0,60	0,48	0,39	0,03	-0,17	
0,50	12,			-0,97	-1,11	-1,34	-1,51	-1,65	-2,12	-2,40	
	14,			-0,62	-0,76	-0,96	-1,11	-1,24	-1,65	-1,91	
	16,			-0,28	-0,40	-0,58	-0,71	-0,82	-1,19	-1,42	
	18,			0,07	-0,03	-0,19	-0,31	-0,41	-0,73	-0,92	
	20,			0,42	0,33	0,20	0,10	0,01	-0,26	-0,43	
	22,			0,78	0,71	0,60	0,52	0,45	0,22	0,08	
0,75	10,			-0,71	-0,82	-0,99	-1,11	-1,21	-1,53	-1,71	
	12,			-0,42	-0,52	-0,67	-0,79	-0,88	-1,16	-1,33	
	14,			-0,13	-0,22	-0,36	-0,46	-0,54	-0,79	-0,94	
	16,			0,16	0,08	-0,04	-0,13	-0,20	-0,42	-0,56	
	18,			0,45	0,38	0,28	0,20	0,14	-0,05	-0,17	
	20,			0,75	0,69	0,60	0,54	0,49	0,32	0,22	
1,00	6,			-0,78	-0,87	-1,01	-1,12	-1,20	-1,45	-1,60	
	8,			-0,54	-0,62	-0,75	-0,85	-0,92	-1,15	-1,29	
	10,			-0,29	-0,37	-0,49	-0,57	-0,64	-0,86	-0,98	
	12,			-0,04	-0,11	-0,22	-0,29	-0,36	-0,55	-0,66	
	14,			0,21	0,15	0,06	-0,01	-0,07	-0,24	-0,34	
	16,			0,47	0,41	0,33	0,27	0,22	0,07	-0,02	
1,25	4,			-1,46	-1,56	-1,72	-1,83	-1,91	-2,17	-2,32	
	6,			-1,05	-1,14	-1,27	-1,37	-1,44	-1,67	-1,80	
	8,			-0,62	-0,70	-0,81	-0,90	-0,96	-1,16	-1,27	
	10,			-0,19	-0,26	-0,35	-0,42	-0,48	-0,64	-0,74	
	12,			0,25	0,20	0,12	0,06	0,02	-0,12	-0,20	
	14,			0,70	0,66	0,60	0,55	0,52	0,41	0,35	
1,50	8,			-1,44	-1,53	-1,67	-1,76	-1,83	-2,05	-2,17	
	10,			-1,07	-1,15	-1,27	-1,35	-1,42	-1,61	-1,72	
	12,			-0,70	-0,77	-0,87	-0,94	-1,00	-1,17	-1,27	
	14,			-0,31	-0,37	-0,46	-0,53	-0,57	-0,72	-0,80	
	16,			0,07	0,02	-0,05	-0,10	-0,14	-0,27	-0,34	
	18,			0,47	0,43	0,37	0,33	0,29	0,19	0,14	



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

**Nivel de actividad 270 Kcal/h.**

Vestido clo	Temp. seca °C	Velocidad relativa (m/s)										
		<0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50		
0	14.				-1,92	-2,49						
	16.				-1,36	-1,87						
	18.				-0,80	-1,24						
	20.				-0,24	-0,61						
	22.				0,34	-0,04						
	24.				0,93	0,70						
	26.				1,52	1,36						
28.				2,12	2,02							
0,25	12.				-1,19	-1,51	1,80	-2,02				
	14.				-0,77	-1,07	-1,31	-1,51	-2,21			
	16.				-0,35	-0,61	-0,82	-1,00	-1,61	-2,02		
	18.				0,08	-0,15	-0,33	-0,48	-1,01	-1,36		
	20.				0,51	0,32	0,17	0,04	0,41	-0,71		
	22.				0,96	0,60	0,68	0,57	0,21	-0,03		
	24.				1,41	1,29	1,19	1,11	0,83	0,64		
26.				1,87	1,78	1,71	1,65	1,45	1,32			
0,50	10.				-0,78	-1,00	1,18	1,32	1,79	2,07		
	12.				-0,43	-0,64	0,79	0,92	1,34	1,60		
	14.				-0,09	-0,27	0,41	0,52	0,90	1,13		
	16.				0,26	0,10	0,02	0,12	0,45	0,65		
	18.				0,61	0,47	0,37	0,28	0,00	-0,18		
	20.				0,96	0,85	0,76	0,68	0,45	0,30		
	22.				1,33	1,24	1,16	1,10	0,91	0,79		
24.				1,70	1,63	1,57	1,53	1,38	1,28			
0,75	6.				-0,75	-0,93	-1,07	1,18	1,52	1,72		
	8.				-0,47	-0,64	-0,76	0,86	1,18	1,36		
	10.				-0,19	0,34	0,45	0,54	0,83	1,00		
	12.				0,10	0,03	0,14	-0,22	0,48	0,63		
	14.				0,39	0,27	0,18	0,11	0,12	0,26		
	16.				0,69	0,58	0,50	0,44	0,24	0,12		
	18.				0,98	0,89	0,82	0,77	0,59	0,49		
20.				1,28	1,20	1,14	1,10	0,95	0,87			
1,00	-6.				-1,68	-1,88	-2,03	2,14	2,50	2,70		
	-2.				-1,22	-1,39	-1,52	1,62	1,94	2,12		
	2.				-0,74	-0,90	-1,01	1,10	1,37	1,53		
	6.				-0,26	0,39	0,49	0,56	0,80	0,93		
	10.				0,22	0,12	0,04	0,02	0,22	0,33		
	14.				0,73	0,64	0,58	0,53	0,38	0,29		
	18.				1,24	1,18	1,13	1,09	0,97	0,91		
22.				1,77	1,73	1,69	1,67	1,59	1,54			
1,25	-8.				1,36	-1,52	-1,64	-1,73	2,00	2,18		
	-4.				-0,93	-1,10	-1,20	-1,28	1,52	1,65		
	0.				0,54	-0,66	-0,75	-0,82	1,03	1,15		
	4.				0,12	-0,22	0,30	0,36	0,54	0,64		
	8.				0,31	0,22	0,16	0,11	-0,08	-0,13		
	12.				0,75	0,68	0,63	0,59	0,47	0,40		
	16.				1,20	1,15	1,11	1,08	0,98	0,93		
20.				1,66	1,62	1,59	1,57	1,50	1,46			
1,50	-10.				1,13	1,26	1,35	1,42	1,64	1,76		
	-6.				0,76	-0,87	-0,96	-1,02	1,21	1,32		
	-2.				-0,39	-0,49	-0,58	-0,62	0,79	0,88		
	2.				-0,01	0,10	0,16	0,21	0,36	0,44		
	6.				0,38	0,30	0,25	0,21	0,08	0,01		
	10.				0,76	0,70	0,66	0,62	0,52	0,46		
	14.				1,17	1,12	1,09	1,06	0,98	0,93		
18.				1,58	1,54	1,52	1,50	1,44	1,40			

Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.

David Saorín Candel

Revisión:

Página 196 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

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.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 197 de 201



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



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

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, deberá 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.

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 199 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

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).

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 200 de 201



Universidad  
Politécnica de  
Cartagena

**SOBRECARGA TÉRMICA DEL  
ORGANISMO EN LOS  
PROCESOS DE FUSIÓN DE  
METALES EN HORNOS DE  
CRISOL**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA  
QUÍMICA Y AMBIENTAL**

## 6 Bibliografía:

<p><b>The development of a practical heat stress assessment methodology for use in UK industry</b></p> <p>Department of Human Sciences Loughborough University Reino Unido</p>	<p><b>Damian Bethea &amp; Ken Parsons</b></p>
<p><b>Heat stress standard iso 7243 and its global application</b></p> <p>(Norma ISO 7243 sobre estrés térmico y su aplicación global)</p>	<p><b>Ken Parsons</b></p>
<p><b>Thermal Comfort and the Heat Stress Indices</b></p> <p>Heller Institute of Medical Research, Sheba Medical Center, Tel Hashomer and the Sackler Faculty of Medicine, Tel Aviv University, Israel</p>	<p><b>Yoram EPSTEIN and Daniel S. MORAN</b></p>
<p><b>Salud y Seguridad Laboral en ambientes térmicos</b></p> <p>En: La <b>seguridad</b> industrial: Fundamentos y aplicaciones. Programa de Calidad y <b>Seguridad</b> Industrial,</p>	<p><b>Francisco Vighi Arroyo</b></p> <p><b>Catedrático Emérito de Termotecnia ETSII-UPM</b></p>
<p><b>Trabajando en ambientes muy calurosos</b></p>	<p><b>DEPARTAMENTO DE SALUD Y SERVICIOS HUMANOS</b></p> <p>Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades, Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional</p>

**Ingeniería técnica Industrial,  
Especialidad: mecánica.**

David Saorín Candel

Revisión:

Página 201 de 201