

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL MENDOZA**

**POSGRADO DE ESPECIALIZACIÓN EN HIGIENE  
Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO**

**Ciclo 2010**

**MATERIA:** Medicina Laboral

**PROFESOR:** Dr. Carlos Trad Fager

**MONOGRAFÍA:** Estrés Térmico

**INTEGRANTES:** Soledad Romo; Marcelo Benedetti; Ricardo Puglisi

**FECHA:** Octubre 2010

## Índice:

### Carga térmica y confort ambiental

Introducción.....	4
Desarrollo.....	4
Capítulo 1.....	4
Termorregulación en el ser humano	
Aclimatación del calor	
Determinación fisiológica del esfuerzo térmico	
Capítulo 2.....	7
Desórdenes fisiológicos producidos por el calor	
2.1. Golpe de calor	
2.2. Colapso calórico	
2.3. Agotamiento por deshidratación y/o pérdida de sal	
2.4. Calambres	
2.5. Enfermedades en las glándulas sudoríparas	
Capítulo 3.....	9
Índice de carga térmica	
Capítulo 4.....	9
Índice empírico	
Índice de temperatura efectiva	
Índice de temperatura efectiva corregida	
Índice pronosticado de 4 hs de sudoración	
Índice de globo húmedo	
Capítulo 5.....	11
Índice analítico	
Índice del esfuerzo calórico	
Índice del esfuerzo térmico	
Nuevo índice de temperatura efectivo	
Índice de sudoración requerida	
Capítulo 6.....	14
Instrumental de medición	
Sensores	
Capítulo 7.....	16
Los instrumentos	
Higrómetros	
Anemómetros	
Instrumentos integradores	
Capítulo 8.....	18
El índice TGBH como índice normalizado	
Posiciones de medición	

Promedio en el tiempo	
Conclusiones	
Capítulo 9.....	23
Confort ambiental	
La terminología del calor ambiental	
Capítulo 10.....	26
Mediciones	
Capítulo 11.....	26
Antecedentes fisiológicos	
Principales efectos de la temperatura sobre el organismo	
Temperaturas bajas. Consecuencias de la hipotermia	
Temperaturas altas. Consecuencias de la hipertermia	
Índice para la evaluación del calor	
Índice de estrés térmico	
Tolerancia a los ambientes térmicos	
Variables que intervienen en el intercambio térmico	
Ambientes cálidos	
Capítulo 12.....	31
12.1. Procedimientos para el control del calor	
Protección contra las fuentes exteriores de calor	
Protección contra las fuentes interiores de calor	
Tratamiento del medio de propagación	
Ventilación general	
Acondicionamiento del aire	
Extracción localizada	
Adopción de medios de protección sobre las personas	
Automatización del proceso	
Alejamiento	
Ventilación localizada	
Protección personal	
Aclimatación del calor	
Higiene de las bebidas y alimentos	
La supervisión médica	
Capítulo 13.....	36
13.1. Ambientes fríos	
13.2. Procedimientos de control de ambientes fríos	
Velocidad del aire	
Ropa de trabajo	
Conclusiones y recomendaciones.....	38
Resumen.....	38
Bibliografía.....	42

## Introducción:

El calor es uno de los riesgos físicos que más frecuentemente debe evaluar y controlar el higienista. En estos últimos años han aparecido normas internacionales, no solo para las mediciones de carga térmica, sino también para el estudio de los ambientes normales y del confort ambiental.

Nos referiremos primero a los fenómenos producidos por la carga térmica y su medición, que se hallan contemplados en la normativa nacional e internacional, para luego hacer una introducción y tratar brevemente los problemas de confort ambiental sobre los que todavía no se dispone de una legislación universalmente aceptada.

Los fenómenos de carga térmica ocurren en ambientes con alta temperatura (época estival), alta radiación térmica (industria siderúrgica, del vidrio, cerámica, cementera, etc.), altos niveles de humedad (minas, lavaderos) o en lugares donde el aumento del nivel de actividad es elevado, o donde se está expuesto directamente a la radiación solar (agricultura, construcción o actividad deportiva en general).

Cada vez que se producen situaciones de carga térmica, aparecen manifestaciones fisiológicas del esfuerzo producido sobre el cuerpo; podemos citar entre estas reacciones, el aumento de la temperatura superficial e interna, exceso de sudoración, aumento del ritmo respiratorio y cardíaco, etc.

En situaciones límite, todos estos factores pueden provocar serios daños a la salud, momentánea o definitivamente.

## Desarrollo:

### Capítulo I:

#### Termorregulación en el ser humano

En los ambientes térmicos moderados, el sistema termorregulador del cuerpo humano tiende a mantener un balance calórico (el calor producido por la actividad debe ser igual a la cantidad de pérdida/ganancia producida por convección, radiación y evaporación).

La ecuación de balance térmico puede ser expresada de la siguiente manera:

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

Donde:

S = intercambio calórico, y se expresa en  $W/m^2$ .

M = calor metabólico.

W = trabajo externo.

R = calor perdido por radiación.

C = calor perdido por convección.

E = calor perdido por evaporación.

$C_{\text{res}}$  = pérdida seca por respiración.

$E_{\text{res}}$  = pérdida latente por respiración.

K = pérdida calórica por conducción.

El calor perdido por conducción (K) se produce en las partes del cuerpo que están en contacto con las superficies externas e a través de las herramientas. Esta pérdida calórica tiene muy poca influencia en el intercambio

calórico total, y generalmente se desprecia. Las pérdidas calóricas por respiración son también despreciables, y el trabajo externo puede ajustarse a cero para estar dentro de un margen de seguridad.

Si el contenido del calor del cuerpo tiene que permanecer constante ( $S = 0$ ), entonces la pérdida calórica por convección, radiación y evaporación debe ser igual a la producción de calor metabólico ( $M - W$ ). En ambientes térmicos calientes, se trata generalmente de una ganancia calórica por radiación y posiblemente también por convección, ya que la temperatura radiante y la temperatura del aire son usualmente más altas que la temperatura del cuerpo.

La carga térmica del ambiente puede entonces ser causada por una situación en la cual la pérdida calórica por evaporación no es suficiente para compensar la ganancia calórica por radiación y por convección. La carga térmica en el cuerpo también puede ser producida por un aumento de la actividad metabólica (mayor trabajo). La actividad muscular siempre genera una producción energética, y debido a que la eficiencia del trabajo mecánico ( $W/M$ ) del cuerpo humano se halla entre 0 y 25%, el 75% o más restante se transforma en calor. Atletas bien entrenados pueden alcanzar durante un periodo de actividad intensa producciones de calor de alrededor de 2.000 Watts.

Teóricamente, el calor producido durante un periodo laboral de este tipo, alcanzaría a elevar la temperatura de un cuerpo de 70 kg hasta los 60°C si no se produjera un intercambio calórico con el medio ambiente.

La función de la regulación de temperatura es la de controlar el balance calórico para mantener a ésta alrededor de 37°C en los puntos clave del cuerpo, como el cerebro, el corazón y el intestino. El centro de regulación térmica se halla en el hipotálamo y su función es la de un termostato con sensores distribuidos en distintas partes del cuerpo pero sobre todo en la piel.

Cuando una persona está expuesta a un ambiente caliente, o desarrolla una intensa actividad, se produce un fenómeno de vasodilatación. Al incrementarse el flujo sanguíneo, el calor es conducido por el núcleo del cuerpo hacia la piel. La temperatura de ésta aumenta, especialmente en las extremidades. Si las temperaturas del ambiente son más bajas que la temperatura de la piel, se produce una pérdida calórica por radiación y convección, o dicho de otra manera, la ganancia calórica por radiación y convección disminuirá. Si la carga térmica es lo suficientemente alta, se activarán las glándulas sudoríparas y la evaporación del sudor producido por éstas enfriará la piel. Un ser humano posee aproximadamente dos mil glándulas sudoríparas, pero la activación de éstas no es uniforme de individuo a individuo. El sudor no se produce uniformemente alrededor de toda la piel, sino que comienza en zonas localizadas y se va distribuyendo gradualmente hacia una superficie mayor. En determinado momento, a menudo antes que se halle totalmente cubierto por sudor, se producen desde el cuerpo goteos del mismo, por lo que parte de la mejora provocada por este se resiente, y el cuerpo entero sufre un desgaste mayor, aumentando entonces el ritmo cardíaco y respiratorio.

Cuando la evaporación del sudor no es suficiente para mantener el balance térmico del cuerpo, aumenta la temperatura interna de éste. Automáticamente el sistema termorregulador tratará de generar una nueva situación de balance hasta que éste se descontrola y se producen los síntomas característicos del golpe de calor.

El esfuerzo producido en el cuerpo puede ser expresado como un aumento en la temperatura de la piel, temperatura interna, aumento del ritmo cardíaco y pérdida por sudoración. Existen limitaciones al grado máximo de esfuerzo que el cuerpo puede tolerar; estas limitaciones se expresan bien en la norma ISO/DIS 7933, como se observa en la siguiente tabla:

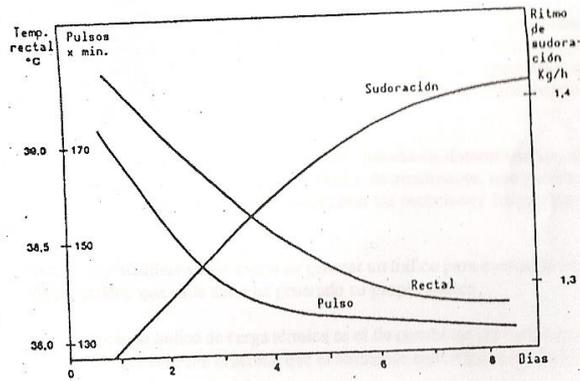
			No aclimatadas		Aclimatadas	
			Riesgo	Peligro	Riesgo	Riesgo
Ritmo máximo de sudoración	Reposando	W/m <sup>2</sup>	100	150	200	300
		(g/h)	(260)	(390)	(520)	(780)
	SW <sub>max</sub>	W/m <sup>2</sup>	200	250	300	400
		(g/h)	(520)	(650)	(780)	(1.040)
Humedad de la piel	W <sub>max</sub>		0,85		1,00	
Deshidratación	D <sub>max</sub>	Wh/m <sup>2</sup>	1.000	1.250	1.500	2.000
		(g)	(2.600)	(3.250)	(3.900)	(5.200)
Almacenamiento calórico	Q <sub>max</sub>	Wh/m <sup>2</sup>	50	60	50	60
Variación de la temperatura rectal y de la piel	Δt <sub>rec</sub>	°C	0,8	1	0,8	1
	Δt <sub>piel</sub>	°C	2,4	3	2,4	3

**Tabla 1**

Estudiando estas tablas, puede observarse que una persona puede sudar más cuando está activa que en una actividad sedentaria. La humedad de la piel se expresa como un porcentaje del total. Cabe agregar que comienza el límite de umbral doloroso en la piel alrededor de los 45°C.

### Aclimatación al calor

Los fenómenos de aclimatación al calor son los fenómenos que se producen gradualmente en una persona no acostumbrada, cuando ésta está expuesta gradualmente al mismo. Después de algunos días de exponerse al calor, una persona se acostumbra y lo tolera mejor. La mayoría de estos cambios comienzan a los cuatro días y se completan alrededor de doce a catorce días (observar la tabla 1). Este efecto de aclimatación dura aún varias semanas después del periodo de exposición. Es por esta razón que nunca se recomienda iniciar trabajos en ambientes térmicos calurosos un día lunes o cuando una persona recién regresó de sus vacaciones. Resultan asimismo contraproducentes a esta capacidad de aclimatación, el cansancio y el consumo de alcohol.



**Figura 1**

### Determinación fisiológica del esfuerzo térmico

Las mediciones fisiológicas son sin duda el método más perfecto y exacto para evaluar el comportamiento de un individuo sometido a carga térmica. Estas mediciones podrían ser: ritmo cardíaco, temperatura de piel, temperatura interna, sudoración y deshidratación. Brevemente podríamos resumirlas de la siguiente manera: ritmo cardíaco (por medio de electrocardiogramas), temperatura superficial (por medio de sensores), temperatura interna (por una punta rectal o esofagal), sudoración y deshidratación (por diferencia de peso).

### Capítulo 2:

#### Desórdenes fisiológicos producidos por el calor

Entre los desórdenes producidos por el calor, podemos mencionar al golpe y colapso calórico, la deshidratación, los calambres y las enfermedades de las glándulas sudoríparas.

##### 2.1: Golpe de calor

El golpe de calor ocurre cuando el sistema termorregulador no puede manejar la situación de carga térmica, y la temperatura aumenta continuamente; se disminuye la función cerebral, y los mecanismos de disipación calórica no actúan correctamente. Los síntomas son el desmayo, las convulsiones, delirios alucinatorios, y hasta un estado de coma, que se producen aún sin advertencia. Los síntomas externos son una piel caliente, seca y coloreada. La temperatura interna aumenta hasta alrededor de los 40°C, y si ésta supera los 42-45°C se producen las convulsiones y el coma. Ésta a veces es fatal, y en los casos de supervivencia, se producen serios daños al cerebro y a los riñones.

##### 2.2: Colapso calórico

El colapso o desmayo calórico se produce por el excesivo esfuerzo sobre el sistema circulatorio. Los síntomas son mareos, dolor de cabeza, palidez, y una piel sudorosa. En estos casos se produce también una deficiencia de oxígeno que influye en la actividad del cerebro y del corazón. La deshidratación aumenta los riesgos de un colapso calórico. La temperatura interna es usualmente normal.

### 2.3: Agotamiento por deshidratación y/o pérdida de sal

El agotamiento por deshidratación ocurre cuando la pérdida del agua producida por la transpiración no es reemplazada por la ingesta de líquidos, con lo que el contenido de agua del cuerpo disminuye notablemente. Usualmente, los trabajadores no reponen el agua perdida durante la jornada laboral, sino que lo hacen luego cuando están en sus hogares. La tendencia actual apunta a que estos repongan el fluido perdido mientras están en actividad. Generalmente se le suministran líquidos especialmente acondicionados de acuerdo a la tarea a desarrollar.

Se considera como límite de deshidratación sin riesgos, a una pérdida de líquido no superior al 1,5% del peso del individuo. Deben observarse precauciones especiales en lugares desérticos o semidesérticos, en donde el sudor se evapora rápidamente y puede no notarse una sudoración exagerada. En estos casos aumentan los tiempos de reacción y disminuye la capacidad mental, y el cuerpo en general es más propenso a las intoxicaciones, especialmente las producidas por el alcohol.

A veces a los fenómenos de deshidratación los acompañan los de pérdida de cloruro de sodio que se producen por no ser reemplazada la cantidad de sal perdida. Generalmente los líquidos para beber en condiciones de carga térmica, incorporan una cantidad adecuada de esta sal y otras sales perdidas, por lo que su uso es extremadamente recomendable, sobre todo en la industria siderúrgica, del vidrio y de la construcción.

### 2.4: Calambres

Sin entrar a describir la caracterización completa de éstos, podemos decir que son dolores agudos producidos en los músculos, sobre todo en los trabajadores no acostumbrados al calor, y se producen por la ingesta de una gran cantidad de agua para reemplazar la perdida por sudoración, pero sin que ésta incorpore las sales perdidas.

### 2.5: Enfermedades en las glándulas sudoríparas

Las enfermedades en las glándulas sudoríparas se producen después de una prolongada exposición en el tiempo al calor (meses o años); en ambientes sumamente húmedos en los cuales el sudor no puede evaporarse libremente. Es la típica enfermedad de mineros y de personal que trabaja en lavaderos. En estos casos las glándulas sudoríparas de ciertas secciones del cuerpo dejan de funcionar adecuadamente. Esta disfunción disminuye sudoración, con lo cual la persona disminuye su resistencia calórica. Generalmente aparecen picazones, pinchazos o erupciones.

### Capítulo 3:

#### Índices de carga térmica

La manera más eficiente y exacta para evaluar si un ambiente es demasiado caliente y riesgoso, es tomar mediciones directas de la temperatura interna, del ritmo cardíaco y del nivel de sudoración de los individuos expuestos a él, y compara estos valores de la tabla 1. Esto es sumamente difícil y en la mayoría de los casos no sería aceptable para los involucrados.

Es por esta razón que siempre ha existido un gran interés en determinar una combinación de parámetros ambientales, de nivel de actividad y de vestimenta, que puedan expresar el nivel de carga térmica aceptable y relacionado con las reacciones fisiológicas del cuerpo humano.

Existen entre 30 y 40 diferentes maneras de generar un índice para evaluar la carga térmica, casi podríamos decir que cada autor ha generado su propio índice.

El objetivo de crear un índice de carga térmica es el de combinar las variables ambientales en un único valor que describa la acción que el ambiente ejerce sobre los individuos.

Los índices de carga térmica pueden dividirse en dos grandes clases: los empíricos y los analíticos.

### Capítulo 4:

#### Índices empíricos

Un índice de carga térmica empírico, se halla normalmente basado sobre la correlación de dos o más parámetros térmicos, y la respuesta del cuerpo humano a éstos. Esta relación es estimada empíricamente, de ensayos sobre muchos individuos. Haremos una breve referencia de los índices empíricos más conocidos, y nos dedicaremos con mayor amplitud al índice WBGT (TGBH), que es el determinado por la norma ISO 7243, que es el adoptado con muy ligeras variantes por la legislación mundial.

#### Índice de temperatura efectiva (ET)

Este índice fue creado entre los años 1923 y 1925 por Houghten, Yaglou y Miller. Toma en cuenta la temperatura del aire, su velocidad de circulación y la humedad.

El criterio para determinar los efectos de este parámetro fue “la sensación térmica instantánea experimentada por los individuos al entrar en un determinado ambiente”.

La unidad o base del índice de temperatura efectiva es la temperatura de un aire saturado, con una velocidad media de 0,12 m/s. Cualquier combinación de temperatura, velocidad de aire y humedad que tenga un valor dado de ET se supone que produce la misma sensación térmica.

El índice de temperatura efectiva toma la forma de dos nomogramas cuyo valor puede determinarse de cualquier combinación de temperaturas de bulbo seco y húmedo, y de la velocidad del aire. Uno de los nomogramas es para hombres semidesnudos, y otro para gente ligeramente vestida.

### Índice de temperatura efectiva corregida (CET)

Debido a que el índice ET no considera los efectos de radiación térmica, se ha sugerido una corrección cuando éste contribuye a la carga térmica. En éstos se reemplaza la temperatura del bulbo seco, por la temperatura medida por intermedio de un globo termómetro, observar la figura 2.

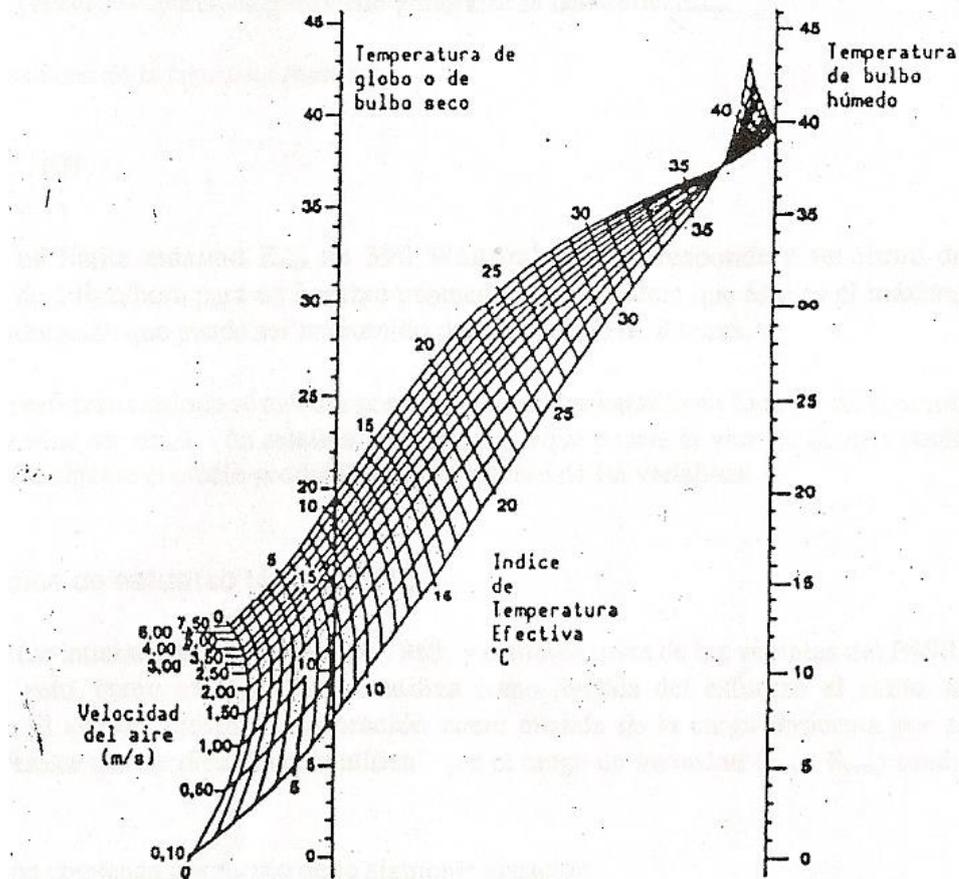


Figura 2

### Índice pronosticado de 4 horas de sudoración (P4SR)

Este índice fue desarrollado durante la segunda guerra mundial por la marina inglesa. El P4SR es un índice basado en el concepto de que el ritmo de sudoración es un índice adecuado a la carga térmica. Su valor es normalmente el generado por hombres aclimatados, expuestos al medio ambiente por un intervalo de cuatro horas. El grado de agresión del medio ambiente resulta entonces medido por el esfuerzo que obliga a producir. El valor P4SR puede considerarse mejor como un número índice, que como una efectiva medida de la sudoración producida.

Este índice combina los efectos de la temperatura del aire, su velocidad, la temperatura radiante media, y simultáneamente considera el ritmo metabólico y la carga impuesta por la vestimenta. Este índice es empírico y no tiene ninguna formulación analítica. Puede ser extraído de nomogramas.

### Índice de globo húmedo (WGT)

Éste es uno de los índices más simples de determinar, ya que sólo hace falta efectuar una sola medición de temperatura. Fue desarrollado por Botsford, y se basa en la medición de temperatura efectuada por medio de un termómetro colocado en el centro de una esfera negra hueca de 65 mm de diámetro cubierta por un género húmedo. Cuando esta esfera se halla colocada en un ambiente caliente se alcanza el equilibrio entre el enfriamiento evaporativo y el calentamiento convectivo y radiante. Este punto de equilibrio se logra luego de diez o quince minutos, y se denomina WGT.

### Índice de globo termómetro bulbo húmedo (TGBH o WBGT)

Este índice fue originariamente desarrollado por la marina norteamericana para evaluar el riesgo de los efectos calóricos mientras las tropas efectuaban entrenamientos.

Los transductores que luego evaluaremos con más detalle, responden a los factores ambientales de la misma manera que el cuerpo humano. De la investigación realizada pudo determinarse que la mejor combinación era la siguiente:

$$TGBH = 0,7 t_{bh} + 0,3 t_g$$

En donde  $t_{bh}$  es la temperatura de bulbo húmedo natural, y  $t_g$  es la temperatura del globo. Las temperaturas se expresan en grados °C o °F.

Sin embargo se alcanzó a determinar que en presencia de luz solar directa la temperatura del globo sobreestimaba la influencia de la radiación, se introdujo entonces un tercer transductor  $t_{bs}$  para medir la temperatura del aire. La fórmula resultante fue entonces la misma que la anterior, pero escrita de la siguiente manera:

$$TGBH = 0,7 t_{bh} + 0,2 t_g + 0,1 t_{bs}$$

Una vez que este índice es medido, sus valores son comparados con los valores límite recomendados por la ISO 7243, o de la legislación local. Este índice será tratado con todo detalle posteriormente.

## Capítulo 5:

### Índices analíticos

Los índices analíticos están normalmente basados en el análisis del balance calórico humano, y en el intercambio calórico con el ambiente. Éste índice generalmente incluye como mínimo cuatro parámetros ambientales y lo

normal es evaluar el nivel de actividad y la carga impuesta por la vestimenta. Estudiaremos ahora los índices más conocidos.

### Índice del esfuerzo calórico (HSI)

Este índice fue desarrollado en 1955 por Belding y Hatch en la universidad de Pittsburgh. Se halla basado en un modelo de intercambio calórico que asume como constante una temperatura superficial o de piel con un valor de 35°C. Se determina dentro de la zona de regulación del calor evaporado, el ritmo de sudoración  $E_{req}$  es igual a la producción de calor metabólico (M) menos el calor perdido por radiación (R) y convección (C). La fórmula es la siguiente:

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

No se efectúa ninguna distinción entre la producción del calor metabólico y la energía requerida para efectuar tareas, se ignora también la pérdida calórica generada por respiración.

La máxima pérdida evaporativa que puede generarse se denomina  $E_{max}$  y el índice se define de la siguiente manera:

$$HSI = \left[ \frac{E_{req}}{E_{max}} \right] 100$$

Se admite el límite máximo  $E_{max}$  de 390 W/m<sup>2</sup>, que corresponde a un ritmo de sudoración de 1 litro/hora para un hombre promedio. Se considera que éste es el máximo límite de sudoración que puede ser mantenido por un periodo de 8 horas.

El índice de esfuerzo calórico se calcula por medio de tablas basadas en función de distintas variables, y solía ser usado con relativa frecuencia porque poseía la ventaja de que podía observarse fácilmente el efecto producido por el cambio de las variables.

### Índice de esfuerzo térmico (ITS)

Este índice fue introducido por Givoni en 1963, y combina parte de las ventajas del P4SR, y del HSI, pero, como en el P4SR, se utiliza como medida del esfuerzo el ritmo de sudoración. El uso del índice de sudoración como medida de la carga impuesta por el ambiente, resulta una medida "más analítica" que el rango de humedad ( $E_{req} / E_{max}$ ) usado por el HSI.

La derivación comienza por la siguiente ecuación:  $E_{req} = H - (C + R) - R_s$  en la cual se usa la misma notación que anteriormente, pero donde aparece  $R_s$ , que es la influencia de la carga solar. La producción de calor metabólico (H) se utiliza para dar una mayor exactitud al cálculo, cuando se realiza trabajo externo. En la zona prescriptiva, es decir cuando el cuerpo se halla en equilibrio térmico, el ritmo de sudoración medido en equivalentes W/m<sup>2</sup> es generalmente el valor  $E_{req}$ . Debido a que la sudoración sobre el cuerpo humano no es pareja, se introduce el término  $\eta_{sc}$ . Con lo que la fórmula resultante es:

$$Sw = \frac{E_{req}}{\eta_{sc}}$$

La eficiencia de sudoración, que es  $\eta_{sc}$  depende de  $E_{req}/E_{max}$ , en donde  $E_{max}$  depende de la velocidad del aire y de la presión parcial del vapor de agua en el aire ambiente. Sustituyendo en la ecuación básica el valor de  $E_{req}$ , determinamos la fórmula del ITS, que es una predicción del rango de sudoración. En esta fórmula el factor 0,37 convierte el ritmo de sudoración de  $W/m^2$  en  $g/h$  para un hombre promedio.

$$ITS = \frac{H - (R + C) - R_s}{0,37 \eta_{sc}}$$

Esta fórmula resulta relativamente fácil de computar, sobre todo si se dispone de una calculadora programable.

#### Nuevo índice de temperatura efectiva (ET\*)

Este índice no debe ser confundido con los empíricos, tratados anteriormente, es un índice analítico, que toma en cuenta la ecuación de balance calórico desarrollada por Gagge.

Este ET\* combina la influencia del nivel de actividad, vestimenta, temperatura del aire, temperatura media radiante, velocidad del aire y humedad. Puede ser calculado conociendo los seis factores. El esfuerzo térmico del ET\*, es el mismo que el esfuerzo térmico de una persona en estado sedentario, vestida, con 0,6 clo y expuesta a una humedad relativa del 50% y una temperatura equivalente igual a ET\*.

Este índice resulta sumamente difícil de describir sin realizar un trabajo completo, pero es suficiente conocer que se basa en el balance calórico, y que considera estos seis factores.

#### Índice de sudoración requerido (SR).

Este índice es un índice analítico, actualmente propuesto por ISO como norma preliminar DIS 7933. Puede ser usado como suplemento del más simple TGBH, en los casos en los que se requiera un análisis más detallado. Este método es en principio muy similar al del índice ITS. Se basa en la ecuación de balance calórico para el cuerpo humano, y estima la sudoración requerida para el equilibrio térmico.

Se considera primero la ecuación:

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

Ésta puede ser calculada conociendo el ritmo metabólico (M, W), la aislación térmica de la vestimenta ( $I_{clo}$ ), la temperatura del aire ( $T_a$ ), su velocidad ( $V_a$ ), y la temperatura media radiante ( $T_r$ ). Luego la pérdida calórica por convección (C) y por radiación (R) puede ser calculada.

La evaporación máxima que puede ser absorbida por el ambiente se estima por medio de la siguiente ecuación:

$$E_{\max} = \frac{P_{sk,s} - P_s}{R_e}$$

Dónde:

$P_{sk,s}$ , es la presión del vapor de agua saturado sobre la piel ( $\approx 5,9$  kPa).

$P_s$ , presión del vapor del agua en el ambiente (kPa).

$R_e$ , resistencia de la vestimenta ( $m^2$  kPa/W).

Basándose en la evaporación requerida y en la máxima evaporación, resulta posible estimar los siguientes factores:

Humedad requerida por la piel:

$$W_{req} = \frac{E_{req}}{r}$$

Ritmo de sudoración requerido:

$$SW_{req} = \frac{W_{req}}{r}$$

Eficiencia de sudoración:

$$r = 1 - 0,5e^{-6,6(1 - W_{req})}$$

Dependiendo de las limitaciones fisiológicas en factores como el ritmo de sudoración, pérdida total de sudor, almacenamiento calórico y humedad de la piel, resulta posible evaluar si las condiciones de trabajo resultan aceptables. Si éstas resultan sobrepasar los límites, existen procedimientos para calcular el tiempo permisible de trabajo. Como en los otros métodos analíticos, es necesario conocer el nivel de actividad, la vestimenta y los cuatro parámetros fundamentales del ambiente.

## Capítulo 6:

### Instrumental de medición

Como mencionamos anteriormente, para evaluar las condiciones de carga térmica y confort ambiental es necesario efectuar mediciones de distintas magnitudes, estas magnitudes pueden dividirse en fundamentales y derivadas. Entre las primeras encontramos:

- Temperatura del aire: expresada en grados Kelvin ( $T_a$ ) o Celsius ( $t_a$ ).
- Temperatura radiante media y asimetría de la temperatura radiante: expresada en grados Kelvin ( $T_r$ ) o Celsius ( $t_r$ ).
- Humedad absoluta del aire: expresada en kilopascales (kPa).
- Velocidad del aire: expresada en metros por segundo ( $v_a$ ).

Entre las segundas podemos citar:

- Temperatura húmeda natural.
- Temperatura del globo.

- TGBH o WBGT.
- Temperatura del globo húmedo.

Todas estas temperaturas excepto el índice TGBH, se miden también en grados Kelvin o Celsius.

Para medir estas magnitudes se emplean transductores o sensores que se hallan expresamente especificados en las normas.

Existen dos clases de transductores, aquellos que se emplean para las mediciones de confort (tipo C), y aquellos que se emplean para las mediciones en ambientes más agresivos (tipo S).

### Sensores

Nos referiremos ahora a la gama, precisión y tiempo de respuesta para los sensores destinados a medir distintas magnitudes, tanto fundamentales como secundarias. Estas características deben ser consideradas como mínimas. La constante de tiempo de un transductor es considerada como numéricamente igual al tiempo que tarda un transductor, en respuesta a una variación en forma de escalón de la magnitud medida, para obtener el 62% de su variación final en estado estacionario. En función de esto y para la mayoría de los casos, podríamos calcular que un tiempo de respuesta del 90%, se obtiene en un tiempo igual a 3,1 veces la constante de tiempo.

Consideraremos ahora los sensores para medir cada una de las distintas magnitudes:

Temperatura del aire:

Rango de medición: 10°C a 30°C (tipo C), -40°C a 120°C (tipo S).

Precisión: especificada 0,5°C. Deseable: 0,2°C.

Tiempo de respuesta: el más corto posible.

Observaciones: el sensor de temperatura de aire debe ser protegido eficazmente contra la influencia eventual de la radiación térmica provocada por las paredes frías o calientes. Es aconsejable que el sensor permita estimar el valor medio de una lectura en el intervalo de un minuto.

Temperatura radiante media:

Rango de medición: 10°C a 40°C (tipo C), -40°C a 150°C (tipo S).

Precisión: especificada 2°C. Deseable: 0,2°C.

Tiempo de respuesta: el más corto posible.

Asimetría de la temperatura radiante:

Rango de medición: 20K (tipo C), 200K (tipo S).

Precisión: especificada 1K.

Tiempo de respuesta: el más corto posible.

Velocidad del aire:

Rango de medición: 0,05 a 1 m/s (tipo C), 0,2 a 10 m/s (tipo S).

Precisión: especificada  $\pm (0,05 + 0,05 v_a)$  m/s (tipo C),  $\pm (0,1 + 0,05 v_a)$  m/s (tipo S).

Tiempo de respuesta: el sensor deberá poseer respuesta omnidireccional, si no la posee, deberán indicarse los valores sobre cada uno de los tres ejes.

Humedad absoluta:

Rango de medición: 0,5 a 2,5 kPa (tipo C), 0,5 a 6 kPa (tipo S).

Precisión: especificada  $\pm 0,15$  kPa.

Tiempo de respuesta: el más corto posible.

Temperatura húmeda natural ( $t_{bh}$ ):

Esta temperatura resulta ser función de la temperatura, velocidad y humedad del aire, como asimismo de la temperatura radiante media. Este valor no debe ser confundido con la temperatura de bulbo húmedo sicrométrica, utilizada para los cálculos de humedad.

Rango de medición: 5°C a 40°C.

Precisión: especificada 0,5°C.

Tiempo de respuesta: el más corto posible.

Temperatura de globo ( $t_g$ ):

Esta temperatura resulta función de la temperatura radiante media, y de la temperatura y velocidad del aire. Puede ser usada como sí misma, o como valor intermedio para un cálculo más preciso de la temperatura radiante media.

Rango de medición: 20°C a 120°C.

Precisión: de 20°C a 50°C  $\pm$  0,5°C a 120°C  $\pm$  1°C.

Temperatura de globo húmedo ( $t_{gh}$ ).

Semejante a la anterior.

## Capítulo 7:

### Los instrumentos

Aunque no está especificado concretamente, de los datos y precisiones requeridas, puede determinarse que los termómetros clásicos de mercurio o alcohol no cumplirían con las condiciones requeridas. Los transductores que sí pueden cumplir en todo su conjunto la normativa son aquellos del tipo termocupla o los sensores monolíticos de estado sólido.

La temperatura radiante media puede medirse de distintas maneras, entre ellas cabe citar:

- Por medio del globo negro.
- Por el método del radiómetro de dos esferas.
- Por el captor a temperatura de aire constante.

También puede ser calculada a partir de la temperatura de las superficies circundantes, por medio de nomogramas o cálculos.

La asimetría de la temperatura radiante media puede ser calculada por distintos métodos, entre ellos el del radiómetro diferencial, el de disco a temperatura constante, y también por medio de un disco reflejante y un disco absorbente.

Los métodos y el cálculo de la temperatura radiante media y su asimetría, exceden en mucho los límites de este trabajo, por lo que no nos extenderemos más sobre el tema.

### Higrómetros

La humedad del aire se mide por instrumentos llamados higrómetros. Pueden hallarse calibrados para medir la humedad absoluta o más habitualmente la humedad relativa.

Existen distintos tipos de higrómetros, entre ellos:

Sicrómetros: constituidos por dos termómetros, uno húmedo y otro seco, y un dispositivo que permita asegurar una velocidad de circulación de aire sobre ellos. Los valores de la humedad se leen sobre tablas en las cuales se ingresa con los valores obtenidos.

Higrómetros de cloruro de litio: basan su funcionamiento en la presión de vapor saturada de las soluciones salinas higroscópicas.

Higrómetros de punto de rocío: el principio de funcionamiento que poseen consiste en la condensación del vapor de agua contenido en el aire sobre un espejo especialmente refrigerado.

Higrómetros por sensor capacitivo: determinan la humedad por la variación de constante dieléctrica de un capacitor de muy pequeño valor.

Higrómetros de absorción: el más usado es el de crin de caballo, y determina la humedad por la deformación o alargamiento que provoca la tensión superficial del agua sobre este tipo de materia orgánica.

### Anemómetros

La velocidad del aire se mide por instrumentos llamados anemómetros. Entre éstos podemos citar a los de tipo mecánico y a los de tipo térmico.

Los de tipo mecánico, también llamados de paletas consisten en una hélice semejante a la de un ventilador común, pero con un mayor número de paletas, peso mínimo, y montado sobre rodamientos de muy bajo coeficiente de fricción, que comunican su movimiento, o bien a un indicador a aguja o a algún dispositivo electrónico que convierta la velocidad de rotación en una señal eléctrica. Su sensibilidad no es buena, ya que no sirve para velocidades inferiores a un metro por segundo, y son sumamente frágiles, lo que no los hace aconsejables para su empleo en campo.

Los anemómetros térmicos, basan su principio de funcionamiento en la transferencia calórica entre un sólido caliente y el aire ambiente, que depende de las características aerodinámicas del aire. Están constituidos por un filamento (los primitivos), o una esfera calentada eléctricamente a una temperatura superior a la del aire. El elemento caliente pierde calor hacia el medio, principalmente por convección.

De las características de calefacción del elemento, de la temperatura de éste y de la temperatura del aire, puede obtenerse la velocidad de circulación del aire.

Todos los anemómetros térmicos de buena calidad deberán poseer dos sensores de temperatura, uno para medir la temperatura del elemento caliente y otro para determinar la temperatura del aire, aquellos que poseen un solo elemento. Únicamente podrán funcionar a la temperatura a la que han sido calibrados.

#### Sobre el plano metodológico se distingue:

- Dispositivos con intensidad de calentamiento constante. La medición de temperatura del elemento permite determinar la velocidad del aire.
- Dispositivos con temperatura constante. La medición de la potencia empleada por el elemento para mantener la temperatura constante permite determinar la velocidad del aire.

#### Sobre el plano instrumental se distingue:

- Los aparatos donde la medición de la temperatura del elemento caliente es realizada directamente por este mismo (su resistencia en función de la temperatura).
- Los aparatos donde la medición de la temperatura del elemento caliente es realizada indirectamente por un captor distinto, pero en contacto con éste.

Una de las características más preciadas de los anemómetros térmicos modernos, que generalmente están fabricados con un sensor de tipo perla de vidrio, es que poseen características omnidireccionales, y su velocidad de respuesta resulta de aproximadamente 0,5 segundos, lo que lo hace perfectamente adecuado para el cumplimiento de las normas vigentes.

### Instrumentos integradores

Hoy en día las mediciones de carga térmica y confort ambiental, se realizan por medio de instrumentos combinados de tipo integrador.

Éstos permiten realizar directamente los cálculos de los índices más comunes, y poseen en el caso de los equipos más elaborados sistemas de integración, que permiten obtener valores integrados o promedios. Es usual que los equipos más sofisticados incorporen sistemas de memoria, para almacenar valores picos, es decir los máximos y mínimos alcanzados durante el intervalo de medición.

### Capítulo 8:

#### El índice TGBH (WBGT) como índice normalizado

Las normas ISO utilizan el índice TGBH para la evaluación del riesgo en ambientes con altas temperaturas. Esta es la primera vez que se acepta internacionalmente un índice para evaluar la carga calórica.

Se eligieron los transductores tratados con anterioridad porque respondían a los factores ambientales de la misma manera que lo hacía el ser humano.

La combinación que más se relacionaba con la respuesta humana era:  
 $TGBH = 0,7 t_{bh} + 0,3 t_g$

Cuando se estaba expuesto a carga solar directa, la influencia del globo sobreestimaba la influencia de la radiación, por esta razón se introdujo un tercer transductor más, que medía la temperatura del aire circundante. En este caso, la fórmula resultaba ser la siguiente:  $TGBH = 0,7 t_{bh} + 0,2 t_g + 0,1 t_{bs}$

Este índice ha sido uno de los más experimentados, ya que fue introducido en el año 1950, por lo que no nos extenderemos mucho en la historia y las primeras aplicaciones.

Cuando se ha medido el índice TGBH, su valor puede ser comparado con los valores límites de la tabla 2, o los de la legislación local.

Clase	Ritmo metabólico, M		Valor de referencia de TGBH			
	W/m <sup>2</sup>	W	Persona aclimatada °C		Persona no aclimatada °C	
0	M < 65	M < 117	33		32	
1	65 < M < 130	117 < M < 234	30		29	
2	130 < M < 200	234 < M < 360	28		26	
3	200 < M < 260	360 < M < 468	Sin movimiento de aire 25	Con movimiento de aire 26	Sin movimiento de aire 22	Con movimiento de aire 23
4	M > 260	M > 468	23	25	18	20

**Tabla 2**

Como puede observarse en esta tabla, estos límites dependen del nivel de actividad, y del grado de aclimatación.

Las clases de ritmo metabólico son:

0 = En reposo.

1 = De bajo ritmo metabólico (trabajo manual liviano).

2 = De ritmo metabólico moderado (trabajo manual mediano).

3 = De alto ritmo metabólico (trabajo manual y corporal pesado).

4 = De muy alto ritmo metabólico (trabajo manual y corporal muy intenso).

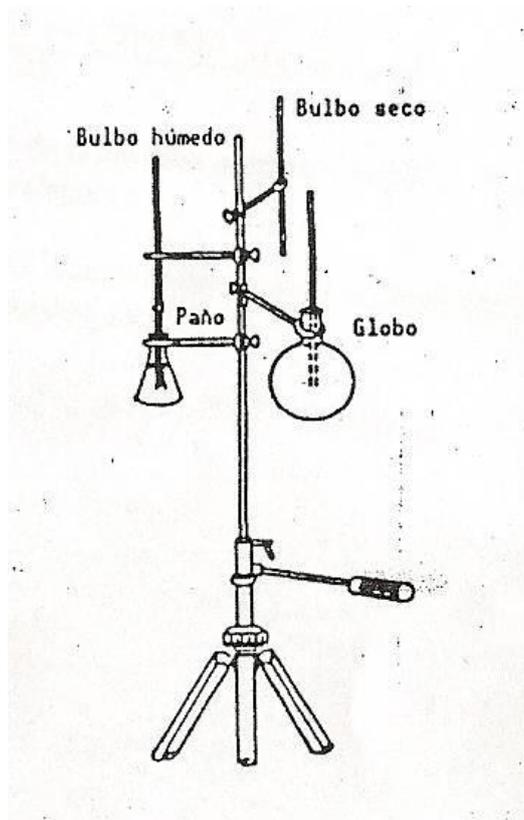
Los límites recomendados por la tabla se hallan basados en un aumento máximo de temperatura interna no mayor de 1°C, es decir de 37°C a 38°C. como hemos mencionado anteriormente, estos son valores promedio, y no pueden ser tomados como absolutos, en función de las diferencias individuales.

Como la temperatura del cuerpo reacciona lentamente a los cambios en el ambiente térmico, los transductores deberán acompañar esta reacción: es por eso que la estimación del nivel de actividad y de los índices, usualmente se hacen en valores ponderados, y por intervalos no menores de una hora.

### Posiciones de medición

El índice de TGBH debe siempre ser medido en el lugar de trabajo, es decir, los transductores deben sustituir a la persona, o bien deben colocarse en una posición en la cual la exposición calórica sea la misma.

Las mediciones deben entonces realizarse al nivel del abdomen (0,6 metros para personas sentadas o 1,1 metros para personas de pie). Si la exposición no es homogénea, debe ser medida a tres niveles: pies, abdomen y cabeza. Esto corresponde a: 0,1; 0,6; y 1,1 metros sobre el nivel del piso, si la persona se halla sentada: 0,1; 1,1; y 1,7 metros sobre el nivel del piso si la persona se halla de pie. En la figura 3, puede observarse la incomodidad de usar un dispositivo primitivo para la determinación del índice de TGBH.



**Figura 3**

El índice, entonces, debe calcularse aplicando la siguiente fórmula:

$$TGBH = \frac{TGBH_{\text{cabeza}} + 2 \times TGBH_{\text{abdomen}} + TGBH_{\text{pies}}}{4}$$

Como puede observarse, la medida obtenida a nivel del abdomen, tiene un peso mayor en el resultado final, que las de la cabeza y pies.

Cabe agregar que los transductores deben disponerse de tal manera, que no queden aislados de la radiación circundante.

Promedio en el tiempo

Durante la jornada laboral, tanto el medio ambiente como la posición de la persona pueden variar; esto obliga a que el índice de TGBH esté basado entonces en un promedio integrado en el tiempo de por lo menos una hora. La formulación para este cálculo es la siguiente:

$$TGBH = \frac{t_1 TGBH_1 + t_2 TGBH_2 + \dots + t_n TGBH_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$$

donde:  $TGBH_n$  = TGBH determinado para la situación n.

$t_n$  = tiempo empleado para la situación n.

$\sum t_n = 1$  hora.

Por ejemplo:

$$\text{TGBH} = \frac{(20 \times 28^\circ\text{C}) + (20 \times 28^\circ\text{C}) + (20 \times 20^\circ\text{C})}{20 + 20 + 20} = 25,3^\circ\text{C}$$

Cuando se determina el límite de exposición en función de la tabla, es necesario también estimar un promedio ponderado del nivel de actividad.

Este método de aplicar valores de promedios integrados, puede ser utilizado también para planificar los periodos de trabajo y de descanso.

En el gráfico de la figura 4, puede observarse un ejemplo de esto. Las curvas nos muestran la relación entre el valor metabólico promedio, y el valor aceptable de exposición para personas aclimatadas expuestas, cuando alcanza a percibirse una cierta circulación de aire. En este caso se asume que la persona reposa o descansa en el mismo lugar de trabajo, es decir se supone que el índice es el mismo cuando se trabaja y cuando se descansa.

Cuando la persona descansa en un ambiente con TGBH distinto, debe ser tenido en cuenta; como podemos observar en el ejemplo siguiente: una persona aclimatada al calor trabaja siguiendo la rutina: 20 minutos con un nivel metabólico de  $230 \text{ W/m}^2$  y con un índice TGBH de  $28^\circ\text{C}$ ; 20 minutos con un nivel metabólico de  $165 \text{ W/m}^2$  y con un índice TGBH de  $28^\circ\text{C}$ ; 20 minutos con un nivel metabólico de  $65 \text{ W/m}^2$  y con un índice TGBH de  $28^\circ\text{C}$

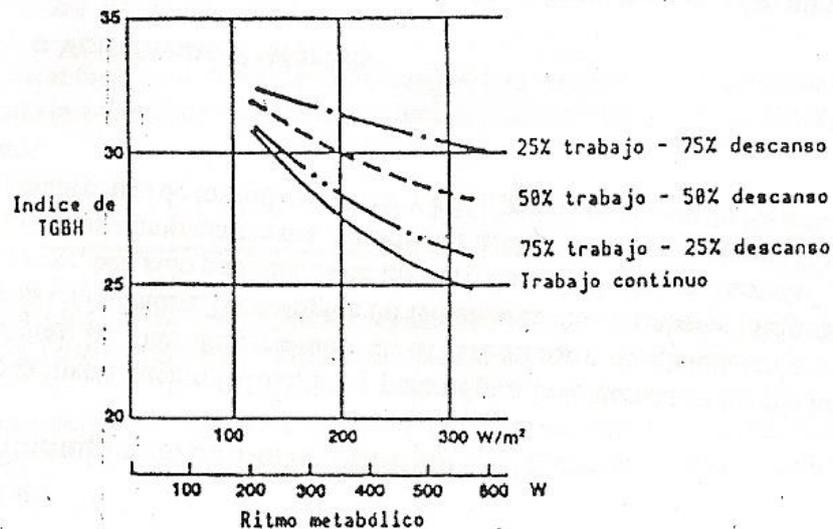


Figura 4

El promedio ponderado en el tiempo es entonces:

$$M = \frac{(20 \times 230) + (20 \times 165) + (20 \times 65^\circ\text{C})}{20 + 20 + 20} = 153 \text{ W/m}^2$$

Esto corresponde a un límite de exposición aceptable de 28°C. éste resulta igual al índice que medimos en el lugar de trabajo.

Pero si la persona descansa (65 W/m<sup>2</sup>) en un ambiente en el que el índice es de 20°C, el índice total TGBH para esta persona será:

$$\text{TGBH} = \frac{(20 \times 28^\circ\text{C}) + (20 \times 28^\circ\text{C}) + (20 \times 20^\circ\text{C})}{20 + 20 + 20} = 25,3^\circ\text{C}$$

Evidentemente, este índice resulta inferior al límite de 28°C. Con este límite de 25,3°C, puede establecerse que el nivel de actividad podría ser notablemente más elevado. Resulta sumamente importante para estas mediciones la elección del lugar y del tiempo. Debe evaluarse siempre desde el punto de vista de la carga térmica la peor situación. Si un proceso laboral resulta cambiante debe estudiarse cuidadosamente para determinar cuál es la situación de mayor riesgo, si el proceso es constante debe elegirse el momento más caluroso del día. Éste generalmente coincide cuando la carga solar es mayor, o la temperatura exterior se halla en su máximo valor diario.

La evaluación de las peores condiciones, debe hacerse a lo largo de un promedio no inferior a una hora, es por esta razón que resultan sumamente útiles los instrumentos integradores.

La mejor solución cuando se dispone del equipo adecuado, es la de efectuar mediciones por periodos más prolongados, es decir de 4 a 8 horas, y evaluar no solamente el promedio ponderado, sino los máximos y mínimos obtenidos durante el intervalo de medición (ver figura 5).

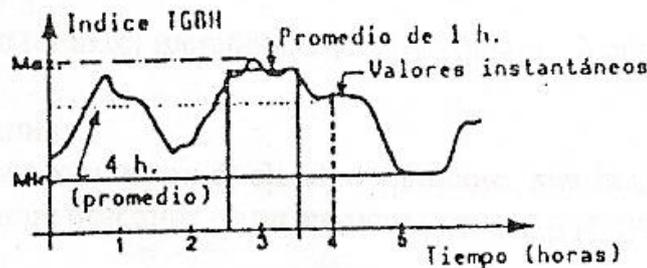


Figura 5

## Conclusiones

Como hemos podido observar, no existe hasta la fecha un índice que provea la respuesta perfecta para la evaluación de la carga térmica en todas las situaciones posibles.

Cuando todos los factores que influyen en la respuesta del hombre al ambiente calórico son considerados y estudiados, siempre habrá un cierto grado de incertidumbre, debido a las características propias e individuales de los seres humanos.

Además de emplearse los índices para determinar la respuesta del cuerpo humano a las situaciones de carga térmica, éstos pueden ser empleados también para comparar situaciones, por ejemplo antes o después de la modificación de ciertos procesos industriales.

Una vez que se ha establecido un valor límite, éste debe ser empleado con cuidado y sentido común. Excederse en un valor límite no indica que obligatoriamente pueda producirse una catástrofe o que deba pararse todo tipo de actividad, sino que se trata de ajustar o cambiar los periodos de descanso y de trabajo, de manera que las actividades que provocan un mayor esfuerzo no se realicen en los momentos del día en los cuales los índices alcanzan su valor más alto.

Suponemos que a medida que utilicemos instrumentación más moderna y que se avance en la normalización, obtendremos resultados más homogéneos y exactos.

## Capítulo 9:

### Confort ambiental

La mayor parte de nosotros, vive más del 90% de nuestra vida en ambientes térmicos artificiales, y por supuesto, éstos deben resultar agradables. El confort ambiental creado por el ambiente, puede determinar por qué una persona pueda preferir un determinado restaurant a otro, el transporte por una compañía de micros a otra, la elección de un gimnasio, etc. La falta de confort, puede también provocar que las personas no trabajen satisfactoriamente como podrían hacerlo.

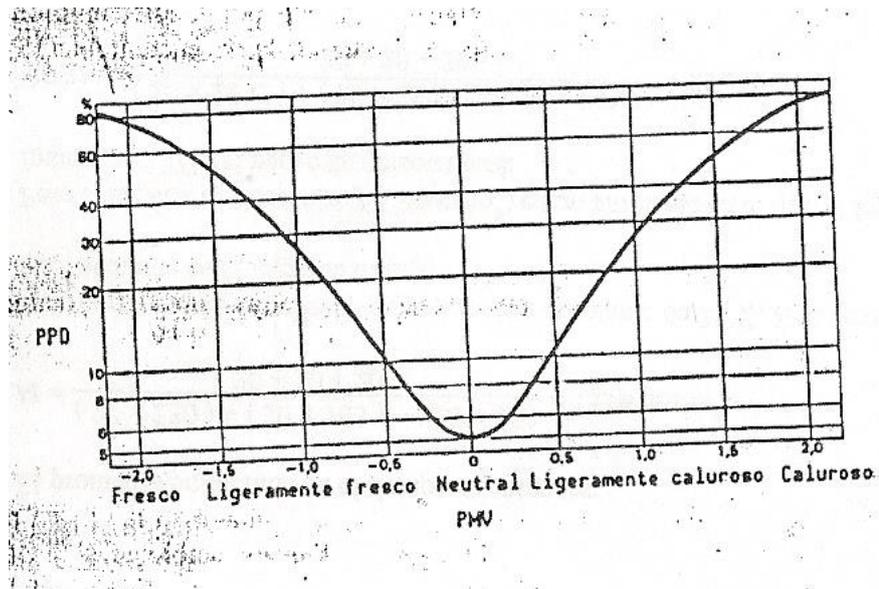
El confort ambiental es un “estado de ánimo”, que expresa una satisfacción por el ambiente que nos rodea. Una persona que se halla en un estado térmico neutral, no sabe si realmente le gustaría estar en un ambiente más cálido o más fresco. Las reacciones subjetivas y fisiológicas de una persona con respecto al ambiente térmico, se hallan determinadas por los ritmos metabólicos, por la generación, y la emisión de calor. Éstos vuelven a ser función de los seis parámetros fundamentales: la temperatura del aire, la temperatura radiante media, la velocidad de circulación del aire, la presión de vapor de agua, el ritmo metabólico y la aislación térmica de la vestimenta.

Cuando cualquier combinación de estos factores satisface la ecuación de confort ambiental, la mayoría de la gente se siente bien.

Todos los factores que determinan el confort pueden ser medidos; y las investigaciones realizadas han determinado que las mediciones pueden ser utilizadas para predecir la respuesta subjetiva de los individuos para cualquier

combinación de ambiente, vestimenta y nivel de actividad. Estas reacciones siguen una distribución media normal, que es denominada PMV (Predicted Mean Vote), y que explicaremos posteriormente.

Pero sin embargo, debido a las variaciones biológicas entre los distintos individuos, no todos tienen las mismas preferencias en cuanto se refiere al confort ambiental. Sin embargo, es posible, controlando uno o más parámetros ambientales, satisfacer al 95% de los ocupantes de un mismo ambiente, satisfaciendo únicamente la condición de una igualdad de vestimenta, y un semejante nivel de actividad (ver figura 6).



**Figura 6**

### La terminología del calor ambiental

La mayor parte de la investigación fisiológica y psicológica involucrada en los parámetros del confort ambiental, ha sido desarrollada en el Laboratorio de Calefacción y Aire Acondicionado de la Universidad Tecnológica de Dinamarca. Estos trabajos, dirigidos por el profesor P: O: Fanger, han sido publicados en un libro llamado "Confort Térmico", y han servido de base a una muy completa norma dictada por la ISO, y conocida como ISO 7730. Esta norma recomienda el uso de índices PMV y PPD, para la medición de los ambientes térmicos moderados.

El PMV o Voto Medio Preferido: es un índice que predice el valor medio de los votos de preferencia de un gran número de personas, siguiendo una escala de sensaciones térmicas de 7 puntos:

- +3 muy caluroso
- +2 caluroso
- +1 ligeramente caluroso
- 0 neutral
- 1 ligeramente fresco
- 2 fresco
- 3 frío

El PMV puede ser determinado cuando se conoce el nivel de actividad (ritmo metabólico) y vestimenta (resistencia térmica), y cuando se miden los siguientes parámetros ambientales: temperatura del aire, temperatura radiante media, velocidad relativa del aire y presión parcial del vapor de agua.

El índice PMV se basa en las ecuaciones de balance calórico del cuerpo humano. Una persona se encuentra en balance térmico, cuando la producción de calor interno en el cuerpo es igual a la pérdida calórica hacia el medio que lo rodea.

Este índice fue calculado estadísticamente por la distribución de preferencias de aproximadamente 1.300 personas, entre las cuales se encontraban toda la variedad posible de razas y contextura física.

El PPD o Porcentaje Medio de Disconformes: es un índice que determina el porcentaje medio de un gran número de personas que se sentirían disconformes, es decir votando +3 (muy caluroso), +2 (caluroso), -2 (fresco), -3 (frío) en la escala PMV. La relación entre el PPD y el PMV puede observarse en el diagrama de la figura 6.

La temperatura operativa ( $t_o$ ): es el valor de la temperatura del aire, que resultaría en la misma pérdida calórica de un individuo por convección y radiación en el mismo ambiente, si la temperatura del aire y la temperatura radiante media fueran iguales. Integra la influencia del aire y la temperatura radiante media. En la mayoría de los casos cuando la velocidad de circulación del aire es baja, es decir menor a 0,2 m/s o cuando la diferencia entre la temperatura radiante media y la temperatura del aire es menor a 4°C, la temperatura operativa puede ser calculada con suficiente aproximación efectuando el promedio entre la temperatura del aire y la temperatura radiante media.

La temperatura equivalente ( $t_e$ ): la temperatura equivalente de un ambiente es la temperatura del aire, y de todas las superficies interiores de referencia, en el que el aire se halla inmóvil, y la temperatura ha sido ajustada para obtener la misma pérdida calórica por convección y radiación que el individuo experimenta en el ambiente real. Cuando se satisface esta condición, la temperatura equivalente del ambiente real resulta ser la misma que la temperatura del aire en el ambiente de referencia. La temperatura equivalente, integra entonces la diferencia de la temperatura del aire, su velocidad de circulación, y la temperatura radiante media. Se mide el efecto de enfriamiento producido por el aire como una caída de la temperatura.

La temperatura de confort ( $t_c$ ): la temperatura de confort resulta ser la temperatura equivalente requerida para alcanzar el confort térmico, cuando la vestimenta, el nivel de actividad y la humedad son conocidos.

## Capítulo 10:

### Mediciones

Los índices PMV pueden ser determinados por las ecuaciones de las normas ISO 7730, por un anexo de ésta (tablas) o por mediciones directas utilizando un sensor integrador.

Se recomienda utilizar los valores medidos del PMV en la escala desde los valores de -2 a +2. Esto significa que el índice es recomendable, cuando los parámetros principales se hallan dentro de los siguientes valores:

$M = 46 \text{ a } 232 \text{ W/m}^2$  (0,8 a 4 de *met*).

$I_{clo} = 0 \text{ a } 0,31 \text{ m}^2\text{C}^\circ/\text{W}$  (0 a 2 de *clo*).

$t_a = 10^\circ\text{C} \text{ a } 30^\circ\text{C}$ .

$t_r = 10^\circ\text{C} \text{ a } 40^\circ\text{C}$ .

$v_a = 0 \text{ a } 1 \text{ m/s}$ .

$p_a = 0 \text{ a } 2.700 \text{ Pa}$ .

Los niveles metabólicos en función del nivel de actividad son los siguientes:

Recostado =  $46 \text{ W/m}^2$  (0,8 *met*).

Sentado =  $58 \text{ W/m}^2$  (1 *met*).

De pie =  $70 \text{ W/m}^2$  (1,2 *met*).

Actividad sedentaria =  $70 \text{ W/m}^2$  (1,2 *met*).

Actividad en movimiento =  $93 \text{ W/m}^2$  (1,6 *met*).

Mayor actividad en movimiento =  $116 \text{ W/m}^2$  (2 *met*).

Actividad industrial media =  $165 \text{ W/m}^2$  (2,8 *met*).

Los niveles de resistencia son los siguientes:

Desnudo =  $0 \text{ m}^2\text{C}^\circ/\text{W}$  (0 *clo*).

Ropa interior =  $0,015 \text{ m}^2\text{C}^\circ/\text{W}$  (0,1 *clo*).

Vestimenta tropical =  $0,045 \text{ m}^2\text{C}^\circ/\text{W}$  (0,3 *clo*).

Vestimenta de verano =  $0,073 \text{ m}^2\text{C}^\circ/\text{W}$  (0,5 *clo*).

Vestimenta industrial típica =  $0,11 \text{ m}^2\text{C}^\circ/\text{W}$  (0,7 *clo*).

Vestimenta de invierno =  $0,16 \text{ m}^2\text{C}^\circ/\text{W}$  (1 *clo*).

Vestimenta muy abrigada =  $0,23 \text{ m}^2\text{C}^\circ/\text{W}$  (1,5 *clo*).

## Capítulo 11:

### Antecedentes fisiológicos

El organismo puede entenderse como un sistema energético con unos parámetros internos que, en el caso de la temperatura, deben mantenerse en unos límites muy estrechos.

La temperatura media normal en el interior del organismo es de  $37^\circ\text{C}$ .

La temperatura media normal en la piel es del orden de  $35^\circ\text{C}$ .

La temperatura media de la piel del cuerpo, es según Fanger:

$$T_m = 37,5 - 0,032 Q/S$$

Donde:

Q=producción de calor en kcal/h

S= superficie en m<sup>2</sup>

El organismo dispone de mecanismos de autorregulación térmica (homeostasis térmica) con el fin de controlar el intercambio de calor con el medio ambiente.

### Principales efectos de las temperaturas extremas sobre el organismo

#### Temperaturas bajas

Cuando el calor cedido al medio ambiente es superior al calor recibido o producido por medio del metabolismo basal y el del trabajo, debido a la actividad física que se está ejerciendo, el organismo tiende a enfriarse y, para evitar esta hipotermia (descenso de la temperatura del cuerpo), pone en marcha múltiples mecanismos, entre los que podemos indicar:

- Vaso-constricción sanguínea: disminuir la cesión de calor al exterior.
- Desactivación: cierre de las glándulas sudoríparas.
- Disminución de la circulación sanguínea periférica.
- Tiritona: producción de calor (transformación química en mecánica-térmica).
- Autofagia de la grasa almacenada: transformación química de lípidos (grasas almacenadas) a glúcidos de metabolización directa.
- Encogimiento: presentar la mínima superficie de piel en contacto con el exterior.

Consecuencias de la hipotermia:

- Malestar general.
- Disminución de la sensibilidad táctil.
- Reducción de la sensibilidad táctil.
- Anquilosamiento de las articulaciones.
- Comportamiento extravagante (hipotermia de la sangre que riega el cerebro).
- Congelación de los miembros (los más afectados son las extremidades).
- La muerte se produce cuando la temperatura interior es inferior a 28°C por fallo cardíaco.

#### Temperaturas altas

Cuando el calor cedido por el organismo al medio ambiente es inferior al calor recibido o producido por el metabolismo total (metabolismo basal + metabolismo de trabajo), el organismo tiende a aumentar su temperatura y para evitar esta hipertermia (aumento de la temperatura del cuerpo), pone en marcha otros mecanismos entre los cuales podemos citar:

- Vasodilatación sanguínea: aumento del intercambio de calor.
- Activación (apertura) de las glándulas sudoríparas: aumento del intercambio de calor por cambio de estado de sudor de líquido a vapor.
- Aumento de la circulación sanguínea periférica: puede llegar a 2,6 litros/min/m<sup>2</sup>.
- Cambio electrolítico de sudor: la pérdida de ClNa puede llegar a 15 g/litro

Consecuencias de la hipertermia:

- Trastornos psiconeuróticos

- Trastornos sistemáticos:
  - Calambre por calor.
  - Agotamiento por calor.
  - Deficiencia circulatoria.
  - Deshidratación.
  - Desalinización.
  - Anhidrosis.
  - Golpe de calor (hiperpirexia).
- Trastornos de la piel.
  - Erupción (miliaria rubra).
  - Quemaduras (debido a las radiaciones ultravioletas).

### Índices para la evaluación del calor

Todos los índices tienen como finalidad establecer una relación cuantitativa entre los parámetros de una condición ambiental con relación a una situación referente límite, para unas condiciones dadas y pretenden hacer intervenir las variables más significativas que intervienen en los procesos que pretenden evaluar

Los índices más utilizados en Higiene Industrial son:

- Índices para determinar grados de confort:
  - Índice de la temperatura efectiva (TE).
  - Índice de la temperatura efectiva corregida (TEc).
  - Índices PMV, PPD, NORMA ISO 7730.
- Índices para determinar situaciones de riesgo.
- Índice WBGT (Wet Bulb Globe Thermometer).
  - Criterios ACGIH.
  - Criterios OSHA.
  - NORMA ISO 7243.
- Índice de estrés térmico.

### Índice de estrés térmico

Aplicando el índice de estrés térmico IST pueden obtenerse valores negativos cuyo significado es el siguiente:

<u>Valor IST</u>	<u>Indicaciones higiénicas y fisiológicas en la exposición</u>
	<u>Diaria durante 8 horas</u>
30	Estrés de calor suave a moderado. Si el trabajo exige
20	funciones intelectuales, destreza o especial atención,
10	puede esperarse una reducción entre moderada y sustancial en la calidad o rendimiento del trabajo. En trabajos físicamente pesados puede esperarse un ligero descenso del rendimiento respecto a condiciones

	térmicamente neutras.
10	
0	Situación neutra
-10	
-10	Suave estrés de frío. Condición frecuente de áreas
-20	donde los hombres se recuperan de la exposición
-30	al calor.
	Estrés de frío moderado. Si el trabajo es de tipo ligero
-30	exige funciones intelectuales, destreza o especial aten-
-40	ción, puede esperarse una pequeña reducción en el
-50	rendimiento o calidad del trabajo, no así en trabajos
	moderados o pesados. Se precisa ropa adicional
	Estrés de frío severo. Debe esperarse una reducción en
-50	El rendimiento del trabajo físico. Es deseable la selección
-60	médica del personal. Condiciones inadecuadas cuando el
-70	esfuerzo mental exigido por el trabajo es apreciable. Se
	precisa ropa adicional especial

### Tolerancia a los ambientes térmicos

La tolerancia humana a las condiciones térmicas que les rodean, pueden ser definidas en tres conjuntos de situaciones ambientales:

#### Zona neutra:

La zona neutra, permisible o de confort se dará en la situación en que el equilibrio térmico esté determinado por la tasa metabólica y sea independiente del ambiente externo.

El trabajo continuado a lo largo de la jornada de ocho horas, puede efectuarse en ausencia de riesgo para la salud y el confort.

#### Zona compensatoria

En esta zona, el equilibrio térmico se mantiene, pero no depende solamente de la tasa metabólica sino que su mantenimiento hay que evaluarlo por el coste en términos de mecanismos fisiológicos compensatorios.

Las personas que están en esta situación pueden permanecer trabajando por períodos prolongados.

### Zona de intolerancia

En esta zona no es posible el equilibrio y por tanto, la exposición estará limitada en el tiempo.

En estas circunstancias el trabajador sólo debe permanecer períodos cortos de tiempo y bajo situaciones controladas.

### Variables que intervienen en el intercambio térmico

Las variables que intervienen en el intercambio térmico tiene diversas procedencias y las cargas térmicas pueden calificarse en base a diversos conceptos:

Por época:

- Verano
- Invierno

Por la procedencia:

- Externas (tiene su origen fuera del edificio).
- Internas (tiene su origen dentro del edificio).

Por la forma de manifestarse:

- Sensible (modifica sólo la temperatura seca del local).
- Latente (modifica la humedad absoluta del local).

Las principales variables que intervienen en el intercambio térmico agrupadas en funciones fisiológicas y ambientales serían:

- Funciones fisiológicas:

Capacidad circulatoria periférica de la sangre.

Aclimatación al calor.

Capacidad de sudar.

- Funciones ambientales:

Temperatura del aire: que produce intercambio de calor por convección.

Energía radiante: no tiene efecto calorífico apreciable pero calienta los cuerpos.

Estado higrométrico del aire: que determina la capacidad del aire para aceptar vapor de agua.

Velocidad del aire sobre la superficie de la piel.

Actuando sobre cualquiera de estas variables, de alguna forma se modifica la situación de estrés térmico.

### Ambientes Cálidos

Los ambientes cálidos son aquellos en los que el balance térmico si se calcula sobre la única base de los cambios de convección y radiación sería positivo.

El desequilibrio del balance térmico puede producirse por:

- Un aumento del metabolismo.
- Un aumento de la temperatura del aire.
- Un aumento de la temperatura media radiante.
- Modificación de la velocidad del aire, cuando la temperatura del aire es mayor que la temperatura cutánea media.
- Aumento de la velocidad del aire.

Durante el ejercicio o trabajo, la producción interna de calor puede incrementarse, alcanzando valores significativos de forma que los mecanismos de eliminación deben ser reforzados.

La eliminación del calor en el hombre está limitada dependiendo de las condiciones ambientales, del tipo de vestido, existiendo en cada caso un valor que es la cantidad máxima de calor que el hombre puede evacuar en ese ambiente que le rodea.

Cuando el balance térmico no puede ser mantenido porque el organismo no es capaz de eliminar el calor que recibe, se produce una acumulación progresiva que hará que tienda a incrementarse la temperatura corporal, el ritmo cardíaco y la sudoración.

El factor fundamental en la eliminación del calor es la temperatura de la piel, a su vez la temperatura de la piel depende casi enteramente de la circulación sanguínea.

La competición entre las funciones de la sangre de transporte de oxígeno y transporte de calor explica la disminución de las capacidades de trabajo físico de una persona expuesta al calor.

## Capítulo 12:

### 12.1: Procedimientos para el control del calor

En los controles de calor se pretende eliminar o desplazar energía calorífica, con ellos se efectúan modificaciones que corrigen la carga térmica en los lugares de trabajo.

#### Protección contra las fuentes exteriores de calor

La naturaleza de las cargas será esencialmente radiante, particularmente debido a la radiación solar.

La protección se hará tratando de reducir la transmisión del calor a través de paredes y techos, pudiendo diferenciarse las partes transparentes y las partes opacas.

La reducción se conseguirá con:

- Aumento del coeficiente de reflexión de las paredes.
- Aumento del coeficiente de cambio exterior de calor de la pared.
- Aumento de la resistencia térmica de las paredes.
- Aumento del coeficiente de reflexión de los cristales.
- Disminución del flujo de calor incidente, variando la orientación de las ventanas, colocando toldos o persianas.
- Absorción del flujo incidente en los cristales.

#### Protección contra las fuentes interiores de calor

Las principales fuentes interiores de calor estarán en el propio proceso de fabricación (aunque no todas) y la naturaleza de las cargas será fundamentalmente radiante y convectiva.

Algunos métodos para la protección de estas fuentes son comunes y eliminan radiación y convección, si bien puede considerarse que actúan

principalmente sobre una de ellas y para combatir la radiación directa habrá que utilizar medidas muy concretas.

Los procedimientos a seguir serán:

- Protección contra las fuentes de calor de radiación. Este tipo de protección se conseguirá mediante apantallamiento: Con el apantallamiento se protege directamente a las personas, impidiendo, por la interposición de barreras, el camino de propagación de la radiación, en la dirección de los operarios. Aislamiento: Con el aislamiento se reduce la temperatura superficial y por lo tanto el escape de calor sensible y de energía radiante, afectando especialmente al valor de la carga de radiación.

- Protección contra las fuentes de calor convectivas. Las principales formas de actuar sobre estas fuentes serán: Extracción localizada. Instalación de campanas de aspiración encima de los focos de producción de calor. Ventilación general por la evacuación de la columna de aire caliente por convección natural.

Existen otras fuentes de calor que no dependerán en ocasiones del proceso de fabricación-producción y que deben de tenerse en cuenta, tales como:

Energía calorífica generada por la iluminación, motores, sistemas de ventilación.

Energía calorífica desprendida por las personas que ocupan las zonas de trabajo

### Tratamiento del medio de propagación

El medio de propagación será el aire que rodea a las personas y las formas de actuar sobre él se basarán en lo siguiente:

- Ventilación general por dilución (entrada de aire frío y expulsión de aire caliente).
- Acondicionamiento del aire (tratamiento del aire).

### Ventilación general

El aire caliente tiende a ascender, formando una columna que en los edificios con abertura en el techo puede ser canalizado hasta el exterior, con la ayuda de aberturas en las partes bajas de los cerramientos que permitan el tiro natural con la entrada de aire.

La ventilación general con aire exterior, puede ser con tiro natural o forzado, y es un procedimiento básico para el control de los problemas de calor, si bien en ocasiones resulta ineficaz (generalmente porque las entradas de aire son insuficientes o están mal situadas).

Pueden presentarse los inconvenientes de que el aire exterior sea excesivamente frío o excesivamente caliente y no es fácil conseguir una distribución adecuada de temperaturas en la zona de trabajo.

En un sistema ideal de ventilación general, la entrada de aire deberá hacerse por la parte inferior a nivel del suelo, de tal manera que el aire frío de entrada incide en principio sobre los trabajadores mezclándose con el aire del local y entrando después en contacto con las superficies calientes, calentándose, ascendiendo y escapando por las aberturas realizadas en el techo de la nave del local.

### Acondicionamiento del aire

En determinadas ocasiones será preciso efectuar un tratamiento previo del aire en las instalaciones de ventilación general. Estos tratamientos básicamente estarán enfocados a modificar la temperatura o la cantidad de vapor de agua.

El procedimiento para calentar o enfriar el aire, según sea necesario, se realiza estudiando por un lado el balance calorífico y por otro el balance frigorífico. Con estos balances se puede calcular la potencia máxima de calefacción o frigorífica a suministrar al aire con objeto de mantener las condiciones adecuadas en el local, compensando las pérdidas de calor a través de los cerramientos y de las fugas de aire caliente, se producen en el edificio las condiciones climatológicas exteriores más desfavorables.

A los procedimientos que efectúan modificaciones sobre el vapor de agua en el aire, se los conoce como humectación y deshumectación, según se incremente o reduzca el valor de agua del ambiente.

La humectación del aire se lleva a cabo evaporando agua y la deshumectación condensando el vapor de agua contenido en el aire.

Para que el agua ceda vapor al aire es preciso que la tensión de vapor en la superficie de contacto sea superior a la presión parcial del vapor de agua del aire.

Cuando la presión parcial del vapor de agua del aire es superior a la presión de vapor en la superficie de contacto, se produce condensación. Por tanto los procesos de humectación como los de deshumectación, se llevan a cabo poniendo el aire en contacto con agua en la temperatura adecuada.

### Extracción localizada

En algunos casos, especialmente cuando existe un foco calorífico muy concreto, (por ejemplo un horno) el aire caliente puede extraerse directamente con un sistema de extracción localizada mediante una campana.

### Adopción de medios de protección sobre las personas

En casos excepcionales, siempre que no pueda conseguirse un control total de los ambientes térmicos de forma efectiva por medios técnicos, o como medida de apoyo, se pueden adoptar medios de protección sobre los individuos, actuando sobre las variables de tipo personal que determinan el estrés térmico, o adoptando medidas de acción sobre las funciones fisiológicas.

Las principales medidas a adoptar en el control sobre el estrés térmico serían:

Automatización del proceso: Con ello se consigue reducir el metabolismo.

Alejamiento: Se puede conseguir adaptando medios y herramientas.

Ventilación localizada: Se debe aumentar la velocidad del aire sobre la piel, lo cual se consigue por:

- Impulsión del aire tomado del mismo ambiente de trabajo (aire sin tratar).
- Impulsión de aire frío (duchas de aire tratado).
- Regulación de períodos de exposición. Control administrativo de actividad. Descanso.

- Protección personal mediante ropas de trabajo adecuadas.  
La acción sobre las funciones fisiológicas serían mediante:
- Aclimatación del calor.
- Higiene de la bebida y alimento.
- Supervisión médica.

### Automatización del proceso

Con la automatización puede reducirse parcialmente o eliminarse el problema, ya que se prescinde de la presencia directa del operario en las proximidades de la fuente de calor.

Mecanizando los procesos se consigue reducir la carga térmica debida al metabolismo del trabajo, y se reduce el tiempo de exposición al permanecer más alejado o disminuir el tiempo de trabajo.

La reducción conseguida en los tiempos de trabajo puede ser utilizada para permanecer en áreas de descanso donde se produzca la adecuada recuperación de la exposición al calor.

### Alejamiento

Hay que recordar que el valor de la carga de radiación se reduce aumentando la distancia (ley del cuadrado).

Mediante un estudio razonado del método de trabajo se podrían adoptar medios y herramientas que permitan aumentar la separación física entre la fuente y el operario.

Aumentando al doble la distancia entre el trabajador y la fuente, se reduce el valor de la carga de radiación sobre el operario a la cuarta parte.

### Ventilación localizada

El efecto refrigerante se consigue al aumentar la velocidad del aire sobre la piel, debido a que se produce por un lado la eliminación del calor por evaporación y por otro la eliminación del calor por convección.

No obstante, al aumentar la velocidad del aire, aumenta la cantidad de calor que se recibe por convección y puede darse el caso en que al ser mayor el aumento de calor que recibe que el del calor que elimina, se produzca una sobrecarga térmica.

La impulsión del aire, tomado del mismo ambiente, puede hacerse con un simple ventilador.

Si la temperatura del local es elevada, la ventilación localizada puede hacerse tomando aire de otra zona, si bien el procedimiento más simple será tratar el aire por enfriamiento evaporativo (el aire se humidifica por pulverización del agua y al evaporarse reduce la temperatura del aire).

En las zonas donde la humedad del aire está cerca del punto de saturación y pueden producirse situaciones de estrés, se debe eliminar el vapor de agua del ambiente con objeto de aumentar la capacidad del aire para aceptar vapor de agua.

La impulsión del aire puede hacerse de forma localizada, dirigiéndolo de forma directa y a modo de pequeños chorros sobre los operarios expuestos.

En un ambiente con temperaturas entre 20 y 24°C donde se realicen trabajos ligeros, al crear un movimiento de aire de 0,5 a 1 m/s, se proporciona sensación de frescor, pero si el trabajo es pesado, serán necesarias velocidades entre 1,3 y 2,5 m/s para crear sensación de alivio.

Si se superan velocidades de 2,5 m/s puede provocarse una sensación de molestia.

### Protección personal

Las prendas de protección contra el calor deben reunir algunas características importantes entre las que se pueden destacar:

- No alterarse por el calor.
- No entorpecer los movimientos del trabajador.
- Permitir la comunicación acústica.
- Asegurar protección contra los contaminantes químicos en caso de necesidad.
- Fáciles de cuidar y de cómoda utilización.

Las ropas de trabajo convencionales, por sí mismas, constituyen una protección creando una barrera entre la superficie cubierta y el ambiente que las rodea.

La influencia de la ropa de trabajo es compleja, ya que puede actuar en los cambios de calor por convección, radiación y evaporación.

Dado que existen tareas en las que para favorecer la acción de las corrientes de aire sobre la mayor parte de la superficie del cuerpo, el trabajador se aligera de ropa, aumentando las posibilidades de evaporación, observando los coeficientes de aislamiento para unas condiciones dadas de ropa de trabajo, si existen temperaturas radiantes altas, el resultado final puede ser desfavorable al aumentar la energía recibida en forma de radiación y convección.

Con la ropa de trabajo, pensada para la protección del calor se tiene que conseguir de forma individual o en combinación:

- Reducir la cantidad de calor radiante absorbida por la prenda. Las prendas aluminizadas son un ejemplo práctico, si bien la reducción de la absorción puede conseguirse en general con cualquier superficie metalizada.
- Reducir la cantidad de calor que atraviesa el tejido de la prenda de conducción. Esta reducción se puede conseguir mediante un aislamiento estático o por aislamiento dinámico. El aislamiento estático se consigue mediante prendas caloríficas y el aislamiento dinámico creando una corriente de aire, dirigida desde el interior hacia el exterior.
- Reducir las temperaturas del aire debajo de la ropa. Esto puede conseguirse con una fuente de aire frío autónoma, llevada debajo de la prenda o con una fuente de frío exterior como puede ser la utilización de chalecos refrigerados con agua de hielo.

### Aclimatación al calor

Una aclimatación previa puede conseguirse tras la exposición pasiva, en ambientes calientes y húmedos durante un período de ocho a doce días.

Las funciones fisiológicas se modifican considerablemente con la aclimatación:

- El caudal de sudor se aumenta.
- Las temperaturas corporales son más bajas.
- La frecuencia cardiaca se estabiliza a un nivel inferior.

Este progresivo ajuste fisiológico, incrementando la duración de la exposición al calor, hace posible que una persona trabaje eficazmente bajo condiciones que serían insostenibles previamente a la aclimatación.

Cuando la exposición al calor cesa, la aclimatación se pierde rápidamente con poca retención después de dos semanas.

### Higiene de las bebidas y alimentos

El déficit mineral suele ser importante sólo en personas no aclimatadas, ya que la concentración de la sal en el sudor es de 3 a 4 veces mayor en éstas que en las aclimatadas.

En estos casos, el suplemento de sal debe aportarse en forma de líquido salado, por ejemplo, caldo de carne.

La mejor rehidratación se obtiene por el agua pura, si bien es conveniente consumir varias bebidas. Las bebidas siempre deben ingerirse a temperaturas entre 10 y 15°C.

Respecto a los alimentos, conviene moderar la ingestión de alimentos grasos, ya que su presencia en el aparato digestivo disminuye la absorción del agua necesaria para la rehidratación.

### La supervisión médica

La supervisión médica debe hacerse de forma periódica evitando que se expongan a condiciones susceptibles de producir estrés térmico, personas con deficiencias circulatorias o respiratorias.

En los reconocimientos médicos previos se debe valorar la adecuación de la carga de trabajo a las condiciones del trabajador o de cualquier trabajo con exposiciones extremas de calor, con especial atención en el reconocimiento del sistema cardiovascular que deberá incluir una revisión del historial médico de reconocimiento, especialmente de las lesiones o enfermedades cardiovasculares referidas a exposición al calor.

## Capítulo 13:

### 13.1: Ambientes fríos

Los ambientes fríos son aquellos en los que el balance térmico calculado sobre la base de los cambios por convección y radiación es negativo.

Funciones fisiológicas: El organismo debe establecer diferentes medios disponibles de lucha contra el frío, pudiendo observarse diferentes reacciones.

Reacciones térmicas: Las variaciones de la temperatura cutánea dependen tanto de la zona cutánea considerada como de la temperatura ambiente y de la velocidad del aire. En general, las funciones cutáneas bajan para reducir la diferencia entre la temperatura de la piel y la temperatura ambiente, y de esta manera, reducir también las pérdidas por convección y por radiación.

Reacciones circulatorias: La exposición de la cara al frío, produce una disminución de la frecuencia cardiaca, acompañada por un aumento de las presiones sistólicas y diastólicas que pueden alcanzar de 20 a 40 Torr.

Las variaciones de frecuencia cardíacas son proporcionales a las variaciones de temperatura cutánea de la cara.

Reacciones metabólicas: Cuando la protección contra el frío es insuficiente, el gasto de energía aumenta. Si los ajustes establecidos en base a las funciones térmicas y circulatorias no son suficientes, el organismo se ve forzado a aumentar el metabolismo para compensar las pérdidas de calor. El aumento de metabolismo se produce en los músculos esqueléticos, produciéndose un aumento del vigor muscular en un primer tiempo, con aparición de escalofríos posteriormente.

### 13.2: Procedimiento de control de ambientes fríos

Los principales parámetros a considerar serán:

- La velocidad del aire.
- La ropa de trabajo.

#### Velocidad del aire

En los ambientes cerrados, el organismo humano resulta extremadamente sensible a toda clase de movimiento del aire y el equilibrio de bienestar queda interrumpido de forma violenta cuando el aire en movimiento tiene una temperatura inferior a la ambiente, e irrumpe contra el cuerpo procedente de una determinada dirección.

En un local demasiado frío, puede alcanzar rápidamente, mediante la ropa de abrigo, mayor bienestar, al igual que en un local demasiado caluroso, mediante ropa mas ligera.

El cuerpo humano siente frío como consecuencia de la temperatura y la velocidad del aire. El enfriamiento de las zonas expuestas, aumenta rápidamente con la velocidad del aire

#### Ropa de trabajo

El aislamiento térmico asegurado por la ropa de trabajo, depende de la capa de aire muerto que permanece en contacto con la piel, entre el cuerpo y la ropa. El aislamiento de indumentaria necesario es de  $0,66 \text{ m}^2\text{°Ch/kcal}$ .

Las características generales que debe cumplir la ropa de trabajo serían:

- Aislar el frío.
- Proteger contra el viento y la lluvia.
- Eliminar parcialmente la transpiración.

Las prendas elaboradas con tela de trama abierta, no solo permiten la penetración del agua, sino también que el viento elimine el calor del cuerpo.

La ropa de trabajo que tiene plumón, es adecuada para aislar térmicamente y detiene con facilidad el viento, no obstante, su efectividad disminuye considerablemente cuando están mojados.

Algunos tipos de prendas especiales elaboradas a base de plásticos o telas de nylon, de trama apretada, son buenas para proteger del viento y de la lluvia, pero en ocasiones no protegen del frío, lo que hace necesario el empleo

de otras prendas con lo que se aumenta el volumen y se puede restar movilidad a la tarea.

La ventaja del empleo de una sola prenda gruesa que asegure un buen aislamiento térmico, es la facilidad con la que se puede realizar el cambio, en los casos en que sea necesario (entrar y salir de cámaras frigoríficas).

### **Conclusiones y recomendaciones:**

Si bien es conveniente estudiar cada caso en forma individual, es conveniente conocer las características del tipo de trabajo efectuado, características biológicas de las personas que lo desempeñan y condiciones ambientales.

Se recomienda para un mejor resultado de la aplicación de estas normas, que el PPD sea inferior al 10%, esto corresponde a que el criterio de PMV se halle dentro de los siguientes límites:  $-0,5 < PMV < +0,5$ .

Se recomiendan dos condiciones básicas, una para los periodos de calefacción o invernales, y otra para los periodos de refrigeración o de verano.

Condiciones invernales: se considera un nivel de vestimenta de 1 clo, con actividades sedentarias y son las siguientes:

- La temperatura operativa debe hallarse entre 20°C y 24°C.
- La diferencia de temperaturas verticales en el aire entre 1,1 m y 0,1 m debe ser menor a 3°C.
- La temperatura de superficie del piso debe hallarse entre 19°C y 26°C.
- La velocidad media del aire debe ser inferior a 0,15 m/s.
- La asimetría de la temperatura media radiante proveniente de las ventanas u otras superficies frías verticales debe ser inferior a 10°C, con relación a un pequeño plano vertical situado a 0,6 m, por sobre el nivel del piso.
- La asimetría de la temperatura radiante media de un techo calefaccionado debe ser inferior a 5°C, en relación con un pequeño plano horizontal situado a 0,6 m por sobre el nivel del piso.

Condiciones estivales: se considera un nivel de vestimenta de 0,5 clo, con actividades sedentarias, y son las siguientes:

- La temperatura operativa debe hallarse entre 23°C y 26°C.
- La diferencia de temperaturas verticales en el aire entre 1,1 m y 0,1 m debe ser menor a 3°C.
- La velocidad media del aire debe ser inferior a 0,25 m/s.

### **Resumen:**

Capítulo 1: Termorregulación en el ser humano.

El sistema termorregulatorio del cuerpo humano tiende a mantener un balance calórico. Si el contenido de calor del cuerpo tiene que permanecer constante, entonces la pérdida calórica por convección, radiación y evaporación debe ser igual a la producción de calor metabólico.

La función de regulación de temperatura es la de controlar el balance calórico para mantener a ésta alrededor de los 37°C en los puntos clave del cuerpo humano como el cerebro, el corazón y el intestino.

Cuando la evaporación del sudor no es suficiente para mantener el balance térmico del cuerpo, aumenta la temperatura interna de éste.

Aclimatación al calor: Los fenómenos de aclimatación al calor son los que se producen gradualmente en una persona no acostumbrada cuando ésta está expuesta gradualmente al mismo. Después de algunos días de exponerse al calor, una persona se acostumbra y lo tolera mejor.

Determinación fisiológica del esfuerzo térmico: Las mediciones fisiológicas son el método más perfecto y exacto para evaluar el comportamiento de un individuo sometido a carga térmica, estas mediciones son: ritmo cardíaco, temperatura superficial, temperatura interna y deshidratación.

Capítulo 2: Desórdenes producidos por el calor.

Golpe de calor: Ocurre cuando el sistema termorregulador no puede manejar la situación de carga térmica y la temperatura aumenta continuamente, se disminuye la función cerebral y los mecanismos de disipación calórica no actúan correctamente.

Colapso calórico: Se produce por excesivo esfuerzo sobre el sistema circulatorio, los síntomas son: mareos, dolor de cabeza y una piel sudorosa.

Agotamiento por deshidratación: Ocurre cuando la pérdida de agua producida por la transpiración no es reemplazada por la ingesta de líquidos en la que el contenido de agua del cuerpo disminuye notablemente.

Calambres: Son dolores agudos producidos en los músculos y se producen por la ingesta de una gran cantidad de agua para reemplazar la pérdida por sudoración.

Enfermedades de las glándulas sudoríparas: Se producen después de una prolongada exposición en el tiempo al calor en ambientes sumamente húmedos, en los cuales el sudor no puede evaporarse libremente.

Capítulo 3: Índice de carga térmica.

El objetivo de crear un índice de carga térmica es el de combinar las variables ambientales en un único valor que describa la acción que el ambiente ejerce sobre los individuos.

Se dividen en dos grandes grupos: los empíricos y los analíticos

Capítulo 4: Índices Empíricos.

Un índice de carga térmica empírico, se encuentra basado en la correlación de dos o más parámetros térmicos y la respuesta del cuerpo humano a éstos.

Índice de temperatura efectiva (ET): Cualquier combinación de temperatura, velocidad del aire y humedad que tenga un valor dado de ET produce la misma sensación térmica.

Índice de temperatura efectiva corregida (CET): Debido a que el índice ET no considera los efectos de radiación térmica, se ha sugerido una corrección cuando éste contribuye a la carga térmica.

Índice pronosticado de 4 horas de sudoración (P4SR): El P4SR es un índice basado en el concepto de que el ritmo de sudoración es un índice adecuado a la carga térmica, su valor es el generado por hombres aclimatados, expuestos al medio ambiente durante 4 horas.

Índice de globo húmedo (WGT): Se basa en la medición de temperatura efectuada por medio de un termómetro colocado en el centro de una esfera negra hueca de 65 mm de diámetro cubierta por un género húmedo.

## Capítulo 5: Índices Analíticos.

Índices Analíticos: Están basados en el análisis del balance calórico humano y en el intercambio calórico con el medio ambiente. Incluye los siguientes parámetros ambientales:

Índice de esfuerzo calórico (HSI): Se basa en un modelo de intercambio calórico que asume como constante una temperatura superficial o de piel con un valor de 35°C.

Índice de esfuerzo térmico (ITS): Combina parte de las ventajas del P4SR y del HSI, pero utiliza como medida del esfuerzo el ritmo de sudoración.

Índice de sudoración requerido (SR).

## Capítulo 6: Instrumental de medición.

Para evaluar las condiciones de carga térmica y confort ambiental, es necesario efectuar mediciones de distintas magnitudes, éstas pueden dividirse en fundamentales y derivadas. Los sensores permiten determinarlas: Nos referimos a la gama, precisión y tiempo de respuesta para los sensores destinados a medir distintas magnitudes, tanto secundarias como fundamentales. La constante de tiempo de un traductor es considerada como igual al tiempo que tarda un traductor para obtener el 62% de su variación final en estado estacionario

## Capítulo 7: Los instrumentos.

Puede determinarse que los termómetros clásicos de mercurio o alcohol no cumplirían con las condiciones requeridas. Los traductores que sí pueden cumplir en todo su conjunto la normativa son aquellos del tipo termocupla o los sensores monolíticos de estado sólido.

Higrómetros: Miden la humedad del aire, puede ser absoluta o relativa.

Anemómetros: Miden la velocidad del aire, se pueden citar los de tipo mecánico o los de tipo térmicos.

Instrumentos integradores: Permiten realizar directamente los cálculos de los índices más comunes, y poseen en el caso de los equipos más elaborados sistemas de integración que permiten obtener valores integrados o promedios.

## Capítulo 8: El índice TGBH como índice normalizado.

Las normas ISO utilizan el índice TGBH para la evaluación del riesgo en ambientes con altas temperaturas, es la primera vez que se acepta un índice para evaluar la carga calórica.

Posiciones de medición: El índice de TGBH debe siempre ser medido en el lugar de trabajo, es decir, los traductores deben sustituir a la persona o bien deben colocarse en una posición en la cual la exposición calórica sea la misma.

Promedio en el tiempo: Durante la jornada laboral, tanto el medio ambiente como la posición de la persona pueden variar, esto obliga a que el índice de TGBH esté basado entonces en un promedio integrado en el tiempo de por lo menos una hora.

## Capítulo 9: Confort ambiental

El confort ambiental creado por el ambiente, puede determinar por qué una persona puede trabajar satisfactoriamente o no. Es un estado de ánimo

que expresa una satisfacción por el ambiente que lo rodea. Cuando la temperatura del aire, la temperatura radiante media, la velocidad de circulación del aire, la presión de vapor de agua, el ritmo metabólico y el aislamiento térmico de la vestimenta se combinan y satisfacen la ecuación de confort ambiental, la mayoría de la gente se siente bien.

#### Capítulo 10: Mediciones.

Los índices PMV pueden ser determinados por las ecuaciones de las normas ISO 7730, por un anexo de ésta (tablas) o por mediciones directas utilizando un sensor integrador.

#### Capítulo 11: Antecedentes fisiológicos.

El organismo puede entenderse como un sistema energético con unos parámetros internos que deben mantenerse en unos límites muy estrechos. Dispone de mecanismos de autorregulación térmica con el fin de controlar el intercambio de calor con el medio ambiente.

Principales efectos de las temperaturas externas sobre el organismo:

Temperaturas bajas: Cuando el calor cedido al medio ambiente es superior al calor recibido o producido por el metabolismo basal y el del trabajo, debido a la actividad física que se está ejerciendo, el organismo tiende a enfriarse y para evitar la hipotermia pone en marcha múltiples mecanismos.

Temperaturas altas: Cuando el calor cedido por el organismo al medio ambiente es superior al calor recibido o producido por el metabolismo total, el organismo tiende a aumentar en temperatura y para evitar la hipertermia pone en marcha múltiples mecanismos.

Tolerancia a los ambientes térmicos: La tolerancia humana a las condiciones térmicas que les rodean, pueden ser definidas en tres conjuntos de situaciones ambientales: Zona neutra: Se dará cuando el equilibrio térmico esté determinado por la tasa metabólica y sea independiente del ambiente externo; Zona compensatoria: El equilibrio térmico se mantiene pero no depende solamente de la tasa metabólica, sino que su mantenimiento hay que evaluarlo por el coste en términos de mecanismos fisiológicos compensatorios; Zona de intolerancia: En esta zona no es posible el equilibrio y la exposición, estará limitada en el tiempo.

Variables que intervienen en el intervalo térmico: Tienen diversas procedencias y las cargas térmicas pueden calificarse en base a diversos conceptos: por época, por la procedencia, por la forma de manifestarse.

Las principales variables que intervienen en el intercambio también se pueden agrupar en: funciones fisiológicas y funciones ambientales.

Ambientes Cálidos: Son aquellos en los que el balance térmico, si se calcula sobre la única base de los cambios de convección y radiación, sería positivo. Durante el trabajo, la producción interna de calor puede incrementarse tanto que los mecanismos de eliminación deben ser reforzados. La eliminación de calor en el hombre está limitada a las condiciones ambientales y al tipo de vestimenta. Cuando el balance térmico no puede ser mantenido porque el organismo no es capaz de eliminar el calor que recibe, se produce una acumulación progresiva que hará que tienda a incrementarse la temperatura corporal, el ritmo cardíaco y la sudoración.

#### Capítulo 12: Protección contra las fuentes exteriores de calor.

La naturaleza de las cargas será esencialmente radiante, debido a la radiación calórica, la protección se hará tratando de reducir la transmisión del calor a través de paredes y techos.

Protección contra las fuentes interiores de calor: Las principales fuentes están en el propio proceso de fabricación y a naturaleza de las cargas será fundamentalmente radiante y convectiva.

Tratamiento del medio de propagación: El medio de propagación será el aire que rodea a las personas y las formas de actuar sobre él se basarán en la ventilación por dilución y el acondicionamiento del aire.

Adopción de medios de protección sobre las personas: Siempre que no se pueda conseguir un control total de los ambientes térmicos de forma efectiva por medios técnicos se pueden adoptar medios de protección sobre los individuos como: automatización del proceso, alejamiento, ventilación localizada, protección personal (prendas de protección) y aclimatación al calor.

Higiene de la bebida y alimentos: El déficit al mineral suele ser importante sólo en personas no alimentadas ya que la concentración de sal en el sudor es de 3 a 4 veces mayor en estas que en las aclimatadas.

Supervisión médica: Se debe hacer en forma periódica evitando que se expongan a condiciones susceptibles de producir estrés térmico, personas con deficiencias respiratorias o circulatorias.

### Capítulo 13: Ambientes fríos.

Son aquellos en los que el balance térmico calculado sobre la base de los cambios por convección y radiación es negativo.

Funciones fisiológicas: El organismo debe establecer diferentes medios disponibles de lucha contra el frío, pudiendo observarse diferentes reacciones:

Reacciones térmicas: Las variaciones de la temperatura cutánea depende tanto de la zona cutánea como de la temperatura ambiente y de la velocidad del aire,

Reacciones circulatorias: La exposición al frío produce una disminución de la frecuencia cardíaca y un aumento de las presiones sistólicas y diastólicas y

Reacciones metabólicas: Cuando la protección al frío es insuficiente, el gasto de energía aumenta y el organismo se ve forzado a aumentar el metabolismo para compensar las pérdidas de calor.

Procedimiento de control de ambientes fríos: Los principales parámetros a considerar son: La velocidad del aire: En los ambientes cerrados el organismo humano resulta sensible a toda clase de movimientos del aire y el equilibrio de bienestar queda interrumpido de forma violenta cuando el aire en movimiento tiene una temperatura inferior al ambiente; Ropa de trabajo: El aislamiento térmico asegurado por la ropa de trabajo, depende de la capa de aire muerto que permanece en contacto con la piel, entre el cuerpo y la ropa.

### **Bibliografía:**

- “Mini guía de instrumental para seguridad e higiene ambiental” – Fundación Consejo Argentino de Seguridad.
- “Manual de Higiene Industrial” – Fundación Editorial MAPFRE – España.
- “Manual de Fundamentos de Higiene Industrial” 1° edición en castellano – Consejo Interamericano de Seguridad.
- “Ambiente Térmico” – Ing. Amílcar Barletta – UTN FRM
- “Fundamentos de Ventilación Industrial” Editorial Labor – Baturin V.V.

- “Riesgos laborales debido a carga térmica” – Instituto de Ingeniería Sanitaria – Editorial UBA – Argentina.
- “Manual de aire acondicionado y ventilación” – Carrier International Limited – Editorial Marcombo – España.
- “Riesgos laborales debido a carga térmica” – Universidad de Buenos Aires – Instituto de Ingeniería Sanitaria – Editorial UBA – Argentina
- “Principios de transferencia de calor” – Frank Kreith – Editorial Herrero Hermanos S. A. – México