

GUIA N° 2

MEDICIÓN DE ESTRÉS TÉRMICO

DEFINICIONES

TG: Temperatura de Globo, es la temperatura obtenida de un termómetro que está dentro de una esfera pintada de negro en su parte externa. Mide la temperatura por radiación. Las características de la esfera serán las siguientes:

- 150 mm de diámetro.
- Coeficiente de emisión medio: 90 (negro y mate).
- Grosor: tan delgado como sea posible.
- Escala de medición: 20 °C-120 °C.
- Precisión: $\pm 0,5$ °C de 20 °C a 50 °C y ± 1 °C de 50 °C a 120 °C.

TA: Es la temperatura del aire medida, por ejemplo, con un termómetro convencional de mercurio u otro método adecuado y fiable.

- El sensor debe estar protegido de la radiación térmica, sin que esto impida la circulación natural de aire a su alrededor.
- Debe tener una escala de medida entre 20 °C y 60 °C (± 1 °C).

TBH: Es el valor indicado por un sensor de temperatura recubierto de un tejido humedecido que es ventilado de forma natural, es decir, sin ventilación forzada. Esto último diferencia a esta variable de la **temperatura húmeda psicrométrica**, que requiere una corriente de aire alrededor del sensor y que es la más conocida y utilizada en termodinámica y en las técnicas de climatización. El sensor debe tener las siguientes características:

- Forma cilíndrica
- Diámetro externo de 6mm ± 1 mm
- Longitud 30mm ± 5 mm
- Rango de medida 5 °C 40 °C
- Precisión $\pm 0,5$ °C
- La parte sensible del sensor debe estar recubierta de un tejido (p.e. algodón) de alto poder absorbente de agua
- El soporte del sensor debe tener un diámetro de 6mm, y parte de él (20 mm) debe estar cubierta por el tejido, para reducir el calor transmitido por conducción desde el soporte al sensor
- El tejido debe formar una manga que ajuste sobre el sensor. No debe estar demasiado apretado ni demasiado holgado
- El tejido debe mantenerse limpio
- La parte inferior del tejido debe estar inmersa en agua destilada y la parte no sumergida del tejido tendrá una longitud entre 20 mm y 30 mm
- El recipiente del agua destilada estará protegido de la radiación térmica

TGBH: Temperatura de Globo y de Bulbo Húmedo, valor que integra valores de temperatura del aire, temperatura por radiación y temperatura por humedad.

TGBHi: Temperatura de Globo y de Bulbo Húmedo Interna, TGBH que no considera los valores de temperatura por radiación. Se usa para ambientes cerrados donde el trabajador no tiene exposición a la luz solar.

TGBHe: Temperatura de Globo y de Bulbo Húmedo Externa, TGBH que sí considera los valores de temperatura por radiación. Se usa para ambientes abiertos o donde el trabajador se expone a la luz solar.

Calor Metabólico: Calor generado en el cuerpo debido a la actividad que se está realizando. En la exposición a estrés térmico se deberá determinar si un ambiente permite que el calor metabólico sea eliminado de manera eficiente.

Aclimatización: Es un proceso de adaptación fisiológica que incrementa la tolerancia a ambientes calurosos, fundamentalmente por variación del flujo de sudor y del ritmo cardíaco. La aclimatización es un proceso necesario, que debe realizarse a lo largo de 6 o 7 días de trabajo, incrementando poco a poco la exposición al calor. Se considera que un trabajador está aclimatizado si ha realizado un trabajo con exposición a calor en al menos 5 de los últimos 7 días o 10 de los últimos 14. Sin embargo, los beneficios de la aclimatización se pierden fácilmente si las variaciones en la temperatura son importantes (elevaciones repentinas) o si no ha habido exposición en más de 4 días.

Límite Permisible: Valor máximo que debe alcanzar la temperatura TGBH en un ambiente caluroso. Sin embargo, no es una frontera definida entre condiciones seguras e inseguras, por lo que se recomienda siempre usarlo junto con el Nivel de Acción.

Nivel de Acción: Valor de temperatura TGBH por encima del cual se deberá empezar a tomar medidas correctivas y preventivas para hacer frente a la exposición a calor en el ambiente de trabajo. Además, se deberá adoptar medidas de vigilancia médica que garanticen la no presencia de síntomas y signos del estrés térmico.

MÉTODO DE MEDICIÓN

Mediante las siguientes ecuaciones se obtiene el índice **TGBH**:

$$TGBHi = 0.7 TBH + 0.3 TG \dots(I)$$

(en el interior de edificaciones o en el exterior, sin radiación solar)

$$TGBHe = 0.7 TBH + 0.2 TG + 0.1 TA \dots(II)$$

(en exteriores con radiación solar)

Cuando la temperatura no es constante en los alrededores del puesto de trabajo, de forma que puede haber diferencias notables entre mediciones efectuadas a diferentes alturas, debe hallarse el índice **TGBH** realizando tres (03) mediciones, a nivel de tobillos, abdomen y cabeza, utilizando la expresión (III):

$$TGBH = \frac{TGBH(cabeza) + 2 \times TGBH(abdomen) + TGBH(tobillos)}{4} \dots(III)$$

Las mediciones deben realizarse a 0.1 m, 1.1 m, y 1.7 m del suelo si la posición en el puesto de trabajo es de pie, y a 0.1 m, 0.6 m, y 1.1 m, si es sentado.

Si el ambiente es homogéneo, basta con una medición a la altura del abdomen.

Este índice así hallado expresa las características del ambiente y no debe sobrepasar un cierto valor límite que depende del calor metabólico que el individuo genera durante el trabajo (**M**).

Mediante lectura de la Tabla 1, se determina la temperatura máxima que puede alcanzar el índice TGBH según el valor que adopta el término **M** (Calculado usando las tablas 2 y 3).

Tabla 1: Valores límite de referencia para estrés térmico

Ubicación del trabajo dentro de un ciclo de trabajo-descanso	Valor Límite (TGBH en °C)				Nivel de Acción (TGBH en °C)			
	Ligero	Modera-do	Pesado	Muy Pesado	Ligero	Modera-do	Pesado	Muy Pesado
75% a 100%	31	28	---	---	28	25	---	---
50% a 75%	31	29	27.5	---	28.5	26	24	---
25% a 50%	32	30	29	28	29.5	27	25.5	24.5
0% a 25%	32.5	31.5	30.5	30	30	29	28	27

Mediciones

Las mediciones de las variables que intervienen en este método de valoración deben realizarse, preferentemente, bajo las condiciones más calurosas de la jornada. Los instrumentos de medida deben cumplir con los requisitos indicados en las definiciones. Cualquier otro sistema de medición de estas variables es válido si, después de calibrado, ofrece resultados de similar precisión que el sistema descrito.

Consumo metabólico (**M**)

La cantidad de calor producido por el organismo por unidad de tiempo es una variable que es necesario conocer para la valoración del estrés térmico. Para estimarla se puede utilizar el dato del consumo metabólico, que es la energía total generada por el organismo por unidad de tiempo (potencia), como consecuencia de la tarea que desarrolla el individuo, despreciando en este caso la potencia útil (puesto que el rendimiento es muy bajo) y considerando que toda la energía consumida se transforma en calorífica.

El término **M** puede medirse a través del consumo de oxígeno del individuo, o estimarlo mediante tablas. Esta última forma es la más utilizada, pese a su imprecisión, por la complejidad instrumental que comporta la medida del oxígeno consumido.

Existen varios tipos de tablas que ofrecen información sobre el consumo de energía durante el trabajo. Unas relacionan, de forma sencilla y directa, el tipo de trabajo con el término **M** estableciendo trabajos concretos (escribir a máquina, descargar camiones etc.) y dando un valor de **M** a cada uno de ellos. Otras, como la que se presenta en la Tabla 2, determina un valor de **M** según la posición y movimiento del cuerpo, el tipo de trabajo y el metabolismo basal. Este último se considera de 1 Kcal / min como media para la población laboral, y debe añadirse siempre.

Tabla 2: Estimación del consumo metabólico **M**

A. Posición y Movimiento del Cuerpo	
	KCal/min
Sentado	0.3
De pie	0.6
Andando	2.0 – 3.0
Subida de una pendiente andando	Añadir 0.8 por m de subida

B. Tipo de trabajo			
Parte del Cuerpo	Intensidad	Media KCal/min	Rango KCal/min
Trabajo Manual	Ligero	0.4	0.2 – 1.2
	Pesado	0.9	
Trabajo con un Brazo	Ligero	1.0	0.7 – 2.5
	Pesado	1.8	
Trabajo con dos Brazos	Ligero	1.5	1.0 – 3.5
	Pesado	2.5	
Trabajo con el cuerpo	Ligero	3.5	2.5 – 15.0
	Moderado	5.0	
	Pesado	7.0	
	Muy Pesado	9.0	
C. Gasto Metabólico Basal			
1 Kcal/min			

*: Datos aplicables a una persona de 70Kg de peso, para corregir ver la ecuación VIII.

El consumo metabólico se expresa en unidades de potencia o potencia por unidad de superficie corporal. La relación entre ellas es la siguiente:

1 Kcal/hora = 1,16 watios = 0,64 watios/m² (para una superficie corporal media de 1,8 m²).

Para la aplicación del límite máximo permisible habrá que determinar cuál es el gasto metabólico total de la actividad realizada y ubicarlo dentro de una de las siguientes categorías:

Tabla 3: Intensidad del trabajo respecto al Gasto Metabólico en Kcal/hora

Gasto Metabólico (Kcal/hr)	Categoría de Intensidad del Trabajo	Ejemplo de Actividad
<100	Descanso	Sentado
100-200	Ligero	Sentado con trabajo ligero con las manos o con las manos y los brazos, etc
200-300	Moderado	Trabajo constante moderado con las manos y brazos, etc
300-400	Pesado	Trabajo intenso con manos y tronco, excavación manual, caminando rápidamente, etc.
>400	Muy Pesado	Actividad muy intensa

Variación de las condiciones de trabajo con el tiempo

Durante la jornada de trabajo pueden variar las condiciones ambientales o el consumo metabólico, al realizar tareas diferentes o en diferentes ambientes. En estos casos se debe hallar el índice **TGBH** o **el consumo metabólico**, ponderados en el tiempo, aplicando las expresiones siguientes:

$$TGBH = \frac{\sum_{i=1}^n TGBH_i \times t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \dots (IV)$$

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

Esta forma de ponderar sólo puede utilizarse bajo la condición de que:

$$\sum_{i=1}^n t_i \leq 60$$

Esto se debe a que las compensaciones de unas situaciones térmicas con otras no ofrecen seguridad en periodos de tiempos largos.

Adecuación de regímenes de trabajo-descanso

Cuando existe riesgo de estrés térmico, luego de la evaluación, se puede establecer un régimen de trabajo-descanso de forma que el organismo pueda restablecer el balance térmico y liberar el calor en exceso. Se puede hallar en este caso la fracción de tiempo necesaria para que, en conjunto, la actividad sea segura. La fórmula para hallar esta fracción es la siguiente:

$$ft = \frac{(A - B)}{(C - D) + (A - B)} \times 60 (\text{minutos / hora}) \dots (VI)$$

Siendo:

- ft= Fracción de tiempo de trabajo respecto al total (indica los minutos a trabajar por cada hora)
- A = TGBH límite en el descanso ($M < 100 \text{ Kcal/h.}$)
- B = TGBH en la zona de descanso
- C = TGBH en la zona de trabajo
- D = TGBH límite en el trabajo

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

$$ft = \frac{32.5 - B}{32.5 - D} \times 60 (\text{minutos / hora}) \dots (VII)$$

Cuando **B=A**, las ecuaciones VI y VII no son aplicables.

Esta situación corresponde a un índice **TGBH** tan alto, que ni siquiera con un índice de actividad relativo al descanso ($< 100 \text{ kcal 1 hora}$) ofrece seguridad. Debe adecuarse un lugar más fresco para el descanso, de forma que se cumpla **B < A**.

Limitaciones a la aplicación del método

La simplicidad del método hace que esté sujeto a ciertas limitaciones, debidas a las obligadas restricciones en algunas variables. Así, por ejemplo, la curva límite sólo es de aplicación a individuos cuya vestimenta ofrezca una resistencia térmica aproximada de 0,6 clo, que corresponde a un atuendo veraniego. En caso contrario, deberá aumentarse el valor TGBH encontrado según lo indicado en la Tabla 4:

Tabla 4: Factores de corrección de acuerdo al tipo de vestimenta

Tipo de Ropa	Sumar al TGBH (°C)
Ropa de trabajo (manga larga en camisa y pantalón)	0
Mamelucos (material tejido)	0
Ropa tejida de doble capa	3

Ropa sintética poco porosa	0.5
Ropa de trabajo de uso limitado que sirve de barrera al paso del vapor	11

Si la ropa usada para el trabajo no permite el paso del aire (no facilita la evaporación) y no se tiene factor de corrección para el TGBH, entonces deberá considerarse un cambio en el material como una medida preventiva.

Cuando la situación de trabajo no se adapte al campo de aplicación del método, es decir, que la velocidad del aire o el vestido sean muy diferentes de lo indicado, debe recurrirse a métodos más precisos de valoración (por ejemplo, el método establecido por la ISO).

Ejemplo de aplicación

Supongamos una situación de trabajo caracterizada por una temperatura de globo de **40 °C** y temperatura húmeda natural de **29 °C**, en la que un individuo aclimatado al calor y con indumentaria veraniega (0,5 clo) descarga un horno que trabaja en continuo, secando piezas que circulan por su interior, las cuales pesan 10 Kg. Una vez descargada la pieza debe dejarla en un lugar cercano para que posteriormente otra persona proceda a su almacenamiento.

El ciclo de trabajo (mínimo conjunto de tareas que se repiten de forma ordenada a lo largo de la jornada y que constituye el trabajo habitual del individuo) se puede desglosar de la siguiente forma:

1. Descolgar y transportar la pieza	10 seg..... 27% del tiempo total
2. Volver caminando a la cadena	7 seg..... 19% del tiempo total
3. Esperar de pie la siguiente pieza	20 seg..... 54% del tiempo total
TOTAL DEL CICLO: 37 seg 100%	

OBS: Según se describe, el trabajador continúa ciclo tras ciclo por lo que en la Tabla 1 seleccionaremos la primera fila (de 75 a 100% del tiempo trabajando, sin descanso).

El cálculo del término M podría hacerse con ayuda de la Tabla 2 de la forma siguiente:

Trabajo	% tiempo	Gasto calórico
1. Descolgar y transportar la pieza	0.27	Andando 2.0 Kcal/min Trabajo pesado con ambos brazos2.5 Kcal
2. Volver caminando a la cadena	0.19	Andando 2.0 Kcal/min
3. Esperar de pie la siguiente pieza	0.54	De pié 0.6 Kcal/min
Metabolismo basal	---	1 Kcal/min
Gasto calórico total Kcal/min		3.3 Kcal/min
Gasto calórico total Kcal/hr		198 Kcal/hr

Teniendo en cuenta la distribución de tiempos y el Metabolismo Basal considerado de 1 Kcal/min, $M = 4,5 \text{ Kcal/min} \times 0,27 + 2 \text{ Kcal/min} \times 0,19 + 0,6 \text{ Kcal/min} \times 0,54 + 1 \text{ Kcal/min} = 3,3 \text{ Kcal/min} = 198 \text{ Kcal/h}$

Observación: Los datos indicados en la Tabla 2 son considerados para un trabajador de 70 Kg de peso. Es posible corregir estos valores para pesos diferentes a 70 Kg usando un factor de corrección como sigue:

$$\text{factor} = \frac{\text{Peso}}{70 \text{ Kg}} \dots \text{VIII}$$

El índice TGBH calculado según las temperaturas indicadas y la ecuación (I), resulta ser de 32,3°C, mientras que el TGBH límite para el consumo metabólico determinado, es según indica la Tabla 1 de 31 °C, por lo que existe una situación de riesgo no admisible de estrés térmico en estas condiciones y según este método.

Si queremos aplicar al puesto un régimen de trabajo-descanso, para disminuir el riesgo:

TGBH (límite) descansando = 32.5 °C (tabla 1, para 0% de trabajo)

Si el periodo de descanso lo realiza en el mismo ambiente de trabajo, considerando que la persona está aclimatada, entonces, TGBH descansado = 32.3 °C.

Aplicando la ecuación VII:

$$ft = \frac{32.5 - 32.3}{32.5 - 31} \times 60 = 8 \text{ minutos de trabajo por hora}$$

El trabajador deberá realizar actividades por 8 minutos y descansar por 52.

Si, por el contrario, descansa en un lugar más fresco, cuyo TGBH fuera por ejemplo, de 27 °C, aplicando la ecuación VI:

$$ft = \frac{(32.5 - 27)}{(32.3 - 31) + (32.5 - 27)} \times 60 = 48 \text{ minutos de trabajo por hora}$$