



Evaluación del riesgo de estrés térmico: Índice WBGT

Estimation of the heat stress: WBGT index
Estimation de la contrainte thermique: Indice WBGT.

Autor:

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), O.A., M.P.

Elaborado por:

Luz Barroso Alonso

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO. INSST

En esta Nota Técnica de Prevención (NTP) se explica la metodología para valorar el riesgo de estrés térmico basada en el índice WBGT recogida en la norma UNE EN ISO 7243: 2017 "Ergonomía del ambiente térmico. Evaluación del estrés al calor utilizando el índice WBGT (temperatura de bulbo húmedo y de globo)". La norma incluye modificaciones respecto a su anterior edición de 1995. Se trata de una primera aproximación y no de un método preciso y su cálculo permite tomar decisiones en cuanto a las posibles medidas preventivas a aplicar. Esta NTP actualiza la NTP 322 incluyendo las citadas modificaciones.

En este documento se muestra también, por su posible utilidad, el criterio de la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) para el establecimiento de periodos de descanso en trabajos con riesgo de estrés térmico, así como un ejemplo práctico de valoración del riesgo mediante el índice WBGT.

Las NTP son guías de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. A efectos de valorar la pertinencia de las recomendaciones contenidas en una NTP concreta es conveniente tener en cuenta su fecha de edición.

1. INTRODUCCIÓN

Para evaluar los riesgos debidos al calor se debe distinguir entre la causa (estrés térmico) y el efecto (sobrecarga térmica).

El estrés térmico corresponde a la carga neta de calor a la que las personas están expuestas en el ambiente laboral y es el resultado de las condiciones de trabajo, la actividad física que realizan y las características de la ropa que utilizan.

La sobrecarga térmica es la respuesta fisiológica del cuerpo humano al estrés térmico y corresponde al coste que le supone al cuerpo humano el ajuste necesario para mantener la temperatura interna en el rango adecuado (consultar NTP-922 "Estrés térmico y sobrecarga térmica: evaluación de los riesgos").

El riesgo por estrés térmico, para una persona expuesta a un ambiente caluroso, depende de la producción de calor de su organismo como resultado de su actividad física y de las características del ambiente que lo rodea, que condiciona el intercambio de calor entre el ambiente y su cuerpo. En la figura 1 se indica el proceso a seguir de forma esquemática.

El índice WBGT (Wet Bulb Globe Temperature, en español, temperatura del bulbo húmedo y de globo) es un índice de estrés térmico cuyo valor resume la agresividad del ambiente térmico al que está expuesta una persona. Este índice es fácil de determinar en la mayoría de los entornos y se trata de un método de cribado para identificar la presencia o ausencia de estrés térmico.

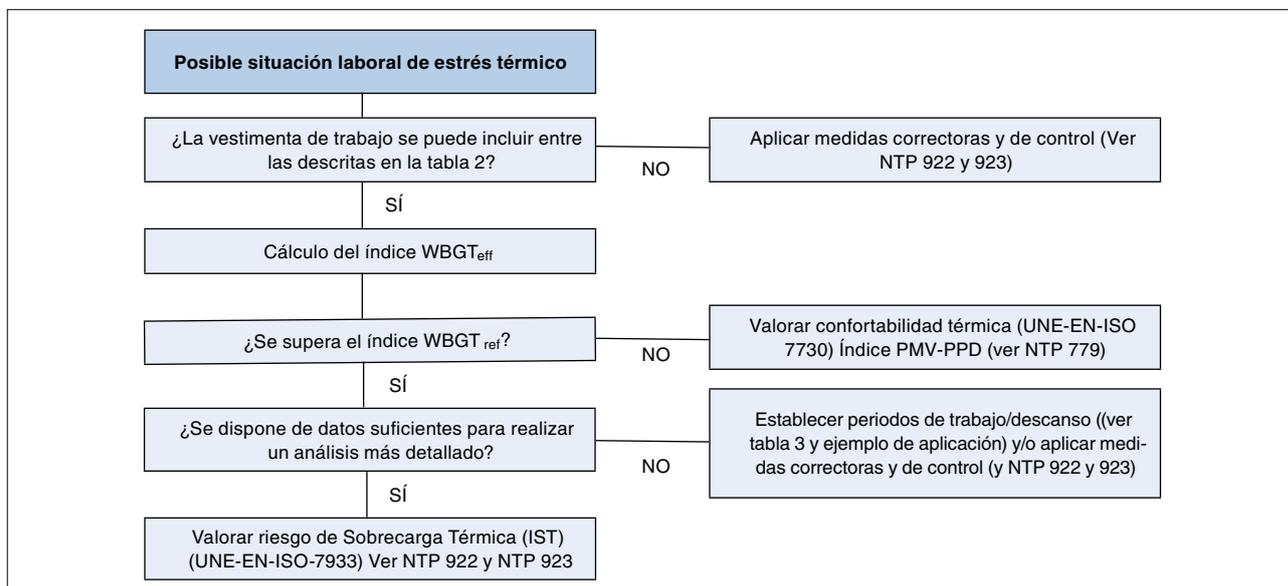


Figura 1. Diagrama de flujo de posible situación laboral de estrés térmico.

2. PRINCIPIOS DEL MÉTODO DE EVALUACIÓN

El método de evaluación parte del cálculo del índice WBGT en base a:

- La ropa de trabajo, que modifica el intercambio de calor con el entorno.
- La producción interna de calor en el cuerpo (tasa metabólica) como resultado de la actividad física.
- Las características del ambiente que rigen la transferencia de calor entre el entorno y el cuerpo. Para ello, se necesitará conocer los siguientes parámetros (UNE-EN ISO 7726:2002 y UNE-EN ISO 7243:2017):
 - Temperatura radiante media.
 - Temperatura del aire.
 - Humedad absoluta.
 - Velocidad de aire.

Sin embargo, debido a que la medición de la temperatura radiante media presenta dificultades instrumentales (coste, complejidad técnica, etc.), se mide en su lugar la temperatura de globo, que lleva implícito el valor de la velocidad del aire.

La humedad del aire se incluye en la valoración midiendo la temperatura húmeda que, en el caso del índice WBGT, es la temperatura húmeda natural (ver UNE EN 7243:2017).

Los instrumentos de medida deben cumplir los requisitos establecidos en la norma UNE EN 7726:2002.

3. METODOLOGÍA

El cálculo del índice WBGT se lleva a cabo siguiendo las fases siguientes:

3.1 Selección de las condiciones de trabajo más desfavorables

La determinación del índice WBGT solo permite estimar el riesgo por estrés térmico al que está sometida una persona en las condiciones existentes en el momento de realizar las mediciones. En consecuencia, se recomienda que las mediciones se realicen en el momento del año en que es más probable que exista riesgo debido al estrés térmico: durante el período más caluroso, normalmente en verano. En esa misma estación, lo mejor es seleccionar el período más desfavorable de la exposición, durante las horas centrales del día, o el período de la exposición que más probablemente induzca el nivel más elevado de estrés térmico.

3.2 Obtención de los parámetros de medida

Para el cálculo del índice WBGT hay que establecer los siguientes parámetros de medida:

- *Temperatura de globo (TG)*: es la temperatura indicada por un sensor colocado en el centro de una esfera hueca de las siguientes características:
 - Diámetro: 150 mm.
 - Coeficiente de emisión medio: 0.95 (negro y mate).
 - Grosor: tan delgado como sea posible.
 - Escala de medición: 20°C-120°C.
 - Precisión: $\pm 0.5^\circ\text{C}$ de 20°C-50°C y $\pm 0.1^\circ\text{C}$ de 50°C-120°C.

- *Temperatura húmeda natural (THN)*: es el valor indicado por un sensor de temperatura recubierto de un tejido humedecido (tipo muselina). El hecho de que este sensor de temperatura requiera ventilación natural y no ventilación forzada, le diferencia de la temperatura húmeda psicrométrica, ya que esta última sí requiere una corriente de aire alrededor del sensor. La temperatura húmeda psicrométrica es la más conocida y utilizada en física.

El sensor debe tener las siguientes características:

- Forma cilíndrica.
- Diámetro externo: $6\text{mm}\pm 1\text{mm}$.
- Longitud del sensor: $30\text{mm}\pm 50\text{mm}$.
- Rango de medición: 5°C a 40°C .
- Precisión: $\pm 0.5^\circ\text{C}$.
- La parte sensible del sensor debe estar recubierta de un tejido (p. ej. 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 cubierto por el tejido (tipo mecha), para reducir el calor transmitido por conducción desde el soporte al sensor.
- El tejido debe formar una manga que se ajuste sobre el sensor. No debe estar ni demasiado apretado ni demasiado holgado.
- El tejido debe mantenerse limpio.
- La parte inferior del tejido debe estar inmersa en un recipiente de agua destilada y la parte no sumergida del tejido tendrá una longitud entre 20 y 30 mm.
- El recipiente de agua destilada debe estar protegido de la radiación térmica.

- *Temperatura seca del aire (TA)*: la temperatura del aire puede medirse por cualquier método adecuado, sea cual sea la forma del sensor utilizado. Debe tener las siguientes características:

- El sensor de temperatura del aire deberá, en particular, estar protegido de la radiación por un dispositivo que no impida la circulación del aire a su alrededor y que no le irradie calor.
- El rango de medición debe estar entre 10°C y 60°C con una precisión de $\pm 1^\circ\text{C}$.

Nota: Los instrumentos actuales de medida a menudo difieren en las características de estas definiciones, pero deben de incluir de fábrica, en cualquier caso, los factores de corrección internos oportunos para que las lecturas sean correctas.

3.3 Determinación de la tasa metabólica (M)

La cantidad de calor producido por el organismo es una variable que es necesario conocer para la valoración del estrés térmico. Para estimarla se puede utilizar el dato de la tasa metabólica, que representa la cantidad total de energía consumida dentro del cuerpo a lo largo del tiempo, como consecuencia de la tarea que desarrolla la persona trabajadora, despreciando en este caso la potencia útil (dado que el rendimiento es muy bajo) y considerando que toda la energía se transforma en calor.

La tasa metabólica puede medirse a través del consumo de oxígeno de la persona o estimarlo mediante tablas. Para el cálculo del WBGT se utilizan los valores basados en el trabajo continuo por niveles de esfuerzo físico, es decir, por actividad (ver tabla 1).

Clase	Tasa metabólica (W)	Actividad (ejemplos)
Descanso	115 (entre 100 y 125)	Sentado, de pie, en descanso.
Actividad ligera	180 (entre 125 y 235)	Trabajo manual ligero (escribir, teclear, dibujar, costura, contabilidad). Trabajo manual con manos y brazos (con herramientas pequeñas, inspección, clasificación, montaje o selección de materiales ligeros). Trabajo con los brazos y las piernas (conducción de vehículos en condiciones normales, activación con el pie de interruptores o pedales). Taladrado de pie (piezas pequeñas), fresado (piezas pequeñas), enrollado de bobinas y pequeñas armaduras; mecanizado con herramientas de baja potencia (taladros, amoladoras, etc.); caminar sin prisa (velocidad hasta 2,5 km/h).
Actividad moderada	300 (entre 235 y 360)	Trabajo sostenido con manos y brazos constante (clavar clavos, limar, etc.). Trabajo con brazos y piernas (conducción de camiones, tractores o máquinas de obras públicas en obras); trabajo con tronco y brazos (martillos neumáticos, acoplamiento de aperos a tractor, enyesado, manejo intermitente de pesos moderados, escardar, usar la azada, recoger frutas y verduras, tirar de o empujar carretillas ligeras, caminar a una velocidad de 2.5 km/h hasta 5,5 km/h, trabajos en forja).
Actividad alta	415 (entre 360 y 465)	Trabajo intenso con brazos y tronco; transporte de materiales pesados; palear; empleo de macho o maza; empleo de sierra; cepillado o escopleado de madera dura; corte de hierba o cavado manual; caminar a una velocidad de 5,5 km/h hasta 7km/h; empujar o tirar de carros o carretillas guiadas con la mano que transporten cargas elevadas; desbarbado de fundición; colocación de bloques de hormigón.
Actividad muy alta	520 (>465)	Actividad muy intensa a ritmo de muy rápido a máximo; trabajo con hacha; cavado o paleado intenso; subir escaleras, rampas o escalas; caminar rápidamente a pequeños pasos; correr; caminar a una velocidad superior a 7 km/h.

Tabla 1: valores de tasa metabólica (UNE-EN ISO 7243:2017)

3.4 Cálculo del índice WBGT

Una vez establecido los parámetros de medida, se calcula el índice WBGT.

La elección de la ecuación para el cálculo del índice WBGT a aplicar depende de dónde se lleve a cabo la medición:

- Si la medición se realiza en el interior de edificios o en el exterior sin carga solar, el cálculo se realizaría a través de la siguiente fórmula:

$$WBGT = 0,7 t_{hn} + 0,3 t_g$$

- Si la medición se realiza en el exterior con carga solar, el cálculo se realizaría a través de la siguiente fórmula:

$$WBGT = 0,7 t_{hn} + 0,2 t_g + 0,1 t_a$$

t_{hn} : temperatura húmeda natural

t_g : temperatura de globo

t_a : temperatura seca del aire

Si el trabajo de un día se divide en distintos tipos o categorías, puede ser necesario realizar mediciones y evaluaciones separadas de los distintos tipos de trabajo.

En relación con la duración de las mediciones, se requiere una medición del WBGT durante un período representativo de aproximadamente 1 hora (condiciones más desfavorables). La duración de cada medición depende del tiempo de respuesta del sensor, que en determinadas ocasiones puede ser considerable (especialmente en el caso de la temperatura del globo). Se debe establecer un

valor estable para todas las lecturas del sensor antes de registrar los valores asignados para esa lectura.

Es necesario tener en cuenta las constantes de tiempo, la precisión y la sensibilidad de la instrumentación a la hora de medir el valor de cualquier parámetro.

Si durante la jornada laboral hay diferentes situaciones de trabajo y varían las condiciones ambientales (diferentes ambientes o lugares de trabajo) o la tasa metabólica (realización de diferentes actividades o tareas), se calculará el índice WBGT y la tasa metabólica, de cada periodo diferenciado y ponderándolos luego en el tiempo, aplicando las siguientes expresiones:

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n M_i * t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}$$

$$WBGT = \frac{\sum_{i=1}^n WBGT_i * t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}$$

El subíndice "i" hace referencia a cada período y "t" hace referencia a su duración, siendo "n" el número de periodos diferenciados. La suma de todos los tiempos ($\sum_{i=1}^n t_i$) debe ser inferior o igual a 1 hora. Esto se debe a que las compensaciones de unas situaciones térmicas con otras no ofrecen seguridad en periodos de tiempos largos.

3.5 Determinación del factor de ajuste de la vestimenta (CAV)

Los valores de referencia del WBGT han sido desarrollados para ropa de trabajo de algodón como vestimenta estándar

(0.6 clo e $im^*=0.38$). En caso de que la vestimenta sea diferente, especialmente con diferente resistencia a la evaporación, el riesgo de estrés térmico puede variar, por ello debe corregirse el índice WBGT. En este caso, los valores del ajuste de la vestimenta (CAV) son los expuestos en la tabla 2.

* im =índice de permeabilidad a la humedad: relación entre la resistencia total al calor de la ropa seca (I_{cl}) y la resistencia total a la evaporación de la ropa (Re_{cl}) para un conjunto de ropa, dividida por la relación de Lewis (16,5K/kPa) (UNE-EN-ISO 13731:2001).

Vestimenta	Observaciones	CAVs (°C -WBGT)
Ropa de trabajo.	Ropa de trabajo confeccionada con material tejido. Es la vestimenta de referencia (camisa de manga larga y pantalones).	0
Mono de trabajo.	Confeccionado con tela, material tejido (por ejemplo, algodón).	0
Mono de trabajo confeccionado con material no tejido, tipo SMS, de una sola capa.	SMS: material fabricado mediante un proceso específico que sella (no teje) hilos de polipropileno. Transpirable.	0
Mono de trabajo confeccionado con material no tejido, de poliolefinas, de una sola capa.	Material patentado hecho de polietileno (por ejemplo, Tyvek®).	2
Delantal largo y de manga larga, sobre mono de trabajo, cuyo material de confección presenta resistencia al paso del vapor de agua.	Delantal de forma envolvente diseñado para proteger el cuerpo, frente a salpicaduras químicas, por delante y por los lados.	4
Doble capa de tejido.	Generalmente se refiere a mono convencional sobre la ropa de trabajo.	3
Monos cuyo material de confección presenta resistencia al paso del vapor de agua, sin capucha (una sola capa).	Su efecto depende de la humedad ambiental, pues dificultan la evaporación del sudor. En muchos casos el efecto puede ser menor que el que indica el CAV.	10 (ver nota)
Monos cuyo material de confección presenta resistencia al paso del vapor de agua, con capucha (una sola capa).	Su efecto depende de la humedad ambiental, pues dificultan la evaporación del sudor. En muchos casos el efecto puede ser menor que el que indica el CAV.	11 (ver nota)
Monos (sobre la ropa de trabajo) cuyo material de confección presenta resistencia al paso del vapor de agua, sin capucha.	-	12
Capucha (*).	Llevar capucha de cualquier tejido con cualquier conjunto de ropa.	+1

(*) Valor a añadir al CAV del conjunto sin capucha.

Tabla 2: valores de los CAV según la vestimenta (UNE-EN ISO 7243:2017).

3.6 Determinación gráfica o mediante cálculo del índice WBGT máximo admisible en esa situación de trabajo (se le denomina índice WBGT de referencia, $WBGT_{ref}$)

Los CAV calculados en la anterior fase se añaden a los valores del WBGT para calcular el $WBGT_{eff}$, que representa una estimación de estrés térmico con la ropa real utilizada:

$$WBGT_{eff} = WBGT + CAV$$

En el caso de vestimenta de referencia, como se ha comentado anteriormente, el WBGT coincide con el $WBGT_{eff}$, es decir, $CAV=0^{\circ}C$.

El valor límite de referencia ($WBGT_{ref}$) se calcula mediante las siguientes ecuaciones, dependiendo de si las

personas están aclimatadas o no (se entiende por persona aclimatada aquella que ha estado expuesta a las condiciones de trabajo de calor o a condiciones similares o más extremas durante al menos una semana de trabajo completa inmediatamente anterior al periodo de evaluación):

Ecuación para personas aclimatadas:

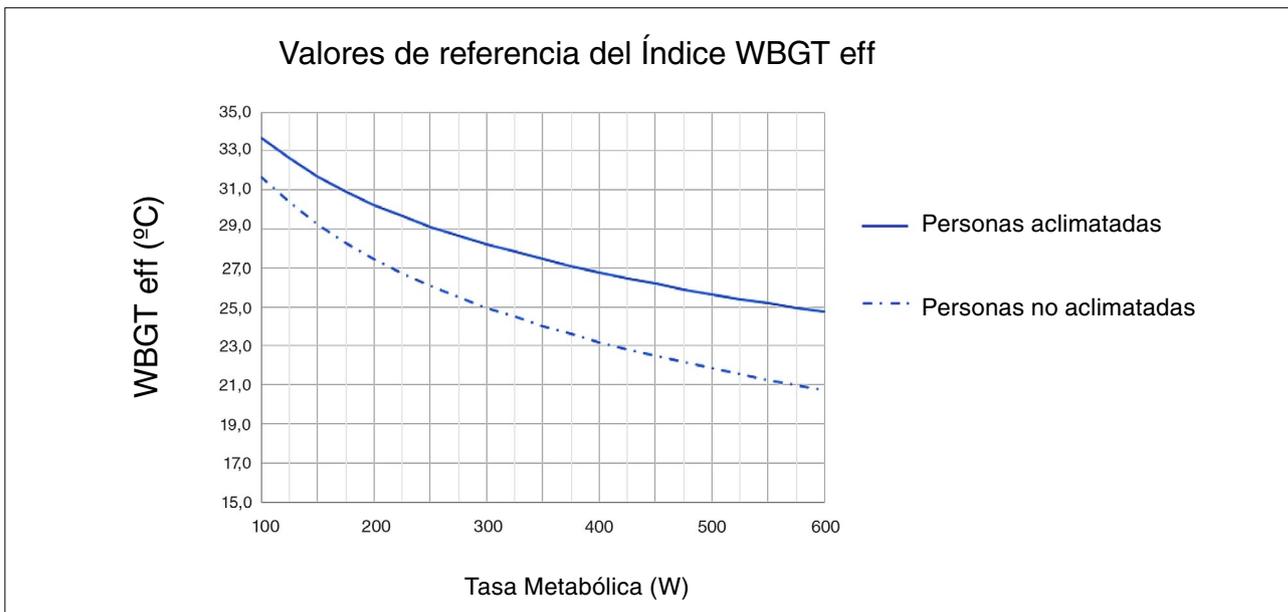
$$WBGT_{ref} = 56,7 - 11,5 \log_{10}(M)^{\circ}C$$

Ecuación para personas no aclimatadas:

$$WBGT_{ref} = 59,9 - 14,1 \log_{10}(M)^{\circ}C$$

En ambos casos M estaría comprendido entre 115 y 520 W.

Las ecuaciones anteriores se presentan habitualmente de forma gráfica (ver gráfica 1).



Gráfica 1: valores de referencia del $WBGT_{eff}$ (UNE-EN ISO 7243:2017)

3.7 TLV's de la ACGIH

Después de haber calculado el $WBGT_{ref}$ y tal cómo se ha indicado en el inicio de esta NTP, se puede establecer los periodos de descanso en trabajos con riesgo de estrés térmico a través del criterio de la ACGIH. Para ello se utilizará la tabla 3.

En la tabla 3 se dan los criterios de selección de la fracción de trabajo y descanso en el ciclo de trabajo para los valores TLV (*threshold limit value*) y límite de acción WBGT, basados en el consumo energético causado por el trabajo y el porcentaje de trabajo realizado durante la jornada. En la tabla, los criterios ya tienen incorporado el ajuste de la vestimenta de trabajo.

Porcentaje de trabajo y recuperación	Valores límite WBGTeff (TLV) en °C				Valores de acción WBGT eff en °C			
	Ligera	Moderada	Alta	Muy alta	Ligera	Moderada	Alta	Muy alta
75-100%	31.0	28.0	-	-	28.0	25.0	-	-
50-75%	31.0	29.0	27.5	-	28.5	26.0	24.0	-
25-50%	32.0	30.0	29.0	28.0	29.5	27.0	25.5	24.5
0-25 %	32.5	31.5	30.5	30.5	30.0	29.0	28.0	27.0

Tabla 3. Criterios de selección para el TLV y valores de acción para la exposición al estrés térmico según la actividad (TLVs® and BEIs® ACGIH 2018).

En esta tabla se introduce el concepto de valores de acción, que determinan cuándo deben tomarse medidas de prevención (del nivel y características adecuadas en cada caso) para que no se superen los valores límite.

Existen también criterios de la NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*) publicados en el documento **Heat stress Work/Rest Schedules** (con limitaciones específicas) para exposición a calor y entornos calurosos laborales, basados en la temperatura del aire (con ajustes de exposición solar y humedad) por cada hora de trabajo, en el que se establecen porcentajes de trabajo y descanso.

4. EJEMPLO DE APLICACIÓN

En un puesto de trabajo de pintado aerográfico de piezas con una pistola, en una línea en continuo con túnel de secado en horno, se solicita la valoración mediante el método WBGT de estrés térmico.

La persona que realiza esta tarea durante toda su jornada laboral utiliza un traje de protección tipo *tyvek*® con capucha para agentes químicos y está aclimatada al calor.

Las mediciones se han realizado durante el mes de julio, suponiendo las peores condiciones ambientales en la peor hora de exposición laboral, obteniendo una

temperatura de globo de 40°C, una temperatura húmeda natural de 23°C y una temperatura seca de 25°C.

El cálculo de la tasa metabólica se obtiene de la tabla 1, considerando una actividad ligera, por estar realizando un trabajo de pie sin esfuerzos notables de brazos. El valor medio según la tabla es de $M=180W$.

El índice WBGT, calculado según las temperaturas indicadas y la ecuación del punto 3.4, para interiores, resulta ser de 28.1°C.

Para el cálculo del $WBGT_{eff}$ (por efecto de la ropa que no es la de referencia, y la capucha), en la tabla 2 obtenemos un valor de CAV de 2+1. Aplicando la ecuación:

$$WBGT_{eff} = 28.1 + 3 = 31.1^{\circ}C$$

Para una persona aclimatada y actividad ligera el $WBGT_{eff}$ (de acuerdo con la ecuación del punto 3.6) sería de 30.8°C, por lo que existe una situación de riesgo debido al estrés térmico en estas condiciones y según este método.

Para mejorar la situación, se opta por apantallar el horno, obteniendo una temperatura de globo de 26°C, una temperatura húmeda natural de 23°C y una temperatura seca de 25°C.

El índice WBGT, calculado según las temperaturas indicadas, resulta ser de 23.9°C, por lo que:

$$WBGT_{eff} = 23.9 + 3 = 26.9^{\circ}C$$

En esta situación, no se sobrepasa el valor límite de referencia del $WBGT_{eff}=30.8^{\circ}C$ de riesgo de estrés térmico.

Otra opción para mejorar la situación sería reducir el tiempo de trabajo, aplicar el criterio de porcentaje de trabajo y recuperación (tabla 3) y considerar el porcentaje de trabajo-recuperación de 25-50% con actividad ligera con un valor límite $WBGT_{eff}$ de 32°C. Aun así, superaría los valores de acción y se deberían tomar medidas preventivas o correctoras de la situación.

BIBLIOGRAFIA

UNE EN ISO 7243: 2017. "Ergonomía del ambiente térmico. Evaluación del estrés al calor utilizando el índice WBGT (temperatura de bulbo húmedo y de globo)".

UNE-EN ISO 7726:2002. "Ergonomía de los ambientes térmicos. Instrumentos de medida de las magnitudes físicas".

UNE-EN-ISO 13731:2002. "Ergonomía del ambiente térmico. Vocabulario y símbolos".

Monroy Martí, E; Luna Mendaza, Pablo. Notas técnicas de prevención. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. NTP-922 Estrés térmico y sobrecarga térmica: evaluación de los riesgos (I). INSST. Año 2011.

Threshold Limit Values (TLVs®) and Biological Exposure Indices (BEIs®) Guidelines. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Año 2018 TLVs® BEIs®.

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Heat stress Work/Rest Schedules. Año 2017. Disponible en: <https://www.cdc.gov/niosh/mining/UserFiles/works/pdfs/2017-127.pdf>