



## DESARROLLO DE UN MEDIDOR DE ESTRÉS TÉRMICO

L. Vera, A. Firman, M. Diaz<sup>1</sup>, A Busso,  
GER – Grupo en Energías Renovables - FaCENA – UNNE.  
Av. Libertad 5470 – 3400 Corrientes. Argentina.  
Tel./Fax: (03783) 473931 e-mail: lh\_vera@yahoo.com.ar

**RESUMEN:** Las condiciones ambientales existentes en industrias del nordeste Argentino, en general, presentan un entorno de trabajo térmicamente inadecuado debido a las elevadas temperaturas en los meses de verano y a la falta de acondicionamiento térmico de las edificaciones. En esta condición, el trabajador se encuentra en un escenario de falta de confort o de estrés térmico, situación que compromete la concentración y la capacidad física de los trabajadores pudiendo causar accidentes o problemas de salud. En este artículo se presenta un sistema de medición de estrés térmico desarrollado por el Grupo en Energías Renovables (GER) junto con la metodología de cálculo de índices utilizados para evaluar la condición térmica de operarios en diferentes condiciones de trabajo y los valores de índices de estrés térmico medidos en una industria de la región.

**Palabras clave:** estrés térmico, psicrometría, instrumentación.

### INTRODUCCIÓN

Si bien las condiciones térmicas del medio que nos rodea son muy variables la temperatura interior de nuestro cuerpo es aproximadamente constante e igual a 37°C. Para mantener esta condición, independientemente de lo que suceda en el medio, el ser humano ha desarrollado una serie de mecanismos que le permiten regular su temperatura corporal. Los mecanismos más conocidos para el control de la temperatura corporal son: la vasoconstricción cuando se siente frío y la transpiración o vaso sudoración cuando se siente calor.

La sensación de frío o calor no es cuantificable considerando exclusivamente las condiciones ambientales, esta sensación también está relacionada con la vestimenta y el nivel de actividad que se efectúe. De esta forma, en un mismo ambiente, algunas personas pueden sentir frío en cuanto otras afirman que sienten calor. En todos los casos, cuando mas extremas sean las condiciones térmicas del ambiente, mayor será el esfuerzo necesario para mantener el cuerpo a una temperatura constante de 37°C. Dependiendo del grado de esfuerzo que se realice para mantener la temperatura interior, se pueden presentar tres situaciones:

- *Situación de confort térmico:* el mantener la temperatura interior del cuerpo no implica un esfuerzo significativo.
- *Situación térmica no confortable:* el esfuerzo necesario para mantener la temperatura corporal es bajo, pero existen condiciones locales que impiden que se plantee una situación de confort térmico (corrientes de aire, contacto con superficies calientes o frías, etc.)
- *Situación de tensión térmica (estrés térmico):* en este caso, mantener la temperatura interior del cuerpo exige un esfuerzo significativo que interfiere con la capacidad de concentración, de realizar trabajos, y limita el tiempo que se puede desarrollar una tarea en esta situación.

En ambientes industriales es habitual que se trabaje en condiciones de estrés térmico, ya sea debido a condiciones de frío o calor excesivo. En estas situaciones, la concentración y la capacidad física de los trabajadores se ven comprometidas, afectando la productividad de la empresa y creando condiciones propicias para que se produzcan accidentes de trabajo. Otro efecto derivado de la combinación de la actividad física con el estrés por calor es un impacto negativo en el sistema cardiovascular humano. En la Argentina, la Ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo (Ley N° 19.587 y su Decreto Reglamentario N° 351/79 con las modificaciones de la Res. N° 295/2003) establece que *la higiene y seguridad en el trabajo debe comprender las normas técnicas y medidas sanitarias, precautorias y reglamenta obligaciones relativas a la carga térmica con el objeto de preservar y mantener la integridad psicofísica de los trabajadores y prevenir, reducir, eliminar o aislar los riesgos de los distintos centros o puestos de trabajo; estimular y desarrollar una actitud positiva respecto de la prevención de los accidentes o enfermedades que puedan derivarse de la actividad laboral.* A nivel internacional se toman como criterios de referencia para considerar los efectos de temperatura ambiente en el desempeño de los trabajadores la norma ISO 7243 (1989) y la norma ASHRAE F8 (2001).

Considerando lo expuesto, en este artículo se presenta la metodología de cálculo del estrés térmico en ambientes industriales, los índices utilizados para evaluar la condición térmica de trabajadores en diferentes condiciones de

<sup>1</sup> Gerente Comercial, Laboratorio SOLMAX

trabajo, un sistema de medición de estrés térmico desarrollado por el Grupo en Energías Renovables (GER) y valores de índices de estrés térmico medidos en industrias de la región.

## ÍNDICES DE ESTRÉS TÉRMICO

El método más exacto para determinar el nivel de estrés térmico de un individuo es a través de la medición de los indicadores fisiológicos de estrés (tasa de transpiración, nivel de deshidratación, temperatura corporal, etc.), estos valores permiten cuantificar los indicadores e identificar la situación térmica (Lambert, 2002). Sin embargo, la medición de estos indicadores es de difícil implementación. Por esta razón, existen otros indicadores que permiten evaluar el nivel de estrés térmico al que está sujeto un trabajador en función de su actividad física (o tasa metabólica) y de las condiciones térmicas del ambiente en el que se encuentra. Estos indicadores son normalmente designados como *índices de estrés térmico*.

Los estudios sobre índices de estrés térmico comienzan a principio del siglo XX. Analizando lo reportado por diferentes autores (Sá, 1999), existen más de 30 índices de estrés térmico, aunque una gran parte de ellos está en desuso y otros corresponden a propuestas de nuevas metodologías de cálculo (Olsen and Parsons, 2002). Actualmente, el índice de estrés térmico más utilizado es el *Wet Bulb Globe Temperature* o *WBGT*, que puede ser traducido como “Índice de Temperatura de Bulbo Húmedo y de Temperatura de Globo”. Este índice, propuesto en los años 50 por la Marina de Guerra de los EUA, se basa en la medición de dos temperaturas:

*Temperatura de bulbo húmedo (Tbh)*: es la temperatura medida por un termómetro cuyo extremo se encuentra rodeado por un algodón húmedo. La evaporación de la humedad del algodón enfría la región húmeda del termómetro causando que la temperatura medida sea menor que la temperatura del aire. A medida que aumenta la diferencia entre la temperatura del aire y la *Tbh* el potencial de disipación de calor por evaporación es mayor.

*Temperatura de globo (Tg)*: es la temperatura medida por un termómetro colocado en el interior de un globo de cobre pintado de negro de 150 mm de diámetro. El globo debido a su elevada conductividad térmica intercambia calor por radiación con las superficies del entorno, y por convección con el aire, de esta forma, el valor registrado es la temperatura media del ambiente en donde se encuentra situado.

Los valores medidos por estos dos sensores dependen de la temperatura y velocidad del aire, de la humedad relativa del medio y de la temperatura de las superficies envolventes. Estas cuatro variables ambientales son las que tienen mayor importancia cuando se realiza un balance térmico en el cuerpo humano. De esta forma, es posible encontrar una combinación de los valores de temperatura de globo y temperatura de bulbo húmedo que conduce, de forma bastante precisa, a la evaluación del comportamiento térmico del cuerpo humano. El índice *WBGT* es exactamente el resultado de esta combinación (Ec. 1) y.

$$WBGT = 0,7Tbh + 0,3Tg \quad (1)$$

El índice propuesto en la Ec. (1) es utilizado actualmente por la Ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo para el cálculo del estrés térmico en ambientes interiores, cuando se desea evaluar el confort térmico en ambientes exteriores el efecto de la temperatura ambiente (*Ta*) debe ser contemplada. De esta forma, la expresión a ser utilizada en estas condiciones es presentada en la Ec. 2.

$$WBGT = 0,7Tbh + 0,2Tg + 0,1Ta \quad (2)$$

Una vez conocido el valor de *WBGT* es posible, a través de la comparación con valores de referencia, determinar el nivel de “estrés” térmico al que el trabajador es sometido. Si el índice *WBGT* es superior a los valores indicados en la Tabla 1 será necesario disminuir el tiempo de permanencia en el local de trabajo o crear condiciones que permitan una reducción del índice *WBGT* del local.

Tipo de Actividad	Valor máximo del WBGT			
	Trabajador aclimatado*		Trabajador no aclimatado*	
Descanso	33		32	
Trabajo manual Leve	30		29	
Trabajo manual moderado	28		26	
	Aire parado	Corriente de aire	Aire parado	Corriente de aire
Actividad Física intensa	25	26	22	23
Actividad Física muy intensa	23	25	18	20

Tabla 1: Valores máximos recomendados para el índice *WBGT* para un tiempo de exposición de 8 horas (ISO 7243).

\* Persona aclimatada: aquella que está adaptada para tener mayor capacidad para tolerar condiciones de estrés térmico

Es importante destacar que para crear las condiciones que permitan la reducción del mencionado índice es necesario caracterizar detalladamente del ambiente térmico del local en cuestión. De no realizar este estudio se corre el riesgo de

plantear una solución inadecuada, como por ejemplo optar por instalar un sistema de climatización o ventilación para bajar la temperatura del aire en el interior de una nave industrial cuando el origen del estrés térmico está relacionado con superficies con temperaturas elevadas.

#### *Medición del Índice de estrés térmico*

Existen diferentes tipos de instrumentos para determinar el estrés térmico, los cuales, en su gran mayoría realizan una estimación de estrés a través del índice *WBGT*, índice que, como se presentó en las Ecs. (1) y (2), utiliza la temperatura de bulbo húmedo y temperatura de globo.

El termómetro de globo nos permite determinar la temperatura media radiante, que es la temperatura uniforme de un ambiente imaginario en el cual la transferencia de calor por radiación del cuerpo humano es igual a la transferencia de calor por radiación en un ambiente real no uniforme. De esta forma, la radiación de las paredes de un ambiente real, que generalmente es heterogénea, es integrada en un valor medio. Como la temperatura media radiante es medida como una relación con el área del cuerpo, el termómetro de globo tipo esférico representa adecuadamente al cuerpo humano en la posición sentada.

La temperatura de bulbo húmedo es un parámetro que permite determinar en forma indirecta la humedad del aire. Este parámetro se tiene en cuenta para analizar el intercambio de calor por evaporación entre las personas y el ambiente.

Existen comercialmente dispositivos que calculan el *WBGT* y que son utilizados en industrias para determinar si el entorno de trabajo cumple con las normas básicas de seguridad e higiene (Ley N° 19.587).

Entre los diferentes medidores de estrés térmico comerciales, el medidor Quest 32 (fabricado en EUA.) es uno de los más utilizados en el país, y su valor de compra es de aproximadamente USD 2300. El elevado costo de estos medidores, sumado a la necesidad de cuantificar el estrés térmico al que están sometidos los trabajadores en la industrias de la región, condujo al desarrollo de un instrumento portátil y autónomo que mide este parámetro, que cumple con la especificaciones determinadas en la norma, que ofrece prestaciones similares a las encontradas en los medidores comerciales y cuyo costo de materiales para su construcción no supera los USD 135.

### **DESARROLLO DE MEDIDOR DE ESTRÉS TÉRMICO**

Para el desarrollo de un equipo medidor de estrés térmico es necesario cuantificar la *T<sub>bh</sub>* o *Humedad* (siendo la temperatura de bulbo húmedo un parámetro que permite determinar en forma indirecta la humedad del aire), *T<sub>g</sub>* y la *T<sub>a</sub>*. La temperatura de globo y la temperatura ambiente son medidas directamente a través de sensores electrónicos.

La medición de la temperatura de bulbo húmedo es poco práctica, ya que es necesario el uso de un termómetro cubierto generalmente de algodón saturado de agua (proveniente de un depósito) y una corriente de aire continua que promueve la evaporación. Si bien este método es económico, preciso y no requiere una carga computacional elevada para realizar los cálculos, requiere el continuo agregado de agua destilada al depósito del instrumento de medición y verificar que el paño de algodón se encuentre mojado (en caso de no confirmar esta situación los valores de *T<sub>bh</sub>* determinados serán totalmente erróneos). Debido a esto se recurrió a colocar un sensor de estado sólido, el cual posee una salida de tensión proporcional a la humedad relativa porcentual, valor que permite calcular la *T<sub>bh</sub>*.

La determinación de la temperatura de globo se realiza a través de un globo o esfera hueca de alta conductividad térmica, en cuyo centro es colocado un sensor electrónico de temperatura. Para realizar el montaje de este sensor se tuvo en cuenta que el mismo no tuviera contacto con ninguna parte del globo, que se encuentre en su centro y, para evitar variación de temperatura por conducción térmica, se utilizó una varilla de baja conductividad térmica para acoplarlo con la base del medidor.

El globo metálico puede tener cualquier diámetro, pero la ecuación utilizada para el cálculo de la temperatura media radiante depende del diámetro del globo, un globo de 15 cm es recomendado debido a que cuanto menor sea el diámetro del globo, mayor será el efecto de la temperatura y la velocidad del aire, llevando a imprecisiones en los resultados (Lamberts, 2002). Por esta razón, se utilizó un globo de aproximadamente este diámetro.

El globo utilizado es de cobre (de alta conductividad térmica) con un espesor de 0,3 mm y, como debe absorber la radiación proveniente de las paredes del ambiente, su superficie fue recubierta con una pintura de color negro opaco. De esta forma, el globo situado en un ambiente, tiende a un balance térmico sobre los efectos de los intercambios entre las diferentes fuentes radiantes del ambiente y a los efectos de la convección. La temperatura de globo en situación de balance térmico permite que *T<sub>g</sub>* sea determinada.

Constructivamente el circuito electrónico del medidor de estrés térmico desarrollado fue montado dentro de una caja plástica (Figura 1 a), la cual posee una división intermedia donde, de un lado, se coloca una batería de plomo gel de 12 voltios y la electrónica asociada al medidor y del otro lado, separado a través de un tabique de aluminio que actúa como barrera térmica, se encuentra un *cooler* para lograr una renovación continua del aire, y se coloca en este sector el sensor de temperatura ambiente y el sensor de humedad relativa en el punto medio de la cámara formada, dispuestos de forma que no obstruyan con el flujo de aire entre ellos. Sobre la parte superior del gabinete se encuentra fijada la esfera hueca de cobre y adherido un *display* alfanumérico de 32 dígitos empleado para visualizar los resultados.

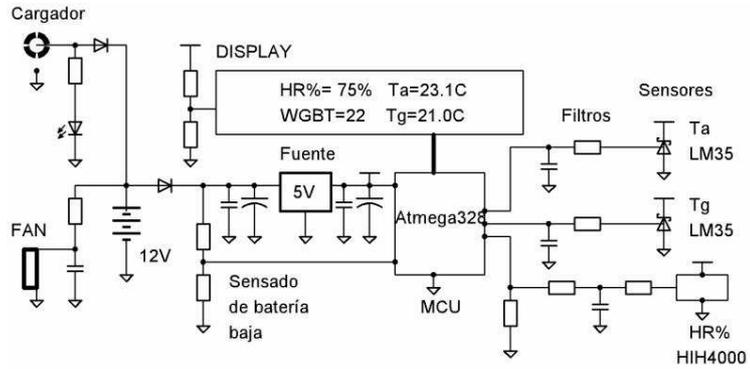
El circuito electrónico es simple (Figura 1 b), su núcleo consta de un microcontrolador, *Atmega328* de la firma *ATMEL*, en el se conectan, previa etapa de filtrado, los sensores para la medición de la temperatura ambiente y de la temperatura de globo y el sensor encargado de medir la humedad relativa porcentual.

La unidad microcontrolada maneja el *display LCD* donde se muestran de forma permanente las mediciones directas, es decir la de *HR%*, *Ta* y *Tg* y, en forma alternada, previo cálculo matemático, la temperatura de bulbo húmedo (*Tbh*), el índice *WBGT* de estrés térmico interior y el estrés térmico exterior. El resto del circuito lo conforma una fuente estabilizada en 5V, un *LED* indicador de carga y un sistema de sensado de tensión de batería para informar, a través del *display*, cuando el estado de carga está bajo.

Con los valores medidos por el sensor de temperatura ambiente, temperatura de globo, humedad relativa y para una presión igual a la de una atmósfera estándar, se procede a calcular el valor de la *tbh* para, seguidamente, determinar el valor del índice *WBGT*.



(a)



(b)

Figura 1. a) Fotografía del medidor de estrés térmico desarrollado, b) Diagrama simplificado del circuito electrónico del medidor de estrés térmico.

#### Cálculo de la *Tbh*

La metodología utilizada para el cálculo de la *Tbh* se basa en las ecuaciones indicadas en la norma ASRAE F6(2001) y los algoritmos propuestos por Simões (1999). El aire húmedo es una mezcla binaria cuya presión total ( $p$ , normalmente de 101325 Pa) es la suma de la presión parcial del aire seco ( $p_a$ ) y la presión parcial del vapor de agua ( $p_w$ ). La presión parcial del vapor de agua varía desde cero (aire seco) hasta un máximo (aire saturado) y esta variación depende de la temperatura de la mezcla. Esta presión es aproximadamente la presión de saturación del vapor de agua puro ( $p_{ws}$ ) a la temperatura en que se encuentra la mezcla. De esta forma, para un determinado valor de temperatura, un parámetro que permite determinar el porcentaje de vapor de agua saturado en la mezcla aire-agua es el valor de las presiones parciales.

La presión de saturación del vapor puede ser encontrada en las tablas de agua líquida y vapor saturado (Incropera, 1996) o, a través de cálculos computacionales que ajustan los valores de estas tablas con curvas expresadas a través de la Ec. (3)

$$p_{ws} = \exp\left(\frac{5,8002206E3}{T} + 1,3914993 - 4,8640239E-2 \cdot T + 4,1764768E-5 \cdot T^2 - 1,4452093E-8 \cdot T^3 + 6,5459673 \cdot \ln(T)\right) \quad (3)$$

donde  $p_{ws}$  es la presión de saturación del vapor de agua sobre agua líquida en la faja de temperaturas de 0 a 200 °C, y si se reemplaza el valor de  $T$  por el valor de la temperatura ambiente (conocida también como temperatura de bulbo seco,  $Tbs$ ) se determina la presión de saturación del vapor de agua para  $Tbs$ , y utilizando la temperatura de bulbo húmedo se determina el valor presión de saturación del vapor de agua para la *Tbh*.

La masa total de aire húmedo esta formada por una mezcla constituida por la suma de la masa de aire seco y la masa de vapor de agua. Esta última varía de cero hasta un máximo en función de la temperatura y la relación entre las cantidades de estas dos masas es la humedad absoluta o contenido de humedad ( $W$ ).

El aire húmedo puede ser considerado una mezcla de gases perfectos independientes, aire seco y vapor de agua, y cada uno obedece la ecuación de estado de los gases perfectos. De esta forma, se puede determinar, a través de la relación de fracciones molares y presiones, el valor de  $W$  (Ec. 4).

$$W = 0,62198 \cdot \frac{p_w}{p - p_w} \quad (4)$$

Para resolver la Ec. (4) es necesario determinar la presión parcial del vapor de agua. Este cálculo se realiza utilizando la humedad relativa ( $HR$ ), la ecuación de estado de los gases perfectos y la relación entre la fracción molar de cada elemento de la mezcla (Ec. 5).

$$p_w = HR \cdot p_{ws} \quad (5)$$

Es importante destacar que en condición de saturación  $W$  se convierte en  $W_s$  (contenido de humedad saturado) y se calcula mediante el reemplazo de  $p_w$  por  $p_{ws}$ .

Para cualquier estado del aire húmedo, existe una temperatura  $T_{bh}$  en la cual el agua líquida (o sólida) evapora en el aire y lo lleva a la saturación. Para los procesos de saturación adiabático a presión constante, el contenido de humedad aumenta de un valor inicial  $W$  para un valor  $W_{stbh}$  correspondiente a la saturación en la temperatura  $T_{bh}$ . Analizando el proceso descrito y contemplando la conservación de la entalpía a presión constante, se llega a la Ec. (6).

$$W = \frac{(2501 - 2,381 \cdot T_{bh})W_{stbh} - (t_{bs} - T_{bh})}{2501 + 1,805 \cdot t_{bs} - 4,1868 \cdot T_{bh}} \quad (6)$$

donde  $W_{stbh}$ , es una función de la temperatura  $T_{bh}$  para un valor fijo de presión. De esta forma, el valor de  $T_{bh}$  que satisface la Ec. (6) para determinados valores de  $W$  y de  $p$ , es la temperatura de bulbo húmedo termodinámico que se deseaba calcular.

La Ec. (6) es utilizada para el cálculo de la temperatura de bulbo húmedo, partiendo de los valores de presión,  $T_{bs}$  y humedad relativa, a través de un proceso iterativo que es descrito en el diagrama de flujo presentado en la Figura 2.

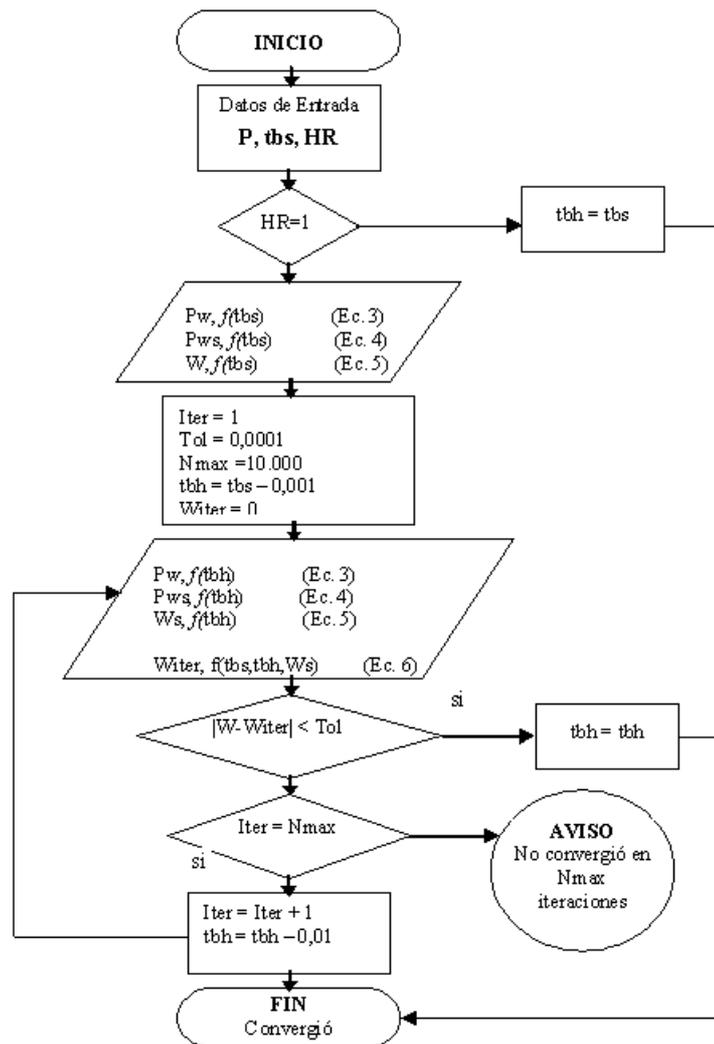


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso iterativo programado en el microcontrolador para calcular la  $T_{bh}$  partiendo con los valores de  $p$ ,  $T_{bs}$  y  $HR\%$ .

El algoritmo de cálculo de la  $T_{bh}$  presentado, es programado en el procesador ATmega328 del medidor de estrés térmico para determinar, a través de este último parámetro, cual es el valor del índice  $WBGT$

## RESULTADOS

Los sensores de temperatura empleados en el medidor fueron contrastados antes de su utilización, para ello se recurrió a un baño térmico constituido por un circuito cerrado de agua, una bomba de recirculación, un recipiente con agua aislado del ambiente y un sensor de referencia (Pt 100), todo el sistema perfectamente aislado del exterior. La temperatura del agua es elevada paulatinamente y, cuando se llega a la estabilización de la misma dentro del baño térmico, se registran los valores de

tensión medidos por los sensores (o sea, cuando el sistema se encuentra en estado de equilibrio térmico), este procedimiento se repite hasta que se consiga determinar los valores de tensión que representan la temperatura de equilibrio dentro del rango de trabajo deseado. Posteriormente, se grafican los valores medidos y se los ajustan por medio de una ecuación lineal (Figura 3 a), obteniéndose la curva de calibración de los sensores de temperatura.

El sensor de humedad relativa fue contrastado a través del valor obtenido de la medición de la temperatura ambiente y la temperatura de bulbo húmedo de 2 sensores calibrados (Pt100), y luego, a través de las relaciones psicrométricas se determinó el valor de la HR%. La medida de la HR% se realizó para condiciones estables en diferentes intervalos de tiempo, y se considero como el mejor valor el promedio de las mismas. Los valores de HR% fueron graficados y luego se ajustaron, al igual que en el caso anterior, mediante la ecuación de una recta (Figura 3 b). Una calibración posterior será realizada a través de la utilización de sales en una solución saturada.

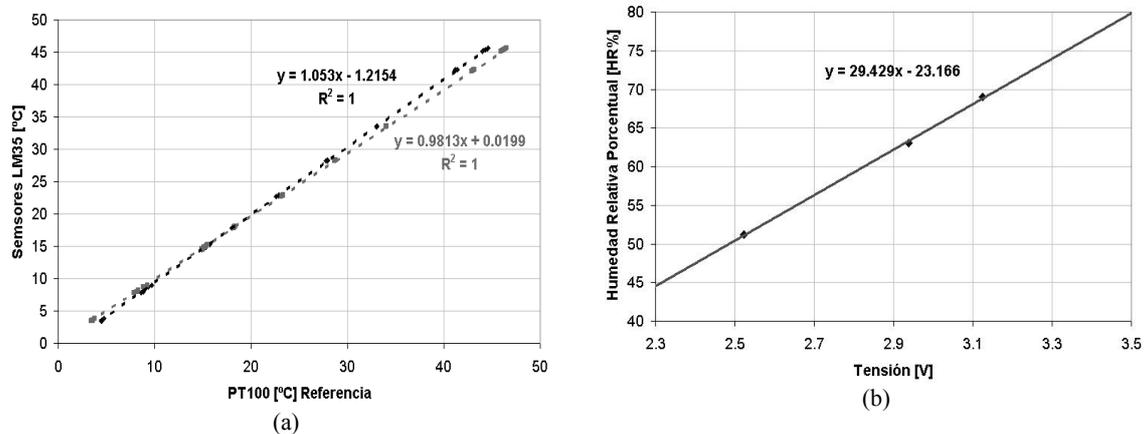


Figura 3: a) Curva de respuesta de los sensores de temperatura, b) curva de respuesta del sensor de humedad.

Lugar	Exposición directa al sol	Trabajo realizado	Categoría de actividad	TBS [°C]	HR [%]	TG [°C]	TBH [°C]	WBGT [°C]
1	si	completar planillas	leve	36,0	36,9	46,5	24,5	30,0
2	si	herrería	leve	39,2	34,3	49,0	26,0	31,9
3	si	operación de válvulas	leve	37,8	35,5	47,5	24,7	30,6
4	no	manipuleo de aceites	leve	34,0	35,3	42,0	22,0	28,0
5	no	moto generadores	leve	36,0	34,5	39,0	23,3	28,0
6	si	completar planillas	leve	37,0	34,0	46,0	24,0	29,7
7	no	control de gasoil	leve	37,0	28,8	41,1	23,0	28,4
8	no	limpieza	leve	36,5	36,4	41,0	24,0	29,1
9	no	control de la usina	leve	35,0	41,0	43,5	24,0	29,8
10	si	completar planillas	leve	36,5	34,9	47,0	24,0	29,8
11	si	descarga de los camiones	leve	38,5	40,7	49,0	26,5	32,2

Tabla 2: Variables medidas y calculadas por el instrumento desarrollado, así como condiciones de exposición directa al sol, el tipo y categoría de actividad realizada

Con el instrumento calibrado se procedió a verificar las condiciones de estrés térmico en diferentes sectores de una industria de la región. Las características ambientales del día que se realizó la medición fueron las siguientes: velocidad del viento 7,0m/s, dirección del viento este sudeste, temperatura ambiente 37,4°C, presión atmosférica 746mm Hg y humedad relativa 44%.

En la Tabla 2 se presentan los valores de las variables medidas y calculadas por el instrumento desarrollado (visibles a través del display gráfico que posee), así como las condiciones de exposición directa al sol, el tipo y categoría de actividad realizada. La metodología de medición se basó en la toma de varios de valores de estrés térmico en condiciones estacionarias durante el turno de trabajo, seguidamente se consideró un valor medio, para finalmente calcular el índice.

Considerando que los operarios se encuentran aclimatados, con uniforme de trabajo de verano y realizan un trabajo manual leve, según los valores máximos recomendados para el índice *WBGT* para un tiempo de exposición de 8 horas (ISO 7243), la modalidad de trabajo puede ser continua en los lugares indicados como 1,4,5,6,7,8 y 10. El resto de los lugares analizados no cumplen con lo especificado en la norma. Es importante destacar que los puntos referenciados como 1,6 y 9 están en el límite del valor del índice *WBGT* permitido.

En los lugares referenciados como punto 2 y 11 la modalidad de trabajo debe ser reducida a 25 % y 75 % descanso por cada hora y en el punto 3 la modalidad de trabajo debe ser de 75 % y 25 % descanso por cada hora (según las curvas de valores de referencia especificados en la figura B.1 de la norma ISO 7243/89).

En los puntos 2, 3 y 11 se podrían aumentar el porcentaje de tiempo de trabajo siempre que se adecuen térmicamente los lugares de trabajo.

## CONCLUSIONES

En este artículo se presentó un medidor de estrés térmico desarrollado por el Grupo en Energías Renovables de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (GER-FaCENA-UNNE). El instrumento desarrollado se realizó con el objetivo de determinar el estrés térmico al que están sometidos los operarios que trabajan en industrias de diferentes rubros en la región nordeste de nuestro país. De esta forma, se proyectó y construyó un instrumento relativamente simple con dispositivos accesibles en el mercado nacional cuya topología permite ampliar sus capacidades de cálculo y medición, de bajo costo, autónomo y que cumple con las normas nacionales.

El sistema desarrollado consta básicamente de un microcontrolador que recibe los valores de temperatura y de humedad relativa, estos valores son utilizados para, a través de las relaciones psicométricas, calcular la temperatura de bulbo húmedo y seguidamente los índices de estrés térmico interior y exterior. Los valores medidos y calculados son mostrados a través de un display gráfico. La construcción del medidor es compacta y consta de un a esfera hueca de cobre pintada de negro opaco, en cuyo interior se encuentra el sensor de temperatura que mide la temperatura de globo. La temperatura ambiente y la humedad relativa son medidas en un compartimiento dentro del cuerpo del instrumento, que se halla aislada del circuito electrónico, y un *cooler* auxilia a la renovación continua del aire con el ambiente para evitar una medida errónea.

Los sensores instalados en el instrumento fueron contrastados previamente a la evaluación del estrés térmico al que estaban expuestos operarios de una industria de la región. Las medidas realizadas en los diferentes entornos de trabajo reflejaron que en gran parte de las situaciones analizadas los operarios que desarrollaban tareas del tipo leve se encontraban en condiciones de estrés térmico, implicando la necesidad de reducir el tiempo de trabajo por hora, en algunos casos, hasta en un 75%. Manifestando claramente que, en determinados lugares de trabajo, las condiciones térmicas inadecuadas pueden ocasionar una disminución de concentración, accidentes de trabajo, disminución de productividad, etc. De esta forma, se verificó la importancia de la caracterización térmica de los ambientes de trabajo, presentando al instrumento desarrollado como un elemento para el análisis y posterior adaptación infraestructural del lugar trabajo. Estas modificaciones, en muchos casos, pueden ser implementadas utilizando principios de arquitectura bioclimática y así crear ambientes adecuados de trabajo. Esta última suposición llevó a medir los índices de estrés térmico por mayores periodos de tiempo para realizar propuestas de modificación infraestructural o simples soluciones que permitan condicionar térmicamente los ambientes de trabajo.

## REFERENCIAS

- ASHRAE F6 Fundamentals (2001) - Chapter 6 – Psychometrics American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers
- ASHRAE F8. Fundamentals (2001) - Chapter 8 - Thermal Comfort. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers
- Atmel Products - AVR Solutions - ATmega328P, disponible on-line en: <http://www.atmel.com/>, último acceso: 01/05/2010.
- Incropera, F and DeWitt D. (2006) Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 6th Edition Wiley Publisher, England
- ISO (1989). ISO 7243 Hot environments - Estimation of the heat stress on working man based in the WBGT-index (wet bulb globe temperature). Geneva, Switzerland, International Organisation for Standards.
- Lamberts R (20002) Conforto Térmico e Stress Térmico Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal De Santa Catarina, Florianópolis.
- Ley Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo 19587. Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social. Resolución 295:2003, “Estrés Térmico y Tensión Térmica”, pp 36-42.
- Olesen B., Parsons K. (2002). Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730 Energy and buildings, vol. 34, pp. 537-548
- Ricardo Sá, (1999). Introdução ao “stress” térmico em ambientes quentes. Publicações: Tecnometal São Paulo.
- Simões Pires, J. R (1999). Fundamentos e Aplicações da Psicometria. São Paulo.

## ABSTRACT

The environmental conditions in industries in northeastern Argentina, generally present a thermally inadequate working environment due to high temperatures in the summer months and the lack of thermal conditioning of buildings. In this condition, the worker is in a stage of lack of comfort or heat stress, a situation which compromises the concentration and physical capacity of workers being able to cause accidents or health problems. This article presents a system to measure the heat stress developed by the Renewable Energy Group (GER). The index calculation methodology used to evaluate the

thermal condition of workers in different working conditions and stress index values heat measured in an industry in the region are presented as well.

**Keywords:** heat stress, psychrometry, instrumentation.