

# INSTRUMENTO DIGITAL PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONFORT TÉRMICO

**Luciano A. Zini** – lzini@ger-unne.com.ar

**Luis H. Vera** – Luis.horacio.vera@comunidad.unne.edu.ar

**Andrés D. Firman** – afirman@ger-unne.com.ar

Universidad Nacional del Nordeste (UNNE) – Grupo en Energías Renovables (GER)-FaCENA

**Resumen.** El instrumento aquí presentado ha sido desarrollado en el Grupo en Energías Renovables (GER) de la Universidad Nacional del Nordeste, Argentina. El mismo, contiene sensores digitales que le permiten medir la temperatura ambiente, humedad relativa y presión atmosférica para, a partir de las mismas, calcular el Índice de Estrés Térmico de personas. Es portable, posee una autonomía de 24h, posee una pantalla para mostrar las variables medidas y es capaz de registrar datos en una tarjeta SD. Conjuntamente se ha desarrollado un software para la lectura y representación de los datos medidos sobre la carta psicrométrica. Además, ofrece la posibilidad de evaluar gráficamente la reducción de horas de trabajo en función del índice calculado y la tasa metabólica de los individuos. En esta etapa de la investigación se cuenta con un prototipo funcional calibrado, con el cual se proyectan realizar mediciones en un parque industrial de la región.

**Palabras Clave:** Confort Térmico, Instrumentación, Psicrometría.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los estudios de confort térmico tienen como objetivo analizar y establecer las condiciones necesarias para la evaluación y diseño de un ambiente térmico adecuado para las actividades y ocupación humanas, así como establecer métodos y principios para un detallado análisis térmico de un ambiente.

La importancia del estudio de confort térmico, está basado principalmente en 3 factores:

- a) La satisfacción al sentirse térmicamente confortable;
- b) El desempeño humano: estudios muestran una clara tendencia de que el desconfort causado por calor o frío, reduce el desempeño humano (Lamberts, 2002). Las actividades intelectuales, manuales y perceptivas, generalmente presentan un mejor rendimiento cuando son realizadas en una condición de confort térmico.
- c) La eficiencia energética: debido a la creciente industrialización, las personas de una sociedad moderna realizan principalmente sus actividades en recintos cerrados, de esta forma, pasan gran parte de sus vidas en ambientes con climas artificiales (ambientes acondicionados).

Analizando los tres factores antes mencionados, y trasladándolos a las condiciones ambientales existentes en diferentes tipos de edificaciones del nordeste Argentino, en general, se reconoce que presentan un entorno de trabajo térmicamente inadecuado. Situación originada por las elevadas temperaturas en los meses de verano y por la falta de un condicionamiento térmico. En esta condición, el ser humano se encuentra en un escenario de falta de confort o de estrés térmico, situación que compromete la concentración y la capacidad física; pudiendo causar accidentes o problemas de salud.

En el mercado existen instrumentos nacionales e importados que permitan medir el confort térmico, se observa que los mismos comparten funciones similares: poseen sensores de temperatura de bulbo seco, de bulbo húmedo y de globo, una pantalla para mostrar los datos medidos; su costo varía entre U\$D 2.000 (TDA, 2015) y U\$D 4.000 (Quest Technologies QT-32, 2015), dependiendo de su capacidad de almacenamiento, autonomía, software específico para procesamiento y visualización de datos, entre otras capacidades.

Lo expuesto a llevado al Grupo en Energías Renovables (GER) perteneciente a la Universidad Nacional del Nordeste, que, además de vincular todas las características de los instrumentos anteriormente mencionados, agrega un sensor que mide la presión atmosférica (ampliando su rango de aplicación) e incorpora funciones de registro de datos y software para PC, todo en un producto de bajo costo.

## 2. CONFORT TERMICO

El confort térmico en las personas, se presenta cuando el cuerpo se mantiene dentro de rangos estrechos de temperatura, la humedad de la piel es baja y el esfuerzo fisiológico de la regulación de temperatura se reduce al mínimo (ASHRAE, 2009). Una definición ampliamente aceptada es “El confort térmico es aquella condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico” (ASHRAE, 2010).

### 2.1 Normativas vigentes.

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 la temperatura ambiente en el desempeño de los trabajadores la norma ISO 7243 (1989) y la norma ASHRAE F8 (2001).

### 2.2 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 (Lamberts, 2002). Sin embargo, la medición de tales 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. Los cuales son normalmente designados como *índices de estrés térmico*.

Actualmente, el índice de estrés térmico más utilizado e indicado en la Ley N° 19.587 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 1.950 por la Marina de Guerra de los *EUA*, se basa en la medición de dos temperaturas: La Temperatura de bulbo húmedo ( $T_{bh}$ ) y la Temperatura de globo ( $T_g$ ). Esta última es la temperatura medida por un termómetro colocado en el interior de un globo de cobre de 150 mm de diámetro pintado de negro mate. El globo, debido a su elevada conductividad térmica, intercambia calor (Simões, 1999). De esta forma, el valor registrado por el termómetro es la temperatura media del ambiente en donde se encuentra situado.

De esta forma, es posible encontrar una combinación de los valores de temperatura de globo y temperatura de bulbo húmedo que conduce a la evaluación del comportamiento térmico del cuerpo humano.

En la Ec. (1) se presenta el cálculo del índice *WBGT interior*.

$$WBGT_i = 0,7 \cdot T_{bh} + 0,3 \cdot T_g \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (1)$$

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 ( $T_a$ ) debe ser contemplada. De esta forma, la expresión a ser utilizada en estas condiciones es presentada en la Ec. (2).

$$WBGT_e = 0,7 \cdot T_{bh} + 0,2 \cdot T_g + 0,3 \cdot T_a \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (2)$$

Una vez conocido el valor de *WBGT* es posible, a través de la comparación con valores de referencia, determinar el nivel de estrés térmico en el que se encuentra el trabajador. Si el *WBGT* es superior a los valores indicados en la Tab. 1 será necesario disminuir el tiempo de permanencia del individuo, o crear condiciones que permitan una reducción del índice *WBGT* del local (mediante calefacción, enfriamiento, ventilación, etc).

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

Tipo de Actividad	Valor Máximo del WBGT (°C)			
	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

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

El tipo de actividad presentado en la Tab. 1 está directamente vinculado con la tasa metabólica ( $M$ ), de esta forma es posible determinar según la actividad y el valor del índice  $WBGT$ , las condiciones de trabajo de un individuo y evaluar la necesidad de reducir el tiempo expuesto a estas condiciones. De esta forma, se evita la situación de riesgo de estrés térmico.

La Fig. 1 presenta curvas del  $WBGT$  que se relacionan con la tasa metabólica del individuo. Estas curvas permiten, una vez conocido  $M$  (ISO 7243, 1989), y obtenido el  $WBGT$  crear algoritmos que calculan la disminución de la jornada de trabajo acorde a estos valores.

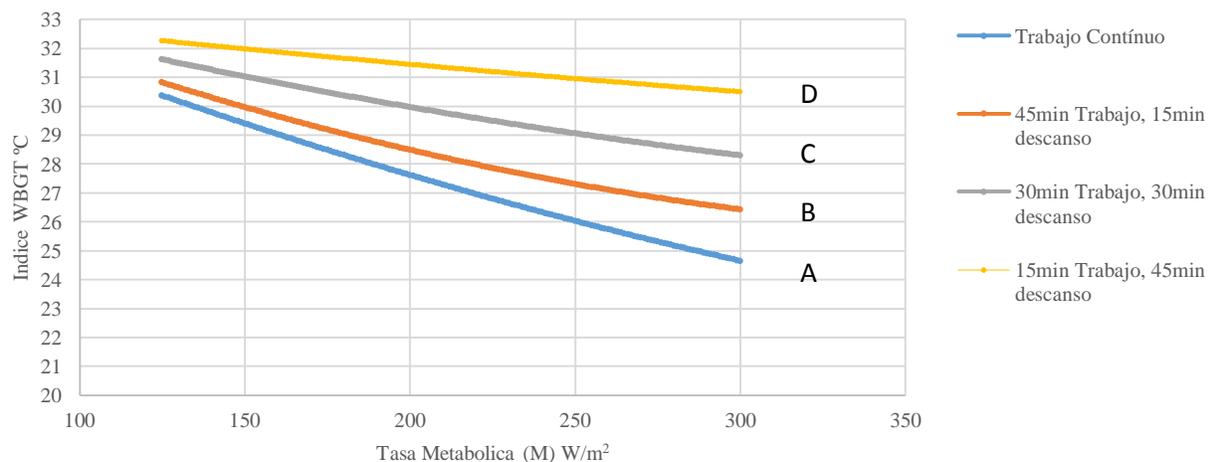


Figura 1 - Curva de valores que relacionan el índice  $WBGT$  con  $M$  para ciclos de trabajo/descanso (Leite, 2002).

En la Fig. 1 existe una curva de trabajo continuo y tres de diferentes combinaciones de tiempos de trabajo/descanso. Si el punto definido por el valor de  $WBGT$  y  $M$  se encuentra debajo de la curva A, el individuo puede realizar la actividad de forma continua. Si se encuentra entre la curva A y B debe alternar ciclos de 45 minutos de trabajo con 15 de descanso. Si se encuentra dentro de la curva B y C, los ciclos serán de 30 minutos de trabajo con 30 de descanso. Finalmente, si se encuentra en la curva D, debe trabajar 15 minutos y descansar 45. Esta es la metodología utilizada para determinar el tiempo de descanso por cada hora.

### 3. DETERMINACION DE $T_{bh}$

A partir de la ecuación del índice  $WBGT$  se observa que es necesario medir la temperatura de bulbo húmedo, la temperatura de globo y la temperatura ambiente. La medición de la  $T_{bh}$  conlleva a la necesidad de contar con un recipiente con agua destilada la cual continuamente se encuentra evaporando para representar la condición de enfriamiento adiabático; en la práctica es muy común que el recipiente se quede sin agua conduciendo a lecturas erróneas de la  $T_{bh}$ . Considerando este inconveniente se recurre a la norma ASHRAE F06 (2001) y los algoritmos propuestos por Simões, 1999, para calcular la  $T_{bh}$  a partir de la humedad relativa del aire.

#### 3.1 Psicrometría.

El aire húmedo es una mezcla binaria cuya presión total  $P$  – presión atmosférica total (kPa) (que en condiciones normales y al nivel del mar 101,325 kPa) es la suma de  $P_a$  - presión parcial del aire seco (kPa) y  $P_w$  - presión parcial del

vapor de agua ( $kPa$ ). 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 ( $P_{ws}$ ) 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 de agua  $P_{ws}$  ( $Pa$ ) puede ser calculada a través de la Ec. (3)

$$P_{ws} = e^{\frac{-5,8002206 \cdot 10^3}{T} + 1,3914993 - 4,8640239 \cdot 10^{-2} \cdot T + 4,1764768 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 - 1,4452093 \cdot 10^{-8} \cdot T^3 + 6,5459673 \cdot \ln T} \quad (3)$$

donde,  $T$  es la temperatura absoluta del aire (K).

Esta ecuación es válida para 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,  $T_{bs}$ ) se determina la presión de saturación del vapor de agua para  $T_{bs}$ , y utilizando la temperatura de bulbo húmedo se determina el valor presión de saturación del vapor de agua para la  $T_{bh}$ .

La masa total de aire húmedo está 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  $W$  ( $kg_{vapor\ agua}/kg_{aire\ seco}$ ).

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).

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

donde,  $P$  (kPa) es la presión atmosférica total y  $P_w$  (kPa) es la presión parcial del vapor de agua.

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)).

$$P_w = HR \cdot P_{ws} \quad (5)$$

Para cualquier estado del aire húmedo, existe una temperatura  $T_{bh}$  en la cual el agua líquida 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 de humedad absoluta  $W_{stbh}$  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).

$$W = \frac{(2501 - 2,381 \cdot T_{bh}) \cdot W_{stbh} - 1,006 \cdot (T_{bs} - T_{bh})}{2501 + 1,805 \cdot T_{bs} - 4,186 \cdot T_{bh}} \quad (6)$$

Donde  $W_{stbh}$ , es una función de la  $T_{bh}$  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 desea calcular.

La Ec. (6) es utilizada para el cálculo de la temperatura de bulbo húmedo, a través de un proceso iterativo, partiendo de los valores de presión atmosférica total  $P$  (kPa), temperatura de bulbo seco  $T_{bs}$  (°C) y humedad relativa  $HR$  (%).

#### 4. DESARROLLO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN

Considerando lo expuesto se diseñó un medidor donde se incluye un sensor de presión atmosférica, se utiliza un sensor para medir humedad relativa en forma directa y se añade el almacenamiento de los datos medidos en un archivo dentro de una tarjeta  $SD$ .

Para desarrollar el sistema de medición se evaluaron los sistemas existentes en el mercado, y se analizaron las mejoras necesarias para llegar a un equipo que responda de forma adecuada a los requerimientos de un especialista en seguridad e higiene. En el cuerpo principal se encuentran los componentes electrónicos, los sensores, la pantalla y la batería, además de una esfera de cobre pintado de color negro que en su interior tiene instalado el sensor de temperatura encargado de medir la  $T_g$ . El equipo es completamente digital, la unidad central de procesamiento es un microcontrolador Atmega 328P (Atmel, 2014) al que se le conectan todos los dispositivos. En la Fig.2 se observa una foto del equipo.

Para medir temperatura de globo se utiliza el sensor DS18B20 (Maxim Integrated, 2008) colocado dentro del globo, posee una resolución desde 9 a 12 bits y una precisión de  $\pm 0,5$  °C en el rango de -10 °C a + 85 °C, lo que lo hace adecuado

para el rango de temperaturas de trabajo (0 a 50 °C). Dicho sensor se comunica con el microcontrolador a través del protocolo 1-Wire (Maxim Integrated, 2002).



Figura 2 - Fotografía del prototipo desarrollado para la determinación del índice de confort térmico a) Vista superior, b) Detalle del sistema de circulación de aire forzado.

Para medir humedad relativa y la temperatura ambiente (o de bulbo seco) se emplea el sensor de humedad relativa y temperatura SHT75 (Sensirion, 2011). La medición de humedad relativa tiene una precisión de  $\pm 1,8\%$  HR con una resolución de 12bits en un rango entre 10 a 90% HR. Para el rango de temperatura de 10 a 40 °C, posee una precisión de  $\pm 0,3$  °C, con una resolución de 14bits. Se comunica con el microcontrolador mediante el protocolo 2-wire (Sensirion, 2011). Dicho sensor está ubicado en el interior de una cámara por la que circula aire forzado a 3 m/s. Posee un *cooler* para asegura una renovación constante del aire.

La presión atmosférica se mide con el sensor de presión compensado por temperatura BMP180 (Bosch, 2013). Su rango de detección de presión va desde 300 a 1100 hPa lo que representa una altura respecto al nivel del mar de 9000 m a -500 m. Su resolución es de 0,03 hPa / 0,25 m. Su rango de funcionamiento es de -40 a +85 °C, con una exactitud de  $\pm 2$  °C en su medición de temperatura interna. Se comunica con el microcontrolador mediante el protocolo  $I^2C$  (Philips, 2000).

La fecha y hora se mantienen actualizadas a través de un reloj de tiempo real (RTC) modelo Pcf8563 (NXP, 2015), y se comunica con el microcontrolador mediante el uso del protocolo  $I^2C$ .

Los sensores fueron seleccionados por ser de alta precisión, encontrarse en el mercado nacional y ser digitales, de esta manera se logra inmunidad frente a problemas de ruidos y se evitan etapas de amplificación, condiciones que se verifican en los sensores analógicos

En función de la demanda de los sensores y el *cooler* se seleccionó una batería de litio (modelo LG BI-48th) que posee una capacidad de 3000 mAh para responder a una autonomía de 24hs de funcionamiento continuo.

Se diseñó una fuente conmutada de tensión a partir del integrado MC34063 (ON Semiconductors, 2010) que permite adaptar la tensión entregada por la batería (3,7 V) a la utilizada por el microcontrolador y los sensores (3,3 V).

Posee una pantalla LCD que otorga al operario la capacidad de visualizar los datos medidos y calculados. Estos mismos datos, junto con la hora y fecha, se guardan cada 5 minutos en un archivo correspondiente al día de medición dentro de la tarjeta SD, siendo el valor almacenado un promedio de 5 mediciones.

En la Fig.3 se observan los puntos de conexión de cada uno de los sensores, así como la fuente desarrollada.

El diseño por bloques se ha desarrollado para que, en caso de la falla de algún sensor, se realice un rápido reemplazo, permitiendo un mantenimiento fácil y simple sin afectar al resto del sistema.

#### 4.1 Adquisición de datos.

El medidor desarrollado, antes de comenzar la adquisición de datos, realiza una comprobación general de estado del sistema, asegurando que la batería posea carga, que todos los sensores estén conectados y que la tarjeta SD se encuentre presente. Posteriormente, se realiza la medición de cada sensor; procedimiento que se repite 5 veces, se calcula la temperatura de bulbo húmedo (ecuaciones psicrométricas descritas en el apartado 2) utilizando métodos numéricos iterativos (Vera et al., 2010) y obtiene la hora actual almacenada en el RTC. El paso siguiente es presentar los valores medidos e índices calculados en el LCD y almacenarlos en la tarjeta SD. Finalmente, entra en modo de bajo consumo esperando 3 minutos para realizar el siguiente proceso de medición. Este procedimiento se realiza con la finalidad de ahorrar energía y aumentar la autonomía del instrumento.

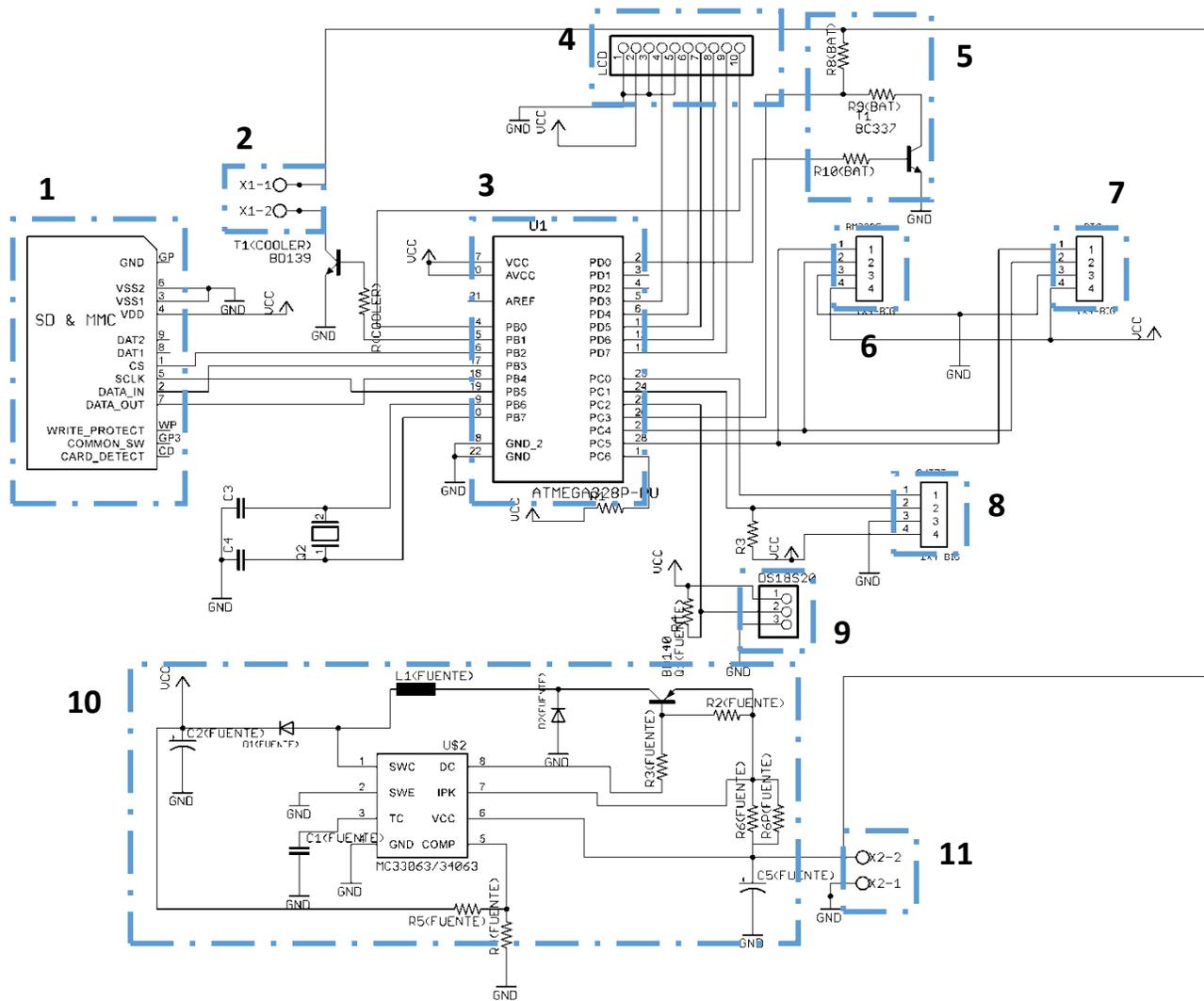


Figura 3 - Esquema del circuito desarrollado para implementación del medidor de estrés térmico. Se detallan, utilizando un recuadro de línea de trazo, cada uno de los componentes identificada con números; 1 tarjeta *SD*, 2 conexión para el *cooler*, 3 microcontrolador, 4 conexión al *LCD*, 5 circuito de medición de estado de la batería, 6, 8 y 9 son las conexiones para los sensores, 7 conector para el *RTC*, 10 fuente del dispositivo y, finalmente, 11 conexión de la batería.

## 5. PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA EL TRATAMIENTO DE DATOS

Los valores medidos y almacenados en la tarjeta *SD* pueden ser cargados y visualizados en un programa específicamente desarrollado en lenguaje *JAVA*, que representa los mismos en una tabla de datos. El programa tiene la capacidad de presentar directamente, sobre una carta psicrométrica desarrollada específicamente para esta aplicación, los datos medidos y agrega la posibilidad de realizar cálculos energéticos para, por ejemplo, trasladar un estado característico de ciertas condiciones de humedad y temperatura a una nueva condición de confort.

Existe la opción de presentar gráficamente los datos medidos e índices calculados en función del tiempo para observar su variación; o puede graficarse el *WBGT* sobre las curvas presentadas en la Fig. 1, para estimar cuánto tiempo se debe reducir la jornada de trabajo para que el individuo no sufra condiciones de estrés térmico. En la Fig. 4 se observan capturas de pantalla del software descrito.

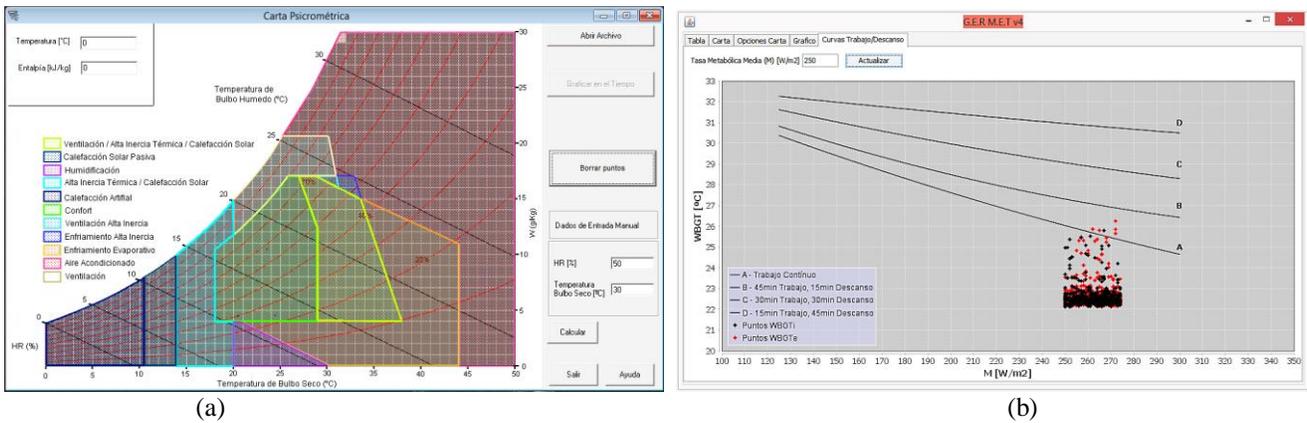


Figura 4 - Capturas de pantalla del programa computacional de visualización y tratamiento de datos. a) Carta psicrométrica con puntos medidos y zona de confort, b) Curvas de reducción del tiempo de trabajo en función de WBGT y M.

## 6. RESULTADOS

### 6.1 Calibración y Contraste

El sensor de temperatura DS18B20 fue contrastado contra un termómetro Testo 735 con sonda Pt100 calibrada, utilizando un baño térmico controlado electrónicamente (Poletto et al, 2015).

La humedad relativa obtenida del sensor SHT75 fue contrastada utilizando un termómetro Testo 735 con dos termocoplas tipo K calibradas. El método utilizado es el de bulbo seco – bulbo húmedo y luego, aplicando las ecuaciones (3), (4), (5) y (6) se obtiene la humedad relativa. En la Fig. 5 se observan las curvas de calibración y el ajuste logrado.

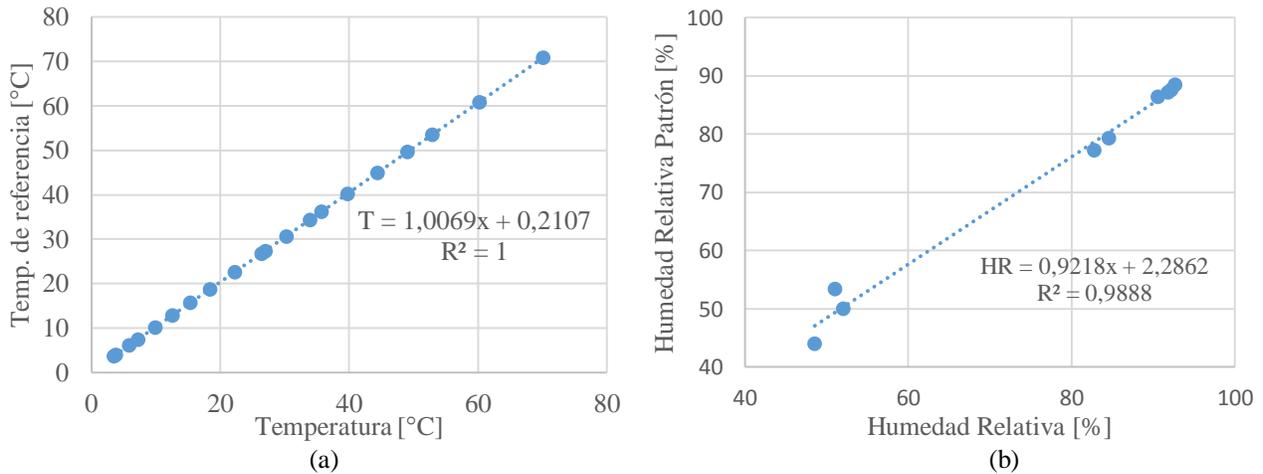


Figura 5 - Curva de contraste y ajuste logrado en la calibración de los sensores. a) Temperatura, b) Humedad Relativa.

## 7. CONCLUSION

En este artículo se presentó un medidor digital de confort térmico desarrollado por el Grupo en Energías Renovables (GER) de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (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 la Argentina. De esta forma, se proyectó y construyó un instrumento con dispositivos accesibles en el mercado nacional, que cumple con las normativas nacionales, de bajo costo, autónomo y portátil.

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 psicrométricas, 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 una pantalla. La construcción del medidor es compacta y consta de una esfera hueca de cobre pintada de negro opaco, con la finalidad de determinar la temperatura de globo. La temperatura ambiente y la humedad relativa son medidas en un compartimento 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. El sensor de presión se ubica en la parte lateral expuesto a la superficie, protegido contra elementos externos que puedan dañarlo.

Los sensores instalados en el instrumento fueron contrastados previamente frente a instrumentos calibrados.

Considerando la importancia de la caracterización térmica de los ambientes de trabajo, se presenta al instrumento desarrollado como una posible herramienta para el análisis y futura adaptación infraestructural a las circunstancias bioclimáticas adecuadas para lograr condiciones de confort térmico.

### **Agradecimientos**

El Grupo de trabajo agradece a la Subsecretaría de Gestión y Coordinación de Políticas Universitarias (SPU) del Ministerio de Ciencia y Técnica (MINCyT) por el apoyo económico del proyecto, así como a la Secretaria General del Ciencia y Técnica de la UNNE.

### **REFERENCIAS**

- A. S. H. R. A. E. (2001). Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta
- A. S. H. R. A. E. (2009). American society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers. Atlanta,
- A. S. H. R. A. E. 55 (2010). Thermal environmental conditions for human occupancy.
- Atmel, <http://www.atmel.com/devices/atmega328.aspx>, accedido 05/2015.
- Bosch, <https://www.adafruit.com/products/1603>, accedido 05/2015.
- ISO, I. (1989). 7243: Hot environments-estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature). Geneva: ISO.
- Lamberts R (2002) Conforto Térmico e Stress Térmico Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal De Santa Catarina, Florianópolis.
- LEITE, E. (2002). Stress térmico por calor–estudo comparativo dos métodos e normas de quantificação. 2002. 123 f (Doctoral dissertation, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Departamento de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis).
- MaximIntegrated, <https://www.maximintegrated.com/en/products/analog/sensors-and-sensor-interface/DS18B20.html>, accedido 05/2015.
- Note, Maxim Application (2002). Overview of 1-Wire Technology and Its Use.
- NXP, [http://www.nxp.com/products/interface\\_and\\_connectivity/i2c/i2c\\_real\\_time\\_clocks\\_rtc/series/PCF8563.html](http://www.nxp.com/products/interface_and_connectivity/i2c/i2c_real_time_clocks_rtc/series/PCF8563.html), accedido 05/2015.
- ON Semiconductor, <https://www.onsemi.com/PowerSolutions/product.do?id=MC34063A>, accedido 05/2015.
- Poletto, G., Caceres, M., Busso, A. DESARROLLO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA CALIBRACION DE SENSORES DE TEMPERATURA. UNNE - XXI Reunión de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas – 2015.
- QUEST TECHNOLOGIES QT-32, [http://www.siafa.com.ar/instrum equip/hi\\_temp\\_carga.html](http://www.siafa.com.ar/instrum equip/hi_temp_carga.html), accedido 08/2015.
- SEMICONDUCTORS, Philips. The I2C-bus specification. Philips Semiconductors, 2000, vol. 9397, no 750, p. 00954.
- Sensirion, <http://www.sensirion.com/en/products/humidity-temperature>, accedido 05/2015
- Simões Pires, J. R (1999). Fundamentos e Aplicações da Psicrometria. São Paulo.
- TDA Argentina, [http://tdaarg.com.ar/?page\\_id=103](http://tdaarg.com.ar/?page_id=103), accedido 08/2015.
- Vera, L., Firman, A., Diaz, M., & Busso, A. DESARROLLO DE UN MEDIDOR DE ESTRES TÉRMICO. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente .Vol. 14, 2010. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184

### **DIGITAL INSTRUMENT FOR DETERMINATION OF THERMAL COMFORT**

**Abstract.** The Grupo en Energías Renovables (GER) from Universidad Nacional del Nordeste, Argentina, developed an instrument to calculate the human heat stress Index. It contains digital sensors to measure ambient temperature, globe temperature, relative humidity and atmospheric pressure. It is portable and has 24 hours of battery life. It is capable of recording data on a SD card. Also, has been developed a software that show the measured data on a table, over a psychrometric chart, and allows determination of reduction of working hours according to the indexes and metabolic rate. The first functional prototype has been built to make measurements in an industrial area of the region.

**Keywords:** *Thermal Comfort, Instrumentation, Psicrometry.*