

Mediciones climáticas de humedad del aire en los trópicos, con termistores y la ecuación sicrométrica

V. Castro

*Centro de Investigaciones Geofísicas y LIAP/Escuela de Física,
Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica*

H. Hidalgo

*Instituto Meteorológico Nacional,
Ministerio del Ambiente y Energía, San José, Costa Rica*

(Recibido 25 abril, aceptado 19 junio 1997)

ABSTRACT

Electronic devices for air humidity measurements with hygroscopic capacitance sensors were tested for periods longer than a year under tropical conditions in Costa Rica. Some of them showed a calibration drift that produced errors as high as 20 % relative humidity after several months of use. To present a low-cost alternative for electronic air humidity measurements in the tropics, two thermistors were used as wet-dry bulb thermometers. Simultaneous measurements with an Assmann aspiri-psychrometer and the thermistors showed that five-minute average temperatures were within 0.2°C and relative humidities within 2%. Copper-constantan thermocouples yielded similar results. It was proved that thermistors are appropriate to be used year after year, as needed in climatological stations, without replacement or recalibration.

1. Introducción

Existen en el mercado instrumentos electrónicos de sensor higroscópico, propios para estaciones meteorológicas automáticas, que sirven para registrar la humedad atmosférica con fines climatológicos. Estos instrumentos son delicados, en los trópicos sus circuitos se deterioran al término de meses. Para un experimento en Costa Rica (10° N, 85° O), de 1986 a 1988 (Castro *et al.* 1991), fue

necesario recalibrarlos constantemente después del primer año de uso. Habiéndose reportado este problema al fabricante, éste procuró resolverlo. En 1992 se pusieron a prueba tres de estos sensores, uno se instaló en una estación climatológica y los otros dos se mantuvieron guardados. Luego de dos años, tanto los termistores que se mantuvieron guardados como el que se instaló, sufrieron cambios en su calibración de tal manera que, bajo las mismas condiciones, los tres sensores registraban humedades relativas diferentes entre sí hasta en un 20%.

Corresponding author address: Dra. Vilma Castro, Centro de Investigaciones Geofísicas, LIAP/Escuela de Física, Universidad de Costa Rica, 2060 San José, Costa Rica. E-mail: vcastro@cariari.ucr.ac.cr

A pesar de que es necesario recalibrarlos al menos una vez al año, los instrumentos electrónicos de sensor higroscópico son muy convenientes para uso climatológico, sobre todo para estaciones que no pueden ser visitadas con frecuencia. En cuanto a costo, son unas diez veces más caros que los termistores. Además, la calibración de los termistores se mantiene estable en períodos de cinco años o más, cualidad que, junto con su bajo costo, los convierten en una buena alternativa para mediciones de humedad.

En mediciones de humedad, los termistores se utilizan en forma similar a los termómetros seco y húmedo en un sicrómetro. Al igual que con un sicrómetro, la humedad se calcula con el método termodinámico utilizando la ecuación sicrométrica. La descripción del método se puede encontrar en OMM (1996 a, b), donde se recomienda su uso en estaciones meteorológicas automáticas. El método de medición ha sido probado concienzudamente en estaciones de investigación y por diversos autores (véase Huband *et al.*, 1984, Kalogiros & Helmis, 1993), quienes han demostrado que diferentes tipos de sensores eléctricos producen mediciones aptas inclusive para ser utilizadas en estudios micrometeorológicos. Lo que queda por probar es qué tal se comportan estos sensores ante un uso prolongado, que es lo usual en estaciones climatológicas.

2. Metodología

Dos termistores (marca Campbell, modelo 107, con una exactitud del orden de $\pm 0.2^\circ \text{C}$) se colocaron dentro de un protector de radiación de 12 persianas (protector tipo Thaller, ver Figura 1). Un termistor, al que llamaremos de bulbo húmedo, se cubrió con una muselina de algodón cuyo extremo se sumergió dentro de un recipiente lleno de agua. Un termistor sin muselina (bulbo seco) se colocó en un protector de radiación aparte para observar si el termómetro de bulbo húmedo afecta el de bulbo seco en la estrecha cavidad del protector. No se utilizó ventilación forzada y el recipiente se llenó con agua potable no destilada.

Los termistores se conectaron a una estación meteorológica automática, la cual fue programada para hacer lecturas cada 10 segundos. En forma

simultánea, entre abril de 1994 y enero de 1995, bajo las más diversas condiciones atmosféricas, se hicieron alrededor de 50 series de mediciones manuales con:

- a) un sicrómetro ventilado Assman, cuyos termómetros de mercurio estaban graduados cada 0.2°C , y
- b) termopares de cobre-constantano cuya parte sensible fue recubierta con una bola de 3 mm de diámetro de resina epóxica para atenuar las fluctuaciones rápidas de temperatura y evitar la corrosión.

Con estas mediciones se calcularon promedios cada cinco minutos. Además de las mediciones anteriores, desde el inicio de este experimento hasta la fecha de presentación de este artículo, se calcularon continuamente promedios horarios de temperatura y humedad a partir de las lecturas de los termistores.

Para estimar la humedad del aire se usaron las siguientes ecuaciones:

$$\text{HR} = 100 e(T)/e_s(T) \quad (1)$$

$$e(T) = e_s(T') - \gamma (T - T') \quad (2)$$

$$e_s(T) = 6.112 \exp\{(17.67 T)/(T + 243.5)\} \quad (3)$$

$$e_s(T') = 6.112 \exp\{(17.67 T')/(T' + 243.5)\} \quad (4)$$

$$\gamma = 0.00066 P (1 + 0.00115 T') \quad (5)$$

donde HR es la humedad relativa, T y T' son las temperaturas de los termómetros de bulbo seco y húmedo respectivamente, $e_s(T)$ y $e_s(T')$ las presiones de vapor de equilibrio a las temperaturas de bulbo seco y húmedo, y γ es la constante sicrométrica, que depende de la presión atmosférica (P) y la temperatura del bulbo húmedo (T'). Las temperaturas están en $^\circ\text{C}$, las presiones en hPa y HR en %. Debido a que P casi no varía, en los trópicos, en el cálculo de γ se utilizó el valor de la media climática de P. Las ecuaciones 1, 2 y 5 fueron tomadas de Monteith & Unsworth (1990), las ecuaciones 3 y 4 de Bolton (1980).

Todas las mediciones se realizaron en la estación 84139 localizada en el Centro de Investigaciones Geofísicas, Universidad de Costa Rica, a $9^\circ 56'$ de latitud norte, donde la temperatura del aire oscila en promedio entre 17 y 24°C con una media de 20°C , y la humedad relativa entre 45 y 99% con una media de 85%.

3. Resultados y discusión

Los promedios de cinco minutos de la temperatura registrada por el termistor colocado en el protector aparte, los termopares y el termómetro de mercurio de bulbo seco nunca difirieron en más de $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y las humedades relativas no difirieron en más de 3% , exactitud aceptable para propósitos climatológicos según las especificaciones de la OMM (OMM 1996a).

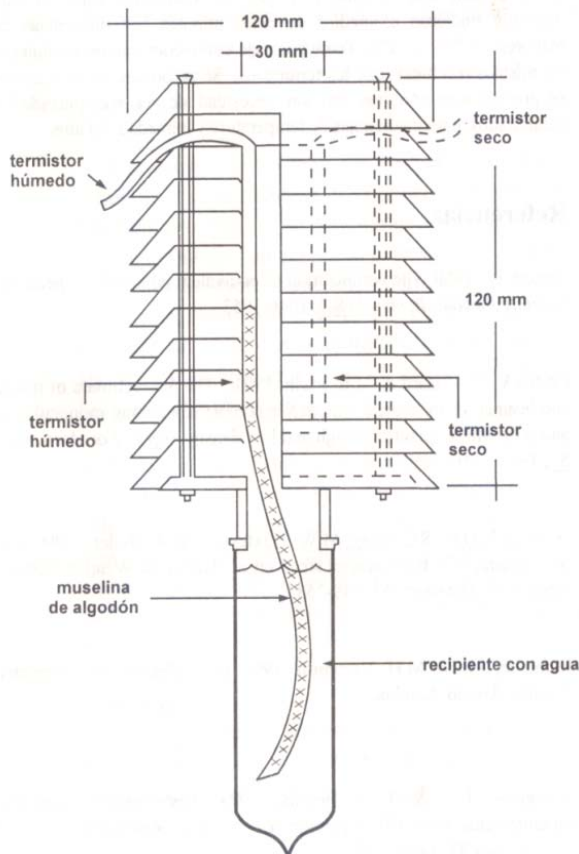


Fig. 1. Termistores y protector de radiación.

No se recomienda instalar los dos termistores, el de bulbo seco y el de bulbo húmedo dentro del mismo protector de radiación. Medias horarias de humedad relativa mostraron que cuando los termistores se instalan dentro del mismo protector (Figura 1), la humedad relativa que se registra es mayor que cuando los termistores se instalan en

protectores separados. Cuando los sensores se instalan juntos, la temperatura del aire es afectada por la evaporación en el bulbo húmedo y disminuye en $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ en promedio (desviación típica $s = 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$), dando como resultado humedades relativas medias 2.5% ($s = 1.5\%$) mayores que las verdaderas. La diferencia aumenta conforme aumenta la temperatura, alcanzando valores de 8% en días soleados y calientes.

Una buena ventilación es importante, sobre todo para el termistor de bulbo húmedo. El protector debe mantenerse limpio y el sensor debe ser colocado donde el aire pueda circular libremente, fuera de la boca del recipiente donde el movimiento de aire es restringido por ausencia de persianas (Figura 1). Una ventilación inadecuada disminuye la evaporación, produciendo registros de temperatura de bulbo húmedo, y humedad relativa, con valores más altos que los reales. Con el termistor colocado en la boca del recipiente de agua se detectaron errores del orden del 10% en la humedad relativa.

El recipiente de agua del bulbo húmedo mide tan solo 100 mm de largo por 30 mm de diámetro. Era llenado cuando el nivel del agua bajaba a la mitad de la capacidad de su capacidad, aproximadamente una vez por semana, con mayor frecuencia en tiempo caliente y seco. Lugares con clima más seco y caliente que donde se realizó el experimento o que se visiten menos de una vez por semana podrían requerir un recipiente más grande. En los trópicos, la frecuencia de las visitas depende más de la necesidad de lavar o reemplazar la muselina, ya que en ésta crecen rápidamente hongos y algas, que de la necesidad de llenar el recipiente. Las muselinas de fibra sintética se mantienen limpias por más tiempo que las de fibra de algodón, pero se observó que no mantienen el bulbo del termistor húmedo todo el tiempo.

Las medias horarias de humedad relativa registradas con los termistores y un sensor higroscópico (Vaissala HMP356) nunca antes expuesto a la interperie difirieron en promedio en $+2.33\%$ de humedad relativa ($s = 1.19\%$, $n = 600$, 25 días de muestreo) con un máximo absoluto de $+6\%$. Disminuyendo del período de promediado a 5 minutos y la longitud del período de muestreo a menos de un día incrementó la diferencia promedio

a + 3.31% ($s = 0.88\%$, $n=112$, 19 horas de muestreo). La diferencia de temperatura entre el termistor seco y el sensor Vaissala se mantuvo en menos de 0.2°C en promedio.

El método termodinámico para la medición de la humedad del aire se ha mantenido en funcionamiento continuo desde mayo de 1994 hasta la fecha, con los mismos termistores. Regularmente se hacen verificaciones de la temperatura y la humedad con un sicrómetro Assmann de ventilación forzada. La calibración de los termistores se ha mantenido estable durante todo este tiempo.

4. Conclusiones

Se comprobó que los termistores y el método sicrométrico son apropiados para hacer mediciones de temperatura y humedad por períodos prolongados de tiempo, tal y como se requiere para propósitos climatológicos.

Los termistores se pueden adquirir en cualquier casa suplidora de equipo de laboratorio o de equipo meteorológico, son fáciles de instalar, robustos, de bajo costo, de calibración estable, con la exactitud requerida para propósitos climatológicos. Estas cualidades los convierten en una buena alternativa para mediciones de temperatura y humedad. Los termopares produjeron resultados similares que los termistores a un costo menor, pero por lo general deben ser construidos por el usuario, el cual debe tener alguna experiencia en electrónica. Esto limita el uso operativo de los termopares.

El uso de termistores requiere un poco más de manipulación de los datos (ecuaciones 1 a 4) que los instrumentos electrónicos higroscópicos, los cuales son programados para proveer el dato de humedad sin necesidad de que el usuario tenga que hacer un solo cálculo. Sin embargo, estos últimos no son de calibración tan estable, su calibración es tediosa y su costo es diez veces mayor que el de los termistores.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Hazel Naranjo por haber hecho muchas de las mediciones necesarias para

este trabajo y a Fernando Ureña por la supervisión de las observaciones climatológicas.

RESUMEN

Se estudió durante varios años el funcionamiento de instrumentos electrónicos con capacitor higroscópico a manera de sensor para la medición de la humedad del aire. En algunos de ellos la calibración varió de tal manera que registraban la humedad relativa con errores de hasta un 20% luego de varios meses de exposición a la interperie, supuestamente afectados por el clima tropical en Costa Rica. Para encontrar una alternativa de bajo costo para la medición de la humedad del aire, se probó el funcionamiento de un sicrómetro con dos termistores por termómetros. Mediciones simultáneas de temperatura y humedad con este sicrómetro y con un sicrómetro aspirado tipo Assmann rindieron promedios de cinco minutos con diferencias no mayores a 0.2°C y 2%. Termopares de cobre-constantano produjeron los mismos resultados que los termistores. Se probó que los termistores se pueden usar año tras año sin necesidad de ser reemplazados o recalibrados, para mediciones de temperatura y humedad del aire.

Referencias

- Bolton, D., 1980. The computation of equivalent potential temperature. *Monthly Weather Review* 108-7, 1046-1053.
- Castro V., S.A. Isard & M.E. Irwin, 1991. The microclimate of maize and bean crops in tropical America: a comparison among monocultures and polycultures planted at high and low density. *Agric. For. Meteorol.*, 57, 49-67.
- Huband, N.D.S., S.C. King, M.W. Huxley and D.R. Butler, 1984. The performance of a thermometer screen on an Automatic Weather Station. *Agric. For. Meteorol.*, 33: 249-258.
- Monteith, J.L. & M.H. Unsworth, 1990. Principles of Environmental Physics. Arnold, London.
- Kalogiros, J.A. & C.G. Helms, 1993. Fast-response humidity measurements with the psychrometric method, *Journal of Applied Meteorology* 32, 1499-1507.
- OMM 1996, a. Guía de Instrumentos Meteorológicos y Métodos de observación, OMM No 8, 6 Edición.
- OMM 1996, b. Compendio de Apuntes sobre Instrumentos Meteorológicos para la formación del personal meteorológico de las Clases III y IV, volumen 1, OMM No 622, 256 pp.