

Termómetro electrónico multiuso: montaje y evaluación operativa

Multipurpose electronic thermometer: mounting and operative evaluation

Angel D. Blasón¹, Norberto R. Fernández², Rafael O. Rodríguez³

- NOTA TÉCNICA/TECHNICAL NOTE -

Resumen: Se describe el montaje, calibración, validación y operación de un termómetro electrónico. Se construyeron y compararon diez sondas, evaluando su repetibilidad, precisión y efecto de la longitud del cable de conexión. Las mediciones de temperatura obtenidas por el conjunto de sondas sin corrección presento una diferencia absoluta máxima (DAM) de 1,32 °C, mientras que la raíz cuadrada de sus errores cuadráticos medios (RMSE) fue 0,45 °C. Las mismas mediciones corregidas por un modelo general redujeron la DAM a 0,98 y el RMSE a 0,38; mientras que aplicando modelos particulares a cada sonda la mayor DAM resulto de 0,56 con un RMSE de 0,192. De los resultados obtenidos se concluye que es necesario utilizar distintas correcciones en función de la precisión deseada; la corrección individual de cada sonda muestra la mayor precisión, siendo suficiente para aplicaciones agrometeorológicas.

Palabras claves: temperatura, termometría, calibración

Abstract: Assembly, calibration, validation and operation of an electronic thermometer is described. Ten probes were built and compared, evaluating their repeatability, accuracy and the effect of connecting wire length. Temperatures obtained with probes without correction showed a maximum absolute difference (DAM) of 1.32 °C, while the root mean square error (RMSE) was 0.45 °C. The same values corrected by general model reduced DAM to 0.98 and RMSE to 0.38; while probes values affected by particular models showed a highest DAM of 0.56 with a RMSE of 0.192. It is concluded that it is necessary to use different correcting factors as a function of the required precision; the individual correcting factor for each probe showed the best accuracy, which are adequate for agrometeorological applications.

Keywords: temperature, thermometry, calibration

Introducción

La importancia de la temperatura en Agrometeorología se debe a los efectos y reacciones que causa sobre los seres vivos ligados al ecosistema agropecuario; es por ello relevante su medición tanto en el dominio temporal, como en el espacial. El muestreo en el tiempo se ha mejorado sensiblemente con la introducción de los adquirentes de datos (data logger). En relación a la variabilidad espacial es necesario aumentar considerablemente el número de sensores para lograr un avance similar al mencionado en el tiempo; debido a esto se estimó necesario el diseño y construcción de un instrumento de bajo costo y con buen desempeño en las mediciones aplicadas al campo agrícola (VÁSQUEZ PENA et al. 2002).

Este trabajo presenta el montaje de un termómetro electrónico que facilita la lectura de la

temperatura en todo tipo de medio para su aplicación en Agrometeorología. Se describe la calibración del mismo, su validación, el efecto causado sobre las lecturas al variar la longitud del cable de conexión desde la sonda al medidor, y la variación encontrada entre diez sondas construidas en la misma forma, que conforman un sistema simple y económico para la medición de temperatura.

Materiales y Métodos

Para el montaje de cada sonda se utilizó como sensor un circuito integrado LM35 destinado a la medición precisa de temperatura (NATIONAL SEMICONDUCTOR, 2000), este componente tiene una salida en voltios que es linealmente proporcional a la temperatura expresada en grados Celsius. Dada su baja impedancia, compensación electrónica interna

¹ Ay 1^{ra}, Climatología y Fenología Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional de Lomas de Zamora (F.C.A. - U.N.L.Z.) Ruta 4, km. 2 (1836) Llavallol, Bs. As., Argentina. blason@agrarias.unlz.edu.ar

² JTP, Climatología y Fenología Agrícola, F.C.A. - U.N.L.Z. Investigador del Instituto de Clima y Agua, CIRN - INTA. Las Cabañas y Los Reseros (1712) Castelar, Bs. As., Argentina. nfernandez@cnia.inta.gov.ar

³ Profesor Asociado, Climatología y Fenología Agrícola, F.C.A. - U.N.L.Z. Investigador del Instituto de Clima y Agua, CIRN - INTA. meteodat@cnia.inta.gov.ar

precisa y respuesta lineal se facilita el desarrollo de circuitos de lectura o control con este tipo de dispositivo. Posee un consumo muy bajo de solo 60 micro ampere y un auto calentamiento de 0,1 °C en aire quieto, lo que le confiere alta estabilidad. Cabe señalar que la sonda lograda puede ser utilizada para su lectura directa mediante el esquema detallado en la figura 1, o para ser conectada a un adquisidor de datos.

Para lograr el ensamblado del termómetro digital de rango completo (-55 a 150 °C) es necesario utilizar la configuración electrónica de alimentación que se denomina de fuente partida, presentada en la figura 1-a.

Para trabajos que no requieren mediciones de temperatura por debajo de los 2 °C se puede utilizar una configuración aún más sencilla con las mismas cualidades del esquema anterior, como la presentada en la figura 1-b. Estas conformaciones permiten la lectura de varias sondas, con un solo lector como se aprecia en el ejemplo de la figura 1, en donde el valor de 273 mV representa 27,3 °C, puesto que la relación preestablecida por el fabricante para este dispositivo es de 1°C/10 mV.

En un trabajo previo (BLASÓN & FERNÁNDEZ, 2004) se describe detalladamente la construcción del termómetro electrónico logrado.

Con el fin de evaluar detalladamente el funcionamiento, operación y confiabilidad del termómetro electrónico presentado se procedió de acuerdo con los siguientes pasos:

Calibración

Se dispuso de un recipiente térmicamente aislado de 5 litros de capacidad y de un termómetro de mercurio contrastado por el Servicio Meteorológico Nacional (S.M.N.), con apreciación de un décimo de grado centígrado, utilizado como referencia para comparar el desempeño del termómetro electrónico. Se agrego agua caliente al recipiente y para efectuar cada lectura se dejó estabilizar el sistema durante no menos de 5 minutos para compensar la inercia térmica del sensor (LIN & JADUAR, 1988), observando simultáneamente ambos instrumentos. Se repitió esta operación a intervalos regulares hasta obtener una serie

de lecturas uniformemente distribuidas en la escala, hasta llegar a la temperatura ambiente. Análogamente pero partiendo de hielo granizado al cual se agregó sal (NaCl) para producir el descenso de la temperatura, se repitió la rutina de observación hasta la nueva estabilización.

Validación

Repitiendo el procedimiento descrito anteriormente se generó un nuevo conjunto de datos con el objeto de utilizar información independiente para la validación del termómetro electrónico calibrado anteriormente.

Efecto de la longitud del cable de la sonda:

Este paso fue planificado para ponderar objetivamente el efecto que introduce como variable la longitud del cable de conexión entre la sonda y el sistema de medida y lectura. Para esto se procedió a mantener el sensor en un medio de alta capacidad calórica y con el volumen suficiente como para hacer mínima la variación de temperatura durante las pruebas, aproximadamente a 16 °C. Se dispuso de 45 metros del cable tripolar apantallado (spiral coverx3 - thinned) y se procedió a conectar con este cable la sonda y el sistema de lectura. Bajo esa disposición se realizó una lectura de la temperatura e inmediatamente se procedió a quitar la prolongación y realizar la lectura de mínima distancia de conexión, necesaria para su comparación.

A continuación se procedió a reducir progresivamente el largo del cable inicial a 22,5; 13,5; 9,0 y 4,5 metros, repitiendo los pares de lecturas en cada largo.

Variabilidad entre sensores

Para ello se ensamblaron diez sondas procurando que las mismas resulten idénticas. Dado que estas serán utilizadas para medir la temperatura del suelo, el rango de medición fue reducido a 0 – 50 °C, observando al mismo tiempo las diez sondas, y en contraste al termómetro de referencia. Se generó así un conjunto de lecturas de temperaturas simultáneas de cada una de las sondas respecto a la observada sobre el termómetro de referencia.

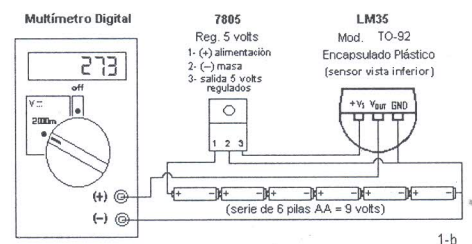
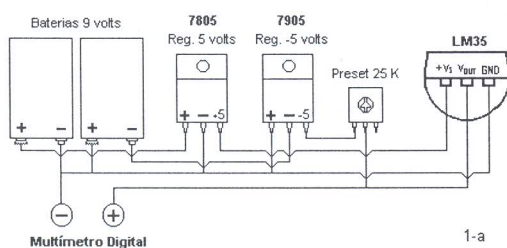


Figura 1. Esquemas de conexiones entre componentes

Resultados y Discusión

Calibración

Los datos generados para la calibración de los sensores mostraron una estrecha relación lineal, similar a la encontrada en un trabajo previo (BLASÓN & FERNÁNDEZ, 2004). Lo cual permitió ajustar rectas de regresión entre los sensores electrónicos y el termómetro de referencia con coeficientes de determinación (R^2) mayores a 0,999.

Validación

Para efectuarla se utilizó el conjunto de medidas reservadas para la validación y se procedió a corregir las lecturas de los sensores electrónicos mediante los modelos de calibración generados, comparando seguidamente las medidas obtenidas con las correspondientes observadas sobre el termómetro de referencia. El ajuste resultó

excelente a lo largo de todo el rango de medición explorado, corroborado estadísticamente, puesto que la pendiente no es distinta de 1 (uno) y la ordenada al origen distinta de 0 (cero), con un nivel de significación $\alpha = 0,05$.

Efecto de la longitud del cable

Los valores de diferencias de tensión para cada par simultáneo de lecturas a través de las distintas longitudes de cable experimentadas se muestran graficadas en la figura 2. Se aprecia claramente que se trata de una relación curvilínea creciente a una tasa decreciente, que no muestra diferencias con longitudes del cable de la sonda de hasta aproximadamente 5 (cinco) metros. Mas allá de esa longitud, y a modo de ejemplo, con una conexión de 9 (nueve) metros se estaría provocando una sobrestimación de la temperatura de 1,58 °C, (diferencia de 15,8 mV).

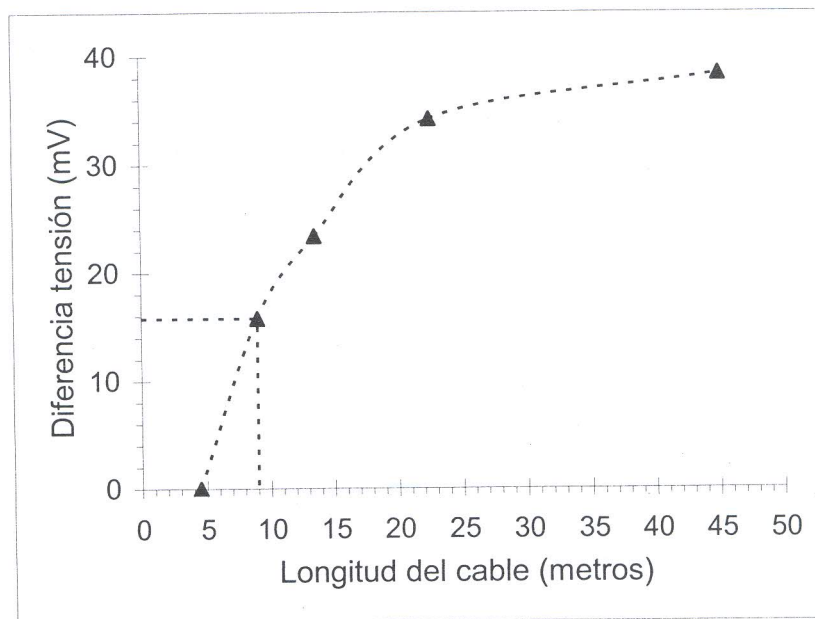


Figura 2. Diferencias de tensión encontradas a temperatura constante de 16 °C para distintas longitudes del cable.

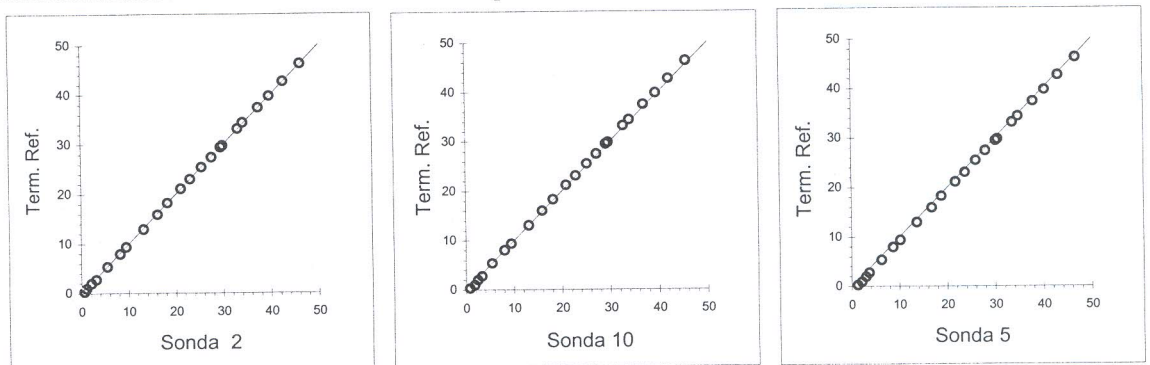


Figura 3. Relaciones entre las temperaturas medidas con tres sondas distintas y el termómetro de referencia.

Variabilidad entre sondas

En la figura 3 se ven graficadas las relaciones encontradas entre las temperaturas medidas utilizando tres sondas distintas y el termómetro de referencia. Como se puede observar sus respuestas son lineales y similares en todo el rango de medición.

Sin embargo al efectuar las diferencias con el termómetro de referencia y graficar las mismas para las 10 (diez) sondas, se observa en la figura 4 que algunas sobreestiman la temperatura de referencia, por el contrario otras subestiman la misma en la totalidad del rango evaluado, mientras que las sondas restantes subestiman por debajo de determinado valor de temperatura y sobreestiman por encima del mismo. En relación a las tres sondas escogidas como ejemplo, puede verse que si bien parecían similares en cuanto a su linealidad, resultan bastantes diferentes en su sesgo y error en el rango medido.

Los casos de sobreestimación y subestimación denotan la presencia de corrimiento o sesgo propio de cada sensor en el rango de trabajo definido respecto a los valores de referencia, mientras que los sensores que primeramente subestiman en parte y luego pasan a sobreestimar en la restante, evidencian una tendencia positiva observada sobre todos los sensores evaluados.

Las diferencias encontradas sugieren recomendar distintas metodologías de trabajo con este tipo de sensores según la precisión que sea requerida en la apreciación de la temperatura.

Medición sin corrección

Al considerar las lecturas directamente sin ningún tipo de corrección para las diez sondas y las comparamos con el termómetro de referencia se obtiene el grafico de la figura 5.

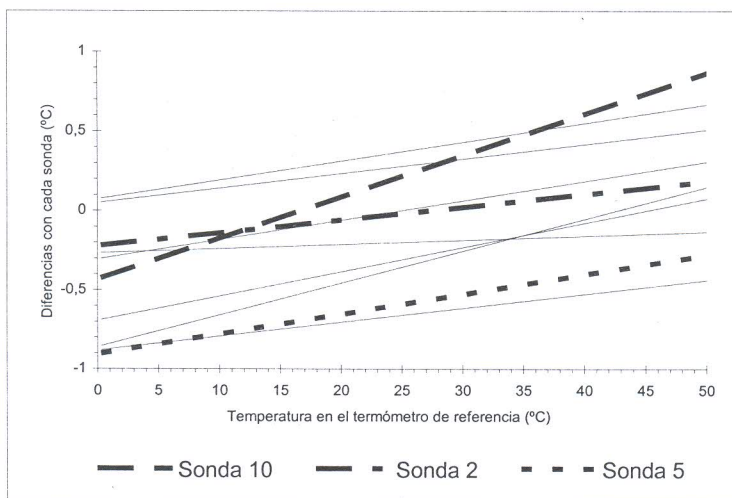


Figura 4. Ajustes de las diferencias de temperatura encontradas entre cada sonda y el termómetro de referencia.

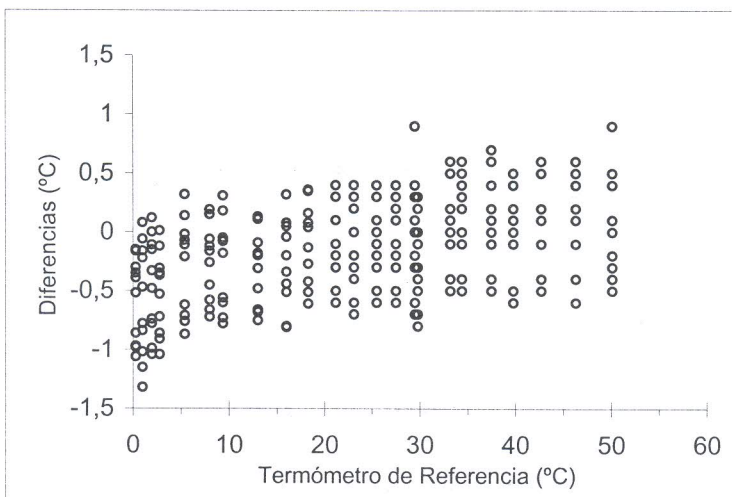


Figura 5. Diferencias entre las temperaturas de las diez sondas sin corregir y las del termómetro de referencia.

En el mismo se aprecia un error en las medidas que no es constante en el rango de temperatura medida y su sesgo también resulta variable. La diferencia absoluta máxima (DAM) encontrada es de 1,32°C y la raíz cuadrada de los errores cuadráticos medios (RMSE) resultó de 0,45°C.

Medición con corrección utilizando un modelo general

A partir de los datos generados con el conjunto de sondas utilizadas se ajustó el siguiente modelo general o único: $y = 1,0128x - 0,4477$; $R^2 = 0,9994$.

Aplicando sobre cada observación dicho modelo se corrigieron las temperaturas obtenidas por las diez sondas y se calcularon las diferencias en correspondencia a las temperaturas observadas al mismo tiempo sobre el termómetro de referencia.

Como se observa en la figura 6, ha sido eliminado el sesgo, mientras que la DAM se redujo a 0,98°C, y el RMSE a 0,38°C.

Medición con corrección utilizando un modelo individual

Para lograr la mayor precisión posible con este tipo de sensor es necesario utilizar un modelo de corrección particular para cada sonda. Se procedió a ajustar los modelos correspondientes y luego a corregir las medidas producidas por cada una de ellas mediante su modelo particular, se calcularon las diferencias de los valores corregidos para cada sonda con el termómetro de referencia, pudiendo apreciar su resultado en la figura 7.

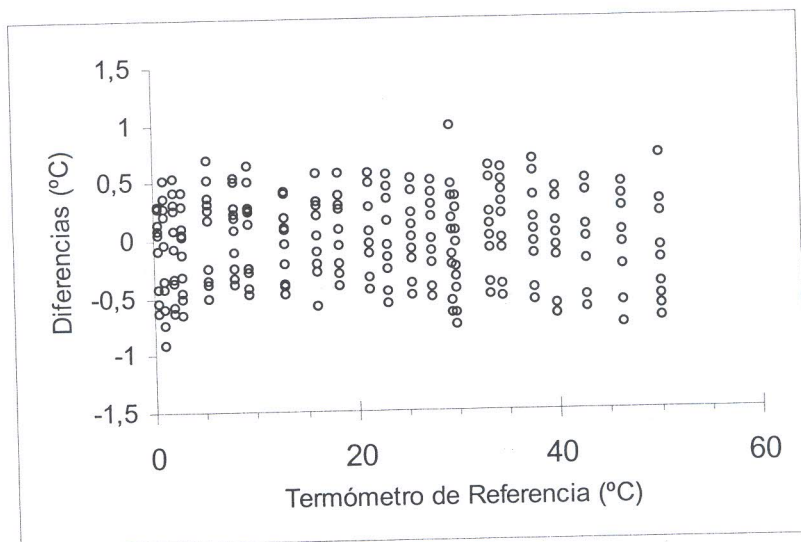


Figura 6. Diferencias entre las diez sondas corregidas con un modelo general y el termómetro de referencia.

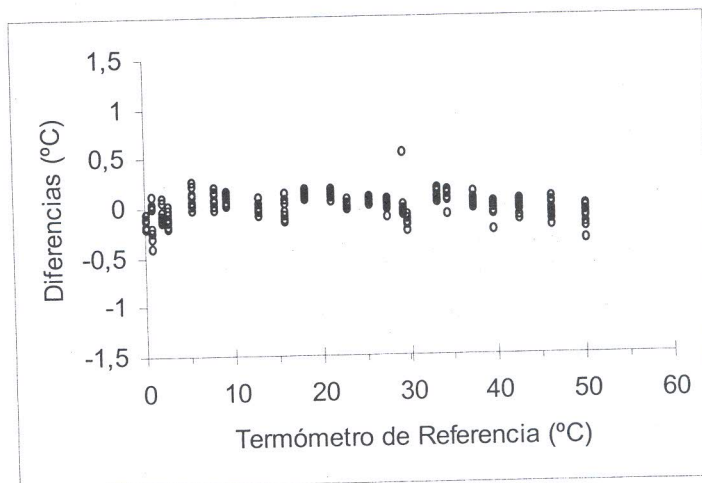


Figura 7. Diferencias entre las diez sondas corregidas cada una de ellas mediante su modelo particular correspondiente y el termómetro de referencia.

De esta forma también es eliminado el sesgo y se consigue reducir sensiblemente la amplitud del error; la Tabla 1 presenta las DAM y los RMSE particulares para cada sonda evaluada.

En este caso la mayor DAM resultó de 0,56 °C y la menor de 0,15 °C; en tanto que el mayor RMSE fue de 0,192 °C y el menor de 0,085 °C,

siendo el RMSE del conjunto total de observaciones ($n = 230$) de 0,1211 °C. Esto significa que en el rango de 0 a 50 °C fue posible obtener un error menor a 0,2 °C, lo cual es más que satisfactorio para la medición de temperaturas del suelo en que se van a utilizar y en Agrometeorología en general.

Tabla 1. Diferencias absolutas máximas (DAM) y raíz cuadrada de los errores cuadráticos medios (RMSE) para cada sonda, posterior a su ajuste individual.

Sonda N°	DAM	RMSE
1	0,19	0,085
2	0,15	0,085
3	0,21	0,092
4	0,21	0,089
5	0,25	0,106
6	0,40	0,149
7	0,34	0,135
8	0,23	0,108
9	0,23	0,122
10	0,56	0,192

Conclusiones

En el rango de temperatura explorado las sondas mostraron distinto comportamiento: en todos los casos de subestimación, la misma disminuye con el incremento de la temperatura; en todos los casos de sobreestimación, la misma aumenta con el incremento de la temperatura

Al apreciar temperaturas con las sondas electrónicas utilizadas, se hacen necesarios distintos procesos de calibración para alcanzar niveles suficientes en concordancia a la precisión requerida.

Las sondas logradas resultan recomendables para aplicaciones agrometeorológicas de detalle a nivel de su calibración individual.

Los procedimientos de calibración aplicados (general e individual) resultaron rápidos y fáciles de ser efectuados, mejorando sensiblemente la precisión de las sondas ensambladas.

Referencias Bibliográficas

- BLASÓN, A.D.; N.R. FERNÁNDEZ. 2004. Ensamblado y calibración de un sensor electrónico de temperatura de bajo costo. In: X REUNIÓN ARGENTINA y LATINOAMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2004, Mar del Plata, CD-**Trabajos**, n° 182.
- LIN, C.H.; JADUAR, H. 1988. Interfacing temperature sensors (Ch 7). In: **Interfacing sensors to the PC**. W.J. Tompkins and J.G. Webster, eds. Prentice - Hall. New Jersey, USA. p 189-193.
- NATIONAL SEMICONDUCTOR. **LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors**. Technical Notes. National Semiconductor Corporation, 2000.
- VÁZQUEZ PEÑA et al. Diseño de un termómetro electrónico digital. In: REUNIÓN ARGENTINA DE AGROMETEOROLOGIA, 2002, Vaquerías. **Actas**, p5-6.