

Calibración de sensores de temperatura para pasteurizador solar con precalentador de alimentación.

Rodríguez, A.(*) Carámbula, M.(*) Zimberg, B.(**)

Universidad de la República O. del Uruguay

Facultad de Ingeniería

(*)Instituto de Ingeniería Química

(**)Instituto de Física

Herrera y Reissig 565, Montevideo, Uruguay

Fax: (5982)710871 e-mail: martac@fing.edu.uy

RESUMEN

En el siguiente trabajo se realiza la calibración de ocho sensores de temperatura pertenecientes a la serie MTS-102. La calibración se realiza en estado transitorio de forma de asemejar lo mejor posible las condiciones de calibración a las reales de funcionamiento, una vez instalados en el sistema pasteurizador. Para el ajuste de los datos se utiliza el método de mínimos cuadrados. Los resultados obtenidos están en concordancia con los datos provistos por el fabricante, dado que en todos los casos el ajuste de las lecturas obtenidas con la temperatura fue lineal, y el error es siempre menor a $\pm 2^\circ\text{C}$.

INTRODUCCION

Con el fin de relevar automáticamente el comportamiento térmico de un circuito pasteurizador solar de agua se utilizan diferentes tipos de sensores. Para la medida de la radiación solar se utiliza un piranometro EPPLEY, modelo 8-48. Para la medida de temperatura, en los diferentes puntos considerados, se utilizan sensores de temperatura de estado sólido, pertenecientes a la serie MTS-102. Estos mantienen una respuesta lineal del voltaje base-colector en función de la temperatura, dentro del rango comprendido entre -40°C y 150°C ⁽¹⁾.

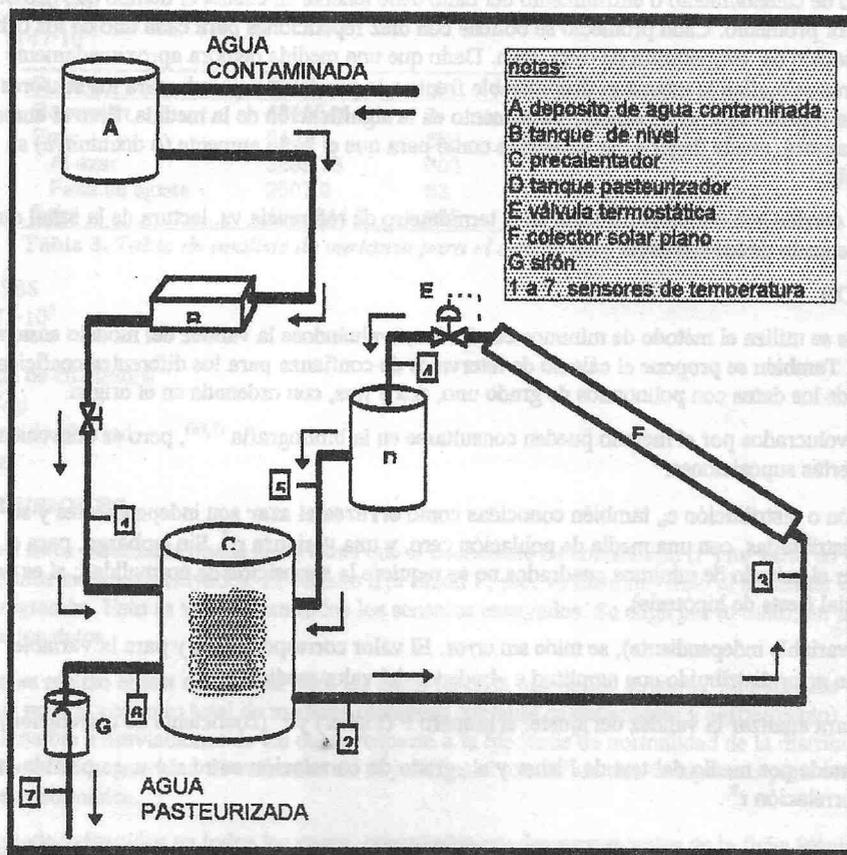


Figura 1. Diagrama del sistema pasteurizador.

En la figura 1, se muestra un diagrama con la disposición de los diferentes elementos involucrados en el sistema pasteurizador. El colector de placa plana está basado en un diseño patentado por el Ing. C. Martínez Gyaquelo en 1984 ⁽²⁾. Dicho colector fue ideado específicamente con el objetivo de ser utilizado como pasteurizador de líquidos. También se indica la ubicación final que se les dio a los sensores de temperatura.

SISTEMA DE MEDICION

Se utiliza una computadora personal APPLE II, 128Kb de memoria RAM, y disquetera de 5.25 pulgadas, como soporte de adquisición de datos.

Dado que los programas para tratamiento y análisis de datos (MATLAB, o similares), utilizan DOS de IBM, se realiza el pasaje de datos a través de una tarjeta serial desde el computador APPLE, hasta un puerto serial en un PC IBM compatible.

La captación de señales se realiza a través de una tarjeta AD/DA de APPLIED ENGINEERING, y dos tarjetas acondicionadoras de señal (una cada cuatro canales). Para la medición de temperaturas se utilizan sensores de estado sólido de la serie MTS-102, preferidos sobre los de la serie MTS-105 ya que es posible obtener mayor precisión en las medidas ⁽¹⁾. La alimentación de estos sensores se realiza directamente desde la computadora.

Para la adquisición de datos se confeccionó un programa empleando APPLESOFT ⁽³⁾, que permite almacenar las lecturas de los canales seleccionados (hasta ocho), en intervalos de tiempo previamente especificados. Estos canales son leídos secuencialmente un número prefijado de veces y se almacenan en disco los valores promedio y varianza de las medidas. Continuamente se registran en pantalla las lecturas obtenidas. Para facilitar la interpretación y seguimiento de los datos en tiempo real, éstos pueden ser graficados (en modo de doble alta resolución gráfica, 559x191 puntos), continuamente o en los mismos intervalos de tiempo en que los promedios son guardados en disco. Esto permite observar lecturas anómalas por inestabilidad o defecto en la conexión, y solucionar el problema rápidamente.

Para la medición de temperaturas en el rango de la calibración, 15°C a 80°C, se utilizan como referencia termómetros de bulbo de mercurio con precisión de 0,5°C.

TECNICA DE CALIBRACION

Con el fin de simular las condiciones de operación del circuito a monitorear, se efectúa la calibración en régimen transitorio, utilizando corridas tanto de calentamiento como de enfriamiento. Los sensores se colocan en un baño de agua provisto de agitador y dos termómetros. Como medio calefactor se utiliza una resistencia eléctrica, alimentada con un transformador variable. Esto permite controlar la cantidad de calor que disipa la resistencia en el fluido. Para lograr el enfriamiento se agrega agua a temperatura ambiente. A efectos de mantener el nivel de agua constante durante el enfriamiento, se elimina el exceso por una salida ubicada en el fondo del recipiente.

Para la elección de la velocidad de calentamiento o enfriamiento del baño debe tenerse en cuenta el tiempo que demora la computadora en obtener un valor promedio. Cada promedio se obtiene con diez repeticiones para cada uno de los ocho canales, observándose una variación de temperatura de 0.6°C/min. Dado que una medida demora aproximadamente 10s, el aumento de temperatura mientras se realiza la misma es despreciable frente a la precisión esperada para los sensores ($\pm 2^\circ\text{C}$). Al aumentar el número de repeticiones, es de esperar un aumento en la significación de la medida. Pero el aumento en el tiempo de medida que esto causará, puede llegar a ser suficiente como para que el baño aumente (ó disminuya) su temperatura en forma apreciable.

Los datos obtenidos para cada corrida son temperatura leída en el termómetro de referencia vs. lectura de la señal que ingresa a la computadora proveniente de los sensores.

TRATAMIENTO DE DATOS

Para el tratamiento de los datos se utiliza el método de mínimos cuadrados, evaluándose la validez del modelo ensayado mediante análisis de varianza. También se propone el cálculo de intervalos de confianza para los diferentes coeficientes obtenidos. Se ensaya el ajuste de los datos con polinomios de grado uno, dos y tres, con ordenada en el origen.

Los fundamentos y cálculos involucrados por el método pueden consultarse en la bibliografía ⁽⁵⁾⁽⁶⁾, pero es conveniente destacar que este se basa en ciertas suposiciones:

1. las desviaciones de medición o distribución ϵ_i , también conocidas como errores al azar son independientes y se encuentran normalmente distribuidas, con una media de población cero, y una varianza σ^2 . Sin embargo, para el tratamiento de los datos por el método de mínimos cuadrados no se requiere la suposición de normalidad; sí es necesaria para la estadística inferencial (tests de hipótesis).
2. La variable en abscisas, x (variable independiente), se mide sin error. El valor correspondiente y para la variable dependiente, se mide con un error distribuido con amplitud ϵ alrededor del valor medio.

Se utilizarán dos parámetros para analizar la validez del ajuste: el número F (Fisher) y r^2 (coeficiente de correlación).

La confiabilidad del ajuste se mide por medio del test de Fisher y el grado de correlación entre x e y , es posible expresarlo por medio del coeficiente de correlación r^2 .

Dada la cantidad de información involucrada en el tratamiento de datos, solo se presentará, a modo de ejemplo, el tratamiento de datos correspondiente a uno de los ocho sensores de temperatura calibrados.

modelo lineal $y = \beta_0 + \beta_1 x$

$$\beta_0 = 3564.68$$

$$\beta_1 = -3.9124$$

Fuente	SS	gl	MS
Regresión	4918248.2	1	4918248.2
Error	6695.6	668	10.02

Al azar	3895.7	603
Falta de ajuste	2799.9	65
Total	4924944.8	669

Tabla 1. Tabla de análisis de varianza para el sensor uno, modelo lineal.

$$r^2 = 0.9986$$

$$F = 4.91 \cdot 10^5$$

modelo cuadrático $y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2$

$$\beta_0 = 3565.59$$

$$\beta_1 = -3.9638$$

$$\beta_2 = 5.6378 \cdot 10^{-4}$$

Fuente	SS	gl	MS
Regresión	4918283.8	2	2459141.9
Error	6661.0	667	10.0
Al azar	3895.7	603	
Falta de ajuste	2765.2	64	
Total	4924944.76	669	

Tabla 2. Tabla de análisis de varianza para el sensor uno, modelo cuadrático.

$$r^2 = 0.9986$$

$$F = 2.46 \cdot 10^5$$

modelo cúbico $y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x^3$

$$\beta_0 = 3560.57$$

$$\beta_1 = -3.4904$$

$$\beta_2 = -1.1370 \cdot 10^{-2}$$

$$\beta_3 = 8.7147 \cdot 10^{-5}$$

Fuente	SS	gl	MS
Regresión	4918541.1	3	1639513.7
Error	6403.7	666	9.6
Al azar	3895.73	603	
Falta de ajuste	2507.9	63	
Total	4924944.8	669	

Tabla 3. Tabla de análisis de varianza para el sensor uno, modelo cúbico.

$$r^2 = 0.9986$$

$$F = 1.71 \cdot 10^5$$

SS: suma de cuadrados

MS: SS/gl

gl: grados de libertad

F: MS/gl

CONCLUSIONES

En base a estos resultados puede observarse que el coeficiente de correlación (r^2) no varía en forma apreciable al considerar los diferentes modelos ensayados. En cuanto a la razón F, esta va disminuyendo al aumentar el grado del polinomio usado para la regresión. Esto es válido para todos los sensores ensayados. Se elige por lo tanto, un modelo lineal para realizar el ajuste de los datos.

También se realizó el test de Bartlett para los datos de cada uno de los sensores, no pudiendo verificarse la homogeneidad de varianzas para el conjunto total de medidas obtenidas (durante calentamiento y enfriamiento). Cabe mencionar que dicho test es muy sensible a desviaciones de los datos respecto a la hipótesis de normalidad de la distribución. Como no pudo verificarse la homogeneidad de varianzas no se justifica el uso de los test de hipótesis para verificar el grado de ajuste de los diferentes polinomios.

Los resultados obtenidos en todos los casos, concuerdan con los provenientes de la ficha técnica de los sensores, siendo el ajuste lineal el más adecuado, y el error en todo el rango de temperatura y para todos los sensores menor a $\pm 2^\circ\text{C}$.

Referencias.

1. MOTOROLA INC., Información técnica de sensores de temperatura serie MTS.
2. Martínez Gyaquelo, C., Informe para solicitud de patente de invención (1984).
3. Balckwood(1983). Applesof Language, 2nd Ed., McGraw-Hill,274 pg.
4. Perry & Green(1984). Chemical Engineering's Handbook, 6th Ed., McGraw-Hill.
5. Raymond L. Horton (1978). The general lienar model,1st Ed., McGraw-Hill.274 pg.