

DISEÑO DE BAÑO TERMOSTATIZADO CON CONTROL ELECTRONICO

Poletto Germán Ariel- germanpp13@gmail.com

Caceres Manuel- mcaceres@ger-unne.com.ar

Busso Arturo- ajbusso@gmail.com

GER – Grupo en Energías Renovables – Facultad de Ciencias Exactas Naturales y Agrimensura– Universidad Nacional del Nordeste.

Resumen. *En este trabajo se presenta el diseño de un baño termostatizado para calibración de sensores de temperatura, el cual está compuesto por un contenedor en el que se alojan los sensores a calibrar junto con el fluido utilizado como transmisor del calor y un sistema de medición y control de temperatura. Mediante simulaciones paramétricas realizadas sobre un modelo matemático del sistema térmico en cuestión, se determinó el tipo de control a utilizar y las dimensiones óptimas del contenedor de fluido térmico. El equipo fue ensayado a los efectos de determinar los errores cometidos por el sistema de medición y control y delimitar su campo de aplicación. Como resultado se obtuvo un instrumento de calibración de sensores de temperatura que opera entre temperatura ambiente y 80 °C y cuyos errores de medición permanecen por debajo de 0,25 °C.*

Palabras clave: *Instrumento de Calibración, Sistema de control, medición de temperatura.*

1. INTRODUCCIÓN

En el área de la energía solar térmica, fotovoltaica y de aprovechamiento de recursos biomásicos y biocombustibles se vienen realizando estudios orientados al desarrollo y caracterización de sistemas que permitan aprovechar estas fuentes de energía. Para ello, se requiere del desarrollo de metodologías adecuadas para la medición de parámetros específicos como por ejemplo la temperatura, ya sea del ambiente o de un cuerpo en particular. Un ejemplo de aplicación de la medida de temperatura dentro del área citada es en bombas calorimétricas para determinar el poder calorífico, que requiere de una exactitud elevada pues caracteriza el potencial de un determinado biocombustible. Por esta razón es necesario contar con un sistema de medición confiable que sirva de patrón para contrastar mediciones y de esta manera calibrar los sensores empleados en la cuantificación de esta magnitud. En general, este tipo de sistemas consta de un baño termostatizado, que puede ser de bloque seco o líquido, dependiendo del material que utilice como transmisor del calor (Creus, 2009).

Los baños de bloque seco pueden utilizar metal o arena, dependiendo del rango de operación. Los de bloque metálico son aptos para altas temperaturas (-25 a 1200 °C), el bloque es calentado por resistencias y la temperatura es controlada mediante aire comprimido lo que permite grandes variaciones de temperatura en poco tiempo. En dicho bloque hay orificios que permiten introducir los sensores a calibrar y el sensor patrón. Los calibradores de baño de arena en cambio cuentan con un depósito de arena u otro sólido muy fino que contiene tubos de inserción en los que se colocan los sensores a calibrar. La arena es mantenida en suspensión mediante corrientes de aire asegurando así una distribución uniforme de la temperatura.

Los baños líquidos por su parte, utilizan un contenedor con fluido térmico en conjunto con un agitador en el que se introducen los termómetros a calibrar y un sistema de medición y control es el encargado de mantener la temperatura del fluido en el valor deseado y con la menor variación posible. El fluido utilizado depende del rango de temperatura de trabajo, pudiendo utilizarse agua y etilenglicol (desde -20 °C a temperatura ambiente), aceite (temperatura ambiente a 260 °C) o sales sólidas que funden a la temperatura de trabajo (220 °C a 700 °C). Los baños líquidos presentan el inconveniente de utilizar un material en estado líquido como medio transmisor de calor, lo cual limita su portabilidad y restringe algunos aspectos operativos. Sin embargo, en condiciones de laboratorio presentan ventajas frente a los de bloque seco referidas a la sencillez del control y uniformidad en la temperatura. Estas ventajas motivaron el desarrollo de un sistema de calibración de sensores de temperatura basado en un baño líquido. La Fig. 1 presenta un diagrama de bloques esquemático de este tipo de baño en la cual se discriminan todas las partes que lo conforman.

En general, este tipo de sistemas utiliza sensores de temperatura patrón basados en resistencia de platino o termopares que se conectan a un circuito de medición el cual adapta la señal para que pueda ser leída por un microcontrolador o PC. La energía necesaria para elevar la temperatura del líquido es inyectado mediante una resistencia eléctrica calefactora, cuya alimentación es generada por un sistema de control electrónico.

Existen varios aspectos que deben ser tenidos en cuenta en el diseño de este tipo de sistemas. Por un lado, es necesario discriminar a partir de conceptos termodinámicos de transferencia de calor los distintos factores que afectan el tiempo de establecimiento de la temperatura para una determinada potencia de calefacción, esto permitirá a partir de modelos matemáticos convenientes aproximar estados de equilibrio para diferentes condiciones de operación del sistema. Por otro lado es necesario realizar una revisión detallada de conceptos relacionados con sistemas control para su posterior implementación en el equipo.

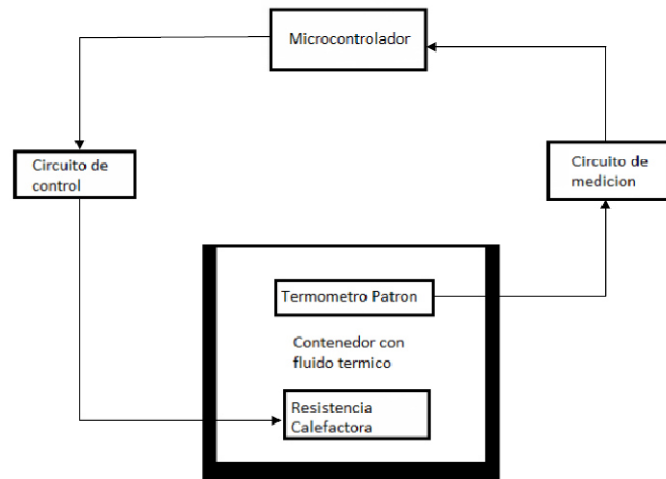


Figura 1- Esquema del sistema de calibración de sensores de temperatura.

1.1 Transferencia de calor

La transferencia de calor es la energía en tránsito debido a una diferencia de temperatura. Existen tres mecanismos por los cuales se produce esta transferencia. Conducción, convección y radiación. (Icopera y DeWitt, 1999; Duffie y Beckman, 1991). En el desarrollo del sistema de calibración de sensores de temperatura deben evaluarse las pérdidas de calor asociadas al contenedor del fluido. Sistemas térmicos de este tipo pueden modelarse en función de resistencias y capacitancias térmicas, los cuales permiten hacer un análisis simplificado en función de parámetros concentrados, que representa una aproximación aceptable al comportamiento del sistema (Ogata, 1998). La resistencia y la capacitancia térmica están definidas por la Ec. (1) y Ec. (2) respectivamente.

$$R = \frac{\text{cambio en la diferencia de temperatura}}{\text{cambio en el flujo de calor}} = \frac{dx(\Delta T)}{dq} = \frac{1}{K} \quad (1)$$

$$C = \frac{\text{cambio en el calor almacenado}}{\text{cambio en la temperatura}} = m \cdot c \quad (2)$$

donde; K = conductividad térmica [W/m.K], m =masa de la sustancia considerada [Kg], c =calor específico de la sustancia [J/Kg.K].

Mediante un modelo matemático desarrollado a partir de estos parámetros se puede hallar la ecuación que describe el comportamiento del sistema, lo cual permite simular diferentes condiciones de funcionamiento y determinar el controlador que mejor responde a los criterios de diseño especificados.

1.2 Sistemas de Control

Los controladores industriales se pueden clasificar de acuerdo con su acción de control en 6 tipos diferentes (Ogata, 1998), control tipo on/off, proporcional, integral, proporcional integral (PI), proporcional derivativo (PD) y proporcional integral derivativo (PID). Este ultimo combina las acciones del control proporcional, integral y derivativo, lo que permite tener las ventajas que presentan los tres individualmente, la Ec. (3) describe su comportamiento.

$$u(t) = Kp \cdot e(t) + Kp \cdot Td \cdot \frac{de(t)}{dt} + \frac{Kp}{Ti} \cdot \int e(t) dt \quad (3)$$

donde; Kp = Ganancia proporcional, Ti =Tiempo integral, Td =Tiempo derivativo, $e(t)$ =Señal de error, $u(t)$ =Señal de salida del controlador.

Estos sistemas pueden ser discretizados, aplicando diferentes técnicas, lo que permite implementarlos de manera digital en un microcontrolador o microprocesador (Ogata, 2000; Lin, 2011).

Tomando como base lo expuesto previamente se ha diseñado un sistema de calibración de sensores de temperatura de baño líquido, con un rango de operación comprendido entre temperatura ambiente y 80 °C. El equipo posee una cuba que contiene al fluido térmico donde se encuentra una resistencia de calefacción controlada por una etapa electrónica de control y una bomba centrífuga para agitación. El presente trabajo muestra el desarrollo de un modelo matemático que permitió, mediante simulación, dimensionar las diferentes etapas del equipo, el diseño e implementación de las etapas

de control, la integración de las diferentes partes del instrumento, los ensayos necesarios para su correcta calibración y los resultados obtenidos en su caracterización.

2. METODOLOGIA

Uno de los elementos más importantes del sistema es el contenedor de fluido de intercambio termico, el cual debe poseer dimensiones apropiadas, contar con una resistencia calefactora cuya potencia sea adecuada para el volumen de líquido utilizado y poseer un sistema de agitación que evite la estratificación.

2.1 Diseño del Contenedor

A efectos de ajustar las dimensiones de una cuba tal que permita optimizar los procesos de calibración en términos de confiabilidad, velocidad en el ensayo y controlabilidad del proceso, se desarrolló un modelo matemático utilizando Matlab/Simulink r2013b (Matlab, 2013). La Fig. 2 presenta un esquema del modelo matemático desarrollado, este está basado en una analogía eléctrica del sistema térmico en cuestión. Resolviendo este circuito en el dominio de Laplace, se halla la función transferencia del sistema que tiene la forma presentada en la Ec. (4).

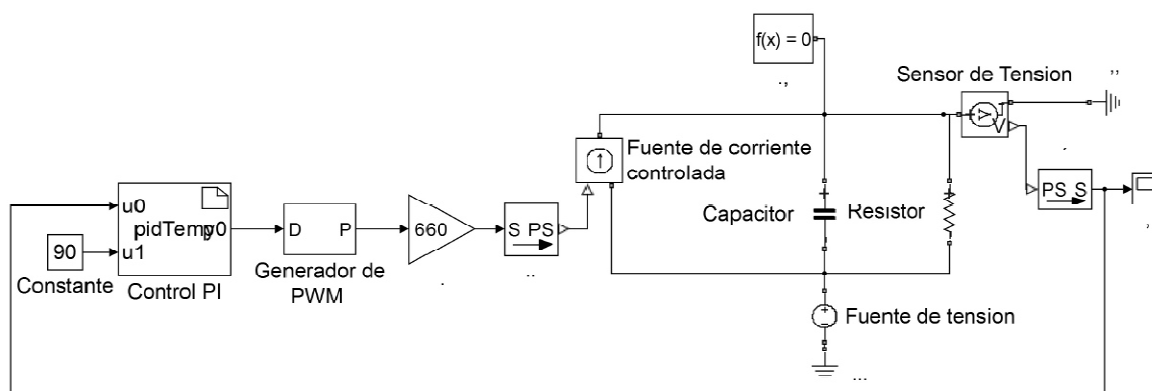


Figura 2 - Esquema del modelo realizado en Matlab/Simulink.

En el esquema citado el capacitor representa la capacidad térmica de la sustancia, la resistencia representa las pérdidas de calor hacia el exterior, la temperatura ambiente se modela mediante una fuente de tensión continua y con una fuente de corriente se modela la potencia inyectada al sistema. La tensión sobre el capacitor representa la temperatura de la sustancia (Ogata, 1998; Rashid, 1995). Suponiendo una entrada en escalón, de la Ec. (4) se halla la expresión de la tensión sobre el capacitor y aplicando transformada inversa de Laplace se obtiene la Ec. (5) que describe la respuesta temporal del sistema.

$$G(s) = \frac{Vc(s)}{I(s)} = \frac{1}{c} * \frac{1}{[s + (\frac{1}{RC})]} + \frac{V}{s} \quad (4)$$

$$T = PR \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) + Ti \quad (5)$$

donde; T = temperatura de la sustancia, P = potencia inyectada al sistema, R =resistencia térmica del sistema, C = capacidad térmica del sistema, Ti =temperatura inicial de la sustancia.

El producto de R y C es igual a la constante de tiempo τ del sistema (tiempo hasta alcanzar el 63,2 % de la temperatura final). La capacidad térmica se puede determinar a partir de la masa y el calor específico de la sustancia, por lo tanto, si se realiza un ensayo de respuesta al escalón del sistema, se puede determinar τ y mediante cálculo puede obtenerse el valor de la resistencia térmica.

A los efectos de validar el modelo matemático desarrollado y ajustarlo a un caso real, se construyó un contenedor prototipo con forma de paralelepípedo rectangular, de 31 cm de frente, 37 cm de fondo y 17 cm de alto. La cuba posee una capacidad máxima de 20 L y paredes de acero inoxidable de 0.5 mm de espesor, además cuenta con una resistencia calefactora de 1000 W asociada a un variac que permite regular el calor inyectado y un sistema de recirculación que evita la estratificación. Este contenedor fue ensayado en laboratorio para determinar la respuesta al escalón. Sobre un volumen igual a 5 L de agua y con una potencia de calefacción igual a 500 W para evitar la ebullición del fluido al final del ensayo se relevó la curva de variación de temperatura del fluido en el tiempo utilizando un equipo de medición de temperatura testo modelo 735 asociado con una sonda PT-100 calibrada (con certificado de calibración de fecha 19/07/2015). De esta forma, mediante ajuste de la curva adquirida (Fig. 3) se pudo obtener un valor de resistencia térmica del sistema para incorporarlo a la ecuación que describe el modelo matemático (Ec. 5). Con estos valores se realizaron simulaciones paramétricas variando el volumen de fluido y la potencia inyectada para distintos rangos de

temperatura con el fin de ajustar un contenedor de similares características a las del prototipo pero que permita optimizar los ensayos de calibración respecto a la velocidad de convergencia a un determinado valor de temperatura, además estas simulaciones permitieron evaluar la capacidad de control por parte del sistema electrónico y su exactitud.

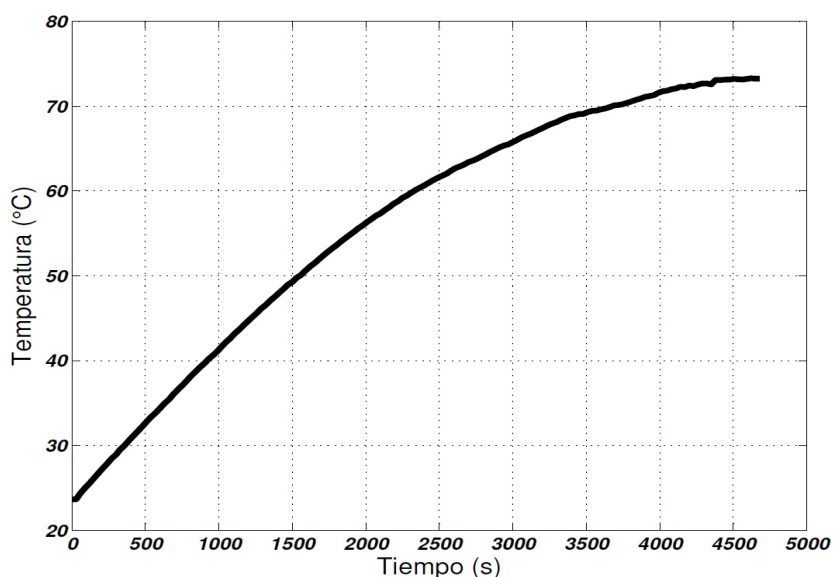


Figura 3- Respuesta al escalón del contenedor.

2.2 Circuito de medición de temperatura

Para medir la temperatura del fluido contenido en la cuba se utilizó un sensor RTD tipo PT-1000 clase 1/10B (Norma IEC 60751, 2008) en conexión a cuatro hilos (Fig. 4). El método de medición consiste en hacer circular una corriente constante a través del RTD conectándolo a una fuente de corriente constante mediante dos conductores, luego en los dos conductores restantes se conecta un voltímetro de alta impedancia con el que se mide la caída de tensión sobre el sensor. Debido a la alta impedancia del voltímetro la corriente por este último par de conductores es muy baja por lo que el error introducido por la resistencia de los conductores en la medida es despreciable (Arian, 2010; Creus, 2009; Liu et al. 2010).

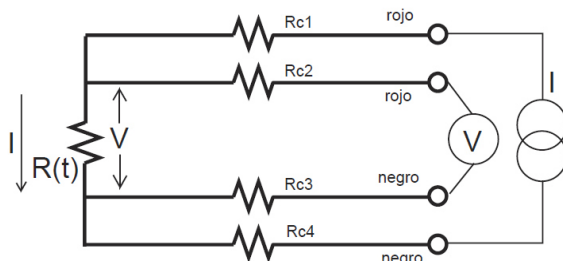


Figura 4- Esquema de medición a cuatro hilos.

Para manipular los datos de tensión capturados por el transductor e implementar la etapa de control asociada al sistema se utilizó una placa Arduino Uno, la cual está basada en el microcontrolador Atmega328 de la firma ATMEL (Arduino, 2015). En este aspecto, se procedió a construir un circuito que permita realizar la medición y adecuar la señal de tensión provista por el RTD para que pueda ser leída a través del convertor A/D del microcontrolador. El prototipo consta de una fuente de corriente constante, basada en un amplificador operacional TL074 (Fig. 5 a). En esta configuración la corriente que circula por el PT-1000 se determina mediante la siguiente ecuación:

$$I = \frac{V_{ref}}{R_1} = \frac{2.5V}{10000} = 250 \mu A \quad (6)$$

Donde V_{ref} es una tensión de referencia de 2,5 V estabilizada, la cual se genera a través de un regulador de tensión de alta precisión de Texas Instruments (modelo REF5025). Para evitar que la temperatura del PT-1000 se eleve por efecto Joule, dando lugar a un error en la medición, la corriente que circula por el mismo debe permanecer en un valor reducido (menor a 1 mA). Por esta razón se colocó una resistencia de 10 K Ω , con lo que se obtiene una corriente de 250 μA , el capacitor C1 se utiliza para evitar posibles errores en la medición debido al ruido. Nótese que a 0 °C el PT-1000 presenta una resistencia de 1000 Ω , por lo que a esta temperatura se tendrá una tensión de 0,25 V entre los puntos 1 y 2. Luego dos amplificadores operacionales en configuración seguidor de tensión proporcionan una alta impedancia de

entrada para la siguiente etapa, la cual está constituida por un amplificador diferencial de ganancia 10, por lo tanto a 0 °C obtendremos a la salida una tensión de 2.5 V (Fig. 5 b).

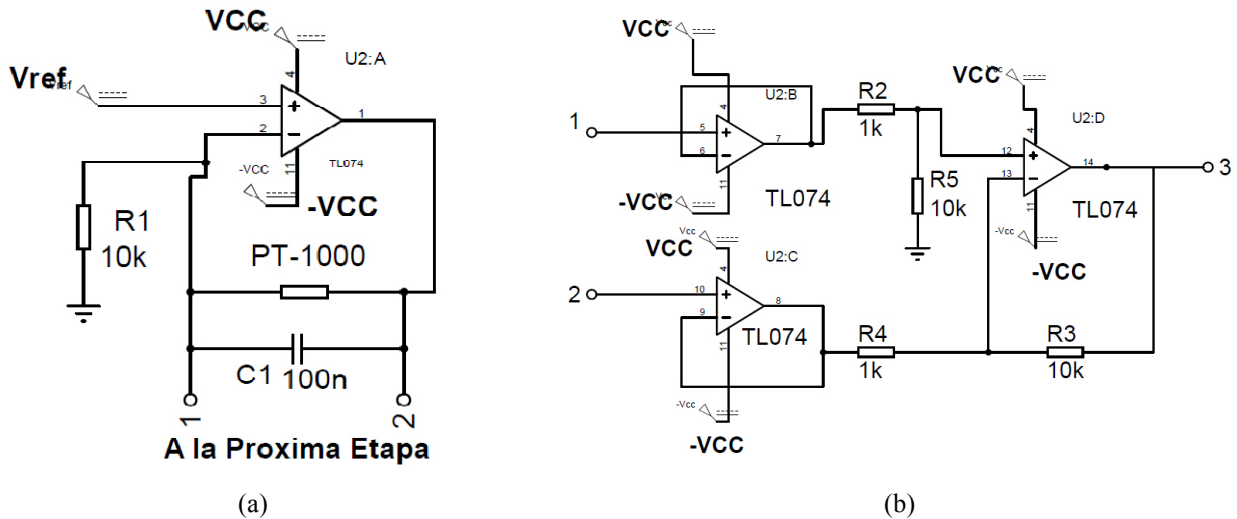


Figura 5- (a) Fuente de corriente. (b) Amplificador diferencial y seguidor.

Finalmente la señal obtenida pasa por una última etapa que realiza una adaptación de nivel a efectos de proporcionar a la salida una tensión de 0 V a 0 °C. Puesto que el sistema fue diseñado para trabajar a temperaturas entre 25 °C y 100 °C, la máxima tensión que se obtendrá a la salida del circuito (Fig. 6) será igual a 0,96 V. Esta señal es muestreada por un convertor analógico-digital de 10 bits que forma parte del microcontrolador utilizado. De esta forma la tensión medida será convertida a un número entero comprendido entre 0 y 1023. Todas las etapas analógicas fueron alimentadas con una fuente simétrica de ± 12 V.

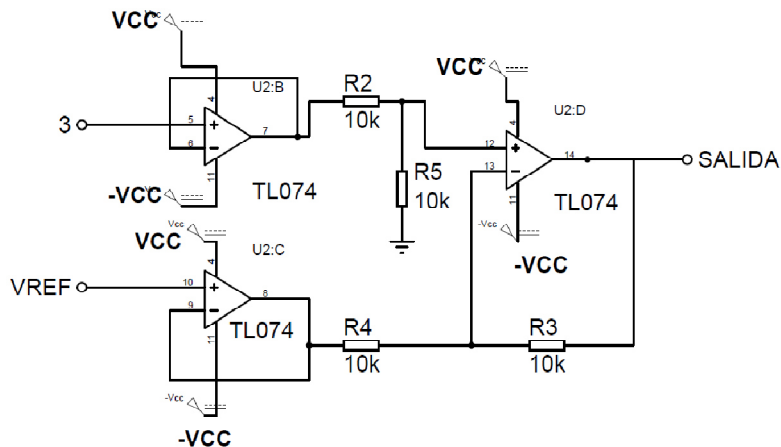


Figura 6- Circuito adaptador de nivel.

2.3 Sistema de control de temperatura

El sistema de control se implementó de forma digital, utilizando la placa Arduino citada. Se realizaron diversas simulaciones utilizando los diferentes controladores antes descritos, con lo que se determinó que el sistema de control apropiado para el equipo era del tipo PI (Proporcional – Integral), ya que los controladores P (Proporcional) y PD (Proporcional – Derivativo) provocaban un mayor error en estado estable y el controlador PID (Proporcional – Integral – Derivativo) daba lugar a un incremento en el tiempo de establecimiento. Por otro lado, se observó que la transferencia de calor del contenedor al ambiente aumenta proporcionalmente con la temperatura del fluido. Por esta razón, es necesario aumentar el valor de los parámetros de control a medida que las temperaturas de trabajo se hacen más altas. Con esta modificación es posible alcanzar el equilibrio térmico en un tiempo menor a 20 minutos y con errores que no superen el 1 %. Considerando lo expuesto se establecieron parámetros de control ajustables según el rango de temperaturas en que trabaja el equipo. Para obtener el valor de las constantes del controlador se procedió a discretizar la función transferencia del sistema, que viene dada por la Ec.(4) por el método del retenedor de orden cero (Ogata 2000). Una vez obtenida la función transferencia en tiempo discreto se utilizó la herramienta PID Tuning de MATLAB para obtener los valores de las constantes del controlador.

La etapa de control implementada gobierna una resistencia calefactora de 1000 W, que suministra el calor necesario al fluido.

2.4 Dimensiones finales y calibración del equipo

Como resultado de simulaciones paramétricas desarrolladas con el modelo matemático descrito en el apartado 2.1, se determinó por un lado que el volumen óptimo de líquido a utilizar debe ser aproximadamente 3 L y que resulta innecesario aislar las paredes del contenedor. En la Fig. 7 se presenta un esquema del contenedor diseñado. Este es de acero inoxidable con paredes de 0,5 mm de espesor y en la parte superior posee un gabinete en el que se aloja toda la electrónica asociada al sistema de medición y control de temperatura. La bomba de agitación es de tipo vertical centrífuga, con el cuerpo de turbina sumergido en la cuba y el motor alojado en el gabinete superior solidario a la turbina a través de un eje.

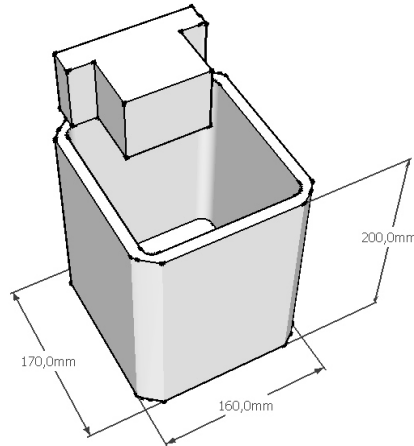


Figura 7- Esquema del contenedor.

Para la calibración del sistema de medición de temperatura se contrastaron las mediciones del equipo contra las adquiridas por el instrumento testo 735 citado en el apartado 2.1. Una vez realizada la calibración se procedió a evaluar el desempeño del equipo en todo el rango de operación. Para esto se configuró el sistema para una determinada temperatura y se graficaron los valores de temperatura del fluido en función de tiempo; procedimiento que permitió observar las variaciones que se producen una vez alcanzado el equilibrio térmico. Así como el error cometido y el tiempo de establecimiento. Este ensayo se repitió para diferentes temperaturas en todo el rango de operación considerando diferencias de 5 °C entre ensayos. Para el cálculo del error cometido por el equipo se realizaron 50 mediciones para cada valor de temperatura seteado, utilizando el mismo instrumento patrón (testo 735). Luego se calculó el promedio de estos valores y la desviación estándar, con los que se obtuvo el error absoluto y porcentual mediante la Ec.(7) y Ec. (8) respectivamente.

$$Ea = Ts - \left(\frac{\sum_{i=1}^{50} T_{med_i}}{50} + \sigma \right) \quad (7)$$

$$E\% = \frac{Ts - \left(\frac{\sum_{i=1}^{50} T_{med_i}}{50} + \sigma \right)}{\frac{\sum_{i=1}^{50} T_{med_i}}{50} + \sigma} \cdot 100 \quad (8)$$

donde; Ea = Error absoluto cometido por el equipo, $E\%$ = Error porcentual cometido por el equipo, T_{med} = Temperatura medida por el testo 735, T_s = Temperatura seteada, σ = Desviación estándar.

3. RESULTADOS

La Fig. 8 presenta el comportamiento del sistema para distintos valores de temperatura seteados. Se observa que los tiempos de establecimiento son de aproximadamente 12 minutos para todo el rango de operación. Puede verse que para valores entre 30 °C y 40 °C se produce cierto sobreimpulso, lo cual provoca un aumento en los tiempos de establecimiento. Este efecto tiene menor relevancia a temperaturas más altas, ya que las pérdidas de calor del contenedor aumentan, como se ve en las curvas de estabilización a 45 °C y 50 °C. En la curva correspondiente a los 55 °C puede verse que nuevamente existe un aumento del sobreimpulso, esto se debe a que entre 55 °C y 75 °C se utilizan constantes de control diferentes que para temperaturas menores a los 55 °C. Para valores mayores a los 70 °C puede notarse que se produce un aumento en las oscilaciones una vez alcanzado el equilibrio térmico, esto se debe a efectos de evaporación, que hacen que las pérdidas de calor del contenedor aumenten considerablemente, lo cual dificulta el proceso de control de temperatura. En las curvas de estabilización a 80 °C y 85 °C puede notarse un sobreimpulso, esto

se debe nuevamente a que para valores de temperatura de trabajo superiores a los 75 °C se utilizan constantes de control distintas que para el resto del rango.

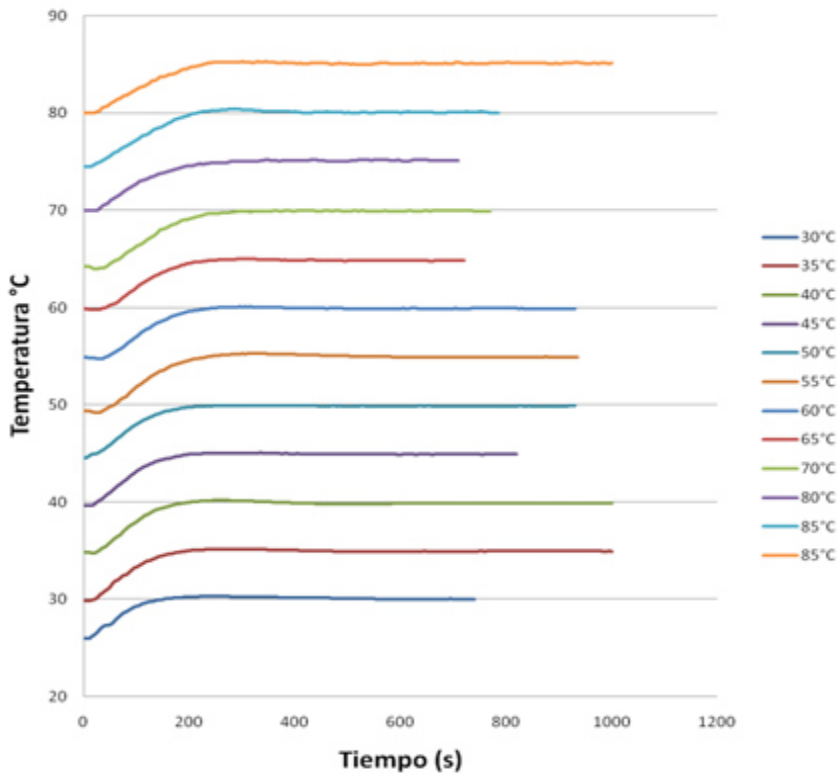
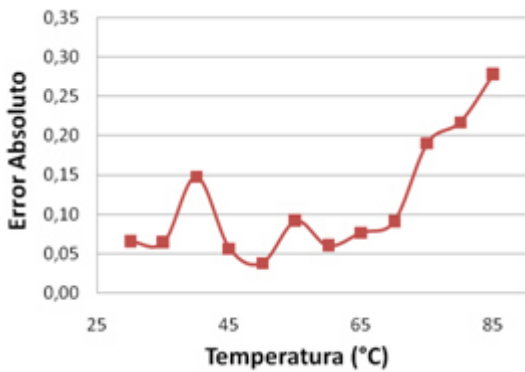


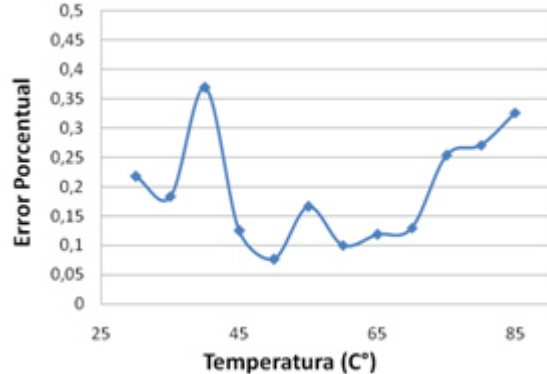
Figura 8- Curvas de temperatura en función de tiempo.

La Fig. 9 presenta el error absoluto y porcentual para todo el rango de operación evaluado. Se observa que para temperaturas menores a los 70 °C los errores se mantienen por debajo de los 0,15 °C. Para temperaturas superiores a los 70 °C los efectos de evaporación presentan una mayor importancia, provocando que los errores en el control aumenten considerablemente. Este efecto sumado al aumento de las oscilaciones en la temperatura del líquido hace que el equipo presente mayores desvíos para temperaturas por encima de los 80 °C. Bajo estas condiciones de funcionamiento un ensayo de calibración cuyo rango va de los 30 °C a los 80 °C con diferencias de 5 °C entre los distintos valores de temperatura seteados tomaría aproximadamente 2 horas, con errores en el control de temperatura inferiores a los 0,25 °C, lo que hace que el equipo tenga un desempeño aceptable para las aplicaciones de laboratorio en las que se requiera un error menor al 1%.

Las variaciones presentadas en el error absoluto y porcentual no siguen una tendencia determinada, debido a que los parámetros de control varían en función de la temperatura de trabajo.



(a)



(b)

Figura 9- Errores cometidos por el equipo. (a) Error absoluto. (b) Error porcentual.

4. CONCLUSIONES

Se desarrolló un baño termostático para calibración de sensores de temperatura cuyo rango de funcionamiento va desde temperatura ambiente a 80 °C con un error inferior a 0,25 °C en este rango de medición. El mismo está constituido por un contenedor en el que se aloja el fluido térmico a utilizar y los termómetros a calibrar. Posee un sistema de control que permite setear la temperatura que se desea que alcance el fluido y una etapa de medición para adquirir esta magnitud. La etapa de control gobierna una resistencia calefactora de 1000 W que suministra el calor necesario al fluido.

Se desarrolló un modelo matemático que permitió dimensionar el contenedor y determinar el valor de las constantes del controlador, como así también simular las diferentes condiciones de funcionamiento del sistema. Como resultado de las diversas simulaciones y ensayos se determinó que el volumen óptimo de líquido a utilizar es de aproximadamente 3 litros. Por otro lado, para que los tiempos de establecimiento de la temperatura sean menores a 20 minutos en todo el rango de operación y los errores se mantengan por debajo del 1% se implementó un algoritmo de control PI cuyas constantes de control varían de acuerdo al rango de temperatura en el que está trabajando el sistema.

REFERENCIAS

- Arduino, 2015. <https://www.arduino.cc>.
- Arian Control e Instrumentación. Pt100 su Operación, Instalación y Tablas.
- Creus A., 2009. Instrumentos industriales, su ajuste y calibración. Tercera edición, pp. 110-138. alfaomega.
- Duffie J. A. y Beckman W. A. 1991. Solar Engineering of Thermal Processes, 2ª edición, Capítulo 3. Wiley Interscience, New York.
- Heong K. Chong G. y Yun L. 2005. PID Control System Analysis, Design and Technology. IEEE TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY, VOL. 13, pp. 559-576. IEEE 2005.
- Incropera F. P. y DeWitt D. P. 1999. Fundamentos de Transferencia de Calor. Cuarta edición, pp. 2-11. Prentice Hall.
- Lin H. 2011. A kind of intelligent temperature controller use PID algorithm to realize. International Conference on Electrical and Control Engineering (ICECE). Pp. 2838-2840. IEEE 2011.
- Liu J, Li Y. y Zhao H. 2010. A Temperature Measurement System Based on PT100. International Conference on Electrical and Control Engineering. Pp. 296-298. IEEE 2010.
- Matlab, 2013. www.mathworks.com/products/new_products/release2013b.html.
- Norma IEC 60751, 2008. <http://www.iec.ch>
- Ogata K. 1998, Ingeniería de Control Moderna. Tercera Edición, pp. 96-218. Prentice Hall.
- Ogata K. 2000, Sistemas de Control en Tiempo Discreto. Segunda Edición, pp. 75-121. Prentice Hall.
- Rashid M. H., 1995. Electronica de Potencia, Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones. Segunda Edición, pp. 591-597. Prentice Hall.
- Xianjun Y. y Cuimei L. 2009. Development of high-precision temperature measurement system based on ARM. International Conference on Electronic Measurement y Instruments. Pp. 795-799. IEEE 2009.
- Yang J. y Bi X. 2010, High-precision Temperature Control System Based on PID Algorithm. International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCASM 2010), Volumen 12, pp. 568-571. IEEE 2010.

DESIGN THERMOSTATIC BATH ELECTRONICALLY CONTROLLED

Abstract. *This paper presents the design a thermostated bath for calibration of temperature sensors, which comprises a container in which are accommodated the sensors to calibrate with the fluid used as a heat transmitter and a measurement system and control the temperature. Through parametric simulations on a mathematical model of thermal system in question, the type of control used and the optimum dimensions of thermal fluid container were determined. The equipment was tested for the purpose of determining the errors of the measurement system and control and define its scope. As a result an calibration instrument of temperature sensors operating between room temperature and 80 °C was obtained and whose measurement errors remain below 0.25 °C.*

Key words: *Instrument calibration, system control, temperature measurement.*