

Análisis y diseño de un esquema de control para aplicación en baño seco portátil

Analysis and design of control systems to application in portable dry block

*Leobardo Hernández González**, Juan Medrano Hernández, Issac Bermúdez González, Ariadna Santillán Jiménez

Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica, Departamento de Electrónica, ESIME Culhuacán del Instituto Politécnico Nacional. C.P. 04430. Avenida Santa Ana No. 1000, Col San Fco. Culhuacán, México.

(Recibido el 29 de abril de 2013; Aceptado el 4 de abril de 2014)

Resumen

Actualmente, la industria aplica rigurosos estándares de calidad en sus procesos de producción, obligándose a contar con instrumentos de medición cada vez más exactos. Lo que exige que para obtener una certificación, en muchos casos se tenga que calibrar sus instrumentos fuera de las propias instalaciones, generando diversas dificultades debido a la imposibilidad de parar los procesos de producción. En algunos casos, se contrata a empresas especializadas para realizar la calibración dentro de la planta, pero generalmente resulta una operación parcial, costosa e incómoda. Como una solución práctica se propone un baño de bloque seco portátil basado en las Celdas Peltier, que permita la calibración de sensores de temperatura, con las características de fácil transportación y manejo, para realizar dicha calibración en la propia planta de producción. El prototipo experimental de baño de bloque seco permite alcanzar un rango de temperatura que va de los 0°C hasta los 150°C (273,2°k a 423,2°k), recurrente en muchos procesos industriales. Para asegurar un correcto control de temperatura se propone un algoritmo de control digital PID, implantado en un micro controlador tipo PiC. El sistema de control de temperatura se validó con simulaciones y pruebas experimentales para todo el sistema en funcionamiento, obteniéndose resultados bastantes satisfactorios.

-----*Palabras clave:* Celdas Peltier, bloque seco, control digital

* Autor de correspondencia: Leobardo Hernández González, e-mail: lhernandezg@ipn.mx; teléfono: + 52 55 57296000, (L. González)

Abstract

Currently the industry works with rigorous quality standards in their production processes, forcing instruments have most accurate measurement possible, to achieve this certification must send to calibrate their instruments outside facilities, but these is difficult due to the operation periodical or are in a process of production, as solution they have contracted specialist companies for the calibration process within the plant, being an expensive solution. As a practical solution we present the design of a portable dry block bath based on Peltier Cells for the calibration of temperature sensors, which complies with the characteristics of being an instrument of easy transport and handling for sensor calibration within the plant. The experimental prototype dry block bath achieves a temperature range from 0°C to 150°C (273,2°k to 423,2°k) typical industrial processes. To ensure correct temperature control is designed a digital PID control algorithm, which was implanted in a PiC. The temperature control system was validated with experimental simulations and tests the whole system operation, quite satisfactory results were obtained.

-----*Keywords:* Peltier cooling, portable dry block, digital control

Introducción

Actualmente, la industria opera sus procesos de producción bajo rigurosos estándares de calidad, que exigen el empleo de instrumentos de sensado y medición cada vez más exactos, por lo que se les debe proporcionar una calibración periódica. En numerosas ocasiones, estos instrumentos no pueden ser enviados a calibrar fuera de las propias instalaciones de la empresa, debido a su uso permanente en los procesos de producción, por lo que se suele contratar a empresas o laboratorios que puedan acudir a realizar la calibración en la planta.

El problema principal radica en el transporte de esos equipos o instrumentos, ya que en su mayoría son de grandes dimensiones, así como por el tipo de elementos con el que están constituidos, lo que impide un manejo fácil para el usuario. Tal es el caso de sistemas que cuentan con enfriadores por medio de compresores de gas, que consumen recursos en su mantenimiento y son altamente contaminantes. También, el manejo de estos instrumentos en la planta de producción se dificulta debido a la necesidad de operar en espacios reducidos; incluso llegan a constituir un riesgo para el operador.

Como una solución práctica y de bajo costo se diseñó un baño de bloque seco portátil basado en celdas Peltier, que permite la calibración in situ de sensores de temperatura, y cumple con las características de un instrumento de fácil transportación y manipulación para calibrar sensores en la planta de producción.

Las celdas Peltier se usan principalmente en la calibración de RTD's y termopares [1,2]. La ventaja de utilizar esta tecnología radica principalmente en que posee las siguientes características: exacta, seca, limpia, portátil, gradiente de temperatura rápido, amplio sensor de referencia interno e intervalo de temperatura a calibrar.

Para validar la metodología propuesta se diseñó y construyó un prototipo experimental de baño de bloque seco a partir de módulos Peltier DT12-6, que permite alcanzar un rango de temperatura que va de los 0°C hasta los 150°C (273,2°k a 423,2°k), usual en procesos industriales. El diseño contempla el troquelado del bloque seco en aluminio y sus insertos para la ubicación de los sensores de referencia internos, así como de las Celdas Peltier; el diseño de una fuente de energización con suministro de alta corriente y

protección a sobredemanda de carga; el diseño de un controlador digital para el correcto seguimiento de la temperatura, y el diseño de la interfaz usuario-máquina para comodidad del usuario.

Diseño del prototipo de baño de bloque seco

El diseño del prototipo consta de cinco partes principales: a) Fuente de energización de alta corriente, b) Sistema térmico basado en celdas Peltier, c) Interfaz usuario/máquina, d) Sensado y acondicionamiento de temperatura, y e) Esquema de control digital. El sistema a bloques general se muestra en la figura 1.

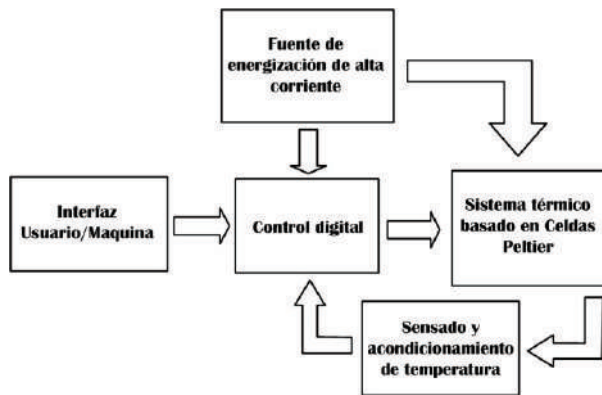


Figura 1 Interconexión de subsistemas para diseño de baño de bloque seco

Fuente de energización de alta corriente

Para suministrar energía a los dispositivos termoelectricos se diseñó una fuente de energización de alta corriente con rizo menor al 5% del voltaje nominal de salida, debido a que el rendimiento de los módulos termoelectricos depende del voltaje de energización suministrado. De acuerdo con las especificaciones del módulo enfriador termoelectrico a utilizar (módulo Peltier DT12-6 Marca Marlow Industries Inc., ver Figura 2), se debe de cumplir con un voltaje máximo de (16.4V a una variación máxima de voltaje de 17V) a una corriente de trabajo máxima de 6,4A.



Figura 2 Módulo Peltier DT12-6-Marlow Industries Inc.

De acuerdo con las curvas de comportamiento y especificaciones del fabricante, se concluye que un voltaje de 12 V_{CD} y 6 A_{CD} es necesario para energizar establemente el módulo Peltier.

En la figura 3, se muestra el diagrama eléctrico de la fuente de energización de alta corriente [3]. Como el regulador LM317 sólo es capaz de entregar 1,5A, se adicionan ramas de refuerzo de corriente conformadas por los transistores Q₃, Q₄ y Q₅. Cada rama es capaz de entregar hasta 2A. Para lograr una correcta operación del refuerzo de corriente se utiliza una red de activación formada por R_{S2}-Q₂-R_{S3}, el resistor R_{S2} se calcula para que a un paso de corriente mayor a 1A se obtenga una caída de tensión de 0.7V suficiente para activar la unión base-emisor del transistor Q₂.

Para proteger a la fuente, se incorporó un circuito limitador de corriente (protección a sobre demanda de carga), compuesto por la red R_{S1}-Q₁ y el led indicador. El transistor Q₁ actúa como limitador de corriente a sobre demanda de corriente en la carga. El resistor R_{S1} se calcula para que a un paso de corriente (I_{C2}) mayor a 150mA permita obtener una caída de tensión de 0.7V, suficiente para activar la unión base-emisor del transistor Q₁ y limitar el paso de corriente de activación de los transistores de refuerzo Q₃, Q₄ y Q₅. Para la activación controlada de la fuente de energización a las celdas Peltier, se utilizará un esquema de control PWM que trabajara a partir del esquema de controlado a implementar.

En la tabla 1 se muestran los valores de corriente y voltaje medidos para una carga de $2,2\Omega$ a una potencia de 90 Watts.

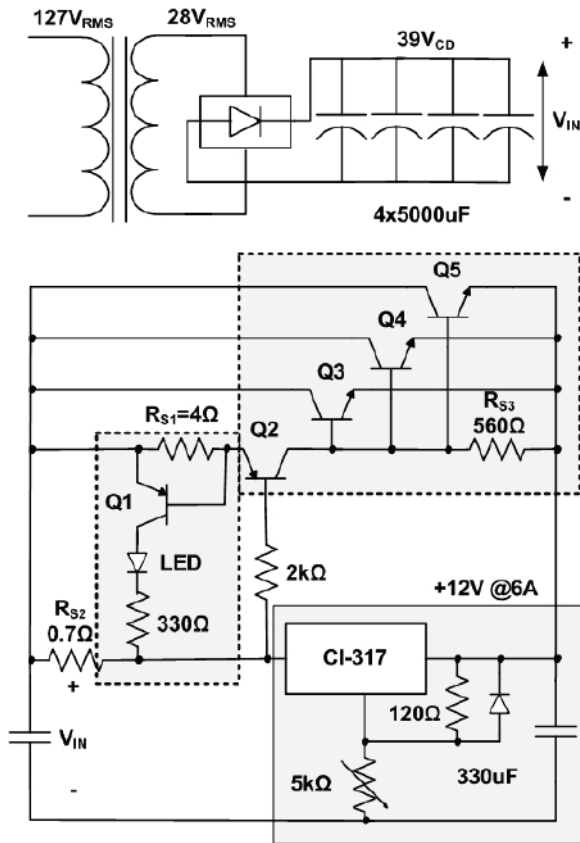


Figura 3 Fuente de energización de alta corriente

Tabla 1 Medición de voltaje regulado y no regulado

	No regulado	Regulado
V_{in}	37,5V	36,5V
V_{out}	12,07V	11,99V

Sensado y acondicionamiento de temperatura

Para sensar la temperatura con alta estabilidad se utilizó el sensor AD590 que presenta salida en corriente, el dispositivo presenta una alta impedancia y regula sobre una corriente constante $1\mu A/^{\circ}K$, además de presentar una excelente linealidad $\pm 0,3^{\circ}C$ sobre rango completo lo que evita el uso de circuitos de linealización. El rango

de medición de este dispositivo es de $-55^{\circ}C$ hasta $150^{\circ}C$, con una sensibilidad de $1\mu A/^{\circ}K$ [4]. Debido a que el sensor trabaja en grados Celsius, se diseñó un circuito acondicionador de señal, (CAS), que convierta la corriente proporcional de grados Kelvin a grados Celsius en forma de voltaje para que pueda ser procesada por un micro controlador para el algoritmo de control y su visualización en un LCD [5-7]. En la figura 4 se muestra el diagrama a bloques de interconexión entre el sensor y su visualización a LCD.

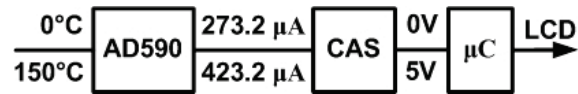


Figura 4 Conversión de temperatura-corriente-voltaje del sensor AD590

Para realizar el CAS, se utiliza el valor mínimo y máximo a sensar, esto es, para $0^{\circ}C$ el dispositivo, deberá entregar una corriente de $273,2\mu A$ y para $150^{\circ}C$ deberá entregar una corriente de $423,2\mu A$. El máximo voltaje que deberá de sensar el microcontrolador a una temperatura máxima de $150^{\circ}C$ es de 5V, en la figura 5 se muestra la relación temperatura-corriente que entrega el AD590 y la relación temperatura voltaje que sensará el micro controlador, a partir de esta gráfica se obtienen las relaciones siguientes.

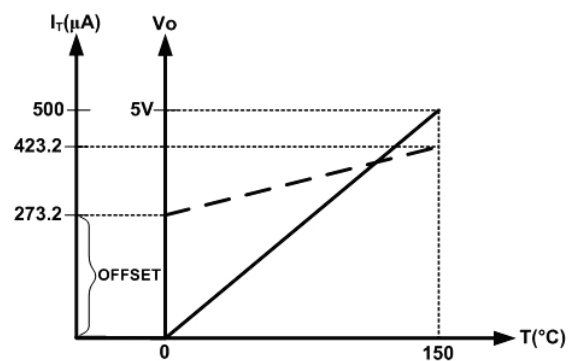


Figura 5 Respuesta de temperatura-corriente y temperatura-voltaje

Para la corriente que entregará el sensor AD590, la relación temperatura-corriente se determina con la expresión (1) a partir de la figura 5.

$$I_t = \frac{423,2\mu A - 273,2\mu A}{150^\circ C - 0^\circ C} T_c + a = 1 \frac{\mu A}{^\circ C} T_c + a \quad (1)$$

Para el cálculo del término *a* (offset) se considera que para una corriente total (*I_T*) de 273,2μA, se tendrá una temperatura (*T_C*) de 0°C, al sustituir estos valores en la ecuación (1) se obtiene que *a*=273,2μA, sustituyendo en (1) se tiene la expresión (2).

$$I_t = 1 \frac{\mu A}{^\circ C} T_c + 273,2\mu A \quad (2)$$

En la figura 6, se muestra el comportamiento de corriente (*I_T*) contra voltaje que se deberá de sensar el micro controlador.

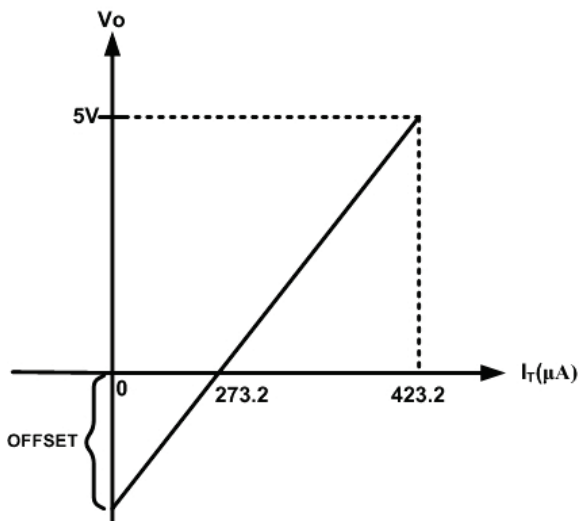


Figura 6 Respuesta de corriente-voltaje a sensar

De la figura 6, se obtiene la expresión para la relación corriente *I_T* (μA) contra voltaje (V) que se muestra en la expresión (3).

$$V_0 = \frac{5V - 0V}{423,2\mu A - 273,2\mu A} I_t + b = 33,33 k(I_t) + b \quad (3)$$

Para el cálculo del termino *b* (offset) se considera que para un voltaje de salida (*V₀*) de 5V se tendrá una corriente total (*I_T*) de 423,2 μA, al sustituir esto valores en la ecuación (3) se obtiene *b*=-9,105V, teniéndose la expresión final determinada por (4).

$$V_0 = 33,33 k(I_t) - 9,105V \quad (4)$$

Las ecuaciones (2) y (4) se implementan a través de un amplificador sumador inversor con una ganancia de 33,33k, una de las ramas se implementa junto con el sensor AD590 y un arreglo de resistores en serie para que se pueda ajustar la corriente que pasa por esa red respecto de la temperatura que se esté sensando. El cálculo de la segunda rama del sumador se realiza para obtener el nivel de Offset que se indica en la figura 6 y considerando voltajes de energización de ±5V. En la figura 7 se muestra el circuito final del CAS que fue implementado a la entrada del PiC para el despliegue visual de temperatura.

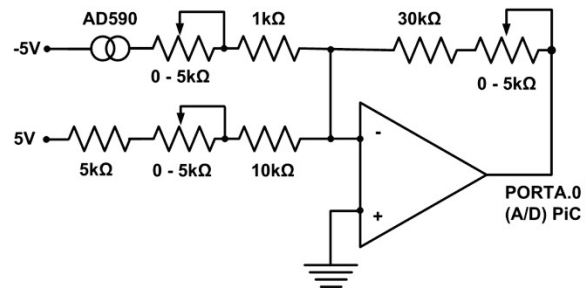


Figura 7 Circuito final del acondicionador de señal (CAS)

Interfaz usuario-máquina

Con el diseño del CAS terminado, la siguiente etapa a realizar es la programación de la interfaz usuario-máquina en el PiC. El algoritmo de programación permitirá mostrar en una LCD la conversión de temperatura sensada que entrega la etapa CAS. Para lograr lo anterior se utilizará un micro controlador PiC 16F877A que incorpora un convertidor analógico/digital con resolución de 1.024 pasos.

De acuerdo con la figura 5, el rango de voltaje en el cual se encuentra trabajando el sensor va desde los 0 hasta los 5 volts, que corresponden a 0°C y 150°C, respectivamente, donde a un incremento de 4,88mV le corresponde un incremento de 0,146°C para una resolución de 1.024 pasos que trabajará el PiC.

En la figura 8 se muestra el diagrama de flujo utilizado para implementar la lógica de programación de la conversión A/D y el funcionamiento del LCD.

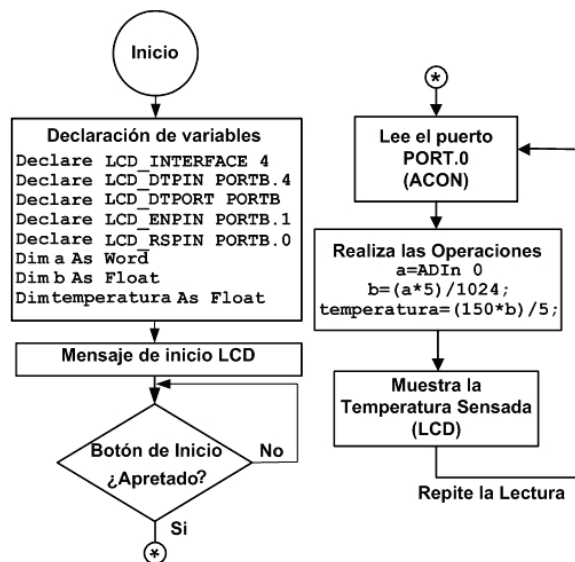


Figura 8 Diagrama de flujo de la lógica de programación

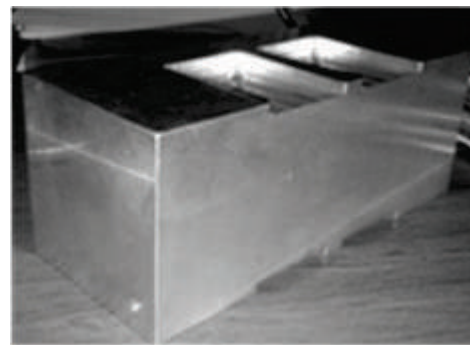
Para optimizar el uso del micro controlador se realiza una conexión a cuatro bits y se configura para que sea utilizado el Puerto B como de salida. Se inicia la configuración del LCD, se realiza la configuración del convertidor A/D en el puerto PORTA.0 como entrada para que lograr la resolución de 1024 deseada.

Una vez inicializada la configuración del PiC, se despliega el mensaje de bienvenida al usuario. En esta parte del programa se implementa la subrutina para eliminación del rebote de las teclas, cuando el botón de inicio es oprimido por el usuario comienza el proceso de conversión del voltaje sentido desde el puerto PORTA.0 (A/D). El valor de voltaje sentido se guarda como una palabra de 32 bits en el registro “A” para que en el registro “B” se realice la operación para obtener el voltaje “TOTAL” leído en el A/D a través de la variable “temperatura”. Finalmente y por medio de la función “Print At” se muestra la variable temperatura en el Display de LCD. Esta

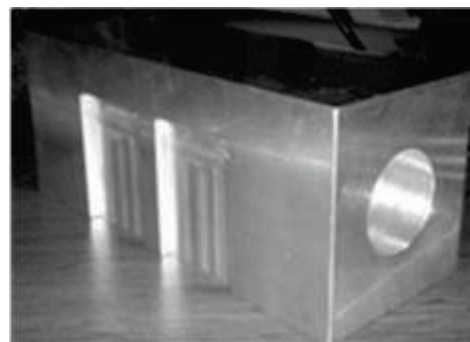
conversión se realiza cada segundo dentro de un bucle infinito.

Sistema térmico-eléctrico basado en módulos Peltier

El baño de bloque seco portátil se diseñó para ser compacto, ligero, de bajo costo capaz de proporcionar un entorno isotérmico para realizar mediciones de temperatura por comparación (una referencia externa y la sonda bajo prueba). Este subsistema consta de un bloque metálico de aluminio especialmente troquelado para que aloje a los módulos Peltier y un inserto, también metálico, para colocar uno o varios sensores de temperatura que se encontrarán bajo prueba. En la figura 9 se muestra el bloque seco troquelado en aluminio.



a) Vista Inferior Izquierda del bloque seco



b) Vista Lateral Derecho del bloque seco

Figura 9 Bloque seco troquelado en Aluminio

En la figura 10 se muestra el montaje de las celdas Peltier, el sensor de temperatura y los disipadores de calor.

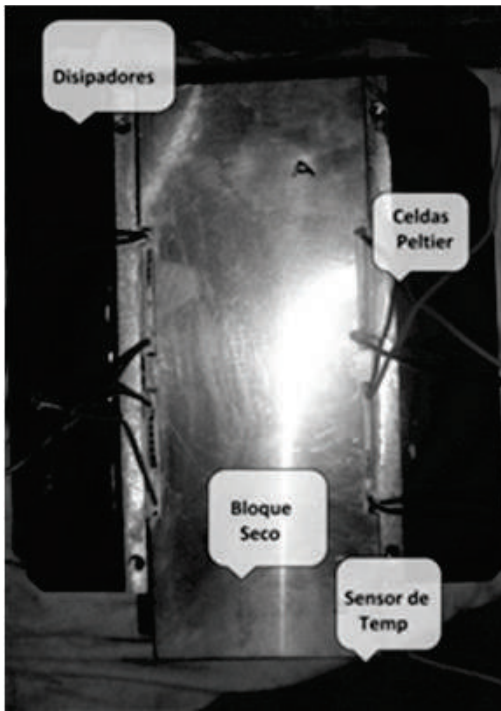


Figura 10 Bloque seco con celdas Peltier y sensor de temperatura

Controlador discreto

Para el diseño del controlador digital tipo se toman como referencia los resultados a lazo abierto del sistema termoeléctrico, lo que permite calcular los parámetros y constantes del controlador PID inicialmente mediante la técnica de sintonización Ziegler–Nicholsy después con la técnica del Lugar Geométrico de las Raíces.

En la figura 11, se muestra el diagrama simplificado del sistema de control de temperatura a diseñar. El sistema está constituido por el controlador PID, una etapa de potencia (*Driver*), la planta del sistema térmico y un sensor de temperatura analógico. El principio de funcionamiento es el siguiente: por medio de la interfaz usuario-maquina se obtiene la señal de entrada al controlador (*SetPoint*), mientras que el sensor

AD590 realiza el sensado de la temperatura del bloque seco, el controlador digital implementado en el PIC16F877A procesa esta información y genera una señal de error, a la salida del controlador se obtiene la señal de control que es enviada a la etapa de potencia (*Driver*) a través de un esquema PWM, para que sean energizados los módulos Peltier y así alcanzar la temperatura deseada por el usuario.

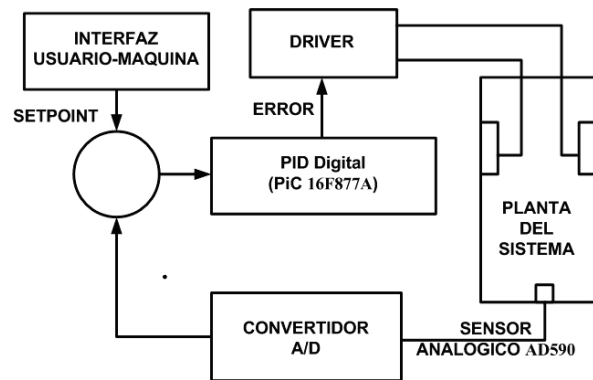


Figura 11 Descripción general del sistema de control de temperatura

El diseño del controlador se basa en la función de transferencia de un controlador PID, que está determinada por la expresión general indicada en (5).

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (5)$$

Para su implementación en el PiC, la función de transferencia se aproxima en el dominio discreto mediante la expresión (6)

$$G_c(z) = a + \frac{b}{(1-z^{-1})} + c(1-z^{-1}) \quad (6)$$

Dónde: $a=K_p$, $b = \frac{K_p T}{T_i}$ y $c = \frac{K_p T_d}{T}$

Para la realización práctica del controlador PID se utilizó el esquema tipo paralelo, el cual se muestra en la figura 12.

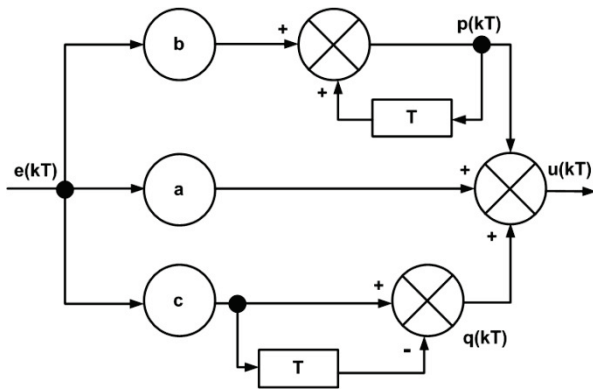


Figura 12 Diseño paralelo del controlador PID

Para la obtención del modelo matemático, se analiza la respuesta de la planta ante una entrada escalón a lazo abierto, la medición de temperatura se realizó por medio de un termómetro *Kimo Instruments* KT-200. En la figura 13, se muestra la gráfica de medición de temperatura a una entrada escalón. El sistema parte con una temperatura inicial de 26°C y un valor final de 55°C.

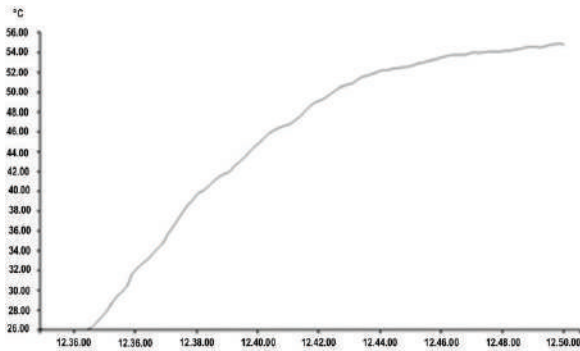


Figura 13 Respuesta de la planta ante una entrada escalón.

Si no se considera el retardo inicial, la señal puede modelarse por un sistema de primer orden, mostrado en la expresión (7).

$$G_p(s) = \frac{b}{s+a} = \frac{k}{\gamma s+1} \quad (7)$$

Dónde: $\gamma = 1/a$ es la constante de tiempo del sistema (tiempo en el que la respuesta alcanza el 63% de su valor final) y $k = b/a$ valor final al que llega la respuesta del sistema. En la figura

14 se muestra el comportamiento del sistema a la entrada escalón sin retardo. Se puede observar un valor de temperatura final (t_f) igual a 54,89°C, el cálculo del 63% del valor de t_f corresponde a 44,09°C a un tiempo de 5,20 minutos ($\gamma=320s$). Obteniéndose un valor de $a=0,003125$ y $b=0,171531$.

Sustituyendo los valores de a y b en (7), y considerando un retardo de 78s se obtiene el modelo matemático de la planta del sistema (G_p), expresión (8).

$$G_p(s) = 0,171531 \frac{e^{-78s}}{320s+1} \quad (8)$$

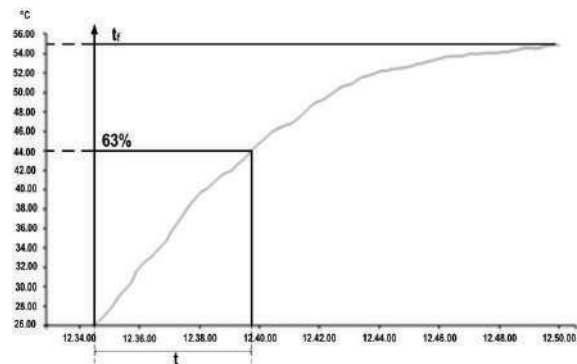


Figura 14 Respuesta del sistema ante una entrada escalón sin retardo

En la figura 15 se muestra el diagrama a bloques del modelo matemático de la planta implementado en Matlab-Simulink. En la figura 16 se muestra la comparación entre los datos experimentales y de simulación, donde se observa una adecuada aproximación del modelo matemático desarrollado y que servirá para la implementación del controlador PID.

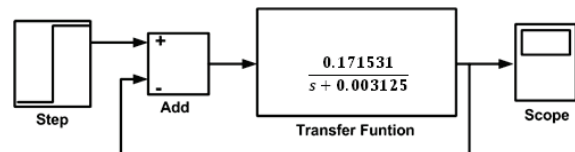


Figura 15 Diagrama a bloques del sistema a lazo cerrado

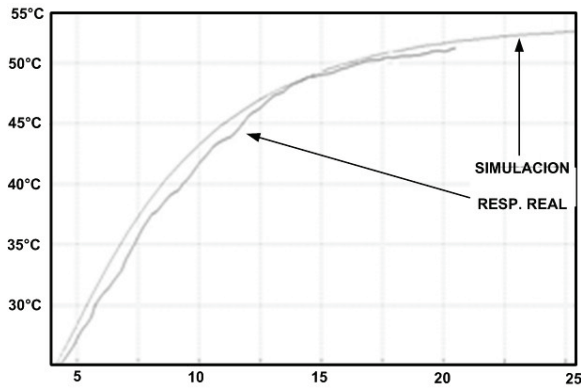


Figura 16 Validación del modelo matemático con datos experimentales

Para el diseño del controlador se utiliza el Lugar Geométrico de las Raíces (*LGR*) en su forma digital, para su implementación en el PiC, se desarrolla la transformada “z” de (8), obteniéndose el resultado indicado en (9).

$$G_{pd}(z) = \frac{6,298}{(z-0,8853)(z^2)} \quad (9)$$

El lugar geométrico de las raíces de (9) indica dos polos en el origen y la ubicación de un tercer polo en $z=0,8853$.

Para el diseño del controlador y garantizar una rápida respuesta del sistema, se debe de lograr que el punto de ruptura de los polos indicados en (9) estén lo más cerca del origen, para el diseño se propone la estructura de un controlador PID que se muestra en (10).

$$G_{c3}(z) = \frac{k(z+\alpha)(z+\beta)}{z(z-1)} \quad (10)$$

Donde el primer cero del controlador (α) se ubica en $z=0,8853$, para eliminar el polo de (9); se propone la ubicación del segundo cero del controlador (β) a un valor de $z=0,3$ obteniéndose la expresión (11).

$$G_{c3}(z) = \frac{(z-0,8853)(z-0,3)}{z(z-1)} \quad (11)$$

Al realizar la gráfica del LGR del controlador $G_{c3}(z)$ en cascada con $G_{pd}(z)$ (Figura 17) se

observa que existen tres trayectorias que tienden al infinito, dos de ellas son atraídas ligeramente por el cero ubicado en $z=0,3$, mientras que la trayectoria restante trasciende desde el origen del plano z sobre el eje real hasta menos infinito. En la figura 17 por medio del DATA CURSOR, se proponen tres valores diferentes de ganancia: $k_1=0,03$, $k_2=0,05$ y $k_3=0,06$.

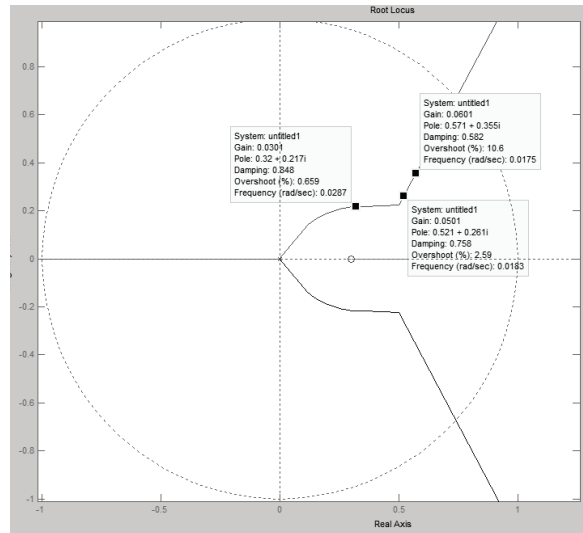


Figura 17 Ubicación de los polos por medio de la variación de ganancia k

En las figuras 18, 19 y 20, se muestran las diferentes respuestas del sistema a diferentes valores de ganancia, $k_1=0,03$, $k_2=0,05$ y $k_3=0,06$.

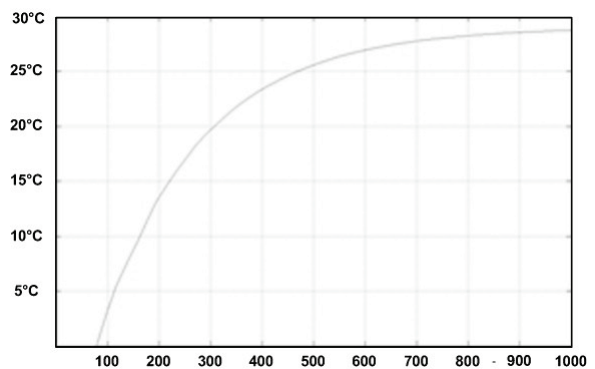


Figura 18 Respuesta del controlador PID con $k_1=0,03$

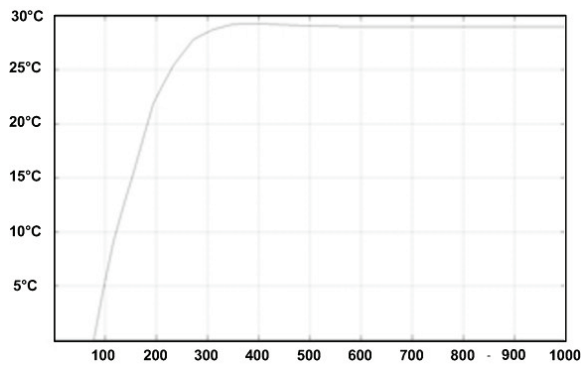


Figura 19 Respuesta del controlador PID con $k_2=0,05$

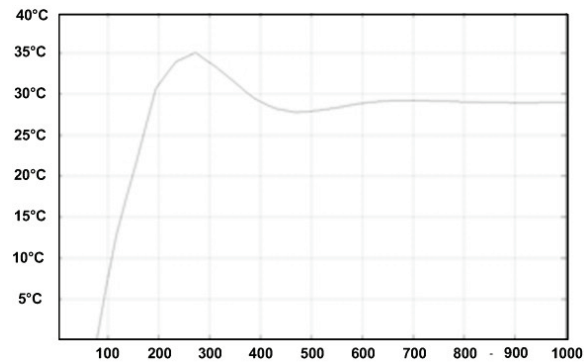


Figura 20 Respuesta del controlador PID con $k_3=0,06$

De las respuestas analizadas se concluye que el sistema presenta un estado estable para una ganancia $k_2=0,5$, por lo que la función de transferencia final del controlador PID se expresa por medio de (12).

$$G_{c3}(z) = 0.05 \frac{(z-0.8853)(z-0.3)}{z(z-1)} = 0.32707 + \frac{0.004014}{(1-z^{-1})} + 0.013279(1-z^{-1}) \quad (12)$$

Para la implementación del algoritmo en el PiC, se utilizó una interrupción general para

realizar el muestreo de la señal de salida $y(kT)$, y por medio de operaciones básicas se realiza el cálculo del PID digital de acuerdo a (12). Para una correcta operación del sistema el periodo de muestreo, T de la ecuación (6), debe ser mayor que el tiempo de establecimiento del sistema en lazo abierto, por lo cual se propuso un periodo de muestreo $T=38$ s, lo que garantiza un correcto control de temperatura por parte de la fuente de energización. En la figura 21 se muestra el diagrama de flujo del proceso de cálculo implementado en el PiC.

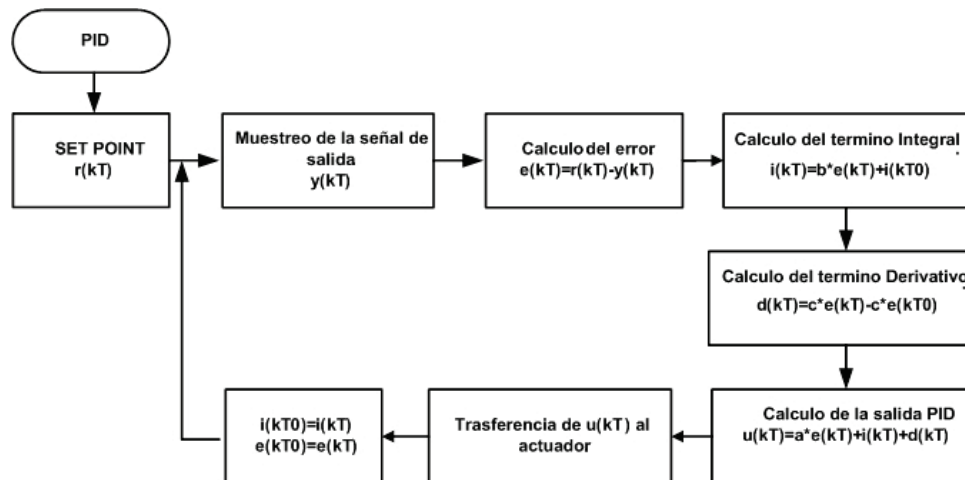


Figura 21 Implementación del algoritmo PID discreto

Finalmente en la figura 22 se muestra el prototipo final que se diseñó e implementó de acuerdo con la investigación reportada.

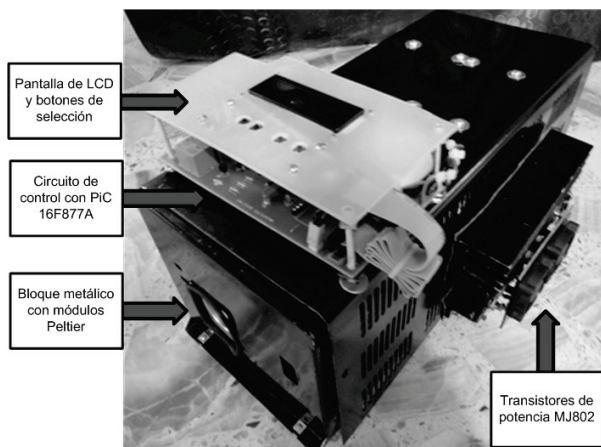


Figura 22 Prototipo experimental de baño de bloque seco basado en celdas Peltier

En la figura 23, se muestra la medición de voltaje de la fuente de energía de alta corriente a plena carga.



Figura 23 Medición de voltaje y corriente a plena carga, 2.2Ω

En la figura 24, se muestra el funcionamiento del display y del sistema de control implementado en el prototipo.



Figura 24 Funcionamiento de display y del sistema de control

Conclusiones

Se diseñó e implementó con éxito la electrónica necesaria para regular el suministro de voltaje al bloque seco conformado por dos módulos Peltier, así como el circuito controlador de potencia que permite variar la cantidad de voltaje según el programa del controlador, por medio de una señal de PWM a la entrada de alimentación del bloque seco.

Se logró implementar satisfactoriamente la etapa de sensado de temperatura, conformando por un sensor con salida en corriente (AD590) y por medio de un circuito CAS, que permite la lectura de la temperatura generada por el bloque seco.

Se realizó el análisis de un esquema de control, a partir del método propuesto por *Ziegler-Nichols* y aplicando el *LGR*, tal que la respuesta del sistema sea la mejor.

Debido a los resultados obtenidos, el método del *LGR* es el mejor, inicialmente se propuso un controlador digital *PI* y observando las características del sistema se propone un controlador digital *PID* mejorando los resultados analíticos a partir de la primera propuesta. Finalmente se cumplió los objetivos planteados al inicio de la investigación y con un control de temperatura estable.

Referencias

1. D. Diez. *Diseño de un controlador de temperatura basado en el dispositivo Peltier para cámara ambiental en la prueba del satélite PUCPSAT-1*. Tesis. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú. 2011. pp. 26.
2. L. López. *Climatización mediante ventanas termoactivas basadas en células Peltier*. Tesis. Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España. 2010. pp. 21-25.
3. M. Brown. *Power Supply Cookbook*. 2nd ed. Ed. Newnes. USA. 2001. pp. 11-18.
4. ANALOG. *AD590: 2-Terminal IC Temperature Transducer*. Available on: <http://www.analog.com/en/mems-sensors/digital-temperature-sensors/ad590/products/product.html> Accessed: December 1, 2012.
5. R. Gaviño. *Introducción a los sistemas de control. Conceptos, aplicaciones y simulación con Matlab*. 1st ed. Ed. Prentice Hall. México D.F., México. 2010. pp. 244-298.
6. Despradel, Peña (2008). *Atlantic International University, Microcontroladores: arquitectura, programación y aplicación*. Available: <http://www.aiu.edu/applications/DocumentLibraryManager/upload/Despradel%20Novas%20Pe%C3%B1a.pdf> Accessed: December 1, 2012.
7. D. Ibrahim. *Microcontroller Based Temperature Monitoring and Control*. 1st ed. Ed. Elsevier Science & Technology. UK. 2002. pp. 87-105.