

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CONTROLADOR DE TEMPERATURA PARA INCUBADORA.

A.R. San Vicente J.A. Acosta
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
Campus Estado de México

Km 3.5 Carretera Lago de Guadalupe. Atizapán, Edo. de Méx. 52926

asanvice@campus.cem.itesm.mx

RESUMEN

En el siguiente trabajo se presenta el diseño electrónico de un controlador de temperatura digital, para el control de incubadoras de infantes, el rango de control es de 20 a 45.5 °C y la resolución de 0.1°C, se presentan también el algoritmo de control y los resultados obtenidos.

Se utiliza un microcontrolador MC68HC11A1 [1] como procesador, el algoritmo utiliza una combinación de acciones de control que actúan de acuerdo a la "lejanía" que hay entre la temperatura en la incubadora y la temperatura deseada, las acciones de control utilizadas son Todo/Nada (T/N), Proporcional (P) y Proporcional Integral (PI).

Palabras clave: Control temperatura incubadora MC68HC11 proporcional-integral.

1. INTRODUCCIÓN

El controlador fue solicitado por Instituto Mexicano del Seguro Social, Hospital Gineco-Obstetricia del Centro Medico La Raza. Para un programa de rehabilitación de equipos médicos.

Hemos diseñado, construido y puesto en operación un controlador digital de temperatura que sustituye y mejora al controlador analógico de una incubadora para infante marca: Isollette, Mod: C86.

El principal impacto del diseño en la atención hospitalaria pediátrica radica en la sustitución de tecnología extranjera obsoleta por tecnología de punta desarrollada en México y a un precio muy competitivo. Este modelo de incubadora es el que se tiene en casi todos los hospitales del Instituto Mexicano del Seguro Social que cuentan con el servicio de pediatría La rehabilitación de estas incubadoras tiene un precio competitivo al compararlo con el costo de adquirir equipo nuevo. Además de que el servicio que presta el equipo rehabilitado es muy eficiente tal como se ha demostrado en todos los años que lleva operando con un mínimo de mantenimiento.

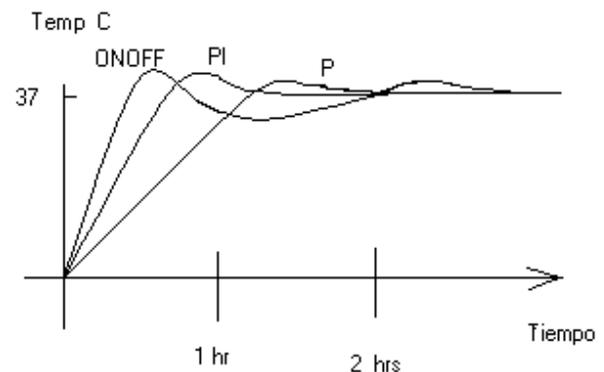
El modelo C86 se desarrolló en la década de los setentas y está basado en tecnología de elementos discretos. Utiliza una resistencia calefactora de 200 W para calentar el aire que se inyecta a la cámara del infante. El control de temperatura se realiza por medio de un termistor como elemento primario, un rectificador controlado de silicio como elemento final de control y un circuito amplificador a base de transistores que

hace las funciones del control proporcional. Debido a que el diseño de esta incubadora ha resultado muy eficiente y duradero, su uso se ha extendido ampliamente en México y todavía en estas fechas se les da mantenimiento preventivo y correctivo. Una desventaja de este modelo es que sus refacciones se han encarecido demasiado debido a que algunas partes ya no se fabrican en grandes cantidades, como ejemplo podemos citar el galvanómetro indicador de voltaje a la resistencia. De aquí la necesidad de modificar el diseño para actualizarlo.

2. METODOLOGÍA

El intervalo de la temperatura a controlar fluctúa normalmente entre 36 y 38 °C siendo 37°C la temperatura a la que se ajustan la mayoría de las incubadoras de infantes. De acuerdo a datos experimentales se encontró que en un control puramente Todo-Nada (T/N) al cortar la temperatura exactamente a los 37°C con una temperatura ambiente de 20°C la incubadora (sistema) presentaba un sobre tiro de aproximadamente 1°C, con este algoritmo de control T/N el sistema se mantenía oscilando entre más o menos 1°C es decir entre 36 y 38 °C en los primeros periodos, figura 1.

Fig. 1. Las gráficas se obtuvieron de manera experimental tabulando la temperatura en función del tiempo.



Aprovechando la experiencia anterior, se utilizó posteriormente un algoritmo proporcional con una banda proporcional de 2°C, se encontró que moviendo la ordenada al origen de la banda proporcional, una resistencia eléctrica de calentamiento típica mantiene la temperatura con un 45% de la energía a una temperatura

ambiente de 20°C, por lo tanto, se decidió utilizar una banda proporcional centrada en la temperatura de control, figura 2.

Analizando la recta:

La energía aplicada al calefactor (E) esta dada por

$$E = mT + b$$

en donde m es la constante proporcional (Kp) y esta dada por

$$m = 100\% \text{ de } E / (SP-n - SP+n),$$

SP es la temperatura de control,

(SP-n - SP+n) es el ancho de la banda proporcional,

T es la temperatura de error y esta dada por,

$$T = T_{\text{medida}} - SP,$$

b es la energía cuando el error es cero,

En términos del control proporcional,

$$E = K_p \text{ error} + b$$

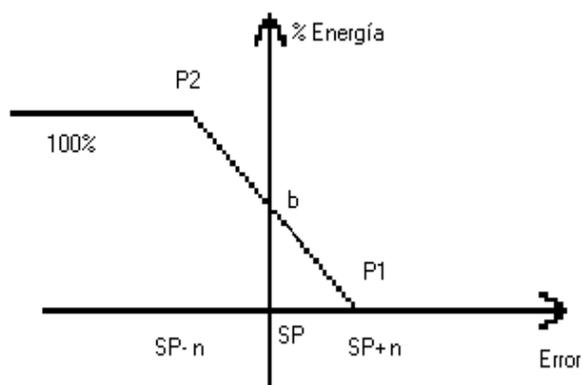
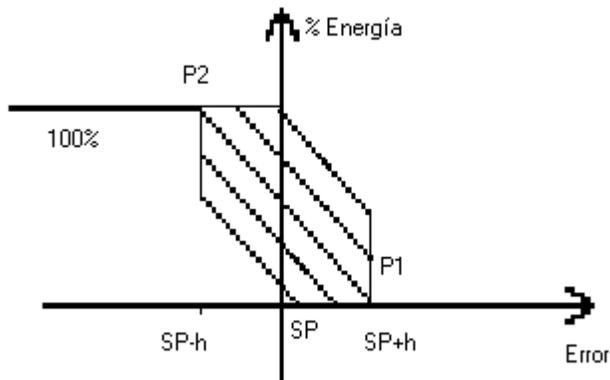


Fig. 2. Banda proporcional

Al experimentar con dicho controlador se obtuvo una respuesta de temperatura que llega rápidamente a la temperatura de control, genera un sobre tiro menor de 1°C y se mantiene en la temperatura de control (37°C) con un a temperatura ambiente de 22°C y generándose un error en estado permanente dependiendo de la temperatura ambiente, figura 1.

Al introducir la parte integral al control, se obtuvo la eliminación del error en estado permanente. La parte

integral se introduce afectando directamente a la ordenada al origen de la recta del control proporcional, moviendo de esta forma la recta sin cambiar la pendiente (Kp). Al ir cambiando la temperatura ambiente con el día y la noche, el control mantuvo un error de mas menos 0.4°C, para temperaturas de control de 35 a 39 °C la respuesta a perturbaciones de tipo escalón generadas al abrir algún acceso para manipular al bebé, también presentaron una respuesta en tiempo aceptable de acuerdo a los requerimientos del hospital. En la figura 3 se muestra el



conjunto de acciones de control generadas a partir de la experiencia obtenida con la incubadora .

Fría	Normal	Caliente
------	--------	----------

Fig. 3. Forma gráfica del algoritmo de control

3. RESULTADOS

El elemento calefactor de la incubadora es una resistencia eléctrica. La cantidad de calor que ésta genera depende de la energía que se le proporciona en forma de voltaje eléctrico, la cantidad de energía proporcionada a la resistencia se controla con un triac. Se detecta el cruce por cero de la línea de alimentación para sincronizar el disparo a la señal de voltaje de 110 volts a 60 Hz, tal como se muestra en la figura 4. Como se utilizan interrupciones por flancos de bajada, después de que se detecta la interrupción se genera un retardo de tal manera que el rango de control en términos temporales y no en términos de ángulos de disparo es de 6.4 ms. En este caso es preferible tener referido el disparo en función del tiempo ya que se utiliza un temporizador interno del microcontrolador para generar los disparos un instante de tiempo después del cruce por cero.

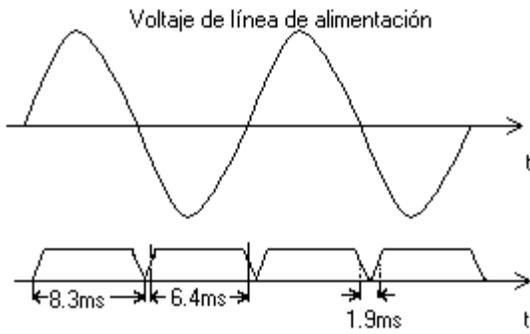


Fig. 4. Cuadratura de la señal de voltaje

Como la interrupción llega antes del cruce por cero la señal de disparo se apaga justamente cuando se interrumpe el microcontrolador, lográndose de esta manera que se apague el triac[2] oportunamente, figura 5

En términos de cuentas del temporizador interno del microcontrolador 6.4ms equivalen a 3200h (Cuentas en hexadecimal) y el resto del periodo 1.9ms a 60h (cuentas en hexadecimal), la resolución del convertidor análogo digital (ADC) del microcontrolador es de 8 bits y el acondicionador del sensor entrega un dígito binario por cada décima de grado centígrado, de tal manera que, el rango de control es de 20.0 a 45.5 °C considerando los 255 pasos del ADC.

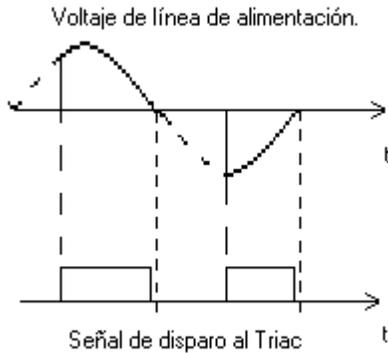


Figura 5. Modulación de la energía

En términos del contador y del ADC del microcontrolador la ecuación de control en el intervalo de temperatura normal queda:

$$100\% \text{ de } E = 3200 \text{ cuentas}$$

$$n = 1^\circ\text{C} = 10 \text{ décimas de grado} = Ah \text{ (hexadecimal)}$$

$$(3200 - 0)/(SP-A - SP+A)$$

$$Kp = - 3200/14 \text{ h} = 280h$$

$$b = 1900h$$

Finalmente la parte proporcional en hexadecimal queda :

$$Ep = -280\text{error} + 1900$$

Agregando la parte integral:

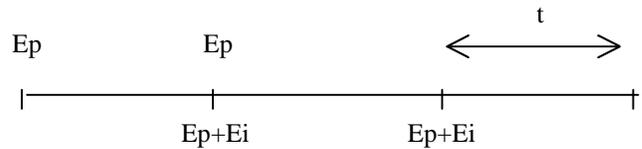
$$Ei = Ki \text{ error}$$

por lo tanto

$$E = Ep + Ei = -280 \text{ error}$$

Es importante indicar que el período de integración del sistema es de 5 minutos y que la Ki es de Fh (15 en decimal) y se obtuvieron de manera experimental.

De esta manera una vez que la temperatura del proceso se encuentra en el rango de mas menos un grado de la temperatura de control se aplica el siguiente algoritmo.



t = 5 minutos

4. CONCLUSIONES

Desde 1995 se han venido rehabilitando incubadoras de acuerdo a las necesidades del Hospital, el armazón de las incubadoras se han aprovechado requiriéndose únicamente una inversión de \$1,000 Dólares, que en mucho no se compara con el costo de \$10,000 Dólares de una incubadora nueva.

Los accidentes por sobrecalentamiento o enfriamiento de los infantes se han eliminado ya que una vez que la enfermera selecciona por medio de un teclado la temperatura de control el cual se almacena de manera permanente en una memoria no volátil (EEPROM), el controlador no requiere de ningún ajuste.

Las alarmas de alta y baja temperatura alertan a las enfermeras sobre todo cuando por olvido dejan abierto el capacete y la temperatura baja.

Ninguna de las tarjetas han requerido mantenimientos correctivo desde que se instalaron.

REFERENCIAS

- [1] Motorola, "HC11 Reference Manual", Motorola INC , 1991.
- [2] T. J. Maloney, "Electrónica Industrial", Prentice Hall., primer edición en español, pp.191-226, 1983.

DESIGN AND DEVELOPMENT OF TEMPERATURE CONTROLLER FOR INCUBATOR.

ABSTRACT

This work shows the electronic design of a digital temperature controller for the control of infants incubators. The control range is from 20 to 45.5 °C with resolution of 0.1°C. It shows the control algorithm and the obtained results. A microcontroller, MC68HC11A1, is used as signal processor. The algorithm uses a combination of control actions according to the “distance” that there is among the temperature in the incubator and the wanted temperature. The used control actions are All/Nothing (T/N), Proportional (P) and Proportional Integral (PI).