

Automatización de un Horno Eléctrico de Esterilización Médica

Enrique Montes Aliaga*, Guillermo Tejada Muñoz**

Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima Perú

Resumen— El presente artículo describe la modernización de un horno de esterilización de instrumentos médicos conocido como *pupineles*, que se sigue utilizando en postas médicas y pequeñas clínicas privadas de nuestro país. La modernización consistió en agregar un control electrónico basado en un microcontrolador que ejecutó un programa de control en lógica difusa; se demostró la eficiencia del programa de control mediante resultados obtenidos directamente de la implementación.

Abstract— This paper describes the modernization of an oven sterilization of medical instruments known as *pupineles* which is still used in medical aid posts and small private clinics in our country. The modernization was made possible through an electronic control based on a microcontroller which executed a programme of fuzzy logic control. It showed the efficiency of control program with the results that got from the implementation.

Palabras clave— Automatización, horno, esterilización médica, lógica difusa, Microcontrolador.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, aun se siguen utilizando en postas médicas, consultorios personales y pequeñas clínicas privadas de nuestro país, hornos de esterilización de calor seco más conocidos como *pupineles*, los cuales son programados manualmente por el usuario; poseen una tecnología tradicional que no provee al usuario de muchas facilidades de funcionamiento y no hace un uso eficiente del consumo de energía. Por este motivo, en el presente artículo, se describe la modernización de un horno de esterilización de instrumentos médicos, al cual se le agregó un control electrónico robusto basado en un

microcontrolador que ejecuta un programa de control de lógica difusa. El circuito es capaz de brindar todas las facilidades de funcionamiento al usuario, así como optimizar el consumo de energía.

El usuario ingresó mediante un teclado la temperatura y tiempo de esterilización y el programa de control, automáticamente, se encargó de controlar el proceso según las órdenes ingresadas. Se dispuso de un visualizador para informar al usuario del estado corriente de la temperatura y del tiempo transcurrido, así como de una señal de alarma que marcó el fin del proceso.

El estudio se desarrolló en tres etapas. En la primera, se implementó el hardware y el software necesario, a fin de adquirir los datos ingresados mediante el teclado, así como el valor real de la temperatura del horno. En la segunda, se implementó un programa de control de lógica difusa en un microcontrolador. En la tercera, se implementó la etapa de potencia basada en un Triac, que actuó regulando el voltaje de alimentación entregado a la resistencia eléctrica del horno en concordancia con la variable de fase entregada por el microcontrolador.

El empleo de lógica difusa, no necesita modelos matemáticos del proceso que será controlado, debido a que los algoritmos con esta lógica, se basan en simples reglas de decisión, las cuales han sido extraídas del conocimiento del manejo manual del proceso. Por este motivo, no se ha necesitado modelar matemáticamente nuestro sistema. Muchas investigaciones ya han reportado que la lógica difusa es tan eficiente como el control PID –y superior aun, ya que no está supeditada a modelos matemáticos que para algunos sistemas son muy difíciles de obtener.

* Enrique Montes Aliaga, e-mail: montes.e@hotmail.com.

**Guillermo Tejada. Muñoz, e-mail: gtejadam@unmsm.edu.pe

II. METODOLOGÍA Y MATERIALES

A. Diagrama de Bloques del Sistema

La Figura 1 muestra el diagrama de bloques que describe el sistema utilizado. El usuario ingresó el valor de temperatura deseada (T) o *set point* y el tiempo de esterilizado mediante un teclado matricial de 4x4, los valores se observaron en un Display LCD. El tiempo puede ser programado desde 1 minuto hasta 9 horas, mientras que la temperatura desde 25 a 300° C (el valor mínimo es especificado en una cantidad por encima de la temperatura ambiente). El tiempo de esterilizado no es una variable para el programa Fuzzy; es procesado por otro bloque de programa para establecer el fin del proceso.

Por otro lado, un sensor de temperatura, constituido por una Termocupla tipo K, se utilizó para sensar la temperatura del horno. La tensión entregada por la Termocupla, del orden de las decenas de microvoltios, se amplificó y se compensó. La tensión amplificada ingresó al pin correspondiente del Conversor Analógico Digital del microcontrolador 18F4550 de Microchip (PIC), el cual posee una resolución de 10 bits con un rango de entrada que va desde 0 a 5 Voltios.

B. Secuencia del Programa

En la Figura 2, se puede observar la secuencia lógica del programa; después de la inicialización y configuración de los periféricos, el programa se sitúa en lo que constituye la Rutina Principal, desde donde es interrumpido cada segundo.

La interrupción es posible, ya que de los tres Timer que posee el Microcontrolador, uno de ellos fue programado para interrumpir al Programa Principal cada segundo; la Rutina de Interrupción del Timer es el programa Fuzzy, que se describe, brevemente, más adelante. El resultado de la Rutina de Interrupción, es el valor F, que contiene la fase, o mejor dicho, que contiene un número proporcional al tiempo que se desea retardar el disparo para la conducción del TRIAC.

Observar que en la Rutina de Interrupción existe un bloque de “Envío de Datos por el Puerto Serie”, en realidad, este bloque se ha agregado para registrar, cada segundo, el estado actual de la Temperatura; y, de esta manera, obtener nuestros gráficos estadísticos con la ayuda de MATLAB, el dato del puerto es capturado por un programa escrito en Visual Basic.

Finalmente, cuando la secuencia del programa retorna a la Rutina Principal, con el valor de F, previamente calculado por el Programa Fuzzy, el módulo periférico CCP1 (Capture/Compare/PWM), detecta el pulso de sincronismo del voltaje de línea, luego del cual se genera por software un pulso de 75 us (que activa la conducción del Triac), retardado un tiempo variable especificado por el valor de F. El pulso generado se envía al circuito de potencia mediante un pin de salida del microcontrolador.

C. Programa Fuzzy

El programa de control Fuzzy es ejecutado por el PIC; la temperatura deseada °T o *set point*, y la generada en el horno T(x) fueron comparadas con la finalidad de generar un error (e), también se tomó derivada del error (de/t) que se calculó como la diferencia de dos errores en una unidad de tiempo. El error (e) que es positivo o negativo indicó al programa que la temperatura en el horno estuvo por encima o por debajo del *set point*; mientras que la derivada del error de/t, que es positiva o negativa, indicó la rapidez con que la temperatura se acercó o se alejó con respecto al *set point*. Con estos datos, el programa generó la orden de incrementar o decrementar la temperatura del horno variando la Fase (F) del disparo del TRIAC.

Como se observa en la Figura 3, el programa Fuzzy consta de tres etapas. La primera es la *Fuzzyfication*, en donde se comparó las variables de entradas (e y de/t) con las Funciones de Pertenencia de Entrada, ver Figura 4, a fin de generar las expresiones lingüísticas con su grado de verdad (Entradas Fuzzy). La segunda, correspondió a las Reglas de Evaluación, ver Figura 5, en donde fue empleado el método Min-Max para evaluar las reglas. En la etapa de *Defuzzification* con la ayuda de la Función de Pertenencia de Salida, ver Figura 6, y las salidas Fuzzy se generó la fase de disparo (F) del TRIAC, el método empleado fue el de *Singleton*.

El programa Fuzzy fue escrito en lenguaje C (C18 para microcontroladores PIC de gama alta), las reglas y las funciones de pertenencia se implementaron en una librería “fuzzy.h”, desde la cual se llamaba a una función que hacía todo el cálculo difuso en base a las dos variables de entrada (error y diferencia de error) y arrojaba el valor de la fase (F) correspondiente para el disparo del Triac.

Las pruebas de funcionamiento se realizaron en las instalaciones del instituto de investigación del a FIEE.

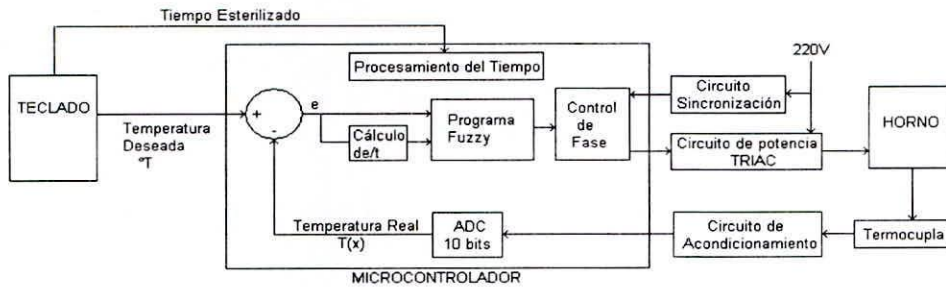


Figura 1. Diagrama de Bloques.

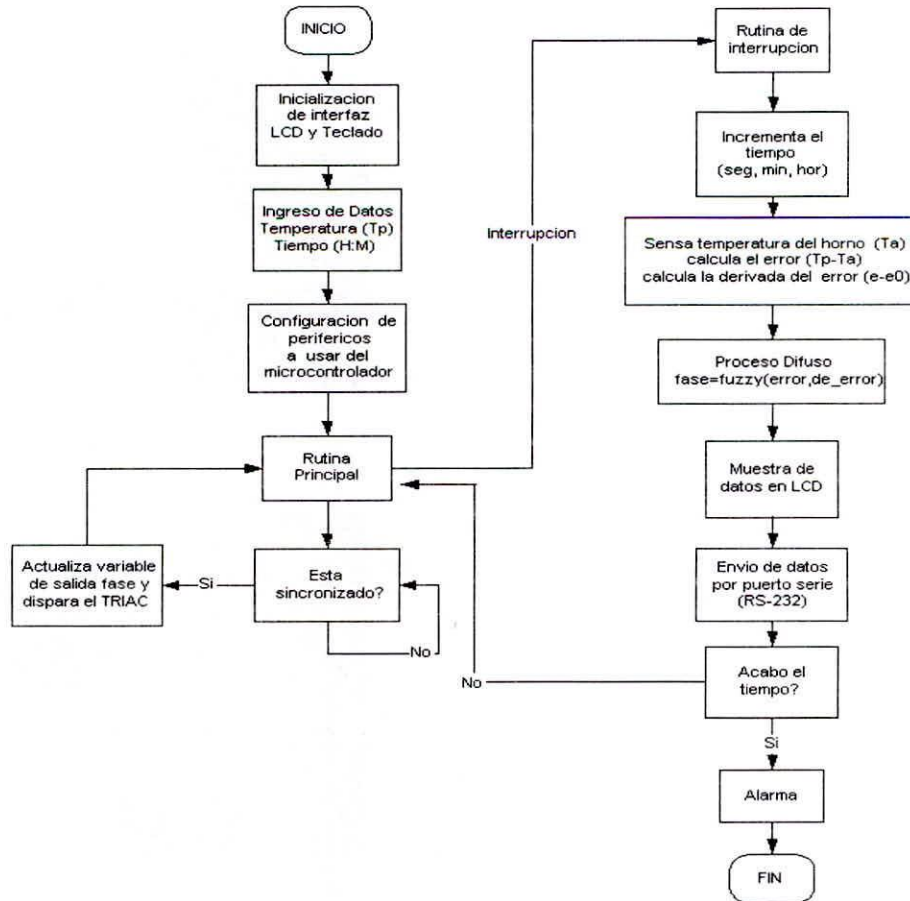


Figura 2. Secuencia del Programa.

D. Dispositivos Empleados

El microcontrolador empleado fue el PIC 18f4550; se montó en la tarjeta de entrenamiento para microcontroladores de Hi-Fi Kits; en ella se hace uso de la interfaz para el puerto serial RS-232 y se conectan en ella el LCD y el teclado, así como los demás circuitos mencionados en el Diagrama de Bloques.

Como instrumento patrón, es decir para comprobar que las lecturas de la temperatura de nuestro circuito eran las correctas, se montó, en paralelo, un instrumento de medición de temperatura de gran precisión; se empleó para este fin, un multímetro con capacidad de medir

temperatura desde -50 hasta 1000 °C con una tolerancia de $\pm(0.3\%rgd. + 2 \text{ dígitos})$, el multímetro utilizó su propia termocupla de tipo K proporcionado por el fabricante.

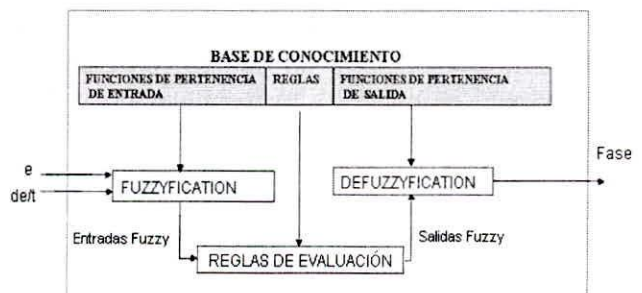


Figura 3. Etapas del programa Fuzzy.

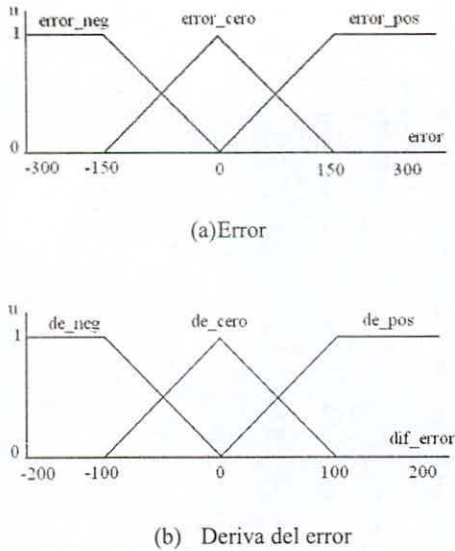


Figura 4. Funciones de Pertinencia de Entrada.

de/t e	de_neg	de_cero	de_pos
e_neg	f _{mp} R1	f _p R4	f _m R7
e_cero	f _{mp} R2	R5	f _{mg} R8
e_pos	f _{mp} R3	f _m R6	f _g R9

Figura 5. Reglas.

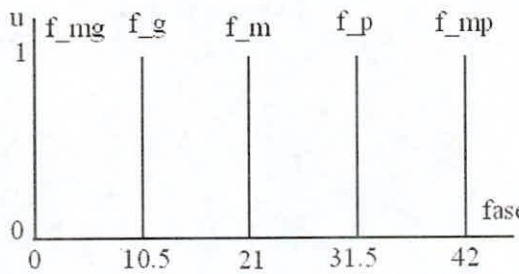


Figura 6. Función de Pertinencia de Salida.

En la Figura 7, se observa las conexiones de ambas termocupas; en la Figura 8, se observa el circuito electrónico montado; y en la Figura 9, se muestra el proceso de medición realizado con un Osciloscopio Tektronik, así como el monitor de la PC que registra el Programa en Visual Basic para la captura de los datos cada segundo del puerto serial; en la Figura 10, se puede observar una vista general de la disposición de los materiales utilizados para la realización de las pruebas.

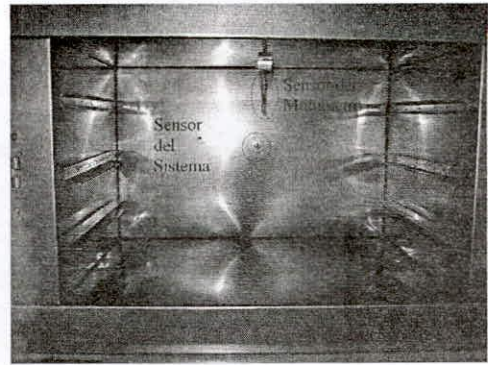


Figura 7. Vista del interior del horno.

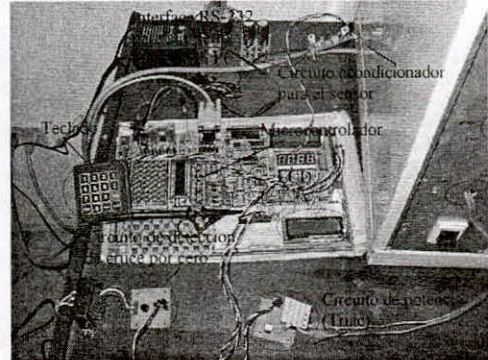


Figura 8. Circuito Electrónico de censado y control.



Figura 9. Captura de datos y medición de señales con el ORC.



Figura 10. Disposición general para las pruebas.

III. RESULTADO Y ANÁLISIS

Como se indicó líneas arriba, para poder registrar en cada segundo la variación de la temperatura, se añadió una rutina para que cada segundo se envíe la temperatura sensada a través del puerto RS-232, estos datos son registrados por un programa escrito en VB; y, con ellos, mediante MATLAB, se obtuvo la gráfica mostrada en la Figura 11.

El *Set Point* fue establecido a 300 °C, que es la temperatura de esterilización de los materiales. Sin embargo, el horno puede ser también programado con otros valores de temperatura, tal como se describió antes. Durante los tiempos de retardo (*td*) y de subida (*tr*), ver Figura 11, el programa de control dispara al tiristor con un ángulo de disparo máximo, entregando casi todo el voltaje disponible de la red. Estos tiempos tienen una dependencia con la estructura y características técnicas del horno; son directamente proporcionales a la potencia y las dimensiones del horno e inversamente proporcionales a la calidad de su aislamiento.

Se observa que el control es bastante estable sobre el *Set Point*, no se detecta sobre impulso y, por lo tanto, tampoco tiempo de establecimiento, dando resultados sumamente ideales.

Finalmente, es recomendable añadir una conexión a tierra al chasis del horno para evitar ruidos en el sensor, y así una obtención de datos con menos ruido.

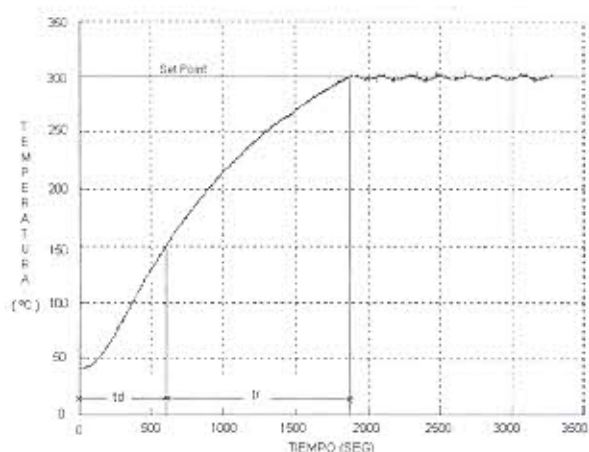


Figura 11. Control para un *set point* de 300 °C.

AGRADECIMIENTO

Se agradece, especialmente, al Vicerrectorado Académico de la UNMSM, por el financiamiento del proyecto mediante el Programa de Iniciación Científica; al Instituto de Investigación de la FIEE, por ceder sus instalaciones e instrumentos de medición; y al Laboratorio de la FIEE, por prestar los instrumentos de medición complementarios.

REFERENCIAS

- [1] IC Temperature Sensor Provides Thermocouple Cold-Junction Compensation, National, Semiconductor AN-225, Michael X. Maida.
http://www.national.com/apnotes/apnotes_all_1.html (acceso: julio de 2007).
- [2] Instrumentación Electrónica [Cap. 7]. Ignacio Moreno Velasco, Universidad de Burgos.
<http://www2.ubu.es/ingelec/tecelec/inaki/index.shtml>
- [3] Motorola Semiconductor Technical Data MOC3010.
http://www.datasheetcatalog.net/es/datasheets_pdf/M/O/C/3/MOC3010.shtml (acceso: julio de 2007).
- [4] Power Electronics, Circuits, Devices, and Applications, Muhammad H. Rashid, Prentice-Hall International Editions, New Jersey, 1993.
- [5] <http://Sauron.etsc.urv.es/public/propostes/pub/pdf/328pub.pdf> (acceso: julio de 2007).
- [6] Sistemas Borrosos y Redes Neuronales. Bonifacio Martín del Brio, Alfredo Sanz Molina. Alfaomega Grupo Editor, 2007.
- [7] Sistemas de lógica difusa - Fundamentos. Ing. Oscar G. Duarte. Universidad Nacional de Colombia.
www.atenea.unicauca.edu.co/~wpantoja/web/inteligencia-artificial/fuzzy.pdf (acceso: julio de 2007).
- [8] Transductores y medidores electrónicos. José Nomplín Poblet. Serie Mundo Electrónico. Barcelona, Editorial Marcombo, 1983.
- [9] <http://www.aistmexico.org.mx/descargar.asp?id=36> (acceso: julio de 2007).
- [10] <http://www.fdi.ucm.es/profesor/msantos/iaac/fuzzy.pdf> (acceso: julio de 2007).
- [11] <http://www.hab2001.sld.cu/arrepdf/00209.pdf> (acceso: julio de 2007).