



# SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA HORNO DE GAS

## AUTORES:

Oswaldo Arias Martínez

Aspirante a Ingeniero en Electrónica

[Oswaldo\\_Arias@latinmail.com](mailto:Oswaldo_Arias@latinmail.com)

M.C. Jacob J. Vásquez Sanjuan

Catedrático en la carrera de Ingeniería en Electrónica

[jvasquez@nuyoo.utm.mx](mailto:jvasquez@nuyoo.utm.mx)

Universidad Tecnológica de la Mixteca

Carretera Acatlima Km. 2.5, C.P. 69000

Huajuapán de León, Oax.

## RESUMEN

El sistema está basado en lo que sus autores llaman redundancia de control, una PC actúa como el control principal y cuando falla es reemplazada por un microcontrolador 80C32 de Intel. Su meta es asistir el proceso de quema a través del monitoreo en tiempo real y la generación de reportes, buscando ser una opción económica y efectiva. Este trabajo pretende resolver una necesidad específica, la del taller de cerámica de la Universidad, por ello contiene el algoritmo de quema empleado ahí. El sensaje de temperatura es hecho por un termopar tipo K cuyo circuito es sencillo gracias a un CI compensador de unión fría y el flujo de gas es manejado por una electroválvula de dos vías normalmente cerrada. Como el proceso nunca debe ser detenido antes de su finalización, el sistema cuenta con un dispositivo de respaldo de energía. Dado que el taller tiene otras necesidades relacionadas con el tema, este proyecto puede ser expandido

## ABSTRACT

The system is based on a concept called by its author as control redundancy - a PC acts as the main control and when it fails it is replaced by an Intel 80C32 microcontroller. Its aim is to aid the ceramic burning process by means of a real time monitoring and report generation in order to become an economical and effective option. This work sets out to solve a specific need of the university's ceramics workshop, and so it contains the burn algorithm employed there. The temperature sensing is done by means of a K-type thermocouple whose driver circuit is simple thanks to a cold junction compensator IC, and the gas flow is

managed by a normally-closed two-way electrovalve. Since the process must never be stopped before a successful finish, the system has an energy backup device. Because the workshop has other requirements related to this topic, this project can be expanded.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Universidad Tecnológica de la Mixteca sustenta varios talleres con propósitos académicos. Uno de ellos es el de Cerámica, ahí los alumnos de la carrera de Ingeniería en Diseño, los profesores encargados de la materia y ocasionalmente artesanos ajenos a la Universidad elaboran piezas cerámicas de distinta índole, tamaño y fin. El punto final para la elaboración de las piezas es la cocción – llamada comúnmente *quema* – a través de un horno de gas de alta temperatura. Hasta el momento el modo de operación del horno ha sido totalmente manual y basado en la experiencia del operador, luego entonces, éste juega un papel crucial en cada quema, pues debe estar atento al proceso casi todo el tiempo, cuidando que la temperatura interior del horno y la presión del gas se mantengan en un rango adecuado según la etapa en la que se encuentre la quema, tomando acciones específicas cuando algún problema se presente y llevando un registro de todos los datos que se vayan generando, situación que requiere de un operador experimentado.

El sistema propuesto es el primero en la universidad enfocado a llevar el control de temperatura del horno y el registro de datos obtenidos durante la quema. Como es de esperarse, las necesidades del taller en torno a este proceso son varias en el ánimo de automatizarlo y lamentablemente no es posible abarcar todas ellas con este proyecto, pero sí dejarlo preparado para expandirse.



## 2. DESARROLLO DEL SISTEMA

### 2.1 COMPRENDIENDO EL PROBLEMA

El entendimiento del problema recae en dos puntos. A partir de ellos se sustenta el diseño del sistema, los dispositivos específicos empleados y la forma en cómo se agrupan e interrelacionan.

#### La situación del taller de cerámica.

Debido a que el taller tiene propósitos académicos, sus procesos son simples en comparación con los de la industria cerámica. Por ejemplo, su escala de producción es baja, un máximo de diez quemados es realizada por año, tan solo hacen dos tipos de quema, a saber, de sancocho y de esmalte, la quema más larga ha sido de 7 horas y por último, la mayoría de las quemados sirven como evaluación para los alumnos.

El horno con el que cuenta el taller trabaja con gas natural y LP, de la marca HORNOS BASURTO, tiene un límite de temperatura de 1250 grados centígrados, aunque la máxima temperatura a la que han trabajado es 1180 grados centígrados. La figura 1 muestra el horno.

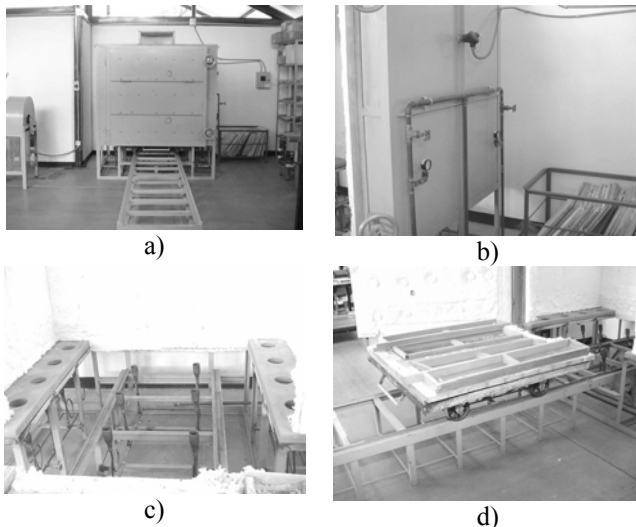


Figura 1. Horno del taller. (a) Vista frontal, (b) válvulas e indicadores, (c) quemadores y (d) carro.

Como se aprecia, tiene cuatro hileras de quemadores controlados por dos válvulas para gas, una de ellas regula

la presión en los quemadores laterales y la otra la de los quemadores centrales, también un riel para introducir y sacar el carro de carga, una chimenea por donde se evacua la presión interior del horno y un indicador digital de temperatura. El gas proviene de un tanque estacionario situado a un costado del taller.

#### El proceso de cocción cerámica del taller

En el taller se ha creado un algoritmo particular para la quema, mismo que se reduce a siete pasos:

1. Antes de abrir el tanque, verificar que tanto la chimenea como las válvulas estén cerradas.
2. Abrir el tanque estacionario a su máxima capacidad y después las válvulas a media capacidad.
3. Prender las hileras de quemadores laterales y centrales.
4. Ajustar la presión inicialmente a 0.67 psi en ambas válvulas.
5. Introducir el carro con la carga.
6. Abrir la chimenea totalmente, inmediatamente después cerrar la puerta.
7. El resto del proceso consiste en ir incrementando de forma gradual la presión de ambas válvulas, en 0.33 psi cada media hora, hasta alcanzar la temperatura objetivo. Si se presentan irregularidades de temperatura, basta con regular la presión de la válvula apropiada.

Cuando la quema sea de esmalte se da un tiempo de espera conocido como *reposo*, una vez que se alcanzan los 900 grados centígrados. El propósito del reposo es mantener la temperatura interna del horno en un rango de 900 a 905 grados durante quince minutos, esto hace que el esmalte madure, se seque completamente y se adhiera firmemente a la pieza.

Durante todo el proceso el operador debe ir haciendo un registro de la temperatura y la presión. El registro sirve para crear gráficas de la relación temperatura – tiempo y a través de éstas ir mejorando la quema.

### 2.2 CONSIDERACIONES

El dispositivo más flexible para desarrollar el proyecto es la computadora, una del tipo PC es suficiente. Sin embargo, es vulnerable a incidentes tales como cortes de energía eléctrica, alteración funcional por causa de virus informáticos y cosas por el estilo que podrían interrumpir el proceso y en este caso, una interrupción equivale a arruinar las piezas de la quema.



Las toma de mediciones de temperatura requiere de una unidad de adquisición de datos, específicamente de 12 bits de resolución, dado que la precisión de las lectura serían aproximadamente 0.5 grados centígrados por cambio de LSB. Estas unidades de adquisición también se encuentran disponibles en el mercado, aunque la mayoría dependen de una computadora y la flaqueza descrita anteriormente interrumpiría el funcionamiento de la unidad. O bien, podría construirse una basada en microcontrolador

Respecto a la medición de la temperatura, considerando que el rango es de 1250 grados centígrados, un termopar tipo K es una buena opción, dado que cubre el rango y es económico respecto a otros sensores de temperatura.

Otro aspecto muy importante a reflexionar es que a veces por causas de fuerza mayor, tales como movimientos tectónicos, obstrucción de algún quemador, etc., la quema debe ser interrumpida de manera inmediata. Lo anterior se consigue simplemente cortando el suministro del gas. El dispositivo (conocido en este caso como *actuador*) que cubre con mayor eficiencia este aspecto es la electroválvula dado que basta con una simple señal eléctrica para que conmute entre los estados de abierto y cerrado .

### 2.3 PERFIL DEL SISTEMA

El perfil que el sistema propuesto pretende ofrecer es económico y eficiente. Económico porque los dispositivos con los que se va a elaborar son baratos, eficiente porque se implementa, junto con el control, el algoritmo empleado en el taller.

El objetivo del sistema, entonces, es *auxiliar* al operador durante el proceso indicándole los puntos críticos de la quema y realizando automáticamente el registro y graficación de los datos, así como el suministro y/o corte de combustible.

### 2.4 DESARROLLO DEL SISTEMA

La figura 2 describe globalmente el sistema.

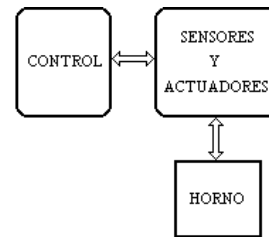


Figura 2. Diagrama a bloques global del sistema.

En la figura 2 se aprecian dos etapas, la de control y la de sensores y actuadores. En la primera están contenidos el algoritmo del proceso, la generación del registro y la unidad de adquisición de datos; en la segunda están el termopar tipo K y la electroválvula con sus respectivos circuitos.

#### 2.4.1 Etapa de control

El control principal del sistema corre a cargo de una computadora y para compensar las limitaciones descritas con anterioridad se optó por la redundancia, esto es, que otro dispositivo entre de relevo cuando el primero falle. El dispositivo elegido es el microcontrolador 80C32 [1] de Intel el cual, aparte de fungir como control secundario, actúa también como unidad de adquisición de datos y respaldo de datos y gracias a sus tres temporizadores internos la sincronización de eventos se realiza con facilidad. La forma en como se comunican computadora y microcontrolador es por medio del puerto serie.

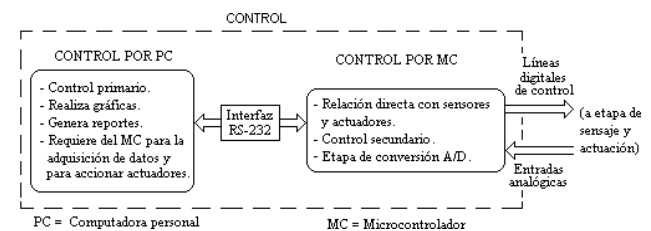


Figura 3. Etapa de control.

#### Control por computadora

Si bien tanto PC como MC son aptos para llevar el control, la ventaja de la primera sobre el segundo es la interfaz amigable con el usuario, aparte de que sólo la PC puede generar las gráficas y reportes requeridos por el taller. Pero requiere del microcontrolador para tomar datos y para accionar la electroválvula.



El programa se está realizando en el software LabView de National Instruments.

### Control por Microcontrolador

Contiene en su memoria de programa de 32 Kbytes el mismo algoritmo que la computadora aunque su interfaz es pobre, dispone de un LCD de 16x2 caracteres y un teclado matricial, no genera gráficas ni reportes. Posee una memoria adicional de 8 Kbytes para respaldar los datos obtenidos durante el proceso, que incluye la temperatura interna, los parámetros (temperatura objetivo, fecha, hora de inicio, etc.) y en caso de presentarse, eventos de aborto de quema y otros que representan puntos críticos de la quema.

La adquisición de datos la efectúa por medio del convertidor analógico a digital (ADC) ADS774 [2] de Burr – Brown. Este convertidor tiene una resolución de 12 bits, salida paralela, compatibilidad total con el 80C32, voltaje de referencia y oscilador internos, funciona con una sola fuente de alimentación (5 V), es de bajo consumo (120 mW máximo). La única desventaja de este convertidor es que solo dispone de un canal, por ello se emplea un integrado CD4051, multiplexor analógico 8 a 1, para aumentar el número de entradas analógicas.

El 80C32 tiene integrado un subsistema de comunicación UART en nivel TTL, para que pueda comunicarse con la computadora se emplea el driver de línea MAX232 de Maxim Semiconductor.

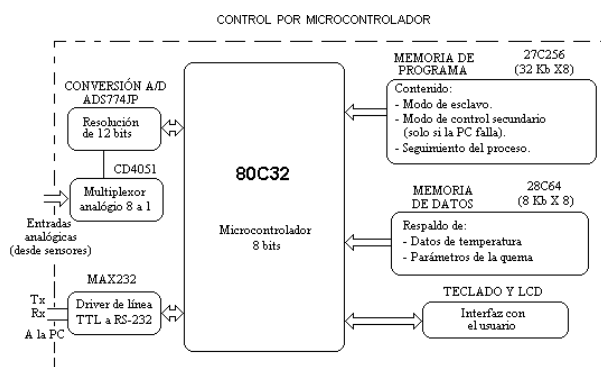


Figura 4. Control por MC

### Cómo interactúan los dos controles

Ambos dispositivos, computadora y microcontrolador pueden dar seguimiento al proceso y la forma en cómo interactúan es la siguiente: La PC tiene por omisión el control, entonces el MC actúa como esclavo, siempre está a la espera de alguna orden, la ejecuta y espera la siguiente; la toma de decisiones corre a cargo de la computadora. Pero si por alguna causa se interrumpe la comunicación entonces el MC se conmuta de esclavo a maestro y toma las decisiones relacionadas con la quema. Obviamente para no perder el hilo de la secuencia, el MC lleva desde el principio su seguimiento, de esa manera, al promoverse como maestro tiene referencia de la etapa en la que se encuentra.

En caso de que la PC desee recuperar el control, el MC siempre estará alerta a una petición de la computadora para el cambio de maestro. Cuando eso suceda, antes de ceder el control le enviará los datos pertinentes para que la PC se actualice.

Un punto importante es que cada vez que el microcontrolador entre de relevo, no se garantiza que la PC haya guardado exitosamente los datos. Aquí se justifica la inclusión de una memoria de datos en el MC, el cual, cuando en alguna quema se haga el cambio de control activará una bandera. Esta bandera será revisada siempre antes de iniciar cualquier quema y cuando esté encendida, el 80C32 enviará a la computadora una petición de descarga de datos del proceso anterior.

### 2.4.2 Etapa de sensaje y actuación

La medición de la temperatura corre a cargo de un termopar tipo K. La desventaja del sensor es su respuesta no lineal y la descompensación en su unión fría [3]. El driver convencional se elabora con etapas de balanceo de temperatura ambiente, referencia de voltaje, amplificación y acondicionamiento de señal, involucrando amplificadores de instrumentación, sensores de temperatura ambiente, diodos zéner y varios dispositivos más. En este caso se utilizó un circuito integrado especial, el LT1025 [4], que es un compensador de unión fría para termopar. Su función es corregir la respuesta no lineal del sensor y tiene un error máximo de dos grados centígrados. Su inclusión permite elaborar termómetros electrónicos con un mínimo de componentes. Para entender cómo trabaja el circuito, la figura 5 muestra sus partes. El aterrizaje del polo positivo del termopar permite una amplificación en modo común. La primera parte del circuito es un filtro pasabajas que acondiciona la señal al eliminar los armónicos. La segunda parte es un amplificador no

inversor con ganancia ajustable, amplifica la señal hasta 230 veces. La tercer parte es la compensación de la unión fría, donde la curva descrita por la relación emf – temperatura se corrige casi totalmente, pues queda un offset de 24.6 mV que es corregido por software. La última parte es el acoplamiento de la salida con la entrada analógica de la unidad de adquisición de datos a través de un seguidor de voltaje..

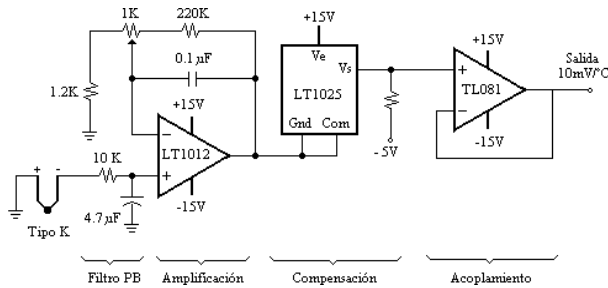


Figura 5. Termopar y su driver.

Respecto a la electroválvula, el modelo con el que se cuenta es el S201GF02N5EG5 de GC Valves, dos vías, tipo normalmente cerrada, bajo consumo de energía (150 mA en CA, según el fabricante), soporta presión de fluidos de hasta 130 psi y trabaja con gas natural, LP y aire. Dado que emplea corriente alterna, su driver consiste en un simple relevador electromecánico disparado por un transistor darlington y una red de supresión de picos que protegen a la válvula de sobrecargas en la línea eléctrica. También es posible realizarlo con tiristores, tan solo hay que cuidar de hacer el mínimo recorte de fase.

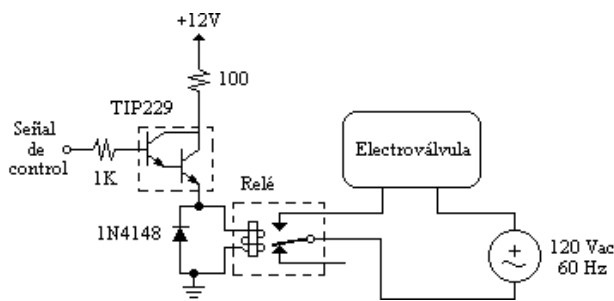


Figura 6. Electroválvula y su driver

### 2.4.3 Respaldo de energía

Anteriormente se mencionó el posible problema de un corte de energía, considerando además que la electroválvula deberá estar activa durante todo el proceso, la adición de una batería de respaldo es latente. Para ello se recurrió a un sistema *no-break* de 7 Ah (amperios por hora). Como es bien sabido, una computadora promedio sería respaldada un máximo de 30 minutos y no hay forma de garantizar que un corte de energía dure solo eso, sin tomar en cuenta que también el microcontrolador y la electroválvula necesitan estar encendidos. La resolución tomada es excluir a la PC del respaldo de energía, pues al fin de cuentas el MC puede llevar el control de la quema y respaldar los datos. El resto del sistema consume poca corriente, un máximo de 600 mA. Esto haría rendir al *no-break* aproximadamente 11.6 horas, tiempo suficiente para terminar el proceso.

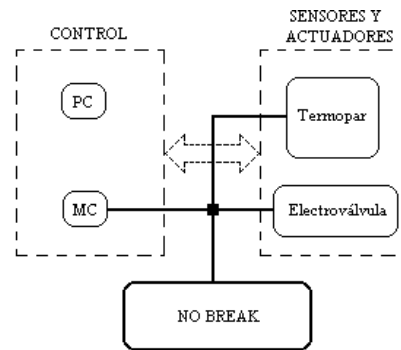


Figura 7. Respaldo de energía del sistema.

## 3. CONCLUSIONES

A pesar de que el sistema no ha sido terminado – tomando como referencia la fecha de inicio del congreso –, se encuentra en su fase terminal previa a una serie de pruebas que determinen los ajustes necesarios para su finalización y es posible hablar de sus ventajas, limitaciones y expansión .

### Ventajas:

1. Es económico. Al usar dispositivos simples y no sistemas comerciales es posible ofrecer una alternativa de muy bajo costo en comparación con las existentes en el mercado y sin perder la eficiencia.
2. Al contener la lógica del proceso, adquiere un perfil de tutor para operadores poco experimentados.
3. Se sobrepone a cortes de energía.



4. La información generada durante la quema tiene un respaldo garantizado.
5. Al tener redundancia en el control y respaldo de energía, el seguimiento del proceso es constante.

#### Limitaciones:

1. El sistema tan solo muestra temperatura, no así la presión del gas combustible, que también es importante registrar.
2. El tipo de control es ON/OFF, es decir, tan solo se cuenta con una válvula solenoide para permitir el flujo del combustible desde la entrada principal. Para hacer una regulación automática del gas lo apropiado es agregar servoválvulas.
3. La temperatura del horno no es homogénea en todo su volumen interior, el termopar se coloca en un punto estratégico donde su lectura es un aproximado a lo que se llamaría *temperatura neta*, mas no es exacto.

#### Expansión del sistema.

Las mismas limitaciones se convierten en puntos para cubrir en futuros proyectos. En razón a ello hay dos aspectos en su diseño que de momento parecen ser innecesarios. Primero, la memoria de programa es de 32 Kbytes, pero el programa actual ocupa un máximo de 7 Kbytes y quizás suba a 10 Kbytes una vez terminado el sistema, así quedarían aproximadamente 22 Kbytes para otras tareas. La misma situación se aplica a la memoria de datos. Segundo, la unidad de adquisición de datos cuenta con ocho canales aunque de momento solo se

utiliza uno, los siete restantes serán para los sensores de presión y quizás otros actuadores que puedan ser aumentados al proyecto.

Otros puntos de expansión del sistema, acorde a las necesidades del taller son:

- Un subsistema de encendido automático de los quemadores, pues encenderlos manualmente siempre representa un riesgo.
- El taller se ubica en una zona sísmica, por lo que un identificador de sismos es conveniente para evitar accidentes graves. De momento se incluye un botón que indica al sistema el aborto del proceso.

#### **REFERENCIAS**

- [1] Intel Inc., MCS-51 Family of Microcontrollers Architectural Overview, September 1993, 6-3 – 6-20.
- [2] Burr-Brown Corp., ADS774, Microprocessor-Compatible Sampling CMOS Analog-to-Digital Converter, Technical Datasheets, July 1995, 6 – 8 .
- [3] T.J. Maloney, *Electrónica Industrial Moderna* (México, D.F., Prentice-Hall, 1995).
- [4] Linear Technology, Micropower Thermocouple Cold Junction Compensator, Technical Datasheets, March 1991, 11-8 – 11-11.