

# 6 FABRICACIÓN E INSTRUMENTACIÓN DE HORNO CON PERFIL ELIPSOIDAL PARA CALIBRACIÓN DE TERMOPAR, CON APLICACIÓN A PROCESOS DE CORTE CONTINUO

Velázquez Villegas Agustín Eduardo (1), Martínez Ramírez Israel (2),

1 [Ingeniería Mecatrónica, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [ae.velazquezvillegas@ugto.mx]

2 [Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [Israel.martinez@ugto.mx]

## Resumen

Los métodos existentes para calibración de la junta herramienta-material de trabajo en maquinado son limitados y producen curvas con ruido. El método por horno elipsoidal produce curvas de calibración más estables y sin ruido. Sin embargo, el proceso original utiliza modelos análogos y necesitaba de la completa atención del operador para obtener resultados satisfactorios. En el presente trabajo, se optó por construir un tablero para el control del horno. El control es básico consta de un estado de standby, un ciclo de inicio y un paro de emergencia, para el tablero tiene tres luces indicadoras, inicio del ciclo, temperatura crítica y paro de emergencia, una LCD y los respectivos botones para inicio de ciclo y paro de emergencia. En la adquisición de temperatura se utilizó un módulo MAX6675, el cual es un convertidor analógico para termopares tipo K. Este módulo en conjunto con una tarjeta integrada y un software de procesamiento de señales se fue posible encontrar las curvas de temperatura del termopar.

## Abstract

The actual methodology used for dynamic thermocouple calibration applied in machining is limited and produces curves with noise. The ellipsoidal furnace produce stable and free-noise curves. However, the original process uses analogic models and needs from full experimenter attention. En the present work, a control panel was constructed. The control panel includes of a standby state, starting cycle and emergency stop; three indicator lights, one for cycle start, critical temperature and emergency stop, one LCD and buttons for cycle starting and emergency stop. Data acquisition was carried out with the module MAX6675, which is an analogic converter for K thermocouple. This module together with an integrated card and signal process software made possible to find thermocouple temperature curves.

## Palabras Clave

Adquisición; Termopar; Control; Procesamiento; Arduino

## INTRODUCCIÓN

### Fabricación e Instrumentación de Horno y Adquisición de Datos de Temperatura.

#### Objetivo

El propósito de esta investigación es la fabricación e implementación de un control funcional de un horno, para obtener las curvas de temperatura de diferentes materiales de herramientas de corte, ya que anteriormente el proceso de adquisición de datos de temperatura se hacía de una forma completamente análoga, todo esto se espera realizarse utilizando una tarjeta Arduino.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El material utilizado para la fabricación del horno es aluminio 6061 T6, con cortadores HSS y de carburo de tungsteno. La geometría del horno es compleja y prácticamente imposible de realizarse utilizando maquinaria convencional. Por lo que es necesario utilizar máquinas de control numérico. Debido a que la pieza es un sólido de revolución, idealmente el mejor procesos de maquinado es por torneado. Sin embargo, el torno disponible en DICIS está fuera de servicio, por lo que se optó por generar las trayectorias de herramienta para el único centro de maquinado vertical (fresadora) disponible. El proceso de generación de trayectorias se puede resumir como sigue:

1. Se genera la geometría en algún paquete de CAD o directamente en el software CAD/CAM como lo es Mastercam, en este caso se optó por generarla directamente en el paquete CAD/CAM.
2. Se seleccionan las partes de la geometría de interés, como lo son las superficies que se desean maquinar.
3. Se escogen las operaciones y se asignan las herramientas y condiciones de corte.
4. Se genera el archivo NC con los códigos G y M para ser enviados al centro de maquinado.

En la Figura 1 se observa la simulación de las trayectorias de la herramienta. Con el objetivo de ahorrar tiempo de maquinado se utilizaron dos operaciones; una para corte burdo utilizando el cortador plano de HSS con mayor diámetro disponible (3/4 in) y corte de acabado utilizando cortador de bola de carburo de tungsteno (0.5 in de diámetro). El tiempo estimado de corte es de alrededor de 44 horas.

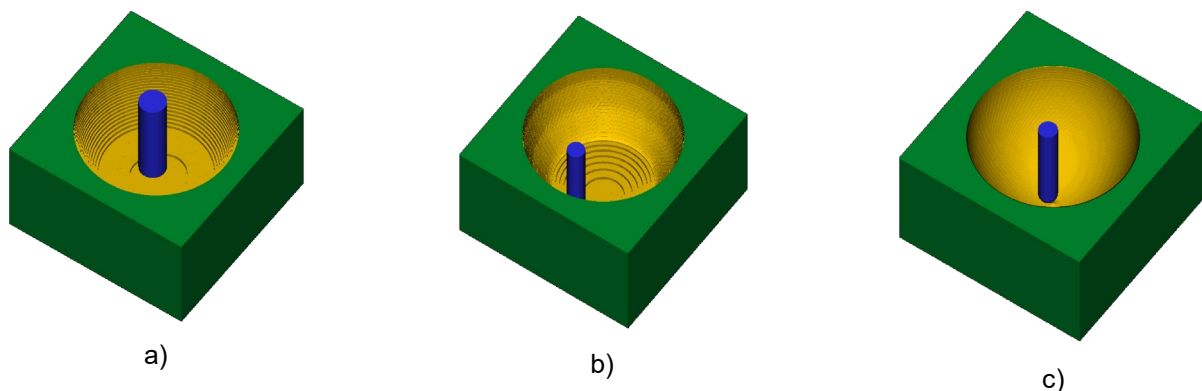


Figura 1. Simulación de las trayectorias de la herramienta. a) Primera pasada (rough), b) Segunda pasada (Finish), c) Resultado final

Para la adquisición de temperatura se utilizó un módulo MAX6675 este módulo es un convertidor analógico a digital, y su funcionamiento principal es el convertir a digital el voltaje generado por el termopar. El rango de temperatura de este módulo varía entre 0 a 1024°C, el error es de  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  para temperaturas mayores a 700°C y aumenta a mayor temperatura. La forma en la que se comunica es mediante el protocolo serial SPI Figura 2.

BIT	DUMMY SIGN BIT	12-BIT TEMPERATURE READING											THERMOCOUPLE INPUT	DEVICE ID	STATE	
		14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4				3
Bit	15													2	1	0
	0	MSB											LSB		0	Three- state

Figura 2. Formato de envío de datos

La señal consta de 16 bits como se muestra en la Figura 2., los tres primeros bits son de estado, el bit uno se utiliza para el estado del módulo y el bit dos para ver el estado del termopar, si está funciona o no, y el bit tres para encender el modulo.

Una vez que se conoce el funcionamiento del módulo, continuamos trabajando la señal con la tarjeta Arduino, arduino es una herramienta muy versátil y de código libre. Para trabajar con la tarjeta se utilizó un compilador de código AVR C, el cual es el lenguaje en el que está basada la programación de arduino, el compilador utilizado es AtmelStudio un compilador creado para los microcontroladores ATmega.

El código fuente creado en este compilador es un poco diferente al del compilador de arduino .ino, ya que este el compilador de arduino simplifica mucho algunos de los apartados que se utiliza en AtmelStudio. El código de arduino para el módulo MAX6675 se muestra en la Figura 3..

```
float readMAX6675(){
    uint16_t data=0;
    uint8_t i=0;
    float temp=0.0;

    _CBR(PORTB,CS);
    _delay_ms(1);
    for(i=0;i<16;i++){
        _SBR(PORTB,CK);
        _delay_ms(1);

        if(PINB&0x04)
            data|=(0x8000>>i);
        _CBR(PORTB,CK);
        _delay_ms(1);
    }
    _SBR(PORTB,CS);
    data&=0x7FFF;
    data>>=3;
    temp=data*0.25;
    return temp;
}
```

Figura 3. Código Modulo MAX6675, Compilador AtmelStudio.

De una forma muy general el código de la Figura 3. funciona tomando cada uno de los bits y guardándolos en un vector de 16 bits, esto se hace para cada uno de los bits, luego se hace un corrimiento para los bits no importantes es decir los primeros 3 bits menos significativos, y se quita el bit más significativo que es el del signo, con esto ya se ha procesado la señal de la temperatura y se puede utilizar en cualquier aplicación.

Para el control del horno se fabricó un tablero, este consta de dos interruptores, uno de ellos con enclavamiento y el otro sin enclavamiento que se utilizan para el paro de emergencia e inicio del ciclo respectivamente, además de tres luces LED de estado, se optó utilizar luces de estado pues visualmente es más fácil darse cuenta del proceso.

Para los interruptores, existen diferentes maneras de hacerlo, pero como los demás elementos necesitaban muchos de los recursos de arduino, lo que se hizo fue utilizar recursos que en arduino generalmente no se utilizan o por lo menos no para los interruptores. Arduino o el microcontrolador cuenta con varios timer internos, estos timer se pueden utilizar para diferentes propósitos para el interruptor de inicio se utilizó un contador de flanco ascendente por pulsos externos como memoria, es decir por cada impulso que recibe el contador aumenta en una unidad. Como se necesitaba que el ciclo se mantuviera hasta que se alcanzara la temperatura requerida, una vez que esta se alcanza el contador se reinicia, la forma más rápida de hacerlo era el utilizar un estado de memoria.

Para el paro de emergencia ocurrió un imprevisto, como se mencionó antes los recursos físicos de arduino es decir los pines con los que se cuentan son limitados, por lo que usar un timer como memoria como el interruptor de inicio de ciclo no era la mejor opción posible, de igual manera existen diferentes formas de llevar a cabo el trabajo, usar los puertos analógicos es una opción pues son puertos que no se han utilizado.

Por ultimo para la LCD, tanto para Arduino como para AVR C existen librerías para trabajar con la LCD, esto facilita mucho el trabajo.

La comunicación entre arduino y un programa de procesamiento de señales es la parte más importante. Para arduino el valor que se desea mandar por el puerto serial se debe de convertir del valor flotante a una cadena de caracteres, una vez hecho esto, ya es posible con un programa de procesamiento de señales usar esa variable de la forma que se quiera, para este se utilizó MATLAB para el procesamiento de la señal.

```
void loop(){
  char buffer[9];
  float temp;

  if(USART0_Available()){
    char c=USART0_Read();
    if(c=='s')running=1;
    else running=0;
  }

  if(running)
  {
    temp=readMAX6675();
    dtostrf(temp,8,2,buffer);
    USART0_Print(buffer);
    //USART0_Print(",");//Prueba regresar
    _delay_ms(100);
  }
}
```

Figura 4 Comunicación serial, Compilador AtmelStudio

De forma muy general lo que hace el código Figura 5 es el esperar si el puerto se encuentra disponible para recibir valores, entonces el microcontrolador comienza a enviar los datos de temperatura que se reciben del módulo MAX6675.

Este valor es recibido mediante MATLAB, para ello es necesario abrir el puerto e iniciar comunicación, los datos son recibidos y pueden ser graficados en tiempo real o estos pueden ser guardados en un documento Excel para luego ser utilizados con diversos propósitos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la construcción del tablero llegamos a este resultado, el material utilizado fue MDF, para las luces del tablero se estuvieron buscando luces con un armazón, por desgracia estas no se pudieron encontrar por lo que se dejaron los LED's iniciales.



Figura 5 Tablero de control.

Además del tablero se construyó un circuito impreso donde se facilitan las conexiones entre el tablero y arduino.

Por último tenemos los resultados obtenidos con la señal, como ya se mencionó anteriormente para la comunicación se usaron varios métodos. Entre los métodos utilizados, se graficó en tiempo real el muestreo de los datos, aunque se creaba un retraso entre el tiempo de ejecución y la gráfica en tiempo real.

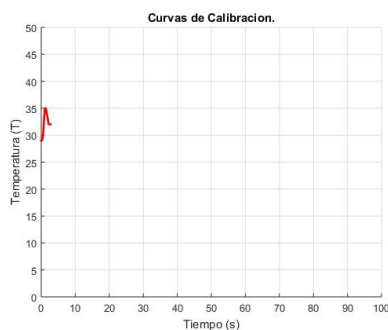


Figura 6 Graficas de Curvas de Temperatura.

## CONCLUSIONES

- El control de temperatura resultó ser satisfactorio y útil para prevenir exceso de temperatura en el termopar tipo K.
- Las luces o indicadores resultaron ser una forma efectiva para revisar el estado de operación del horno, así como prevenir accidentes causados por la temperatura en el interior de este.
- La obtención de curvas de temperatura vs tiempo es posible en forma automática, sin tener que procesar los datos en forma manual.
- Fue posible obtener las gráficas de temperatura en tiempo real, aunque con un leve retraso. Adicionalmente, la temperatura se muestra en la pantalla LCD en tiempo real, sin retraso.
- La evidencia mostro que el procesamiento en tiempo real de la señal de temperatura no es la mejor opción por los recursos que esta demanda.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a la Universidad de Guanajuato por darme la oportunidad de entrar al proyecto de verano de investigación, y al Doctor Israel por darme la oportunidad de trabajar con él en su proyecto.

## REFERENCIAS

- [1] H. U. R. Y. a. N. N. Y. Yamane, «Calibration system of tool-work-thermocouple with infrared heating,» Bulletin of the Japanese Society of Precision Engineering , pp. 5-9, 1989.
- [2] M. I. Products, «<https://www.maximintegrated.com/en.html>,» 2014. [En línea]. Available: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX6675.pdf>. [Último acceso: Mayo, Junio, Julio 2018].
- [3] A. Corporation, «[www.atmel.com](http://www.atmel.com),» 2014. [En línea]. Available: [http://www1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561\\_datasheet.pdf](http://www1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf). [Último acceso: Mayo, Junio, Julio 2018].