

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN Y CONTROL DE LA  
TEMPERATURA EN UNA CAVIDAD ELECTROMAGNÉTICA**

**DIRNEY JOSE JURADO HERNÁNDEZ  
MARLY ADRIANA ORTIZ MORENO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA**

**2013**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN Y CONTROL DE LA  
TEMPERATURA EN UNA CAVIDAD ELECTROMAGNÉTICA**

**DIRNEY JOSE JURADO HERNÁNDEZ  
MARLY ADRIANA ORTIZ MORENO**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electrónico

**Ph.D CARLOS RODRIGO CORREA CELY  
DIRECTOR**

**Ing. IVÁN MAURICIO AMAYA  
CODIRECTOR**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA**

**2013**

## **AGRADECIMIENTOS**

**Los autores agradecen este trabajo de grado a:**

Rodrigo Correa Cely, Director del proyecto, por su paciencia y colaboración durante el desarrollo de éste.

Iván Mauricio Amaya, Codirector del proyecto, por sus asesorías, tiempo y disponibilidad para poder concluir.

A la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

## **DEDICATORIA**

A Dios y a la Virgen.

Por iluminar mi camino y brindarme las fuerzas necesarias para nunca desistir

A mi madre Fany Ortiz.

Quien ha sido mi padre a la vez y ha creído en mí siempre Por su inmenso amor, su paciencia y por el apoyo que siempre me ha brindado cuando he querido desistir.

A mi hermano Yeison Eduardo y mi abuelita Celmira.

Por estar siempre conmigo a pesar de las adversidades y por apoyarme en cada decisión que tomo

A mis amigos y compañeros de carrera.

Por acompañarme en este proceso y por enseñarme a ser mejor ser humano.

A todos mil y mil gracias. Les estaré eternamente agradecida

**MARLY ADRIANA ORTIZ MORENO**

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi madre Flor.

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi padre Juan.

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A mis familiares.

A mis hermanas Yesenia y Yurley por ser el mejor ejemplo y de las cuales aprendí aciertos y de momentos difíciles; a todos mis familiares que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis.

¡Gracias a ustedes!

**DIRNEY JOSÉ JURADO HERNÁNDEZ**

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	17
2. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE GRADO .....	18
2.1. Objetivo General .....	18
2.2. Objetivos específicos .....	18
3.1. Microondas .....	19
3.2. Medición de temperatura .....	23
3.3. Control de encendido por ciclos .....	27
4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA .....	29
4.2. Requerimientos del sistema .....	29
4.3. Diseño del sistema .....	30
4.3.1. Sistema de Sensado .....	31
4.3.2. Tarjeta de control.....	33
4.3.3. Tarjeta de potencia.....	37
4.4. Resultados Experimentales .....	40
4.4.1. Interfaz del control de encendido.....	45
4.4.2. Recomendaciones antes de usar el sistema .....	46
4.4.3. Calibración del sistema de medición de temperatura .....	47
4.4.4. Variación de la potencia .....	56
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64
BIBLIOGRAFÍA .....	66
ANEXOS .....	68

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Sub-bandas en las que se divide la banda espectral de las microondas. .	19
Tabla 2. Tipos de termocuplas .....	25
Tabla 3. Ubicación de las termocuplas .....	47
Tabla 4. Calibración de las termocuplas a temperaturas ambiente tomando la diferencia de cada termocupla .....	48
Tabla 5. Calibración de las termocuplas a temperaturas entre 130°C y 180°C con las medidas de cada termocuplas .....	50
Tabla 6. Calibración de las termocuplas a temperaturas entre 130°C y 180°C tomando la diferencia de cada termocupla .....	51
Tabla 7. Calibración de las termocuplas a temperaturas variable (23-160), con las medidas de cada termocuplas .....	53
Tabla 8. Calibración de las termocuplas a temperaturas variable (23-160), tomando la diferencia de cada termocupla .....	54

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del funcionamiento del magnetrón.....	20
Figura 2. Horno microondas multimodo.....	23
Figura 3. Esquema de la termocupla .....	24
Figura 4. Comportamiento de la temperatura de una termocupla tipo K .....	25
Figura 5. Control on/off.....	27
Figura 6. Controlador proporcional de tiempo variable .....	28
Figura 7. Diagrama de bloques del sistema.....	30
Figura 8. Diagrama de bloques para el sistema de sensado .....	31
Figura 9. Tarjeta sensores .....	32
Figura 10. Diagrama de bloques tarjeta de control.....	33
Figura 11. Tarjeta de control.....	34
Figura 12. Diagrama de bloques tarjeta de potencia.....	37
Figura 13. Tarjeta de Potencia .....	38
Figura 14. Diagrama de bloques para el sistema de control .....	39
Figura 15. Recipiente .....	41
Figura 16. Carburo de Silicio .....	41
Figura 17. Control proporcional con potencia al 20%.....	42
Figura 18. Control proporcional con potencia al 40%.....	42
Figura 19. Control proporcional con potencia al 60%.....	43
Figura 20. Control proporcional con potencia al 80%.....	43
Figura 21. Control On – Off (Potencia al 100%).....	44
Figura 22. Calibración de las termocuplas a temperaturas ambiente con las medidas de cada termocuplas .....	48
Figura 23. Temperatura a 60°C y potencia a 50%.....	56
Figura 24. Temperatura a 60°C y potencia a 75%.....	57
Figura 25. Temperatura a 60°C y potencia a 100% .....	57
Figura 26. Temperatura a 120°C y potencia a 50% .....	58
Figura 27. Temperatura a 120°C y potencia a 75% .....	59

Figura 28. Temperatura a 120°C y potencia a 100% .....	59
Figura 29. Temperatura a 180°C y potencia a 50% .....	60
Figura 30. Temperatura a 180°C y potencia a 75% .....	61
Figura 31. Temperatura a 180°C y potencia a 100% .....	61
Figura 32. Temperatura a 400°C y potencia a 100% .....	62

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Hoja de datos AD595 .....	69
Anexo B. Hoja de datos MCP6022 .....	70
Anexo C. Hoja de datos PIC18F4550 .....	71
Anexo D. Hoja de datos módulo RN41 .....	72
Anexo E. Hoja de datos pantalla LCD .....	73
Anexo F. Hoja de datos Teclado matricial .....	74
Anexo G. Hoja de datos Triac BTA-41 .....	75
Anexo H. Hoja de datos LM317 .....	76
Anexo I. Hoja de datos LM7805 .....	77
Anexo J. Hoja de datos PIC16F628 .....	78
Anexo K. Hoja de datos MOC3020 .....	79
Anexo L. DIAGRAMAS DE FLUJO MICROCONTROLADOR PIC 18f4550 .....	80
Anexo M. DIAGRAMAS DE FLUJO MICROCONTROLADOR PIC16F628 .....	85

## RESUMEN

**TÍTULO:** IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN Y CONTROL DE LA TEMPERATURA EN UNA CAVIDAD ELECTROMAGNÉTICA \*

**AUTORES:** DIRNEY JOSE JURADO HERNÁNDEZ Y MARLY ADRIANA ORTIZ MORENO \*\*

**PALABRAS CLAVE:** Control, Microcontrolador, Potencia, Sensado, Triac, Horno microondas, LCD

La aplicación de campos electromagnéticos para tratamiento de materias primas en procesos físico – químicos cada día es más común; sin embargo, en nuestro país aún sigue siendo tema de estudio.

En este documento se presentan desde los fundamentos teóricos para facilitar al lector la comprensión del mismo, los cuales incluyen conocimientos sobre hornos microondas, medición de temperaturas con termopares y bajo campos electromagnéticos y los tipos de control base para el desarrollo del sistema requerido. Además, el lector encontrará el sistema diseñado usando un horno microondas convencional, un microcontrolador que realiza el control de temperatura, dispositivos de visualización como la pantalla LCD y la comunicación de diferentes medios con el computador.

El diseño realizado fue elaborado en tres etapas: sensado, control y potencia. El sistema de sensado toma las mediciones de temperatura a través de las termocuplas y acondiciona dichas señales de manera que puedan ser procesadas en la etapa de control. En el sistema de control se realiza todo el protocolo que permite controlar los dispositivos con los cuales se visualizarán dichas mediciones y genera una señal de control que permitirá realizar el encendido y apagado del magnetrón mediante un Triac (Triodo para corriente alterna) ubicado en la tarjeta de potencia. Con un controlador proporcional de tiempo variable se realiza el encendido y apagado del magnetrón de manera que pueda ajustarse el porcentaje de potencia a la cual se quiere trabajar el horno microondas convencional, de manera que si se define una potencia del cien por ciento el controlador se comporta como un controlador On – Off.

Los resultados obtenidos con este trabajo de grado contribuyen al desarrollo de nuevas metodologías para el tratamiento de materias primas para diferentes procesos a nivel industrial.

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: Carlos Rodrigo Correa Cely. Codirector: Iván Mauricio Amaya

## ABSTRACT

**TITLE:** IMPLEMENTATION OF A SYSTEM OF MEASUREMENT AND CONTROL OF TEMPERATURE AN ELECTROMAGNETIC CAVITY \*

**AUTHORS:** DIRNEY JOSE JURADO HERNÁNDEZ Y MARLY ADRIANA ORTIZ MORENO \*\*

**KEYWORDS:** Control, Microcontroller, Power, Sensing, Triac, Microwave Oven, LCD

The application of electromagnetic fields on treatment of raw materials in physical-chemical processes is increasingly common, but in our country it is still a subject of study.

This document shows the theoretical foundations to facilitate the reader's understanding of it, it includes knowledge about microwave ovens, temperature measurement with thermocouples and low electromagnetic fields and the base control types for the development of the required system. In addition, the reader will find a system designed using a conventional microwave oven, a microcontroller that performs temperature control, display devices such as LCD and different ways of communication through the computer.

The design was developed in three steps: sensing, control and power. The sensing system measures the temperature using the thermocouples and conditions this signals so they can be processed in the control stage.

The control system performs the protocol that allows control of devices, visualization of measurements and generation of control signals to perform the magnetron on and off by a Triac (Triode for alternating current) on the power card. With a variable time proportional controller that executes the magnetron on and off in a way that the percentage of power with which is desired to run the microwave oven can be adjusted, so that if a hundred percent power is defined the controller behaves like a on-off controller.

The results obtained with this bachelor thesis contribute to develop new methodologies to treat raw materials for diverse processes at an industrial level.

---

\* Degree Project

\*\* Faculty of Physical and Mechanical Engineering. School of Electrical Electronics and Telecommunications Engineering. Director: Carlos Rodrigo Correa Cely. Codirector: Iván Mauricio Amaya

## 1. INTRODUCCIÓN

El uso de microondas en procesos físico – químicos es común cuando se requiere llevar a cabo calentamiento de materiales que son difíciles de procesar y cuyo volumen es grande. De igual manera, se usan cuando se hace necesario mantener la temperatura controlada.

En este documento se desarrolló y actualizó un sistema de medición y control que probablemente permite calentar hasta temperaturas de 1200 °C y a su vez es posible graduar la potencia con la que se quiere llevar a cabo el proceso.

Partiendo de trabajos de investigación anteriores [7 - 8] se mejoraron aspectos como el rango de temperatura, el control de encendido y apagado del magnetrón, la variación de potencia y los distintos medios de comunicación y visualización de las mediciones tomadas por las termocuplas.

Cabe aclarar que el sistema diseñado es una aplicación de tipo general con la cual se puede llevar a cabo el calentamiento de diferentes elementos que abarcan desde el agua hasta minerales que requieren altas temperaturas para procesos específicos: minería, reacciones químicas, destilación etc. [5][7 - 9].

En el primer capítulo de este documento se formaliza la descripción del trabajo de grado con sus respectivos objetivos. En el segundo capítulo a *grosso modo* se presentan los fundamentos teóricos que incluyen las descripciones y conceptos relacionados con el horno microondas, la medición de temperatura y el control base para la realización del proyecto. En el capítulo tres se incluye el diseño, la implementación y los resultados experimentales del sistema. Finalmente se exponen las conclusiones y las recomendaciones para trabajos futuros.

## **2. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE GRADO**

En el presente informe de investigación se describe un sistema de medición y control de temperatura en una cavidad electromagnética en el rango de las microondas para la mejora de procesos Físico-Químicos.<sup>1</sup>

A continuación se transcriben los objetivos aprobados en el plan propuesto para el trabajo de grado:

### **2.1. Objetivo General**

Proponer un sistema de medición y control de temperatura para una cavidad electromagnética.

### **2.2. Objetivos específicos**

Diseñar conceptualmente el sistema requerido para la medición de la temperatura.  
(Capítulo 4)

Especificar técnicamente los componentes del sistema electrónico y eléctrico requerido para la operación a nivel de laboratorio.(Capítulo 4 y Anexos A - K)

Implementar el sistema de medición de temperatura diseñado.(Capítulo 4)

Realizar los experimentos de medición de la temperatura y con los resultados obtenidos evaluar el desempeño del sistema. (Capítulo 4)

---

<sup>1</sup> Esto constituye un aporte intelectual consensuado entre los estudiantes Jurado y Ortiz y los directores del presente trabajo de grado en la modalidad investigación

### 3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 3.1. Microondas

Las microondas ocupan una porción del espectro de frecuencias entre 1 y 300 GHz que corresponde a 1 m y 1mm respectivamente, en longitudes de onda. En la práctica son ondas del orden de 1 GHz a 12 GHz [1].

La banda espectral de las microondas se divide en sub-bandas tal como se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1. Sub-bandas en las que se divide la banda espectral de las microondas.**

Nombre de la banda	Frecuencia (GHz)	Longitud de onda aproximada (cm)
S	1.5 A 8	10
X	8 A 12.5	3
K	12.5 A 40	1.1
Q	40 A 50	0.8

**Fuente [1]**

Una de las mayores aplicaciones de las microondas es el horno convencional, el cual usa un magnetrón para producir microondas a una frecuencia de 2,45 GHz aproximadamente.

#### 3.1.1 Generador de microondas

Las frecuencias más usadas en microondas son 915 y 2450 MHz, para obtenerlas se emplean dos generadores: el magnetrón y el klystron. El magnetrón es un tubo

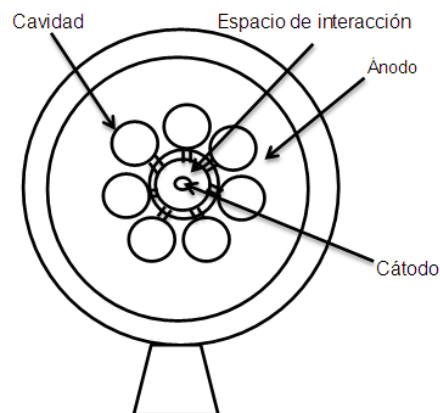
de vacío constituido por un cátodo cilíndrico central rodeado por un ánodo que es también circular.

Para una frecuencia de 2450 MHz se encuentran magnetrones de 0.2 a 6 KW de potencia a la salida con un rendimiento del 50 – 60%. A una frecuencia de 915 MHz se tiene una potencia de 75 KW con un rendimiento del 55 – 65%. La duración de éste es de 3000 a 6000 horas y la refrigeración del tubo es por aire en los equipos domésticos de 500 – 600 W y por agua en los equipos industriales de potencia de 1 KW o más.

El klystron es más costoso que el magnetrón, pero permite obtener potencias más elevadas. A 2450 MHz se tienen 50 KW de potencia a la salida, para una tensión de 25 kV con un rendimiento del 60%. La refrigeración del tubo es por agua y su duración corresponde a 15000 horas.

### 3.1.1.1 Funcionamiento del magnetrón

**Figura 1. Esquema del funcionamiento del magnetrón**



**Fuente: Autores**

El espacio de interacción se encuentra entre el ánodo exterior y el cátodo central como se muestra en la figura 1. El cátodo es sometido a un potencial negativo

elevado respecto al ánodo. Mediante un imán se aplica al tubo un fuerte campo magnético en dirección paralela al eje del cátodo. Los electrones emitidos por el cátodo son atraídos por el ánodo bajo la influencia combinada de los campos magnético y eléctrico, siguiendo un recorrido curvo. Las hendiduras y las paredes de la cavidad forman un circuito resonante cuya frecuencia es determinada por sus dimensiones; las hendiduras actúan como condensadores y las paredes como autoinducciones. [3]

De esta manera, se crea un régimen permanente en el que nubes de electrones giran alrededor del cátodo en fase con las oscilaciones del campo eléctrico, a una velocidad angular constante. Gran parte de la energía de alimentación del cátodo en corriente continua se transforma en energía de ultra - alta frecuencia y se puede transmitir a la carga mediante un adecuado acoplamiento. [3]

### 3.1.2 Guía de ondas

La guía de ondas es usualmente un tubo de sección rectangular utilizado para el transporte de la energía electromagnética. La propagación guiada de energía se lleva a cabo en ondas estacionarias o progresivas siguiendo distintas longitudes de onda. [3]

Siendo  $m$  y  $n$  números enteros que caracterizan el modo de propagación de las ondas, se tiene:

$$\lambda_{c_{m,n}} = \textit{longitud de onda de ruptura en el modo } m, n$$

$$\lambda_0 = \textit{longitud de onda en el vacío}$$

$$\lambda_{g_{m,n}} = \textit{longitud de onda guiada en el modo } m, n$$

De modo tal que:

$$\lambda_0 = \frac{1}{f \cdot \epsilon_0 \cdot \mu_0}$$

$$\lambda_{c_{m,n}} = \frac{2}{\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2}}$$

Los valores de  $\epsilon_0$  y  $\mu_0$  son la permitividad eléctrica en el vacío y la permeabilidad magnética en el vacío, equivalentes a  $\frac{1}{36} \cdot \pi \cdot 10^9 F/m$  y  $4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} H/m$  respectivamente. [3]

Para la frecuencia 2450 MHz, la sección rectangular es de 88,36 y 43,04 mm de lado, lo cual corresponde al modo  $m,n = 10,1$ . Al componerse las ondas incidentes y reflejadas se genera una onda estacionaria que puede afectar al generador. La técnica más usada es interponer entre el aplicador y la guía de ondas un obstáculo no disipador de energía. [3]

Tales dispositivos se denominan circuladores y constan de ferritas refrigeradas por agua y polarizadas por el campo magnético de un imán permanente. Los circuladores tienen tres aberturas: una para conectar a la guía de ondas, otra para conectar a la carga y a última para la carga de agua. La energía solamente pasa en el sentido generador – carga y se deriva la energía reflejada por la carga útil hacia la carga de agua, transformándose así en calor. [3]

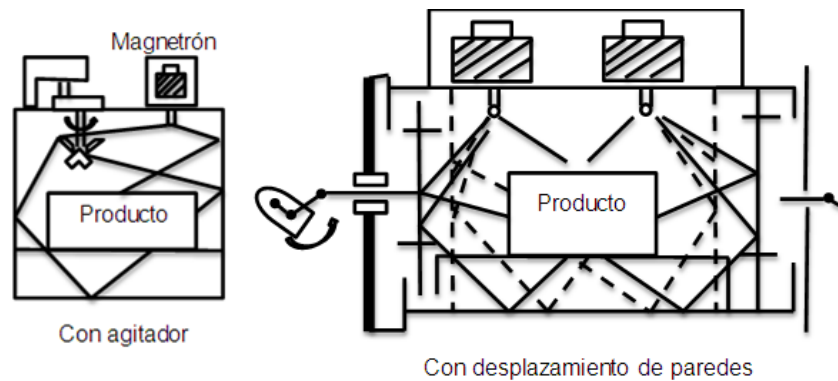
### 3.1.3 Aplicador a la carga

El tipo de aplicador más común es la cavidad resonante rectangular

En una cavidad dimensionalmente precisa la energía de las microondas proviene de uno o varios magnetrones y guías de ondas pequeñas, lo cual produce ondas estacionarias por reflexiones en las paredes metálicas de la cavidad. Sin embargo, uno de los mayores problemas es la poca uniformidad en el reparto de la energía dentro de la cavidad. Dentro de las posibles alternativas de solución se encuentra la disposición de la carga en una bandeja giratoria, un agitador en la parte superior o moviendo las paredes laterales. [3]

La figura 2 muestra una cavidad resonante rectangular conocida como horno microondas multimodo.

**Figura 2. Horno microondas multimodo**



**Fuente: Autores**

### **3.2. Medición de temperatura**

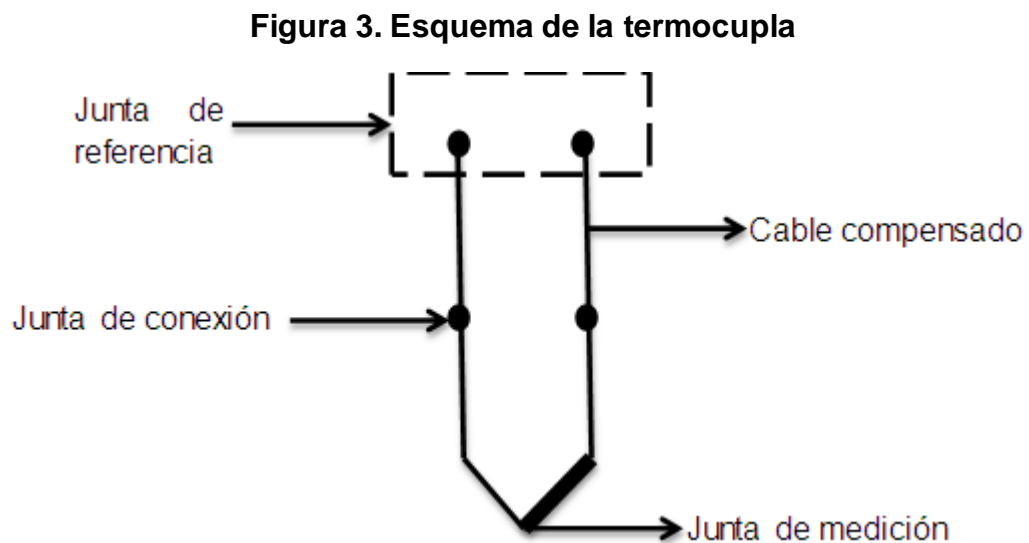
En el manejo de procesos de tipo industrial, metalúrgico, químico, alimenticio, etc., es de vital importancia controlar la temperatura incidente en el desarrollo del producto final.

Todos los cuerpos se componen de moléculas que se encuentran en constante movimiento; dicho movimiento aumenta o reduce la temperatura proporcionalmente. Por tanto, la temperatura se define como la medida de la energía cinética de las partículas que conforman el cuerpo.

### 3.2.1 Los termopares como instrumento de medición de la temperatura

Los termopares están compuestos por la unión de dos metales diferentes en uno de sus extremos generando un diferencial de tensión en sus otros extremos en función de la temperatura, a este efecto se le conoce como efecto Seebeck [4].

En la figura 3 se muestra una termocupla, compuesta por la junta de medición, la junta de conexión, cable compensado y junta de referencia



**Fuente: Autores**

Existen diferentes tipos de termocuplas que se diferencian por los metales que la conforman y el rango de medición posible. En la tabla 2 se pueden apreciar las

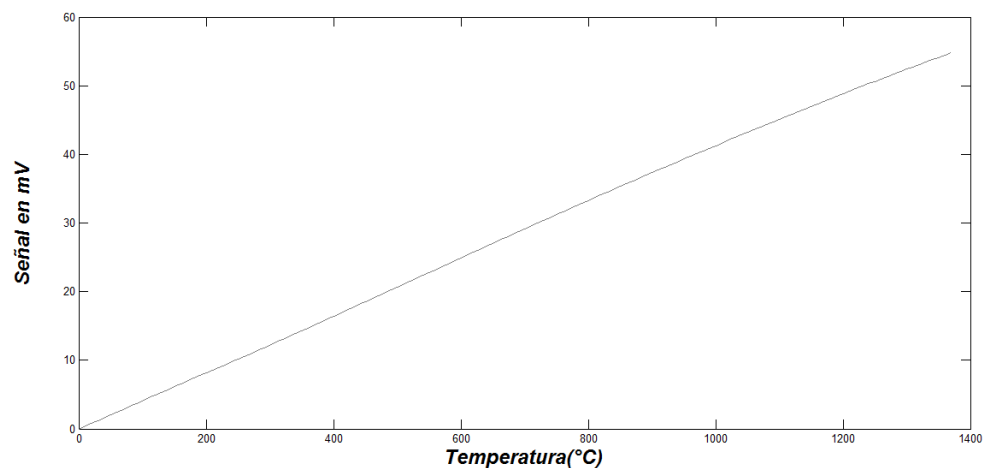
diferencias y en la tabla 2 los valores en mV de la termocupla tipo K y su comportamiento en la figura 5. Estos valores han sido homologados en la norma IEC 584 (International Electrotechnical Commission).

**Tabla 2. Tipos de termocuplas**

Tipo de termocupla	Rango	Metales
J	-40 a 750 °C	Hierro vs Cobre – Níquel
T	-40 a 350 °C	Cobre vs Cobre – Níquel
K	-40 a 1200 °C	Níquel – Cromo vs Níquel
E	-40 a 900 °C	Níquel – Cromo vs Cobre - Níquel
N	-40 a 1200 °C	Níquel – Cromo – Silicio vs Níquel - Silicio
S	-40 a 1600 °C	Platino vs Rodio - Platino
R	0 a 1600 °C	Platino vs Rodio - Platino
B	600 a 1700 °C	Platino vs Platino - Rodio

Fuente [4]

**Figura 4. Comportamiento de la temperatura de una termocupla tipo K**



Fuente: Autores

### **3.2.2 Medición de temperatura bajo campos electromagnéticos.**

El uso de los termopares es una de las técnicas más utilizadas para realizar mediciones a altas temperaturas, pero uno de sus puntos débiles es que está limitado para el uso dentro de campos electromagnéticos, ya que si se ve expuestos a estos se generarán corrientes por los cables de los termopares lo cual se tendría una lectura de la señal errónea y no tendría ninguna relación con la temperatura. Además, su naturaleza metálica puede perturbar el patrón electromagnético dentro de la cavidad en donde se esté realizando la medición. La determinación de la temperatura en un campo electromagnético presenta varias dificultades como por ejemplo:

- La determinación de la temperatura debe realizarse directamente dentro de la superficie y no en los alrededores, ya que las microondas calientan la muestra desde su interior y no desde sus alrededores, por lo que los sensores deben mantener un buen contacto térmico con la muestra.
- Los gradientes térmicos desarrollados durante el calentamiento con microondas obligan a que se requiera más de un sensor para su evaluación.
- Mantener un buen contacto con la muestra puede ser difícil debido a los cambios del tamaño de la muestra durante el procesamiento o a su movimiento. Los procedimientos convencionales de determinación de temperatura utilizando termopares no son apropiados cuando se trata de un ambiente electromagnético. La presencia de un probador metálico en la cavidad puede causar problemas por interferencia electromagnética dándose distorsiones en el campo eléctrico afectando la electrónica utilizada por la instrumentación del sensor, así como errores debido a su auto-calentamiento, conducción de calor, apantallamiento, además de un

excesivo calentamiento localizado particularmente en el extremo del sensor [5].

### 3.3. Control de encendido por ciclos

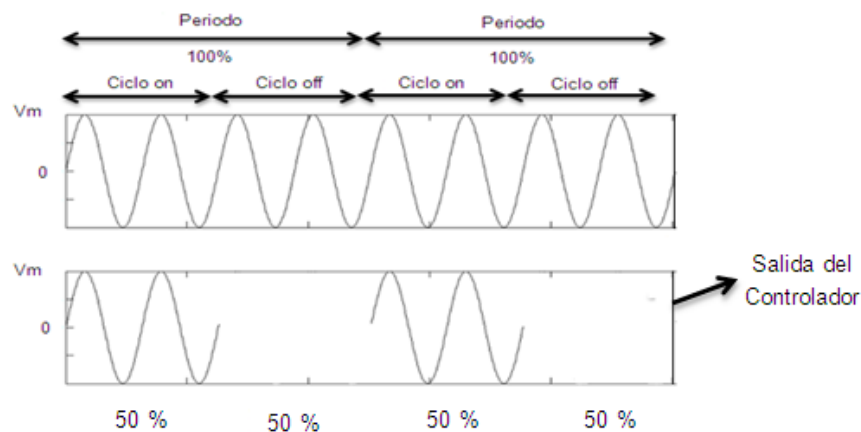
Para controlar el calentamiento en un sistema de control de temperatura existen distintos tipos de control, donde el on/off es el más sencillo. Sin embargo, cuando se requiere reducir los errores de estado estacionario se utilizan controladores PID (Proporcional – Integral – Derivativo) los cuales son más apropiados aunque se requiera un poco más de ajustes para lograr el objetivo.

#### 3.3.1 Control On - Off

El control On – Off consiste en activar el magnetrón cuando la temperatura se encuentre por debajo de la temperatura deseada o punto de ajuste y desactivarlo cuando la temperatura esté por arriba de la deseada [6]

En la figura 5 se observa claramente el proceso de este tipo de control

**Figura 5. Control on/off**



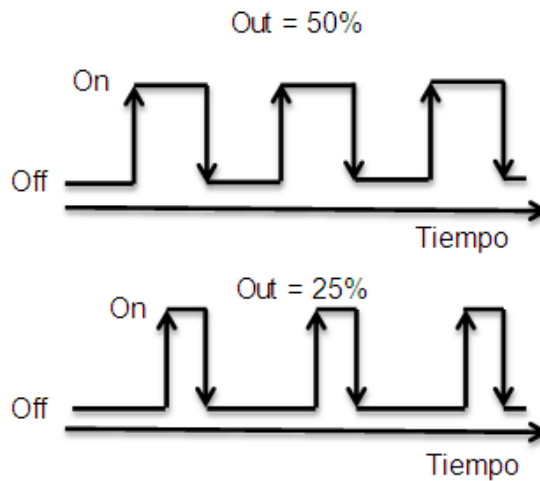
**Fuente: Autores**

### 3.3.2 Control proporcional de tiempo variable

Este tipo de control entrega una potencia entre 0 y 100% según lo requiera el sistema y es proporcional al error. Dicho error es la diferencia entre la temperatura deseada y la temperatura del proceso [6].

Para llevar a cabo la variación de la potencia se modula el tiempo de activación del magnetrón o tiempo de ciclo, de manera que se obtenga la potencia deseada (Figura 6).

**Figura 6. Controlador proporcional de tiempo variable**



**Fuente: Autores**

## **4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA**

### **4.1 Antecedentes**

En [7] el encendido y apagado del magnetron se realizó con un programa realizado en Labview mediante un control on - off y la habilitación de las termocupas se realiza mediante un relé que se encarga de cerrar el circuito para que el acondicionador de señal realice la toma de tensión suministrada por la termocupla.

En [8] se usó un multiplexor que permitía seleccionar la termocupla con la cual se quería obtener la medida de temperatura y el sistema de control para el encendido y apagado del magnetron se realizó en Labview y se dejó una opción de tipo manual para llevar a cabo dicho control.

### **4.2. Requerimientos del sistema**

Para llevar a cabo el diseño del sistema se partió de un trabajo de investigación anterior [7] y para el cual se establecieron nuevos requerimientos tanto para el sistema de medición como para el de control.

Para el sistema de medición se estableció un rango desde 10 hasta 1200°C, de tal manera que pueda usarse para diversas aplicaciones.

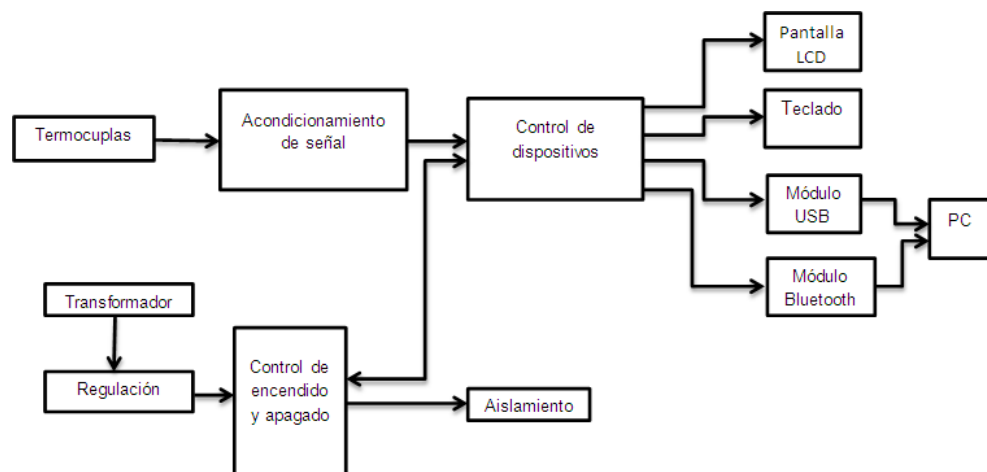
El sistema de control se definió ajustable, con el fin de que se pueda variar la potencia de la cavidad electromagnética y a su vez la temperatura a la que se quiere operar.

Como mejora se determinó la comunicación y visualización de las mediciones por diferentes medios de manera que si uno de ellos deja de funcionar se cuente con otras opciones para llevar a cabo el proceso de obtención de datos.

### 4.3. Diseño del sistema

Teóricamente se diseñó un sistema con varias etapas que incluyen los requerimientos mencionados anteriormente. En la figura 7 se detallan las etapas constituidas.

**Figura 7. Diagrama de bloques del sistema**



**Fuente: Autores**

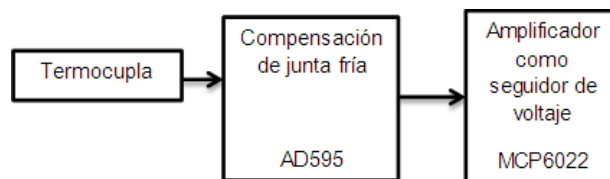
Como primera instancia se tiene una etapa de acondicionamiento de la señal para los sensores haciendo que las tensiones tomadas por ellos puedan manipularse fácilmente. En la etapa denominada control de dispositivos se lleva a cabo la configuración para los distintos tipos de comunicación y visualización, así como los dispositivos de entrada. El control de encendido y apagado hace referencia al control del magnetrón mediante una acción On – Off y una acción proporcional que permita la variación de potencia de la cavidad modulando el tiempo de ciclo.

Partiendo de las condiciones mencionadas anteriormente se realizaron tres tarjetas: Sistema de sensado, Control y Potencia con el fin de tener mejor distribución y registro en cada etapa. A continuación se presenta cada una de ellas.

#### 4.3.1. Sistema de Sensado

Este sistema está compuesto básicamente por las termocuplas y por la etapa de acondicionamiento. En la figura 8 se ilustra el diagrama de bloques correspondientes a esta tarjeta y en la figura 9 se muestra la tarjeta impresa.

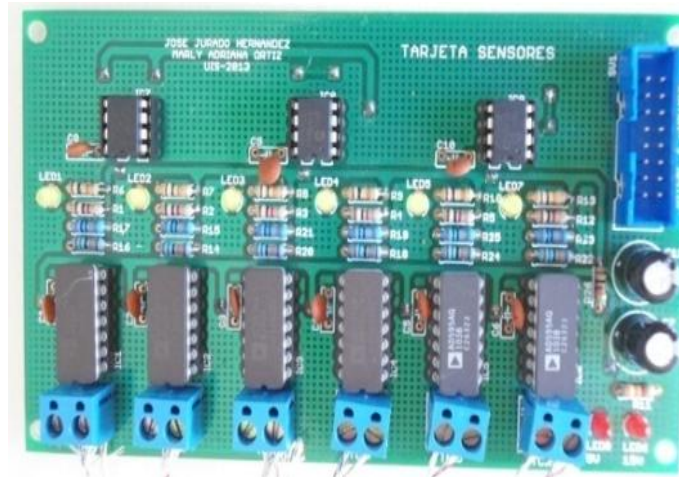
**Figura 8. Diagrama de bloques para el sistema de sensado**



**Fuente: Autores**

Se usaron en total seis termocuplas, seis integrados AD595 y tres MCP6022 ya que cada encapsulado cuenta con dos amplificadores.

**Figura 9. Tarjeta sensores**



**Fuente: Autores**

#### **4.3.1.1 Termocuplas tipo k**

Este tipo de termocupla además de ser económica posee un amplio rango de medición que abarca temperaturas desde  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

#### **4.3.1.2 Compensación de junta fría AD595**

Dado que las tensiones provenientes de las termocuplas tipo k son muy pequeñas es necesario amplificar, linealizar y llevar a cabo una compensación de junta fría. Para llevar a cabo este acondicionamiento se usaron AD595 (Ver Anexo A), uno para cada termocupla. Este acondicionador produce a la salida una tensión de  $10\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ . Su alimentación viene de una fuente de  $15\text{ V}$ , la cual permite obtener temperaturas de alrededor de  $1200^{\circ}\text{C}$ .

Otro circuito integrado que permite realizar compensación de junta fría es el LT1025 de Linear Technology con el cual se obtiene a la salida una tensión de  $10\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$  pero su tensión de alimentación es de  $36\text{ V}$  y la disponibilidad en el mercado no es muy común. Así mismo, el circuito integrado LTK001 de la misma

compañía que el anterior permite la compensación de junta fría y adicionalmente cuenta con un amplificador pero su tensión de salida es de  $40.6\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  y su tensión de alimentación es de 20 V. De igual manera, la disponibilidad en el mercado es limitada.

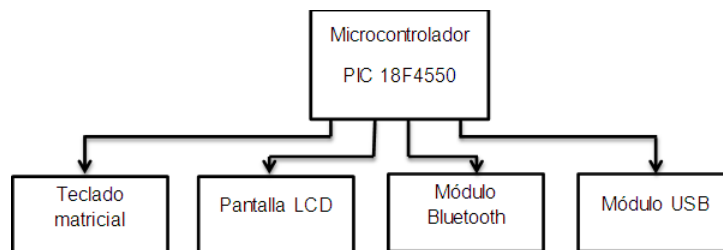
#### 4.3.1.3 Amplificador MCP6022

Inicialmente se introduce un divisor de tensión de manera que la tensión de salida de la termocupla pueda establecerse en un rango de 0 a 5 V y que correspondan a 0 y 1200 °C respectivamente, ya que se requiere llevar estas señales a un microcontrolador alimentado a 5 V, como se verá en la etapa de control. Dicho divisor está conformado por dos resistencias de 150 k $\Omega$  y 100 k $\Omega$ . La tensión que sale del divisor se conecta a un MCP6022 (Ver Anexo B) que funciona como un seguidor de voltaje y eleva la corriente de tal forma que se pueda conectar a la tarjeta de control.

#### 4.3.2. Tarjeta de control

En la figura 10 se muestra el diagrama de bloques correspondiente a la tarjeta de control.

**Figura 10. Diagrama de bloques tarjeta de control**



**Fuente: Autores**

Esta tarjeta tiene conexión a la tarjeta de sensores y a la de potencia. Está compuesta básicamente por un microcontrolador PIC18F4550, un módulo bluetooth RN41, un conector USB, un teclado matricial y una pantalla LCD. La figura 11 corresponde a la tarjeta impresa.

**Figura 11. Tarjeta de control**



**Fuente: Autores**

#### **4.3.2.1 Microcontrolador PIC 18F4550**

El PIC18F4550 (Ver Anexo C) tiene 40 pines, es de muy bajo costo comparando con otros microcontroladores, cuenta con puerto serial y trabaja a frecuencia de 48 MHz.

Este microcontrolador está encargado de controlar el teclado, la pantalla, las lecturas de las termocuplas y establecer una comunicación por el USART<sup>2</sup> y por el módulo bluetooth hacia el computador, los cuales se visualizan mediante una interfaz gráfica en Labview. Adicionalmente este microcontrolador se conecta con el microcontrolador ubicado en la tarjeta de potencia enviándole una señal de control que activará el Triac, como podrá verse en la próxima sección. En el Anexo

---

<sup>2</sup> Transmisor-Receptor Asíncrono Universal. Periférico incorporado en los microcontroladores para establecer comunicación con dispositivos que soportan el estándar RS - 232

L pueden verse los diagramas de flujo correspondientes a la programación realizada para este microcontrolador.

Cuando se diseña un proyecto con un PIC, se debe diseñar un circuito completo, que incluye una fuente de alimentación, la sección del oscilador, la entrada del sensor, diversos productos y, posiblemente, una interfaz de programación. La Arduino es simplemente un diseño envasados, comúnmente conocida como una placa de desarrollo, incluyendo todos los requisitos de diseño comunes mencionadas anteriormente. En lugar de utilizar un Arduino, usted podría comprar una placa de desarrollo PIC o diseñar y construir su propio tablero del desarrollo del PIC.

#### **4.3.2.2 Módulo RN41**

Este módulo es el encargado de establecer comunicación vía bluetooth entre el microcontrolador y la interfaz gráfica diseñada en Labview, de manera que se puedan monitorear las mediciones realizadas por las termocuplas y se pueda hacer un análisis comparativo con los monitoreos hechos con otro medio de comunicación o visualización. La razón por la cual se seleccionó este módulo es por su tamaño, ya que es pequeño y se ajusta perfectamente a la tarjeta elaborada. (Ver Anexo D)

El modulo bluetooth HC-06 utiliza el protocolo UART RS 232 serial. Es ideal para aplicaciones inalámbricas, fácil de implementar con PC, Microcontrolador o Módulos ARDUINOS. Compatible con el protocolo Bluetooth V2.0. Voltaje de alimentación: 3.3VDC - 6VDC. Baud rate ajustable: 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200 el tamaño de 4.4 cm x 1.6 cm x 0.7 cm. El modulo bluetooth HC-05, configurable maestro/esclavo, módulo de largo alcance, opera a bajo voltaje de 1.8 a 3.6 V/O, algunas especificaciones: la frecuencia de banda ISM 2.4GHz, interfaz UART con la velocidad en baudios programable. Pero punto en

contra de estos dos módulos nombrados anteriormente es La dependencia de la coordinación es uno de los puntos negros de UART, y la solución es USART (recepción-transmisión síncrona/asíncrona universal). Puede actuar igual que UART, pero también como un protocolo síncrono. Sincronización de datos, pero también del reloj. En cada pulso de reloj se indica al receptor que capte el bit. Los protocolos sincronizados, por contra, necesitan un mayor ancho de banda, o de una conexión extra para el reloj, como es el caso de SPI o I2C.

#### **4.3.2.3 Conector USB**

Este conector es tipo B y realiza la comunicación por puerto serial al computador y muestra los datos a través de una interfaz gráfica elaborada en Labview. La finalidad es comparar las mediciones obtenidas con el módulo RN41 y la pantalla LCD.

#### **4.3.2.4 Pantalla LCD**

La pantalla que se usó es de cuatro líneas y puede mostrar veinte caracteres por línea. Debido a que se requiere mostrar la medición de seis termocuplas y el promedio de sus valores, dicha pantalla se ajusta a estos requerimientos. Adicionalmente cuenta con un reóstato con el cual se configura la intensidad de la pantalla. (Ver Anexo E)

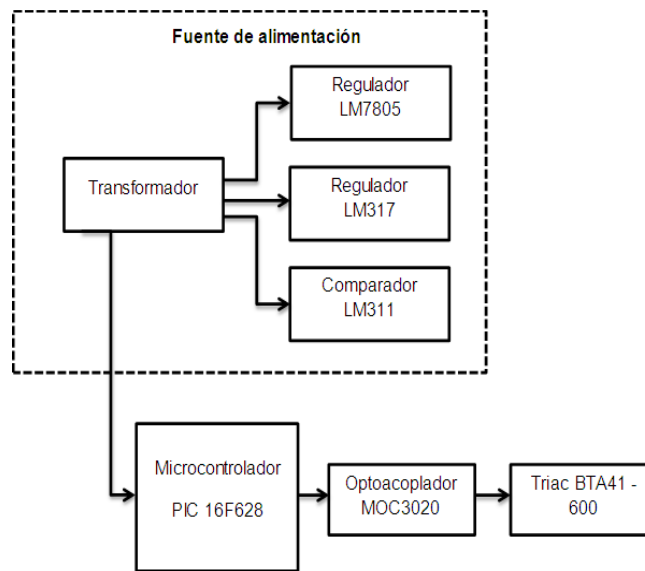
#### **4.3.2.5 Teclado matricial**

El teclado matricial usado es de cuatro por cuatro, con el cual se puede escoger las diferentes opciones: monitoreo, control, configuración, activación y desactivación de termocuplas. (Ver Anexo F)

### 4.3.3. Tarjeta de potencia

En la figura 12 se muestra el diagrama de bloques realizado para la tarjeta de potencia.

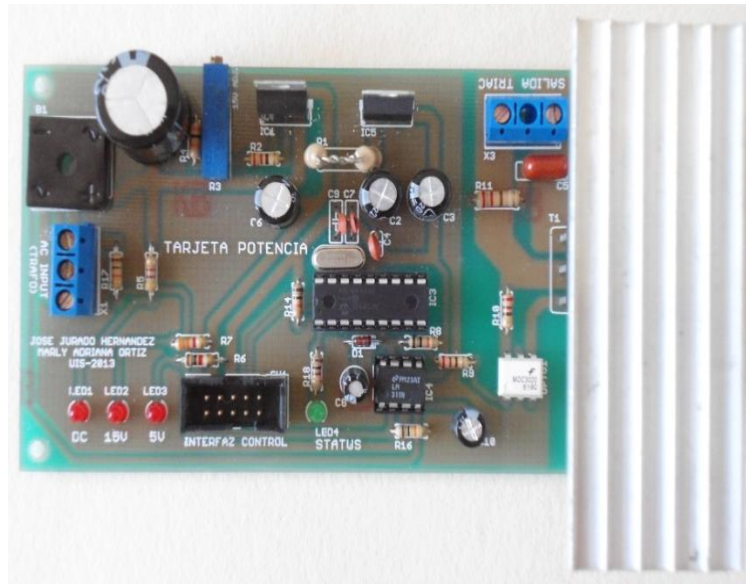
**Figura 12. Diagrama de bloques tarjeta de potencia**



**Fuente: Autores**

La tarjeta está compuesta básicamente por un Triac BT41-600, una fuente de alimentación, un microcontrolador PIC16F628 y un optoacoplador MOC3020.

**Figura 13. Tarjeta de Potencia**



**Fuente: Autores**

#### **4.3.3.1 Fuente de alimentación**

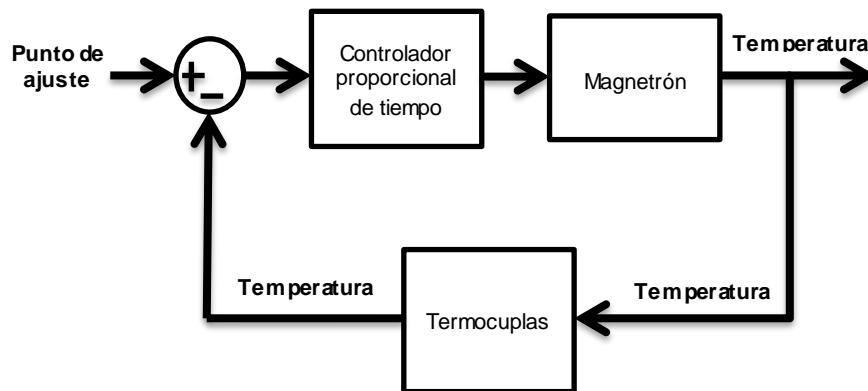
Está conformada por un transformador con TAP central, un regulador LM317 (Ver Anexo H) y un regulador LM7805 (Ver Anexo I). La fuente de alimentación proporciona tensiones entre 0 y 15 V de tal forma que pueda alimentar los acondicionadores de señal, el circuito de alarma, el microcontrolador y los demás componentes presentes en las otras dos tarjetas.

#### **4.3.3.2 Microcontrolador PIC 16F628**

El microcontrolador PIC16F628 (Ver Anexo J) está encargado de hacer la comunicación con el microcontrolador proveniente de la tarjeta de control a través de la USART interna mediante comunicación cruzada. Adicionalmente, en este microcontrolador se realizó el diseño de un algoritmo que permite ejecutar el

control de encendido o apagado del magnetrón mediante un controlador proporcional de tiempo variable el cual hace la variación de potencia para el horno microondas. Cuando dicha potencia es igual al 100% el control se comporta como un control on/off. Con este controlador se introduce un error en estado estable. En la figura 14 se ilustra el diagrama de bloques correspondiente al sistema de control

**Figura 14. Diagrama de bloques para el sistema de control**



**Fuente: Autores**

Se usó otro microcontrolador para garantizar que el proceso realizado sea veloz y no interfiera con las ejecuciones del control de los dispositivos de entrada y salida.

#### **4.3.3.3 Optoacoplador MOC 3020**

El optoacoplador MOC3020 (Ver Anexo K) es el encargado de realizar la interfaz de disparo que controla al Triac. Recibe la señal de control desde la tarjeta de control y le envía la señal de disparo al Triac. Un optoacoplador tiene una mayor velocidad de conmutación que un relé. Esta característica puede ser de gran valor en aplicaciones en las que el tiempo de respuesta sea primordial, además del

aislamiento eléctrico, nos proporciona un aislamiento galvánico, protegiéndole de las posibles perturbaciones de campo.

Un optoacoplador analógico clásico es el PC817, con un fotodiodo infrarrojo (emisor) y un fototransistor (detector) que nos ofrece en su salida los pines Colector-Emisor, para tomar allí “*en forma aislada y proporcional*”, las variaciones de intensidad luminosa que entregue el LED infrarrojo. Además, este optoacoplador analógico es el que más utilizamos, hablan de una corriente en forma directa de 10mA. Este optoacoplador es muy sensible a los cambios de corrientes.

#### **4.3.3.4 Triac BTA41 – 600**

El Triac es un dispositivo electrónico de bajo costo que permite conectar grandes cargas y su ciclo de vida es más prolongado que el de un relé (Ver Anexo G). En este caso, el Triac recibe los disparos proporcionados por el microcontrolador proveniente de la tarjeta de control y permite el paso de la señal que se encuentra en su entrada. Para poder tomar este elemento fue nos basamos en la información del datasheet, este Triac tienes las siguientes propiedades: tiene aislamiento, la corriente pico que soporta es 400(A) y su corriente de trabajo es de 40(A), añadiendo que su voltaje es de 600(V) y no corriente de sensibilidad. Por estas características fue escogido y no como por ejemplo el Triac BT A 20 - 600 bw.

#### **4.4. Resultados Experimentales**

En este ítem se muestran los resultados obtenidos de las pruebas realizadas al terminar el sistema. Se hicieron medidas de temperatura para poder comparar los resultados de nuestro sistema con los resultados del termómetro marca fluke.

Para llevar a cabo las pruebas se usó un horno microondas Marca Simply, el cual trabaja con una potencia de 1000 [W] y un recipiente elaborado en arcilla con seis perforaciones, el cual puede apreciarse en la figura 15.

**Figura 15. Recipiente**



**Fuente: Autores**

La materia prima utilizada para llevar a cabo las pruebas fue carburo de silicio (Figura 16). Este material presenta varias ventajas: puede ser utilizado en dispositivos que impliquen trabajar en condiciones extremas de temperatura, voltaje y frecuencia. El Carburo de Silicio puede soportar un gradiente de voltaje o de campo eléctrico hasta ocho veces mayor que el silicio o el arseniuro de galio sin que sobrevenga la ruptura.

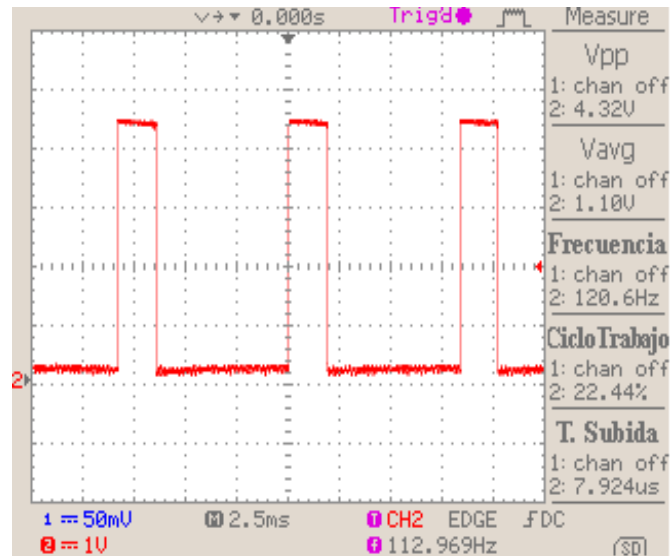
**Figura 16. Carburo de Silicio**



**Fuente: Autores**

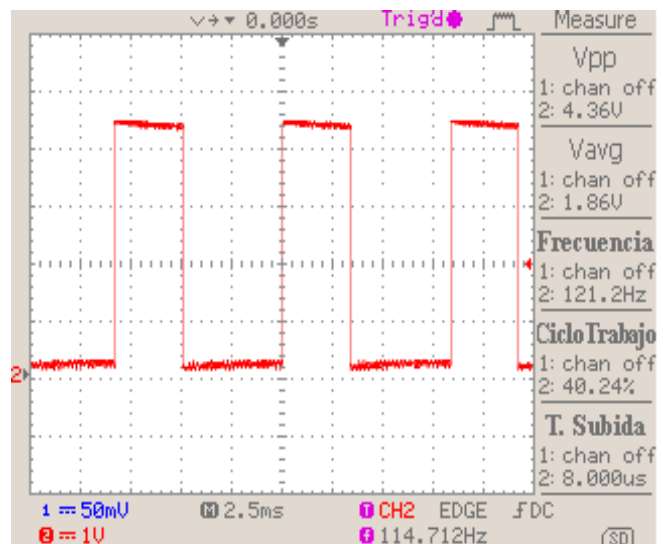
Como primera medida, se obtuvieron las gráficas correspondientes al control proporcional variando la potencia.

**Figura 17. Control proporcional con potencia al 20%**



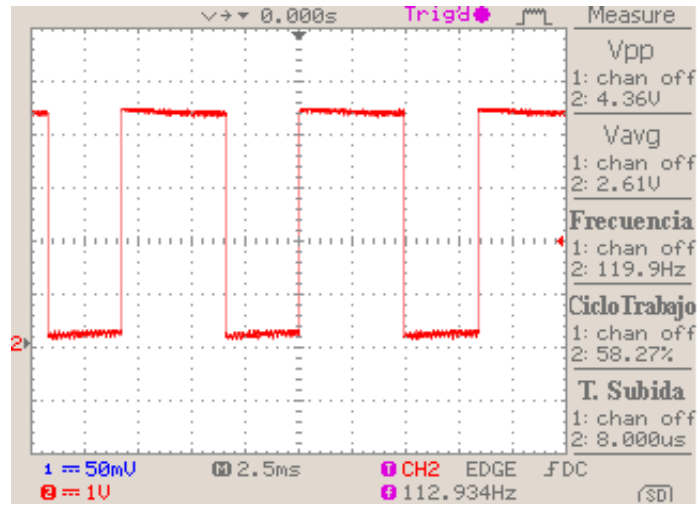
Fuente: Autores

**Figura 18. Control proporcional con potencia al 40%**



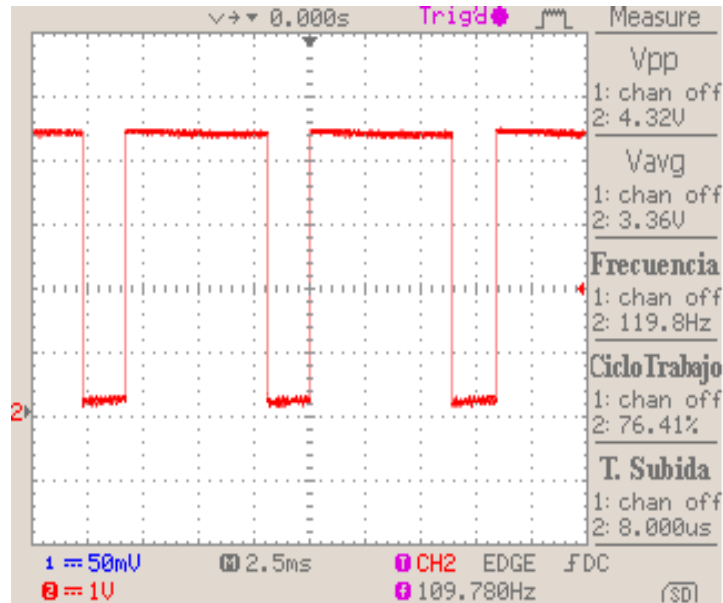
Fuente: Autores

**Figura 19. Control proporcional con potencia al 60%**



Fuente: Autores

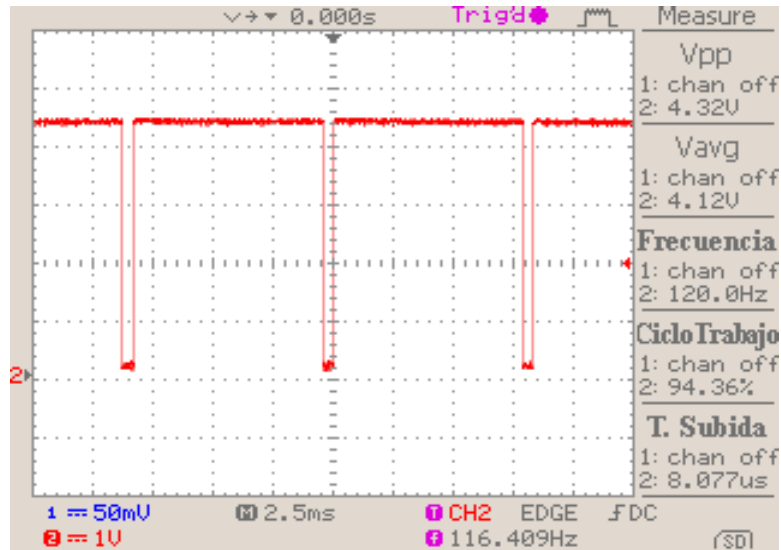
**Figura 20. Control proporcional con potencia al 80%**



Fuente: Autores

Cuando la potencia es el 100% el control se comporta como un control On – Off, como se observa en la figura 21.

**Figura 21. Control On – Off (Potencia al 100%)**



**Fuente: Autores**

Se hicieron pruebas con la pantalla LCD, con la intención de comprobar que el sistema realmente cumplía con el control de encendido por ciclos, teniendo en cuenta los tiempo para medir la temperatura. Esta medida se puede corroborar con un osciloscopio modelo TD220 de la marca Tektronix. Dichas medidas se tomaron para verificar la forma de la onda de salida al triac y hacer el control de la potencia entregada al magnetrón.

Todas las pruebas se hicieron con un control on/off. A este tipo de control se le hicieron varias modificaciones para implementar el control proporcional teniendo en cuenta el porcentaje de potencia entregada al magnetrón. Este tipo de control es en lazo cerrado debido a que la temperatura real del interior del horno es comparada con una temperatura de referencia, es decir la que el horno debe seguir (punto de ajuste), según los datos de ajuste introducidos.

#### **4.4.1. Interfaz del control de encendido**

La pantalla principal mostrada en la LCD contiene varios aspectos de configuración. Las partes se describen a continuación.

En la pantalla se muestran las cuatro primeras opciones para seleccionar. En la primera opción el monitoreo, en la segunda el encendido del control, en la tercera las termocuplas y por último la configuración del control. Cada opción se puede seleccionar con el teclado matricial, señalando el número que acompañe a la opción que desea.

En el monitor se pueden visualizar las mediciones correspondientes a las seis termocuplas y su promedio. En este paso se dejó una opción para poder encender el magnetrón con la tecla numeral (#) y así observar el efecto de tener encendido el magnetrón y las termocuplas al mismo tiempo.

En la opción de configuración se puede ver el estado de las termocuplas, si se tiene un uno quiere decir que esta activada y midiendo, por el contrario si se tiene un cero quiere decir que está desactivada y ese valor no se muestra.

En esta última opción cabe resaltar ciertos aspectos. Todos los datos se pueden guardar con la letra "B" que se encuentra en el teclado. Para salir de esta opción solo deber marca la letra "D" y para borrar se usa la letra "C".

Este menú se divide en cuatro opciones:

1. Valor de temperatura en grados Celsius al cual se quiere llevar, conocido como punto de ajuste.
2. Tiempo que el horno demora calentando desde que inicia el control hasta el primer ciclo de monitoreo de la temperatura, este tiempo está en segundos.

3. Tiempo de monitoreo, este nombre se debe a que una vez transcurrido el magnetrón se apaga para que la termocupla registre la medida de temperatura y no este afectada por las ondas emitidas del magnetrón. Este tiempo se vuelve cíclico, hasta que la temperatura llegue a su punto de selección.
4. Potencia en términos porcentuales. Tiene una escala del 1 al 100% para tener todos los rangos de variación.

#### **4.4.2. Recomendaciones antes de usar el sistema**

- a. Verificar que todas las termocuplas se encuentren en buen estado, si alguna termocupla no cumple con este requisito de induce un error en la medida.
- b. Al conectar los cables de alimentación que van desde el triac hasta el elevador de voltaje del horno, se debe tener cuidado con el condensador ubicado al interior del horno puede estar cargado y representa un peligro para el operario.
- c. En el molde que se introducen las termocuplas se deben ubicar en la parte inferior para evitar la interacción con las ondas electromagnéticas. Adicionalmente es importante tener en cuenta la distancia y la posición de las termocuplas respecto al magnetrón, con el fin de verificar que el calentamiento dentro de la cavidad no es homogéneo.
- d. El tiempo de monitoreo es elemental para llegar al punto de selección de temperatura. Si este tiempo no es suficiente para calentar el material y aumentar de temperatura, se queda oscilando en cierto rango pero no alcanza el punto requerido. Este rango depende del punto de ajuste y del tiempo de monitoreo.

#### 4.4.3. Calibración del sistema de medición de temperatura

Para la calibración del sistema se hicieron dos pruebas generales, una a temperatura constante y la otra con una temperatura variable con el propósito de compensar las mediciones.

En la tabla 3 se plasman las distancias de cada una de las termocuplas tomando tres ejes: X, Y y Z. Siendo x la distancia de eje vertical, y la altura y z la distancia de la diagonal desde el magnetrón.

**Tabla 3. Ubicación de las termocuplas**

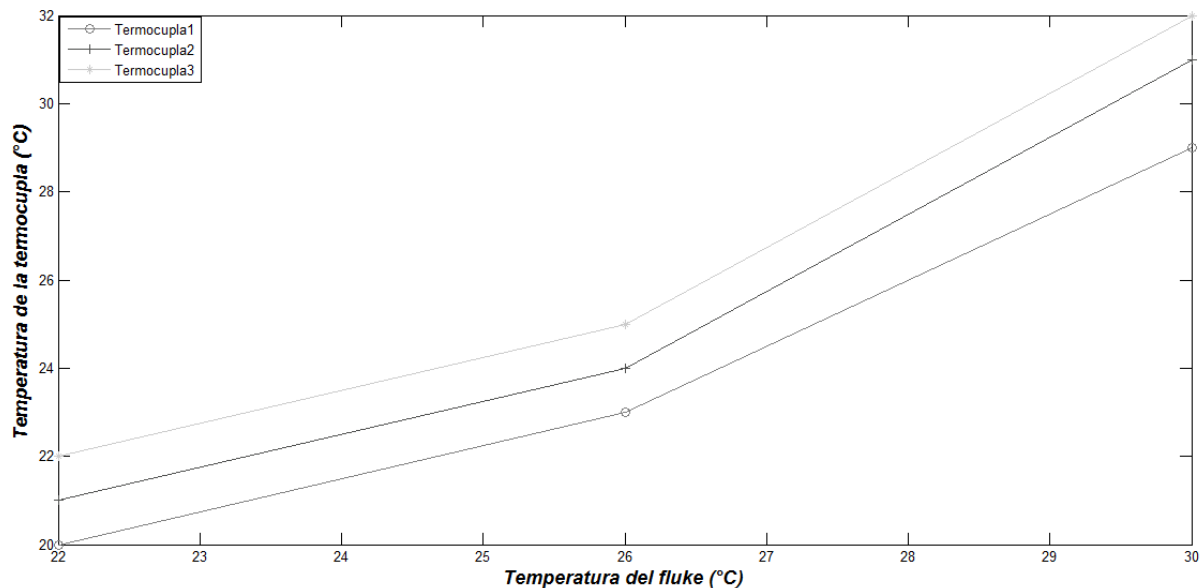
Termocupla	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
1	4,80	1,00	11,00
2	1,50	1,00	8,77
3	1,00	1,00	8,77
4	5,30	1,00	11,00
5	5,50	1,00	5,75
6	5,20	1,00	5,75

**Fuente: Autores**

##### 4.4.3.1 Calibración a temperatura constante

En esta parte de la calibración se introdujeron las termocuplas por debajo del molde, teniendo en cuenta la posición y profundidad de cada una de ellas. Se usó carburo de silicio para realizar las pruebas. Se registraron los datos obtenidos por el termómetro marca Fluke 52 y se compararon con valores arrojados por el sistema. En la figura 22 y la tabla 5 se pueden observar los resultados:

**Figura 22.** Calibración de las termocuplas a temperaturas ambiente con las medidas de cada termocuplas



Fuente: Autores

**Tabla 4.** Calibración de las termocuplas a temperaturas ambiente tomando la diferencia de cada termocupla

Fluke (°C)	Promedio (°C)	Dif. 1 (°C)	Dif. 2 (°C)	Dif. 3 (°C)	Dif. 4 (°C)	Dif. 5 (°C)	Dif. 6 (°C)
22,0	21,7	1,7	1,6	1,0	1,6	0,6	1,6
22,2	22,3	1,2	2,2	0,2	0,8	0,8	2,8
22,5	22,2	2,5	1,5	1,5	0,5	1,5	1,5
23,0	23,2	2,0	2,0	1,0	0,0	4,0	2,0
23,1	23,3	2,1	3,1	1,1	1,9	3,9	1,9
23,4	23,8	1,4	2,4	1,4	1,6	3,6	2,6
24,0	24,5	1,0	2,0	1,6	0,8	3,3	4,2
24,4	24,5	2,4	3,4	0,4	1,4	3,6	4,6

24,6	24,8	2,6	1,6	0,6	0,6	3,4	3,4
25,0	25,3	3,4	2,3	0,5	1,5	2,3	4,2
25,3	26,0	2,3	3,3	0,7	1,7	2,7	4,7
25,5	25,2	3,5	2,5	0,5	0,5	1,5	3,5
26,0	25,5	3,5	3,1	2,6	1,7	2,9	4,3
26,1	26,3	3,1	2,1	0,1	0,9	1,9	3,9
26,3	26,3	4,3	2,3	0,3	0,3	2,7	4,7
27,0	27,5	2,3	1,7	0,4	0,3	2,2	4,0
27,4	27,8	2,4	1,4	0,6	0,4	1,6	4,6
27,8	28,3	1,8	1,8	0,2	0,2	2,2	4,2
28,0	28,7	3,3	2,3	1,2	0,4	3,5	5,3
28,3	28,8	2,3	1,3	0,3	0,7	2,7	3,7
28,6	29,3	1,6	1,6	1,6	1,4	3,4	4,4
29,0	30,5	1,5	0,7	0,8	1,6	4,2	5,0
29,5	30,8	2,5	1,5	0,5	1,5	3,5	7,5
29,6	30,3	3,6	2,6	1,6	1,4	4,4	6,4
30,0	32,7	1,0	2,2	1,3	2,2	7,0	8,5
30,5	32,7	2,5	1,5	1,5	1,5	5,5	8,5
30,7	33,0	2,7	1,7	1,3	2,3	7,3	7,3
Promedio de las diferencias		2,4	2,1	0,9	1,1	3,2	4,4

**Fuente: Autores**

Se observó que los promedios y los datos tomados por el termómetro difieren en sus valores. Esta condición se da porque las termocuplas ubicadas más distante del magnetron marca una gran diferencia con respecto al termómetro, pero en cambio las termocuplas que se encuentra más próximas a la ubicación del magnetron indican valores más cercanos al termómetros, por ende se hizo un

compensación para este caso, con el fin de poder establecer un valor más próximo al encontrado por el termómetro

Adicionalmente, se realizó calibración para temperaturas entre 130 y 180 °C. Las termocuplas se expusieron directamente al calor generado por una plancha ajustada a la máxima potencia.

Se hicieron varias mediciones para poder reducir el error en las pruebas, comparando las similitudes. Los datos fueron tomados cada 10 segundos. En las tablas 5 y 6 se registran los valores asociados a la medida.

**Tabla 5. Calibración de las termocuplas a temperaturas entre 130°C y 180°C con las medidas de cada termocuplas**

Fluke (°C)	Termocupla 1 (°C)	Termocupla 2 (°C)	Termocupla 3 (°C)	Termocupla 4 (°C)	Termocupla 5 (°C)	Termocupla 6 (°C)
130,3	129	130	130	131	132	133
130,6	130	129	130	131	131	133
130,7	130	130	130	131	131	134
133,5	132	132	133	134	132	135
133,6	132	133	133	133	134	135
133,9	133	134	134	134	134	136
135,0	134	134	135	136	136	136
135,5	134	134	135	136	136	136
135,8	135	135	136	136	136	137
137,4	136	136	137	138	137	137
137,6	137	137	138	138	138	138
137,9	137	138	138	138	138	138
139,0	138	138	139	139	140	140
139,5	138	138	140	139	140	140

140,2	139	139	140	140	140	140
140,8	141	140	140	141	141	141
141,7	141	140	141	142	142	142
142,6	142	141	142	142	143	143
142,9	143	142	143	143	143	143
143,7	143	143	144	144	144	144
144,6	143	143	145	145	145	145
145,4	144	144	145	145	146	145
146,5	145	145	147	147	147	146
146,9	147	147	147	147	147	147
147,8	147	147	148	148	148	148
149,6	148	150	149	150	150	150
150,5	151	150	150	151	150	151

Fuente: Autores

**Tabla 6. Calibración de las termocuplas a temperaturas entre 130°C y 180°C tomando la diferencia de cada termocupla**

Fluke (°C)	Promedio (°C)	Dif. 1 (°C)	Dif. 2 (°C)	Dif. 3 (°C)	Dif. 4 (°C)	Dif. 5 (°C)	Dif. 6 (°C)
130,3	130,8	1,3	0,3	0,3	0,7	1,7	2,7
130,6	130,7	0,6	1,6	0,6	0,4	0,4	2,4
130,7	131,0	0,7	0,7	0,7	0,3	0,3	3,3
133,5	133,0	1,5	1,5	0,5	0,5	1,5	1,5
133,6	133,3	1,6	0,6	0,6	0,6	0,4	1,4
133,9	134,2	0,9	0,1	0,1	0,1	0,1	2,1
135,0	135,2	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0
135,5	135,2	1,5	1,5	0,5	0,5	0,5	0,5

135,8	135,8	0,8	0,8	0,2	0,2	0,2	1,2
137,4	136,8	1,4	1,4	0,4	0,6	0,4	0,4
137,6	137,7	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4
137,9	137,8	0,9	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
139,0	139,0	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0
139,5	139,2	1,5	1,5	0,5	0,5	0,5	0,5
140,2	139,7	1,2	1,2	0,2	0,2	0,2	0,2
140,8	140,7	0,2	0,8	0,8	0,2	0,2	0,2
141,7	141,3	0,7	1,7	0,7	0,3	0,3	0,3
142,6	142,2	0,6	1,6	0,6	0,6	0,4	0,4
142,9	142,8	0,1	0,9	0,1	0,1	0,1	0,1
143,7	143,7	0,7	0,7	0,3	0,3	0,3	0,3
144,6	144,3	1,6	1,6	0,4	0,4	0,4	0,4
145,4	144,8	1,4	1,4	0,4	0,4	0,6	0,4
146,5	146,2	1,5	1,5	0,5	0,5	0,5	0,5
146,9	147,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
147,8	147,7	0,8	0,8	0,2	0,2	0,2	0,2
149,6	149,5	1,6	0,4	0,6	0,4	0,4	0,4
150,5	150,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Promedio de las diferencias		1,0	1,0	0,4	0,4	0,5	0,8

**Fuente: Autores**

En la tabla 6 se visualiza el comportamiento de la temperatura. Se encontró que existe una diferencia pequeña en la medición con respecto a la marcada por el Fluke y el error del promedio de las diferencias no supera un grado Celsius.

#### 4.4.3.2 Calibración a temperatura variable

En este caso se empezó a variar la temperatura desde 23 °C hasta llegar a 163°C para poder mirar el comportamiento de cada termocupla. Se hallaron las diferencias promedios de cada una de las termocuplas conectadas. En las tablas 7 y 8 se ven los datos obtenidos.

**Tabla 7. Calibración de las termocuplas a temperaturas variable (23-160), con las medidas de cada termocuplas**

Fluke (°C)	Termocupl a 1 (°C)	Termocupl a 2 (°C)	Termocupl a 3 (°C)	Termocupl a 4 (°C)	Termocupl a 5 (°C)	Termocupl a 6 (°C)
23,4	22	23	24	24	25	24
28,7	26	26	27	27	28	29
33,4	32	32	33	33	34	35
37,8	36	36	37	37	38	39
42,8	42	42	43	44	44	43
48,4	47	48	49	49	50	49
51,5	50	50	52	52	54	53
56,9	55	55	56	56	58	59
64,8	63	64	64	65	66	66
73,7	72	72	73	73	75	75
88,4	87	87	88	88	90	89
91,4	90	90	91	91	92	93
99,3	98	98	98	99	99	101
104,7	103	103	103	103	106	106
109,8	109	109	110	110	112	110
123,5	122	122	123	124	125	125
129,7	128	129	129	129	131	131
130,4	129	129	130	130	131	132

135,1	134	134	135	134	135	137
139,4	138	139	139	140	140	142
142,8	141	143	142	142	143	144
148,9	147	149	148	149	149	150
150,5	148	150	150	151	152	152
154,8	153	154	154	154	156	156
157,9	156	157	157	158	159	160
160,4	159	160	160	160	161	162
162,6	161	162	162	163	163	163

Fuente: Autores

**Tabla 8. Calibración de las termocuplas a temperaturas variable (23-160), tomando la diferencia de cada termocupla**

Fluke (°C)	Promedio (°C)	Dif. 1 (°C)	Dif. 2 (°C)	Dif. 3 (°C)	Dif. 4 (°C)	Dif. 5 (°C)	Dif. 6 (°C)
23,4	23,7	1,4	0,4	0,6	0,6	1,6	0,6
28,7	27,2	2,7	2,7	1,7	1,7	0,7	0,3
33,4	33,2	1,4	1,4	0,4	0,4	0,6	1,6
37,8	37,2	1,8	1,8	0,8	0,8	0,2	1,2
42,8	43,0	0,8	0,8	0,2	1,2	1,2	0,2
48,4	48,7	1,4	0,4	0,6	0,6	1,6	0,6
51,5	51,8	1,5	1,5	0,5	0,5	2,5	1,5
56,9	56,5	1,9	1,9	0,9	0,9	1,1	2,1
64,8	64,7	1,8	0,8	0,8	0,2	1,2	1,2
73,7	73,3	1,7	1,7	0,7	0,7	1,3	1,3
88,4	88,2	1,4	1,4	0,4	0,4	1,6	0,6
91,4	91,2	1,4	1,4	0,4	0,4	0,6	1,6
99,3	98,8	1,3	1,3	1,3	0,3	0,3	1,7

104,7	104,0	1,7	1,7	1,7	1,7	1,3	1,3
109,8	110,0	0,8	0,8	0,2	0,2	2,2	0,2
123,5	123,5	1,5	1,5	0,5	0,5	1,5	1,5
129,7	129,5	1,7	0,7	0,7	0,7	1,3	1,3
130,4	130,2	1,4	1,4	0,4	0,4	0,6	1,6
135,1	134,8	1,1	1,1	0,1	1,1	0,1	1,9
139,4	139,7	1,4	0,4	0,4	0,6	0,6	2,6
142,8	142,5	1,8	0,2	0,8	0,8	0,2	1,2
148,9	148,7	1,9	0,1	0,9	0,1	0,1	1,1
150,5	150,5	2,5	0,5	0,5	0,5	1,5	1,5
154,8	154,5	1,8	0,8	0,8	0,8	1,2	1,2
157,9	157,8	1,9	0,9	0,9	0,1	1,1	2,1
160,4	160,3	1,4	0,4	0,4	0,4	0,6	1,6
162,6	162,3	1,6	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4
Promedio de las diferencias		1,6	1,1	0,7	0,6	1,0	1,3

**Fuente: Autores**

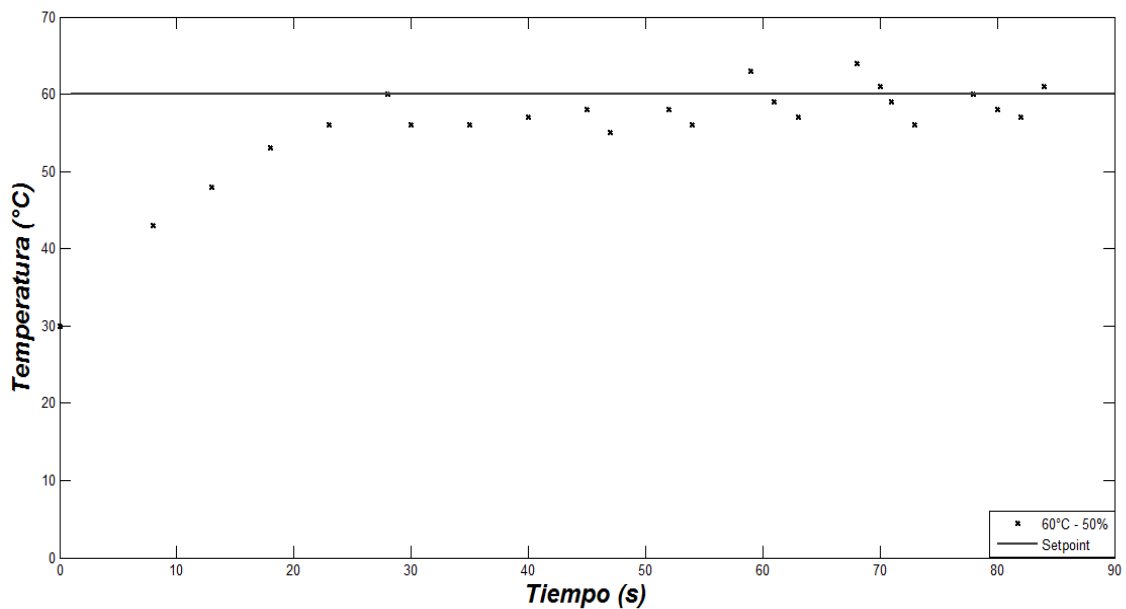
En las tablas 7 y 8 se observa que el promedio de las diferencias se mantiene por debajo de los dos grados, la mayor es de 1,6°C que es la termocupla más alejada con respecto al magnetrón, pero vale la pena señalar que la termocupla número seis está más cerca del magnetrón, y los grados que supera la temperatura registrada por el termómetro es de 1,3°C.

#### 4.4.4. Variación de la potencia

Una vez verificadas las señales obtenidas por el control variando la potencia de entrada y el control On – Off, se procedió a obtener los datos de distintas temperaturas con variación de potencia.

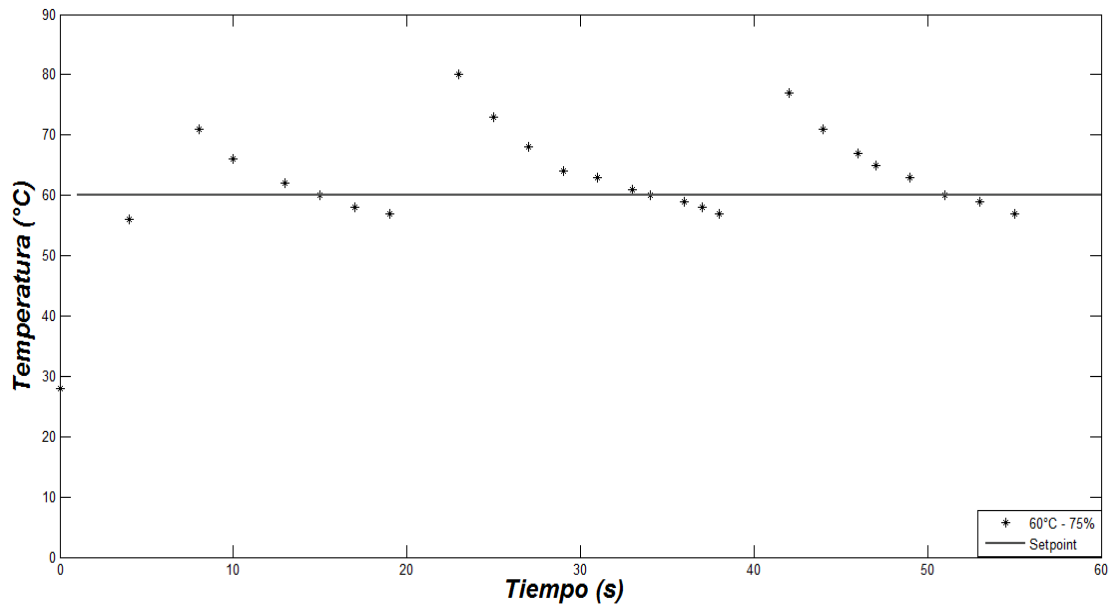
Se establecieron tres puntos de temperatura para realizar el respectivo ajuste de temperatura: 60°C, 120°C y 180 °C para obtener un aumento proporcional de temperatura. Adicionalmente, se varía la potencia en tres puntos 50, 75 y 100%. En las figuras 23, 24 y 25 se muestran los resultados obtenidos para un punto de ajuste de 60°C, variando la potencia a 50%, 75% y 100% respectivamente.

**Figura 23. Temperatura a 60°C y potencia a 50%**



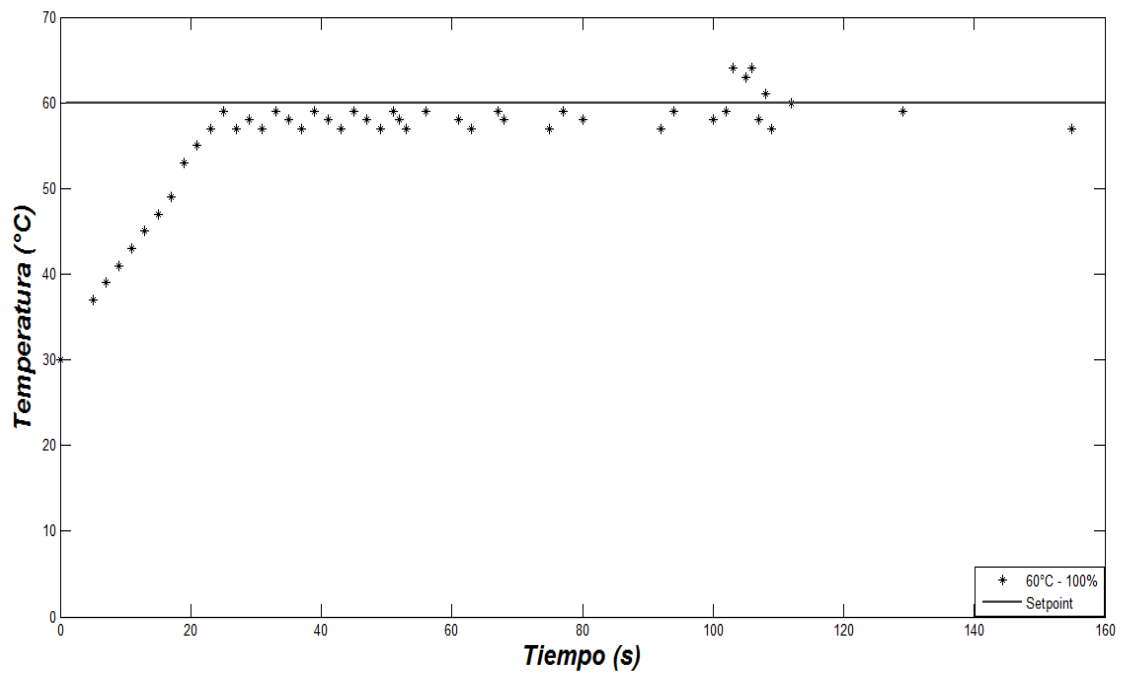
**Fuente: Autores**

**Figura 24.** Temperatura a 60°C y potencia a 75%



Fuente: Autores

**Figura 25.** Temperatura a 60°C y potencia a 100%

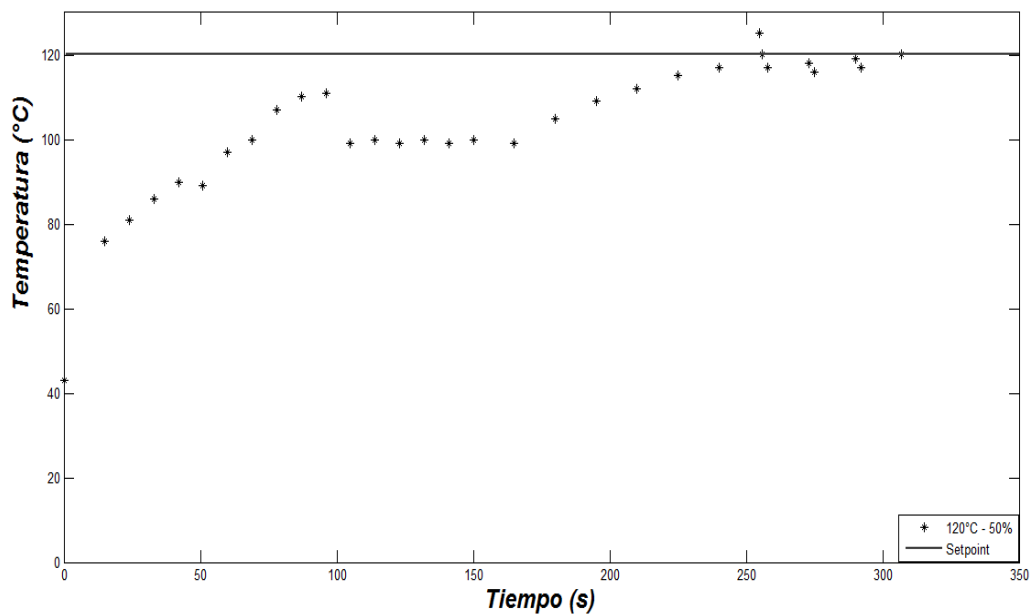


Fuente: Autores

En estas graficas se puede observar que para potencias iguales al 50%, el tiempo en que se demora en llegar al punto de ajuste es mayor. Las oscilaciones después de que alcanza el punto de ajuste son marcadas por el tiempo de monitoreo, este tiempo es cinco segundos, suficientes para que la temperatura caiga por debajo de 2 y 3 grados del punto de referencia. Cuando la potencia es de 75% el sistema adquiere el punto de ajuste mucho más rápido que las de más condiciones, pero sus oscilaciones sobre el punto de referencia son mayores. Al llegar a 80 °C, la temperatura se mantiene durante más tiempo por encima del punto de ajuste, caso contrario se presenta a una potencia de 100%. En esta prueba el tiempo de monitoreo al principio fue de 2 segundos, pero con este tiempo solo obtuvieron 59°C y después de 109 segundos se cambió el tiempo de monitoreo a 3 segundos para alcanzar los 60°C y mantenerlo durante 4 segundos.

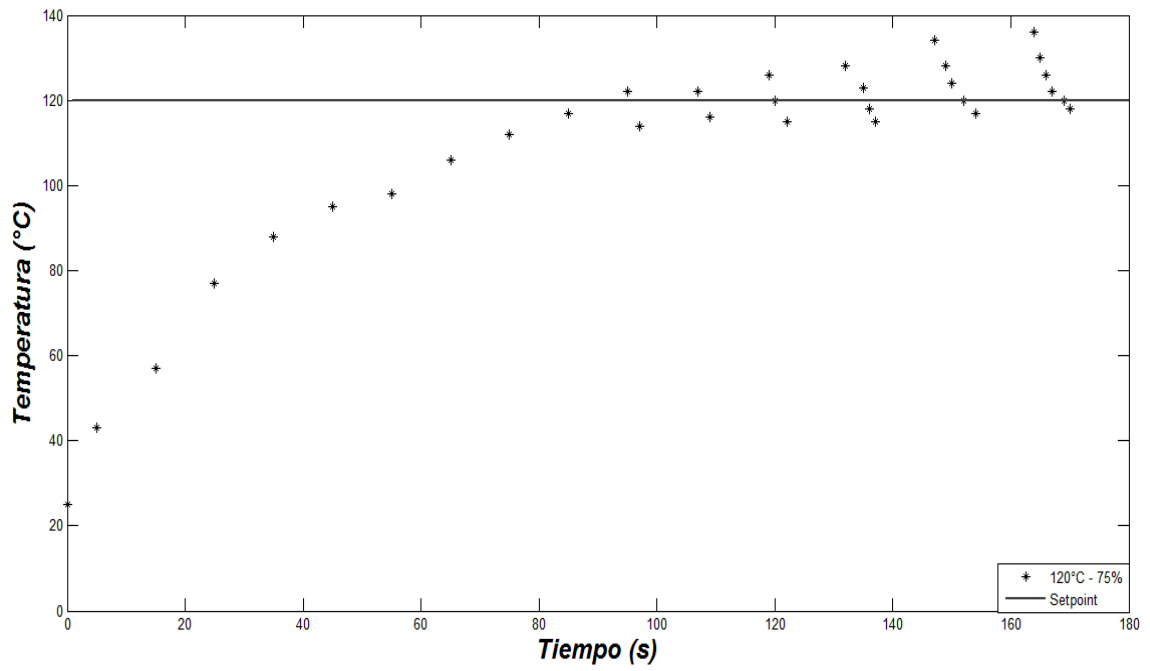
En las figuras 26, 27 y 28 se muestran los resultados obtenidos para un punto de ajuste de 120°C, variando la potencia a 50%, 75% y 100% respectivamente.

**Figura 26. Temperatura a 120°C y potencia a 50%**



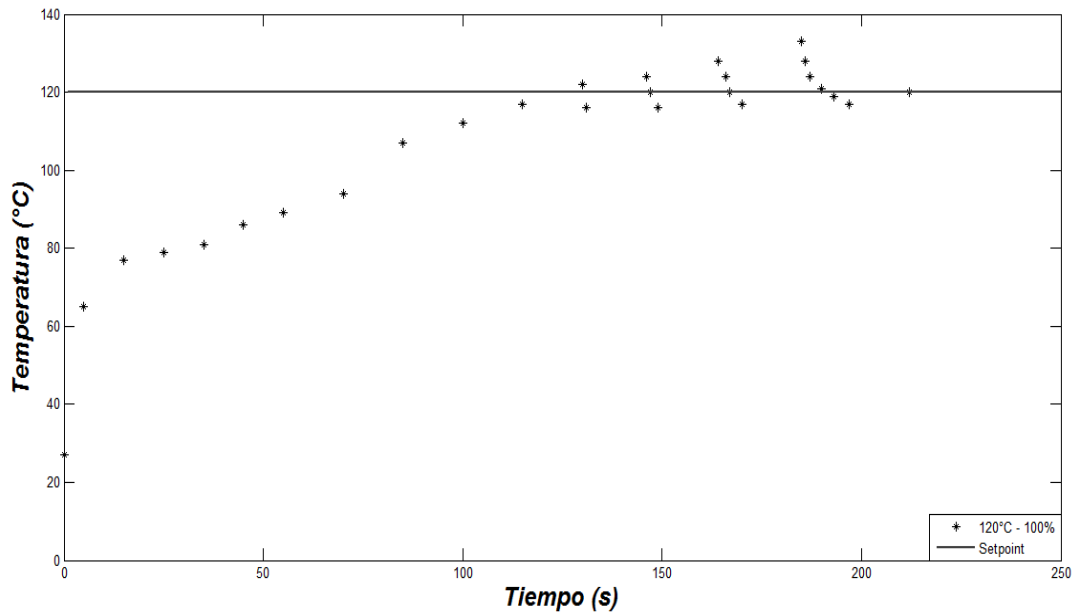
Fuente: Autores

**Figura 27. Temperatura a 120°C y potencia a 75%**



**Fuente: Autores**

**Figura 28. Temperatura a 120°C y potencia a 100%**

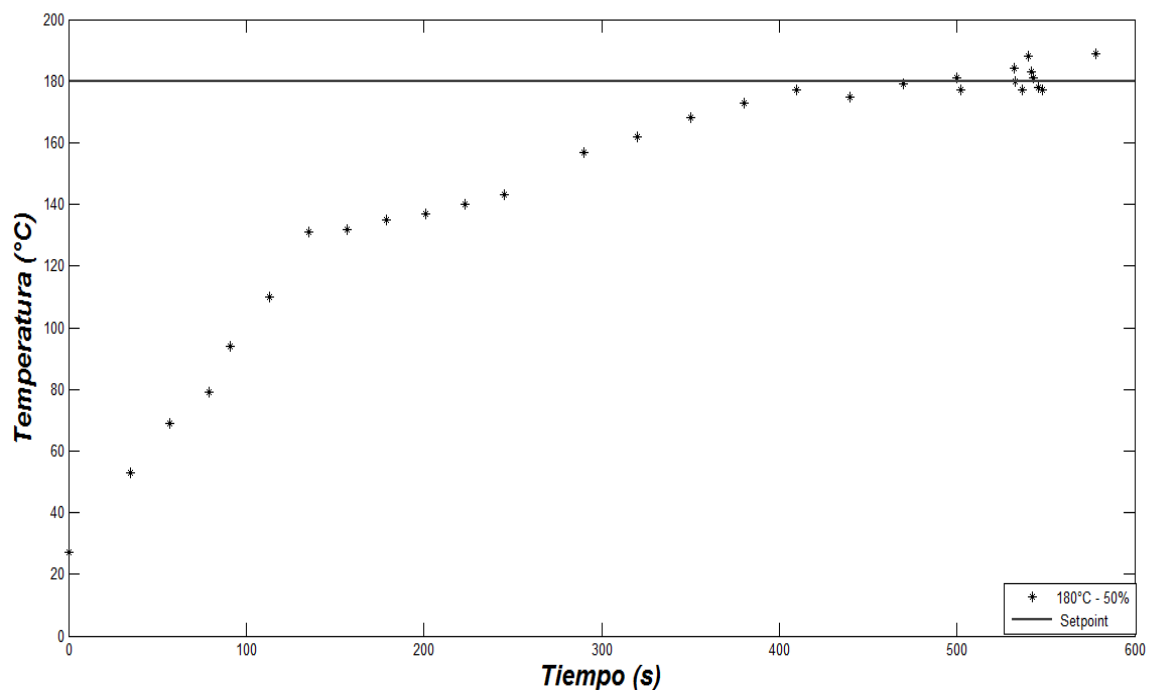


**Fuente: Autores**

El tiempo inicial para la potencia de 50% fue de 15 segundos con un tiempo de monitoreo de 9 segundos. Se puede observar una caída de temperatura después de 105 segundos y para suprimirla se cambió el tiempo de monitoreo a 15 segundos asegurando que el material se caliente y llegue al punto planteado. Las mediciones realizadas con las otras potencias presentan un comportamiento es igual al de 60°C, el primero en llegar al punto de ajuste es cuando tenemos una potencia de 75% y sus oscilaciones son más fuertes en comparación de las demás potencias.

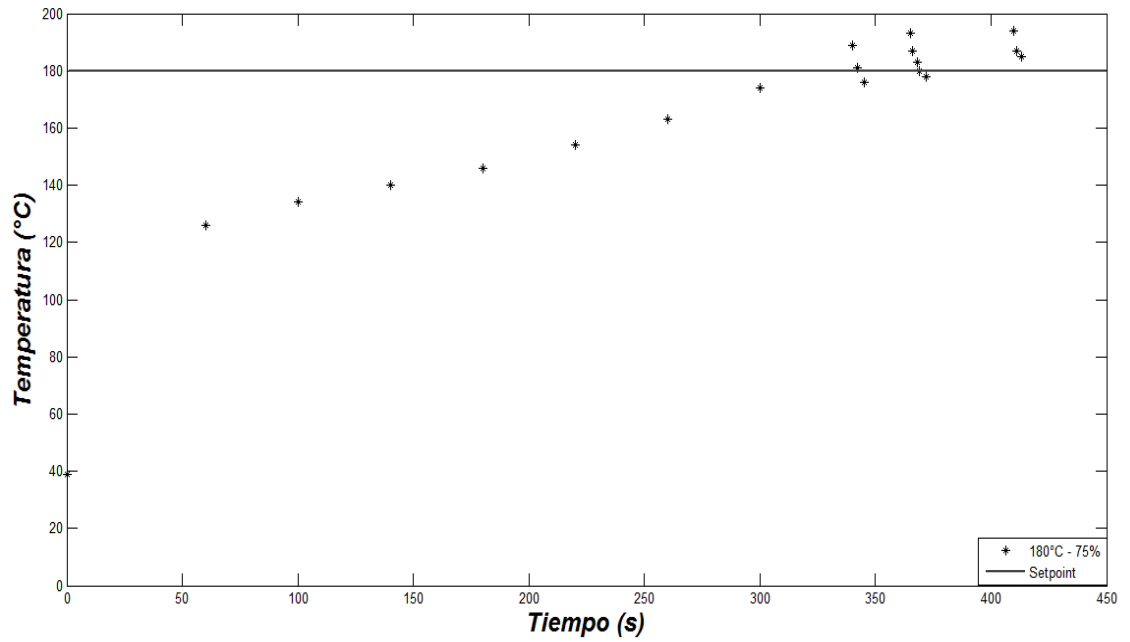
En las figuras 29, 30 y 31 se muestran los resultados obtenidos para un punto de ajuste de 180°C, variando la potencia a 50%, 75% y 100% respectivamente.

**Figura 29. Temperatura a 180°C y potencia a 50%**



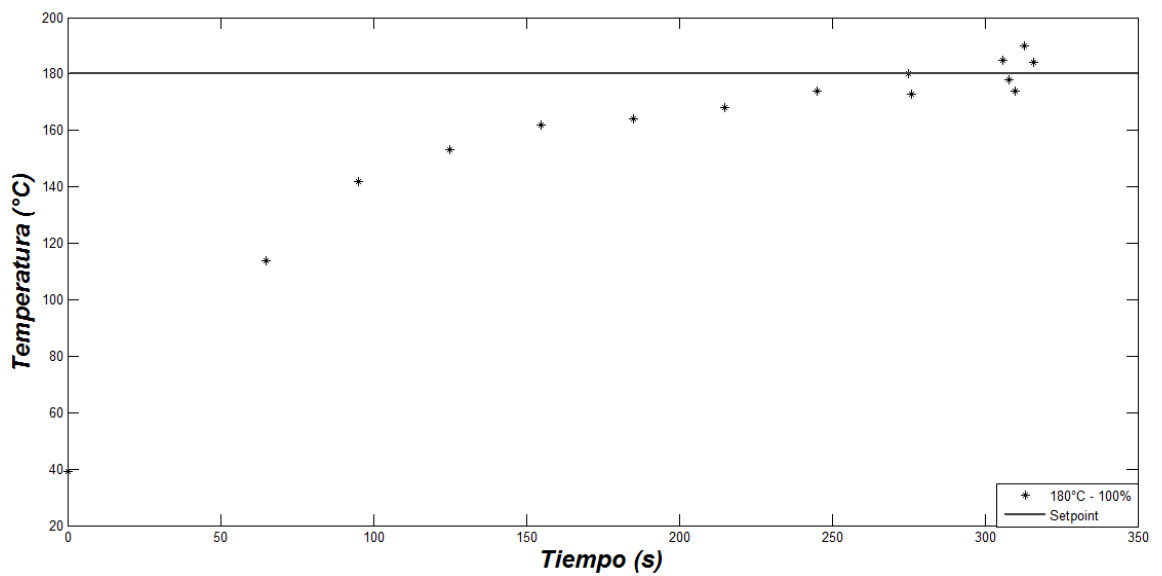
Fuente: Autores

**Figura 30. Temperatura a 180°C y potencia a 75%**



**Fuente: Autores**

**Figura 31. Temperatura a 180°C y potencia a 100%**

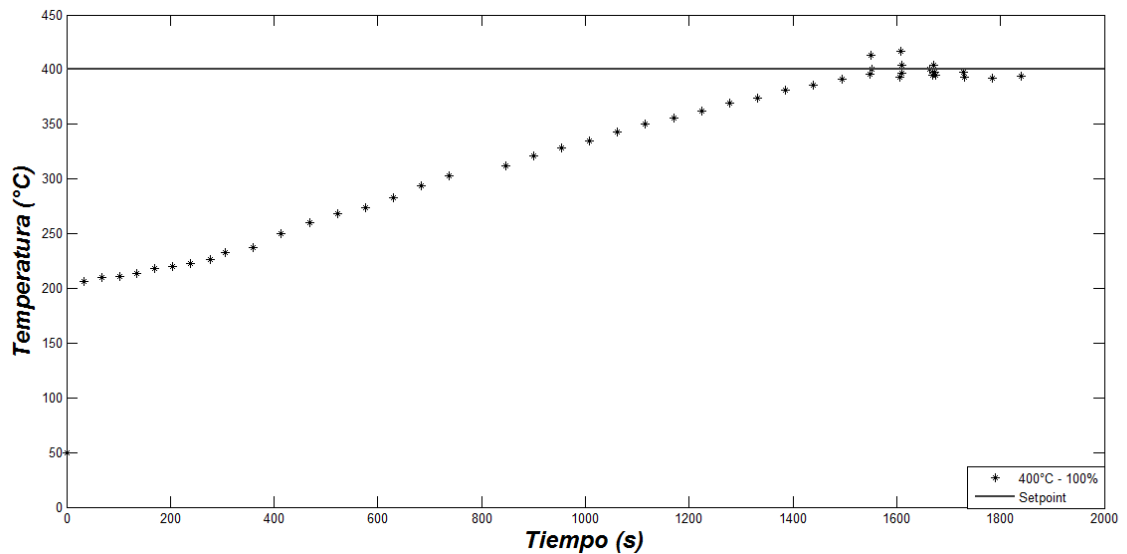


**Fuente: Autores**

Todos tienen tiempo inicial diferente, dependiendo de la potencia. Para una potencia de 50%, el tiempo inicial fue 35 segundos y el tiempo de monitoreo fue de 22 segundos, pero al llegar al punto de referencia se puede decir que las oscilaciones son menores con respecto a las demás potencias y puede llegar a 190 y 194 °C. Cuando alcanza un punto mayor a 120°C, la potencia al 100% se incrementa con menor tiempo que la potencia al 75%.

Finalmente, se realizó una prueba a 400 °C. Solo fue posible realizarla a una potencia de 100% debido a que la corriente del sistema presenta picos de 32 [A] y al disminuir la potencia el consumo de corriente se eleva. En la figura 32 se presentan los resultados obtenidos.

**Figura 32. Temperatura a 400°C y potencia a 100%**



**Fuente: Autores**

Al principio se origina un salto a 206 °C, pero después de este salto el comportamiento de la temperatura adquiere una forma casi lineal, como se ilustra en la figura 32. Se observa que no tiene sobrepicos altos y sus oscilaciones no

son fuertes, pues siempre se mantendrá alrededor de 5 °C por encima del punto de ajuste.

Para temperaturas superiores a los 400 °C no se pudieron llevar a cabo pruebas puesto que el magnetrón del horno microondas convencional se ve limitado por factores que se desconocen y se dejan como investigación para un trabajo de grado posterior. Adicionalmente, los picos de corriente que se generan al operar a dichas temperaturas son de 32 [A] lo cual implica un posible daño en las tarjetas elaboradas y en el horno ya que la corriente máxima que éste soporta es de 8,7 [A]

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se cumplieron todos los objetivos aprobados en el plan propuesto para el trabajo de grado.

Cuando se tomaron las mediciones se pudo observar que cuando el magnetrón esta encendido se producen picos altos de temperatura debido a la incidencia de las ondas electromagnéticas en las termocuplas. Por esta razón, es necesario que dichas mediciones se lleven a cabo mientras el magnetrón está apagado de tal manera que se pueda asegurar que la temperatura tomada es la correcta.

Para potencias menores a 50% de la potencia generada por el horno microondas no fue posible mantener ni obtener la temperatura de ajuste debido a que el tiempo de encendido y apagado del magnetrón no es suficiente para calentar el carburo de silicio. Así mismo, se genera una conmutación muy seguida y la corriente se eleva hasta 20 [A], mientras que a potencias mayores la corriente se mantiene alrededor de 12[A].

Se pudo observar que la temperatura en una cavidad electromagnética rectangular no es homogénea. Por tanto, las mediciones tomadas con las termocuplas son diferentes ya que se encuentran ubicadas en diferentes posiciones. La termocupla más cerca al magnetrón marca mayor temperatura y a medida que se alejan las demás se disminuye su medida.

La diferencia de temperatura presentada en las mediciones de las termocuplas con respecto a las mediciones tomadas con el fluke se ve influenciada por el

ajuste realizado en la etapa de sensado mediante el acondicionamiento de las señales donde se escogió un rango amplio que abarca desde 0 °C hasta 1200 °C haciendo que las medidas presenten cierto grado de inexactitud

El dato a validar fue el de la termocupla ubicada en la misma posición de la termocupla del termómetro. Estos datos se pudieron validar con el termómetro marca fluke. No se compara el valor de termómetro con el valor promedio mostrado en la pantalla ya que el calentamiento de la cavidad electromagnética rectangular no es homogéneo.

Respecto a trabajos de investigación anteriores [7] y [8] se mejoraron aspectos como el control de encendido y apagado del magnetrón, la variación de potencia y los distintos medios de comunicación y visualización de las mediciones tomadas por las termocuplas.

Para temperaturas superiores a los 400 °C no se pudieron llevar a cabo pruebas puesto que el magnetrón del horno microondas convencional se ve limitado por factores que se desconocen y se dejan como investigación para un trabajo de grado posterior. Adicionalmente, los picos de corriente que se generan al operar a dichas temperaturas son de 32 [A] lo cual implica un posible daño en las tarjetas elaboradas y en el horno ya que la corriente máxima que éste soporta es de 8,7 [A]

Se rediseñó un sistema de medición de temperatura para usar en una cavidad electromagnética de microondas. Esta versión actualizada del proyecto inicial (2003-2005-2012) aún puede mejorarse en su implementación en un dispositivo portable e integrable al sistema de un horno de microondas convencional.

## BIBLIOGRAFÍA

Astigarraga Urquiza, J. Astigarraga Uribe, J. Hornos de alta frecuencia y microondas. Teoría, cálculo y aplicaciones. McGraw-Hill. 1995. [3]

Braun, Eliécer. Electromagnetismo: De la ciencia a la tecnología. Capítulo XXVI. 1992. Obtenido de [http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/112/htm/sec\\_28.htm](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/112/htm/sec_28.htm)  
Consulta realizada el 7 de Abril de 2013. [2]

Carvajal, W., Aguirre, R. Interacción de las microondas con trazas de oro en muestras provenientes de los municipio se California y Vetas (Santander). Trabajo de grado. Grupo CEMOS. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2012. [8]

Giraldo, C., Gualdrón, J., Méndez, J. Desarrollo de un sistema de medición de temperatura y detección de fugas de microondas para el estudio de la interacción térmica microondas-pavimento. Tesis de grado. Grupo CEMOS, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2004. [5]

Huilcamaigua, A., Santillán, A. Diseño y construcción de un medidor de potencia de RF en banda X del kit de microondas Degem – System, con interface a la pc. Tesis de grado. Escuela Politécnica del Ejército. Sangolquí – Ecuador, 2011. [1]

Lopez, P. S. (s.f.). *Sistemas de control y regulación*. Obtenido de <http://perso.orange.es/pascusantos/>  
Consulta realizada el 5 de Abril de 2013. [6]

Metring Instrumentación C.A. *Principios básicos de termocuplas*. Obtenido de <http://www.metring.com/notes/HI-10-10-MT2009.pdf>

Consulta realizada el 5 de Abril de 2013. [4]

Ortiz, F., Rojas Y. Diseño y construcción de un equipo para tratamiento térmico de pavimento con microondas. .Tesis de grado. Grupo CEMOS, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2003. [7]

## ANEXOS

## Anexo A. Hoja de datos AD595

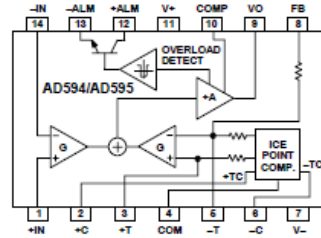


## Monolithic Thermocouple Amplifiers with Cold Junction Compensation

### AD594/AD595

**FEATURES**  
 Pretrimmed for Type J (AD594) or  
 Type K (AD595) Thermocouples  
 Can Be Used with Type T Thermocouple Inputs  
 Low Impedance Voltage Output: 10 mV/°C  
 Built-In Ice Point Compensation  
 Wide Power Supply Range: +5 V to ±15 V  
 Low Power: <1 mW typical  
 Thermocouple Failure Alarm  
 Laser Wafer Trimmed to 1°C Calibration Accuracy  
 Setpoint Mode Operation  
 Self-Contained Celsius Thermometer Operation  
 High Impedance Differential Input  
 Side-Brazed DIP or Low Cost Cerdip

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



## AD594/AD595—SPECIFICATIONS (@ +25°C and $V_S = 5$ V, Type J (AD594), Type K (AD595) Thermocouple, unless otherwise noted)

Model	AD594A		AD594C		AD595A		AD595C		Units
	Min	Typ	Min	Typ	Min	Typ	Min	Max	
<b>ABSOLUTE MAXIMUM RATING</b>									
+ $V_S$ to - $V_S$		36		36		36		36	Volts
Common-Mode Input Voltage	- $V_S - 0.15$	+ $V_S$	- $V_S - 0.15$	+ $V_S$	- $V_S - 0.15$	+ $V_S$	- $V_S - 0.15$	+ $V_S$	Volts
Differential Input Voltage	- $V_S$	+ $V_S$	- $V_S$	+ $V_S$	- $V_S$	+ $V_S$	- $V_S$	+ $V_S$	Volts
Alarm Voltages									
+ALM	- $V_S$	- $V_S + 36$	- $V_S$	- $V_S + 36$	- $V_S$	- $V_S + 36$	- $V_S$	- $V_S + 36$	Volts
-ALM	- $V_S$	+ $V_S$	- $V_S$	+ $V_S$	- $V_S$	+ $V_S$	- $V_S$	+ $V_S$	Volts
Operating Temperature Range	-55	+125	-55	+125	-55	+125	-55	+125	°C
Output Short Circuit to Common	Indefinite		Indefinite		Indefinite		Indefinite		
<b>TEMPERATURE MEASUREMENT</b> (Specified Temperature Range 0°C to +50°C)									
Calibration Error at +25°C <sup>1</sup>		±3		±1		±3		±1	°C
Stability vs. Temperature <sup>2</sup>		±0.05		±0.025		±0.05		±0.025	°C/°C
Gain Error		±1.5		±0.75		±1.5		±0.75	%
Nominal Transfer Function		10		10		10		10	mV/°C
<b>AMPLIFIER CHARACTERISTICS</b>									
Closed Loop Gain <sup>3</sup>		193.4		193.4		247.3		247.3	
Input Offset Voltage		(Temperature in °C) × 51.70 μV/°C		(Temperature in °C) × 51.70 μV/°C		(Temperature in °C) × 40.44 μV/°C		(Temperature in °C) × 40.44 μV/°C	μV
Input Bias Current		0.1		0.1		0.1		0.1	μA
Differential Input Range	-10	+50	-10	+50	-10	+50	-10	+50	mV
Common-Mode Range	- $V_S - 0.15$	- $V_S - 4$	- $V_S - 0.15$	- $V_S - 4$	- $V_S - 0.15$	- $V_S - 4$	- $V_S - 0.15$	- $V_S - 4$	Volts
Common-Mode Sensitivity - RTO		10		10		10		10	mV/V
Power Supply Sensitivity - RTO		10		10		10		10	mV/V
Output Voltage Range									
Dual Supply	- $V_S + 2.5$	+ $V_S - 2$	- $V_S + 2.5$	+ $V_S - 2$	- $V_S + 2.5$	+ $V_S - 2$	- $V_S + 2.5$	+ $V_S - 2$	Volts
Single Supply	0	+ $V_S - 2$	0	- $V_S - 2$	0	+ $V_S + 2$	0	+ $V_S - 2$	Volts
Usable Output Current <sup>4</sup>		±5		±5		±5		±5	mA
3 dB Bandwidth		15		15		15		15	kHz
<b>ALARM CHARACTERISTICS</b>									
$V_{CE(SAT)}$ at 2 mA		0.3		0.3		0.3		0.3	Volts
Leakage Current		±1		±1		±1		±1	μA max
Operating Voltage at -ALM		+ $V_S - 4$		+ $V_S - 4$		+ $V_S - 4$		+ $V_S - 4$	Volts
Short Circuit Current		20		20		20		20	mA
<b>POWER REQUIREMENTS</b>									
Specified Performance	+ $V_S = 5$ , - $V_S = 0$		+ $V_S = 5$ , - $V_S = 0$		+ $V_S = 5$ , - $V_S = 0$		+ $V_S = 5$ , - $V_S = 0$		Volts
Operating <sup>5</sup>	+ $V_S$ to - $V_S \leq 30$		+ $V_S$ to - $V_S \leq 30$		+ $V_S$ to - $V_S \leq 30$		+ $V_S$ to - $V_S \leq 30$		Volts
Quiescent Current (No Load)									
+ $V_S$		160 300		160 300		160 300		160 300	μA
- $V_S$		100		100		100		100	μA
<b>PACKAGE OPTION</b>									
TO-116 (D-14)		AD594AD		AD594CD		AD595AD		AD595CD	
Cerdip (Q-14)		AD594AQ		AD594CQ		AD595AQ		AD595CQ	

## Anexo B. Hoja de datos MCP6022



# MCP6021/2/3/4

### Rail-to-Rail Input/Output, 10 MHz Op Amps

## 1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

### Absolute Maximum Ratings †

$V_{DD} - V_{SS}$ .....	7.0V
All Inputs and Outputs .....	$V_{SS} - 0.3V$ to $V_{DD} + 0.3V$
Difference Input Voltage .....	$ V_{DD} - V_{SS} $
Output Short Circuit Current .....	continuous
Current at Input Pins .....	$\pm 2$ mA
Current at Output and Supply Pins .....	$\pm 30$ mA
Storage Temperature .....	$-65^{\circ}\text{C}$ to $+150^{\circ}\text{C}$
Junction Temperature .....	$+150^{\circ}\text{C}$
ESD Protection on all pins (HBM/MM) .....	$\geq 2$ kV / 200V

† Notice: Stresses above those listed under "Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operational listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

### DC CHARACTERISTICS

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$ , $V_{DD} = +2.5V$ to $+5.5V$ , $V_{SS} = \text{GND}$ , $V_{CM} = V_{DD}/2$ , $V_{OUT} = V_{DD}/2$ and $R_L = 10$ k $\Omega$ to $V_{DD}/2$ .						
Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
<b>Input Offset</b>						
Input Offset Voltage:						
Industrial Temperature Parts	$V_{OS}$	-500	—	+500	$\mu\text{V}$	$V_{CM} = 0V$
Extended Temperature Parts	$V_{OS}$	-250	—	+250	$\mu\text{V}$	$V_{CM} = 0V$ , $V_{DD} = 5.0V$
Extended Temperature Parts	$V_{OS}$	-2.5	—	+2.5	mV	$V_{CM} = 0V$ , $V_{DD} = 5.0V$ $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to $+125^{\circ}\text{C}$
Input Offset Voltage Temperature Drift	$\Delta V_{OS}/\Delta T_A$	—	$\pm 3.5$	—	$\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to $+125^{\circ}\text{C}$
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	74	90	—	dB	$V_{CM} = 0V$
<b>Input Current and Impedance</b>						
Input Bias Current	$I_B$	—	1	—	pA	
Industrial Temperature Parts	$I_B$	—	30	150	pA	$T_A = +85^{\circ}\text{C}$
Extended Temperature Parts	$I_B$	—	640	5,000	pA	$T_A = +125^{\circ}\text{C}$
Input Offset Current	$I_{OS}$	—	$\pm 1$	—	pA	
Common-Mode Input Impedance	$Z_{CM}$	—	$10^{13}  6$	—	$\Omega  \text{pF}$	
Differential Input Impedance	$Z_{DIFF}$	—	$10^{13}  3$	—	$\Omega  \text{pF}$	
<b>Common-Mode</b>						
Common-Mode Input Range	$V_{CMR}$	$V_{SS}-0.3$	—	$V_{DD}+0.3$	V	
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	74	90	—	dB	$V_{DD} = 5V$ , $V_{CM} = -0.3V$ to $5.3V$
	CMRR	70	85	—	dB	$V_{DD} = 5V$ , $V_{CM} = 3.0V$ to $5.3V$
	CMRR	74	90	—	dB	$V_{DD} = 5V$ , $V_{CM} = -0.3V$ to $3.0V$

### Pin Function Table

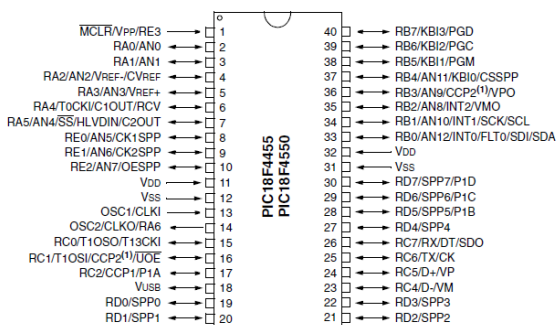
Name	Function
$V_{IN+}$ , $V_{INA+}$ , $V_{INB+}$ , $V_{INC+}$ , $V_{IND+}$	Non-inverting Inputs
$V_{IN-}$ , $V_{INA-}$ , $V_{INB-}$ , $V_{INC-}$ , $V_{IND-}$	Inverting Inputs
$V_{DD}$	Positive Power Supply
$V_{SS}$	Negative Power Supply
CS	Chip Select
$V_{REF}$	Reference Voltage
$V_{OUT}$ , $V_{OUTA}$ , $V_{OUTB}$ , $V_{OUTC}$ , $V_{OUTD}$	Outputs
NC	No Internal Connection

## Anexo C. Hoja de datos PIC18F4550



### PIC18F2455/2550/4455/4550

40-Pin PDIP



## 28.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

### Absolute Maximum Ratings<sup>(†)</sup>

Ambient temperature under bias	-40°C to +85°C
Storage temperature	-65°C to +150°C
Voltage on any pin with respect to VSS (except VDD, MCLR and RA4)	-0.3V to (VDD + 0.3V)
Voltage on VDD with respect to VSS	-0.3V to +7.5V
Voltage on MCLR with respect to VSS (Note 2)	0V to +13.25V
Total power dissipation (Note 1)	1.0W
Maximum current out of VSS pin	300 mA
Maximum current into VDD pin	250 mA
Input clamp current, I <sub>IK</sub> (V <sub>I</sub> < 0 or V <sub>I</sub> > VDD)	±20 mA
Output clamp current, I <sub>OK</sub> (V <sub>O</sub> < 0 or V <sub>O</sub> > VDD)	±20 mA
Maximum output current sunk by any I/O pin	25 mA
Maximum output current sourced by any I/O pin	25 mA
Maximum current sunk by all ports	200 mA
Maximum current sourced by all ports	200 mA

**Note 1:** Power dissipation is calculated as follows:

$$P_{dis} = V_{DD} \times \{I_{DD} - \sum I_{OH}\} + \sum \{(V_{DD} - V_{OH}) \times I_{OH}\} + \sum (V_{OL} \times I_{OL})$$

- 2:** Voltage spikes below VSS at the MCLR/VPP/RE3 pin, inducing currents greater than 80 mA, may cause latch-up. Thus, a series resistor of 50-100Ω should be used when applying a “low” level to the MCLR/VPP/RE3 pin, rather than pulling this pin directly to VSS.

## Anexo D. Hoja de datos módulo RN41



RN-41-DS

### RN41/RN41N Class 1 Bluetooth Module

#### Features

- Fully qualified Bluetooth® version 2.1 module, supports version 2.1 + Enhanced Data Rate (EDR)
- Backwards-compatible with Bluetooth version 2.0, 1.2, and 1.1
- Postage stamp sized form factor, 13.4 mm x 25.8 mm x 2 mm
- Low power (30 mA connected, < 10 mA sniff mode)
- UART (SPP or HCI) and USB (HCI only) data connection interfaces
- Sustained SPP data rates: 240 Kbps (slave), 300 Kbps (master)
- HCI data rates: 1.5 Mbps sustained, 3.0 Mbps burst in HCI mode
- Embedded Bluetooth stack profiles included (requires no host stack): GAP, SDP, RFCOMM, and L2CAP protocols, with SPP and DUN profile support
- Bluetooth SIG qualified, end product listing
- Castellated SMT pads for easy and reliable PCB mounting
- Class 1 high power amplifier with on board ceramic RF chip antenna (RN41) or without antenna (RN41N)
- Certifications: FCC, ICS, CE
- Environmentally friendly, RoHS compliant



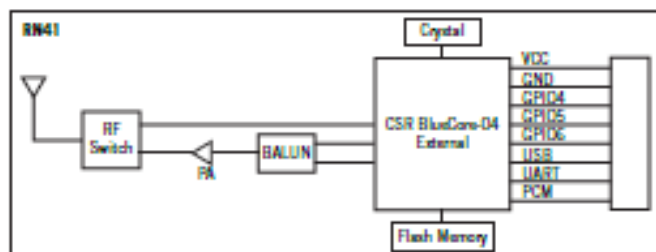
#### Applications

- Cable replacement
- Barcode scanners
- Measurement and monitoring systems
- Industrial sensors and controls
- Medical devices
- Asset tracking

#### Description

The RN41 module is a small form factor, low power, class 1 Bluetooth radio that is ideal for designers who want to add wireless capability to their products without spending significant time and money developing Bluetooth-specific hardware and software. The RN41 supports multiple interface protocols, is simple to design in, and is fully certified, making it a complete embedded Bluetooth solution. With its high-performance, on-chip antenna and support for Bluetooth EDR, the RN41 delivers up to a 3-Mbps data rate for distances up to 100 meters. The RN41 is also available without an antenna (RN41N).

Figure 1. RN41 Block Diagram



## Anexo E. Hoja de datos pantalla LCD

# HD44780U (LCD-II)

(Dot Matrix Liquid Crystal Display Controller/Driver)

# HITACHI

---

### Description

The HD44780U dot-matrix liquid crystal display controller and driver LSI displays alphanumerics, Japanese kana characters, and symbols. It can be configured to drive a dot-matrix liquid crystal display under the control of a 4- or 8-bit microprocessor. Since all the functions such as display RAM, character generator, and liquid crystal driver, required for driving a dot-matrix liquid crystal display are internally provided on one chip, a minimal system can be interfaced with this controller/driver.

A single HD44780U can display up to one 8-character line or two 8-character lines.

The HD44780U has pin function compatibility with the HD44780S which allows the user to easily replace an LCD-II with an HD44780U. The HD44780U character generator ROM is extended to generate 208  $5 \times 8$  dot character fonts and 32  $5 \times 10$  dot character fonts for a total of 240 different character fonts.

The low power supply (2.7V to 5.5V) of the HD44780U is suitable for any portable battery-driven product requiring low power dissipation.

### Features

- $5 \times 8$  and  $5 \times 10$  dot matrix possible
- Low power operation support:
  - 2.7 to 5.5V
- Wide range of liquid crystal display driver power
  - 3.0 to 11V
- Liquid crystal drive waveform
  - A (One line frequency AC waveform)
- Correspond to high speed MPU bus interface
  - 2 MHz (when  $V_{CC} = 5V$ )
- 4-bit or 8-bit MPU interface enabled
- 80  $\times$  8-bit display RAM (80 characters max.)
- 9,920-bit character generator ROM for a total of 240 character fonts
  - 208 character fonts ( $5 \times 8$  dot)
  - 32 character fonts ( $5 \times 10$  dot)

## Anexo F. Hoja de datos Teclado matricial

### 4x4 Matrix Membrane Keypad

This 16-button keypad provides a useful human interface component for microcontroller projects. Convenient adhesive backing provides a simple way to mount the keypad in a variety of applications.

#### Features

- Ultra-thin design
- Adhesive backing
- Excellent price/performance ratio
- Easy interface to any microcontroller

#### Key Specifications

- Maximum Rating: 24 VDC, 30 mA,  
Life Expectancy: 1 million closures  
Bounce time:  $\leq 5$  ms  
Insulation Resistance: 100M Ohm, @ 100V  
Dielectric Withstand: 250VRms (@ 60Hz, 1min)
- Interface: 8-pin access to 4x4 matrix
- Operating temperature: 32 to 122 °F  
(0 to 50°C).
- Dimensions:  
Keypad, 2.7 x 3.0 in (6.9 x 7.6 cm)  
Cable: 0.78 x 3.5 in (2.0 x 8.5 cm)



## Anexo G. Hoja de datos Triac BTA-41



### BTA40 and BTA/BTB41 Series

STANDARD

40A TRIACs

#### MAIN FEATURES:

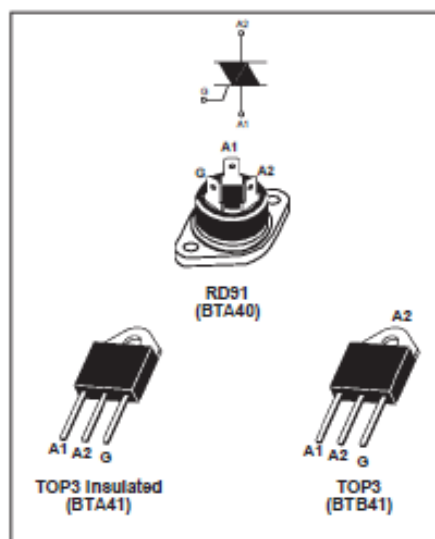
Symbol	Value	Unit
$I_{T(RMS)}$	40	A
$V_{DRM}/V_{RRM}$	600 and 800	V
$I_{GT} (Q_1)$	50	mA

#### DESCRIPTION

Available in high power packages, the BTA/BTB40-41 series is suitable for general purpose AC power switching. They can be used as an ON/OFF function in applications such as static relays, heating regulation, water heaters, induction motor starting circuits, welding equipment... or for phase control operation in high power motor speed controllers, soft start circuits...

Thanks to their clip assembly technique, they provide a superior performance in surge current handling capabilities.

By using an internal ceramic pad, the BTA series provides voltage insulated tab (rated at 2500 V RMS) complying with UL standards (File ref.: E81734).



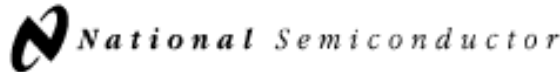
#### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit		
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current (full sine wave)	RD91	Tc = 80°C	40	A
		TOP3			
		TOP3 Ins.			
$I_{TSM}$	Non repetitive surge peak on-state current (full cycle, Tj initial = 25°C)	F = 60 Hz	t = 16.7 ms	420	A
		F = 50 Hz	t = 20 ms	400	
It	It Value for fusing	tp = 10 ms	680	As	
di/dt	Critical rate of rise of on-state current $I_G = 2 \times I_{GT}$ , tr ≤ 100 ns	F = 120 Hz	Tj = 125°C	50	A/μs
$V_{DRM}/V_{RRM}$	Non repetitive surge peak off-state voltage	tp = 10 ms	Tj = 25°C	$V_{DRM}/V_{RRM} + 100$	V
$I_{GM}$	Peak gate current	tp = 20 μs	Tj = 125°C	8	A
$P_{G(AV)}$	Average gate power dissipation	Tj = 125°C	1	W	
$T_{stg}$	Storage junction temperature range	-40 to +150	°C		
$T_j$	Operating junction temperature range	-40 to +125			

October 2001 - Ed: 4

1/6

## Anexo H. Hoja de datos LM317



May 1996

### LM117/LM317A/LM317 3-Terminal Adjustable Regulator

#### General Description

The LM117 series of adjustable 3-terminal positive voltage regulators is capable of supplying in excess of 1.5A over a 1.2V to 37V output range. They are exceptionally easy to use and require only two external resistors to set the output voltage. Further, both line and load regulation are better than standard fixed regulators. Also, the LM117 is packaged in standard transistor packages which are easily mounted and handled.

In addition to higher performance than fixed regulators, the LM117 series offers full overload protection available only in IC's. Included on the chip are current limit, thermal overload protection and safe area protection. All overload protection circuitry remains fully functional even if the adjustment terminal is disconnected.

Normally, no capacitors are needed unless the device is situated more than 6 inches from the input filter capacitors in which case an input bypass is needed. An optional output capacitor can be added to improve transient response. The adjustment terminal can be bypassed to achieve very high ripple rejection ratios which are difficult to achieve with standard 3-terminal regulators.

Besides replacing fixed regulators, the LM117 is useful in a wide variety of other applications. Since the regulator is "floating" and sees only the input-to-output differential voltage, supplies of several hundred volts can be regulated as long as the maximum input to output differential is not exceeded, i.e., avoid short-circuiting the output.

Also, it makes an especially simple adjustable switching regulator, a programmable output regulator, or by connecting a fixed resistor between the adjustment pin and output, the LM117 can be used as a precision current regulator. Supplies with electronic shutdown can be achieved by clamping

the adjustment terminal to ground which programs the output to 1.2V where most loads draw little current.

For applications requiring greater output current, see LM150 series (3A) and LM138 series (5A) data sheets. For the negative complement, see LM137 series data sheet.

#### LM117 Series Packages and Power Capability

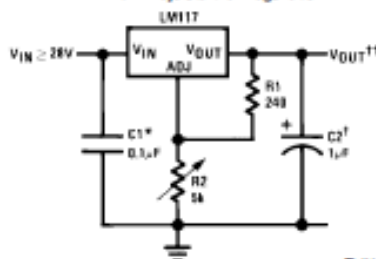
Part Number Suffix	Package	Rated Power Dissipation	Design Load Current
K	TO-3	20W	1.5A
H	TO-39	2W	0.5A
T	TO-220	20W	1.5A
E	LCC	2W	0.5A
S	TO-263	4W	1.5A

#### Features

- Guaranteed 1% output voltage tolerance (LM317A)
- Guaranteed max. 0.01%/V line regulation (LM317A)
- Guaranteed max. 0.3% load regulation (LM117)
- Guaranteed 1.5A output current
- Adjustable output down to 1.2V
- Current limit constant with temperature
- P+ Product Enhancement tested
- 80 dB ripple rejection
- Output is short-circuit protected

#### Typical Applications

##### 1.2V-25V Adjustable Regulator



TL/H-9000-1

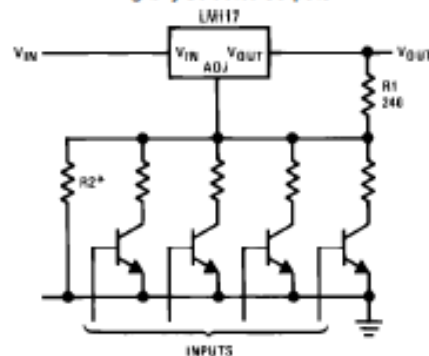
Full output current not available at high input-output voltages.

\*Needed if device is more than 6 inches from filter capacitors.

†Optional—improves transient response. Output capacitors in the range of 1  $\mu$ F to 1000  $\mu$ F of aluminum or tantalum electrolytic are commonly used to provide improved output impedance and rejection of transients.

$$\dagger V_{OUT} = 1.25V \left( 1 + \frac{R2}{R1} \right) + I_{ADJ}(R2)$$

##### Digitally Selected Outputs



TL/H-9000-2

\*Sets maximum  $V_{OUT}$

LM117/LM317A/LM317 3-Terminal Adjustable Regulator

## Anexo I. Hoja de datos LM7805

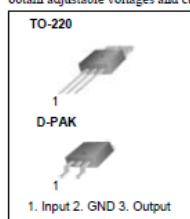
### MC78XX/LM78XX/MC78XXA 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator

#### Features

- Output Current up to 1A
- Output Voltages of 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24V
- Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection

#### Description

The MC78XX/LM78XX/MC78XXA series of three terminal positive regulators are available in the TO-220/D-PAK package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut down and safe operating area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.



MC78XX/LM78XX/MC78XXA

#### Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input Voltage (for $V_O = 5V$ to $18V$ ) (for $V_O = 24V$ )	$V_I$	35	V
	$V_I$	40	V
Thermal Resistance Junction-Cases (TO-220)	$R_{\theta JC}$	5	$^{\circ}C/W$
Thermal Resistance Junction-Air (TO-220)	$R_{\theta JA}$	65	$^{\circ}C/W$
Operating Temperature Range	$T_{OPR}$	0 ~ +125	$^{\circ}C$
Storage Temperature Range	$T_{STG}$	-65 ~ +150	$^{\circ}C$

#### Electrical Characteristics (MC7805/LM7805)

(Refer to test circuit,  $0^{\circ}C < T_J < 125^{\circ}C$ ,  $I_O = 500mA$ ,  $V_I = 10V$ ,  $C_I = 0.33\mu F$ ,  $C_O = 0.1\mu F$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	MC7805/LM7805			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}C$	4.8	5.0	5.2	V	
		$5.0mA \leq I_O \leq 1.0A$ , $P_O \leq 15W$ $V_I = 7V$ to $20V$	4.75	5.0	5.25		
Line Regulation (Note 1)	Regline	$T_J = +25^{\circ}C$	$V_O = 7V$ to $25V$	-	4.0	100	mV
			$V_I = 8V$ to $12V$	-	1.6	50	
Load Regulation (Note 1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}C$	$I_O = 5.0mA$ to $1.5A$	-	9	100	mV
			$I_O = 250mA$ to $750mA$	-	4	50	
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}C$	-	5.0	8.0	mA	
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$I_O = 5mA$ to $1.0A$ $V_I = 7V$ to $25V$	-	0.03	0.5	mA	
			-	0.3	1.3		
Output Voltage Drift	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_Q = 5mA$	-	-0.8	-	$mV / ^{\circ}C$	
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10Hz$ to $100KHz$ , $T_A = +25^{\circ}C$	-	42	-	$\mu V / V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120Hz$ $V_O = 8V$ to $18V$	62	73	-	dB	
Dropout Voltage	$V_{Drop}$	$I_O = 1A$ , $T_J = +25^{\circ}C$	-	2	-	V	
Output Resistance	$r_O$	$f = 1KHz$	-	15	-	m $\Omega$	
Short Circuit Current	$I_{SC}$	$V_I = 35V$ , $T_A = +25^{\circ}C$	-	230	-	mA	
Peak Current	$I_{PK}$	$T_J = +25^{\circ}C$	-	2.2	-	A	

#### Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

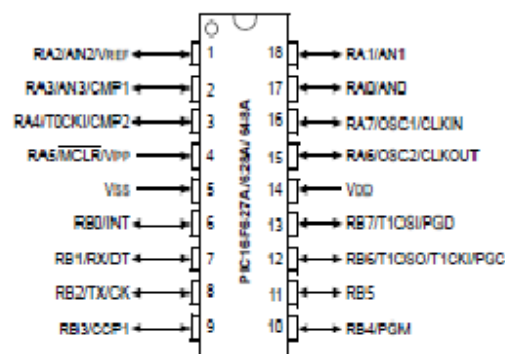
## Anexo J. Hoja de datos PIC16F628



### PIC16F627A/628A/648A Data Sheet

Flash-Based, 8-Bit CMOS

Microcontrollers with nanoWatt Technology



### 18-pin Flash-Based, 8-Bit CMOS Microcontrollers with nanoWatt Technology

#### High-Performance RISC CPU:

- Operating speeds from DC – 20 MHz
- Interrupt capability
- 8-level deep hardware stack
- Direct, Indirect and Relative Addressing modes
- 35 single-word instructions:
  - All instructions single cycle except branches

#### Special Microcontroller Features:

- Internal and external oscillator options:
  - Precision internal 4 MHz oscillator factory calibrated to  $\pm 1\%$
  - Low-power internal 48 kHz oscillator
  - External Oscillator support for crystals and resonators
- Power-saving Sleep mode
- Programmable weak pull-ups on PORTB
- Multiplexed Master Clear/Input-pin
- Watchdog Timer with independent oscillator for reliable operation
- Low-voltage programming
- In-Circuit Serial Programming™ (via two pins)
- Programmable code protection
- Brown-out Reset
- Power-on Reset
- Power-up Timer and Oscillator Start-up Timer
- Wide operating voltage range (2.0-5.5V)
- Industrial and extended temperature range
- High-Endurance Flash/EEPROM cell:
  - 100,000 write Flash endurance
  - 1,000,000 write EEPROM endurance
  - 40 year data retention

#### Low-Power Features:

- Standby Current:
  - 100 nA @ 2.0V, typical
- Operating Current:
  - 12  $\mu$ A @ 32 kHz, 2.0V, typical
  - 120  $\mu$ A @ 1 MHz, 2.0V, typical
- Watchdog Timer Current:
  - 1  $\mu$ A @ 2.0V, typical
- Timer1 Oscillator Current:
  - 1.2  $\mu$ A @ 32 kHz, 2.0V, typical
- Dual-speed Internal Oscillator:
  - Run-time selectable between 4 MHz and 48 kHz
  - 4  $\mu$ s wake-up from Sleep, 3.0V, typical

#### Peripheral Features:

- 16 I/O pins with individual direction control
- High current sink/source for direct LED drive
- Analog comparator module with:
  - Two analog comparators
  - Programmable on-chip voltage reference ( $V_{REF}$ ) module
  - Selectable internal or external reference
  - Comparator outputs are externally accessible
- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit programmable prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with external crystal/clock capability
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Capture, Compare, PWM module:
  - 16-bit Capture/Compare
  - 10-bit PWM
- Addressable Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter USART/SCI

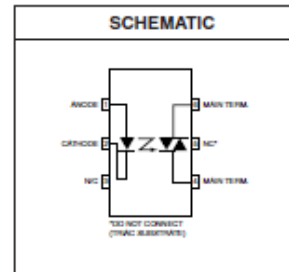
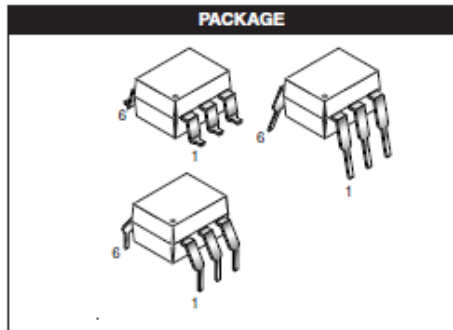
Device	Program Memory	Data Memory		I/O	CCP (PWM)	USART	Comparators	Timers 8/16-bit
	Flash (words)	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					
PIC16F627A	1024	224	128	16	1	Y	2	2/1
PIC16F628A	2048	224	128	16	1	Y	2	2/1
PIC16F648A	4096	256	256	16	1	Y	2	2/1

## Anexo K. Hoja de datos MOC3020

**FAIRCHILD**  
SEMICONDUCTOR®

**6-PIN DIP RANDOM-PHASE  
OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT  
(250/400 VOLT PEAK)**

MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M



### DESCRIPTION

The MOC301XM and MOC302XM series are optically isolated triac driver devices. These devices contain a GaAs infrared emitting diode and a light activated silicon bilateral switch, which functions like a triac. They are designed for interfacing between electronic controls and power triacs to control resistive and inductive loads for 115/240 VAC operations.

**FAIRCHILD**  
SEMICONDUCTOR®

**6-PIN DIP RANDOM-PHASE  
OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT  
(250/400 VOLT PEAK)**

MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M

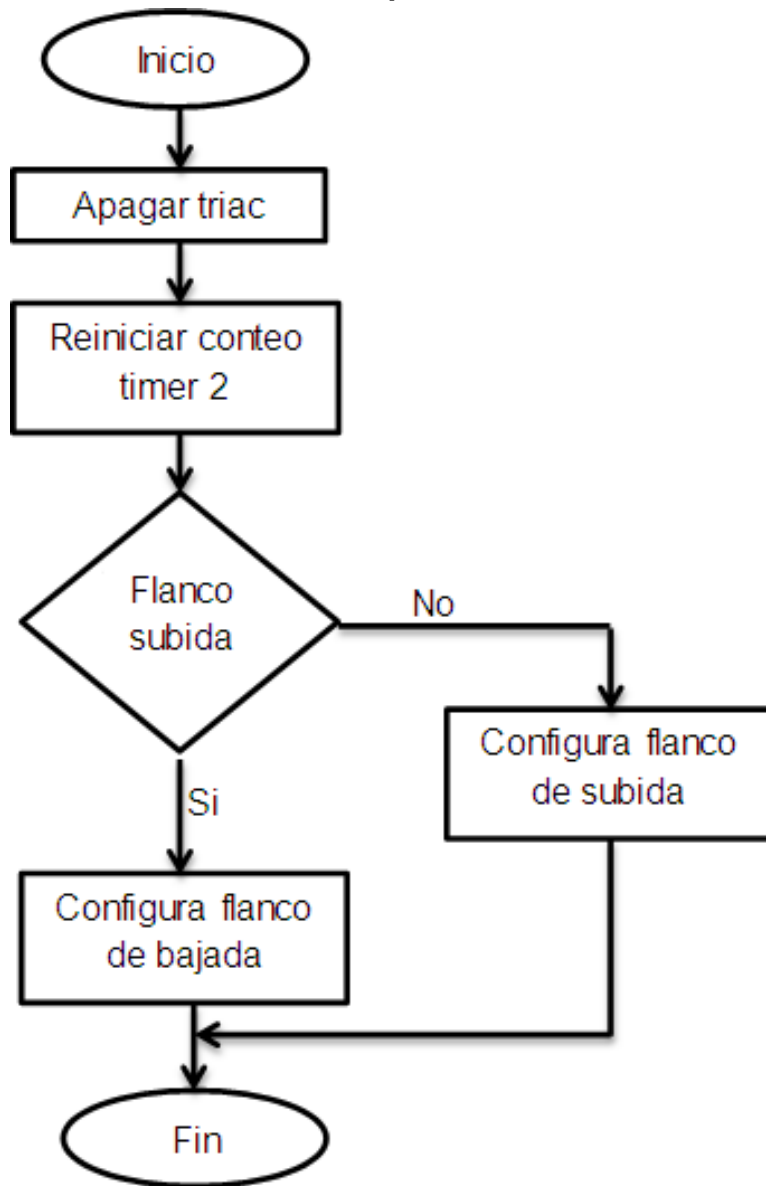
ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)				
Parameters	Symbol	Device	Value	Units
<b>TOTAL DEVICE</b>				
Storage Temperature	$T_{STG}$	All	-40 to +150	$^\circ\text{C}$
Operating Temperature	$T_{OPR}$	All	-40 to +85	$^\circ\text{C}$
Lead Solder Temperature	$T_{SOL}$	All	260 for 10 sec	$^\circ\text{C}$
Junction Temperature Range	$T_J$	All	-40 to +100	$^\circ\text{C}$
Isolation Surge Voltage <sup>(1)</sup> (peak AC voltage, 60Hz, 1 sec duration)	$V_{ISO}$	All	7500	Vac(pk)
Total Device Power Dissipation @ 25 $^\circ\text{C}$	$P_D$	All	330	mW
Derate above 25 $^\circ\text{C}$			4.4	mW/ $^\circ\text{C}$
<b>EMITTER</b>				
Continuous Forward Current	$I_F$	All	60	mA
Reverse Voltage	$V_R$	All	3	V
Total Power Dissipation 25 $^\circ\text{C}$ Ambient	$P_D$	All	100	mW
Derate above 25 $^\circ\text{C}$			1.33	mW/ $^\circ\text{C}$
<b>DETECTOR</b>				
Off-State Output Terminal Voltage	$V_{DRM}$	MOC3010M/1M/2M MOC3020M/1M/2M/3M	250 400	V
Peak Repetitive Surge Current (PW = 1 ms, 120 pps)	$I_{TSM}$	All	1	V
Total Power Dissipation @ 25 $^\circ\text{C}$ Ambient	$P_D$	All	300	mW
Derate above 25 $^\circ\text{C}$			4	mW/ $^\circ\text{C}$

### Note

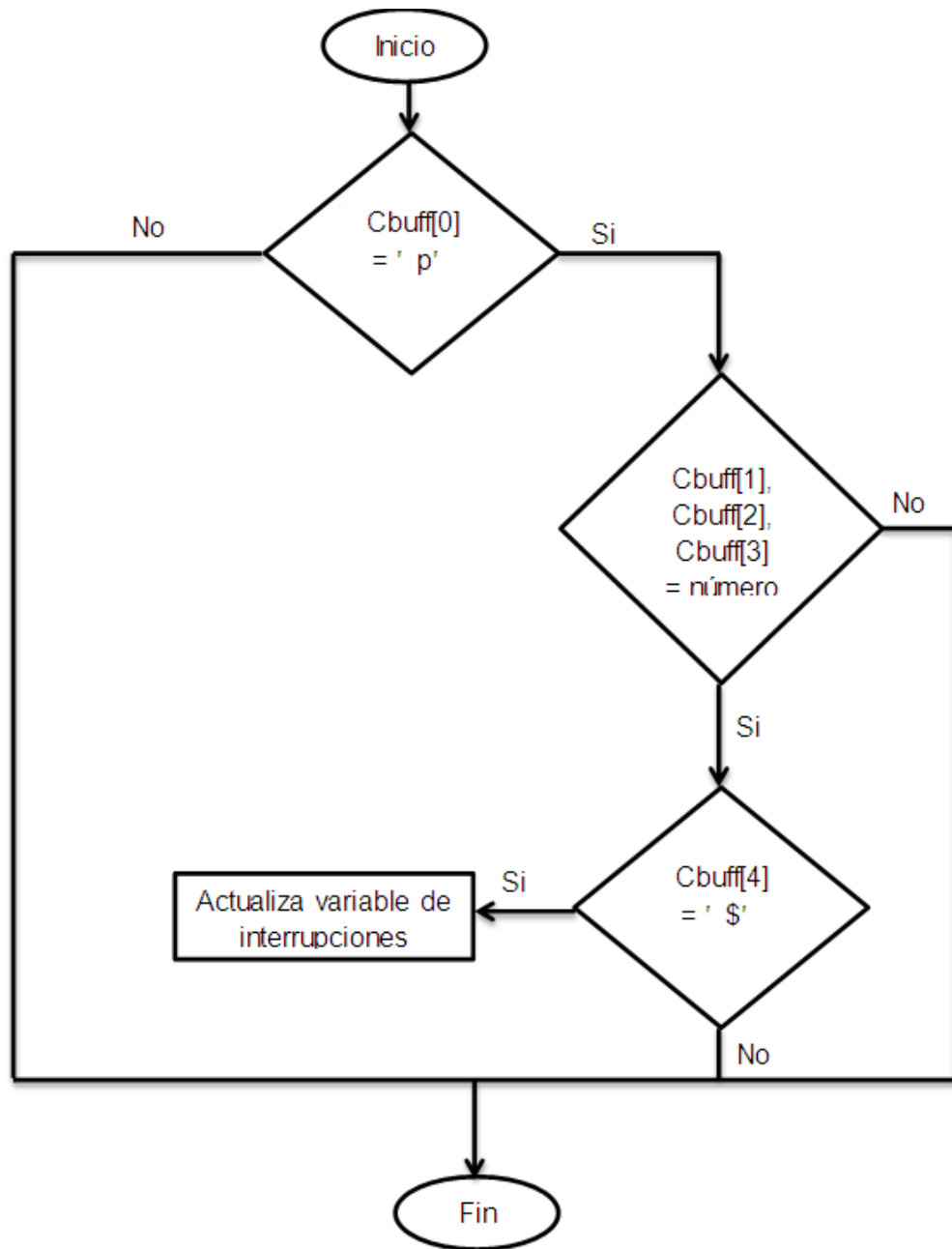
- Isolation surge voltage,  $V_{ISO}$ , is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

Anexo L. DIAGRAMAS DE FLUJO MICROCONTROLADOR PIC 18f4550

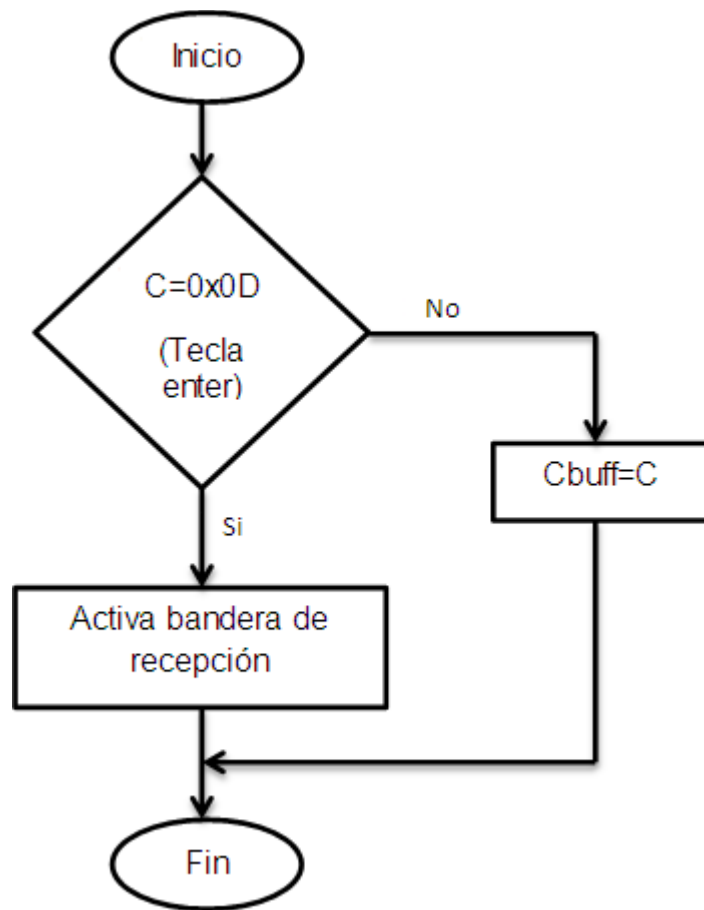
Cruce por cero



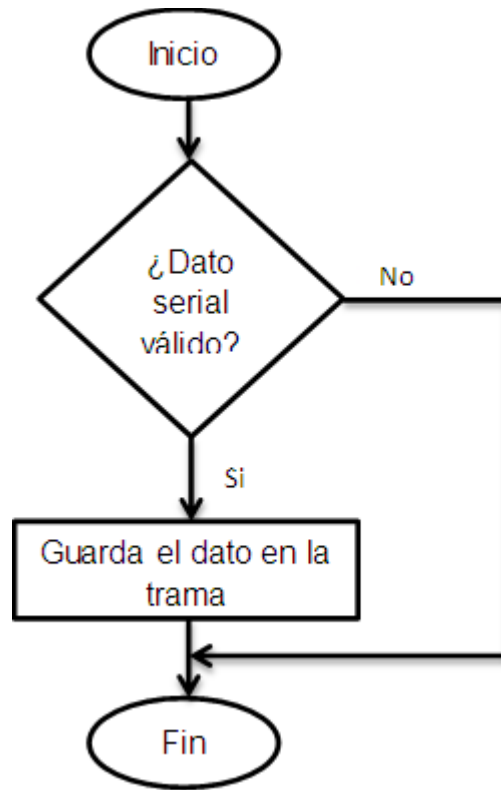
### Función decodifica trama



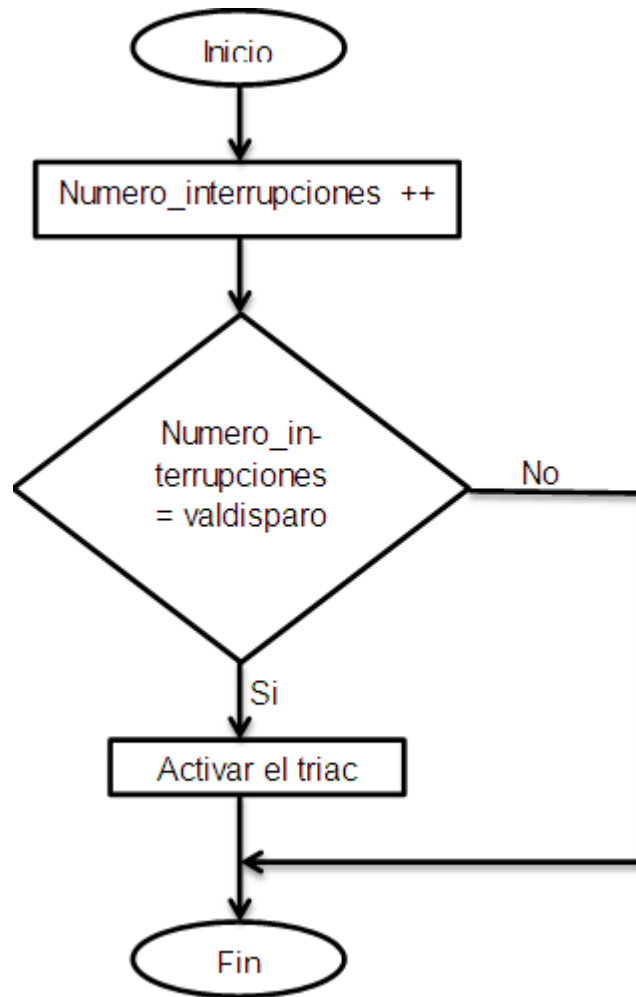
## Guardar trama



## Interrupción serial

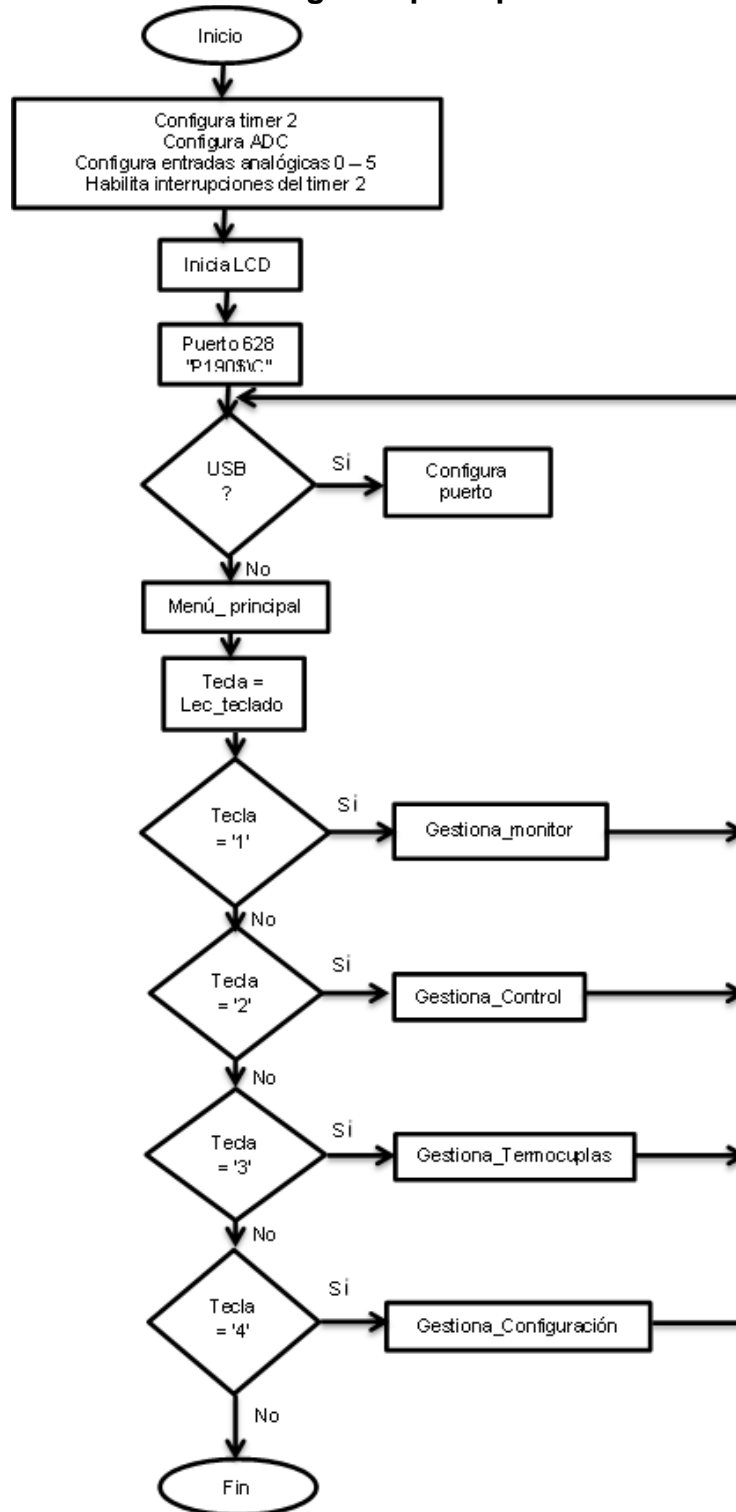


## Rutina Timer 2

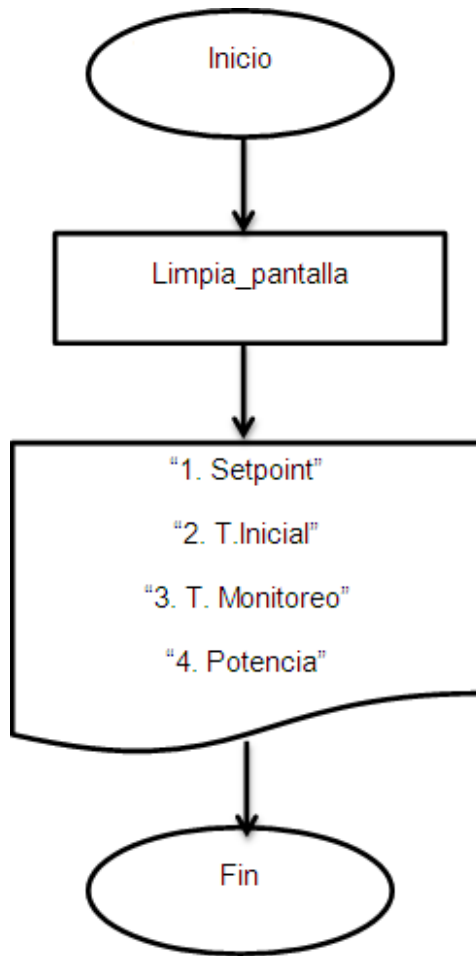


## Anexo M. DIAGRAMAS DE FLUJO MICROCONTROLADOR PIC16F628

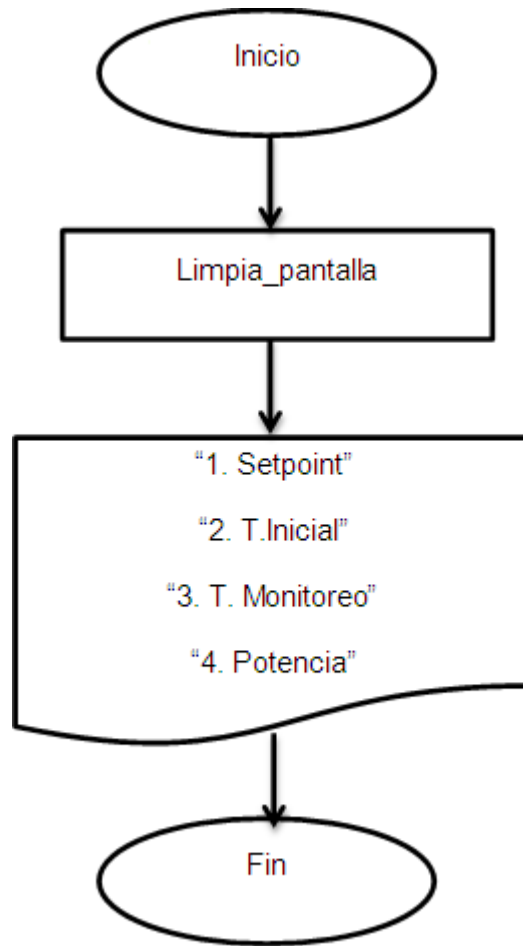
### Programa principal



## Menu\_principal



## Menu\_configuración



## Control\_On\_Off

