



INSTITUTO SUPERIOR  
MINERO METALÚRGICO DE MOA  
Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ

*Ingeniería Eléctrica  
Facultad de Metalurgia y  
Electromecánica*

*Trabajo de Diploma  
en opción al Título de Ingeniero  
Eléctrico.*

*Título:  
Diseño de un control de temperatura  
para el horno del laboratorio de  
Ciencias de los Materiales.*

*Autor: Yoendri Armas Mayo.*

*Tutor: Ing. Eduardo Smith Galano.*

Moa, 2017



## *Declaración de Autoridad*

*Yo: Yoendri Armas Mayo, certifié la propiedad intelectual sobre este Trabajo de Diploma con título:*

*“Diseño de un control de temperatura para el horno del laboratorio de Ciencias de los Materiales”. Siendo el único autor de este Trabajo de Diploma, y autorizó al Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, a hacer uso del mismo para fines docentes y educativos.*

---

*Firma del Diplomante*

*Yoendri Armas Mayo.*

---

*Firma del Tutor*

*Ing. Eduardo Smith Galano.*



## *Pensamiento*



*”Mientras no seamos un pueblo realmente ahorrativo, que sepamos emplear con sabiduría y con responsabilidad cada recurso, no nos podemos llamar un pueblo eternamente revolucionario”.*

*Fidel Castro Ruz*

## ***Dedicatoria***

*Dedico este trabajo a toda mi familia por apoyarme a lo largo de mis estudios, pero en especial a mis padres por luchar tanto por mí y ayudarme a que este sueño se hiciera realidad.*



## *Agradecimientos*

*Ante todo quiero darle gracias a DIOS por darme la sabiduría y la inteligencia necesaria para que yo cumpliera mi sueño, por estar siempre a mi lado y darme fuerza en los momentos difíciles, lo cual me sirvió de apoyo para seguir hacia delante en todo lo que me propuse. A mis padres Quirino Armas Salina y Madelaine Mayo López por apoyarme darme su amor y dedicación y quitarse millares de cosas para que yo pudiera estar donde estoy, los quiero. Mis hermanos Yaniuska Labrada Armas, Reidel Armas Garrido y Kendry Armas Mayo por siempre estar a mi lado en los momentos malos y buenos, los quiero mis hermanitos. Mi hermano Kendry que ya es INGENIERO y quiero citar que él fue el motor impulsor para que yo llegara donde estoy, porque ha sido un ejemplo como persona, como hombre, como hermano y como profesional, gracias mi hermano por ser el ejemplo a seguir. Mis abuelas Rosalina y Caridad por darme sí amor y ternura, mis abuelos aunque ya no estén. También quiero agradecer a mi tutor por dedicar su tiempo tan preciado en la realización de esta investigación, a todos mis compañeros del aula por compartir estos 5 años de su vida conmigo pero en especial a Luis Enrique, John, Wilfredo, Michel, Randy, Luis Ángel G, Maikel, Javier y quiero agradecer de todo corazón a mi amigo y hermano Frankí Córdova Batista por ser aquella persona quien más influyo para que esta investigación fuera posible. Y no se puede dejar de mencionar a los profesores del departamento pero en especial al MsC OSMANI PEREZ ABALLE por ser siempre aquel amigo y hermano que siempre me ayudo en todo lo largo de la carrera. MUCHAS GRACIAS A TODOS.*



## ***RESUMEN***

En esta investigación se desarrolló un diseño para el control de temperatura del Horno del Laboratorio de Ciencias de los Materiales. Para este control se realizó una búsqueda detallada de los principales fundamentos teóricos necesarios para la realización de los sistemas de control de temperatura, basados en sistemas de adquisición de datos (SAD) utilizando microcontroladores. Este diseño se implementó usando el Proteus 8.5 de Labcenter Electronics y para la programación se usó el CCS Compiler, siendo unos de los softwares más usados en la carrera. En este proyecto se demostró el funcionamiento del sistema de control a través del equipamiento utilizado en las prácticas de laboratorios, teniendo resultados satisfactorios. Y también se demuestra la viabilidad del proyecto para las posibilidades reales de una inversión.



## ***ABSTRACT***

In this investigation it developed a design for the control of temperature of the Oven of Ciencias's Laboratory of the Materials. For this control it realized a detailed quest of the principal theoretic necessary foundations for the realization of the control systems of temperature, based in data acquisition systems (SAD) utilizing microcontrollers. This design was done using the Proteus 8,5 of Labcenter Electronics and for its programming were used the CCS Compiler, being the more used software in the specialty. In this project it was demonstrated the functioning of the control system of temperature, through the utilized equipment in the lab practices, having satisfactory results. And also it was demonstrated the viability of the project for the real possibilities of an investment.



## Índice

Introducción.....	1
Capítulo I: Marco Teórico Referencial .....	3
1.1 Estado del arte, antecedentes y actualidad.....	3
1.2 Sistema de control de temperatura.....	4
1.2.1 Principio de funcionamiento de un sistema de control de temperatura .....	4
1.3 Sistema de Adquisición de Datos (SAD) .....	4
1.4 Sensores .....	5
1.4.1 Sensor de corriente.....	5
1.4.2 Sensor de voltaje.....	6
1.4.3 Sensor resistivo .....	6
1.5 El Acondicionamiento de la señal .....	7
1.6 Conversión Analógico/Digital (ACD) .....	7
1.6.1 Tipos de convertidores Analógico/Digital .....	7
1.6.2 Convertidor de aproximaciones sucesivas.....	8
1.6.3 Principio de funcionamiento de los convertidores analógicos-digitales A/D .....	8
1.7 Clasificación general de amplificadores para acondicionamiento de señal .....	11
1.7.1 Amplificador operacional.....	11
1.7.2 Amplificador de instrumentación .....	13
1.8 Microcontroladores .....	15
1.8.1 Principales componentes de un microcontrolador.....	16
Microcontroladores PIC ( <i>Peripheral Interface Controller</i> ). .....	17
1.9 Visualizador LCD .....	17
1.9.1 Descripción de los pines del Display LCD .....	18
1.9.2 Inicialización del LCD.....	18
1.10 Hornos para el tratamiento de materiales en laboratorios.....	19
1.10.1 Principio de operación .....	19
1.11 Conclusiones del capítulo .....	20
Capítulo 2: Diseño de un Sistema de Control de Temperatura .....	21
2.1 Principio de funcionamiento de la termoresistencia RTD-PT100 .....	21
2.1.1 Tipos de conexión del PT100 .....	22
2.1.3 Linealización del sensor RTD-PT100.....	23
2.2 El amplificador de instrumentación INA114 .....	25
2.3 El microcontrolador PIC16F877A .....	27
2.4 Convertidor A/D del PIC16F877A.....	29



2.5 Elementos fundamentales del circuito fuerza .....	29
2.5.1 Transistor MOSFET (IRF2804) .....	29
2.5.2 Relé Durakool (DG85D) .....	30
2.6 Elementos que componen el circuito de control.....	30
2.6.1 Entrada digitales .....	30
2.6.2 El Microcontrolador .....	31
2.6.3 Fuente de alimentación para el circuito de control.....	31
2.7 Horno de secado del laboratorio de Ciencias de los Materiales .....	32
2.7.1 Características específicas del horno del laboratorio de Ciencias de los Materiales	32
2.8 Simulación y programación del diseño .....	32
2.8.1 Proteus v8.5 .....	32
2.8.2 PIC C Compiler de CCS.....	34
2.8.3 Lenguaje utilizado por el compilador.....	35
2.10 Simulación en Proteus del circuito de control de temperatura.....	36
2.11 Conclusiones del capítulo .....	36
Capítulo 3 Análisis de los resultados y valoración económica.....	37
3.1 Resultados de la investigación .....	37
3.2 Características específicas de las herramientas utilizadas .....	38
3.3 Resultados de las pruebas realizadas .....	38
3.4 Valoración técnica.....	42
3.5 Valoración económica.....	42
3.6 Cálculo económico .....	43
3.7 Conclusiones del capítulo .....	44
Conclusiones Generales.....	45
Recomendaciones.....	46
Bibliografía .....	47
Anexos.....	48



## **Introducción**

En la actualidad los sistemas de control forman una parte importante del desarrollo de la sociedad. Con el auge de la domótica, los sistemas de adquisición de datos (SAD) se han introducido y han motivado que partes de las esferas de la vida humana se estén automatizando, por ejemplo: la industria, los comercios, la agricultura, las comunicaciones, el transporte y el hogar.

En Cuba, fundamentalmente en las industrias, los sistemas de control son de vital importancia debido a que ellos brindan una detallada información respecto al comportamiento de las diferentes magnitudes eléctricas como: tensión, corriente, temperatura etc.

Por esta razón, algunas de las universidades cubanas han introducido el estudio de estos sistemas, para favorecer la comprensión del mismo y preparar a los futuros profesionales para resolver cualquier situación que se presente respecto a este tema.

En el Instituto Minero Metalúrgico de Moa (ISMMM), Dr: Antonio Núñez Jiménez, se encuentra el laboratorio de Ciencia de los Materiales el cual cuenta con un horno de secado para la realización de las prácticas de laboratorio de la carrera Ingeniería Mecánica. En los últimos años este laboratorio se ha limitado en las realizaciones de sus prácticas, debido a la corrosión del equipamiento del horno, dañándose totalmente el funcionamiento del sistema de control de temperatura e impidiendo al estudiantado el desempeño de un conjunto de habilidades necesarias para su futura vida laboral:

Por lo que **el problema de la investigación** es: ¿Cómo diseñar un sistema de control para regular la temperatura del horno de secado del laboratorio de Ciencia de los Materiales?

### **Objetivo General:**

Diseñar un sistema de control de temperatura para el horno de secado del Laboratorio de Ciencias de los Materiales.



**Objetivos específicos:**

- 1- Realizar un estudio de los sistemas de control de temperatura para hornos de laboratorios.
- 2- Diseñar un circuito para el control de temperatura a través de microcontroladores.
- 3- Valorar técnica y económicamente el circuito diseñado.

**Objeto de estudio:**

Horno de secado del Laboratorio de Ciencias de los Materiales del ISMMM.

**Campo de acción:**

Control de temperatura mediante microcontroladores para el horno de secado del laboratorio de Ciencias de los Materiales.

**Hipótesis:**

Si se diseña un sistema de control de temperatura a base microcontroladores permitirá la puesta en funcionamiento del horno de secado para un mejor desarrollo de los Laboratorio de Ciencia de los Materiales.



## **Capítulo I: Marco Teórico Referencial**

Para realizar el diseño de un sistema de control de temperatura una de las vías es integrando los sistemas de adquisición de datos (SAD).

En este capítulo se confeccionó el marco teórico donde se determinaron las diferentes características de la investigación, también se hizo un análisis de los trabajos antecedentes y se definieron los sistemas de control de temperatura y de adquisición de datos.

### **1.1 Estado del arte, antecedentes y actualidad**

La mayoría de las investigaciones que utilizan sistemas de adquisición de datos están dirigidas a la parte industrial, ya que estos pueden ser manipulados por ordenadores y otros sistemas electrónicos.

En octubre del 2006 el Dr Virgilio López Morales y el Ing Julio Cesar Ramos Fernandez diseñaron y simularon un sistema de control de temperatura basado en un microcontrolador PIC 16F877 con fines docentes. (Virgilio & Cesar, 2006).

Pedrosos Franco en el 2012 diseño un SAD donde desarrolló un software que permita el control y adquisición de datos, ejecutándolo en un carril de aire, teniendo como finalidad que el estudiante pueda llevar a la práctica los conceptos teóricos vistos en el aula, con el fin de apoyar los procesos de enseñanza - aprendizaje y así mejorar las competencias pertinentes en el área de la Física. (Pedroso, 2012).

En Junio del 2012 Issac Salomón Jiménez, diseñó y construyó un sistema para controlar la temperatura de un horno eléctrico con fines de secado de cerámica, el cual no se puede emplear en otro tipo de secado por la arquitectura de dicho horno. (Salomón, 2012).

Keiler Matos en el 2015 simuló un Sistema de Adquisición de Datos (SAD) utilizando microcontroladores como medio de enseñanza virtual para mediciones de temperaturas. (Matos, 2015).



Laffita Gómez en el 2017 confeccionó un SAD donde se implementó un sistema de medición de temperatura, para laboratorios en las asignaturas de Mediciones Eléctricas, Electrónica Analógica y Aplicaciones de Microcontroladores a la Electroenergética. (Laffita Gómez, 2016).

En las investigaciones de Laffita Gómez, Keiler Matos, Pedreros Franco, Virguilio López y Julio Cesar Ramos, se desarrollaron simulaciones de Sistemas de Adquisición de Datos (SAD) para mediciones y control de temperaturas con fines docentes, los cuales no tienen una aplicación física, solo se basan en el apoyo del proceso de enseñanza y aprendizaje de los estudiantes de dichas instituciones.

## **1.2 Sistema de control de temperatura**

Un control de temperatura es un instrumento usado para la regulación de la temperatura. El controlador de temperatura tiene una entrada procedente de un sensor de temperatura y tiene una salida que está conectada a un elemento de control.(Ogata, 2003) .

### **1.2.1 Principio de funcionamiento de un sistema de control de temperatura**

Un sistema de control de temperatura se basa en un controlador, el cual acepta un sensor de temperatura tal como un termopar o RTD como entrada. Se compara la temperatura real a la temperatura de control deseada y proporciona una salida a un elemento de control, el controlador solo es una parte del sistema de control.(Ogata, 2003).

## **1.3 Sistema de Adquisición de Datos (SAD)**

Para la medición de los valores de temperatura se hizo necesaria la confección de un SAD que consistió en tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en variables eléctricas, digitalizarlas y procesarlas por un ordenador. Una vez adquirida la señal esta requiere una etapa de acondicionamiento, que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital. El proceso de adquisición de datos presenta las siguientes etapas Figura1.1.



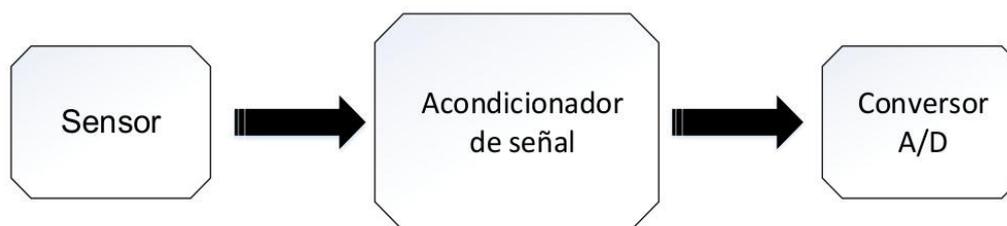


Figura 1.1. Proceso Básico de Adquisición de datos.

La adquisición de datos en sus diferentes etapas, transforma la señal analógica a su equivalente digital con el fin que reconozca la información obtenida. Este proceso se realiza gracias a la configuración del esquema anterior. (Rico, Alvarez, & Canet, 1995).

## **1.4 Sensores**

Los Sensores tienen la función de detectar magnitudes Físicas o Químicas. Entre las magnitudes físicas que pueden ser medidas a través de variables eléctricas están: temperatura, humedad, presión, concentración, iluminación, flujo, posición, nivel, tiempo, la aceleración, peso, etc. (Areny, 2004).

**Áreas de aplicación de los sensores:** Industria automotriz, Industria aeroespacial, Medicina, Industria de manufactura, Robótica, etc. Los sensores pueden estar conectados a un computador para obtener ventajas como son el acceso a una base de datos, la toma de valores desde el sensor, etc. A continuación se explicaran los diferentes tipos de sensores Figura 1.2.

### **1.4.1 Sensor de corriente**

Convierte una magnitud física en un nivel de corriente directa equivalente, este tipo de sensor tiene como ventaja principal que el nivel de corriente obtenido puede ser transportado distancias grandes sin que se produzcan pérdidas significativas, su desventaja a la vez consiste que la corriente siempre tiene que ser convertida a voltaje antes de suministrársele aun conversor análogo- digital (A/D).(Serna, Ros, & Rico, 2010).

### **1.4.2 Sensor de voltaje**

Este tipo de sensor es el que entrega un nivel de voltaje equivalente a la señal física que se mide, normalmente los sensores industriales capaces de entregar un nivel de voltaje tienen incorporado circuitos acondicionadores, tales como amplificadores de instrumentación y operacionales, comparadores, etc. Este tipo de sensores muchas veces incorpora resistores variables que permiten ajustar el rango de voltaje que ellos entregan al rango que nuestro conversor necesita, esta es su gran ventaja a su vez su desventaja es que la señal por ellos generada no puede ser transmitida más allá de unos pocos metros porque sin que se produzcan pérdidas en la misma. (Serna et al., 2010).

### **1.4.3 Sensor resistivo**

Este es un tipo de sensor que convierte la variación de una señal física en una variación de resistencia, entre los más comunes tenemos las termoresistencias. El inconveniente de este tipo de sensor es que se debe utilizar un puente de Wheastone en algunas de sus variantes para convertir la variación de resistencia en una variación de voltaje. (Serna et al., 2010).

De los sensores anteriormente mencionados se utilizó el sensor resistivo, ya que este responde a las características necesarias de esta investigación.



Figura 1.2 Tipos de sensores.

## **1.5 El Acondicionamiento de la señal**

La esencia del acondicionamiento es hacer que el rango de variación real que experimentará la variable a medir, se convierta en el rango máximo de voltaje de entrada que acepta el convertidor A/D que se utiliza, o sea que el valor mínimo de la variable a medir imponga a la entrada del convertidor, el valor mínimo del voltaje que él acepta y el valor máximo de la variable a medir imponga el valor máximo de voltaje que el convertidor admite. Paralelamente el acondicionamiento de la señal también implica la transformación de la señal entregada por el sensor, de forma que siempre la magnitud final sea voltaje, además en el acondicionamiento se puede garantizar el filtrado de valores de ruido no deseadas en la variable medida, resumiendo un acondicionador de señal sirve para amplificar, modificar o seleccionar ciertas partes de una señal. (Osorio, 2007).

En esta fase se realiza la preparación de la señal con el fin de extraer los datos que tienen la información y eliminar las señales no deseadas (ruido).

## **1.6 Conversión Analógico/Digital (ACD)**

Es un dispositivo que se encarga de la conversión de una señal de entrada analógica a una representación binaria de 10 bits de esa señal. Este dispositivo utiliza las entradas analógicas, que se multiplexan en un único circuito de muestreo y retención. La salida del circuito de muestreo y retención está conectado a la entrada del convertidor. Los convertidores generan un resultado binario de 10 bits a través de aproximaciones sucesivas y almacenas el resultado de la conversión en los registros de resultados de ADC. (Laffita Gómez, 2016).

### **1.6.1 Tipos de convertidores Analógico/Digital**

Existen varios tipos de convertidores A/D de acuerdo a su funcionamiento, pero los más usados son:

- De doble rampa.
- De aproximaciones sucesivas.



## **Convertidor de doble rampa**

Es uno de los más utilizados en la práctica, especialmente en el caso de aplicaciones que requieran gran precisión. El proceso de conversión se inicia conectando la tensión de entrada al integrador durante un tiempo fijo, en el cual la salida del integrador se va haciendo negativa hasta alcanzar un valor mínimo en el instante en que termina ese tiempo fijo; momento en que la información de desbordamiento (*overflow*), aplicada al circuito de excitación del conmutador, provoca la aplicación de una tensión de referencia a la entrada del integrador, lo que hace que la salida de este tienda a 0 V. (Garrido Rodríguez, 2010).

### **1.6.2 Convertidor de aproximaciones sucesivas**

Este tipo de convertidor es el más utilizado cuando se requieren velocidades de conversión entre medias y altas del orden de algunos microsegundos a décimas de microsegundos.

El proceso de conversión para este tipo de convertidores se basa en la realización de comparaciones sucesivas de manera descendente o ascendente, hasta que se encuentra la combinación que iguala la tensión entregada por el Digital/Analógico y la de entrada. (Huircán, 2010).

### **1.6.3 Principio de funcionamiento de los convertidores analógicos-digitales A/D**

De acuerdo con la forma en que los conversores analógicos digitales presentan la información a su salida, se clasifican en:

- Conversores de salida paralelo: Aquellos que suministran el código digital de salida correspondiente al valor analógico de la señal de entrada simultáneamente en n terminales de salida independientemente.
- Conversores de salida serie: Aquellos que suministran el código digital de salida correspondiente al valor analógico de la señal de entrada a través de una sola línea bit a bit.

Estos conversores poseen dos señales de entrada llamadas  $V_{ref+}$  y  $V_{ref-}$  y determinan el rango en el cual se convertirá una señal de entrada.



El dispositivo establece una relación entre su entrada (señal analógica) y su salida (digital) dependiendo de su resolución. Esta resolución se puede saber, siempre y cuando se conozcan el valor máximo que la entrada de información utiliza y la cantidad máxima de la salida en dígitos binarios.

Los procesos necesarios para convertir una señal analógica en digital, son: el muestreo, la retención, la cuantificación y la codificación. Estos procesos se realizan por lo general en dos circuitos integrados monolíticos, uno, denominado circuito de muestreo y retención, en inglés *Sample and Hold* (S/H) y otro, denominado convertidor analógico digital (A/D).

El circuito de muestreo y retención se utiliza para muestrear una señal analógica en un instante en particular y retener el valor de la muestra tanto como se requiera. En algunas circunstancias, la conversión de una señal analógica a digital se puede realizar solo con el uso del convertidor analógico digital y sus operaciones de muestreo, cuantificación y codificación pero, en otras circunstancias, es obligatorio añadir un circuito de muestreo y retención a la entrada del convertidor, en cuyo caso el circuito incorporado, como su nombre lo indica, realizará el muestreo y la retención de cada muestra mientras que el convertidor sólo cuantificará y codificará.

El muestreo consiste en tomar muestras de la señal analógica a intervalos fijos de tiempo de modo que después, para convertir la señal de digital a analógica, con esas mismas muestras se pueda reconstruir la señal original. En todo proceso de conversión de una señal analógica a digital es necesario que el valor instantáneo de cada muestra a la entrada del convertidor A/D se mantenga constante durante todo el tiempo que dure la conversión de dicha muestra a su correspondiente código digital para ello es empleada la retención. La cuantificación es el proceso mediante el cual se discretizan las muestras de la señal obtenidas durante el muestreo. Durante la codificación se le asignan códigos digitales equivalentes a los valores discretos de las muestras de la señal estos códigos suelen ser binarios y a la cantidad de bits de estos determinan la resolución del convertidor y esta a su vez contribuye a la precisión. (Garrido Rodríguez, 2010).

Para saber en qué caso es necesario el uso de los circuitos de muestreo y retención, se debe conocer:



- El valor del tiempo de conversión ( $t_{conv}$ ), que es el tiempo que necesita el convertidor para convertir cada muestra de la señal analógica a su entrada en su correspondiente código digital.
- Qué porción del rango máximo de señal de entrada permitido por el convertidor *Full scale range* (FSR) provocará el cambio del bit menos significativo *Less Significant Bit* (LSB) en el código digital de la salida

$$LSB = \frac{FSR}{2^{\text{numero de bits}}}$$

- La máxima velocidad de cambio de la componente espectral de mayor frecuencia de la señal analógica  $\frac{\partial V}{\partial t}$ .

Conocidos estos parámetros, se procede a comparar el valor de la máxima velocidad de cambio de la componente espectral de mayor frecuencia de la señal analógica de entrada con la razón  $\frac{LSB}{2 \times t_{conv}}$ .

En caso de que la máxima velocidad de cambio de la señal analógica de entrada sea mayor que la mitad de la magnitud analógica que provoca el cambio del bit menos significativo en un tiempo igual al tiempo de conversión, es necesario, el empleo de un circuito de muestreo y retención.

Si  $\frac{\partial V}{\partial t} > \frac{LSB}{2 \times t_{conv}}$  entonces es necesario el uso de un S/H.

En resumen, existe gran diversidad de tipos o familias de convertidores A/D y todos ellos han de cumplir las tres fases citadas anteriormente:

- Muestreo.
- Cuantificación.
- Codificación.

Las principales características que se pueden encontrar a la hora de seleccionar un convertidor son las siguientes:

- Resolución.
- Precisión.
- Impedancia.
- Sensibilidad.



Existen otros aspectos a tener en cuenta a la hora de trabajar con el convertidor A/D, estos son:

- El error de cuantificación: Este aparece como consecuencia de que un convertidor la continuidad de la señal analógica es dividida en una potencia de dos. De esta manera, todos los valores analógicos dentro de un rango están representados por lo único digital, normalmente asignado al valor medio del mismo.
- Tiempo de conversión: Es el tiempo requerido por el convertidor para entregar la palabra digital equivalente a la entrada analógica.

## **1.7 Clasificación general de amplificadores para acondicionamiento de señal**

Existen cuatro tipos de amplificadores para acondicionamiento de señal, los cuales son:

- Amplificador operacional.
- Amplificador de aislamiento.
- Amplificador diferencial.
- Amplificador de instrumentación.

### **1.7.1 Amplificador operacional**

Un amplificador operacional es un circuito electrónico (normalmente se presenta como circuito integrado) que tiene dos entradas y una salida. El primer amplificador operacional data de los años 1960, era el Fairchild UA-709 que más tarde sería sustituido por el popular 741 fabricado por numerosas empresas y basado en tecnología bipolar.

El amplificador operacional se puede considerar como un amplificador universal debido a su gran versatilidad y a la forma simple en que puede reemplazar (funcionalmente) a una gran variedad de configuraciones discretas.

El amplificador sólo responde a la diferencia de tensión entre los dos terminales de entrada, no a su potencial común. Una señal positiva en la entrada inversora  $V_-$ , produce una señal negativa a la salida, mientras que la



misma señal en la entrada no inversora  $V_+$  produce una señal positiva en la salida. Con una tensión de entrada diferencial ( $V_d$ ), la tensión de salida ( $V_o$ ) será  $a V_d$ , donde ( $a$ ) es la ganancia del amplificador. Ambos terminales de entrada del amplificador se utilizarán siempre independientemente de la aplicación. La señal de salida es de un sólo terminal y está referida a masa, por consiguiente, se utilizan tensiones de alimentación bipolares  $\pm V_{cc}$ . Figura 1.3. (Coughlin & Driscoll, 1999).

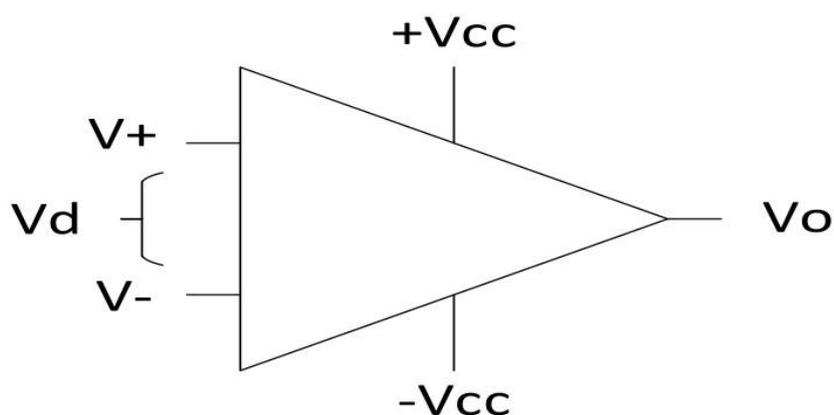


Figura 1.3. Amplificador operacional.

Teniendo en cuenta estas funciones de la entrada y salida, se pueden definir las propiedades del amplificador ideal, tales como:

- La ganancia de tensión es infinita  $a = \infty$ .
- La resistencia de entrada es infinita  $R_i = \infty$ .
- La resistencia de salida es cero  $R_o = 0$ .
- El ancho de banda es infinito  $B_w = \infty$
- La tensión offset de entrada es cero  $V_o = 0$  si  $V_d = 0$ .

A partir de estas características del amplificador operacional, se puede deducir otras dos importantes propiedades adicionales. Al punto que, la ganancia en tensión es infinita, cualquier señal de salida que se desarrolle será el resultado de una señal de entrada infinitesimalmente pequeña.

En resumen:

- La tensión de entrada diferencial es nula.

- Si la resistencia de entrada es infinita, no existe flujo de corriente en ninguno de los terminales de entrada.

### **1.7.2 Amplificador de instrumentación**

Los amplificadores de instrumentación son circuitos diseñados para aplicaciones de instrumentación y medición pues, como poseen alta impedancia de entrada y ganancia a modo diferencial, pueden amplificar las pequeñas señales provenientes de los transductores sin que disminuya el nivel de estas señales por efecto de carga. Además su entrada diferencial le proporciona un alto rechazo a señales de modo común, lo que los hace prácticamente invulnerables al ruido, pues éste aparece adicionado por igual en las señales de ambas entradas. Estos circuitos presentan además una pequeña deriva de sus parámetros con variaciones de temperatura, lo que garantiza que el error que estos introducen en la magnitud que amplifican sea despreciable. (Moyano, 2005)

El amplificador de instrumentación es un amplificador diferencial tensión-tensión Figura 1.4, cuya ganancia puede establecerse de forma muy precisa y que ha sido optimizado para que opere de acuerdo a su propia especificación, aun en un entorno hostil. Es un elemento esencial de los sistemas de medida, en los que se ensambla como un bloque funcional que ofrece características funcionales propias e independientes de los restantes elementos con los que interacciona. Para ello es necesario:

- Tener características funcionales que sean precisas y estables.
- Sus características no se modifiquen cuando se ensambla con otros elementos.

A los amplificadores de instrumentación se les requieren las siguientes características:

1. Son amplificadores diferenciales con una ganancia diferencial precisa y estable, generalmente en el rango de 1 a 1000.



2. Su ganancia diferencial es controlada mediante un único elemento analógico (potenciómetro resistivo) o digital (conmutadores) lo que facilita su ajuste.
3. Su ganancia en modo común debe ser muy baja respecto de la ganancia diferencial, esto es porque debe ofrecer un CMRR (modo de rechazo común) muy alto en todo el rango de frecuencia en que opera.
4. Una impedancia muy alta para que su ganancia no se vea afectada por la impedancia de la fuente de entrada.
5. Una impedancia de salida muy baja para que su ganancia no se vea afectada por la carga que se conecta a su salida.
6. Bajo nivel de la tensión de offset del amplificador y baja deriva en el tiempo y con la temperatura, a fin de poder trabajar con señales continuas muy pequeñas.
7. Una anchura de banda ajustada a la que se necesita en el diseño.
8. Un factor de ruido muy próximo a la unidad, esto es, que no incremente el ruido.
9. Una razón de rechazo al rizado a la fuente de alimentación muy alto.

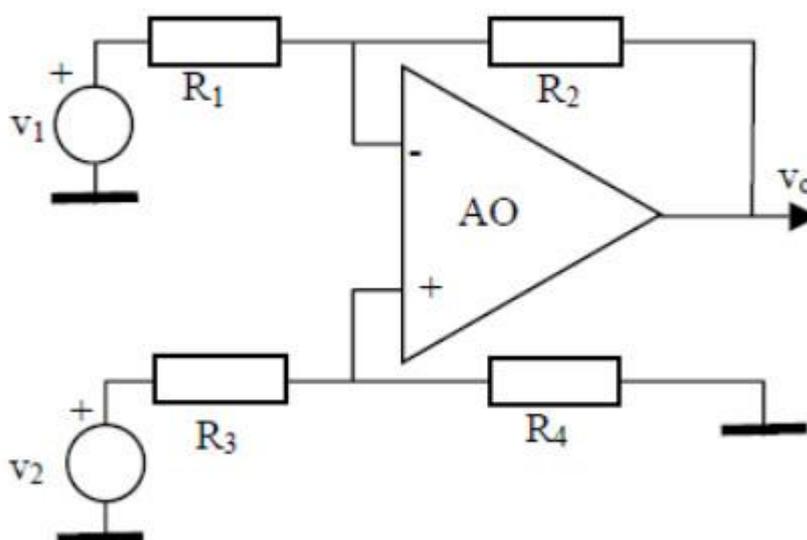


Figura 1.4. Amplificador Diferencial.



## **1.8 Microcontroladores**

Aunque el concepto de controlador ha permanecido invariable a través del tiempo, su implementación física ha variado frecuentemente. Hace tres décadas, los controladores se construían exclusivamente con componentes de lógica discreta, posteriormente se emplearon los microprocesadores, que se rodeaban con chips de memoria y E/S sobre una tarjeta de circuito impreso. En la actualidad, todos los elementos del controlador se han podido incluir en un chip, el cual recibe el nombre de microcontrolador. Realmente consiste en un sencillo pero completo computador contenido en el corazón (chip) de un circuito integrado.

Un microcontrolador es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica. Un microcontrolador incluye en su interior las tres unidades funcionales principales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada y salida, la gestión de interrupciones, puertos paralelos, serie y temporizadores; todo en un único circuito integrado. Pueden incluir también entradas y salidas analógicas asociadas a convertidores A/D y D/A y circuito de Watch Dog (Perro Guardián).

El microprocesador (o simplemente procesador) es el circuito integrado central y más complejo de un sistema informático; a modo de ilustración, se le suele asociar por analogía como el «cerebro» de un computador. Es un circuito integrado constituido por millones de componentes electrónicos. Constituye la unidad central de procesamiento (CPU) de un PC catalogado como microcomputador.

Es el encargado de ejecutar los programas; desde el sistema operativo hasta las aplicaciones de usuario. Sólo ejecuta instrucciones programadas en lenguaje de bajo nivel, realizando operaciones aritméticas y lógicas simples, tales como sumar, restar, multiplicar, dividir, las lógicas binarias y accesos a memoria. Esta unidad central de procesamiento está constituida, esencialmente, por registros, unidad de control, unidad aritmético lógica (ALU) y unidad de cálculo en coma flotante.



Ejemplo de la aplicación de un microcontrolador es la regulación del funcionamiento de un horno dispone de un sensor que mide constantemente su temperatura interna y, cuando traspasa los límites prefijados, genera las señales adecuadas que accionan los efectores que intentan llevar el valor de la temperatura dentro del rango estipulado. (Valdés, 2004).

### **1.8.1 Principales componentes de un microcontrolador**

- Procesador o UCP (Unidad Central de Proceso).
- Memoria RAM para Contener los datos.
- Memoria para el programa tipo ROM/PROM/EPROM.
- Líneas de E/S para comunicarse con el exterior.
- Diversos módulos para el control de periféricos (temporizadores, puertas Serie y Paralelo, CAD: Conversores Analógico/Digital, CDA: Conversores Digital/Analógico, etc.).
- Generador de impulsos de reloj que sincronizan el funcionamiento de todo el sistema.

El microcontrolador incluye todos los componentes de un computador. Debido a su reducido tamaño facilita que su montaje pueda realizarse generalmente en el propio dispositivo al que gobierna. En este caso el controlador recibe el nombre de controlador empotrado. Su comunicación al exterior se realiza a través de las líneas que gobiernan los periféricos denominados puertos, figura 1.5.

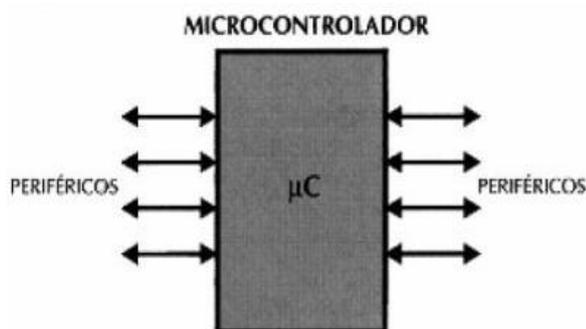


Figura 1.5. Proceso de un Microcontrolador.

## Microcontroladores PIC (*Peripheral Interface Controller*).

Los PIC (*Peripheral Interface Controller*) son una familia de microcontroladores tipo RISC (*Reduced Instruction Set Computer*) fabricados por *Microchip Technology Inc.* y derivados del PIC1650, originalmente desarrollado por la división de microelectrónica de *General Instrument*.

El nombre actual no es un acrónimo. En realidad, el nombre completo es PICmicro, aunque generalmente se utiliza como *Peripheral Interface Controller* (Controlador de Interfaz Periférico).

Los microcontroladores PIC se diferencian en clases dentro de su misma familia atendiendo a las características de tipo de memoria y la cantidad de bits que empleen las instrucciones que utilizan.

En estas clases hay diferentes variantes tecnológicas de memoria de programa: (C) EPROM, (CR) ROM y (F) FLASH.

### 1.9 Visualizador LCD

Con frecuencia, un programa en un microcontrolador debe interactuar con el mundo exterior usando dispositivos de entrada y de salida. Uno de los dispositivos más comunes que podemos conectar es un display de LCD, y dentro de estos, los más comunes son los 16x2 y 20x2. Esto significa 16 caracteres por 2 líneas y 20 caracteres por 2 líneas respectivamente, figura 1.6.



Figura 1.6. Display LCD de 20 caracteres por 2 líneas (20x2).

Un display de LCD se maneja como si se tratara de una zona de memoria accesible por el microcontrolador, de forma que cualquier escritura de



caracteres ASCII en este espacio de memoria provoca una actualización del carácter correspondiente sobre las líneas del visualizador.

La conexión más simple consiste en su conexión directa con los pines del microcontrolador, éste accede al dispositivo escribiendo y leyendo como si se tratara de un chip de memoria. (Cheng, Hou, & Pedram, 2004).

### **1.9.1 Descripción de los pines del Display LCD**

Hay 3 líneas de control (E, RS y R/W) y 8 líneas de datos (DB0 – DB7).

- E: Es llamada «Enable». Esta línea es usada para indicarle al display que se le están enviando datos. Para enviarle los datos el programa debe primero poner esta línea en alto, y luego setear las otras dos líneas de control y/o poner datos en el bus. Cuando se termina de trabajar con todas las líneas, se debe poner nuevamente en bajo la línea E. La transición le indica al display que tome los datos que se encuentran en las líneas de datos y/o control y ejecute los comandos correspondientes.
- RS: es llamada «Register Select». Cuando esta línea está en bajo los datos son tratados como comandos o instrucciones especiales, en cambio, cuando está en alto, los datos son tratados como texto para ser mostrado en el display.
- R/W: Es llamada «Read/Write». Cuando R/W está en bajo, la información en el bus de datos está siendo escrita en el display. Cuando la línea está en alto, la información está siendo leída del display. (Anibal Intino).

### **1.9.2 Inicialización del LCD**

Antes de que se pueda realmente usar el LCD primero debe ser inicializado y configurado. Esto se hace enviando un número de instrucciones de inicialización al LCD. Lo primero que se le debe indicar al LCD es si la comunicación se hará con un bus de 8 bits o de 4 bits. También se debe seleccionar el tipo de carácter, en este caso de 5x8 puntos. Es una buena idea limpiar la pantalla del display como primera operación luego de que ha sido inicializado. (Anibal Intino). (Cheng et al., 2004).



## **1.10 Hornos para el tratamiento de materiales en laboratorios**

En casi todos los laboratorios donde se analizan o efectúan pruebas para la fabricación o transformación de diferentes tipos de piezas de metal, plástico, goma, madera, etc, se suele precisar de la aplicación de calor en varios de sus procesos, para cocer, secar, fundir, dilatar, desgasificar, realizar diversos tratamientos de envejecimiento, térmicos, etc., los cuáles pueden efectuarse en estufas u hornos estáticos o bien continuos, con recirculación forzada de aire o bien con atmósferas de protección, trabajando a temperaturas comprendidas entre 50 y 450 °C.

Estos hornos hasta 450 °C, están contruidos por módulos de chapa plegada con refuerzos y rellenos de lana de roca, fibra cerámica, o bien con materiales refractarios, con espesores variables en función de la temperatura de trabajo. (Álvarez-Hornos, Izquierdo Sanchis, & Cháfer Ortega, 2014).

### **1.10.1 Principio de operación**

Los hornos de secado constan por lo general con dos cámaras una interna y otra externa. La cámara interna se fabrica en aluminio o en material inoxidable, con muy buenas propiedades para transmitir el calor; dispone de un conjunto de estantes o anaqueles fabricados en alambre de acero inoxidable, para que el aire circule libremente, allí se colocan los elementos que requieren ser secados o esterilizados mediante calor seco. Se encuentra aislada de la cámara externa por un material aislante que mantiene internamente las condiciones de alta temperatura y retarda la transferencia de calor al exterior. La cámara externa está fabricada en lámina de acero, recubierta con una película protectora de pintura electrostática. El calor interno es generado mediante conjuntos de resistencias eléctricas, que transfieren la energía térmica a la cámara interna. Dichas resistencias se ubican en la parte inferior de la estufa. El calor dentro de la cámara interna se transfiere y distribuye mediante convección natural o convección forzada. (Álvarez-Hornos et al., 2014).



## **1.11 Conclusiones del capítulo**

En este capítulo se caracterizó el sistema de control de temperatura, se describieron cada una de sus etapas y de los elementos que lo componen, y se demostró la efectividad del SAD para el sistema de control de temperaturas.



## **Capítulo 2: Diseño de un Sistema de Control de Temperatura**

En este capítulo se diseñó un control de temperatura a través de un sistema de adquisición de datos compuesto por los elementos siguientes:

- Sensor de temperatura.
- Amplificador de instrumentación.
- Microcontrolador PIC.

### **2.1 Principio de funcionamiento de la termoresistencia RTD-PT100**

El sensor **PT-100** es un sensor de temperatura que basa su funcionamiento en la variación de resistencia a cambios de temperatura del medio. El elemento consiste en un arrollamiento muy fino de platino bobinado que a 0°C tiene 100 ohms y este se encuentra entre capas de materiales aislantes y protegidos por revestimiento cerámico. Este sensor tiene como ventaja con respecto a otros RTD (Dispositivo Termo Resistivo) que se puede ser colocado a cierta distancia del medidor sin mayor problema (hasta unos 30 metros) utilizando cable de cobre convencional para hacer la extensión y sin tener errores en la medición. (Pangavhane, Sawhney, & Sarsavadia, 2002).

El material que forma el conductor (platino), posee un coeficiente de temperatura de resistencia  $\alpha$ , el cual determina la variación de la resistencia del conductor por cada grado que cambia su temperatura según la siguiente ecuación:

$$R(t) = R_0(1 + \alpha t) \quad (2.1)$$

Donde:

Rt. Resistencia en  $\Omega$  (ohms) a t °C.

R<sub>0</sub>. Resistencia en  $\Omega$  (ohms) a 0 °C.

t. Temperatura actual.

$\alpha$ . Coeficiente de temperatura de la resistencia cuyo valor es de 0.003850 1/°C para el platino.



El incremento de la resistencia de este sensor no es lineal, pero si creciente y característico del platino de tal forma que mediante su ecuación es posible encontrar la temperatura exacta a la que corresponde, figura 2.1.

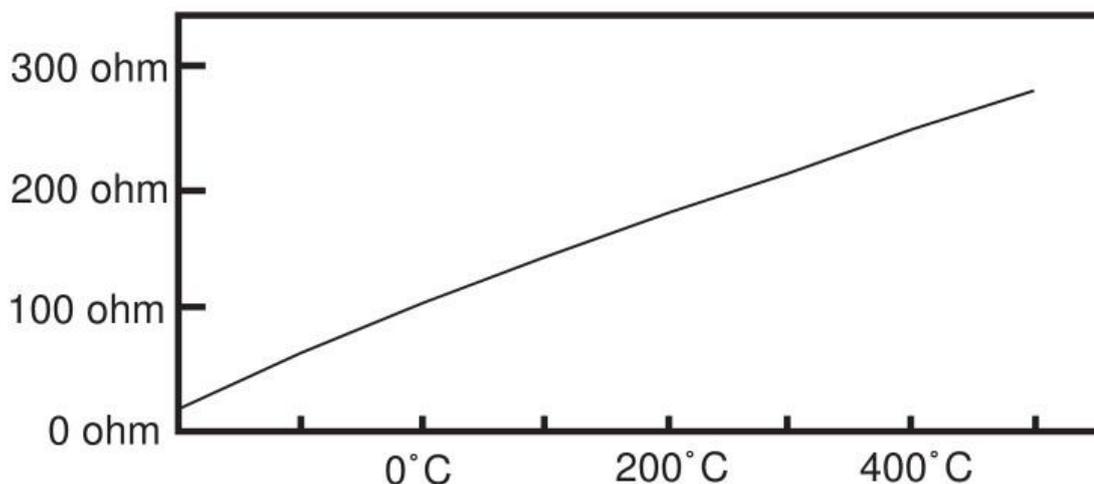


Figura 2.1. Curva característica del sensor PT-100 mediante su ecuación.

### 2.1.1 Tipos de conexión del PT100

- Con 2 hilos.
- Con 3 hilos.
- Con 4 hilos.

De las anteriores conexiones la de 2 hilos es la que vamos a usar en la implementación de nuestra investigación debido a que es una conexión sencilla y la menos costosa, solo que el lector medirá el total de  $R(t)+R_{c1}+R_{c2}$  en vez de  $R(t)$  y lo que se recomienda es usar cable lo más grueso posible para disminuir la resistencia de  $R_{c1}$  y  $R_{c2}$  y así disminuir el error en la lectura, figura 2.2. (Pangavhane et al., 2002).

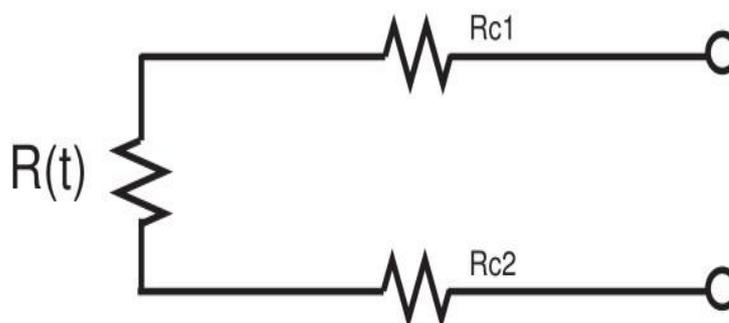


Figura 2.2. Conexión de 2 hilos del sensor RTD-PT100.

### 2.1.3 Linealización del sensor RTD-PT100

El uso de un microcontrolador en el diseño que se está implementando, nos brinda una gran ventaja en su linealización, ya que este nos permite programar en su memoria la ecuación que describe el comportamiento del sensor.

Como el sensor varía su ecuación con respecto a la temperatura, se utiliza el puente de Wheatstone para convertir las variaciones de resistencia en variaciones de tensión.

Para el cálculo de la resistencias que componen el puente, se emplean los límites del rango de temperatura en los que se va a trabajar (0 a 400 °C). Se desea que para el valor mínimo de temperatura el voltaje  $V_{out}$  sea de 0 V, para ello se utilizará en el puente de Wheatstone una alimentación de 5 V, que es la misma tensión que se requiere para la alimentación del microcontrolador, figura 2.3.

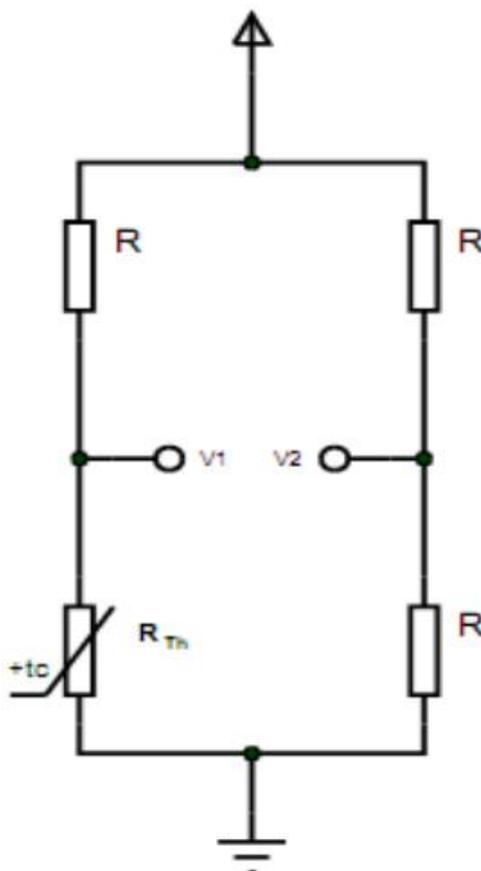


Figura 2.3. Puente de Wheatstone.



Cálculo de  $R(t)$  para 0 °C y 400 °C .

$$R(t) = R_0(1 + \alpha t)$$

$$R(t) = 100(1 + 0.00385 * 0)$$

$$R(t) = 100 \Omega$$

$$R(t) = R_0(1 + \alpha t)$$

$$R(t) = 100(1 + 0.00385 * 400)$$

$$R(t) = 254 \Omega$$

Cálculo de  $R$  para  $V_{out}=0$ .

$$V_{out} = \frac{R(t)V_{cc}}{R(t) + R} - \frac{V_{cc}}{2} \quad (2.2)$$

$$\frac{V_{cc}}{2} = \frac{R(t)V_{cc}}{R(t) + R}$$

$$R = \frac{2R(t)V_{cc}}{V_{cc}} - R(t)$$

$$R = 100 \Omega$$

Cálculo de  $V_{out}$  para 400 °C.

$$V_{out} = \frac{R(t)V_{cc}}{R(t) + R} - \frac{V_{cc}}{2}$$

$$V_{out} = 1,08 V$$



## 2.2 El amplificador de instrumentación INA114

El sensor de temperatura RTD-PT100 posee como se ha visto anteriormente un rango de voltaje de salida que se encuentra entre los 0 y 1.08 V. Estos valores de la señal deben ser acondicionados a un rango de 0 a 5 V, que es el rango de entrada del conversor analógico digital que se usará. Para ello es necesario el uso de un amplificador de instrumentación que permitirá ajustar la señal y amplificarla al mismo tiempo, para ello se utilizará el amplificador de instrumentación INA114. El INA114 es un amplificador de instrumentación de propósitos generales con excelente precisión y bajo costo, su diseño con tres amplificadores operacionales lo hacen versátil para un gran número de aplicaciones (Figura 2.4 y 2.5). Posee una resistencia externa que puede fijar la ganancia en un rango de entre 1 y 10000 veces, con un alto modo de rechazo común y protección contra sobre voltajes de hasta 40 V. Opera en un rango de voltaje de entre  $\pm 2,25$  V hasta  $\pm 18$  V y una corriente de salida máxima de 3 mA. El encapsulado puede ser de 8 o 16 terminales (Figura 2.4 y 2.5). (Laffita Gómez, 2016).

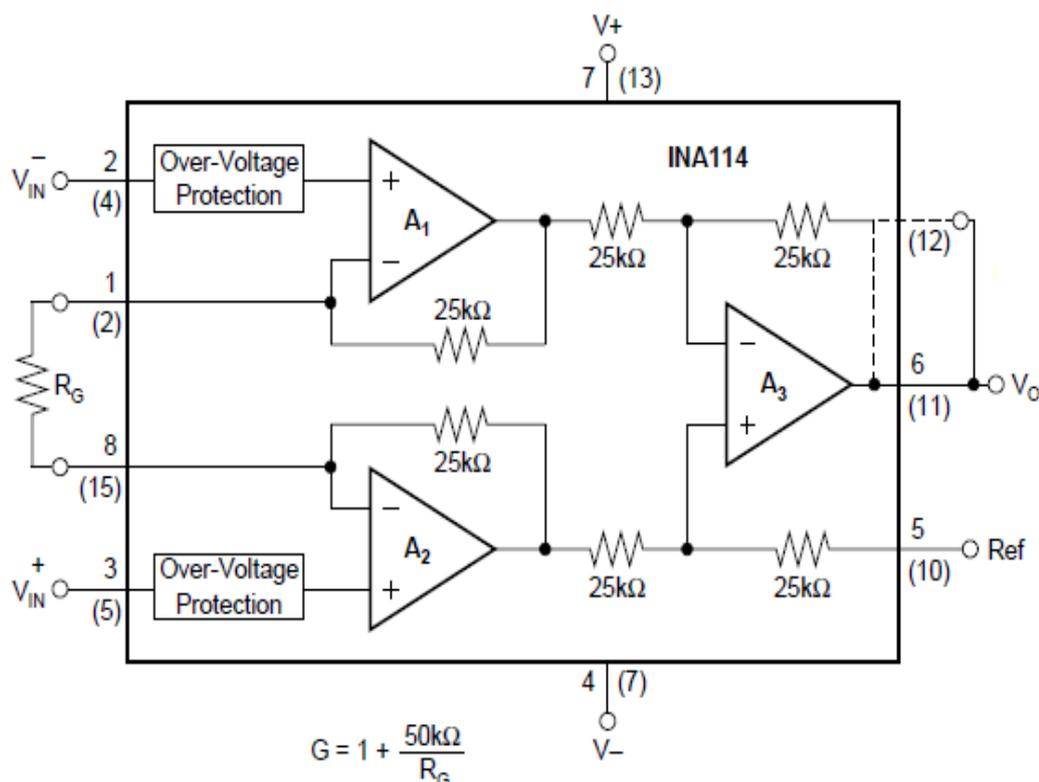


Figura 2.4. Esquema interno del INA114.

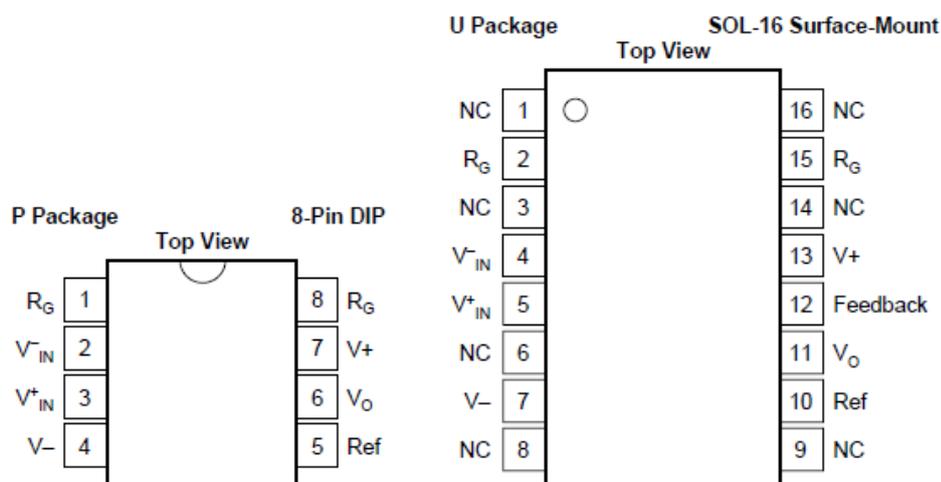


Figura 2.5. Encapsulados de 8 y 16 terminales.

Antes de amplificar la señal se debe tener en cuenta que sea unipolar debido a las características del convertidor analógico digital que se empleara. Para ello se utiliza la capacidad del INA114 de amplificar la diferencia. En este caso no es necesario convertir la señal a unipolar debido a que el rango de temperatura que se está trabajando es de 0 °C a 400 °C y los valores de tensión estarán de 0 a 1.08 V.

En primer lugar se debe determinar la ganancia que se desea alcanzar con el INA114, para ello se dividen los voltajes de entrada ( $V_{IN}$ ) y de salida ( $V_{OUT}$ ) que se desean en el dispositivo:

$$V_{out} = 5 V$$

$$G = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \tag{2.3}$$

$$G = 4,62$$

Conociendo el valor de la ganancia deseada se emplea la siguiente fórmula para determinar el valor de la resistencia de control de ganancia para el INA114:

$$G = 1 + \frac{50k\Omega}{R_g} \tag{2.4}$$



$$Rg = \frac{50k\Omega}{G-1}$$

$$Rg = 13,81k\Omega$$

### **2.3 El microcontrolador PIC16F877A**

El microcontrolador se encargará del procesamiento de los datos, creando una interfaz para lograr la comunicación entre el SAD, teniendo así un buen control del diseño trabajado.

El PIC16F877A es un microcontrolador de la familia PIC, fabricada por la empresa Microchip. En los últimos años se ha popularizado el uso de este microcontrolador debido a su bajo costo. Se ha usado en numerosas aplicaciones, que van desde los automóviles a decodificadores de televisión. Es muy popular su uso por los aficionados a la electrónica. (Figura 2.6 y 2.7).(Herrera & Hernández, 2004).



Figura 2.6. Encapsulado del PIC16F877A.

Puede ser programado tanto en lenguaje ensamblador como en Basic y principalmente en C, pero para el que existen numerosos compiladores.



Tabla 2.1. Principales características del PIC16F877A.

CARACTERÍSTICAS	16F877A
Frecuencia máxima	20 MHz
Memoria de programa FLASH (palabra de 14 bits)	8 k
Memoria RAM de datos (bytes)	368
Memoria EEPROM de datos (bytes)	256
Puertos E/S	A,B,C,D,E
Número de terminales	40
Temporizadores	3
Módulos CCP (Capture/Compare/PWM)	2
Comunicaciones serie	MSSP, USART
Comunicación paralelo	PSP
Módulo de CAD ( Conversor A/D)de 10 bits	8 canales
Juego de instrucciones	35 Instrucciones
Arquitectura	Harvard
CPU	RISC
Canales PWM	2
Comparadores analógicos	2

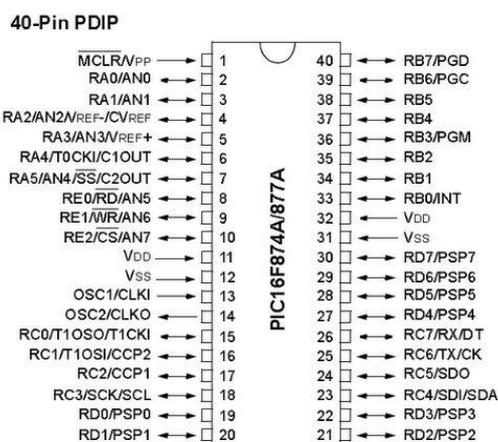


Figura 2.7. Forma esquemática del PIC16F877A.

## **2.4 Convertidor A/D del PIC16F877A**

Una de las características más importantes de este microcontrolador que hizo posible su selección es la de poseer un convertidor analógico digital, este se emplea en la conversión de los valores analógicos a digitales proporcionada por sensor para el control de la temperatura del horno de secado del mineral. Este convertidor analógico digital posee 8 canales de 10 bits, es unipolar, y su rango de entrada es de 0 V a 5 V. (Herrera & Hernández, 2004)

$$Resolución = \frac{V_r}{2^n} \quad (2.5)$$

Donde:

V<sub>r</sub>. Voltaje de referencia.

n. Cantidad de bit del ADC.

## **2.5 Elementos fundamentales del circuito fuerza**

El circuito de fuerza es el encargado de conectar el controlador con la resistencia del horno. Este circuito tiene que tener componentes que soporten grandes corriente debido a la demanda de la resistencia del horno. Los componentes utilizados son:

### **2.5.1 Transistor MOSFET (IRF2804)**

Para la confección de esta investigación se escogió un transistor del tipo MOSFET (IRF2804) debido a su capacidad de manejar grandes corrientes, sus bajas pérdidas en operación así como su velocidad de conmutación. En la figura 2.8, se muestra la forma física y esquemática del componente y la tabla 2.2 muestra los parámetros eléctricos del elemento.

Tabla 2.2. Parámetros eléctricos del transistor MOSFET (IRF2804).

Parámetros Eléctricos	Símbolos	Valor
Voltaje drenador-fuente	V <sub>DSS</sub>	40 V (dc)
Voltaje puerta-fuente	V <sub>GS</sub>	± 20 V (dc)
Corriente del drenador	I <sub>D</sub>	280 A (dc)



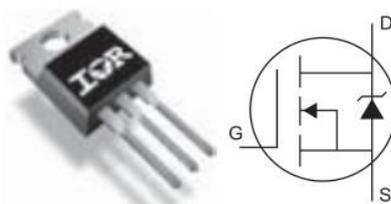


Figura 2.8. Apariencia física y esquemática del transistor MOSFET (IRF2804).

### **2.5.2 Relé Durakool (DG85D)**

Para esta investigación se escogió el relé Durakool (DG85D) por las siguientes características:

Son rápidos en la conmutación, no se desgastan, son inmunes a los choques y a las vibraciones, pueden conmutar altas corrientes y altos voltajes sin producir arcos, proporcionan un efectivo aislamiento entre la entrada y la salida, son inmunes a la contaminación atmosférica industrial. Se aplica a múltiples cargas tales como motores, lámparas, solenoides, calefactores, etc.

#### **Parámetros eléctricos del relé Durakool (DG85D)**

Tensión máxima conmutación: 127 V.

Corriente máxima conmutación: 100 A.

Tensión del bobinado: 6, 12, 24 V de CD.

### **2.6 Elementos que componen el circuito de control**

El circuito de control es el encargado de controlar la temperatura fijada por el usuario. Está formado por:

#### **2.6.1 Entrada digitales**

Para cualquier sistema de control de temperatura se necesita un panel de botones que permita la regulación de dicha temperatura (Figura 2.9).



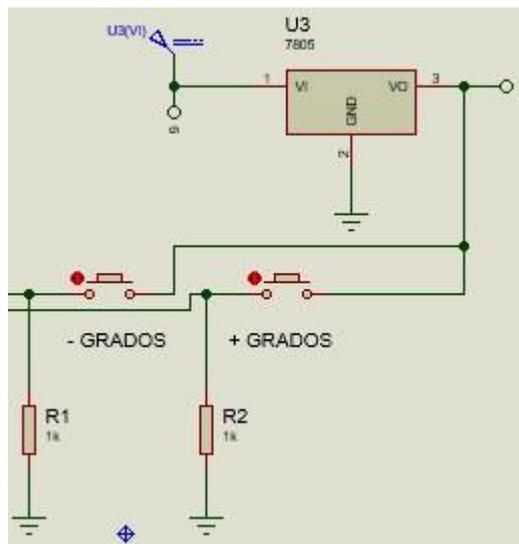


Figura 2.9. Forma esquemática del panel de botones.

### **2.6.2 El Microcontrolador**

El componente fundamental de este circuito lo constituye el microcontrolador, debido a que es el encargado de dirigir todos los dispositivos que intervienen directamente en el sistema de control de temperatura. El microcontrolador seleccionado para la investigación es el PIC 16F877A cuyas características fueron detalladas anteriormente.

### **2.6.3 Fuente de alimentación para el circuito de control**

El microcontrolador necesita una fuente de alimentación que le proporcione corriente continua al igual que otros módulos del circuito que también puede requerir su propia fuente de alimentación, que necesiten de otros voltajes. La fuente utilizada en este trabajo cuenta con un transformador que se va a encargar de bajar el voltaje a los niveles necesarios, a la salida del cual se tiene un rectificador tipo puente de diodos que va a convertir la forma de onda de corriente alterna a corriente rectificada, la onda obtenida se filtra mediante un condensador y mediante dos reguladores de tensión, se fijan los voltajes a la salida de los reguladores, 12V para el 7812 y en la salida de éste se coloca en cascada el regulador 7805 para estabilizar 5V en su salida. La alimentación de 12V es requerida para la alimentación del relé, en tanto que los 5V son necesarios para el resto de los componentes del circuito. La figura 2.10 muestra el diseño de la fuente de alimentación (Figura 2,10).



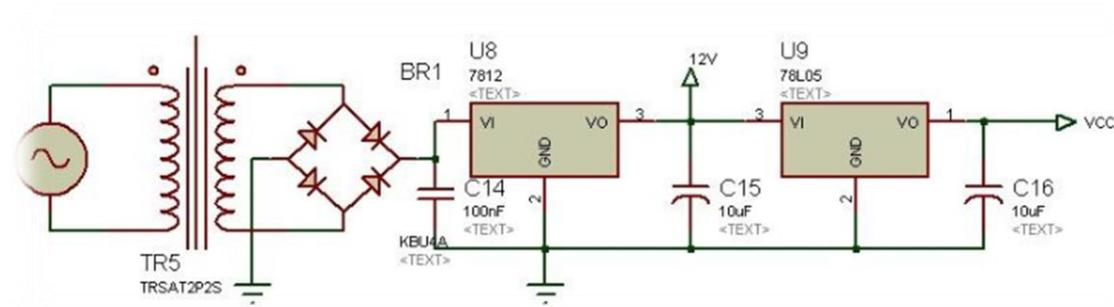


Figura 2.10. Fuente de control del sistema de control.

## 2.7 Horno de secado del laboratorio de Ciencias de los Materiales

El horno de laboratorio está diseñado para trabajar a un rango máximo de 400°C, puede ser usado en procesos como secado, esterilización de recipientes, artículos de metal y vidrio.

### 2.7.1 Características específicas del horno del laboratorio de Ciencias de los Materiales

Dimensiones interiores: 415x370x345 mm

Rango de Temperatura: 0 a 400 °C

Fuente de alimentación: 127V, 60Hz

Materiales de fabricación:

Exterior: Acero esmaltado con pintura epóxica, resistente a la corrosión.

Interior: Acero inoxidable de alta calidad, resistente a ácidos y álcalis.

## 2.8 Simulación y programación del diseño

Para el diseño del sistema de control de temperatura se utilizaron los siguientes softwares:

### 2.8.1 Proteus v8.5

La utilización de software para la simulación de fenómenos físicos es una práctica habitual en el mundo de la ingeniería, sea cual sea su especialidad. El conocimiento preciso del funcionamiento de un diseño real antes de su



fabricación es la gran aportación de los ordenadores. Todos estos paquetes de software están basados en modelos matemáticos, siendo la tarea del hombre decidir si los datos introducidos y los resultados obtenidos son satisfactorios o no.

La misión de un simulador de circuitos electrónicos es reproducir lo más exactamente posible el comportamiento de este, sin necesidad de construirlo físicamente, con el consiguiente ahorro de dinero y tiempo. En este caso se utilizó el software PROTEUS donde se diseñó y simuló el circuito electrónico, utilizando los componentes calculados anteriormente.

El entorno de diseño electrónico Proteus de Labcenter Electronics ofrece la posibilidad de simular código microcontrolador de alto y bajo. Esto permite el diseño tanto a nivel hardware como software y realizar la simulación en un mismo y único entorno. Para ello, se suministran tres potentes subentornos como son el ISIS para el diseño gráfico, VSM (Virtual System Modelling) para la simulación y el ARES para el diseño de circuitos impresos.

En primer lugar se debe dibujar el esquema electrónico del circuito a simular. Para que la simulación resulte cierta, se debe contar con el correspondiente modelo «spice» de todos los componentes utilizados. Un modelo spice no es más que un fichero que contiene la información necesaria para que el simulador pueda reproducir el comportamiento de dicho componente. Proteus se suministra con una amplia librería de más de 6.000 elementos con su correspondiente modelo spice. Aunque Proteus permite la creación por parte del usuario de nuevos componentes con modelo spice no incluidos en sus librerías estándar, esta posibilidad será objeto de otro tutorial.

En segundo lugar debemos colocar en nuestro esquema electrónico aquellos generadores de señal que definamos como entradas de nuestro circuito. En tercer lugar colocaremos tantas sondas como consideremos necesario para conocer las señales resultantes que definamos como salidas de nuestro circuito (Figura 2.11).



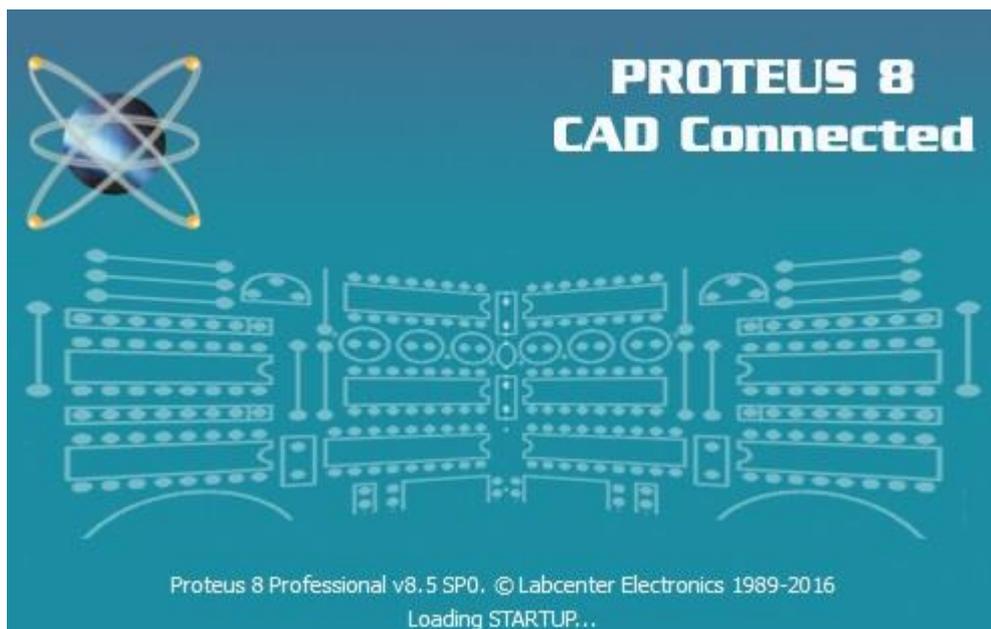


Figura 2.11. Proteus v8.5.

ISIS es un potente programa de diseño electrónico que permite realizar esquemas que pueden ser simulados en el entorno VSM o pasados a un circuito impreso ya en el entorno ARES.

Posee una muy buena colección de bibliotecas de modelos tanto para dibujar, simular o para las placas. Además, permite la creación de nuevos componentes, su modelización para su simulación e, incluso, la posibilidad de solicitar al fabricante (Labcenter Electronics) que cree un nuevo modelo. (AccountsIQ et al.)

### **2.8.2 PIC C Compiler de CCS**

La programación del microcontrolador PIC16F887A se realizará en el lenguaje C, utilizando el compilador PCWH CCS (Figura 14), dicho compilador genera ficheros en formato Intel-hexadecimal, que es el necesario para programar un microcontrolador de 6, 8, 18 o 40 terminales.  
Dora

El compilador se integra en un entorno de desarrollo integrado (IDE) que va a permitir desarrollar todas y cada una de las fases que se compone un proyecto, desde la edición hasta la compilación pasando por la depuración de errores. La última fase, a excepción de la depuración y retoques finales del hardware, será programar el PIC. Dentro del compilador PCWH existen



tres modos de compilación PCB para instrucciones de 12 bits, PCM para las de 14 bits y PCH para las instrucciones de 16 bits, el modo se selecciona en la parte superior de la ventana. Para abrir la ventana de trabajo se selecciona el ícono File luego se selecciona New Project y Project Wizard, crea un proyecto con un área de trabajo en blanco en la que se empieza a escribir el código (Figura 2.12). (Breijo, 2012).

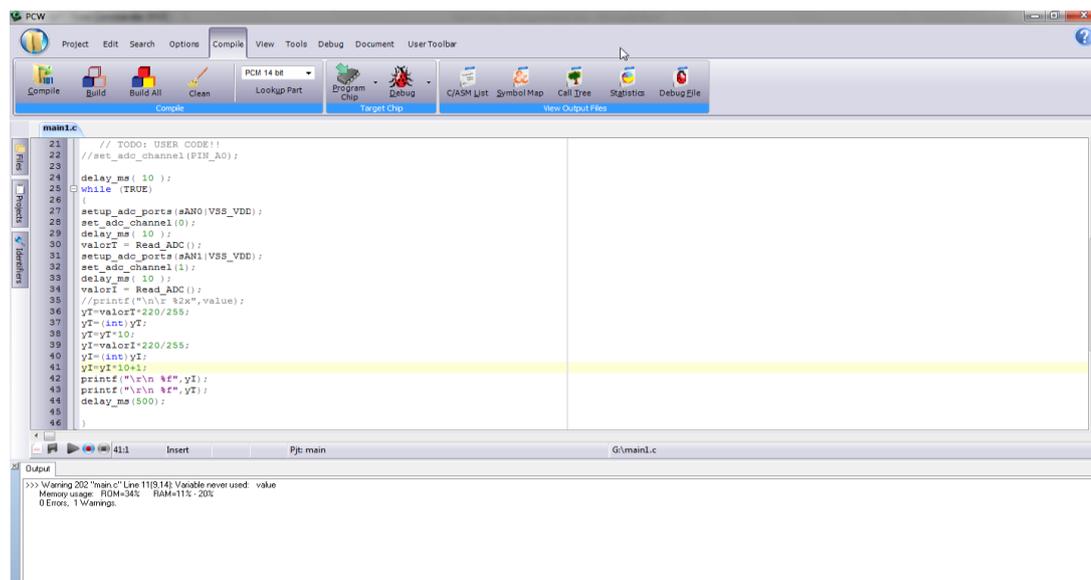


Figura 2.12. PCHW de CCS.

### 2.8.3 Lenguaje utilizado por el compilador

El lenguaje C data del año 1972; fue creado por los laboratorios Bell como resultado de la necesidad de reescribir los sistemas operativos UNIX con el fin de optimizar el conocido código ensamblador. De igual manera el lenguaje C fue la evolución de lenguajes previos llamados B, y BCPL. El nuevo lenguaje C, rápidamente tomó fuerza por su funcionalidad y facilidad en la implementación en diversos sistemas computacionales que requerían códigos de máquina. La estructura de un programa en lenguaje C es relativamente simple, primero es indispensable declarar las variables globales que el desarrollador considere necesarias para el funcionamiento del programa, estas variables globales son reconocidas por todos los puntos de código del programa incluidas las funciones propias del desarrollador y la función main. El paso a seguir es hacer las declaraciones de funciones diseñadas por el desarrollador para las tareas específicas en su programa.



Posteriormente se declara la función main y al comienzo de esta se deben declarar las variables que se requieran dentro de la misma. El código que sigue debe configurar e inicializar los puertos y módulos del microcontrolador que sean indispensables en la aplicación. Por último se edita el código que contiene el aplicativo concreto del programa. (Henao & Cardona, 2009).

## 2.10 Simulación en Proteus del circuito de control de temperatura

Para realizar la simulación del circuito electrónico que se utilizó el Proteus 8.5 en su entorno ISIS y VSM, y la programación del microcontrolador se realizó en PIC C Compiler.

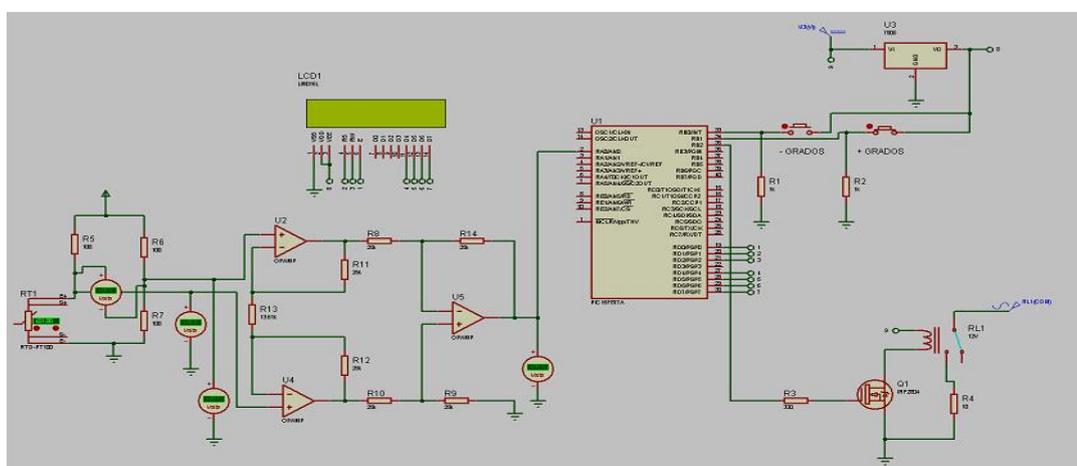


Figura 2.13. Forma esquemática de la simulación del sistema de control de temperatura en Proteus.

## 2.11 Conclusiones del capítulo

En este capítulo se diseñó un sistema de control de temperatura compuesto por una termoresistencia RTD-PT100 como sensor de temperatura, un microcontrolador PIC16F877A que se encarga de la conversión analógico digital y de controlar los rangos de temperatura permisibles para el horno de secado.



## Capítulo 3 Análisis de los resultados y valoración económica

### 3.1 Resultados de la investigación

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos en la validación realizado al diseño, para ello se utilizó las siguientes herramientas: la tarjeta HJ5GV2.0, el termómetro infrarrojo UT305C y el un voltímetro UT804 (Figura 3.1). También se realizó una detallada valoración económica que permitirá analizar las posibilidades reales de una inversión.



Figura 3.1. Herramientas necesarias para el montaje del circuito propuesto.

### **3.2 Características específicas de las herramientas utilizadas**

Estos instrumentos poseen una fiabilidad exquisita, por lo que son utilizados para la realización de prácticas de laboratorio en el ISMMM. A continuación se presenta una detallada información de las especificaciones técnicas de cada instrumento.

Termómetro infrarrojo UT305C:

- Diapasón de temperatura  $-50^{\circ}\text{C} \sim 1550^{\circ}\text{C}$ .
- Grabación de datos (hasta 100).
- Interruptor del láser.
- Selección entre  $^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{F}$ .

Voltímetro UT804

- Especificaciones técnicas.
- Voltaje de CD 1000V.
- Voltaje de CA 1000V.
- Corriente CD 10A.
- Corriente CA 10A.
- Resistencia  $40\text{ M}\Omega$
- Temperatura  $-50$  a  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Tarjeta HJ5GV2.0:

- Posee 40 pin.
- LCD 2x16.
- 4 7 segmento
- Puerto USB 2.0.
- Teclado 4X4.
- Compatible con PIC16F877A, PIC18F452, PIC18F4341.

### **3.3 Resultados de las pruebas realizadas**

Después de implementado el diseño en el kit del PIC16F877A, se procedió a medir la temperatura y compararla con la medición del termómetro, para así obtener el comportamiento del circuito en condiciones reales, lo cual se muestra en la figura 3.2.



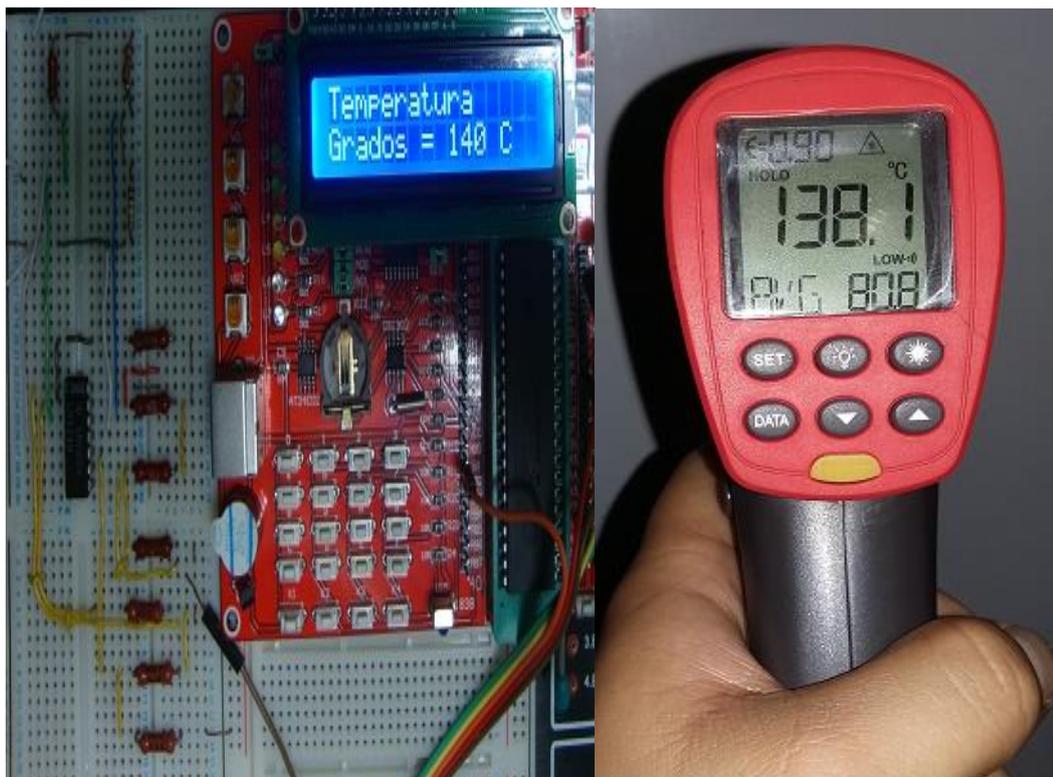


Figura 3.2. Medición de la temperatura a 140 °C.

En la figura 3.2, se observa el comportamiento del diseño en condiciones reales, donde el termómetro y el LCD del PIC muestran resultados similares. El error que existe entre la medición del termómetro y la lectura mostrada en el LCD, no influye como tal en el secado de materiales del horno, debido que este es muy pequeño y no afecta en nada en el proceso de secado que está en el rango de  $\pm 5$  °C.

Ya obtenido resultados satisfactorios en las mediciones, se comprobó que el sistema regulara un valor de temperatura en un rango predefinido por el Set-Point, (Figura 3.3 y 3.4).



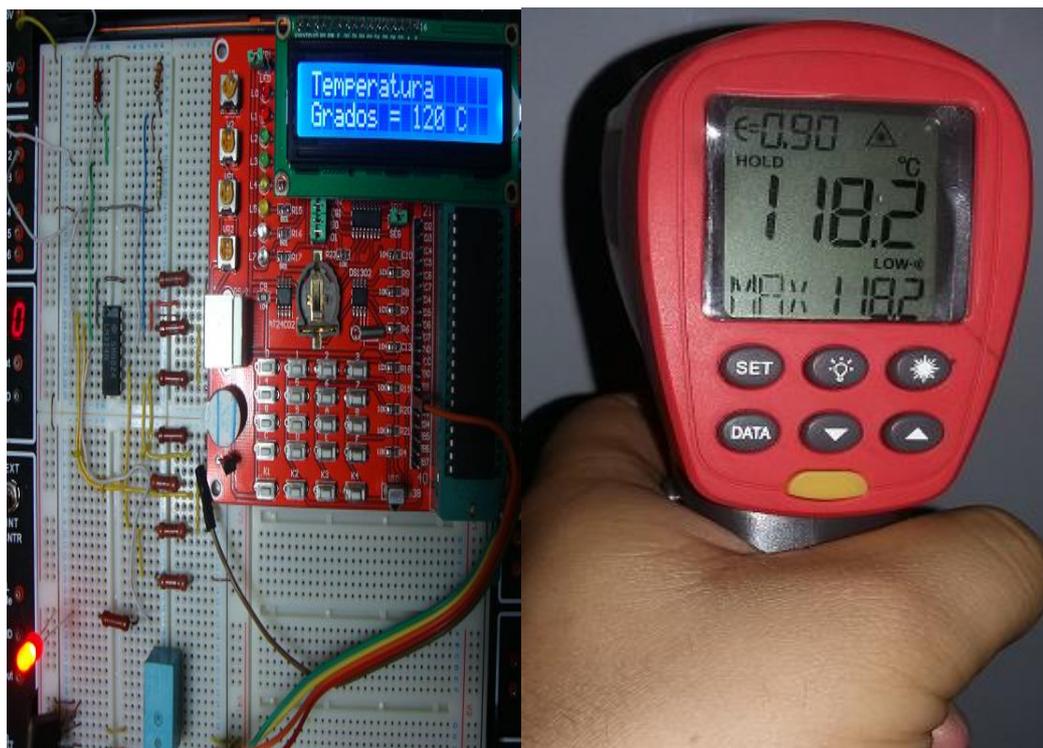


Figura 3.4. Sistema de control temperatura conectado.

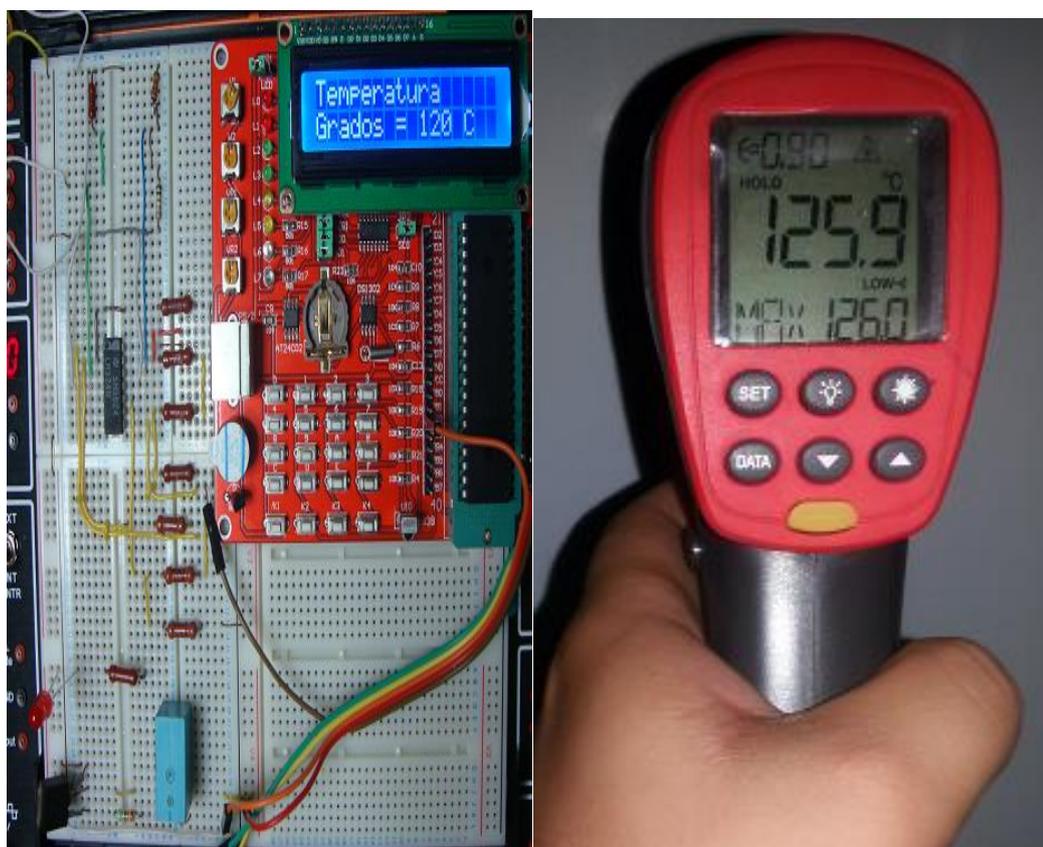


Figura 3.5. Sistema de control de temperatura desconectado.

En la Figura 3.4 y 3.5 se demostró que el circuito realiza un adecuado control de temperatura y para esto se fijó por el Set-Point una temperatura de 120 °C, donde este circuito se encarga de conectar y desconectar la carga según la variación de la temperatura en el horno. El valor de temperatura mostrado en la Figura 3.4 mantiene el horno conectado, debido a que este valor es inferior al fijado por el circuito de control, mientras que el mostrado en la Figura 3.5 el horno se encuentra desconectado, por ser un valor de temperatura mayor que el fijado por el circuito de control. Estos valores de temperatura son visualizados a través del LCD y el termómetro infrarrojo.

Luego de comprobar el buen funcionamiento del control de temperatura se procedió a la medición de tensión para determinar el comportamiento del diseño en condiciones naturales con respecto a la simulación del circuito, mostrado en las figuras 3.6 y 3.7.



Figura 3.6. Medición de tensión en condiciones reales.

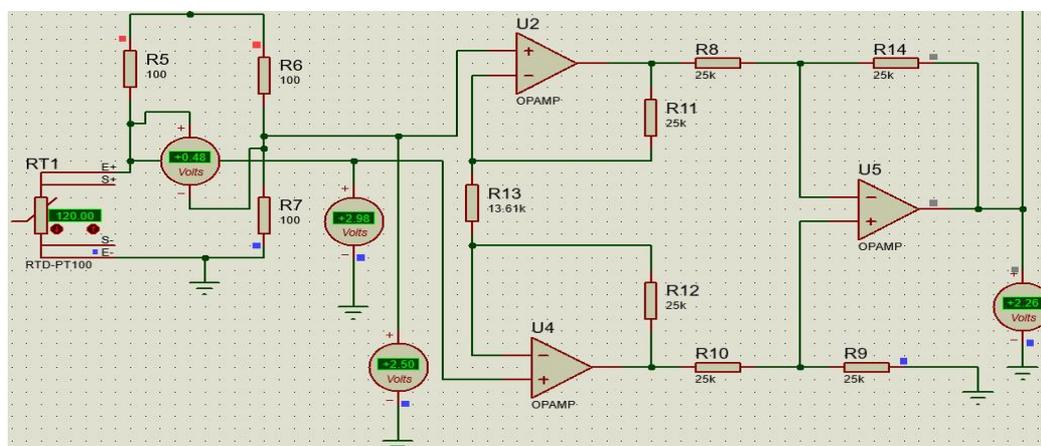


Figura 3.7. Valores de tensión a 120 °C en la simulación en Proteus.



En la Figura 3.6 se midió el valor de tensión con el voltímetro UT 804 correspondiente a 120 °C que es de 2.2399 V, mientras que en la Figura 3.5 se mostró el valor de tensión de la simulación en Proteus que es de 2.26. Como se puede observar el error que existe es muy pequeño el cual no afecta en nada al sistema de control de temperatura del horno.

### **3.4 Valoración técnica**

Desde el punto de vista técnico, la propuesta del diseño de un circuito de control de temperatura para el Horno de Secado del Laboratorio de Ciencias de los Materiales, cumplió la posibilidad de creación de varios medios de enseñanza que faciliten la asimilación de conocimientos a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica en las prácticas correspondientes al laboratorio.

Se realizaron varias pruebas que permitieron ajustar cada uno de los bloques que conforman el circuito. Fueron empleadas diversas herramientas de software reconocidas internacionalmente que permitieron diseñar, simular y programar cada uno de los bloques que conformaron la aplicación. Los instrumentos empleados pueden considerarse de buena actualidad y con magníficas prestaciones que garantizaron el buen funcionamiento de todo el sistema de control.

### **Características específicas del diseño**

- Rango de control de la temperatura: 0 a 400 °C.
- Variación de temperatura en acenso y descenso: 20 °C.
- Temperatura inicial de secado: 40 °C.

### **3.5 Valoración económica**

Para la valoración económica primeramente se analizó el costo monetario de cada uno de los componentes necesarios para la construcción de este circuito. La siguiente tabla muestra el nombre, cantidad y precios por unidad y total de cada uno de dichos dispositivos.



Tabla 3.1. Precios de los elementos utilizados en el circuito propuesto.

Nombres de los componentes	Cantidad	Precio por unidad (CUC)	Precio Total
<b>Sensor RTD-PT100</b>	1	9,90	9,90
<b>Amplificador de instrumentación INA114</b>	1	1.75	1.75
<b>Microcontrolador PIC16F877A</b>	1	5.45	5.45
<b>Display LCD 2x16</b>	1	4.09	4.09
<b>Push button</b>	2	0.74	1.48
<b>Relé Durakool DG85D</b>	1	3.67	3.67
<b>Transistor de potencia IRF2804</b>	1	0.55	0.55
<b>Resistencia de 100Ω</b>	3	0.01	0.03
<b>Resistencia de 330Ω</b>	1	0.01	0.01
<b>Resistencia de 1 kΩ</b>	2	0.03	0.06
<b>Resistencia de 14 kΩ</b>	1	0.42	0.42
<b>Resistencia de 25 kΩ</b>	6	0.75	4.5
<b>Total</b>	21	18.31	22.01

Como se observa en la anterior tabla el precio total para la implementación del hardware es de 22.01 CUC lo que equivale 550.25 CUP.

### 3.6 Cálculo económico

Para el diseño de este control de temperatura, es necesario un diseñador y un técnico electrónico, obteniendo cada uno, un salario en moneda nacional de \$1.71 y \$1.21 por horas de trabajo. Teniendo en cuenta que ambos emplean 8 horas en el diseño y montaje del módulo, sumándole el precio de los componentes que integran el hardware se puede determinar el costo total de la instalación del sistema por la siguiente fórmula matemática:

$$Ct = PC + Sd \cdot Hd + Se \cdot He \quad (3.1)$$



Donde:

Ct. Costo total.

PC. Precio total de los componentes.

Sd y Se. Salario por hora del diseñador y el técnico electrónico respectivamente.

He y He. Horas trabajadas por el diseñador y el técnico electrónico respectivamente.

Sustituyendo en la fórmula anterior se calcula que el costo total es de: \$ 573.61 CUP. Teniendo en cuenta que la mayoría de los componentes utilizados en el diseño se encuentran en el instituto, y que la construcción del dispositivo puede llevarse a cabo en el centro por la simplicidad del circuito, este proyecto es altamente económico.

### **3.7 Conclusiones del capítulo**

En este capítulo se analizaron los resultados obtenidos después del montaje, comparando con los datos alcanzados por el termómetro infrarrojo, voltímetro y la simulación, demostrándose la factibilidad del circuito diseñado. También se realizó un sencillo cálculo económico basándose en el costo de los componentes que integran el módulo construido, donde se obtuvo la cantidad necesaria de efectivo para la realización del proyecto, demostrando que es factible.



## **Conclusiones Generales**

- Se realizó un estudio de los sistemas de control de temperatura en general.
- Se diseñó un sistema de control de temperatura para el horno del laboratorio de Ciencias de los Materiales del ISMMM.
- Se llevó a cabo un análisis detallado de la valoración económica del diseño para una futura implementación del sistema.



## **Recomendaciones**

- Implementar el diseño en el laboratorio de Ciencias de los Materiales del ISMMM.
- Diseñar un sistema de control para otras variables.
- Diseñar un sistema de control a través de un software computacional.



## **Bibliografía**

- AccountslQ, A., Accounting, C. C., ERP, D. D., Accounting, F. W., FMS, H. I., GEAC, I. G. S., & System21, I. Ledger Manage: Compatible account packages. *Sage*, 1000(V2), V3.
- Álvarez-Hornos, F. J., Izquierdo Sanchis, M., & Cháfer Ortega, A. (2014). Implantación y evaluación de códigos QR en laboratorios docentes de ingeniería química. @ *tic. revista d'innovació educativa*(13).
- Areny, R. P. (2004). *Sensores y acondicionadores de señal*: Marcombo.
- Breijo, E. G. (2012). *Compilador C CCS y simulador Proteus para microcontroladores PIC*: Marcombo.
- Coughlin, R. F., & Driscoll, F. F. (1999). *Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales*: Pearson educacion.
- Cheng, W.-C., Hou, Y., & Pedram, M. (2004). *Power minimization in a backlit TFT-LCD display by concurrent brightness and contrast scaling*. Paper presented at the Proceedings of the conference on Design, automation and test in Europe-Volume 1.
- Garrido Rodríguez, D. I. (2010). Aplicaciones de la electrónica. In E. G. Joa (Ed.).
- Henao, C. A., & Cardona, E. D. (2009). Programando microcontroladores PIC en lenguaje C. *Scientia et technica*, 3(43), 37-42.
- Herrera, D., & Hernández, A. (2004). Descripción del PIC 16F877A. *línea*]. Maracay, disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos18/descripcion-pic/descripcionpic.shtml> [Consultado el 10 de mayo de 2008] <http://www1.microchip.com/downloads/applicationnotes/DS00851B.pdf> [Consultado el 6 de noviembre de 2007].
- Huircán, J. (2010). Conversores Análogo-Digital y Digital-Análogo: Conceptos Básicos.
- Laffita Gómez, D. E. (2016). *Diseño e implementación de un sistema de medición de temperatura con fines docentes.*, ISMMM.
- Matos, K. (2015). *Simulación de un Sistema de Adquisición de Datos (SAD) utilizando microcontroladores como medio de enseñanza virtual*.
- Moyano, J. M. D. (2005). Instrumentación Electrónica de Comunicaciones: El amplificador de instrumentación. *Universidad de Cantabria*.
- Ogata, K. (2003). *Ingeniería de control moderna*: Pearson Educación.
- Osorio, L. A. (2007). Acondicionamiento de señales bioelectricas. *Trabajo de grado de ingeniero electricista. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de ingeniería eléctrica*.
- Pangavhane, D. R., Sawhney, R., & Sarsavadia, P. (2002). Design, development and performance testing of a new natural convection solar dryer. *Energy*, 27(6), 579-590.
- Pedroso, F. (2012). *Diseño de un sistema de adquisición de datos que permita controlar y adquirir datos en un carril de aire*.
- Rico, R., Alvarez, M., & Canet, W. (1995). Sistema de adquisición y análisis de datos. *Eurofach Electrón*, 18, 60-65.
- Salomón, J. I. (2012). *Diseño de un sistema de control de temperatura para un horno electrico.* .
- Serna, A., Ros, F., & Rico, J. (2010). *Guía práctica de sensores*: Creaciones copyright SL.
- Valdés, F. E. (2004). *Microcontroladores PIC*.
- Virguilio, L., & Cesar, R. J. (2006). *Diseño y simulacion de un sistema de control de temperatura a través del PIC16F877*.



## **Anexos**

### **Anexo 1** Programación del control de Temperatura para el PIC 16F877A.

```
#include <16f877a.h>

#device adc=10

#use delay(clock=2000000)

#include <lcd.c>

float x,y,Vs;

long z=40;

void main()

{

    output_low(PIN_B2);

    lcd_init(); //Inicializa la pantalla lcd

    setup_adc(adc_clock_internal); //Selecciona el reloj de conversion

    setup_adc_ports(AN0); //Selecciona el puerto AN0 como entrada analógica

    set_adc_channel(0); //Selecciona el canal de conversion

    lcd_putc("\f Bienvenidos \n");

    delay_ms(600);

    lcd_putc("\fControl de Temp.\n");

    lcd_putc(" Para Hornos ");

    delay_ms(1500);

    lcd_putc("\fIniciando");

    delay_ms(300);

    lcd_putc("\fIniciando*");

    delay_ms(300);

    lcd_putc("\fIniciando**");

    delay_ms(300);

    lcd_putc("\fIniciando***");

    delay_ms(300);

    lcd_putc("\fIniciando****");

    delay_ms(300);

}
```



```
lcd_putc("\fIniciando*****");
delay_ms(300);
lcd_putc("\fIniciando*****");
delay_ms(300);
lcd_putc("\fIniciando*****");
delay_ms(300);
lcd_putc("\f");
while(TRUE)
{
    x=read_adc();//Conversion A/D la almacena en r en un binario de 0-1024
    y=(x/1023)*5;//Convierte de binario a voltaje
    if(z==40)
    {
        Vs=0.946;
    }
    if(z==60)
    {
        Vs=1.316;
    }
    if(z==80)
    {
        Vs=1.656;
    }
    if(z==100)
    {
        Vs=1.976;
    }
    if(z==120)
    {
        Vs=2.266;
    }
}
```



```
if(z==140)
{
    Vs=2.546;
}
if(z==160)
{
    Vs=2.806;
}
if(z==180)
{
    Vs=3.048;
}
if(z==200)
{
    Vs=3.279;
}
if(z==220)
{
    Vs=3.495;
}
if(z==240)
{
    Vs=3.698;
}
if(z==260)
{
    Vs=3.894;
}
if(z==280)
{
    Vs=4.076;
```



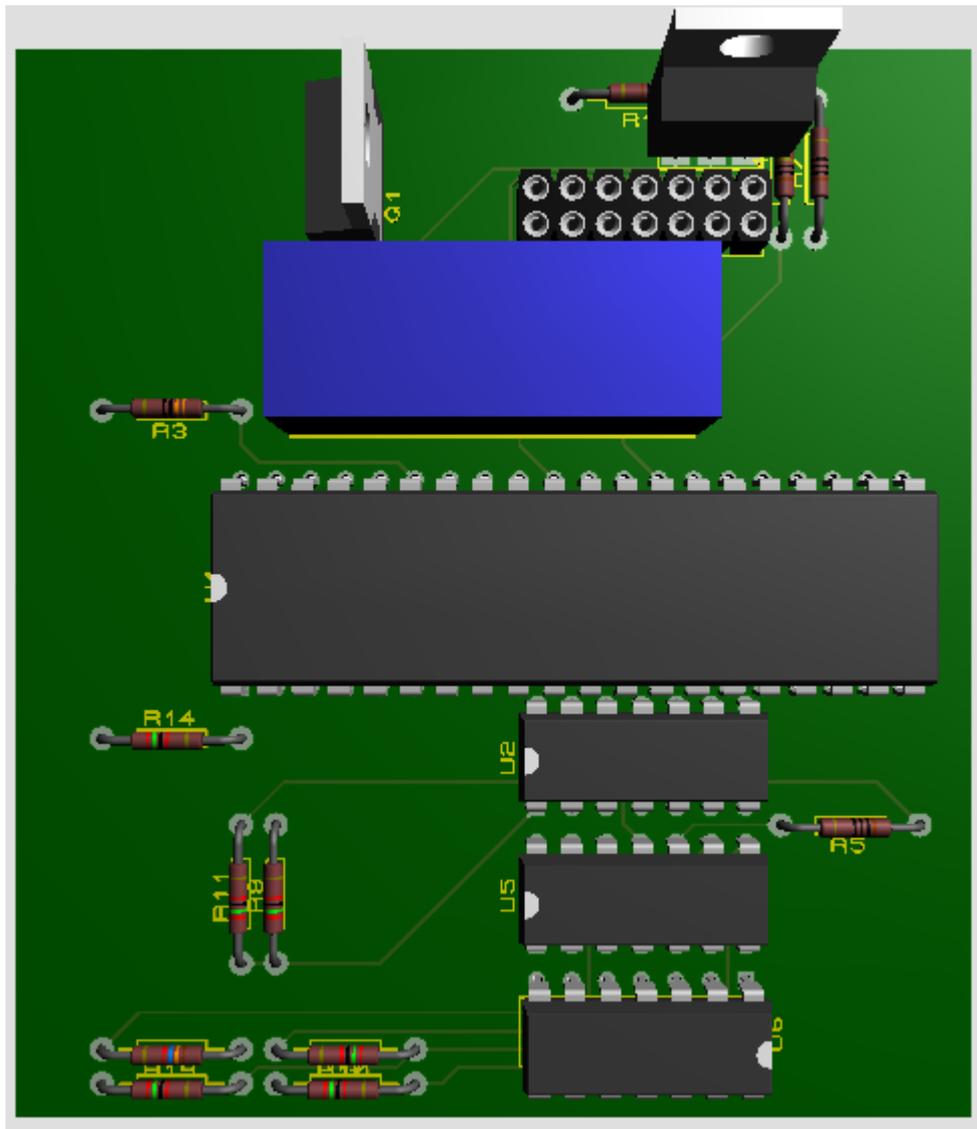
```
}  
if(z==300)  
{  
    Vs=4.248;  
}  
if(z==320)  
{  
    Vs=4.412;  
}  
if(z==340)  
{  
    Vs=4.566;  
}  
if(z==360)  
{  
    Vs=4.716;  
}  
if(z==380)  
{  
    Vs=4.856;  
}  
if(z==400)  
{  
    Vs=4.995;  
}  
if(y<=Vs)  
{  
    output_high(PIN_B2);  
}  
else  
{
```



```
    output_low(PIN_B2);
}

if(input(PIN_B1))
{
    if(z<400)
        z=z+20;
}
if(input(PIN_B0))
{
    if(z>0)
        z=z-20;
}
lcd_putc("Temperatura\n");
printf(lcd_putc,"Grados = %Ld C  ", z);
delay_ms(100); //Demora
}
}
```





Anexo 2 Vista en 3D del circuito de control de temperatura.

