



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 e implementación de un sistema
de medición de temperatura con fines
docentes.*

Autor: Dora Esther Laffita Gomez.

Tutor: Ing. Eduardo Smith Galano.

Moa, 2016



Declaración de Autoridad

Firma del Diplomante

Dora E. Laffita Gomez

Firma del Tutor

Ing. Eduardo Smith Galano

Dedicatoria

Agradecimientos

RESUMEN

En este trabajo se realizó el diseño y simulación de un sistema de medición de temperatura con el uso de microcontroladores para la realización de prácticas de laboratorios de las asignaturas de Mediciones Eléctricas, Electrónica Analógica y Aplicaciones de los Microcontroladores la Electroenergética. Para el desarrollo de la investigación se realizó una búsqueda bibliográfica y se propuso un diseño basado en los sistemas de adquisición de datos (SAD); el sistema propuesto incluye también una aplicación de software para la visualización y procesamiento de los datos. El diseño se confeccionó usando el Proteus 8.1 de Labcenter Electronics y para la programación se usó el CCS Compiler, la aplicación fue creada en LabVIEW de National Instruments. En el análisis económico se demuestra la viabilidad del proyecto para su puesta en práctica en los laboratorios de la carrera.

ABSTRACT

This paper describes the design and simulation of a temperature measurement system using microcontrollers to perform laboratory practices of the subjects of Electrical Measurements, Analog Electronics and Applications of the Microcontroller Electric Tech was performed. For the development of research a literature search was conducted and based data acquisition systems (SAD) design was proposed; the system also includes a software application for visualization and data processing. The design was drawn using Proteus 8.1 of Labcenter Electronics and programming the CCS Compiler was used, the application was created in LabVIEW from National Instruments. In the economic analysis the feasibility of the project for implementation in the laboratories of the race is demonstrated.

ÍNDICE

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	4
1.1 Estado del arte, antecedentes y actualidad.....	4
1.2 Sensores o transductores:	4
1.2.1 Características de un sensor	5
1.3 Acondicionamiento de la Señal	7
1.3.1 Clasificación general de amplificadores para acondicionamiento de señal .	8
1.4 Multiplexores	15
1.4.1 Función del multiplexor	16
1.4.2 Tipos de multiplexores	16
1.5 Conversor analógico digital (A/D).....	17
1.5.2 Tipos de conversores usuales	20
1.6 Microprocesadores y microcontroladores.....	20
1.6.1 Microcontroladores PIC (controlador de interfaz periférico).....	21
1.7 Comunicación con la PC	22
1.8 Procesamiento de los datos en la PC	24
1.9 Conclusiones del capítulo.....	25
CAPÍTULO II: DISEÑO DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA.	26
2.1 Principio de funcionamiento del termistor TTC050.....	26
2.3 El amplificador de instrumentación INA114	30
2.4 El microcontrolador PIC16F688	32
2.5 Convertidor A/D.....	34
2.6 Comunicación con la PC.....	35
2.6.1 Módulo comunicación	37
2.6.2 Interfaz de comunicación serie rs-232	38
2.7 Circuitos de oscilación y reset.....	40
2.9 Alimentación.....	42
2.10 Conclusiones del capítulo	44
CAPÍTULO III: SIMULACIÓN DEL SAD	45
3.1 Proteus.....	45
1.10 PIC C Compiler de CCS.....	46
3.3 LabVIEW	47

3.3.1 Características de LabVIEW	49
3.3.2 Aplicaciones de LabVIEW.....	50
3.4 Simulación y resultados	51
3.5 Valoración económica.....	52
3.5 Conclusiones del capítulo.....	54
Conclusiones generales	55
Recomendaciones.....	56
Bibliografía	57
Anexos	59

INTRODUCCION

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

Un sistema de medición es el conjunto de operaciones, procedimientos, instrumentos y software empleados para cuantificar una determinada magnitud física. En estos sistemas se utilizan los sistemas de adquisición de datos (SAD), cuyo objetivo básico es la integración de los diferentes recursos que lo componen: transductores de diferentes tipos y naturaleza, multiplexores, amplificadores, convertidores A/D (Analógico Digital) y D/A (Digital Analógico), además el uso de microcontroladores como CPU (Unidad Central de Procesamiento) del SAD diseñado, utilizando de estos todas sus prestaciones: interrupciones, temporizadores, comunicación serie así como puertos externos creando con todo ello un sistema que se encargue de distintas aplicaciones como chequear variables (PH, humedad relativa, temperatura, iluminación, concentración, etc.) para una posterior utilización de la misma ya sea con fines docentes, científicos, de almacenamiento o control y utilización de la misma.

Desde el punto de vista docente el diseño de los sistemas de medición a partir de los sistemas de adquisición de datos exige la puesta en práctica por los estudiantes de un conjunto de habilidades necesarias para su futuro desempeño en la vida laboral, por lo que la elaboración de dichos diseños como ejercicio de laboratorio puede proveer de la práctica a los futuros ingenieros necesaria para el enfrentamiento al futuro profesional.

Situación Problémica:

En la carrera de Ingeniería Eléctrica existe la intención de que los estudiantes adquieran mayores prácticas en las asignaturas de Mediciones Eléctricas, Electrónica Analógica y Aplicaciones de Microcontroladores a la Electroenergética,

pero la escasez de medios hace necesaria la implementación de medios que contribuyan a la formación de habilidades en los estudiantes. Sobre la base de esta situación, se establece el problema de la investigación, los objetivos del trabajo y la hipótesis.

Problema de la Investigación:

La escasez de medios de enseñanza en el desarrollo de las prácticas de laboratorios en la carrera de Ing. Eléctrica.

Objetivo General:

Diseñar e implementar un sistema de medición de temperatura para el desarrollo de laboratorios en las asignaturas de Mediciones Eléctricas, Electrónica Analógica y Aplicaciones de Microcontroladores a la Electroenergética.

Objetivos específicos:

1. Realizar un estudio de los sistemas de medición.
2. Diseñar e implementar un sistema de medición de temperatura con fines docentes.
3. Simular el sistema propuesto y visualizar los datos en una aplicación creada con ese fin.

Objeto de estudio:

Los sistemas de medición.

Campo de acción:

Mediciones eléctricas, Electrónica Analógica y Aplicaciones de Microcontroladores a la Electroenergética.

Hipótesis:

Si se diseña e implementa un sistema de medición de temperatura se contará con nuevos medios para el desarrollo de laboratorios en las asignaturas antes mencionadas.

Tareas de la investigación:

- Realización del estado del arte con SAD.

- Diseño del sistema de medición de temperatura.
- Elaboración de la aplicación necesaria para la lectura de los datos en la PC.
- Implementación del sistema de medición de temperatura.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Estado del arte, antecedentes y actualidad

En la actualidad la mayoría de las investigaciones relacionadas con los sistemas de adquisición de datos están encaminadas hacia aplicaciones industriales.

Mientras cada SAD se define por sus requerimientos de aplicación, cada sistema comparte una meta en común de adquirir, analizar y presentar información. Los SAD incorporan señales, sensores, actuadores, acondicionamiento de señales, dispositivos de adquisición de datos y software de aplicación (Hidalgo, 2007).

Mendoza en 2006 propuso un SAD para el monitoreo de magnitudes meteorológicas en los aeropuertos permitiéndole visualizar en tiempo real el comportamiento de la velocidad y dirección del viento y la temperatura.

Salazar en 2010 propone un SAD para la medición de parámetros de la calidad del agua en una planta de tratamiento, demostrando la importancia de la automatización de procesos a partir del monitoreo de las distintas variables con un SAD.

Matos en 2015 propone el diseño y simulación de un SAD utilizando microcontroladores como medio de enseñanza virtual, pero el rango de temperatura es limitado por lo que no se puede emplear en aplicaciones industriales.

1.2 Sensores o transductores:

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, pH, etc. Una magnitud eléctrica puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una Tensión eléctrica (como en un termopar o en sensor de efecto Hall), una corriente eléctrica (como en un fototransistor), etc.

Un sensor se diferencia de un transductor en que el sensor está siempre en contacto con la variable de instrumentación con lo que puede decirse también que es un

dispositivo que aprovecha una de sus propiedades con el fin de adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro dispositivo. Como por ejemplo el termómetro de mercurio que aprovecha la propiedad que posee el mercurio de dilatarse o contraerse por la acción de la temperatura. Un sensor también puede decirse que es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra. 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.



Figura 1.1. Sensor TTC 050

1.2.1 Características de un sensor

Los criterios de selección de un sensor responden a las características deseables para su desempeño, esto determina la eficiencia del SAD y la precisión de las mediciones a realizar; las principales características son:

- Rango de medida: dominio en la magnitud medida en el que puede aplicarse el sensor.
- Precisión: es el error de medida máximo esperado.
- *Offset* o desviación de cero: valor de la variable de salida cuando la variable de entrada es nula. Si el rango de medida no llega a valores nulos de la variable de entrada, habitualmente se establece otro punto de referencia para definir el *offset*.
- Linealidad o correlación lineal.
- Sensibilidad de un sensor: suponiendo que es de entrada, de salida y la variación de la magnitud de entrada.

- Resolución: mínima variación de la magnitud de entrada que puede apreciarse a la salida.
- Rapidez de respuesta: puede ser un tiempo fijo o depender de cuánto varíe la magnitud a medir. Depende de la capacidad del sistema para seguir las variaciones de la magnitud de entrada.
- Derivas: son otras magnitudes, aparte de la medida como magnitud de entrada, que influyen en la variable de salida. Por ejemplo, pueden ser condiciones ambientales, como la humedad, la temperatura u otras como el envejecimiento (oxidación, desgaste, etc.) del sensor.
- Repetibilidad: error esperado al repetir varias veces la misma medida.

Un sensor es un tipo de transductor que transforma la magnitud que se quiere medir o controlar, en otra, que facilita su medida. Pueden ser de indicación directa (termómetro de mercurio) o pueden estar conectados a un indicador (posiblemente a través de un convertidor analógico digital, una computadora y un display) de modo que los valores detectados puedan ser leídos por un humano. Por lo general, la señal de salida de estos sensores no es apta para su lectura directa y a veces tampoco para su procesado, por lo que se usa un circuito de acondicionamiento, como por ejemplo un puente de Wheatstone, amplificadores y filtros electrónicos que adaptan la señal a los niveles apropiados para el resto de los circuitos.

La resolución de un sensor es el menor cambio en la magnitud de entrada que se aprecia en la magnitud de salida. Sin embargo, la precisión es el máximo error esperado en la medida. La resolución puede ser de menor valor que la precisión. Por ejemplo, si al medir una distancia la resolución es de 0,01 mm, pero la precisión es de 1 mm, entonces pueden apreciarse variaciones en la distancia medida de 0,01 mm, pero no puede asegurarse que haya un error de medición menor a 1 mm. En la mayoría de los casos este exceso de resolución conlleva a un exceso innecesario en el coste del sistema. No obstante, en estos sistemas, si el error en la medida sigue una distribución normal o similar, lo cual es frecuente en errores accidentales, es decir, no sistemáticos, la repetitividad podría ser de un valor inferior a la precisión.

Sin embargo, la precisión no puede ser de un valor inferior a la resolución, pues no puede asegurarse que el error en la medida sea menor a la mínima variación en la magnitud de entrada que puede observarse en la magnitud de salida.

1.3 Acondicionamiento de la Señal

En todo SAD o sistema de medición donde sea usado un convertidor analógico digital (A/D) es muy importante el acondicionamiento previo de la señal que es suministrada al convertidor (Figura 1.2), 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 el 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 (National Instruments, 2010).

Un acondicionador de señal sirve para amplificar, modificar o seleccionar ciertas partes de una señal. Incluye la circuitería necesaria para el soporte del transductor o el sensor.

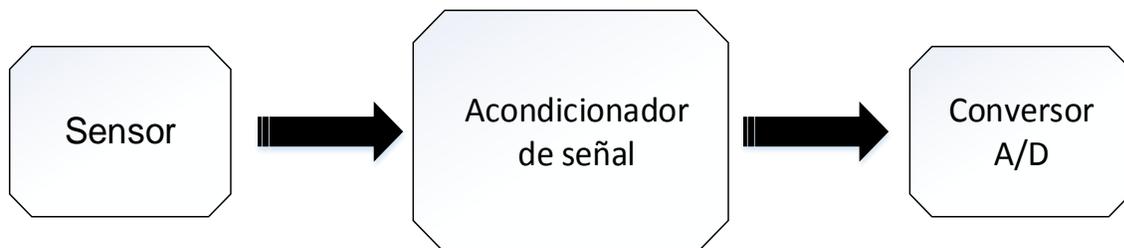


Figura 1.2 El acondicionador de señal adapta las señales del sensor al convertidor A/D.

No se puede hablar de los sensores, como componentes electrónicos básicos, sin ver cómo se pueden adaptar a un sistema de adquisición y control. Por lo que se

tendrán que ver las tecnologías de adaptación de estos sensores que como parte de una cadena de dispositivos, forman un sistema.

Estos adaptadores, como acondicionadores de señal, son los amplificadores operacionales en sus diferentes estructuras de montaje, pasando por filtros o por procesadores analógicos, convirtiendo estas señales de analógicas a digitales para posteriormente ser procesados los datos con un Procesador digital de señales (DSP) o microcontrolador y actuando por medio de las salidas lógicas del procesador o a través de un convertidor digital a analógico. También son empleados como acondicionadores los puentes de Wheatstone.

El puente de Wheatstone se utiliza para medir resistencias desconocidas mediante el equilibrio de los brazos del puente. Estos están constituidos por cuatro resistencias que forman un circuito cerrado, siendo una de ellas la resistencia bajo medida.

Los acondicionadores de señal, como dice su palabra preparan la señal que se va a procesar antes de introducirla a un convertidor A/D, a un microprocesador o un DSP.

La alta integración de los circuitos está desplazando los montajes con muchos componentes a diminutas placas con mayor precisión en el proceso analógico, empezando por el uso de amplificadores operacionales integrando varios de ellos en uno sólo, como los amplificadores de instrumentación.

1.3.1 Clasificación general de amplificadores para acondicionamiento de señal

Existen 4 tipos de amplificadores para acondicionamiento de señal, los cuales son:

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

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).

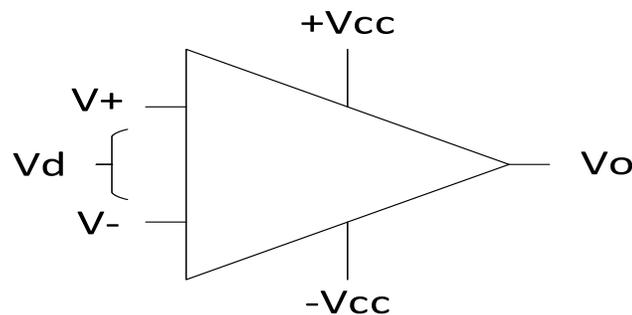


Figura 1.3 Amplificador operacional

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 $Bw = \infty$
- 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.

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 (Drake Moyano, 2005).

El amplificador de instrumentación es un amplificador diferencial tensión-tensión cuya ganancia puede establecerse de forma muy precisa y que ha sido optimizado para que opere de acuerdo a su propia especificación aún 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 unas 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 analógicos (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 de continua 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.

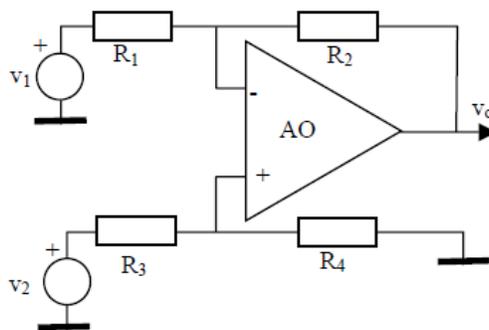


Figura 1.4 Amplificador diferencial.

$$v_o = -\frac{R_2}{R_1} v_1 + \frac{R_4}{R_3 + R_4} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \times v_2 \quad (1.1)$$

$$A_d = \left(\frac{R_2}{R_1} + \frac{R_4}{R_3 + R_4} \times \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \right) \quad (1.2)$$

$$A_c = \frac{R_4 \times R_1 - R_2 \times R_1}{R_1 \times (R_3 + R_4)} \quad (1.3)$$

Para que el amplificador se comporte como amplificador diferencial debe verificarse:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3} \rightarrow A_d = -\frac{R_2}{R_1}, A_c = 0 \quad (1.4)$$

Configuraciones básicas

Existen algunas configuraciones que son usadas de forma más frecuente

Configuración 1

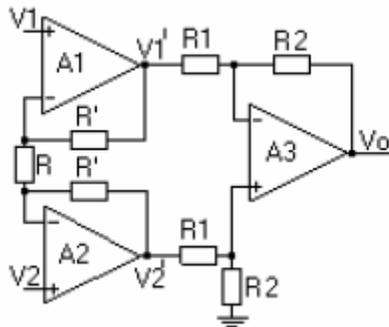


Figura 1.5 Configuración con tres amplificadores operacionales.

En A3:

$$V_+ = \frac{V_2' \times R_2}{R_1 + R_2} \quad (1.5)$$

$$V_- = \frac{V_0 \times R_1}{R_1 + R_2} + \frac{V_1' \times R_2}{R_1 + R_2} \quad (1.6)$$

En régimen lineal $V_+=V_-$ por tanto:

$$V_0 = (V_2 \times V_1') \times \frac{R_2}{R_1} \quad (1.7)$$

Si se hace $R_1=R_2$ entonces, $V_0=V_2-V_1$ por lo que a esta estructura se le denomina circuito restador y es la estructura más sencilla de un amplificador de instrumentación (Garrido, 2010).

Para A2:

$$V_+ = V_2 \quad (1.8)$$

$$V_+ = \frac{V_1 \times R'}{R + R'} + \frac{V_2' \times R}{R + R'} \quad (1.9)$$

En régimen lineal $V_+=V_-$ por lo que,

$$V_2' = \frac{V_2(R + R') - V_1 R'}{R} \quad (1.10)$$

Para A1:

$$V_+ = V_1 \quad (1.11)$$

$$V_+ = \frac{V_2 \times R'}{R + R'} + \frac{V_2' \times R}{R + R'} \quad (1.12)$$

En régimen lineal $V_+=V_-$ por lo que,

$$V_1' = \frac{V_1(R + R') - V_2 R'}{R} \quad (1.13)$$

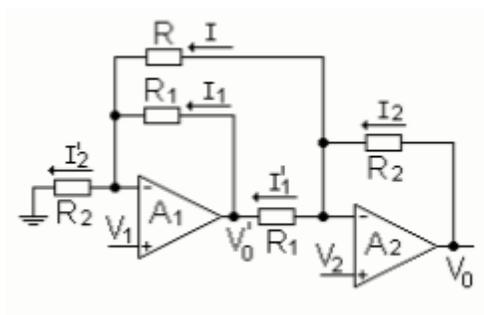
Sustituyendo las expresiones V_2' y V_1' en V_0 se obtiene que:

$$V_0 = (V_1 - V_2) \left(1 + \frac{2R'}{R} \right) \frac{R_2}{R_1} \quad (1.14)$$

Por lo que la expresión de la ganancia diferencial viene dada por:

$$Ganancia = \left(\frac{V_0}{V_1 - V_2} \right) = \left(1 + \frac{2R'}{R} \right) \frac{R_2}{R_1} \quad (1.15)$$

Como en el esquema se tienen dos resistencias R_2 , dos resistencias R_1 y dos resistencias R entonces, hacer variable R_2 , R_1 o R en la expresión (23) con el objetivo de cambiar la ganancia significa variar en el circuito las dos resistencias R_2 , R_1 o R , por lo que para hacer variable la ganancia del amplificador de instrumentación se hace R variable (Garrido, 2010).



Configuración 2

Como ambos operacionales están trabajando en régimen lineal $V_+ = V_-$

$$V_0 - V_2 = I_2 * R_2 \rightarrow V_0 = I_2 * R_2 + V_2 \quad (1.16)$$

Pero $I_2 = I + I'_1 \quad (1.17)$

$$I = \left(\frac{V_2 - V_1}{R} \right) \quad (1.18)$$

$$I'_1 = \left(\frac{V_2 - V'_0}{R_1} \right) \quad (1.19)$$

Sustituyendo (1.18) y (1.19) en (1.17) y el resultado en (1.16) obtenemos que:

$$V_0 = \left(\frac{V_2 - V_1}{R} + \frac{V_2 - V_0}{R_0} \right) * R_0 + V_2 \quad (1.20)$$

De igual forma,

$$V'_0 = V_1 = I_1 * R_1 \rightarrow V'_0 = I_1 R_1 + V_1 \quad (1.21)$$

$$\text{Pero, } I_0 = I'_2 - I \quad (1.22)$$

$$I_2 = \left(\frac{V_1}{R_2} \right) \quad (1.23)$$

$$I = \left(\frac{V_2 - V_1}{R} \right) \quad (1.24)$$

Sustituyendo (1.23) y (1.24) en (1.22) y el resultado en (1.21) obtenemos que:

$$V'_0 = \left(\frac{V_1}{R_2} - \frac{V_2 - V_1}{R} \right) * R_1 + V_1 \quad (1.25)$$

Sustituyendo (1.25) en (1.20) obtenemos que:

$$V_0 = (V_2 - V_1) \left(1 + 2 \frac{R_2}{R} + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (1.26)$$

Como en el esquema tenemos dos resistencias R2 y dos resistencias R1, entonces hacer variable R2 o R1 con el objetivo de cambiar la ganancia significa variar en el circuito las dos resistencias R2 o las dos R1, y esto es muy poco práctico pues para no introducir errores en la señal que se amplifica las dos resistencias deberían variar exactamente en la misma proporción. Es por eso que para hacer variable la ganancia del amplificador de instrumentación se hace R variable.

1.4 Multiplexores

Los multiplexores son circuitos combinatoriales con varias entradas y una única salida de datos, están dotados de entradas de control capaces de seleccionar una, y sólo una, de las entradas de datos para permitir su transmisión desde la entrada seleccionada hacia dicha salida.

En el campo de la electrónica el multiplexor se utiliza como dispositivo que puede recibir varias entradas y transmitir las por un medio de transmisión compartido. Para ello lo que hace es dividir el medio de transmisión en múltiples canales, para que varios nodos puedan comunicarse al mismo tiempo. Una señal que está multiplexada debe demultiplexarse en el otro extremo.

1.4.1 Función del multiplexor

La función de un multiplexor da lugar a diversas aplicaciones:

1. Selector de entradas.
2. Serializador: Convierte datos desde el formato paralelo al formato serie.
3. Transmisión multiplexada: Utilizando las mismas líneas de conexión, se transmiten diferentes datos de distinta procedencia.
4. Realización de funciones lógicas: Utilizando inversores y conectando a 0 o 1 las entradas según interese, se consigue diseñar funciones complejas, de un modo más compacto que con las tradicionales puertas lógicas.

1.4.2 Tipos de multiplexores

Se puede hacer una clasificación de los multiplexores atendiendo a la naturaleza de la información que puede ser aplicada a sus entradas de datos. Así tenemos:

- Multiplexores analógicos
- Multiplexores digitales

Los multiplexores analógicos se caracterizan porque a sus entradas de datos se pueden aplicar tanto señales analógicas como digitales, si bien su principal aplicación es con señales analógicas.

En los multiplexores digitales la información de entrada de datos tiene que ser de carácter digital.

Tanto en los multiplexores analógicos como en los digitales, las entradas de selección son controladas con señales binarias.

1.5 Conversor analógico digital (A/D)

Un conversor (o convertidor) analógico-digital (CAD), (o también ADC del inglés "Analog-to-Digital Converter") es un dispositivo electrónico capaz de convertir una entrada analógica de voltaje en un valor binario. Se utiliza en equipos electrónicos como ordenadores, grabadores de sonido y de vídeo, y equipos de telecomunicaciones. La señal analógica, que varía de forma continua en el tiempo, se conecta a la entrada del dispositivo y se somete a un muestreo a una velocidad fija, obteniéndose así una señal digital a la salida del mismo. Son normalmente el enlace entre el transductor y el procesador digital y son casi la única fuente de errores en un instrumento digital, de aquí que la calidad del convertidor A/D normará la calidad final del equipo. Son normalmente el enlace entre el transductor y el procesador digital y son casi la única fuente de errores en un instrumento digital, de aquí que la calidad del convertidor A/D normará la calidad final del equipo.

1.5.1 Funcionamiento del conversor analógico digital

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 conozcamos el valor máximo que la entrada de información utiliza y la cantidad máxima de la salida en dígitos binarios. A manera de ejemplo, el convertidor análogo digital ADC0804 tiene la capacidad de convertir una muestra analógica de entre 0 y 5 voltios y su resolución será respectivamente:

$$\text{Resolución} = \text{valor analógico} / (2^8)$$

$$\text{Resolución} = 5 \text{ V} / 256$$

$$\text{Resolución} = 0.0195\text{v} \text{ o } 19.5\text{mv.}$$

$$\text{Resolución} = \text{LSB}$$

Lo anterior quiere decir que por cada 19.5 milivoltios que aumente el nivel de tensión entre las entradas nombradas como " V_{ref+} " y " V_{ref-} " que ofician de entrada al

convertor, éste aumentará en una unidad su salida (siempre sumando en forma binaria bit a bit). Por ejemplo:

Entrada - Salida

0 V - 00000000

0.02 V - 00000001

0.04 V - 00000010

1 V - 00110011

(5 V-LSB) – 11111111

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) (Garrido, 2010). 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 (Rashid, 2008).

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.

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.

1.5.2 Tipos de conversores usuales

De aproximaciones sucesivas: Es el empleado más comúnmente, apto para aplicaciones que no necesitan grandes resoluciones ni velocidades. Debido a su bajo coste se suele integrar en la mayoría de microcontroladores permitiendo una solución de bajo coste en un único chip para numerosas aplicaciones de control. El conversor realiza una búsqueda dicotómica del valor presente en la entrada. Su principal carencia es el elevado tiempo de conversión necesario.

Flash: este conversor destaca por su elevada velocidad de funcionamiento. Está formado por una cadena de divisores de tensión y comparadores, realizando la conversión de manera inmediata en una única operación. Su principal desventaja es el elevado costo.

Sigma-delta: Tienen una velocidad máxima de conversión baja pero a cambio poseen una relación señal a ruido muy elevada, la mayor de todos.

Otros tipos de conversores igualmente utilizados son: rampa, doble-rampa, etc.

1.6 Microprocesadores y microcontroladores

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, y las facilidades de entrada salida, como son 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, una unidad de control, una unidad aritmético lógica (*ALU*) y una unidad de cálculo en coma flotante (conocida antiguamente como «co-procesador matemático»).

1.6.1 Microcontroladores PIC (controlador de interfaz periférico)

Los PICs son una familia de microcontroladores tipo RISC fabricados por Microchip Technology Inc. y derivados del PIC1650, originalmente desarrollado por la división de microelectrónica de General Instrument. Usan un juego de instrucciones tipo RISC, cuyo número puede variar desde 35 para PICs de gama baja a 70 para los de gama alta. Las instrucciones se clasifican entre las que realizan operaciones entre el acumulador y una constante, entre el acumulador y una posición de memoria, instrucciones de condicionamiento y de salto/retorno, implementación de interrupciones y una para pasar a modo de bajo consumo llamada *sleep*.

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.

1.7 Comunicación con la PC

La comunicación entre la computadora y el SAD puede establecerse a través de comunicaciones por puerto serie o puerto paralelo.

Cuando se transmite información a través de una línea serie es necesario utilizar un sistema de codificación que permita resolver los siguientes problemas:

1. Sincronización de bits: El receptor necesita saber dónde comienza y donde termina cada bit en la señal recibida para efectuar el muestreo de la misma en el centro del intervalo de cada símbolo (bit para señales binarias).
2. Sincronización del carácter: La información serie se transmite por definición bit a bit, pero la misma tiene sentido en palabras o bytes.
3. Sincronización del mensaje: Es necesario conocer el inicio y fin de una cadena de caracteres por parte del receptor para, por ejemplo, detectar algún error en la comunicación de un mensaje.

Transmisión paralelo:

La transmisión de datos por puerto paralelo consiste en enviar datos en forma simultánea por varios canales (hilos). Los puertos paralelos en los PC pueden utilizarse para enviar 8 bits (un byte) simultáneamente por 8 hilos.

1. Aparentemente más rápido.
2. En cortas distancias resulta más efectivo
3. Los datos a transmitir no necesitan pretratamiento
4. A largas distancias resulta más costoso por la mayor disposición a generar errores.

A pesar de que la comunicación paralela es más rápida que la realizada por puerto serie, esta última posee una serie de ventajas que han desplazado a la primera.

Transmisión serie:

1. Mucho menos costoso
2. número reducido de líneas
3. Menor disposición a errores
4. Se requiere un protocolo de transmisión (para serializar los datos)

Modos de comunicación:

1. Simplex: Transmisión en un solo sentido
2. Half duplex: Transmisión en ambos sentidos pero no simultáneamente
3. Full duplex: transmisión en ambos sentidos simultáneamente. Requiere dos líneas de datos

Tanto la transmisión serie como la paralela puede realizarse de forma síncrona como asíncrona.

Transmisión serie asíncrona:

1. La transmisión se efectúa carácter por carácter.
2. La temporización dentro de cada carácter es rígida (a cada
3. La temporización dentro de cada carácter es rígida (a cada bit le corresponde un tiempo preciso, t_{bit})
4. Los caracteres se transmiten aisladamente. El tiempo que separa cada carácter puede ser cualquiera, es decir sin sincronismo
5. En reposo, el nivel lógico de la línea es "1".
6. Cada carácter va precedido por el bit de arranque ($1 t_{bit}$)
7. Cada carácter va precedido por el bit de arranque ($1 t_{bit}$)
8. Cada carácter termina con el bit de parada ($1, 1,5$ o $2 t_{bit}$)
9. El primer bit que se transmite es el de menor peso
10. El último es el de mayor peso o el bit de paridad si se usa.

Transmisor serie síncrona:

En la transmisión síncrona, toda la trama (bloque) se transmite en forma de una cadena de bits contiguos, y el receptor trata de mantener la sincronía con el flujo de bits de llegada hasta que recibe la trama completa.

Para lograr que el equipo receptor realice los distintos niveles de sincronización, se debe establecer lo siguiente:

1. El flujo de bits transmitido se codifica de manera tal que el receptor se pueda mantener en sincronía de bits.
2. Todas las tramas van precedidas por uno o más bytes reservados con el fin de asegurar que el receptor interprete de manera confiable los límites de carácter o byte correctos dentro de un flujo de bits recibido (Sincronización de carácter o byte).
3. El contenido de cada trama se encapsula entre un par de caracteres o bytes reservados para la sincronización de tramas

1.8 Procesamiento de los datos en la PC

Hoy en día es usual ver en la industria la utilización de la PC para la instrumentación y el control de procesos, ya sea para monitorear variables en el proceso de fabricación o bien para medir la calidad del producto final. Sobre este contexto se ubica la instrumentación virtual, es decir la idea de bajo un módulo de software simular tanto en apariencia como en funcionamiento a un instrumento real tal como un osciloscopio o multímetro.

Un instrumento virtual es un módulo de software que simula el panel frontal de instrumento común y, apoyándose en elementos de hardware accesibles por la PC (tarjetas de adquisición de datos, tarjetas DSP, rs-232), realiza una serie de medidas como si se tratase de un instrumento real.

Hasta hace poco, la tarea de construcción de un Instrumento Virtual (VI) se llevaba a cabo con paquetes de programas que ofrecían una serie de facilidades, como funciones de alto nivel y la incorporación de elementos gráficos, que simplificaban la tarea de programación y de elaboración del panel frontal. Sin embargo, el cuerpo del programa seguía basado en texto, lo que suponía mucho tiempo invertido en detalles de programación que nada tienen que ver con la finalidad del VI (*Virtual Instrument*).

Con la llegada de softwares de programación gráfica *LabVIEW* de *National Instrument*, *Visual Designer* de *Burr Brown* o *VEE* de *Hewlet Packard*, el proceso de creación de un VI se ha simplificado notablemente, minimizándose el tiempo de desarrollo de las aplicaciones.

1.9 Conclusiones del capítulo

- Se realizó una revisión bibliográfica del empleo de los sistemas de medición y su relación con los sistemas de adquisición de datos.
- Se llevó a cabo un estudio de las etapas y los componentes de un sistema de medición para su correcta implementación.

CAPÍTULO II: DISEÑO DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA.

2.1 Principio de funcionamiento del termistor TTC050

Su funcionamiento se basa en la variación de la resistencia de un semiconductor con la temperatura, debido a la variación de la concentración de portadores. Para los termistores NTC, al aumentar la temperatura, aumentará también la concentración de portadores, por lo que la resistencia será menor, de ahí que el coeficiente sea negativo. Para los termistores PTC, en el caso de un semiconductor con un dopado muy intenso, éste adquirirá propiedades metálicas, tomando un coeficiente positivo en un margen de temperatura limitado. Usualmente, los termistores se fabrican a partir de óxidos semiconductores, tales como el óxido férrico, el óxido de níquel, o el óxido de cobalto.

El termistor también varía su resistencia eléctrica en función de la temperatura, como la RTD, pero con la diferencia de que esta variación no es lineal, sino exponencial. Cuando la variación de resistencia es inversa a la de temperatura, el termistor es del tipo NTC (negative temperature coefficient), mientras que si esta variación es directa, entonces es del tipo PTC (positive temperature coefficient). Su resistencia se define como:

$$R = R_0 e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} \quad (2.1)$$

Donde:

R_{Th} es el valor de la resistencia del termistor que varía con la temperatura

R es la resistencia a 25°C en ohm

$T_0 = 25^\circ\text{C} + 273\text{ K}$, T temperatura en grados Kelvin

Otra diferencia es que T_0 no es la temperatura a cero grados centígrados, sino que es la temperatura ambiente expresada en grados Kelvin:

$$T_0 = 25^\circ\text{C} = 273 + 25 = 298\text{K}.$$

Cuando $T = 298\text{K}$ (25°C), entonces tenemos que $R = R_0$, por lo que R_0 es la resistencia a temperatura ambiente (25°C).

En concreto para el termistor no se utiliza la definición habitual de sensibilidad, sino que se emplea:

$$S = \frac{\frac{dR(T)}{dT}}{R(T)} = \frac{-B}{T^2} \quad (2.2)$$

$$S = -0,017$$

2.2 Linealización del termistor mediante resistencia en paralelo.

Se puede aumentar la linealidad de un termistor añadiendo una resistencia en paralelo de valor R . La resistencia resultante R_p presenta una linealidad mayor y una menor dependencia con la temperatura, es decir, una menor sensibilidad.

$$R_p = \frac{RR_T}{R + R_T} \quad (2.3)$$

(Resistencia equivalente)

La variación de R_p (la resistencia equivalente), la podemos expresar como la derivada de R_p respecto de la temperatura T , y por lo tanto:

$$\frac{dR_T}{dT} = \frac{R^2}{(R + R_T)^2} \frac{dR_T}{dT} \quad (2.4)$$

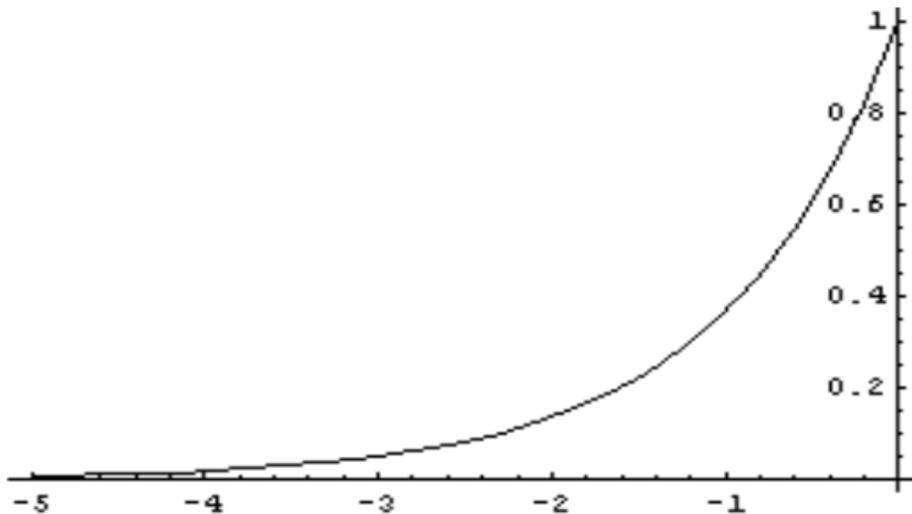


Figura 2.1. Función e^x cuando $-5 \leq x \leq 0$.

Como podemos ver, la variación respecto de la temperatura de la resistencia equivalente es menor que la resistencia del termistor sin linealizar, dado que el factor

$\frac{R^2}{(R + R_T)^2}$ es siempre menor que 1, y por lo tanto, la resistencia equivalente R_p es

más lineal respecto de la temperatura. Se gana en linealidad, pero a costa de reducir la sensibilidad.

A pesar de las ventajas de linealizar el comportamiento del termistor para el diseño que se desarrolla no se hará necesario el uso de ninguno de estos métodos pues el uso de un microcontrolador permite que sea programada en su memoria la ecuación que describe el comportamiento del termistor.

Como el termistor varía en función de 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 de se emplean los límites del rango de temperatura en los que se va a trabajar -30°C a 125°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.

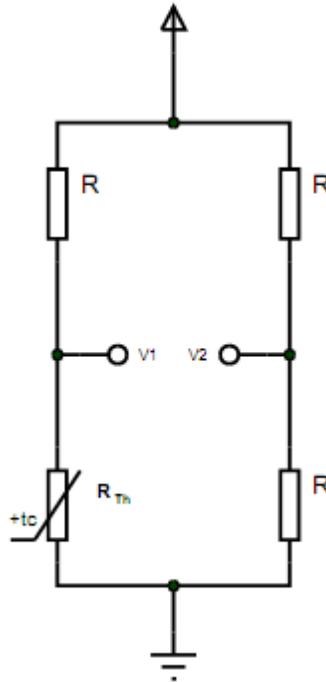


Figura 2.2. Puente de Wheatstone

Cálculo de R_{Th} para -30°C :

$$R_{Th} = R e^{B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)} \quad (2.5)$$

$$R_{Th} = 50 e^{3100 \left(\frac{1}{243} - \frac{1}{298} \right)}$$

$$R_{Th} = 524 \Omega$$

Cálculo de R para $V_{out}=0$

$$V_{out} = \frac{V_{cc}}{2} - \frac{R_{Th} * V_{cc}}{R + R_{Th}} \quad (2.6)$$

$$\frac{V_{cc}}{2} = \frac{R_{Th} * V_{cc}}{R + R_{Th}}$$

$$R = \frac{(R_{Th} * V_{cc}) * 2}{V_{cc}} - R_{Th} \quad (2.7)$$

$$R = 524 \Omega$$

Cálculo de R_{Th} para 125°C:

$$R_{Th} = R e^{B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

$$R_{Th} = 3,67 \Omega$$

Cálculo de V_{out} para 125°C:

$$V_{out} = \frac{V_{cc}}{2} - \frac{R_{Th} * V_{cc}}{R + R_{Th}}$$

$$V_{out} = 0,17V$$

2.3 El amplificador de instrumentación INA114

El sensor de temperatura TTC 050 posee como se ha visto anteriormente un rango de voltaje de salida que se encuentra entre los 0 V y los 0,17 V estos valores de la señal deben ser acondicionados a un rango de 0 V 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. 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 (de 115dBm con un ganancia de 1000) y protección contra sobrevoltajes de hasta 40 V. Opera en un rango de voltaje de entre ± 2.25 V hasta ± 18 V y una corriente de salida máxima de 3mA. El encapsulado puede ser de 8 o 16 terminales (Burr-Brown, 1998).

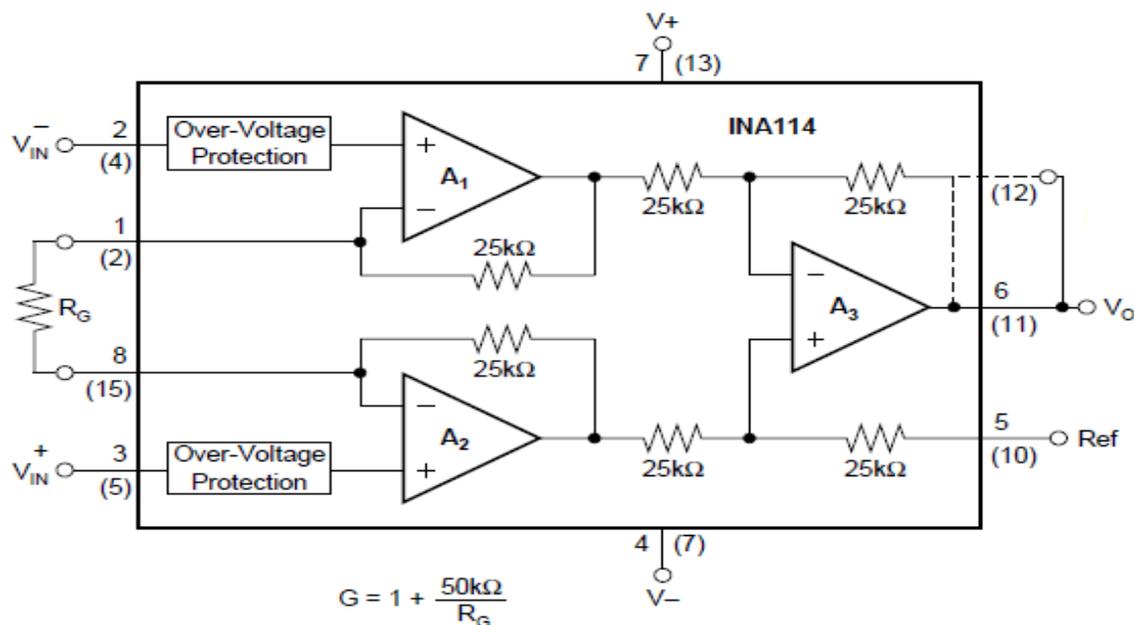


Figura 2.3 Esquema interno del INA114 (Burr-Brown, 1998).

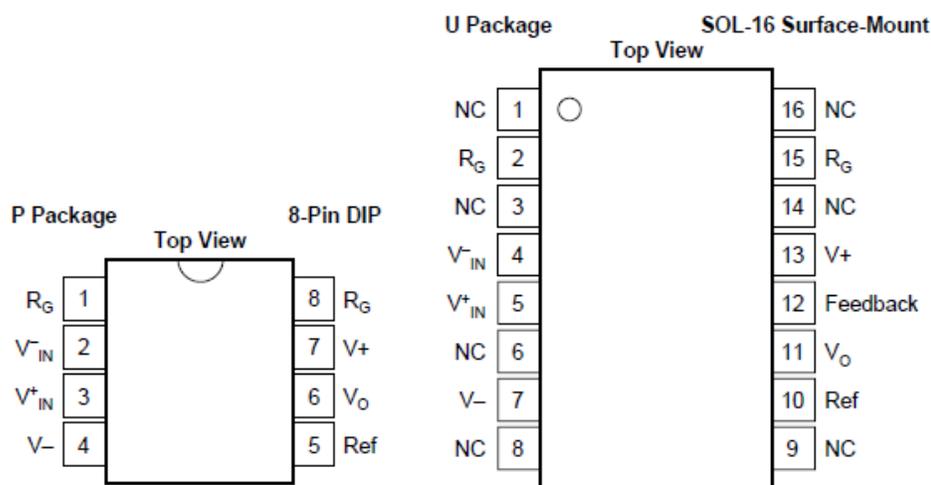


Figura 2.4 Encapsulados de 8 y 16 terminales (Burr-Brown, 1998).

Antes de amplificar la señal esta debe ser convertida en unipolar debido a las características del convertidor analógico digital que se empleara. Para ello se utiliza la capacidad del INA114 de amplificar la diferencia. Por la entrada V_{IN}^- negativa del amplificador de instrumentación es aplicado un valor de voltaje negativo suficiente para hacer positivo el voltaje a la salida del INA114.

$$V_{IN} = V_{IN}^+ - V_{IN}^-$$

$$V_{IN} \rightarrow 0V \text{ a } 0.17V$$

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:

$$V_{OUT} = 5V$$

$$G = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \quad (2.9)$$

$$G = 29,41$$

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:

$$G = 1 + \frac{50k\Omega}{Rg} \quad (2.10)$$

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

$$Rg \approx 1,75k\Omega$$

2.4 El microcontrolador PIC16F688

El microcontrolador se encargará del procesamiento de los datos, así como de permitir crear una interfaz para lograr la comunicación a través del puerto serie mediante el cual se establece la comunicación entre el SAD y la PC.

El PIC16F688 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 y tamaño. 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 robótica y electrónica. Puede ser programado tanto en lenguaje ensamblador como en Basic y principalmente en C, para el que existen numerosos compiladores.

Se trata de uno de los microcontroladores que puede reemplazar al más popular del mercado PIC16F84, ideal para principiantes, debido a su arquitectura de 8 bits, 18 pines, y un set de instrucciones RISC muy amigable para memorizar y fácil de entender, internamente consta de:

- Memoria Flash de programa (4K x 14).
- Memoria EEPROM de datos (256 x 8).
- Memoria RAM (368 registros x 8).
- Oscilador interno de 8MHz.
- Modulación por ancho de pulso (PWM) de 10Bits,
- Comunicación asincrónica USART en SPI 3 Hilos o I2C en 2 hilos
- Conversor de Analógico/Digital de 7 canales
- Un temporizador/contador (timer de 8 bits).
- Un divisor de frecuencia.
- Varios puertos de entrada-salida (16 pines en dos puertos, 8 pines el puerto A y 8 pines el puerto B).

Otras características son:

- Manejo de interrupciones (de 4 fuentes).
- Perro guardián (watchdog).
- Bajo consumo.
- Frecuencia de reloj externa máxima 20MHz. La frecuencia de reloj interna es un cuarto de la externa, lo que significa que con un reloj de 20MHz, el reloj

interno sería de 5MHz y así pues se ejecutan 5 Millones de Instrucciones por Segundo (5 MIPS)

- Pipe-line de 2 etapas, 1 para búsqueda de instrucción y otra para la ejecución de la instrucción (los saltos ocupan un ciclo más).
- Repertorio de instrucciones reducido (RISC), con tan solo 35 instrucciones distintas.
- 4 tipos distintos de instrucciones, orientadas a byte, orientadas a bit, operación entre registros, de salto.

2.5 Convertidor A/D

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 para su envío por el puerto serie hacia la PC donde serán visualizados y almacenados. Este convertidor analógico digital posee canales de 10 bits, es unipolar, y su rango de entrada es de 0 V a 5 V.

El convertidor analógico-digital (ADC) permite 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 (ADRESL y ADRESH).

El voltaje de referencia ADC es software seleccionable a VDD de un voltaje aplicado a los pasadores de referencia externos.El ADC puede generar una interrupción tras la finalización de una conversión. Esta interrupción se puede utilizar para despertar el dispositivo del sueño.

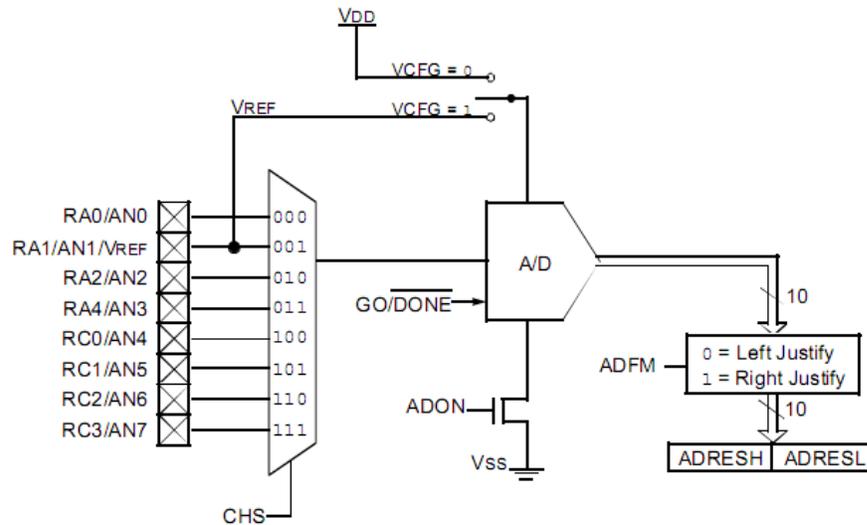


Figura 2.5 Convertidor A/D del PIC.

Configuración del ADC.

Para configurar y utilizar el ADC las siguientes funciones deben considerarse:

- 1- Configuración de puerto
- 2- Selección de canal
- 3- Selección de referencia de tensión del ADC
- 4- Fuente de la base de conversión del ADC
- 5- Control de Interrupción
- 6- Resultados de formato

Configuración del puerto.

El ADC se puede utilizar para convertir señales analógicas y digitales. Cuando la conversión de señales analógicas, el pasador de 1/0 debe estar configurado para la grabación analógica ajustando el TRIS asociado y los bits ANSEL. Vea la sección de puerto correspondiente para obtener más información.

2.6 Comunicación con la PC

La comunicación de los microcontroladores hacia el exterior es una de sus partes más importantes, estos poseen un módulo USART que permite la comunicación serie. La norma RS232 es una de las más populares en la comunicación serie, y es una de las que se utiliza en las PC's, si bien hoy día está ampliamente superada por la transmisión a través de USB.

El PIC permite implementar la comunicación serie mediante un módulo USART para ello se ha construido una interfaz que posibilita la transmisión y recepción de datos. Para realizar el diseño de esta interfaz es necesario conocer algunas características de la comunicación RS232.

Se utiliza un conector de 25 terminales, DB25, o de 9 terminales, DB9 (Figura 2.6) que es usado en la maqueta, donde el conector macho identifica al DTE y el conector hembra al DCE.

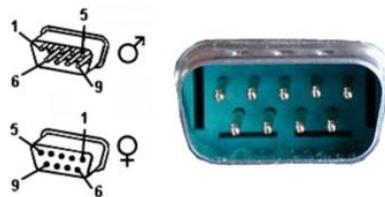


Figura 2.6 Conector DB9.

Tabla 2.1 Terminales del conector DB9.

No.	TERMINAL	SEÑAL
1	CD	(Carrier Detect) Entrada
2	RXD	(Receive Data) Entrada
3	TXD	(Transmit Data) Salida
4	DTR	(Data Terminal Ready) Salida
5	GND	(Ground)
6	DSR	(Data Set Ready)

		Entrada
7	RTS	(<i>Request To Send</i>) Salida
8	CTS	(<i>Clear To Send</i>) Entrada
9	RI	(<i>Ring Indicator</i>) Entrada

2.6.1 Módulo comunicación

La comunicación a emplear en este módulo es la serie utilizando el protocolo RS-232. La USART es uno de los dos periféricos contenidos en el PIC que le permiten realizar comunicación en serie. El otro es el Master Synchronous Serial Port (MSSP). La USART, también conocida como *Serial Communications Interface* (SCI) puede configurarse como una unidad de comunicación en serie para la transmisión de datos asíncrona con dispositivos tales como terminales de computadora o computadoras personales, o bien para comunicación síncrona con dispositivos tales como convertidores CAD o CDA, circuitos integrados o memorias EEPROM con comunicación serie, etc.

La gran mayoría de los sistemas de comunicación de datos digitales actuales utilizan la comunicación en serie, debido a las grandes ventajas que representa esta manera de comunicar los datos:

- ✓ Económica - Utiliza pocas líneas de transmisión inclusive puede usar sólo una línea.
- ✓ Confiable - Los estándares actuales permiten transmitir datos con bits de paridad y a niveles de voltaje o corriente que los hacen poco sensibles a ruido externo. Además, por tratarse de información digital, los cambios en amplitud de las señales (normalmente causadas por ruido) afectan muy poco o nada a la información.
- ✓ Versátil - No está limitada a usar conductores eléctricos como medio de transmisión, pudiendo usarse también: fibra óptica, aire, vacío, etc. Además, el

tipo de energía utilizada puede ser diferente: luz visible, infrarroja, ultrasonido, pulsos eléctricos, radio frecuencia y microondas.

2.6.2 Interfaz de comunicación serie rs-232

La comunicación serie se hace a través del módulo USART incorporado, se propone para esta, el uso de la norma RS232 y para su implementación la utilización de la MAX232 como adaptador de los niveles de voltaje.

Para convertir TTL a RS232 se pueden usar circuitos típicos de transistores y diodos discretos o los circuitos integrados MC1488 y MC1489, sin embargo, existe un circuito integrado muy popular que permite esta conversión. El MAX232 es un convertidor de nivel TTL/RS232. Sólo es necesario este circuito integrado y 5 capacitores y es el usado para el diseño de la tarjeta.

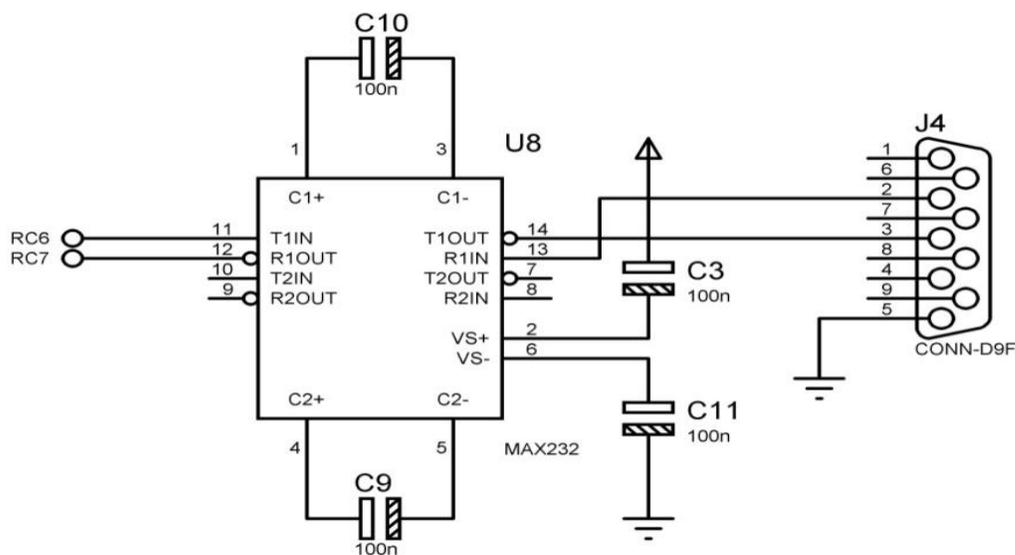


Figura 2.7 Interfaz rs-232.

El MAX232 dispone internamente de 4 convertidores de niveles TTL al estándar RS232 y viceversa, para comunicación serie como los usados en las computadoras, en los puertos COM (puertos de comunicación serie).

El circuito integrado lleva internamente 2 convertidores de nivel de TTL a RS232 y otros 2 de RS232 a TTL con lo que en total se pueden manejar 4 señales del puerto

serie del PC, por lo general las más usadas son; TXD, RXD, RTS, CTS. Para que el MAX232 funcione correctamente se deben poner unos capacitores externos.

En el MAX232 (Figura 2.7) todos los capacitores deben ser de 1 μF para llegar hasta 120 kbps o de 100 ηF para llegar hasta 64 kbps. Para el MAX232A los capacitores han de ser de 100 ηF y se consiguen hasta 200 kbps.

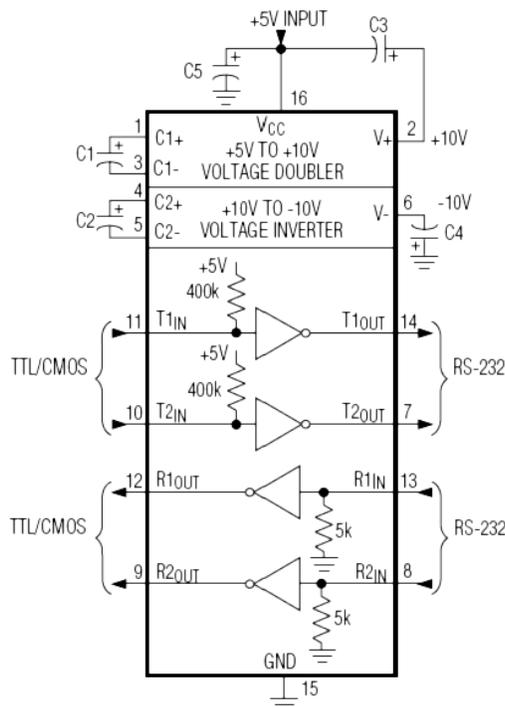


Figura 2.8 Estructura interna del MAX232.

Características a +5 V, capacitores de 100 ηF :

- Entradas compatibles TTL y CMOS.
- V_{CC} : de 4,5 V a 5,5 V.
- I_{CC} : de 8 mA a 10 mA
- V_{IH} en T1IN y T2IN: 2 V mínimo.
- V_{IL} en T1IN y T2IN: 0,8 V máximo.
- V_{OH} en T1OUT y T2OUT con una carga de 3 $k\Omega$ a tierra: 7 V.
- V_{OL} en T1OUT y T2OUT con una carga de 3 $k\Omega$ a tierra: -7 V.
- V_{OH} en R1OUT y R2OUT con $I_{OH}=-1$ mA: 3,5 V mínimo.

- V_{OL} en R1OUT y R2OUT con $I_{OH}=3,2$ mA: 0,4 V máximo.
- Voltajes de entrada en R1IN y R2IN: ± 30 V.
- Velocidad de transmisión de datos: 120 kbps (mínima 116 kbps).

Para la interpretación de la información enviada a la PC se requiere llevar a cabo la confección de una aplicación que permita procesar y visualizar los datos en la PC enviados por el micro.

2.7 Circuitos de oscilación y reset

El microcontrolador PIC16F688 posee internamente un oscilador RC de 4 MHz que aunque brinda la comodidad de reducir el número de componentes externos su precisión y estabilidad frente a los cambios de temperatura no es la mejor.

Para las prácticas que requieran precisión se propone un oscilador a cristal externo de 4 MHz así el estudiante podrá escoger entre las fuentes de oscilación según sus necesidades (Figura 2.8). El diseño de la oscilación externa tuvo en cuenta los datos suministrado por *Microchip Tchnology Inc.* según la tabla 2.1.

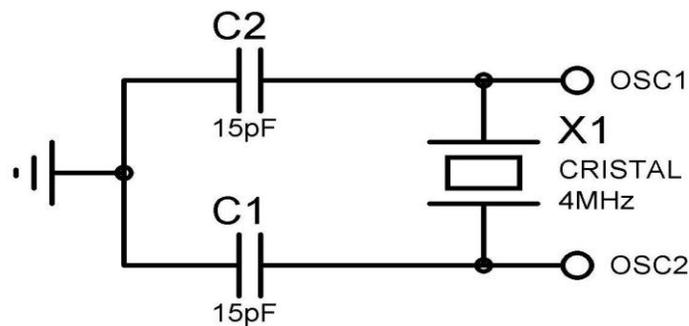


Figura 2.9 Circuito oscilador.

Tabla 2.2 Propuesta del fabricante de los capacitores según la frecuencia del cristal.

Tipo de oscilador	Frecuencia del cristal	Rango del capacitor C1	Rango del capacitor C2
LP	32 kHz	33 pF	33 pF

	200 khz	15 pF	15 pF
XT	200 kHz	47-68 pF	47-68 pF
	1 MHz	15 pF	15 pF
	4 MHz	15 pF	15 pF
HS	4 MHz	15 pF	15 pF
	8 MHz	15-33 pF	15-33 pF
	20 MHz	15-33 pF	15-33 pF

El comportamiento del circuito de protección contra descargas electrostáticas del PIC16F688 difiere del de los dispositivos previos de esta familia. Voltajes aplicados en el terminal MCLR que excedan las especificaciones puede resultar en un consumo de corriente fuera de las especificaciones del circuito durante el evento de *reset*. Por esta razón *Microchip Technology Inc.* recomienda que el terminal MCLR no esté conectado directamente a V_{DD} y lo haga a través de una red de resistencias y capacitores (*Figura 2.4*).

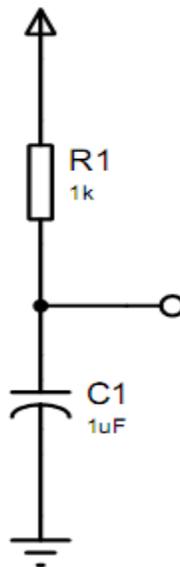


Figura 2.10 Circuito del MCLR.

La resistencia R1 debe ser menor de 1 k Ω , para que el voltaje aplicado no viole las especificaciones eléctricas del dispositivo.

2.9 Alimentación

El circuito propuesto (Figura 2.11), está compuesto por tres reguladores (MC7918, MC7818 y LM7805) los cuales poseen protección contra cortocircuitos, el transformador es de derivación central y convierte de 110 V a 20 V por cada devanado debido a que el voltaje mínimo que puede haber entre la entrada y salida de los reguladores (voltaje de *dropout*) es de 2 V y al mantenerlo en el menor valor posible se disminuye el consumo de potencia en el MC7918 y el MC7818. Para el uso de estos reguladores es recomendable usar un capacitor a la entrada de 0.33 μF y otro a la salida de 0.1 μF , el primero es empleado cuando el regulador se encuentra a una distancia apreciable del filtro de la fuente, mientras el segundo es necesario para la estabilidad en las respuestas transitorias. Los diodos que acompañan a los reguladores permiten que los capacitores tengan un camino de descarga y que no lo hagan a través de estos causándoles su destrucción. A la salida del regulador se encuentran también otros diodos, estos tienen como función la protección en caso de que ocurra un cortocircuito en la salida. El MC7818 permite voltajes de entrada de entre 20 V y 33 V con corrientes de carga que van desde 5 mA a 1 A con un valor de potencia que no sobrepasa los 15 W, el MC7918 emplea los mismos valores de voltaje y corriente negativos pues ambos reguladores son empleados para la alimentación doble del amplificador de instrumentación INA114. El LM7805 soporta voltajes de entrada de entre 7 V y 20 V con corrientes de salida de entre 5 mA y 1 A con una potencia menor o igual a 15 W.

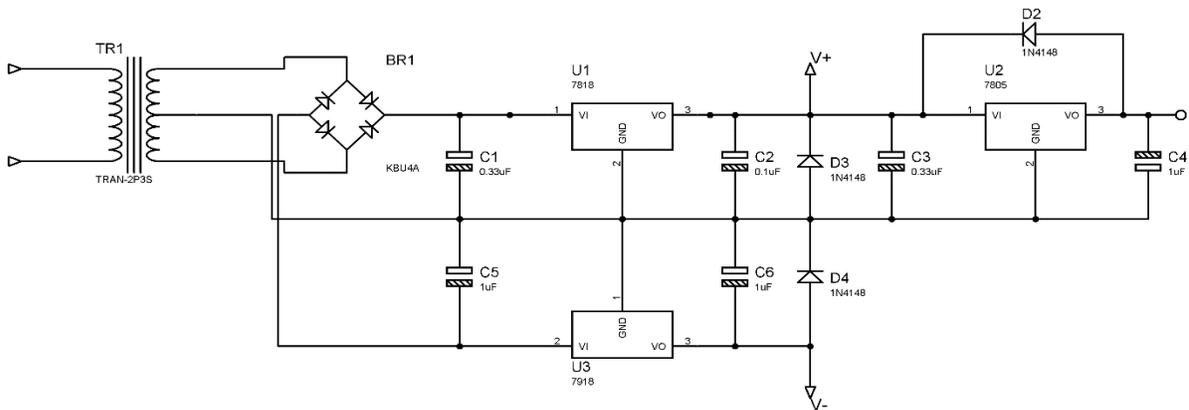


Figura 2.11 Fuente de alimentación.

Conociendo las características de los reguladores mencionados es posible saber si son adecuados para los requerimientos del SAD. En primer lugar es necesario determinar los valores de corriente que se demandan de los reguladores y si la potencia que deben disipar está dentro de los valores admisibles para ellos. El LM7805 suministra el voltaje y la corriente de alimentación del PIC, la max232. . Con estos valores se pueden calcular los valores de la potencia a disipar por ambos reguladores.

I_{L7805} Corriente que demanda la carga del LM7805.

I_{L7818} Corriente que demanda la carga del MC7818.

V_{IN} Voltaje de entrada.

V_{OUT} Voltaje de salida.

P_{dis} Potencia a disipar.

Estimación de potencia disipada en el regulador LM7805

$$P_{dis} = (V_{IN} - V_{OUT}) \times I_{L7805} \quad (2.11)$$

Sustituyendo:

$$P_{dis} = (18V - 5V) \times 0,026 A$$

$$P_{dis} = 0,328W$$

Estimación de potencia disipada en el regulador MC7818

$$P_{dis} = (V_{IN} - V_{OUT}) \times (I_{MC7818} + I_{L7805}) \quad (2.12)$$

Sustituyendo:

$$P_{dis} = (20V - 18V) \times (0,023 + 0,026A)$$

$$P_{dis} = 0,098W$$

Estimación de potencia disipada en el regulador MC7818

$$P_{dis} = (V_{IN} - V_{OUT}) \times (I_{MC7918}) \quad (2.13)$$

Sustituyendo:

$$P_{dis} = (20V - 18V) \times (0,003A)$$

$$P_{dis} = 0,006W$$

2.10 Conclusiones del capítulo

- Se realizó la elección de los elementos del sistema de medición de temperatura que se va a diseñar.
- Se diseñó el sistema de medición con los elementos elegidos.
- Se realizaron los cálculos correspondientes para el correcto funcionamiento del circuito.

CAPÍTULO III: SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA

DE TEMPERATURA

En el diseño de circuitos a base de microcontroladores PIC se usan herramientas de apoyo o sea programas como simuladores y compiladores que permiten poner en práctica los diseños. Para la realización y simulación de estos diseños fueron utilizados el *Proteus* como simulador de *Labcenter Electronics* y el compilador PCWH de CCS, este último se auxilia de una serie de funciones del lenguaje C y una serie de directivas pertenecientes a su biblioteca.

3.1 Proteus

La utilización de programas 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.

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 SystemModelling)* 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.

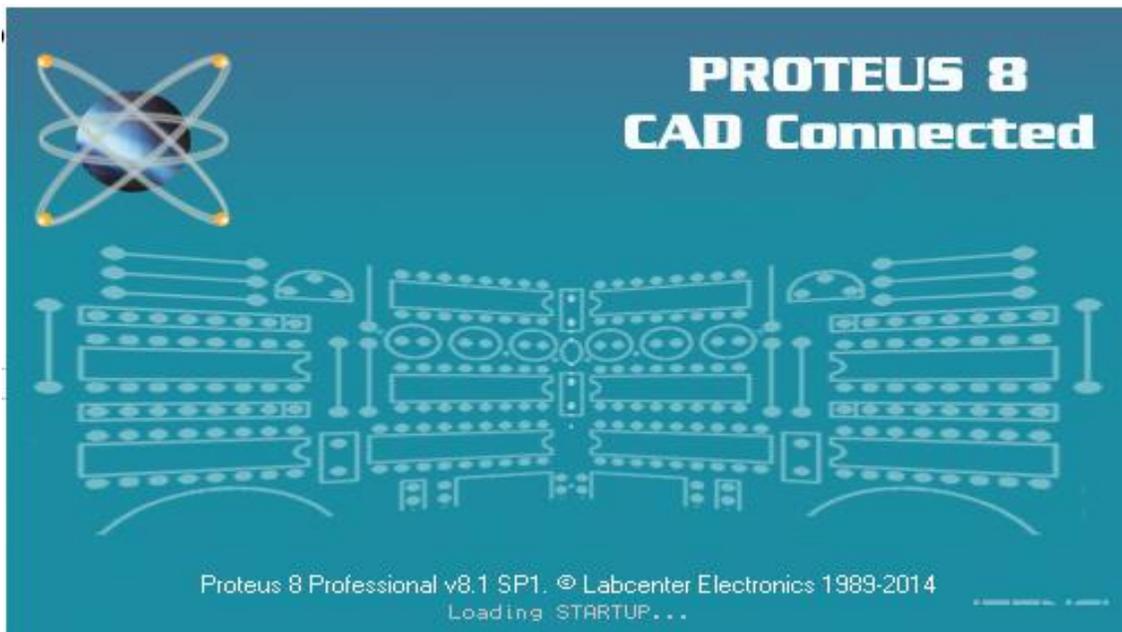


Figura 3.1 Proteus 8.1

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.

1.10 PIC C Compiler de CCS

La programación del microcontrolador PIC16F688 se realizará en el lenguaje C, utilizando el compilador PCWH CCS, dicho compilador genera ficheros en formato Intel-hexadecimal, que es el necesario para programar un microcontrolador de 6, 8, 18 o 40 terminales.

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 hardware finales, 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.

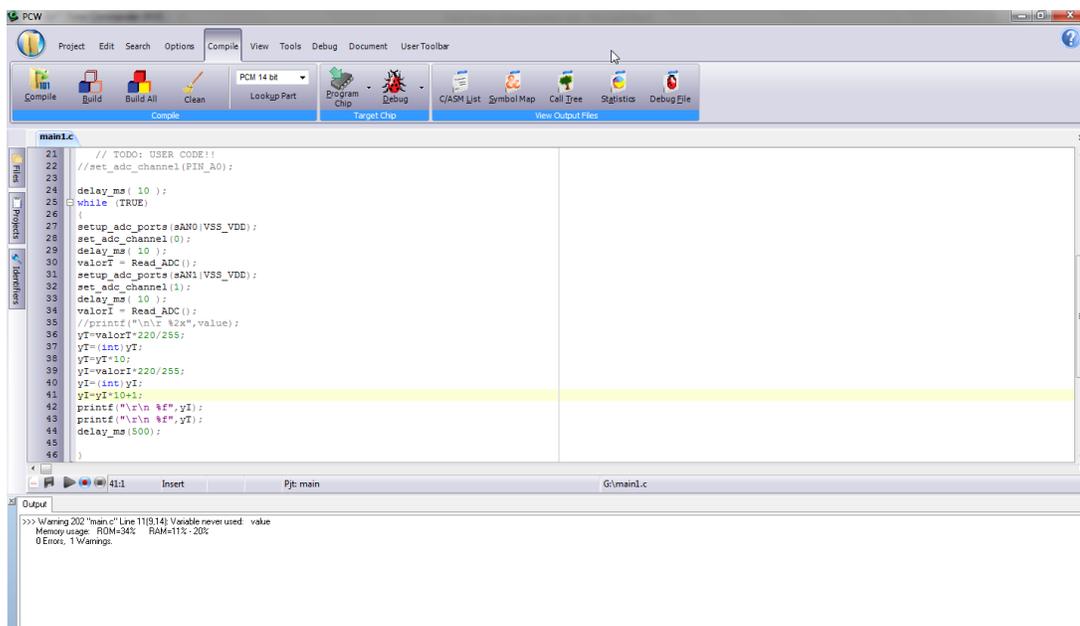


Figura 3.2. PCHW de CCS.

3.3 LabVIEW

Para la creación de la aplicación encargada de procesar los datos en la PC se utilizará el software LabVIEW de *National Instrument*. LabVIEW (*Laboratorio Virtual Instrument Ingeniería Workbench*) es un lenguaje de programación gráfico para el diseño de sistemas de adquisición de datos, instrumentación y control. LabVIEW permite diseñar interfaces de usuario mediante una consola interactivo basado en software.

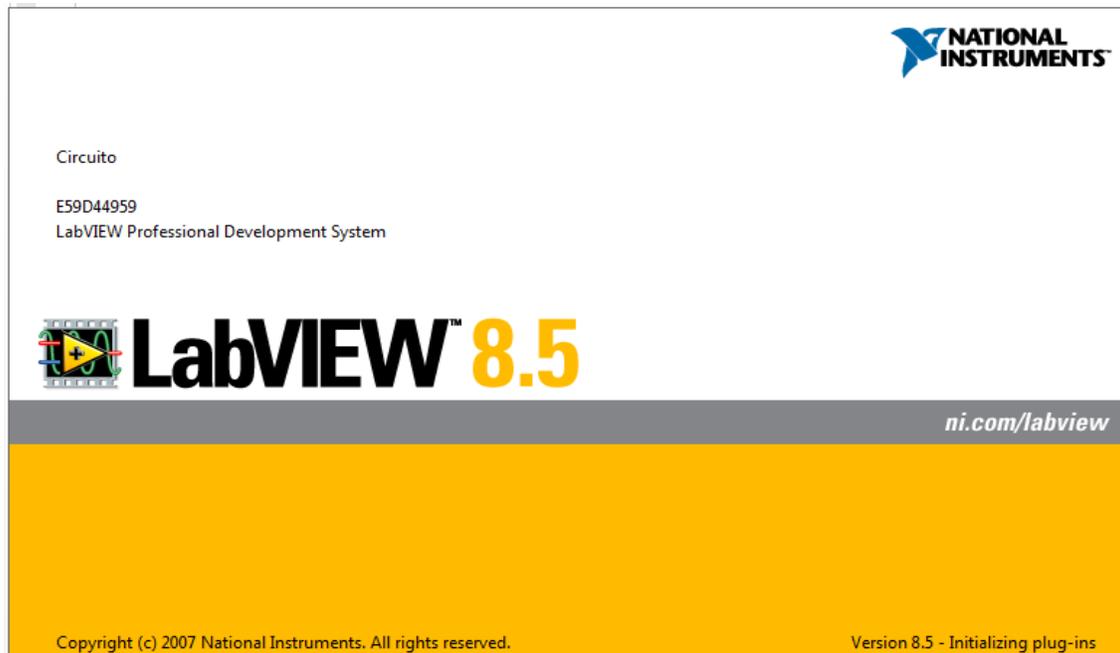


Figura 3.3 LabVIEW 8.5.

En contraste con los lenguajes de programación basados en textos donde las instrucciones determinan el orden de ejecución del programa, LabVIEW utiliza la programación de flujo de datos, donde el flujo de datos a través de los nodos en el diagrama de bloques determina el orden de ejecución de los VI (Virtual Instrument) y funciones. VI's, o instrumentos virtuales, son programas de LabVIEW que imitan instrumentos físicos.

En LabVIEW, se puede construir una interfaz de usuario mediante el uso de un conjunto de herramientas y objetos. La interfaz de usuario se conoce como el panel frontal. En este se agrega código utilizando representaciones gráficas de funciones para controlar los objetos del panel frontal. Este código fuente gráfico también se

conoce como código G o código diagrama de bloques. El diagrama de bloques contiene este código. En cierto modo, el diagrama de bloques se asemeja a un diagrama de flujo.

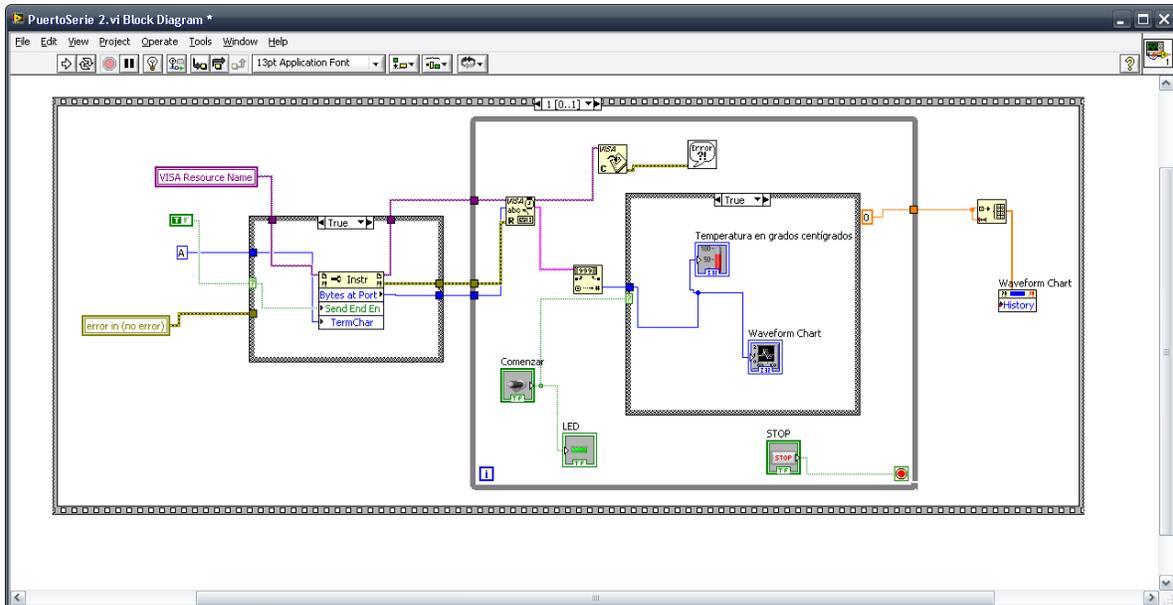


Figura 3.4. Programación gráfica en LabVIEW.

LabVIEW permite diseñar especificando su sistema funcional, su diagrama de bloques o una notación de diseño de ingeniería. LabVIEW es a la vez compatible con herramientas de desarrollo similares y puede trabajar con programas de otra área de aplicación, como por ejemplo Matlab. Tiene la ventaja de que permite una fácil integración con hardware, específicamente con tarjetas de medición, adquisición y procesamiento de datos (incluyendo adquisición de imágenes).

3.3.1 Características de LabVIEW

Una de las principales características de LabVIEW es su modularidad, es decir, la capacidad de utilizar bloques funcionales para la definición de la especificación.

LabVIEW permite conectarse a otras aplicaciones mediante un intercambio de datos como Active X, librerías dinámicas, bases de datos, Excel y/o a protocolos de comunicación como DataSocket, TCP/IP, UDP, RS-232, entre otras.

Una característica de cada aplicación o función consiste en que se puede utilizar en cualquier parte de otro programa, dándole a LabVIEW una estructura jerárquica.

Otra característica se encuentra en el flujo de datos, que muestra la ejecución secuencial del programa, es decir, una tarea no se inicia hasta no tener en todas sus variables de entrada información o que las tareas predecesoras hayan terminado de ejecutarse. Debido al lenguaje gráfico el compilador con que cuenta LabVIEW es más versátil ya que sobre el mismo código de programación se puede ver fácilmente el flujo de datos, así como su contenido.

Mediante un constructor de aplicaciones también es posible generar un archivo que puede ejecutarse fuera de LabVIEW.

3.3.2 Aplicaciones de LabVIEW

LabVIEW tiene su mayor aplicación en sistemas de medición, como monitoreo de procesos y aplicaciones de control, un ejemplo de esto pueden ser sistemas de monitoreo en transportación, laboratorios para clases en universidades y procesos de control industrial. LabVIEW es muy utilizado en procesamiento digital de señales, procesamiento en tiempo real de aplicaciones biomédicas, manipulación de imágenes y audio, automatización, diseño de filtros digitales, generación de señales, entre otras.

LabVIEW como su nombre lo indica es un lenguaje que se enfoca hacia el laboratorio, la realización de mediciones y por lo tanto la adquisición y análisis de datos. Mediante el uso de tarjetas es posible obtener señales analógicas o digitales a partir de una conexión al bus de interconexión de computadoras periféricas o PCI (Peripheral Component Interconnect) en una computadora, estas tarjetas se diferencian por el número de muestras por segundo que pueden realizar, por el número de bits (resolución) y por el número de canales que manejan. Esta herramienta permite verificar que tarjetas hay instaladas en la PC, esto solo para el caso de tarjetas de adquisición de datos o de imágenes de National Instruments.

LabVIEW también permite comunicarse con otras tarjetas mediante el puerto paralelo o serie, utilizando la herramienta LabWindowsCVI de National Instruments. Con este software se pueden diseñar en C las bibliotecas de enlace dinámico o DLL (dynamic-link library) para el funcionamiento de las tarjetas, estas DLL se pueden integrar a LabVIEW y a todas sus funcionalidades creadas desde otros programas clásicos como Visual Basic o Borland C.

3.4 Simulación y resultados

Para comprobar la veracidad del diseño realizado se llevó a cabo la simulación del SAD propuesto para ello se utilizaron los software antes mencionados. Para llevar a cabo la simulación del circuito electrónico que se propone se utilizó el Proteus 8.1 en su ambiente VSM, para la programación del PIC que se realizó en lenguaje C fue usado el compilador de CCS, para la comunicación entre el SAD y la aplicación creada en LabVIEW, fue empleada una herramienta conocida como Virtual Serial Port Emulator (VSPE) que permite crear puertos virtuales interconectados entre si pudiéndose establecer conexiones del Proteus 8.1 por uno de ellos y de la aplicación de instrumentación creada en LabVIEW por el otro.

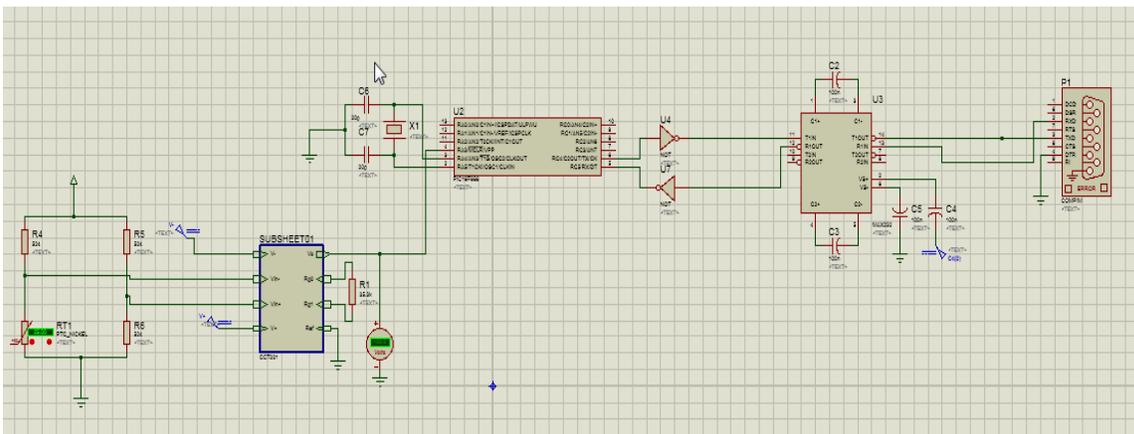


Figura 3.6. Simulación en Proteus.

Para simular el envío de datos a través del puerto serie se emplea en Proteus la herramienta COMPIM que permite crear una conexión entre el circuito simulado y un puerto serie (virtual o no), la lectura se realizará con la aplicación creada en LabVIEW para la obtención, lectura y procesamiento de los datos en la PC.



Figura 3.7. Aplicación en LabVIEW.

La simulación demostró la viabilidad del diseño al poner en funcionamiento la simulación del circuito realizado, se logró establecer la comunicación entre el sistema de medición y la aplicación hecha en LabVIEW.

3.5 Valoración económica

Cada proyecto realizado debe estar sujeto a un análisis económico que junto a su viabilidad técnica determinará la posibilidad de su ejecución, en este trabajo se realizó el diseño e implementación de un sistema de medición de temperatura. Los gastos económicos están determinados por el consumo de energía incurrida en el desarrollo del trabajo realizado y por los componentes empleados.

Tabla 3.1. Costo del consumo de los medios empleados.

Equipos	Horas de Trabajo (h)	kW consumidos (kW)	Costo de kW consumido (MN)	Gastos por equipo (MN)
Aire acondicionado	366	653,31	0,09	58,80
Computadora	488	195,2	0,09	17,57
Lámparas	976	19,52	0,09	1,76
Total	1830	868,03	0,09	78,13

Nombre de los componentes.	Cantidad de componentes	Precio por unidad en CUC	Precio total
Sensor de temperatura TTC 050	1	1,20	1,20
Amplificador operacional INA114	1	1,70	1,70
Microcontrolador PIC16F688	1	1,50	1,50
Total	1	4,40	4,40

Tabla 3.2. Costo de los componentes empleados.

Como se puede observar el costo del proyecto llevado a cabo es de \$82,53 o sea que no requiere de una gran inversión para ejecutarse, teniendo en cuenta sobre todo que permitirá poner en práctica los conocimientos de los estudiantes al enfrentarse a las complejidades del diseño de sistemas de adquisición de datos,

cuya contribución a la formación de habilidades en los futuros ingenieros en las asignaturas de Electrónica, Mediciones Eléctricas y Fundamentos de los Microcontroladores es muy importante, sobre todo si se tiene en cuenta las dificultades que se encuentran en la confección de laboratorios físicos.

3.5 Conclusiones del capítulo

- En este capítulo se estudiaron las herramientas CAD que permiten la simulación del sistema de medición de temperatura.
- Se creó una aplicación para la visualización de los datos en LabVIEW.
- Se simuló el sistema de medición de temperatura demostrando su funcionamiento y estableciendo la comunicación con la aplicación creada.
- Se realizó la valoración económica para determinar la factibilidad del proyecto.

Conclusiones generales

- Se realizó un estudio de los sistemas de medición y sus aplicaciones.
- Se diseñó un sistema de medición de temperatura con el termistor TTC 050 como medio de enseñanza para las prácticas de laboratorios de las asignaturas de Mediciones Eléctricas, Aplicación de los Microcontroladores a la Electroenergética y Electrónica Analógica.
- Se llevó a cabo la simulación del sistema de medición de temperatura así como la creación de una aplicación en el LabVIEW para el registro y procesamiento de los datos.

Recomendaciones

- Diseñar un sistema de medición de múltiples variables.
- Establecer la comunicación con la PC a través del protocolo USB.

Bibliografía

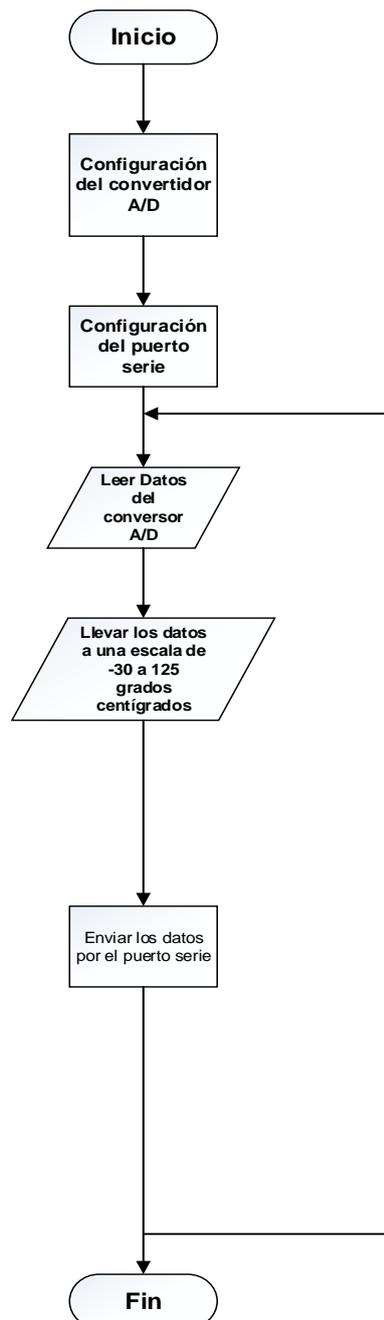
- Almeida Cedeño, J. G., & Camacho Fassler, P. M. (2007). *Diseño, construcción e implementación de un sistema de adquisición de datos con transmisión inalámbrica, para evaluar el rendimiento de colectores térmicos para el calentamiento de agua.*
- Burr-Brown Corporation. (1998). INA114. USA.
- Chávez Romero, A. (2007). *Diseño de un Sistema de Adquisición de Datos para el análisis de electroculogramas.*
- Duque, E., & Henao, C. (2009). Programando microcontroladores en lenguaje C. *Scientia et Technica*(43), 37-42.
- García, E. (2008). *Compilador CCS y simulador Proteus para microcontroladores PIC.* Barcelona: Ediciones Técnicas.
- Garrido, D., & Guillán, E. (2010). *Aplicaciones de la electrónica.* Santiago de Cuba.
- Hitachi Inc. (2000). LM016L.
- Ibarra García, V., & Osorio Osorio, P. (2007). *Diseño y construcción de un sistema de adquisición de datos de 4 canales analógicos de entrada basado en un PIC16F877 para uso general en los laboratorios de CIAII.* Hidalgo.
- Mesid Mendoza, E. Y. (2006). *Metodología de diseño de un sistema de adquisición de datos meteorológicos para un aeropuerto.* Pamplona.
- Microchip Technology Inc. (2003). PIC16F87xA Data Sheet.
- Millman, J. (1995). *Microelectronica.* Barcelona: Hispano Europea, S.A.
- Motorola Inc. (1996). General Purpose Transistors.
- Rashid, M. (2008). *Circuitos microelectrónicos, análisis y diseño.* La Habana: Félix Varela.
- Rodríguez, G., Cortes, S., Martínez, R., & Gómez, A. (2001). Sistema de adquisición de señales para windows. *II Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica.* La Habana.
- Salazar Gil, J. R. (2007). *Diseño de un prototipo de sistema para la medición de parámetros relacionados con la calidad del agua.* Sartenejas.
- Texas Instruments Inc. (2002). MAX232, MAX232I dual EIA-232 drivers/receivers. Dallas, Texas.

Torres Torriti, M. (2007). Tutorial de Microcontroladores PIC.

Valdés, F. (2004). Microcontroladores PIC. Santiago de Cuba.

Anexos

Anexo 1. Diagrama de flujo del PIC.



Anexo 2. Programación del PIC16F688

```

#include <16f688.h>

#define ADC=8

#define fuses INTRC,NOWDT,NOPROTECT, NOMCLR

#define use delay(clock=8000000)

#define use rs232(baud=9600, bits=8, xmit=PIN_C4, rcv=PIN_C5)

#include <math.h>

void main()
{

    float valor,y,t,th,Vout,Rth;

    setup_adc_ports(sAN0|VSS_VDD);
    setup_adc_ports(sAN1|VSS_VDD);
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
    set_adc_channel(0);

    delay_ms( 10 );
    while (TRUE)
    {
        valor = Read_ADC();
        y=5*valor/255;
        Vout=y/29.4;
        Rth=105.8*((2.5+Vout)/(12.5-5*Vout));
        th=3100/(10.4+log(Rth/50));
        t=th-273;
        printf("\r\n %f",t);
        delay_ms(500);
    }
}

```