



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Básicas a Ingeniería

Área Académica de Sistemas Computacionales

Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones

**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**

TESIS

**que para obtener el Título de Ingeniero en Electrónica
y Telecomunicaciones presentan:**

P.D.L.I.E.T. Victor Hiram Ibarra Garcia

P.D.L.I.E.T. Pedro Osorio Osorio

Asesores:

M. en C. María Angélica Espejel Rivera

Dr. Eduardo Morales Sánchez

Pachuca de Soto, Hidalgo 2007

AGRADECIMIENTOS

*Primeramente a Dios,
por concederme vida suficiente
para lograr este trabajo
y llegar a esta etapa de mi existencia
porque sin su voluntad nada hubiera logrado.*

*A mis padres,
con gran cariño,
por todo el apoyo
y paciencia recibida de su parte
y por tratar siempre que nunca me faltara nada*

Muchas gracias.

*A mis asesores,
por su paciencia, confianza y conducción
en la realización de esta tesis.*

VICTOR HIRAM IBARRA GARCIA

AGRADECIMIENTOS

*Doy gracias antes que nada a la **vida**
por haberme dado la oportunidad de egresar
de la universidad y por alcanzar una de mis metas.*

*A mis **padres** les estaré eternamente agradecido
toda la vida por que sin ellos quizás no tendría
la educación que ahora gozo,
a mi madre Estela con su gran ayuda moral
y su fortaleza que sin ella a mi lado con sus grandes consejos
y enseñanzas forjó en mi a una persona capaz
e hizo posible este logro anhelado,
a mi padre Pedro con su apoyo económico
que con algunos consejos, pocos
pero de ayuda en este largo camino que es la vida.*

*A mi **familia** en general
que son mis hermanos Juan Manuel,
Daniel, Emma Erendira, Eloy y Nallely:
algunos por el ejemplo que pusieron
y otros más por los consejos que me dieron
cuando más los necesite y que son y seguirán siendo
de gran ayuda para que yo alcanzara esta meta.*

*Esto es para todas aquellas personas,
mis Profesores que estuvieron desde el inicio
de mi formación hasta el final les agradeceré por siempre
el tiempo y esfuerzo que en mí pusieron,
y en especial a mis asesores que tuvieron
la paciencia y confianza en nosotros
por entendernos hasta en los peores momentos
y por su tiempo regalado
Mtra. en C. Angélica Espejel Rivera
y el Dr. Eduardo Morales Sanchez.*

A mis amigos que podría mocionarlos
pero prefiero recordarlos por siempre
como espero que ellos se acuerden de mí,
que sin ellos a mi lado este sendero
que caminé hubiese sido una auténtica calamidad
por que estuvieron en las buenas y en las malas a lo largo del camino.

Y por supuesto a la UAEH
por haberme brindado el espacio que necesité
para tener la formación con la que ahora cuento,
al centro de investigaciones CIAII,
por la oportunidad para desarrollar mi servicio social
con el cual logré desarrollar mi tesis que es para mí, más
que un logro, es un auténtico trofeo.
*Y en general a todas aquellas personas que depositaron
su amistad y la confianza en mí, nunca los olvidaré.*

PEDRO OSORIO OSORIO.

ÍNDICE GENERAL

Índice.....	i
Índice de figuras.....	iii
Índice de tablas.....	vi
<i>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</i>	
Introducción.....	1
1.1 Estado del arte.....	3
1.2 Justificación y alcance.....	12
1.3 Objetivos.....	13
1.3.1 Objetivo general.....	13
1.3.2 Objetivos particulares.....	13
1.4 Hipótesis.....	14
1.5 Metodología.....	14
<i>CAPÍTULO 2: CONCEPTOS BÁSICOS.</i>	
Introducción.....	16
2.1 Sistema de Adquisición de Datos.....	16
2.2 Transductores.....	19
2.3 Acondicionadores de señal.....	28
2.3.1 Filtros.....	29
2.3.2 Clasificación general de amplificadores para acondicionamiento de señal.....	31
2.4 Hardware.....	50
2.4.1 Multiplexor.....	50
2.4.2 Convertidor analógico – digital.....	52
2.4.3 Comunicación.....	60
2.5 La Computadora Personal (PC).....	63
2.6 Software.....	65

CAPÍTULO 3: DESARROLLO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE 4 CANALES ANALÓGICOS DE ENTRADA.

Introducción.....	66
3.1 Identificación de necesidades y especificaciones.....	66
3.2 Diseño del Sistema de Adquisición de Datos.....	68
3.2.1 Etapa de sensores.....	69
3.2.2 Etapa de acondicionamiento de señal.....	78
3.2.3 Etapa de adquisición de datos.....	85

CAPÍTULO 4: PROGRAMACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS

Introducción.....	95
4.1 Módulo de programación del PIC16F877.....	95
4.2 Módulo de programación de la PC.....	106

CAPÍTULO V: PRUEBAS DE LABORATORIO

Introducción.....	112
5.1 Pruebas del canal de adquisición de temperatura.....	112
5.2 Pruebas del canal de adquisición de voltaje AC.....	116
5.3 Pruebas del canal de adquisición de voltaje DC.....	120
5.4 Pruebas del canal de adquisición de corriente AC.....	124

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

6.1 Conclusiones.....	129
6.2 Aportaciones.....	130
6.3 Trabajos futuros.....	130

ÍNDICE DE FIGURAS

Descripción:

FIG 1.1 Diagrama general de un Sistema de Adquisición de Datos.....	11
FIG. 2.1 Sistema típico de Adquisición de Datos basado en una PC.....	18
FIG. 2.2 El circuito puente de Wheatstone convierte un cambio de resistencia en R_0 en un cambio en el voltaje de salida.....	21
FIG. 2.3 Partes que componen generalmente un acondicionador de señal.....	29
FIG. 2.4 Modelo ideal del amplificador operacional.....	30
FIG.2.5 Configuración del amplificador inversor.....	34
FIG.2.6 Configuración del amplificador no inversor.....	37
FIG. 2.7 Diagrama de un amplificador de aislamiento basado en un transformador.....	40
FIG. 2.8 Estructura interna de un amplificador de aislamiento basado en fotoacopladores.....	41
FIG. 2.9 Seguidor de voltaje.....	42
FIG. 2.10 Comparación del efecto de carga entre amplificadores inversores y no inversores en una fuente de alta resistencia.....	44
FIG. 2.11 Amplificador diferencial básico.....	46
FIG. 2.12 El amplificador diferencial esta conectado de modo que el voltaje de ruido llega a ser el voltaje en modo común y no se amplia. Solo el voltaje de la señal E_i se amplifica debido a que se ha conectado como el voltaje diferencial de entrada.....	47
FIG. 2.13 Amplificador de instrumentación.....	49
FIG. 2.14 Partes que componen de manera general el Hardware de adquisición de datos.	50
FIG. 2.15 Diagrama general de un multiplexor.....	51
FIG.2.16 Convertidor con registro de aproximaciones sucesivas.....	57
FIG. 2.17 Circuito de monitorización y retención.....	59
FIG. 3.1 Diagrama a bloques del sistema de adquisición de datos de 4 canales analógicos.....	68

FIG. 3.2 Divisor de tensión.....	71
FIG.3.3 Transformador de medición de corriente.....	77
FIG. 3.4 Diagrama eléctrico del acondicionador de señal de temperatura.....	79
FIG. 3.5 Este amplificador de valor absoluto tiene ambos modos de suma al potencial de tierra durante cualquier polaridad de voltaje de entrada.....	82
FIG. 3.6 Diagrama eléctrico del acondicionador de señal de voltaje AC.....	83
FIG. 3.7 Diagrama eléctrico del acondicionador de señal de voltaje DC.....	84
FIG.3.8 Diagrama eléctrico del acondicionador de señal de corriente AC.....	85
FIG. 3.9 Organización interna del PIC16F877.....	87
FIG 3.10 Diagrama de pines del microcontrolador	88
FIG. 3.11 Acciones que realiza el microcontrolador en la Etapa de Adquisición.....	88
FIG. 3.12 Diferentes interpretaciones de un dato en serie.....	90
FIG.3.13 Modo asíncrono de transmisión.....	93
FIG. 3.14 Módulo comunicación y fuente de potencia.....	94
FIG.4.1 Diagrama de flujo del programa principal.....	96
FIG.4.2 Diagrama de flujo para la acción de configuración del PIC16F877.....	97
FIG.4.3 Diagrama de flujo para la acción de adquisición.....	98
FIG 4.4 Diagrama de flujo de la acción Conversión de texto.....	99
FIG 4.5. Diagrama de flujo de las principales tareas que debe realizar el programa de la PC correspondiente al sistema de adquisición de datos construido.....	107
FIG. 4.6 Programa en LABVIEW correspondiente a la configuración y escritura en puerto serie COM1.....	108
FIG.4.7 Programa en LabView correspondiente al graficado de los 4 canales.....	109
FIG. 4.8 Programa en LabView correspondiente a las funciones de “save” y ventana donde se introduce nombre y lugar donde se salvaran los datos.....	110

FIG. 4.9 Pantalla principal del programa desarrollado en LabView para el sistema de adquisición de datos de 4 canales construido.....	111
FIG. 5.1 Valor mínimo de Temperatura adquirido en la simulación.....	113
FIG. 5.2 Valor máximo de Temperatura adquirido en la simulación.....	113
FIG. 5.3 Valor mínimo de Temperatura comprobado con el osciloscopio.....	114
FIG. 5.4 Valor máximo de Temperatura comprobado con el osciloscopio.....	115
FIG. 5.5 Valor mínimo de Temperatura adquirido y graficado con LabView.....	115
FIG. 5.6 Valor máximo de Temperatura adquirido y graficado con LabView.....	116
FIG. 5.7 Valor mínimo de Voltaje AC adquirido en la simulación.....	117
FIG. 5.8 Valor máximo de Voltaje AC adquirido en la simulación.....	117
FIG. 5.9 Valor mínimo de Voltaje AC comprobado con el osciloscopio.....	118
FIG. 5.10 Valor máximo de Voltaje AC comprobado con el osciloscopio.....	119
FIG. 5.11 Valor mínimo de Voltaje AC adquirido y graficado con LabView.....	119
FIG. 5.12 Valor máximo de Voltaje AC adquirido y graficado con LabView.....	120
FIG. 5.13 Valor mínimo de Voltaje DC adquirido en la simulación.....	121
FIG. 5.14 Valor máximo de Voltaje DC adquirido en la simulación.....	121
FIG. 5.15 Valor mínimo de Voltaje DC comprobado con el osciloscopio.....	122
FIG. 5.16 Valor máximo de Voltaje DC comprobado con el osciloscopio.....	123
FIG. 5.17 Valor mínimo de Voltaje DC adquirido y graficado con LabView.....	123
FIG. 5.18 Valor máximo de Voltaje DC adquirido y graficado con LabView.....	124
FIG. 5.19 Valor mínimo de Corriente AC adquirido en la simulación.....	125
FIG. 5.20 Valor máximo de Corriente AC adquirido en la simulación.....	125
FIG. 5.21 Valor mínimo de Corriente AC comprobado con el osciloscopio.....	126
FIG. 5.22 Valor máximo de Corriente AC comprobado con el osciloscopio.....	127
FIG. 5.23 Valor mínimo de Corriente AC adquirido y graficado con LabView.....	127
FIG. 5.24 Valor máximo de Corriente AC adquirido y graficado con LabView.....	128

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1: Ejemplos de transductores, su principio de operación, parámetros que sensan y su aplicación típica.	27
TABLA 2.2: Comparación de las características de un amplificador de instrumentación y un amplificador de aislamiento.	39
TABLA 2.3: Ventajas de los amplificadores de aislamiento basados en fotoacopladores frente a los basados en transformador.	41
TABLA 3.1 Rango de medición de diferentes sensores para temperatura.	69
TABLA 5.1 Precisión, exactitud y sensibilidad para cada canal del sistema de adquisición.....	128

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Hoy en día, en muchos laboratorios de investigación, al igual que en la industria, se realizan actividades de medición, prueba y automatización de distintos procesos y aplicaciones industriales. Por lo que los Sistemas de Adquisición de Datos (SAD) basados en computadoras personales (PC) han tomado gran importancia. Por tal motivo grandes empresas como National Instruments, Hewlet Packard, Advantech, etc., han incorporado dentro de sus productos diferentes sistemas de adquisición de señales como tarjetas SAD-PCI, tarjetas SAD-PCMCIA, tarjetas SAD-USB, módulos SAD RS-232 y RS-485. Estos sistemas de adquisición de datos pueden utilizar dispositivos plug-in (quita-pon) para adquirir datos y poder ser procesados y/o manipulados directamente por la computadora. Otros utilizan algún hardware de adquisición de datos externo a la PC y que puede ser acoplado a ésta utilizando el puerto paralelo, serial o algún otro protocolo de comunicación. [1]

Todo sistema de adquisición de datos cuenta con tres partes principales las cuales son:

- La etapa de Acondicionamiento de señal (Hardware)
- El dispositivo de adquisición de datos (Hardware).
- La interfaz gráfica para la visualización en la PC de los datos adquiridos (Software).

Los sistemas comerciales de adquisición de datos son de gran costo debido a que son dispositivos que garantizan una gran exactitud y precisión en la medición de procesos en los que es necesario contar con un mínimo margen de error. Sin embargo un sistema de adquisición de datos comercial genera una gran dependencia tecnológica tanto en la etapa de acondicionamiento como en el dispositivo de adquisición ya que se requiere soporte técnico y mantenimiento del sistema en total. También existe dependencia en el aspecto del software, el cual sirve para la manipulación,

procesamiento y visualización de los datos adquiridos, debido a que la tecnología ha hecho que el control de las tarjetas sea complicado y no tan transparente para un programador. [2]

Sin embargo, existen aplicaciones en las cuales no es necesario tener una gran exactitud y precisión en la adquisición de datos. Por ejemplo en la medición de temperatura donde se pueden tener errores de $\pm 0.5^\circ \text{C}$, o en la medición de un voltaje constante donde se puede tener errores de ± 1 volts en el rango de 110 volts.

Por lo tanto debido a la importancia de los sistemas de adquisición de datos el propósito del presente trabajo es construir un sistema de adquisición de datos que cumpla con los requerimientos de aplicaciones en el Centro de Investigación Avanzada en Ingeniería Industrial (CIAII) de la UAEH y que pueda ser utilizado como instrumento de laboratorio. Esto permitirá reducir de manera importante la dependencia hacia las grandes empresas y de cierta manera, desarrollar tecnología propia.

En este trabajo de tesis se desarrolla un sistema de Adquisición de datos, el cual permite la medición de parámetros físicos de Temperatura, Voltaje AC, Voltaje DC y Corriente AC siendo luego visualizados los resultados de manera gráfica y legible en una computadora a través de un software de instrumentación virtual (LABVIEW).

El sistema de adquisición de datos propuesto consta de una etapa de acondicionamiento de señal, una etapa de adquisición de datos y una etapa de programación.

La etapa de acondicionamiento de señal esta formada por sensores o transductores y amplificadores de señal necesarios para acondicionar la señal física a medir a un nivel adecuado para ser introducido al dispositivo de adquisición de datos. Los parámetros físicos a medir serán Temperatura, Voltaje AC, Voltaje DC y Corriente DC. La segunda etapa se llevará a cabo con un microcontrolador PIC16F877 con interfaz RS-232. Este microcontrolador permitirá por un lado adquirir el voltaje que

entrega la etapa de acondicionamiento de señal para digitalizarla y por otro permitirá la comunicación con una PC por medio del puerto RS-232 (COM1). Por último la tercera etapa corresponde al programa de aplicación desarrollado con un lenguaje especializado para instrumentación virtual como LABVIEW. El programa que se desarrolla hará la comunicación IN-OUT por puerto serial, para que los datos adquiridos sean graficados en pantalla en función del tiempo. También el programa controla el tiempo de adquisición y despliega el número de adquisiciones realizadas.

1.1 ESTADO DEL ARTE

MICROCONTROLADORES

Hace unos años, los sistemas de control se implementaban usando exclusivamente lógica de componentes, lo que hacía que fuesen dispositivos de gran tamaño y muy pesados. Para facilitar una velocidad más alta y mejorar la eficiencia de estos dispositivos de control, se trató de reducir su tamaño, apareciendo así los microprocesadores. Siguiendo con el proceso de miniaturización, el siguiente paso consistió en la fabricación de un controlador que integrase todos sus componentes en un sólo chip. A esto es a lo que se le conoce con el nombre de *microcontrolador*, un computador dentro de un sólo chip. [3]

El primer microprocesador fue el Intel 4004, producido en 1971. Se desarrolló originalmente para una calculadora, y resultaba revolucionario para su época. Contenía 2300 transistores en un microprocesador de 4 bits que sólo podía realizar 60000 operaciones por segundo. El primer microprocesador de 8 bits fue el Intel 8008, desarrollado en 1979 para su empleo en terminales informáticos. El Intel 8008 contenía 3300 transistores. El primer microprocesador realmente diseñado para uso general, desarrollado en 1974, fue el Intel 8080 de 8 bits, que contenía 4500 transistores y podía ejecutar 200 000 instrucciones por segundo. Los microprocesadores modernos tienen una capacidad y velocidad mucho mayores. Entre ellos figuran el Intel Pentium Pro, con

5.5 millones de transistores; el UltraSparc-II, de Sun Microsystems, que contiene 5.4 millones de transistores; el PowerPC G4, desarrollado conjuntamente por Apple, IBM y Motorola, con 7 millones de transistores, y el Alpha 21164A, de Digital Equipment Corporation, con 9.3 millones de transistores.[4]

La historia de los microcontroladores surge desde dos vías de desarrollo paralelas; una desde Intel y otra desde Texas Instruments. Los primeros microcontroladores son el 4004 y 4040 de Intel que dieron lugar al 8048, a su vez predecesor del 8051. Aún así el primer microcontrolador fue el TMS1000 de Texas Instruments. Éste integraba un reloj, procesador, ROM, RAM, y soportes de E/S en un solo chip.

En 1965, la empresa GI creó una división de microelectrónica, GI Microelectronics División, que comenzó su andadura fabricando memorias EPROM y EEPROM, que conformaban las familias AY3-XXXX y AY5-XXXX. A principios de los años 70 diseñó el microprocesador de 16 bits CP1600, razonablemente bueno pero que no manejaba eficazmente las Entradas y Salidas. Para solventar este problema, en 1975 diseñó un chip destinado a controlar E/S: el PIC (Peripheral Interface Controller). Se trataba de un controlador rápido pero limitado y con pocas instrucciones pues iba a trabajar en combinación con el CP1600. [4]

La arquitectura del PIC, que se comercializó en 1975, era sustancialmente la misma que la de los actuales modelos PIC16C5X. En aquel momento se fabricaba con tecnología NMOS y el producto sólo se ofrecía con memoria ROM y con un pequeño pero robusto microcódigo.

La década de los 80 no fue buena para GI, que tuvo que reestructurar sus negocios, concentrando sus actividades en los semiconductores de potencia. La GI Microelectronics División se convirtió en una empresa subsidiaria, llamada GI Microelectronics Inc. Finalmente, en 1985, la empresa fue vendida a un grupo de inversores de capital de riesgo, los cuales, tras analizar la situación, rebautizaron a la

empresa con el nombre de Arizona Microchip Technology y orientaron su negocio a los PIC, las memorias EPROM paralelo y las EEPROM serie. Se comenzó rediseñando los PIC, que pasaron a fabricarse con tecnología CMOS, surgiendo la familia de gama baja PIC16CSX, considerada como la "clásica". [4]

Una de las razones del éxito de los PIC se basa en su utilización. Cuando se aprende a manejar uno de ellos, conociendo su arquitectura y su repertorio de instrucciones, es muy fácil emplear otro modelo.

Microchip cuenta con su factoría principal en Chandler, Arizona, en donde se fabrican y prueban los chips con los más avanzados recursos técnicos. En 1993 construyó otra factoría de similares características en Tempe, Arizona. También cuenta con centros de ensamblaje y ensayos en Taiwan y Tailandia. Para tener una idea de su alta producción, hay que tener en cuenta que ha superado el millón de unidades por semana en productos CMOS de la familia PIC16CSX. [5]

COMUNICACIÓN SERIAL RS-232

El puerto serial, también conocido por el estándar que lo norma, el RS-232, fue creado con el único propósito de contar con una interfaz entre los equipos terminales de datos (Data Terminal Equipment, DTE), y el equipo de comunicación de datos (Data Communications Equipment, DCE) empleando intercambio serial de datos binarios. De esta forma el equipo terminal de datos es el extremo cliente de los datos y el equipo de comunicación de datos es el dispositivo que se encarga de la unión entre los terminales, tal como un módem o algún otro dispositivo de comunicación. [6]

El RS-232 fue originalmente adoptado en 1960 por la Asociación de Industrias de la Electrónica, conocida también por sus siglas en inglés EIA, Electronic Industries Association. El estándar evolucionó a través de los años y en 1969 el protocolo RS-232C, fue el estándar elegido por los fabricantes de computadoras personales compatibles con IBM. En 1987 se adoptó la cuarta revisión, el RS-232D, también conocida como EIA-232D. En esta nueva revisión se agregaron 3 líneas de prueba.[6]

En teoría un enlace serial podría requerir de sólo dos cables, una línea de señal y una tierra, para mover la señal serial de una locación a otra. Pero en la práctica esto no funciona correctamente al paso del tiempo ya que algunos bits pueden perder el nivel de la señal, alterando el resultado final. Un bit faltante en la terminal de recepción puede provocar que todos los bits siguientes sean cambiados o recorridos, resultando en datos incorrectos al convertirlos de regreso a una señal paralela. Por lo tanto, para conseguir una comunicación serial confiable se deben de prevenir estos errores de bit que pueden emerger en varias formas distintas. [7]

En la actualidad los microcontroladores comerciales PIC ya proporcionan los circuitos para manejar internamente el protocolo RS-232. Es decir que únicamente por programación y un cable serial entre el PIC y a la computadora es posible realizar la comunicación entre estos dos dispositivos. [5]

CONVERTIDORES ANALÓGICOS - DIGITALES

El desarrollo de la tecnología en los últimos años ha permitido que dentro de los microcontroladores se incluyan convertidores analógicos - digitales que permiten hacer la conversión de una señal analógica en un código binario.

Un convertidor analógico – digital (CAD) toma un voltaje analógico de entrada y después de cierto tiempo produce un código digital de salida que representa la entrada analógica. El proceso de conversión analógica – digital por lo general es más complejo y tardado que el proceso digital – analógico. Se han desarrollado y empleado muchos métodos para poder convertir señales analógicas en digitales entre los cuales podemos mencionar el método de conversión de doble pendiente, conversión por red de escaleras y conversión de aproximaciones sucesivas. [8]

SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Los sistemas de adquisición de datos son sistemas electrónicos completos que contienen diferentes dispositivos electrónicos como convertidores analógico – digital (CAD), registros de corrimiento, memorias para datos, configuraciones Peripheral Component Interconnect (PCI) para conexión a computadoras o por puerto serie o por puerto Universal Serial Bus (USB). Su principal uso es en la adquisición de señales de interés como voltaje, corriente, temperatura, humedad, peso, etc., para su posterior procesamiento dentro de una computadora o algún sistema de graficado. [1]

Podemos considerar como el primer sistema de adquisición de datos al multímetro digital.

Los primeros modelos de voltímetros con lecturas digitales presentaban tubos de vacío (bulbos) para los elementos de lectura y tubos para la conversión analógica – digital y la lógica electrónica. Estos instrumentos eran muy pesados, muy grandes y muy caros. Tenían carcasas de metal y eran algo limitados en su rango de funciones. Estos dispositivos requerían una línea de voltaje de 120 volts, lo cual limitaba su portabilidad. Su tiempo de respuesta entre lecturas era lento. Pero si se tenía suficiente dinero para gastar en su construcción, era posible alcanzar una exactitud razonable. [9]

En 1960, los modelos transistorizados llegaron a ser muy populares. Con la introducción del Light-Emitting Diode (LED) y las más recientes técnicas de muestreo de ese tiempo, el uso del multímetro digital llegó a ser muy extendido en la industria. El tamaño, costo y requerimientos de alimentación se redujeron de manera que los modelos operados con baterías podían ser obtenidos a precios razonables, permitiendo que los multímetros digitales fueran accesibles para el técnico independiente. [9]

Los circuitos integrados hicieron posible desarrollar multímetros con impedancias de entrada altas y con mayor fiabilidad, a un precio más bajo con un rango más amplio de funciones. La introducción del Liquid Cristal Display (LCD) redujo los requerimientos de alimentación.

Los multímetros digitales de hoy son controlados por chips Large Scale Integrated (LSI) comunes y pueden consistir de un chip LSI especializado para procesar la entrada y un microprocesador para controlar las funciones y la salida junto con algunos componentes externos. La impedancia de entrada puede ser mayor a los 10 000 M Ω para rangos de corriente directa arriba de 20 V. [9]

Los instrumentos de control fueron naciendo a medida que las exigencias del proceso lo impusieron. Las necesidades de la industria fueron (y son actualmente) el motor que puso en marcha la inventiva de los fabricantes o de los propios usuarios para idear y llevar a cabo la fabricación de los instrumentos convenientes para los procesos industriales.

El desarrollo se inicio con los manómetros, termómetros y válvulas manuales localmente montadas. En esta fase eran necesarios muchos operadores para observar los instrumentos y maniobrar las válvulas los proceso industriales eran proyectados empíricamente basándose en la intuición y en la experiencia acumulada y no estaban centralizados para conseguir una mayor eficacia en las funciones del operador. [10]

La siguiente etapa fue la centralización de las funciones de medida y control más importantes, pertenecientes a una operación del proceso en un panel localmente montado. De este modo podía observarse y controlarse el funcionamiento de cada elemento en particular de una manera más coordinada y eficaz. Para hacer esto posible, se desarrollaron instrumentos galvanométritos operados por termopar, termómetros con largos capilares y caudalímetros con largos tubos de conducción de presión diferencial.

Sin embargo los procesos se hicieron más complejos y críticos y llego hacerse necesario que los operadores observaran el funcionamiento de varias unidades de la instalación simultáneamente. El desarrollo de los transmisores neumáticos permitió la centralización de las funciones de medida y de regulación de toda una unidad del proceso en unas sola de control, utilizándose como receptores los instrumentos registradores controladores neumáticos de caja grande que aparecieron hacia el año

1940. Posteriormente, estos instrumentos se perfeccionaron con un diseño modular, conservando la unidad automático-manual de cuatro posiciones en un subpanel aparte. [10]

A medida que paso el tiempo estas salas de control indebidamente grandes, debido al crecimiento de los procesos y al tamaño de los instrumentos convencionales se desarrolló la instrumentación neumática miniatura que apareció en el mercado hacia el año de 1947, dotada ya con conmutación automático-manual e incorporada, pero con el mismo tipo de transferencia.

A principio de los años 50 aparecen los primeros instrumentos electrónicos a válvulas. Mas tarde se perfeccionó la unidad automática-manual, consiguiéndose el cambio en un solo paso, sin que se produzcan saltos en la señal de salida a la válvula y aparecen paralelamente los instrumentos electrónicos miniatura alrededor del año 1960. El tamaño de estos instrumentos neumáticos y electrónicos es ya reducido, pero todavía experimentara una normalización posterior. [10]

Los complejos de múltiples procesos empezaron a utilizar salas de control separadas y la coordinación y la comunicación entre los operadores en estas salas de control comenzaron a plantear algunos problemas. Además se introdujeron equipos centrales de tratamientos de datos que requerían la disponibilidad de diversas señales de medida en un punto central. [11]

Una vez desarrollados los instrumentos miniatura neumáticos y electrónicos los procesos se fueron haciendo poco a poco más complejos y su optimización llevo a ser una necesidad. En esta es donde empezaron a utilizarse los primeros computadores. El primer computador electrónico apareció hacia el año 1946, pero los verdaderos computadores de proceso se desarrollaron realmente en los años 1960- 1965 y se aplicaron principalmente en centrales térmicas, industrias metalúrgicas, químicas y petroquímicas. [10]

En 1983 aparece el transmisor digital inteligente con señal de salida analógica de 4 a 20 mA DC y se inicia el desarrollo de las comunicaciones field bus (estándar abierto para entradas, salidas y dispositivos de control de procesos en red que cuando se configuran pueden correr independientemente de una PC). Se eliminan las incomodidades y caras calibraciones necesarias en los instrumentos convencionales y se facilita el cambio del campo de medida y auto diagnóstico. En 1986 aparece el primer transmisor enteramente digital con lo que aumenta todavía más las prestaciones, con la única limitación importante en la normalización de las comunicaciones donde todavía no es posible el intercambio de instrumentos de diferentes marcas. [9]

La aplicación de los instrumentos neumáticos y electrónicos analógicos quedará limitada a una pequeña planta, ya que, frente a la instrumentación digital, tiene una peor relación costo/prestaciones, no permite el almacenamiento de volúmenes masivos de información y no disponen de facilidad de comunicación entre instrumentos que posee la digital.[11]

Un SAD no es más que un equipo electrónico cuya función es el control o simplemente el registro de una o varias variables de un proceso cualquiera, de forma general puede estar compuesto por los siguientes elementos. [2]

1. Sensores.
2. Amplificadores operacionales.
3. Amplificadores de instrumentación.
4. Aisladores.
5. Multiplexores analógicos.
6. Multiplexores digitales.
7. Circuitos Sample and Hold.
8. Conversores Analógico-digital.
9. Conversores Digital-analógico.
10. Microprocesadores.
11. Contadores.

12. Filtros.
13. Comparadores.
14. Fuentes de potencia.

En la siguiente figura se muestra el diagrama general de un SAD.

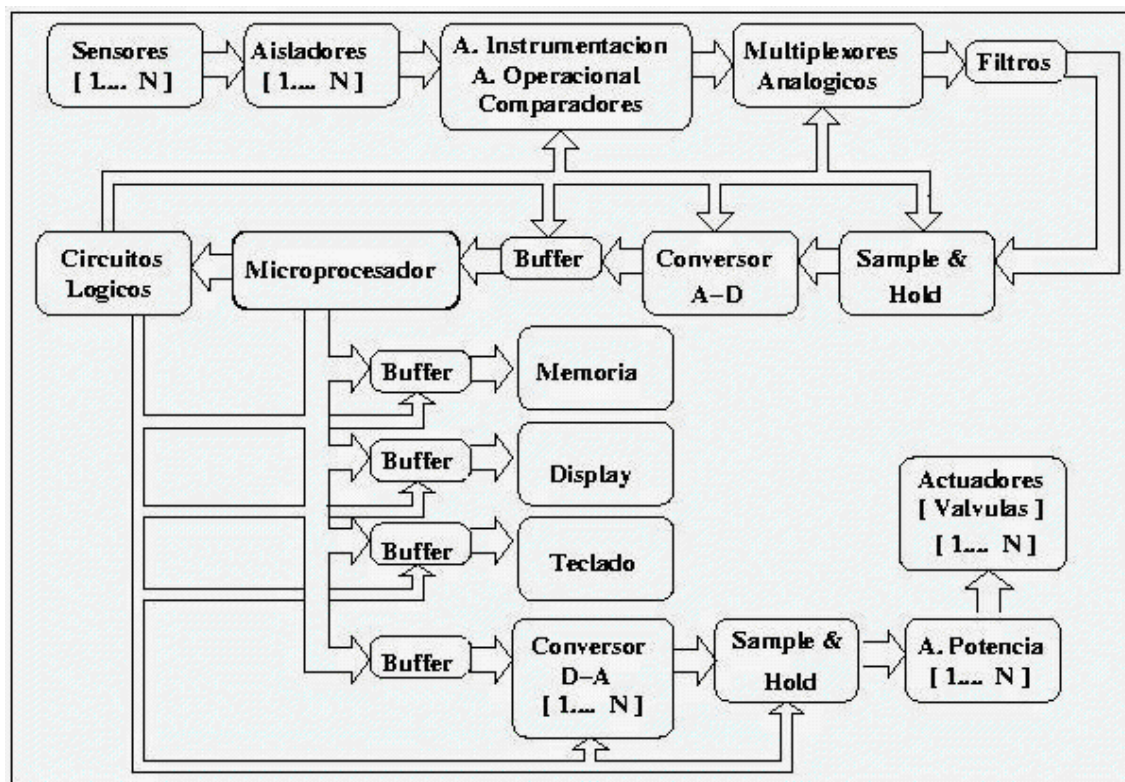


FIG 1.1 Diagrama general de un Sistema de Adquisición de Datos.

1.2 JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE.

En todo laboratorio de investigación se tienen sistemas de adquisición de datos para medir diferentes parámetros como temperatura, velocidad, humedad, voltaje, corriente, potencia, etc. Sin embargo un sistema de adquisición de datos no es barato principalmente porque se requiere de una gran infraestructura para su manufactura, por ello solo las empresas internacionales como National Instruments, Agilent, Quatech, Advantech, etc., han desarrollado estos sistemas de adquisición de datos. Por otro lado, en los últimos años, la tecnología de los microcontroladores se ha desarrollado tanto que ya incluyen convertidores analógicos digitales dentro de los mismos, abriendo la posibilidad de diseñar y construir pequeños sistemas que pueden adquirir datos.

Debido a la importancia experimental que tienen los sistemas de adquisición de datos y debido a que la tecnología de microcontroladores ya permite la conversión de analógico a digital, se propone el diseño y la construcción de un sistema de adquisición de datos de 4 canales de entrada analógicos para PC basado en un microcontrolador PIC16F877 utilizando comunicación serie RS-232. Se propone que el sistema de adquisición permita medir Temperatura en un canal de entrada, Voltaje AC en otro canal de entrada, Voltaje DC en otro canal y Corriente AC en otro canal de entrada.

Cabe mencionar que el desarrollo del sistema de adquisición de datos propuesto, es un primer paso para la creación de nuestra propia tecnología y así evitar la dependencia hacia las grandes empresas. El sistema de adquisición de datos propuesto se utilizará en los laboratorios del Centro de Investigación Avanzada en Ingeniería Industrial (CIAII), así como por estudiantes que lo requieran para sus prácticas de laboratorio. Un aspecto importante es que el mantenimiento del mismo será rápido y simple porque se están utilizando circuitos comerciales de fácil adquisición, garantizando un mantenimiento preventivo y correctivo rápido y eficiente.

El alcance del trabajo es construir un sistema de adquisición de datos de 4 canales de entrada analógicos que permita medir Temperatura, Voltaje AC, Voltaje DC

y Corriente AC, que se comunice con la computadora utilizando comunicación serial y que por medio de un programa hecho especialmente permita visualizar en la pantalla de la PC el valor de los 4 canales analógicos en función del tiempo.

1.4 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseño y construcción de un sistema de adquisición de datos de 4 canales de entrada analógicos basado en un microcontrolador PIC16F877 con comunicación serie RS-232 para uso general de los laboratorios del CIAII.

1.3.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- Estudio de las diferentes técnicas de medición.
- Diseñar y elaborar un programa para PC que sirva para la visualización gráfica de los datos adquiridos.
- Diseñar y construir un sistema de adquisición de datos de 4 canales de entrada analógicos para PC basado en un microcontrolador PIC16F877 con comunicación serie RS-232 con las siguientes especificaciones:
 - Un canal de entrada analógico deberá medir temperatura en el rango de 0 a 120 ± 0.5 grados centígrados.
 - Un canal de entrada analógico deberá medir voltaje AC en el rango de 0 a 120 volts AC ± 1 VAC.
 - Un canal de entrada analógico deberá medir voltaje DC en el rango de 0 a 15 VDC ± 0.1 VDC.

- Un canal de entrada analógico deberá medir corriente AC en el rango de 0 a 1 ampere \pm 10 mA.

- Diseñar y construir acondicionadores de señal para cada canal analógico de entrada de acuerdo a su especificación.

- Diseñar y elaborar programa en ensamblador para lograr la adquisición de datos con el microcontrolador PIC 16F877.

- Diseñar y elaborar programa en ensamblador para realizar la comunicación serie RS-232 del microcontrolador PIC 16F877 con la computadora.

- Realizar pruebas del sistema en el laboratorio para comprobar las especificaciones a cumplir, así como frecuencia de operación del sistema.

1.4 HIPÓTESIS

Debido a que la tecnología actual ha incorporado nuevas funciones a los microcontroladores, un microcontrolador PIC16F877 puede ser utilizado para desarrollar una tarjeta de adquisición de datos de 4 canales analógicos que pueda comunicarse con una computadora para adquirir y graficar los datos de entrada.

1.5 METODOLOGÍA

La metodología a seguir para realizar este trabajo es el siguiente:

- Revisión bibliográfica: Se hará una revisión bibliográfica de los sistemas de adquisición de datos, de los microcontroladores PIC, transductores, de acondicionadores de señal, de la comunicación serial RS-232 y de la programación en LABVIEW.

- Especificaciones: El sistema de adquisición de datos a desarrollar será un sistema de 4 canales analógicos que podrá medir Temperatura, Voltaje AC, Voltaje DC y Corriente AC, en cada canal respectivamente. Por lo tanto se determinaran los rangos de medición para cada canal en base a valores normales a cada variable a medir.
- A partir de las necesidades anteriores se propondrá un diagrama a bloques para el diseño y la construcción del sistema de adquisición de datos de cuatro canales.
- Basándose en el diagrama a bloques se propondrá la mejor forma de implementar eléctricamente cada bloque cumpliendo con las necesidades especificadas anteriormente.
- Se realizará la construcción eléctrica de cada bloque.
- Se hará la conjunción de cada bloque para construir físicamente el sistema de adquisición de datos de 4 canales analógicos.
- Se hará un programa especial utilizando programación LABVIEW para realizar la comunicación, la adquisición y el graficado en pantalla de los datos de entrada del sistema de adquisición de datos de 4 canales analógicos desarrollado. Este programa principal constara de pequeños programas que controlaran a cada bloque del diagrama de bloques propuesto.
- Se harán las pruebas para determinar la precisión y la resolución de cada variable medida.
- Conclusiones.

CAPÍTULO II: CONCEPTOS BÁSICOS**INTRODUCCIÓN**

Existen muchas aplicaciones en las que los datos analógicos se deben *digitalizar* (convertir a digitales) y transferir a la memoria de una computadora. Al proceso mediante el cual la computadora adquiere estos datos analógicos digitalizados se le denomina *ADQUISICIÓN DE DATOS*. A la adquisición del valor de un solo punto de datos se le llama *muestreo de la señal analógica* y a ese punto de datos a menudo se le nombra *muestreo*. La computadora puede hacer varias cosas con los datos, dependiendo de la aplicación. En una aplicación de almacenamiento (como por ejemplo una grabación digital de audio, una grabación de video o un osciloscopio digital) la microcomputadora interna guarda los datos y tiempo después los transfiere a un convertidor digital - analógico (CDA) para reproducir la señal analógica original. En una aplicación de control de proceso, la computadora puede examinar los datos o realizar cálculos con ellos para determinar que salidas de control debe generar. [2] En este capítulo se presentan los conceptos básicos de un sistema de adquisición de datos.

2.1 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

Un sistema de adquisición de datos (SAD) es considerado en la actualidad como parte importante de los sistemas de medición que interactúan con equipo de cómputo.

Los sistemas de adquisición de datos se utilizan para medir y registrar señales obtenidas básicamente de dos maneras:

- a) Aquella que se originan a partir de la medición directa de cantidades eléctricas que pueden incluir voltajes de DC y AC, frecuencia o resistencia; suelen hallarse en las áreas de prueba de componentes electrónicos, estudios ambientales y trabajos de control de calidad.

- b) Señales que se originan a partir de transductores, como galgas extensiométricas y termopares.

Los sistemas de instrumentación se pueden clasificar en dos clases principales: analógicos y digitales. Los sistemas analógicos tratan en forma analógica la información de mediciones. Un sistema analógico se puede definir como una función continua, como una gráfica de voltaje contra tiempo, o desplazamiento contra presión. Los sistemas digitales manejan cantidades digitales que representan la información. Una cantidad digital puede consistir en un número de pulsos discretos y discontinuos cuya relación de tiempo contiene información referente a la magnitud o naturaleza de la cantidad. [12]

Un sistema de adquisición de datos analógico consta de alguno o todos los elementos siguientes:

- a) Transductores para la transformación de parámetros físicos en señales eléctricas. (En este trabajo se usarán los términos *TRANSDUCTOR* y *SENSOR* como un mismo concepto).
- b) Acondicionadores de señal para la amplificación, modificación o selección de ciertas partes de estas señales.
- c) Dispositivos de presentación visual para monitoreo continuo de las señales de entrada. Estos dispositivos pueden incluir osciloscopios de varios canales o de un solo canal, osciloscopios de almacenamiento, panel de medidores, desplegados numéricos, entre otros.
- d) Instrumentos de registro de gráficas para obtener un registro permanente de los datos de entrada. Estos incluyen registradores de tinta y plumilla para proporcionar registros continuos sin cortes de papel, sistemas de registro

óptico como los registradores de galvanómetro de espejo y los registradores ultravioleta. [12]

Los sistemas de adquisición de datos digitales de hoy en día están basados principalmente en una PC.

La obtención de resultados adecuados de un SAD basado en una PC depende de cada uno de los siguientes elementos de sistema (ver Figura 2.1).

- Transductores.
- Acondicionamiento de Señal.
- Hardware de Adquisición de datos.
- PC (Computadora Personal).
- Software. [1]

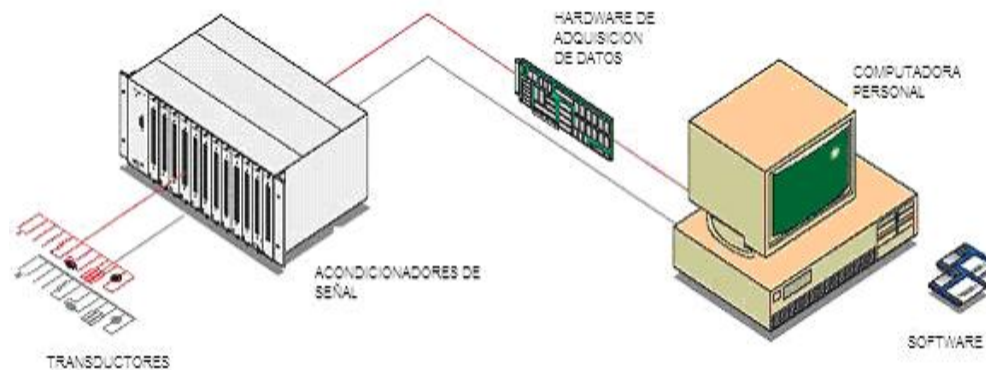


FIG. 2.1 Sistema típico de Adquisición de Datos basado en una PC.

En la parte del Hardware de adquisición de datos pueden utilizarse dispositivos plug-in para adquirir datos y transferirlos directamente a la memoria de la computadora. Otras utilizan algún hardware de adquisición de datos externo a la PC y que es acoplado a ésta mediante el puerto paralelo o serial o algún otro protocolo de comunicación. [1]

El software se utiliza para poder visualizar de manera gráfica en la PC los datos obtenidos por el sistema.

A continuación se describirán de manera detallada cada una de las partes que componen un Sistema de Adquisición de Datos Digital basado en una PC.

2.2 TRANSDUCTORES.

Un transductor es un dispositivo que transforma un tipo de variable física en otro (por ejemplo, fuerza, presión, temperatura, velocidad). Un sensor es un transductor que se utiliza para medir una variable física de interés.

Algunos de los sensores y transductores utilizados con más frecuencia son los calibradores de tensión (utilizados para medir la fuerza y la presión), los termopares (temperaturas) y los velocímetros (velocidad). [12]

Cualquier sensor o transductor necesita estar calibrado para ser útil como dispositivo de medida. La calibración es el procedimiento mediante el cual se establece la relación entre la variable medida y la señal de salida convertida.

Los transductores y los sensores pueden clasificarse en dos tipos básicos, dependiendo de la forma de la señal convertida, los cuales son:

- Transductores analógicos
- Transductores digitales

Los **transductores analógicos** proporcionan una señal analógica continua, por ejemplo voltaje o corriente eléctrica. Esta señal puede ser tomada como el valor de la variable física que se mide.

Los **transductores digitales** producen una señal de salida digital, en la forma de un conjunto de bits de estado en paralelo o formando una serie de pulsaciones que pueden ser contadas. En una u otra forma, las señales digitales representan el valor de la variable medida. Los transductores digitales suelen ofrecer la ventaja de ser más compatibles con las computadoras digitales que los sensores analógicos en la automatización y en el control de procesos. [2]

Los transductores miden fenómenos físicos y producen señales eléctricas que el sistema de adquisición puede medir. Por ejemplo, las termocuplas, los detectores resistivos de temperatura (RTD's), termistores y sensores IC convierten la temperatura en una señal analógica que el convertidor analógico-digital pueda medir. Otros ejemplos incluyen las galgas de tensión, transductores de flujo y transductores de presión que miden fuerza, flujo y presión respectivamente. En cada caso, las señales eléctricas producidas son proporcionales a los parámetros físicos que controlan. [1]

La variable de entrada de la mayoría de los sistemas de adquisición es *no eléctrica*. Con el fin de utilizar métodos eléctricos y técnicas de medición, manipulación o control, las cantidades no eléctricas se convierten en una señal eléctrica por medio de un dispositivo llamado *transductor*. Una definición establece que “el transductor es un dispositivo que al ser afectado por la energía de un sistema de transmisión, proporciona energía en la misma forma o en otra a un segundo sistema de transmisión” esta transmisión de energía puede ser eléctrica, mecánica, química, óptica (radiante) o térmica.

Esta amplia definición de un transductor incluye, por ejemplo, dispositivos que convierten fuerza o desplazamiento *mecánico* en una señal eléctrica. Estos dispositivos forman un grupo muy importante y numeroso de transductores que se encuentra en el área de instrumentación industrial y compete al ingeniero de instrumentación conocer este tipo de conservación de energía. Muchos otros parámetros físicos (calor, intensidad luminosa, humedad) se pueden convertir en energía eléctrica por medio de transductores (sensores). Estos dispositivos proporcionan una señal de salida cuando son estimulados

por una entrada no mecánica: un termistor reacciona a variables de temperatura, una fotocelda a los cambios de intensidad luminosa, un haz eléctrico a los efectos de un campo magnético, entre otros factores. En todos los casos, la salida eléctrica se mide mediante métodos estándares dejando la magnitud de cantidad de entrada en términos de una medida eléctrica analógica. [12]

Muchos transductores emplean un resistor cuyo valor cambia como una función de variable física. El circuito más común que se usa para convertir un cambio de resistencia en un cambio de voltaje es el circuito puente de Wheatstone, el cual se muestra en la figura 2.2: [13]

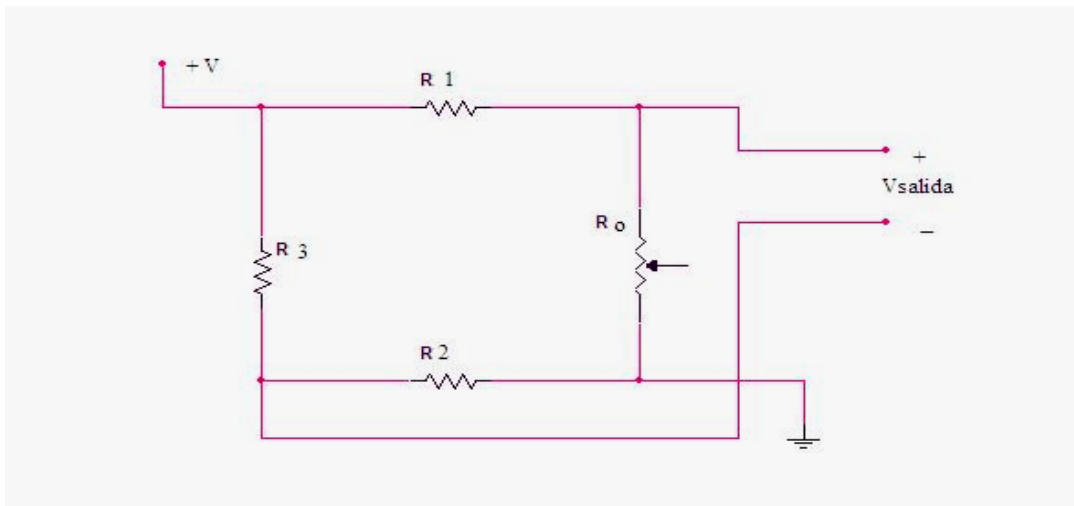


FIG. 2.2 El circuito puente de Wheatstone convierte un cambio de resistencia en R_0 en un cambio en el voltaje de salida

Los transductores se pueden clasificar según su aplicación, método de conversión de energía, naturaleza de la señal de salida, entre otros. Por lo general todas estas clasificaciones terminan en áreas que se superponen. Una distinción y clasificación estricta de los tipos de transductores es difícil.

En un sistema de adquisición el transductor es el elemento de entrada con la importante función de transformar algunas cantidades físicas en una señal eléctrica proporcional. La selección del transductor apropiados es, por consiguiente, el primero y tal vez el paso más importante en la obtención de resultados exactos. Un número de preguntas elementales se deben hacer antes de seleccionar un transductor por ejemplo:

- a) ¿Cuál es la cantidad física por medir?
- b) ¿Cuál principio de transductor es el mejor para medir esta cantidad?
- c) ¿Qué exactitud se requieren en esta medición?

La primera se contesta determinando el tipo y rango de la medición. Para una respuesta apropiada a la segunda se requiere que las características de entrada y salida del transductor sean compatibles con el sistema de medición y registro. En la mayoría de los casos, estas dos interrogantes se responden fácilmente, al decir que el transductor apropiado se selecciona por la adición de una tolerancia para la exactitud.

En la práctica esto rara vez es posible debido a la complejidad de los diversos parámetros del transductor que afectan la exactitud. Los requerimientos de exactitud del sistema total determina el grado con el cual los factores individuales contribuyen a la exactitud que debe ser considerada. [12]

Algunas de estos factores son:

- a) Parámetros fundamentales del transductor: Tipo y rango de la medición, sensibilidad y exactitud.
- b) Condiciones físicas: Conexiones eléctricas y mecánicas, condiciones de montaje, resistencia a la corrosión.
- c) Condiciones de ambiente: Efectos de la no linealidad, efectos de histéresis, respuestas en frecuencia, resolución.
- d) Condiciones ambientales: Efectos de la temperatura, aceleración, golpes y vibraciones.

- e) Compatibilidad con el equipo asociado: Condiciones de balance de peso, tolerancia de la sensibilidad, acoplamiento de impedancias, resistencias de aislamiento.

Las categorías a) y b) comprenden características eléctricas y mecánicas básicas del transductor. La exactitud de éste componente independiente está contenida en las categorías c) y d). La categoría e) considera la compatibilidad del transductor con el equipo asociado al sistema. [12]

CARACTERÍSTICAS DESEABLES DE LOS TRANSDUCTORES.

- **Exactitud:**
La exactitud de la medición debe ser tan alta como fuese posible. Se entiende por exactitud que el valor verdadero de la variable se pueda detectar sin errores sistemáticos positivos o negativos en la medición. Sobre varias mediciones de la variable, el promedio de error entre el valor real y el valor detectado tenderá a ser cero.
- **Precisión:**
La precisión de la medición debe ser tan alta como fuese posible. La precisión significa que existe o no una pequeña variación aleatoria en la medición de la variable. La dispersión en los valores de una serie de mediciones será mínima.
- **Rango de funcionamiento:**
El sensor debe tener un amplio rango de funcionamiento y debe ser exacto y preciso en todo el rango.

- **Velocidad de respuesta:**
El transductor debe ser capaz de responder a los cambios de la variable detectada en un tiempo mínimo. Lo ideal sería una respuesta instantánea.
- **Calibración:**
El sensor debe ser fácil de calibrar. El tiempo y los procedimientos necesarios para llevar a cabo el proceso de calibración deben ser mínimos. Además, el sensor no debe necesitar una recalibración frecuente. El término desviación se aplica con frecuencia para indicar la pérdida gradual de exactitud del sensor que se produce con el tiempo y el uso, lo cual hace necesaria su recalibración.
- **Fiabilidad :**
El sensor debe tener una alta fiabilidad. No debe estar sujeto a fallos frecuentes durante el funcionamiento. [2]

A continuación, en la Tabla 2.1, se muestran algunos ejemplos de transductores, su principio de operación, parámetros que sensan y su aplicación típica.

PARÁMETRO ELÉCTRICO	PRINCIPIO DE OPERACIÓN Y NATURALEZA DEL DISPOSITIVO	APLICACIÓN TÍPICA
Resistencia Dispositivo potenciómetro	<i>Transductores pasivos (con potencia externa)</i> El posicionamiento de un cursor por medio de fuerza externa varía la resistencia en un potenciómetro o un circuito puente.	Presión, desplazamiento.
Galga extensiométrica	La resistencia de un	Fuerza, par,

resistiva	alambre o semiconductor cambia según la elongación o compresión debida a esfuerzos aplicados externamente.	desplazamiento.
Medidor de alambre caliente o medidor Pirani.	La resistencia de un elemento caliente varia enfriándolo con flujo de gas.	Flujo de gas, presión de gas.
Termómetro de resistencia	La resistencia de un alambre de metal puro con un coeficiente de temperatura de resistencia positivo grande varía con la temperatura.	Temperatura, calor radiante.
Termistor	La resistencia de ciertos óxidos de metal con coeficiente de temperatura de resistencia negativo cambia con la temperatura.	Temperatura.
Girómetro de resistencia	La resistencia de una cinta conductiva se altera con el contenido de humedad.	Humedad relativa.
Celda fotovoltaica	La resistencia de una celda como un elemento del circuito se modifica con la luz incidente.	Relevador fotosensible.
Capacitancia		
Medidor de presión de capacitancia variable	Una fuerza aplicada externamente varía la distancia entre dos placas paralelas.	Desplazamiento, presión.
Micrófono de capacitor	La presión del sonido altera capacitancia entre una placa fija y un diafragma	Voz, música y ruido.

Medidor dieléctrico	móvil. La capacitancia varía por cambios en el dieléctrico.	Nivel de líquidos, espesor.
Inductancia Transductor de circuito magnético	Los cambios del circuito magnético modifican la autoinductancia mutua de una bobina excita por CA.	Presión, desplazamiento.
Detector de reluctancia	La reluctancia de un circuito magnético varía al cambiar la posición del núcleo de hierro de una bobina.	Presión, desplazamiento, vibración, posición.
Transformador diferencial	El voltaje diferencial de dos devanados secundarios de un transformador varía al mover el núcleo magnético por medio de una fuerza aplicada desde el exterior.	Presión, desplazamiento, fuerza, posición.
Medidor de corriente parásita	La inductancia de una bobina se altera por la próxima de una placa con corrientes parásitas inducidas.	Desplazamiento, espesor.
Medidor de magnetostricción	Las propiedades magnéticas cambian por presión y esfuerzos.	Fuerza, presión, sonido.
Voltaje y corriente Detector por efecto de Hall	Se genera una diferencia de potencial a través de una placa semiconductor (de germanio) cuando un flujo magnético interactúa con una corriente.	Flujo magnético, corriente.
Cámara de ionización	Se induce flujo de	Conteo de partículas, radiación.

Celda fotoemisiva	electrones mediante la ionización de un gas debido radiación radioactiva.	Luz y radiación.
Tubo fotomultiplicador	Hay una emisión de electrones debida a la radiación incidente en una superficie fotoemisiva. La emisión de electrones secundarios debida a la radiación incidente sobre un cátodo fotosensible.	Luz y radiación, relevadores fotosensibles.
Termopar y termopila	Transductores de autogeneración (sin potencia externa)	Temperatura, flujo de calor, radiación.
Generador de bobina móvil	Se genera una FEM por la unión de dos metales disímiles o semiconductores cuando la unión se calienta.	Velocidad, vibración.
Detector piezoeléctrico	El movimiento de una bobina en un campo magnético genera un voltaje.	Sonido, vibración, aceleración, cambios de presión.
Celda fotovoltaica	Se genera una fem cuando una fuerza externa se aplica a ciertos materiales cristalinos, como el cuarzo. Se genera voltaje en un dispositivo de unión semiconductor cuando la energía radiante estimula la celda	

TABLA 2.1: Ejemplos de transductores, su principio de operación, parámetros que sensan y su aplicación típica.[12]

2.3 ACONDICIONADORES DE SEÑAL

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 sensor. [2]

Esta circuitería puede proporcionar la energía de excitación, circuito de equilibrio y elementos de calibración.

No se puede hablar de los sensores, como componentes electrónicos básicos, sin ver como 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 analógico a digital 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 por medio de un convertidor digital a analógico.

Los acondicionadores de señal, como dice su palabra preparan la señal que vamos a procesar antes de introducirla a un CAD, a un microprocesador o DSP. [12]

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. [12]

A continuación, en la Figura 2.3 se muestran las partes que contiene de manera general un acondicionador de señal.

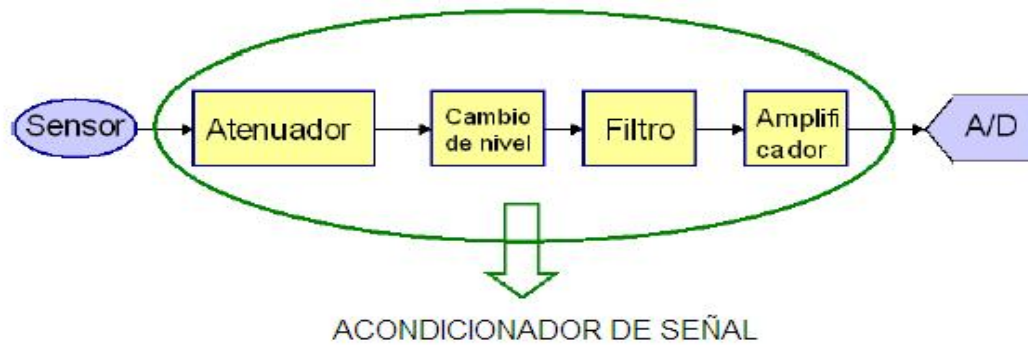


FIG. 2.3 Partes que componen generalmente un acondicionador de señal.

Los sistemas digitales requieren convertidores para cambiar voltajes analógicos en números o cantidades digitales discretas. Inversamente, la información digital se puede convertir de nuevo en analógica, como voltaje o corriente con lo cual puede utilizarse como una cantidad de realimentación que controla un proceso industrial. Los voltajes y corrientes de algunos transductores son señales muy pequeñas. Además de los bajos niveles, a menudo es necesario transmitir la salida del transductor cierta distancia hacia el equipo de colección de datos o de control.[13]

En el arreglo de problemas, sobre todo en un ambiente industrial donde hay mucha maquinaria eléctrica, el ruido eléctrico puede causar serias dificultades en circuitos de bajo nivel. Estos ruidos pueden ser radiados, como un campo electromagnético, o inducidos en el cableado de la planta, como circuitos a tierra, y picos producidos por la fuente de alimentación de CA. Las señales de bajo nivel se deben transmitir con cuidado de un lugar a otro. Para prevenir y reducir los efectos indeseables del ruido suelen ocuparse diversos tipos de filtro, los cuales son una parte importante dentro de los acondicionadores de señal. [13]

2.3.1 FILTROS

Un filtro es un circuito que se ha diseñado para dejar pasar una banda de frecuencia específica, mientras atenúa todas las señales fuera de esta banda.

Los circuitos de filtrado pueden ser activos o bien pasivos. Los circuitos de filtrado pasivo contienen solo resistores, inductores o capacitores. Los circuitos de filtros activos emplean transistores o amplificadores operacionales más resistores, inductores (los inductores a menudo no se emplean debido a que son voluminosos)

Los filtros constituyen tipos de circuitos diseñados para obtener características específicas de selectividad respecto a la frecuencia. Entonces llamaremos filtros a los circuitos que se encarguen de separar o rechazar diferentes tipos de señales.

Los filtros pasivos son aquellos tipos de filtros formados por combinaciones serie o paralelo de elementos pasivos (R, L o C) diseñados para dejar pasar una serie de frecuencias se denominan un filtro. Los filtros activos requieren fuentes externas de energía, y los filtros pasivos no requieren fuentes externas de energía, y funcionan sin alimentación. [14]

En los sistemas de comunicaciones se emplean filtros para dejar pasar solo las frecuencias que contengan la información deseada y eliminar las restantes. Los filtros son usados para dejar pasar solamente las frecuencias que pudieran resultar ser de alguna utilidad y eliminar cualquier tipo de interferencia o ruido ajeno a ellas. [2]

En cambio los filtros activos se componen generalmente por circuitos RC y amplificadores, los cuales necesitan alimentación externa para su funcionamiento que pueden presentar una ganancia diferente para las distintas frecuencias en la señal de entrada.

Una segunda clasificación para los filtros es de acuerdo a la función que cumple (es decir, de acuerdo a la banda de frecuencias que maneja). Para la siguiente clasificación, la implementación del filtro puede ser activa y pasiva:

- Pasa altas.
- Pasa bajas.
- Pasa bandas. [16]

2.3.2 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 INSTRUMENTACION.

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.

Originalmente los amplificadores operacionales se empleaban para operaciones matemáticas (suma, resta, multiplicación, división, integración, derivación, etc.) en calculadoras analógicas. De ahí su nombre.

El amplificador operacional ideal tiene una ganancia infinita, una impedancia de entrada infinita, un ancho de banda también infinito, una impedancia de salida nula y ningún ruido. Como la impedancia de entrada es infinita también se dice que las corrientes de entrada son cero.

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. [15]

El uso intensivo de los amplificadores operacionales se desarrolla con la aparición de los circuitos integrados, tecnología que permite lograr pequeños tamaños, bajo costo y excelentes características funcionales.

Debido a la complejidad de la circuitería interna de un amplificador operacional, una apreciación de sus características de funcionamiento –potencialidades y limitaciones- requiere de un alto grado de habilidad (experiencia) en técnicas de análisis de circuitos, reconocimiento de configuraciones funcionales típicas, técnicas específicas de realimentación, polarización, etc. Sin embargo, la gran mayoría de las aplicaciones pueden ser resueltas (ya sea tarea de análisis o un problema de diseño) en base a consideraciones simplificadas, traducidas en un “modelo ideal”. [15]

MODELO IDEAL

Los fundamentos básicos del amplificador operacional ideal son relativamente fáciles. Quizás, lo mejor para entender el amplificador operacional ideal es olvidar todos los pensamientos convencionales sobre los componentes de los amplificadores, transistores, tubos u otros cualesquiera. En lugar de pensar en ellos, se debe pensar en términos generales y considerar al amplificador como una caja con sus terminales de entrada y salida. Trataremos, entonces, al amplificador en ese sentido ideal, e ignoraremos qué hay dentro de la caja. En la Figura 2.4 se muestra el modelo ideal del amplificador operacional. [15, 16, 17]

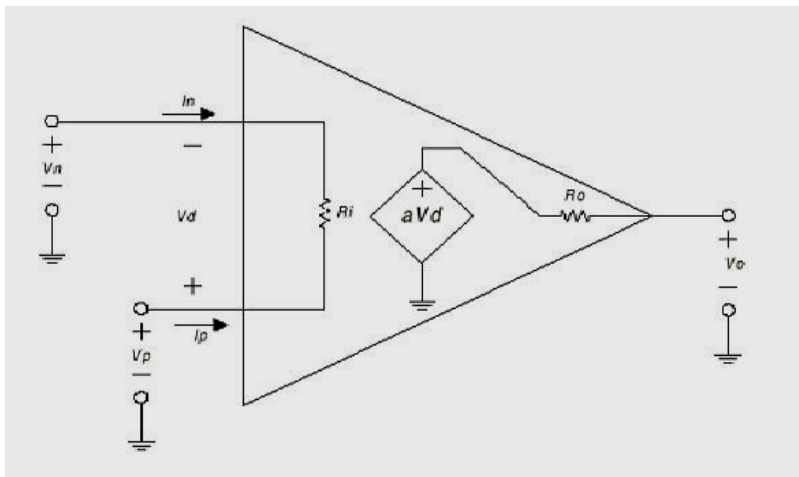


FIG. 2.4 Modelo ideal del amplificador operacional.

En la figura anterior se muestra un amplificador idealizado. Es un dispositivo de acoplo directo con entrada diferencial, y un único terminal de salida. 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 (-), produce una señal negativa a la salida, mientras que la misma señal en la entrada no inversora (+) 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). [15]

Teniendo en mente estas funciones de la entrada y salida, podemos definir ahora las propiedades del amplificador ideal. Son las siguientes:

1. La ganancia de tensión es infinita:

$$a = \infty$$

2. La resistencia de entrada es infinita:

$$R_i = \infty$$

3. La resistencia de salida es cero:

$$R_o = 0$$

4. El ancho de banda es infinito:

$$B_w = \infty$$

5. La tensión offset de entrada es cero:

$$V_0 = 0 \text{ si } V_d = 0$$

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

- La tensión de entrada diferencial es nula.
- También, si la resistencia de entrada es infinita, no existe flujo de corriente en ninguno de los terminales de entrada. [16]

CONFIGURACIONES BÁSICAS DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL

Los amplificadores operacionales se pueden conectar según dos circuitos amplificadores básicos: las configuraciones (1) *inversora* y (2) *no inversora*. Casi todos los demás circuitos con amplificadores operacionales están basados, de alguna forma, en estas dos configuraciones básicas. Además, existen variaciones estrechamente relacionadas de estos dos circuitos, más otro circuito básico que es una combinación de los dos primeros: el *amplificador diferencial*. [15]

EL AMPLIFICADOR INVERSOR

La Figura 2.5 ilustra la primera configuración básica del amplificador operacional. El amplificador inversor. En este circuito, la entrada (+) está a masa, y la señal se aplica a la entrada (-) a través de R1, con realimentación desde la salida a través de R2.

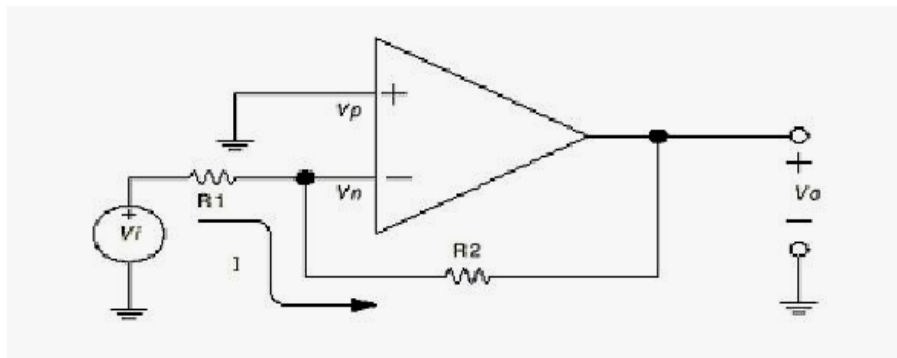


FIG. 2.5 Configuración del amplificador inversor.

Aplicando las propiedades anteriormente establecidas del amplificador operacional ideal, las características distintivas de este circuito se pueden analizar como sigue.

Puesto que el amplificador tiene ganancia infinita, desarrollará su tensión de salida, V_0 , con tensión de entrada nula. Ya que, la entrada diferencial de A es:

$$V_d = V_p - V_n \implies V_d = 0. \text{ - Y si } V_d = 0 \quad (2.1)$$

Entonces toda la tensión de entrada V_i , deberá aparecer en R_1 , obteniendo una corriente en R_1

$$I = \frac{V_i}{R_1} \quad (2.2)$$

V_n está a un potencial cero, es un punto de *tierra virtual*.

Toda la corriente I que circula por R_1 pasará por R_2 , puesto que no se derivará ninguna corriente hacia la entrada del operacional (Impedancia infinita), así pues el producto de I por R_2 será igual a $-V_0$

$$I = -\frac{V_0}{R_2} \quad (2.3)$$

$$\frac{V_i}{R_1} = -\frac{V_0}{R_2} \quad (2.4)$$

Por lo que:

$$V_0 = -\frac{R_2}{R_1} \cdot V_i \quad (2.5)$$

Luego la ganancia del amplificador inversor es:

$$\frac{V_0}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1} \quad (2.6)$$

Deben observarse otras propiedades adicionales del amplificador inversor ideal. La ganancia se puede variar ajustando bien R_1 , o bien R_2 . Si R_2 varía desde cero hasta infinito, la ganancia variará también desde cero hasta infinito, puesto que es directamente proporcional a R_2 . La impedancia de entrada es igual a R_1 , y V_i y R_1 únicamente determinan la corriente I , por lo que la corriente que circula por R_2 es siempre I , para cualquier valor de dicha R_2 .

La entrada del amplificador, o el punto de conexión de la entrada y las señales de realimentación, es un nudo de tensión nula, independientemente de la corriente I . Luego, esta conexión es un punto de tierra virtual, un punto en el que siempre habrá el mismo potencial que en la entrada (+). Por tanto, este punto en el que se suman las señales de salida y entrada, se conoce también como nudo suma. Esta última característica conduce al tercer axioma básico de los amplificadores operacionales, el cual se aplica a la operación en bucle cerrado:

- En bucle cerrado, la entrada (-) será regulada al potencial de entrada (+) o de referencia.

Esta propiedad puede aún ser o no ser obvia, a partir de la teoría de tensión de entrada de diferencial nula. Es, sin embargo, muy útil para entender el circuito del amplificador operacional, ver la entrada (+) como un terminal de referencia, el cual controlará el nivel que ambas entradas asumen. Luego esta tensión puede ser masa (como en la figura anterior), o cualquier potencial que se desee. [15]

EL AMPLIFICADOR NO INVERSOR

La segunda configuración básica del amplificador operacional ideal es el amplificador no inversor, mostrado en la Figura 2.6

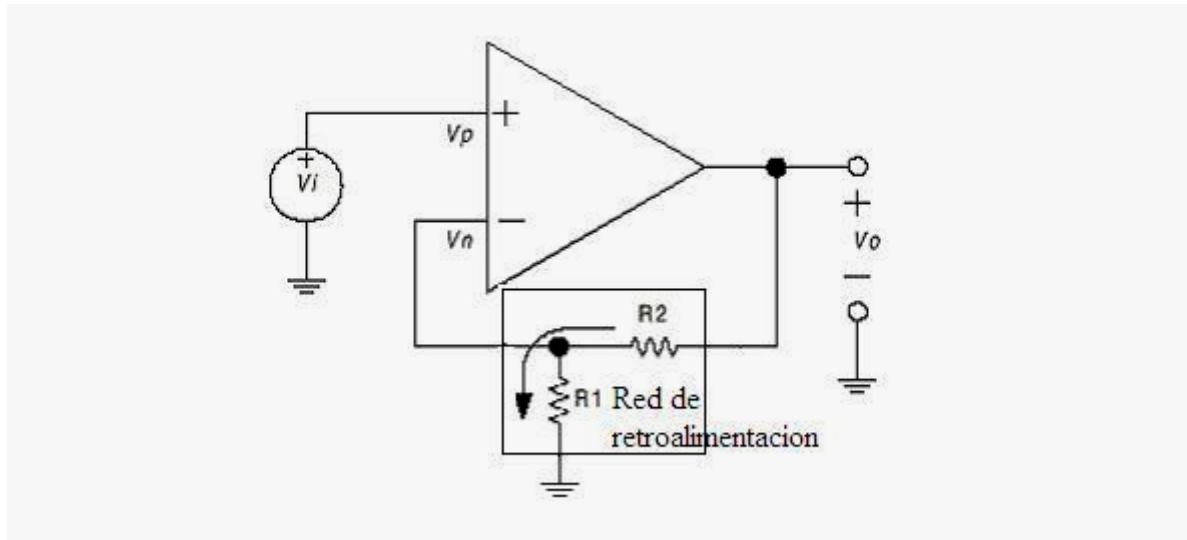


FIG. 2.6 Configuración del amplificador no inversor.

En este circuito, la tensión V_i se aplica a la entrada (+), y una fracción de la señal de salida, V_o , se aplica a la entrada (-) a través del divisor de tensión $R_1 - R_2$. Puesto que, no fluye corriente de entrada en ningún terminal de entrada, y ya que $V_d = 0$, la tensión en R_1 será igual a V_i .

Así pues:

$$V_i = I \cdot R_1 \quad (2.7)$$

Y como

$$V_o = I \cdot (R_1 + R_2) \quad (2.8)$$

Tendremos pues que:

$$V_o = \frac{V_i}{R_1} \cdot (R_1 + R_2) \quad (2.9)$$

Que si lo expresamos en términos de ganancia:

$$\frac{V_0}{V_i} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \quad (2.10)$$

Que es la ecuación característica de ganancia para el amplificador no inversor ideal.

También se pueden deducir propiedades adicionales para esta configuración. El límite inferior de ganancia se produce cuando $R_2 = 0$, lo que da lugar a una ganancia unidad.

En el amplificador inversor, la corriente a través de R_1 siempre determina la corriente a través de R_2 , independientemente del valor de R_2 , esto también es cierto en el amplificador no inversor. Luego R_2 puede utilizarse como un control de ganancia lineal, capaz de incrementar la ganancia desde el mínimo unidad hasta un máximo de infinito. La impedancia de entrada es infinita, puesto

AMPLIFICADOR DE AISLAMIENTO

Los amplificadores de aislamiento son amplificadores en los que las etapas de entrada, de salida y de alimentación están eléctricamente aisladas. Esto supone que entre las entradas, salidas y alimentaciones, se pueden mantener diferencias de tensiones muy elevadas (cientos o millares de voltios). [15]

Con los amplificadores de aislamiento se resuelven tres problemas:

- Se asegura el aislamiento eléctrico entre diferentes equipos. Entre ellos solo fluye la señal. Esto es a veces requerido por normas de seguridad.
- Permite operar con niveles en modo común muy elevados.
- Aísla físicamente los diferentes equipos, y con ello se eliminan interferencias, conductivas y magnéticas. [15]

En la Tabla 2.2 se comparan las características de un amplificador de instrumentación y un amplificador de aislamiento.

CONCEPTO	AMPLIFICADOR DE AISLAMIENTO	AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN
CMR en ganancia unitaria (dc a 100 Hz) 115 dB 80 dB.	Rango de voltaje en modo común ± 2.5 KV dc (± 7.5 KV pico) ± 10 V.	Rango de voltaje diferencial de entrada 240 V rms (± 6.5 KV pico) ± 10 V.
Configuración de terminales de entrada.	Requiere solo dos conductores de entrada.	Requiere tres conductores de entrada (uno de retorno)
Anchura de banda (pequeña señal).	DC a 2 kHz.	DC a 1.5 MHz
No linealidad en la Ganancia.	0.05 %	0.01 %
Dependencia de la ganancia de la temperatura.	± 0.01 %/°C	± 0.0015 %/°C
Dependencia del offset de la temperatura.	± 300 μ V/°C	± 150 μ V/°C

TABLA 2.2: Comparación de las características de un amplificador de instrumentación y un amplificador de aislamiento. [24]

Existen diferentes tecnologías para diseñar amplificadores de aislamiento, los cuales utilizan algunos de los siguientes recursos:

- Transformadores.
- Dispositivos optoelectrónicos.
- Acoplos capacitativos.
- Amplificadores operacionales (seguidor de voltaje).

AMPLIFICADORES DE AISLAMIENTO BASADOS EN TRANSFORMADORES

La señal se transfiere entre la etapa de entrada y la etapa de salida por inducción a través de un transformador. Esto limita fuertemente la anchura de banda del amplificador. A continuación se presenta en la Figura 2.7 un diagrama que representa de manera general un amplificador de aislamiento basado en un transformador.

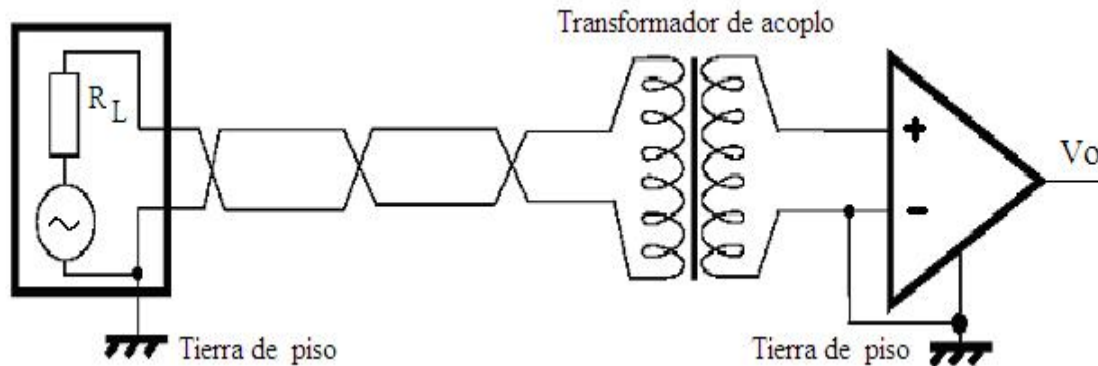


FIG. 2.7 Diagrama de un amplificador de aislamiento basado en un transformador.

Como ejemplo de amplificador basado en transformadores podemos mencionar al amplificador de aislamiento AD204 de Analog Devices. Este es un amplificador de aislamiento de propósito general que puede ser utilizado en una amplia gama de aplicaciones en las que las señales de entrada deben ser medidas sin conexión galvánica. [24]

AMPLIFICADORES DE AISLAMIENTO BASADOS EN FOTOACOPLADORES

Los amplificadores de aislamiento basados en fotoacopladores, se basa en transferir la señal entre la etapa de entrada y de salida mediante una señal luminosa, con lo que ambos circuitos quedan perfectamente eléctricamente aislados. Las ventajas de los amplificadores de aislamiento basados en fotoacopladores frente a los basados en transformador, se pueden observar en la Tabla 2.3.

CARACTERÍSTICAS	ACOPLO INDUCTIVO		ACOPLO ÓPTICO
	Modulación Modulación anchura-pulso	amplitud	MODULACIÓN INTENS-LUZ
Nolinealidad max. (%)	(%) 0.03 – 0.3	0.005 - 0.025	0.05 - 0.2
Tensión aislamiento	> 7.5 KV	> 5 KV	> 5 KV
CMR (60 Hz) y (0 dB) Anchura de banda	> 120 dB	> 120 dB	> 100 dB
Interferencia generada	2.5 KHz	2.5 KHz	10 - 30 KHz
Suceptibilidad HF	Baja Alta	Baja Baja	Ninguna Muy baja

TABLA 2.3: Ventajas de los amplificadores de aislamiento basados en fotoacopladores frente a los basados en transformador. [2]

En la Figura 2.8 se muestra la estructura interna de un amplificador de aislamiento basado en fotoacopladores comercial. Los fotodiodos d1 y d2 son de características idénticas, lo que garantiza la linealidad del amplificador:

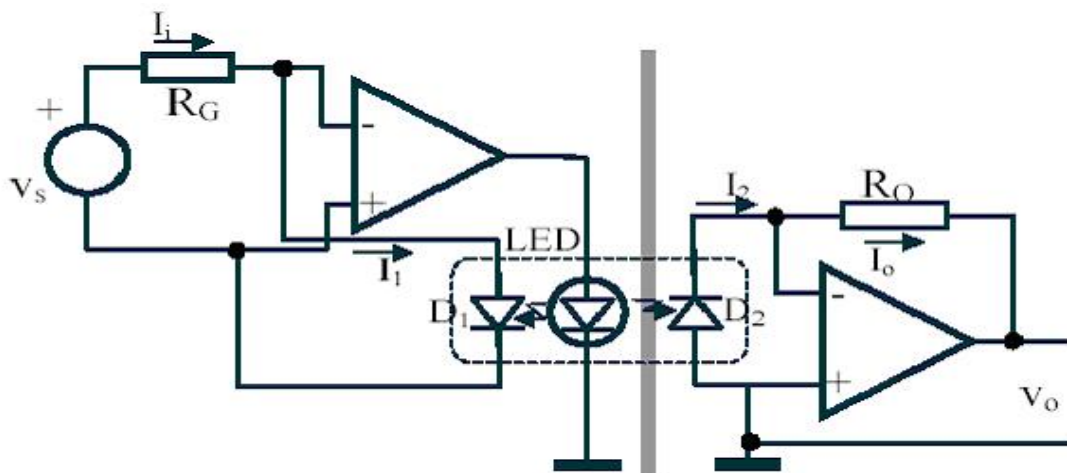


FIG. 2.8 Estructura interna de un amplificador de aislamiento basado en fotoacopladores.

En este caso el circuito no incluye las fuentes de alimentación de las etapas de entrada y de salida. Estas hay que proporcionarlas externamente, y en entre ellas se debe garantizar el aislamiento. [2]

AMPLIFICADORES DE AISLAMIENTO CON ACOPLOS CAPACITATIVOS

Son amplificadores de aislamiento que incorporan una técnica de modulación/demodulación en frecuencia, y transmite la señal a través de 2pF que constituyen la barrera de aislamiento. La barrera no afecta a la integridad de la señal y da lugar a una fiabilidad excelente y una completa inmunidad al ruido externo. [24]

AMPLIFICADORES DE AISLAMIENTO BASADOS EN AMPLIFICADORES OPERACIONALES (SEGUIDOR DE VOLTAJE).

El circuito de la Figura 2.9 se denomina seguidor de voltaje, pero también se conoce como: *amplificador seguidor de fuente*, *amplificador de ganancia unitaria*, o *amplificador de aislamiento*. El voltaje de entrada, E_i , se aplica directamente a la entrada (+). Ya que el voltaje entre las terminales (+) y (-) del amplificador operacional puede considerarse 0.

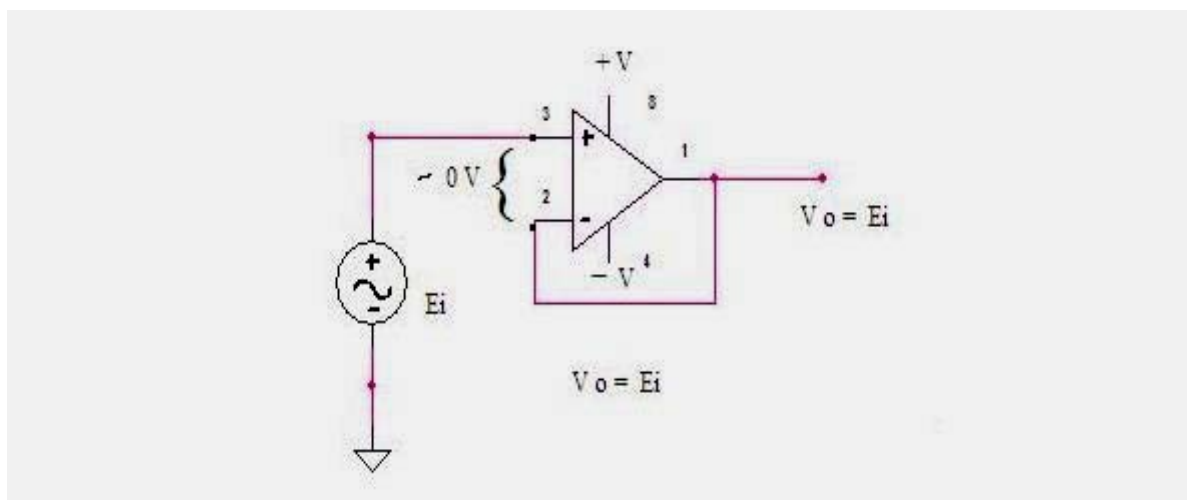


FIG. 2.9 Seguidor de voltaje.

Obsérvese que el voltaje de salida iguala al voltaje de entrada tanto en magnitud como en signo. Por tanto tal como nombre del circuito lo dice, el voltaje de salida sigue al voltaje de entrada o fuente. La ganancia del voltaje es 1 (o la unidad), como se muestra por:

$$A_{CL} = V_o / E_i = 1 \quad (2.11)$$

USO DEL SEGUIDOR DE VOLTAJE

Con frecuencia surge una pregunta: ¿Por qué usar un amplificador con ganancia unitaria? La respuesta puede comprenderse mejor si se compara un seguidor de voltaje con un amplificador inversor. En este ejemplo, el interés principal no se centra en la polaridad del voltaje de ganancia si no más bien en el efecto en la carga de entrada. [15]

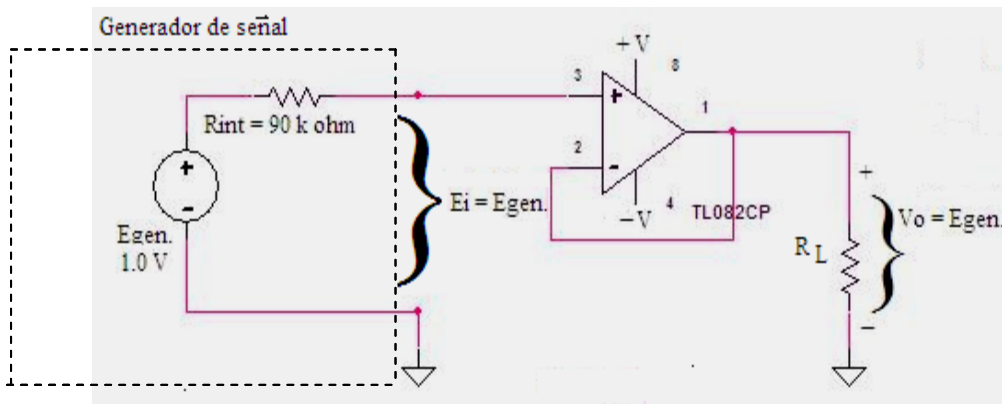
El seguidor de voltaje se utiliza por que su resistencia de entrada es alta (muchos $M\Omega$). Por lo tanto, extrae corriente despreciable de una fuente de señal. Por ejemplo, en la Figura 2.19 (a) la fuente de señal tiene un circuito abierto un voltaje, E_{gen} , de 1.0 V. La resistencia interna del generador es $90 \text{ K}\Omega$. Ya que por la terminal de entrada del amplificador operacional fluye una corriente despreciable, la caída de voltaje a través de R_{int} es 0 V. el voltaje terminal E_i de la fuente de señal llega a ser el voltaje de entrada al amplificador y es igual a E_{gen} . Así:

$$V_o = E_i = E_{gen} \quad (2.12)$$

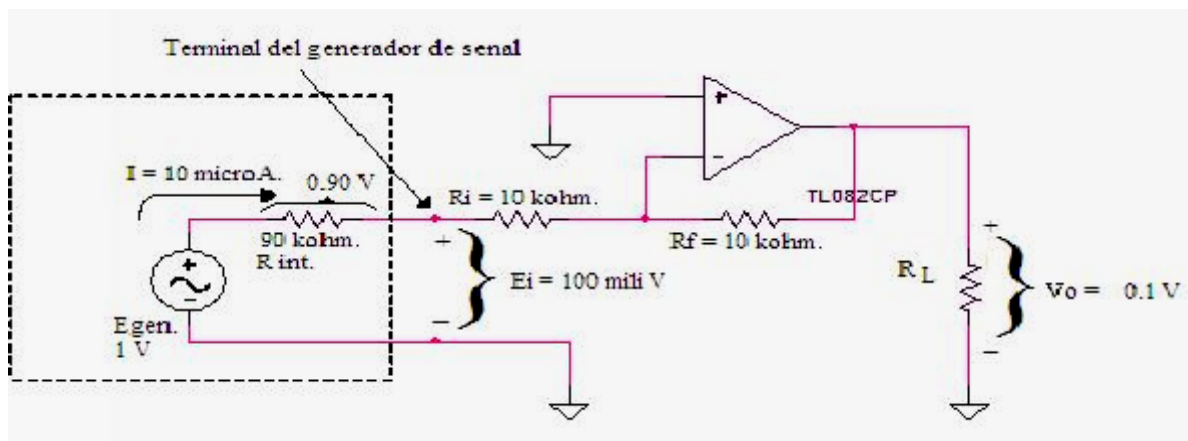
Ahora considérese la misma fuente de señal conectada a un amplificador inversor cuya ganancia es -1 como se puede ver en la Figura 2.19 (b). La resistencia de entrada a un amplificador inversor es R_i . esto provoca que el voltaje del generador E_{gen} se divida

entre R_{int} y R_i . por el uso de la “ley de división de voltaje”, se encuentra el voltaje terminal del generador E_i . [15]

$$E_i = (R_i / R_{int} + R_i) \times E_{gen} = (10 \text{ K}\Omega / 10 \text{ K}\Omega + 90 \text{ K}\Omega) \times 1.0 \text{ v} = 0.1 \text{ V} \quad (2.19)$$



(a) Esencialmente no se drena corriente del E_{gen} . La terminal de salida del amplificador operacional se puede alimentar hasta 5 mA con un voltaje mantenido constante en E_{gen} .



(b) E_{gen} se divide entre su propia resistencia interna y la resistencia de entrada del amplificador.

FIG. 2.10 Comparación del efecto de carga entre amplificadores inversores y no inversores en una fuente de alta resistencia.

Por lo tanto, este 0.1 se vuelve el voltaje de entrada al amplificador inversor. Si el amplificador inversor tiene una ganancia de solo -1 el voltaje de salida V_o respecto a

E_{gen} no se establece por R_f y R_i como se indica en la ganancia en la ecuación 17 la ganancia real debe incluir R_{int} como:

$$V_0 / E_{gen} = - (R_f / R_{int} + R_i) \quad (2.14)$$

Si se debe amplificar e invertir una fuente de señal de un circuito de alta impedancia y se desea no drenar corriente de la señal, primero amortiguarse la fuente con un seguidor de voltaje. Entonces aliméntese la salida del seguidor a un inversor. [15]

La ganancia de lazo de este amplificador es 1, y es la mínima que puede tener un amplificador lineal. Que tenga una ganancia de lazo igual a 1 implica que la señal a la entrada es exactamente igual a la de salida. A este circuito se le llama amplificador de ganancia 1 o seguidor de voltaje.

Resumiendo las características de este amplificador tenemos que:

- La señal de salida está en fase con la de la entrada.
- La ganancia de lazo es 1.
- La resistencia de entrada es grandísima.
- La resistencia de salida es bajísima.
- Su utilización típica es en acopladores de impedancia, amplificadores de audio y circuitos de medición.
- Se usa como un buffer, para eliminar efectos de carga o para adaptar impedancias (conectar un dispositivo con gran impedancia a otro con baja impedancia y viceversa).
- Como la tensión en las dos patillas de entradas es igual: $V_{out} = V_{in}$.
- $Z_{in} = \infty$ [15]

AMPLIFICADOR DIFERENCIAL

El amplificador diferencial puede medir y también amplificar pequeñas señales que quedan enterradas en señales mucho mas intensas.

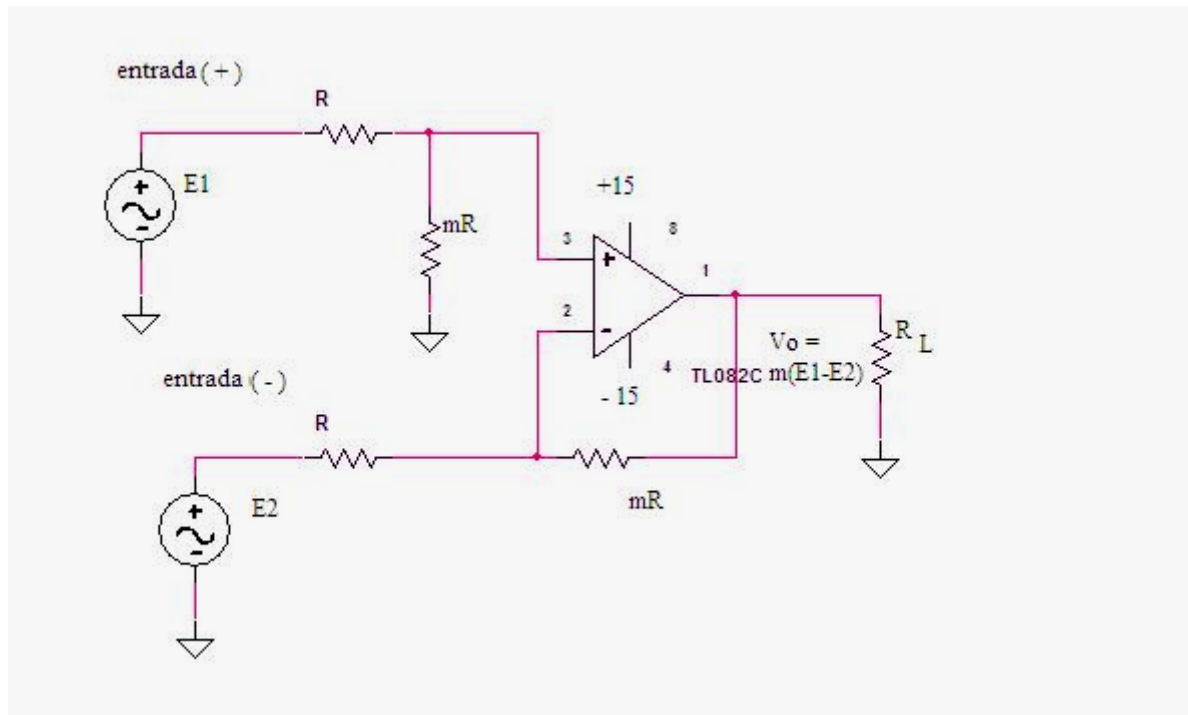


FIG. 2.11 Amplificador diferencial básico.

El amplificador diferencial básico está construido básicamente de cuatro resistores de precisión (1%) y un amplificador diferencial básico como se muestra en la Figura 2.20. Hay dos terminales de entrada, denominados como entrada (-), y entrada (+), correspondientes a la terminal más cercana del amplificador inversor con una ganancia de $-m$. por lo tanto, el voltaje de salida debido a E_2 es $-mE_2$. Ahora póngase E_2 en corto circuito. E_1 se divide entre R y mR para aplicar un voltaje de $E_1 m / (1+m)$ a la entrada positiva del amplificador operacional. Este voltaje dividido, E_1 es el dividido, $E_1 m / (1+m)$, veces la ganancia del amplificador no inversor, $(1+m)$, lo cual rinde $E_1 m$. Por E_1 esta amplificado en la salida por un multiplicador m a $E_1 m$. Cuando tanto E_1 como E_2 están presentes en las entradas (+) y (-), respectivamente, V_o es $E_1 m - E_2 m$, o:

$$V_o = E_1 m - E_2 m = m(E_1 - E_2) \quad (2.15)$$

En la ecuación 2.21 se muestra que el voltaje de salida del amplificador diferencial V_o es proporcional a la diferencia en voltaje aplicado a las entradas (+) y (-). El multiplicador m se denomina ganancia diferencial y se establece por las razones de resistores. [12, 15]

En la Figura 2.11 la ganancia diferencial se encuentra mediante

$$m = mR / R \quad (2.16)$$

MEDICIÓN CON UN AMPLIFICADOR DIFERENCIAL

Se emplea un amplificador diferencial para medir solo el voltaje de señal (véase en la Figura 2.22) el voltaje de señal E_i se conecta a través de las entradas (+) y (-) del amplificador diferencial. Por lo tanto, E_i se amplifica por una ganancia de -100. el voltaje de ruido E_n se convierte en el voltaje en modo común de entrada al amplificador diferencial, como se muestra en la Figura 2.21. Por lo tanto, el voltaje de ruido no se amplifica y se ha eliminado en forma efectiva sin tener cualquier efecto significativo en el V_0 de salida. [15]

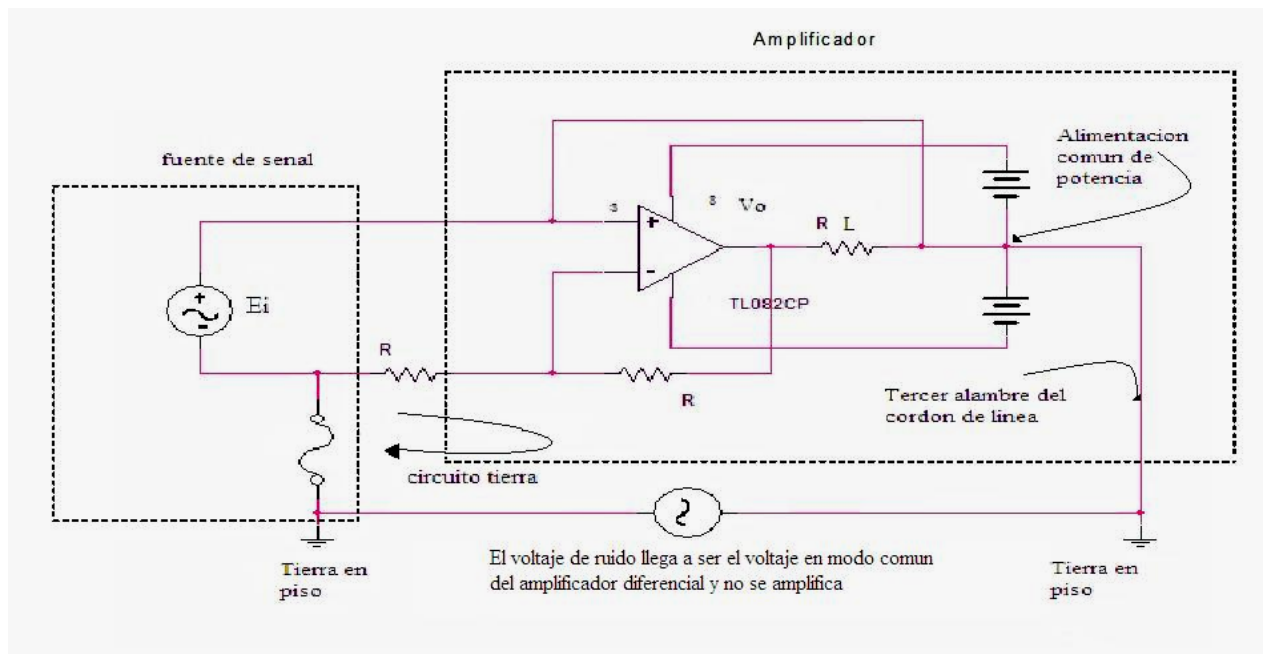


FIG. 2.22 El amplificador diferencial está conectado de modo que el voltaje de ruido llega a ser el voltaje en modo común y no se amplifica. Solo el voltaje de la señal E_i se amplifica debido a que se ha conectado como el voltaje diferencial de entrada.

AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN.

El método más utilizado para combatir el ruido es incrementar la intensidad de las señales antes de su transmisión a través de los alambres. Esto se realiza frecuentemente con un amplificador llamado de instrumentación, un amplificador

operacional o tan solo con transistores. A continuación describimos características de un amplificador de instrumentación con respecto de los amplificadores operacionales. [2]

Los amplificadores de instrumentación tienen ganancia finita. Un amplificador operacional tiene una ganancia muy grande, la cual es infinita en el caso ideal. El amplificador operacional se suele utilizar con realimentación externa para proporcionar una ganancia finita, o con otros elementos de circuito con el fin de generar otras funciones, como integradores, diferenciadores, filtros, etc. Además de una ganancia finita, el amplificador de instrumentación no proporciona estas funciones. [16]

El amplificador de instrumentación tiene una entrada diferencial de alta impedancia. El amplificador operacional también tiene una entrada de alta impedancia. Sin embargo, cuando los elementos de realimentación se adicionan alrededor del amplificador operacional, la impedancia de entrada disminuye considerablemente. [17]

El amplificador de instrumentación tiene un rango de voltaje alto y un rechazo en modo común también alto. Aunque los amplificadores operacionales tienen rechazo y rango de voltaje en modo común, el amplificador de instrumentación es superior a la mayoría de los amplificadores operacionales. [15]

OPERACIÓN DEL CIRCUITO

El amplificador de instrumentación es uno de los amplificadores más útiles, preciso y versátil disponible en la actualidad. Está hecho de tres amplificadores operacionales y siete resistores, como lo muestra la Figura 2.24 para simplificar el análisis del circuito, obsérvese que el amplificador de instrumentación en realidad se hace conectando un amplificador reforzado (Figura 2.23 (b)) a un amplificador diferencial básico (Figura 2.20). El amplificador operacional A_3 y sus cuatro resistores iguales R forman un amplificador diferencial con una ganancia de 1. Solo los tres resistores A_3 tienen que igualarse. El resistor marcado como R' , puede hacerse variable para balancear eliminando cualquier voltaje en modo común, como se muestra en la

Figura 2.13 solo un resistor, aR , se usa para establecer la ganancia de acuerdo con la ecuación 2.17 en donde :[15]

$$a = aR / R. \quad (2.17)$$

$$V_0 = (E_1 - E_2) (1 + 2/a) \quad (2.18)$$

E_1 se explica a la entrada (+) y E_2 a la entrada (-), V_0 es proporcional a la diferencia entre los voltajes de entrada. Las características del amplificador de instrumentación se resumen como sigue:

- 1.- La ganancia de voltaje, desde la entrada diferencial ($E_1 - E_2$) a la salida de extremo único, se establece por un resistor.
- 2.- La resistencia de entrada de ambas entradas es muy alta y no cambia conforme se varía la ganancia.
- 3.- V_0 no depende del voltaje común a ambos E_1 y E_2 (voltaje en modo común), solo en su diferencia. [15]

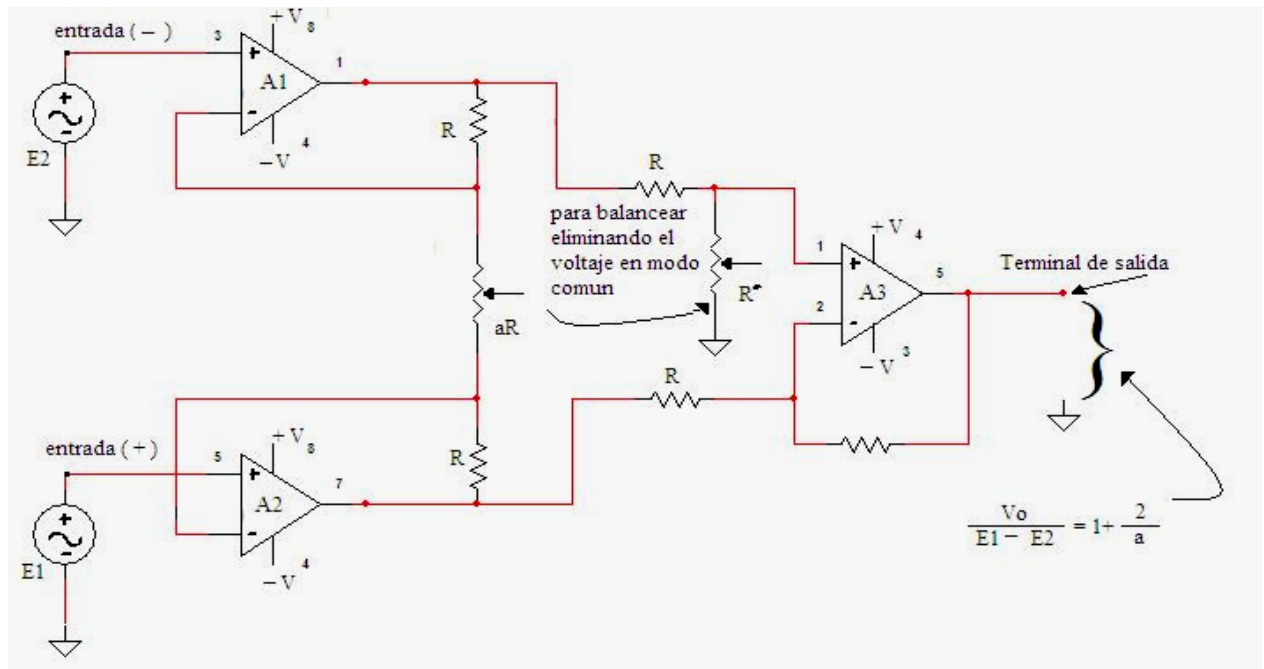


FIG. 2.13 Amplificador de instrumentación.

2.4 HARDWARE

En esta etapa de los sistemas de adquisición de datos se reciben los señales analógicas que se van a adquirir después de haber pasado por los transductores y acondicionadores de señal para convertirlas en señales digitales por medio de un convertidor analógico – digital y después ser transmitidas de acuerdo al protocolo de comunicación utilizado a la PC para su tratamiento y visualización. [2]

El hardware de adquisición de datos puede ser cualquier dispositivo que se utilice para realizar lo anteriormente mencionado, y puede ser una tarjeta, un microcontrolador o un microprocesador.

En la Figura 2.14 se muestran las partes que componen de manera general el Hardware de adquisición de datos, las cuales son: [2]

- Multiplexor.
- Convertidor analógico / digital.
- Comunicación.

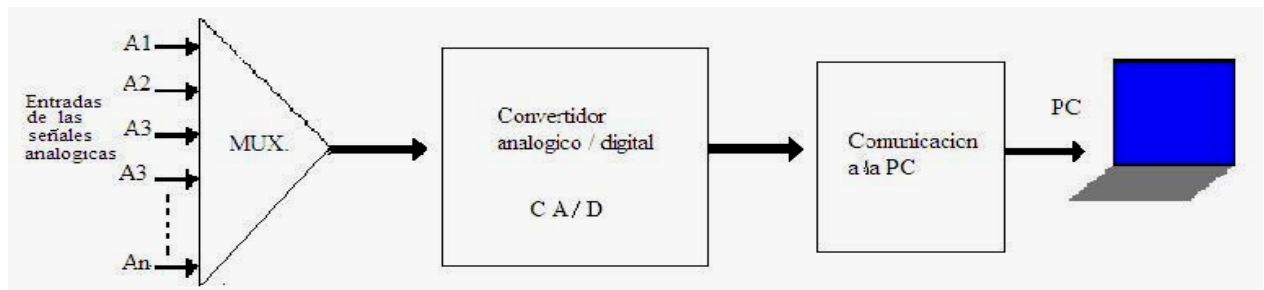


FIG. 2.14 Partes que componen de manera general el Hardware de adquisición de datos.

2.4.1 MULTIPLEXOR

Un multiplexor o selector de datos es un circuito lógico que acepta varias entradas de datos y permite sólo a una de ellas alcanzar la salida. El encauzamiento deseado de los datos de entrada hacia la salida es controlada por entradas de selección (que algunas veces se conocen como entradas de enrutamiento). La Figura 2.15 muestra

el *diagrama general* de un multiplexor (*MUX*). Se muestra a un multiplexor donde las entradas y salidas se trazan como flechas grandes para indicar que pueden ser una o más líneas de señales. Existe una señal de entrada, *EN*, para permitir al multiplexor realizar su función. Cuando $EN = 0$, todas las salidas son 0 . [2]

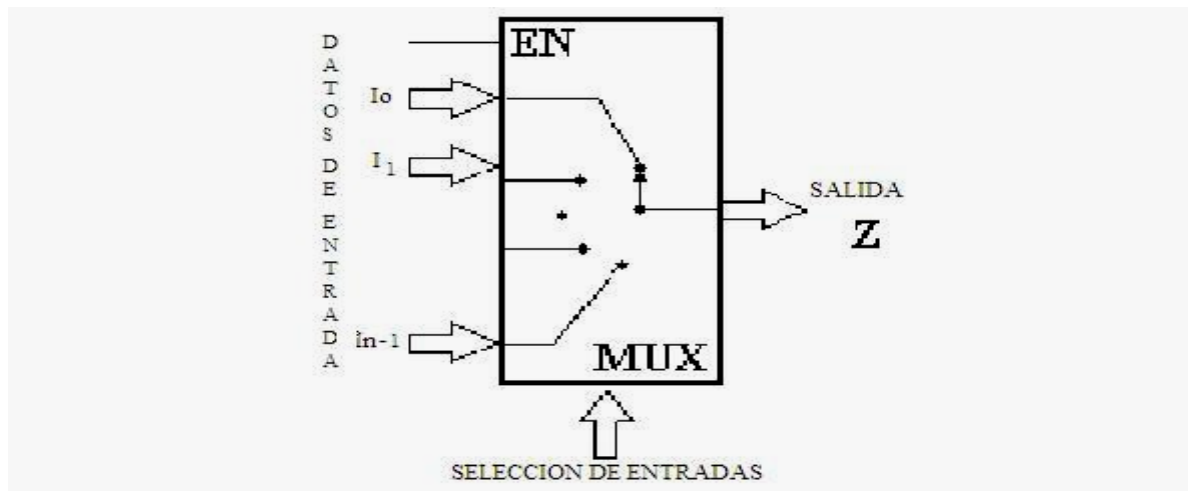


FIG. 2.15 Diagrama general de un multiplexor.

Un Multiplexor es un circuito combinacional que posee:

- n entradas de selección.
- $2n$ entradas de datos (canales de entrada).
- 1 entrada de inhibición.
- 1 terminal de salida (canal multiplexado).

Permite canalizar toda la información procedente de diferentes fuentes a una única línea de salida. Las entradas de selección actúan de conmutación.

¿Cómo funciona el multiplexor?

- Para cada combinación binaria de las entradas de selección, un solo canal de entrada es conectado a la salida.
- El circuito se activa cuando I (entrada de inhibición) es igual a 0 .
- Es un conmutador lógico.

2.4.2 CONVERTIDOR ANALÓGICO – DIGITAL

Los conceptos de analógico y digital se conocen desde hace bastantes años. La mayoría de la información existente es la analógica, lo que significa que sufre una variación continua en amplitud a lo largo del tiempo.

No ocurre lo mismo con la información digital, ya que es bastante difícil encontrarla en la naturaleza y, posiblemente los pocos pasos que encontremos pueden llevar a confusión. Sin embargo, podemos poner como ejemplos lleno y vacío, vida y muerte, que son valores perfectamente diferenciados y solos admiten un número finito de estados en un intervalo finito de tiempo.

Las señales eléctricas utilizables de la mayoría de los transductores son analógicas por naturaleza, y si dichas señales se requieren procesar con equipo digital, es necesario convertir la información original en digital, de ahí que el uso y diseño de un CAD sea de primera importancia para las aplicaciones en ingeniería que usen y diseñen instrumentos digitales. [8]

Los CAD 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 CAD normará la calidad final del equipo.

Siguiendo con los ejemplos de diferenciación entre lo analógico y lo digital, podemos mencionar los relojes que, como bien sabemos, pueden pertenecer a una u otra familia. Así, los analógicos se caracterizan por su capacidad de reflejar los infinitos valores del variable tiempo en su recorrido. De manera que para un intervalo finito de tiempo el número de valores que se han visualizado es infinito.

La información digital es una forma práctica de reflejar el comportamiento de la naturaleza de una manera sencilla. El proceso de extraer la información digital de la analógica es la denominada conversión analógico - digital. Y como va a ser una

información digitalizada vendrá expresada con 0 y 1, ya que los encargados de tratarla serán los microprocesadores de un ordenador.

El funcionamiento de la conversión analógico - digital estriba en que la información analógica no es directamente manipulable, ni procesable, mediante sistemas digitales o a través de un ordenador, pero si lo son las señales digitales que pueden almacenarse indefinidamente y, mas aun, pueden incluso reproducir la señal analógica sin error apreciable. Como ejemplo más destacable en la actualidad, es la técnica de grabación digital, donde la señal analógica que es la voz, en un proceso previo, será sometida a muestreo y transformada en lenguaje binario. Los unos y ceros que se obtienen en esta acción serán los que, posteriormente, se grabaran sobre un disco compacto (*compac-disc*) esto gracias a la tecnología láser , podrán ser reproducidos con una calidad de sonido increíblemente igual a la original. [8]

En resumen, aunque existe gran diversidad de tipos o familias de conversores analógicos - digitales y todos ellos han de cumplir las tres fases citadas anteriormente:

- Muestreo.
- Cuantificación.
- Codificación.

CLASIFICACIÓN DE LOS CONVERTIDORES ANALÓGICO - DIGITAL

La conversión analógica - digital se puede dividir en dos grandes grupos:

- De bucle abierto.
- De realimentación.

El convertidor de bucle abierto genera un código digital directamente bajo la aplicación de una tensión en la entrada. Dentro de esta familia, podemos distinguir los siguientes tipos:

- Analógico a frecuencia.
- Analógico a anchura de impulso.
- Conversión en cascada. [13]

El convertidor de realimentación, sin embargo, genera una secuencia de números digitales, los convierte en un valor analógico y los compara con la entrada. La salida digital resultante será el valor más cercano al hacer la comparación. En este grupo, los tipos más importantes son:

- Rampa de diente de sierra.
- Rampa binaria.
- Conteo continuo.
- Aproximaciones sucesivas.
- Conversión no lineal.
- Doble rampa. [13]

CARACTERÍSTICAS DE LOS CONVERTIDORES ANALÓGICO - DIGITAL

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

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

Sin embargo, cabe destacar otras no mencionadas:

- 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 conversor para entregar la palabra digital equivalente a la entrada analógica. [8]

A continuación se explica brevemente algunos tipos de convertidores analógico – digital.

CONVERTIDOR CON COMPARADORES.

Nos encontramos ante el único caso en que los procesos de cuantificación y decodificación aparecen claramente separados. El primer caso se lleva a cabo mediante comparadores que discriminan entre un número finito de niveles de tensión. Estos comparadores reciben en sus entradas la señal analógica de entrada, junto con una tensión de referencia distinta para cada una de ellas. Al estar las tensiones de referencia escalonadas, es posible conocer si la señal de entrada se halla por encima o por debajo de cada una de ellas, lo cual permitirá saber el estado que le corresponde como resultado de la cuantificación. A continuación, necesitaremos un codificador que nos entregue la señal digital. [8]

Asimismo, cabe señalar que se trata de un convertidor de alta velocidad, ya que el proceso de conversión es directo. Sin embargo su utilidad queda reducida en los casos de baja resolución, pues se necesitan bastantes comparadores, lo que lleva a encarecer el circuito si se desea obtener una resolución alta. [8]

CONVERTIDOR A ANCHURA DE IMPULSO.

Este convertidor transforma la tensión desconocida en un intervalo de tiempo que es medido mediante un reloj y un contador. Al recibir por la entrada de control la orden de iniciar la conversión, el circuito comienza la generación de una rampa y pone a 1 la salida del biestable. Este nivel se mantiene hasta que la rampa supere el valor en la entrada analógica, instante en que la salida del biestable volverá a 0 y el contador dejara de contar los impulsos de frecuencia fija del reloj. De manera que, al ser la duración del impulso en la salida del biestable función de la tensión de entrada, las salidas del contador serán una representación digital de la misma.

Las limitaciones de este convertidor son varias:

- Falta de linealidad del generador de rampa, lo cual hace que la duración del impulso no sea la adecuada.
- El tiempo de conversión no es fijo sino que esta en función de la entrada analógica. [13]

CONVERTIDOR DE DOBLE RAMPA.

Es uno de los más utilizados en la práctica, especialmente en el caso de aplicaciones que requieran gran precisión.

La base de funcionamiento de este circuito es un integrador. 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 voltios. [8]

Durante el intervalo en que se mantiene constante la pendiente de la rampa son contados de nuevo los impulsos del reloj, y la cuenta que se alcance en el instante de cruce por 0 de la salida del integrador es el número digital equivalente buscado.

Como característica más importante de este convertidor podemos destacar la precisión, gracias a la independencia de su salida respecto a la estabilidad del valor del condensador o de la frecuencia del reloj, con tal de que se mantengan constantes durante el proceso de conversión; Por lo cual, la precisión solo será función de la linealidad de las rampas que entregue el integrador y de la precisión de la referencia. [8]

Finalmente, y como desventaja, cabe mencionar la necesidad de un tiempo de conversión muy largo y variable.

CONVERTIDOR CON REGISTRO DE APROXIMACIONES SUCESIVAS

La Figura 2.27 muestra un convertidor con registro de aproximaciones sucesivas (RAS) cuyo funcionamiento se explica a continuación.

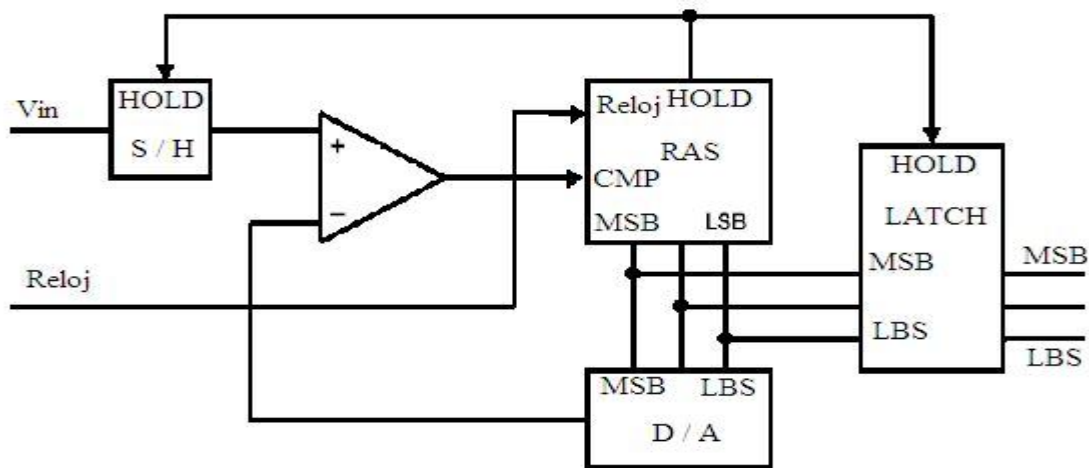


FIG. 2.27 Convertidor con registro de aproximaciones sucesivas.

El valor analógico pasa por un circuito Simple/Hola (S/H) cuya salida se mantiene constante mientras dura la conversión. La retención está activa mientras la señal de control está a nivel bajo.

De la misma forma, el valor bajo de la señal de control, mantiene fija la salida del conversor (activando el circuito de *latch*, encargado de almacenar y mantener la

salida constante mientras dura el proceso de conversión) y su flanco de bajada resetea el RAS para que inicie la conversión. [8]

Al iniciar la conversión, el RAS activa el *Most Significant Bit* - Bit Más Significativo (MSB) y el CDA asociado genera el valor analógico correspondiente, que será comparado con el de entrada, V_a . Si el valor generado es menor que el de entrada, el valor digital del bit será uno y si es mayor, cero.

El RAS fija el bit en el valor calculado y pone a nivel alto el bit siguiente, repitiendo el proceso hasta que todos los bits han sido comparados y el resultado está completo. Entonces, se liberan el latch y el S/H y el valor calculado pasa a la salida del conversor, invirtiendo para ello un total de $n+1$ pulsos de reloj, donde n es el número de bits del valor convertido. [8]

Este tipo de conversores tiene la ventaja de poder poseer una gran resolución con poca circuitería. Como inconveniente, el tiempo de conversión es enorme comparado con los CAD paralelo. Sin embargo, éste es el tipo de conversor más utilizado en la actualidad, ya que, con frecuencias de reloj relativamente altas, se reduce considerablemente el tiempo de conversión.

Otro tipo de CAD de lazo cerrado son los que emplean un contador binario, un CDA y un comparador analógico. En este caso, el contador realiza una cuenta binaria ascendente hasta que el valor analógico generado por la cuenta y convertido por el CDA supera a la tensión a convertir. Entonces, el valor binario es la cuenta actual. [8]

En este tipo de conversores, la conversión ocupa tantos pulsos de reloj como el valor binario convertido indica, por lo que cada valor analógico tardará un tiempo distinto.

CIRCUITOS DE MONITORIZACIÓN Y RETENCIÓN

Los CAD normalmente suelen ir asociados a otro tipo de dispositivos que son los circuitos de monitorización y retención cuyo estudio servirá para comprender mejor el funcionamiento conjunto.

Un circuito de monitorización y retención es un dispositivo que monitoriza una señal de entrada (la pasa a su salida sin modificarla en absoluto) y, en virtud de una señal de control, la mantiene constante. Suelen designarse con las iniciales S/H. [13]

Una estructura típica de uno de estos dispositivos puede verse en la Figura 2.17.

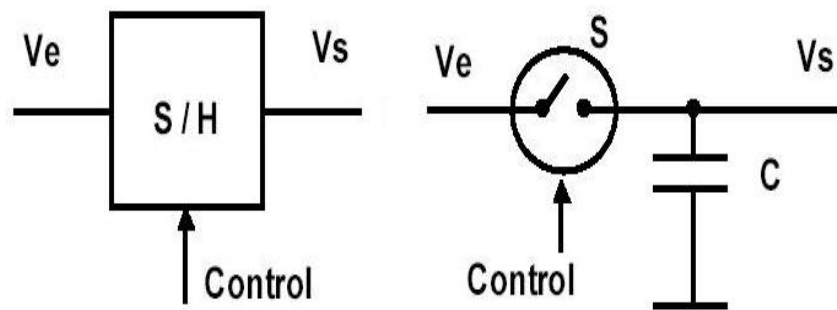


FIG. 2.17 Circuito de monitorización y retención.

Existen una serie de características de los circuitos de monitorización y retención que determinan su efectividad.

Tiempo de apertura: Es el tiempo que transcurre desde que la señal de control se activa hasta que realmente se bloquea la señal de salida. Es inevitable, aunque puede llegar a ser muy pequeño según el tipo de dispositivo utilizado para implementar el conmutador.

Tiempo de adquisición: Es el tiempo que transcurre desde que se libera la señal de control hasta que la señal de salida del circuito es igual a la señal de entrada. En el

modelo propuesto este tiempo sería debido a la carga del condensador. Al igual que en el caso anterior, depende del tipo de dispositivos utilizados. [13]

2.4.3 COMUNICACIÓN

La transmisión de datos es aquella parte de la Telecomunicación que se ocupa de la transmisión de señales digitales entre dos dispositivos conectados por un medio de transmisión directo. Considerar en particular solamente el uso de señales digitales no implica ninguna limitación en el proceso de comunicación, puesto que cualquier señal analógica se puede representar con el grado de precisión deseado por una señal digital. [6]

De manera que con el término “datos” es posible referirse bien a información cuya representación natural es una señal analógica (una señal que a lo largo del tiempo toma valores en cierto rango de manera continua, como es el caso de las señales de voz o de vídeo) o bien a un mensaje de inherente naturaleza digital (como una secuencia de caracteres de un texto). Tradicionalmente, el término “datos” se reservaba para esta última clase de información, pero la distinción resulta ya obsoleta. [6]

Esta es una importante etapa de los sistemas de adquisición de datos ya que es el enlace de comunicación entre el hardware de adquisición de datos y la PC.

En esta comunicación se transmiten las señales que ya han pasado por los transductores, acondicionadores de señal y el hardware de adquisición para que puedan ser tratadas y desplegadas en la PC. [2]

En la transmisión de datos entre el hardware de adquisición y la PC pueden ocuparse diversas maneras de comunicación, entre las cuales podemos mencionar:

- Comunicación Paralelo.
- Comunicación Serie.

- Comunicación GPIB.
- Comunicación USB.

COMUNICACIÓN PARALELO

Todos los bits del dato se transfieren simultáneamente. Emisor y receptor se conectan por medio de n circuitos idénticos, que se utilizan simultáneamente para transmitir, en el caso de emplear transmisión binaria, un bit por cada uno de ellos durante cada intervalo de señalización. A este conjunto de circuitos operando en paralelo se le suele denominar *bus* cuando sirve para interconectar bidireccionalmente más de dos dispositivos y entonces, si la transmisión es binaria, n se conoce como la anchura del bus en bits. Así por ejemplo, los diversos subsistemas de un ordenador (memoria, procesador, periféricos de entrada/salida) se interconectan entre sí habitualmente con varios sistemas de transmisión tipo bus para posibilitar la transferencia de información directa entre ellos. En general, se adopta la técnica de transmisión en paralelo cuando la distancia entre las entidades que intercambian información es del mismo orden que el tamaño de los dispositivos transeptores (de lo contrario aparecen problemas debidos a la pérdida de sincronización entre los distintos circuitos) y se precisa una elevado caudal de transferencia.

Por razones de coste, la utilización de un sistema de transmisión en paralelo para la interconexión de dispositivos no es una técnica con la que transmitir información a distancias mayores que el tamaño de los propios equipos de comunicaciones. [6]

COMUNICACIÓN SERIAL

En una transmisión serial se forma un “tren” de bits, uno tras de otro viajan del lugar de emisión al receptor utilizando una sola vía, en este caso será un conductor eléctrico bus Serial, como en caso de los trenes con una sola vía si se desea transmitir en el sentido contrario, se debe esperar que la vía este libre.

Las cadenas seriales de bits generadas por los puertos serie de la PC usan una forma muy simple de codificación. Un bit se transmite durante cada periodo baud, con un bit “1” representado por un voltaje alto TTL y un “0” por un voltaje bajo TTL. Así la velocidad en baudios (baud rate, $1/[\text{periodo baud}]$) de un puerto serie de la PC es igual al número de bits por segundo que se transmiten o reciben. [6]

COMUNICACIÓN GPIB

El Hewlett-Packard Instrument Bus (HP-IB) es un estándar bus de datos digital de corto rango desarrollado por Hewlett-Packard en los años 1970 para conectar dispositivos de test y medida (por ejemplo multímetros, osciloscopios, etc) con dispositivos que los controlen como un ordenador. Otros fabricantes copiaron en HP-IB, llamando a su implementación General-Purpose Instrumentation Bus (GP-IB). En 1978 el bus fue estandarizado por el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) como el IEEE-488 (488.1).

El IEEE-488 permite que 15 dispositivos inteligentes compartan un simple bus, con el dispositivo más lento determinando la velocidad de transferencia. La máxima velocidad de transmisión está sobre 1 Mbps.

Las 16 líneas que componen el bus están agrupadas en tres grupos de acuerdo con sus funciones: bus de datos, bus de control de transferencia de datos y bus general. Algunas de ellas tienen retornos de corrientes comunes y otras tienen un retorno propio, lo que provoca un aumento del número de líneas totales. [1]

COMUNICACIÓN USB

Universal Serial Bus (USB) es una interfase plug & play entre la PC y ciertos dispositivos tales como teclados, mouse, scanner, impresoras, módems, placas de sonido, cámaras, entre otros.

Una característica importante es que permite a los dispositivos trabajar a velocidades mayores, en promedio a unos 12 Mbps, esto es más o menos de 3 a 5 veces

más rápido que un dispositivo de puerto paralelo y de 20 a 40 veces más rápido que un dispositivo de puerto serial.

Trabaja como interfaz para transmisión de datos y distribución de energía, que ha sido introducida en el mercado de PC's y periféricos. Esta interfaz de 4 hilos, 12 Mbps y "plug and play", distribuye 5V para alimentación, transmite datos y está siendo adoptada rápidamente por la industria informática.

Es un bus basado en el paso de un testigo, semejante a otros buses como los de las redes locales en anillo con paso de testigo y las redes FDDI. El controlador USB distribuye testigos por el bus. El dispositivo cuya dirección coincide con la que porta el testigo responde aceptando o enviando datos al controlador. Este también gestiona la distribución de energía a los periféricos que lo requieran.

Emplea una topología de estrellas apiladas que permite el funcionamiento simultáneo de 127 dispositivos a la vez. En la raíz o vértice de las capas, está el controlador anfitrión o host que controla todo el tráfico que circula por el bus. Esta topología permite a muchos dispositivos conectarse a un único bus lógico sin que los dispositivos que se encuentran más abajo en la pirámide sufran retardo. A diferencia de otras arquitecturas, USB no es un bus de almacenamiento y envío, de forma que no se produce retardo en el envío de un paquete de datos hacia capas inferiores.

2.5 LA COMPUTADORA PERSONAL

La PC que se utiliza en un SAD puede afectar drásticamente las máximas velocidades a las cuales se pueden adquirir datos continuamente. La tecnología de hoy nos brinda los procesadores Pentium y clase PowerPC asociados con el más alto rendimiento de las arquitecturas de bus PCI, PXI/CompactPCI, PCMCIA, USB, IEEE 1394 (FireWire) así como el tradicional bus ISA y USB. El bus PCI y el puerto USB vienen incluidos en la mayoría de las computadoras de escritorio de hoy en día, aunque el equipamiento del bus ISA se ha convertido en algo menos común. Con la llegada del PCMCIA, USB y el IEEE 1394, la adquisición de datos portátil ofrece una alternativa

flexible a los SAD basados en computadoras personales. Para aplicaciones de adquisición de datos externas que utilizan comunicación serial RS-232 o RS-85, la transferencia de datos usualmente está limitada por las tasas de comunicación serial. Al momento de escoger un dispositivo de adquisición de datos y un bus, hay que tomar en cuenta los métodos de transferencia disponibles en el dispositivo y bus escogidos. [1]

Las capacidades de transferencia de datos de la computadora pueden afectar significativamente el rendimiento del sistema de adquisición de datos. Todas las PC's soportan entradas-salidas (I/O) programadas y transferencias basadas en interrupción. Las transferencias de acceso de memoria directo (DMA) implementadas en casi todas las computadoras personales de hoy, incrementan la transferencia del sistema mediante el uso de hardware dedicado para transferir datos directamente en la memoria del sistema. Utilizando este método, el procesador no es cargado con datos móviles y además se encuentra libre para cuando sea requerido en más tareas de procesamiento complejo. Para poder ver los beneficios de las transferencias de acceso de memoria directo o de las transferencias basadas en interrupción, el dispositivo de adquisición de datos debe ser capaz de desarrollar estos tipos de transferencia. Por ejemplo, mientras que los dispositivos PCI; ISA e IEEE1394 ofrecen ambos tipos de transferencia, los dispositivos PCMCIA y USB solamente utilizan transferencia basadas en interrupción. El método de transferencia elegido afectará la transferencia realizable del dispositivo de adquisición de datos. [1]

El factor limitante para conseguir cantidades grandes de datos frecuentemente es el disco duro. El tiempo de acceso al disco y la fragmentación del disco duro pueden reducir significativamente la tasa máxima a la cual los datos pueden ser adquiridos y almacenados en disco. Para sistemas que deben adquirir señales de alta frecuencia, se debe de escoger un disco duro de alta velocidad para la computadora además de asegurarse que haya suficiente espacio en disco libre contiguo (desfragmentado) para retener los datos. Además se debe de dedicar un disco duro para la adquisición y correr el sistema operativo (SO) en un disco aparte cuando se estén enviando los datos al disco.

Las aplicaciones que requieren procesamiento en tiempo real de señales de alta frecuencia necesitan un procesador de 32 bits de alta velocidad con su coprocesador de acompañamiento o un procesador plug-in dedicado como procesador digital de señales (DSP). Si la aplicación solamente adquiere una o dos lecturas por segundo, una PC low-end puede ser suficiente. [1]

2.6 SOFTWARE

Esta etapa va de la mano de la PC, ya es la que determina la manera en que se visualizarán y tratarán los datos provenientes del Hardware de adquisición de datos.

Dentro del software existente para realizar estas labores se encuentran los programas proporcionados por las diferentes compañías de instrumentación y que acompañan a sus productos de adquisición de datos, tales como National Instruments, Hewlet Packard o Advantech. Pero sin embargo, podemos desarrollar nuestros propios programas y software utilizando diversos lenguajes de programación tales como Visual Basic, C, Fox Pro, etc.

**CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS
DE 4 CANALES ANALÓGICOS DE ENTRADA****INTRODUCCIÓN**

El diseño de un nuevo dispositivo electrónico comienza con la definición de especificaciones, las cuales se dan en función de las necesidades. Por lo tanto en este capítulo se hará un estudio de las características que debe cumplir el sistema a desarrollar.

3.1 IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES Y ESPECIFICACIONES**NECESIDADES**

Se propone que el sistema a diseñar y construir sea un sistema de adquisición de datos de 4 canales de entrada analógicos basado en un PIC16F877. Como el uso de este sistema de adquisición será el de un instrumento de medición de uso general que permita medir Temperatura, Voltaje AC, Voltaje DC y Corriente AC, se requiere determinar las especificaciones de diseño para el sistema y para cada variable a medir.

Desde el punto de vista de diseño de un instrumento de medición, este debe cumplir con los requisitos siguientes:

- Desplegar su resultado en forma visual.
- Tener su fuente de alimentación.
- Seleccionar la variable a medir

ESPECIFICACIONES

Las especificaciones a cumplir en el diseño son:

- Canales de entrada analógicos - Analog Inputs (AI): 4 canales y cada canal medirá una variable diferente. Esta especificación es por propuesta del trabajo para tener un instrumento de medición.

- Canales de entrada/ salida digitales DI/DO: No tendrá.
- Contadores: No tendrá.
- Frecuencia de medición: DC hasta 100 Hertz. Esta especificación se basa en el hecho de que las frecuencias de medición más comunes son 0 Hertz que corresponde a DC y 60 Hz que corresponde a la frecuencia de línea.
- Resolución del CAD: 10 bits por especificación del PIC16F877.
- Comunicación: serie asíncrona RS-232 por especificación del PIC16F877.
- Temperatura: medir en el rango de 0° C a 120° C. Esta especificación se basa en el hecho de que la temperatura más común a medir es la de ebullición del agua por lo que el instrumento debe garantizar como mínimo el poder medir una temperatura de 100° C, con una precisión de 0.5° C.
- Voltaje AC: Medir en el rango de 0 a 127 V AC. Esta especificación esta basada en el hecho de que el voltaje AC más común es el de línea de 127 V AC con una precisión de 1 V AC.
- Voltaje DC. Medir en el rango de 0 a 15 V DC. Esta especificación se da porque el valor medio de las fuentes de poder DC, baterías y eliminadores de baterías es de 15 V DC con una precisión de 0.1 V DC.
- Corriente AC: Se recomienda que la corriente máxima de medición sea de 1.5 A AC esto debido al peligro que implica medir una mayor corriente. La precisión que se pide es de 0.05 A.

Otros parámetros a cumplir son:

- Comunicación: Serie RS-232. Se pide que sea a una velocidad mínima de 2400 kbps para garantizar una correcta actualización de las mediciones.
- Tiempo de muestreo: El sistema debe permitir que el usuario determine el tiempo de muestreo desde 1 seg. hasta 1 mseg.

3.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

De acuerdo a la metodología propuesta, el diseño se hará por bloques, cada uno de ellos realizará una función específica necesaria para el sistema de adquisición de datos propuesto. Definidos los bloques se propone el circuito eléctrico o instrumento que realice la función correspondiente a cada módulo. Se construirá y se probará cada subsistema. Por último se integrarán todos los bloques para obtener el sistema de adquisición de datos global.

Todo sistema de adquisición de datos tiene:

- Etapa de sensores.
- Etapa de acondicionamiento de señal.
- Etapa de hardware de adquisición.
- Etapa de programación y visualización de los resultados (PC y software de adquisición).

Todo esto se puede visualizar en el diagrama a bloques de la Figura 3.1.



FIG. 3.1 Diagrama a bloques del sistema de adquisición de datos de 4 canales analógicos.

En este capítulo se tratarán las tres primeras etapas. La cuarta etapa se verá en el capítulo 4

3.2.1 ETAPA DE SENSORES

Esta etapa del sistema de adquisición de datos se refiere a que sensores o transductores se usarán para poder medir la variable física de interés. De acuerdo a las especificaciones de diseño las variables a medir son Temperatura, Voltaje AC, Voltaje DC y Corriente AC, por lo que se incluyen los módulos siguientes:

- Módulo sensor de Temperatura.
- Módulo sensor de Voltaje AC.
- Módulo sensor de Voltaje DC.
- Módulo sensor de Corriente AC.

MÓDULO SENSOR DE TEMPERATURA

Existe una gran cantidad de sensores para temperatura como por ejemplo termistores, termopares, circuitos integrados (CI). Cada sensor de temperatura tiene un rango de funcionamiento.

La Tabla 3.1 muestra el rango de temperatura para cada tipo de sensor.

TIPO DE SENSOR	RANGO DE MEDICIÓN
Termopar:	
Tipo K	-200 a 1200° C
Tipo T	-200 a 400° C
Tipo J	-200 a 750° C
Termistor	0° a 150° C
C.I. LM35	0° a 150° C
Pirometros	-50 a 1200° C

TABLA 3.1 Rango de medición de diferentes sensores para temperatura. [18]

De acuerdo a las especificaciones de diseño se pide que se pueda medir una temperatura máxima de 120° C con el objetivo de medir la temperatura de ebullición del agua. Los sensores que cumplen con esta especificación son: sensores de CI, sensores termistor. Los sensores de termopar y de pirómetro también cumplen pero con una baja precisión ya que su rango de medición es mayor (0 a 1200° C). Debido a que una filosofía de diseño es que se consiga el sensor que se tenga una alta accesibilidad es decir se pueda conseguir fácilmente se propone que el sensor a utilizar para medir la temperatura sea un sensor de CI. Es muy conocido el circuito integrado LM35 el cual es un circuito integrado construido para medir temperatura en el rango de -55° a +150°C con una precisión calibrada de 0.5° C.

El sensor se presenta en diferentes encapsulados pero el mas común es el TO-92 de igual forma que un típico transistor con 3 pines, dos de ellas para alimentarlo y la tercera nos entrega un valor de tensión proporcional a la temperatura medida por el dispositivo. La salida es lineal y equivale a 10mV/°C por lo tanto:

- +1500mV = 150°C
- +250mV = 25°C
- -550mV = -55°C

El LM35 funciona en el rango de alimentación comprendido entre 4 y 30 voltios. [19]

En el Apéndice A se puede consultar la Hoja de datos de este dispositivo.

MÓDULO SENSOR DE VOLTAJE AC

Para medir voltaje no se necesita ningún transductor. Esto es debido a que el PIC16F877 mide directamente voltaje en sus canales de entrada analógica. Sin embargo el problema es que el voltaje que admite es de DC. Por lo que es necesario rectificar el voltaje AC para convertirlo a DC. Otro problema que se tiene es que la especificación dice que el rango de medición será de 0 a 127 V AC. Esto implica que se tiene que disminuir en forma proporcional el voltaje que se introduzca en el sistema de medición a diseñar. Por lo tanto el modulo sensor de voltaje corresponderá a un divisor de

resistencias cuyos valores sean los adecuados para que sea un voltaje compatible con el rango de entrada del PIC16F877 que es de máximo 5 V DC.

Para entender la manera de cómo podemos analizar un circuito divisor de tensión se analiza desde el punto de vista eléctrico como se describe a continuación:

La división de tensión ocurre cuando una fuente dependiente o independiente de tensión se conecta en serie con dos resistencias, como se ilustra en la Figura 3.2.

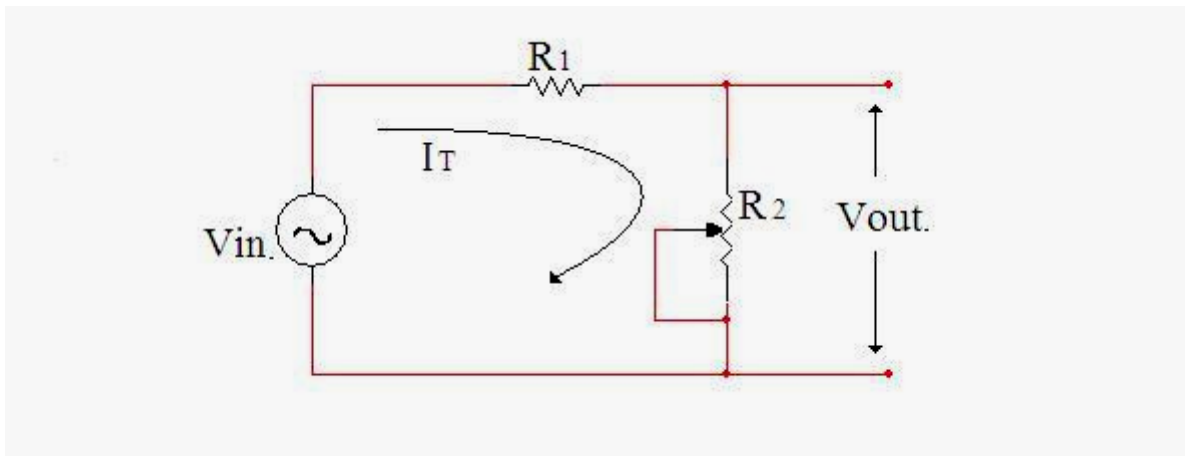


FIG. 3.2 Divisor de tensión.

Evidentemente, la tensión a través de R_2 es:

De acuerdo a la ley de Ohm:

$$V_T = I_T R_T \quad (3.1)$$

Sustituimos para obtener V_2 :

$$V_2 = R_2 i = R_2 (V_T / (R_1 + R_2)) \quad (3.2)$$

Reduciendo queda:

$$V_2 = R_2 V_T / (R_1 + R_2) \quad (3.3)$$

Y, análogamente, la tensión a través de R_1 es:

$$V_1 = R_1 V_T / (R_1 + R_2) \quad (3.4)$$

En palabras, la regla indica que para un circuito en serie, la tensión que existe en cualquier resistor (o alguna combinación de resistores en serie) es igual al valor de ese resistor (o a la suma de dos o más resistores en serie) multiplicado por la diferencia de potencial de todo el circuito en serie y dividido entre la resistencia total del circuito. [14]

Todo esto, aplicado a nuestro diseño, se propone el uso de los siguientes valores de resistencias para el divisor de tensión que ocuparemos para la medición de voltaje:

Debido a que nuestro acondicionador de señal es un rectificador de precisión de valor medio absoluto (MAV) (el cual se describirá en la sección de acondicionadores de señal), y sus rangos de operación idóneos son de 0 a 1.5 V AC, el divisor de tensión que ocupamos tiene una relación de 100:1, es decir, de 100 V a 1 V.

Se propone utilizar una resistencia de 1 MΩ con una tolerancia de 5 % para R_1 y un potenciómetro de 10 KΩ de precisión para un ajuste fino para R_2 .

De acuerdo a la Fórmula 3.1, la corriente total I_T que fluye a través del divisor de tensión se obtiene despejando y sustituyendo valores. Debido a que V_T es el voltaje de línea de 127 V AC y R_T es la suma de las dos resistencias en serie ($R_1 + R_2$) del divisor de tensión tenemos:

$$I = V_T / R_T = 127 \text{ V} / 1.01 \text{ M}\Omega = 125 \mu\text{A}$$

El valor de corriente total obtenido para el circuito de la fuente de señal es de 125 μA, lo cual cumple con la especificación eléctrica del microcontrolador PIC16F877 para el valor máximo de corriente que acepta que es de 25 mA.

Entonces, para obtener la tensión en R_2 utilizamos la Ecuación 3.3:

$$V_2 = R_2 V_T / (R_1 + R_2) = R_2 V_T / R_T = (10 \text{ K}\Omega \times 127 \text{ V}) / 1.01 \text{ M}\Omega = \underline{1.26 \text{ V}}$$

Con esto, obtenemos una relación de 127 V : 1.26 V la cual se aproxima a la relación de voltaje de 100:1 propuesta anteriormente, teniendo un margen de error de 1 V, por lo tanto, se cumple con las especificación de diseño para este módulo.

MÓDULO SENSOR DE VOLTAJE DC

Como ya se menciona en la explicación del módulo anterior, el PIC16F877 mide directamente voltaje DC en sus canales de entrada analógica, por lo que ya no será necesario la rectificación del voltaje, pero este voltaje está limitado a 5 V DC, y como nuestro sistema necesita tener la capacidad de medir voltajes de hasta 15 V DC, se necesita disminuir en forma proporcional el voltaje de DC a medir, por lo que aquí también se utilizará un divisor de tensión como sensor de voltaje DC.

Para este módulo se propone utilizar una resistencia de 1 MΩ con una tolerancia de 5 % para R_1 y un potenciómetro de 500 KΩ de precisión para un ajuste fino de R_2 .

Aplicando las fórmulas que rigen al divisor de tensión tenemos:

Igualmente, con la fórmula 3.1, la corriente total que fluye a través del divisor de tensión se obtiene despejando a I_T y sustituyendo valores. Debido a que el valor V_T es el valor máximo de la Fuente a medir que es de 15 V DC y R_T es la suma de las dos resistencias en serie ($R_1 + R_2$) del divisor de tensión tenemos:

$$I = V_T / R_T = 15 \text{ V} / 1.5 \text{ M}\Omega = 10 \mu\text{A}$$

El valor de corriente total obtenido para el circuito de la fuente de señal es de 10 μA, lo que igualmente cumple con la especificación eléctrica del microcontrolador PIC16F877 para el valor máximo de corriente que acepta que es de 25 mA.

Entonces, para obtener la tensión en R_2 utilizamos la Ecuación 3.3:

$$V_2 = R_2 V_T / (R_1 + R_2) = R_2 V_T / R_T = (500 \text{ K}\Omega \times 15 \text{ V}) / 1.5 \text{ M}\Omega = \underline{4.99 \text{ V}}$$

Con esto, obtenemos una relación de 15 V : 4.99 V, o sea, una relación de 3 : 1 con lo cual se tiene un margen de error de 0.1 V, por lo tanto, se cumple con la especificación de diseño para este módulo.

MÓDULO SENSOR DE CORRIENTE AC

Para medir una corriente que circula por un circuito, se pueden utilizar dos métodos:

- Hacer pasar la corriente por una resistencia y medir la tensión en bornes de ésta. Basado en la Ley de Ohm. La resistencia ha de tener un valor adecuado para que no influya en el funcionamiento del circuito.
- Convertir la corriente en tensión por medio de sensor existen dos tipos básicos de sensores de corriente:
 - a) El transformador de medición de corriente.
 - b) El efecto hall.

El transformador de medición de corriente es válido solo para corrientes alternas: el conductor por el que circula la corriente a medir actúa como un primario de una sola vuelta del transformador cuyo núcleo de ferrita es la cabeza de la sonda, donde va devanado el secundario. Se puede aumentar la sensibilidad dando más vueltas al cable por el que circula la corriente a medir para aumentar la sensibilidad, alrededor de la sonda. [20]

El método utilizado para medir corriente alterna en este sistema de adquisición de datos es el de Transformador de medición de corriente debido a que nos ofrece un aislamiento magnético entre la fuente de corriente y los acondicionadores de señal. A continuación se describe el funcionamiento del Transformador de medición de corriente.

TRANSFORMADORES DE MEDICIÓN DE CORRIENTE

Se denomina transformadores de medición a los que se utilizan para la alimentación de circuitos de instrumentación de medición. Su aplicación se basa en la relación entre la corriente en el embobinado secundario y la corriente en el embobinado primario, o entre la tensión secundaria y la tensión primaria (transformadores de corriente y transformadores de tensión). Al medir la tensión secundaria se determina la tensión primaria por la relación de transformación en los transformadores de tensión. Los transformadores de medición sirven para las siguientes finalidades:

1. Permiten medir altas tensiones y altas intensidades con instrumentos de bajo alcance.
2. Separan eléctricamente del circuito controlado los instrumentos de medición, lo que permite efectuar mediciones en los circuitos de alta tensión con los instrumentos de baja tensión.
3. Hacer posible la ubicación de los instrumentos a distancias del circuito controlado. Esto evita la influencia de campos magnéticos externos en el funcionamiento de instrumentos aumenta la seguridad del personal y permite la colocación de instrumentos en lugares convenientes (tableros). [20]

El transformador de medición de corriente esta destinado a su conexión en serie con el receptor de la misma manera que se conecta un amperímetro. La intensidad de corriente primaria tiene una relación con la corriente secundaria: Y se denomina relación del transformador de intensidad, siendo inversamente proporcional a la relación de las espiras, del primario con respecto al secundario y de igual forma una relación de voltajes primario y secundario. Para obtener la relación de transformación simplificada se utiliza la siguiente ecuación. [20]

$$a = I_2 / I_1 = N_1 / N_2 = E_1 / E_2 \quad (3.5)$$

**FUNCIONAMIENTO DEL TRANSFORMADOR DE MEDICIÓN DE
CORRIENTE**

Para cualquier variación de la corriente primaria se refleja en las indicaciones del instrumento conectado en serie con el secundario del transformador. Los instrumentos, que son amperímetros o bobinas de intensidad de vatímetros, medidores de energía o cofímetros (medidores de coseno φ), se caracteriza por su muy baja impedancia, Los flujos magnéticos de ambos embobinados (primarios y secundarios) son casi iguales y tienen opuestos, de modo que durante el funcionamiento existe solamente un flujo magnético resultante $\Phi_r = \Phi_1 - \Phi_2$ muy pequeño como se muestra en la Figura 3.3. Este flujo resultante Φ_r origina en el núcleo del transformador una inducción magnética B de bajo valor del orden de cientos de líneas, suficiente para generar en el secundario una fuerza electromotriz E_2 que mantiene la intensidad que se mide. En el caso de abrir el circuito secundario (al desconectar el amperímetro), la intensidad de corriente primaria I_1 actuaría en su totalidad como corriente magnetizante, lo que origina una inducción magnética B en el núcleo de alto valor, del orden de miles de líneas.

El transformador de medición de corriente tiene las características de un transformador monofásico en condiciones del ensayo en cortocircuito como ya se ha explicado anteriormente, su embobinado secundario está continuamente en cortocircuito a causa de las muy bajas impedancias del amperímetro o de otro instrumento alimentado por el transformador. Este continuo corto circuito es la característica fundamental del transformador de medición de corriente y en esto se diferencia principalmente de los transformadores de tensión y de los transformadores de potencia. [21]

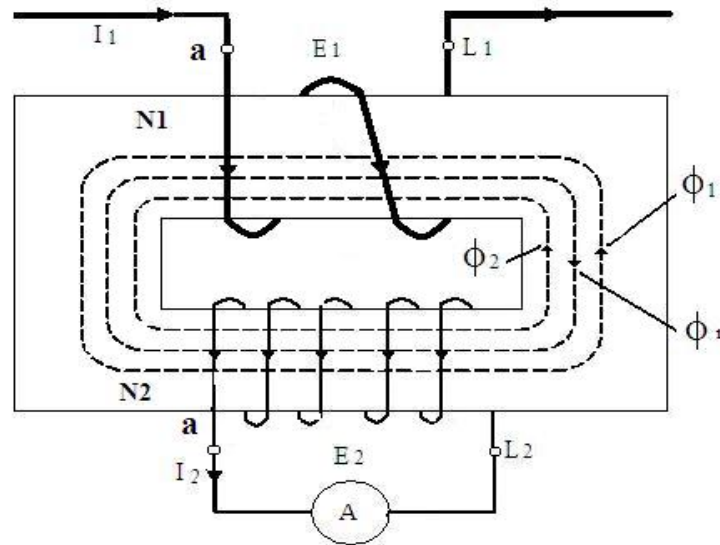


FIG. 3.3 Transformador de medición de corriente.

El arrollamiento primario del transformador de medición de corriente está conectado en serie con el circuito en el cual se mide la corriente. Entre los dos terminales de este arrollamiento a y L no aparece ninguna tensión de valor apreciable y también, lo que es muy importante la corriente secundaria no influye en el valor de la corriente primaria, contrariamente a lo que sucede en los transformadores de potencia y en los transformadores de tensión. [21]

DISEÑO DEL TRANSFORMADOR DE MEDICIÓN DE CORRIENTE

Las especificaciones que se tomaron en cuenta para construir este transductor son:

- La reactancia inductiva del arrollamiento primario N_1 debe ser menor de 1Ω .
- El valor máximo de corriente que debe medir es de 1 A.
- El voltaje inducido E_2 debe ser de 1 V.
- Ambos embobinados, primarios y secundarios, del transformador deben ser confeccionados con hilo de cobre.

El transformador de medición de corriente usado en este trabajo se diseñó de acuerdo a la Figura 3.3, para nuestro transformador tenemos un voltaje de entrada de 0.03 Volts.

Cuando fluye una corriente a través del circuito de 1 A y a la salida un voltaje de 1 Volt, al igual que para el sensor de voltaje AC nuestro acondicionador de señal es un MAV (el cual se describirá en la sección de acondicionadores de señal), y sus rangos de operación idóneos son de 0 a 1.5 V AC, entonces usando la ecuación 3.5 obtenemos la relación de transformación:

$$E_1 / E_2 = a$$
$$0.03 \text{ V} / 1 \text{ V} = 0.03 = a$$

Si N_1 es igual a 18 espiras y N_2 tiene 600 espiras cumple con la relación de transformación

$$N_1 / N_2 = a$$
$$18 / 600 = 0.03 = a$$

3.2.2 ETAPA DE ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL

Esta etapa corresponde a los módulos que son necesarios para asegurar que el voltaje de entrada a los canales de entrada del PIC16F877 sea de 5 V DC como máximo. Es decir que si estoy midiendo 127 V AC, se debe asegurar que el voltaje que entra al PIC16F877 es de 5 V DC. Como se está utilizando diferentes sensores entonces es necesario utilizar diferentes tipos de acondicionadores. Por ello se propone que los módulos para esta etapa sean:

- Modulo acondicionador de Temperatura
- Modulo acondicionador de Voltaje AC
- Modulo acondicionador de Voltaje DC
- Modulo acondicionador de corriente AC.

MÓDULO ACONDICIONADOR DE TEMPERATURA

Como se puede ver en el diagrama eléctrico de la Figura 3.4, la salida del LM35, el cual actúa como sensor de temperatura, es una señal de voltaje DC con un valor máximo de 1.5 V cuando se mide la máxima temperatura (150 °C), por lo tanto, ya no es necesario utilizar un circuito rectificador. Esta señal entra a un seguidor de voltaje no inversor (amplificador A) para no tener caída de tensión, posteriormente es amplificada con una ganancia de 3.333 por un amplificador no inversor (amplificador B) y por último entra de nuevo a otro seguidor de voltaje (amplificador C) para mantener la constante tensión de la señal.

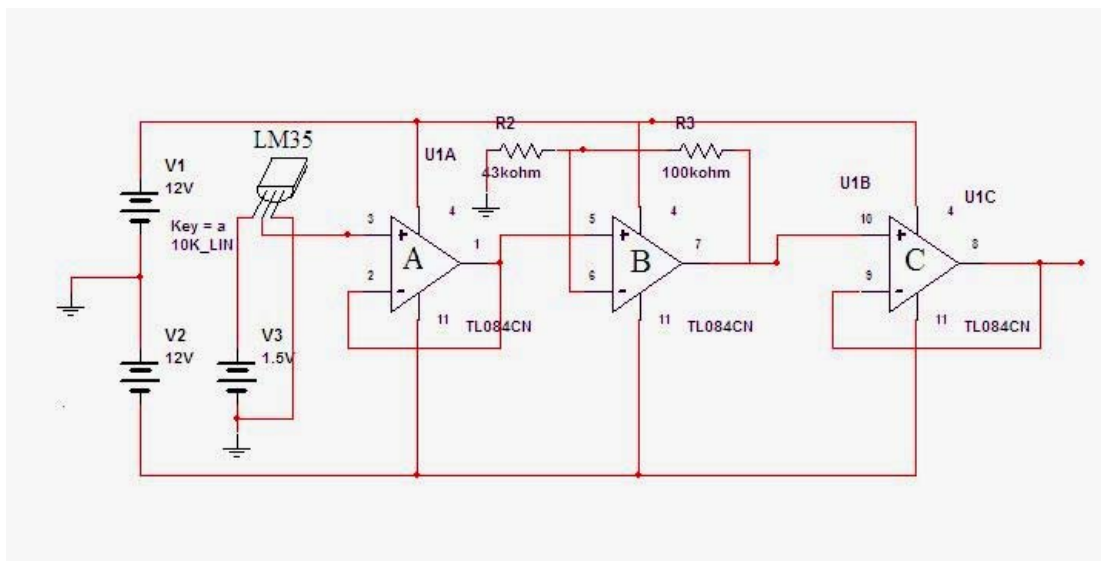


FIG. 3.4 Diagrama eléctrico del acondicionador de señal de temperatura.

MÓDULO ACONDICIONADOR DE VOLTAJE AC

De acuerdo a las especificaciones a cumplir el rango de medición de voltaje AC es de 0 hasta 127 V AC. Entonces la función del modulo acondicionador es la de convertir la señal de voltaje de 0 a 127 V AC a un voltaje de 0 a 5 V DC. Como primer punto se requiere disminuir proporcionalmente el voltaje de 127 V AC. Esto se realiza con un divisor de resistencias. El divisor de voltaje da un voltaje menor pero sigue

siendo AC. Por lo tanto el siguiente paso es rectificar el voltaje AC que entrega el divisor de resistencias. Se conoce que para rectificar una señal de AC se utilizan diodos y capacitores sin embargo el problema principal es que los diodos tienen un voltaje de umbral de respuesta que ocasionan que no se pueda rectificar voltajes pequeños menores a 0.6 V AC. Una solución adecuada a este problema es utilizar rectificadores de precisión utilizando amplificadores operacionales.

RECTIFICADORES DE PRECISIÓN

La mayor limitación de los diodos de silicio ordinario es que no pueden rectificar voltajes debajo de 0.6 volts. Un circuito que actúa como diodo ideal puede diseñarse usando un amplificador operacional y diodos ordinarios. El resultado es un circuito ordinario poderoso capaz de rectificar señales de entrada de solo unos cuantos milivolts.

El bajo costo de este circuito equivalente al diodo ideal permite que se utilice de manera habitual en muchas aplicaciones. En forma aproximada pueden agruparse en las siguientes clasificaciones: rectificadores lineales de media onda y rectificadores de onda completa. [15]

- *Rectificadores lineales de media onda.* El circuito rectificador lineal de media onda alimenta una salida que depende de la magnitud y polaridad del voltaje de entrada. La salida es invertida con respecto a la entrada.
- *Rectificadores de precisión de onda completa.* El circuito rectificador de precisión onda completa, suministrará una salida proporcional a la magnitud pero no la polaridad de la entrada. Por ejemplo, la salida puede ser positiva a 2V para entradas ya sea de +2V o -2V. ya que el valor absoluto de +2V y -2V es igual a 2 V, el rectificador de precisión de onda completa también se conoce como *circuito de valor absoluto*.

Algunas de las aplicaciones de ambos rectificadores lineales de media onda y de precisión de onda completa incluyen:

- Circuitos acotados de precisión o recortadores.
- Indicadores de valor pico.
- Circuitos de valor absoluto.
- Circuitos promediadores.
- Convertidores AC a DC. [15]

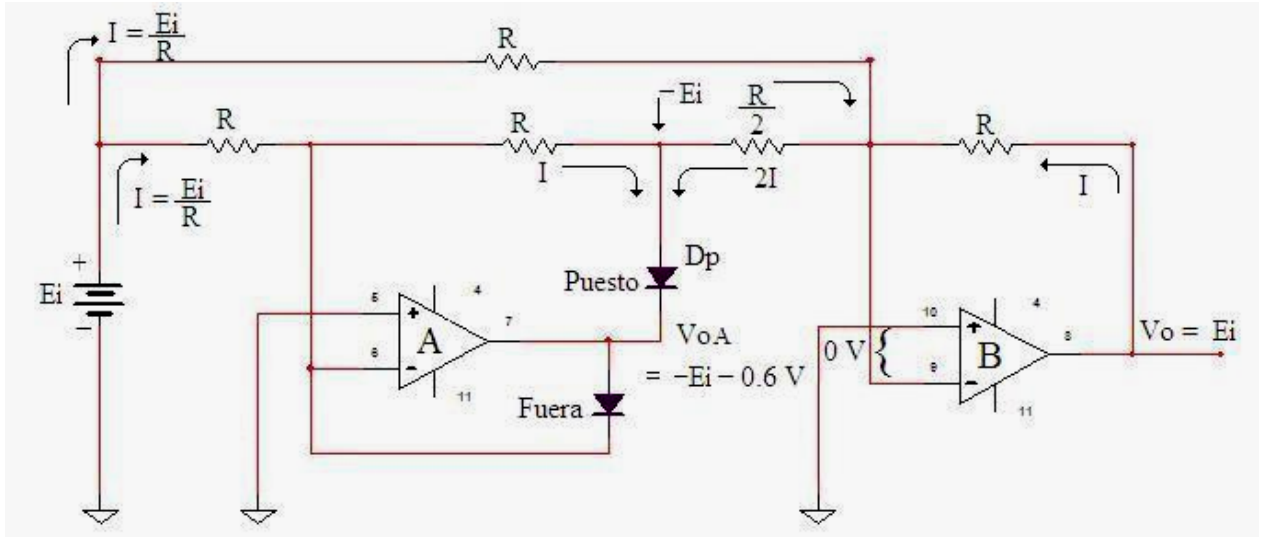
En este proyecto utilizamos un rectificador de precisión de onda completa utilizándolo como un convertidor de voltaje AC a voltaje DC que también se conoce como circuito de valor absoluto y puesto que un valor promedio también se denomina valor medio, el convertidor de voltaje AC a voltaje DC también se le conoce como *circuito valor medio absoluto (MAV)*.

Aunque en el mercado se encuentran a la venta diversos tipos de dispositivos rectificadores de AC a DC, estos cuentan con un alto precio, además, una parte de la justificación de este proyecto es el desarrollar nuestra propia tecnología, por lo que se decidió elaborar nuestro propio rectificador. [15]

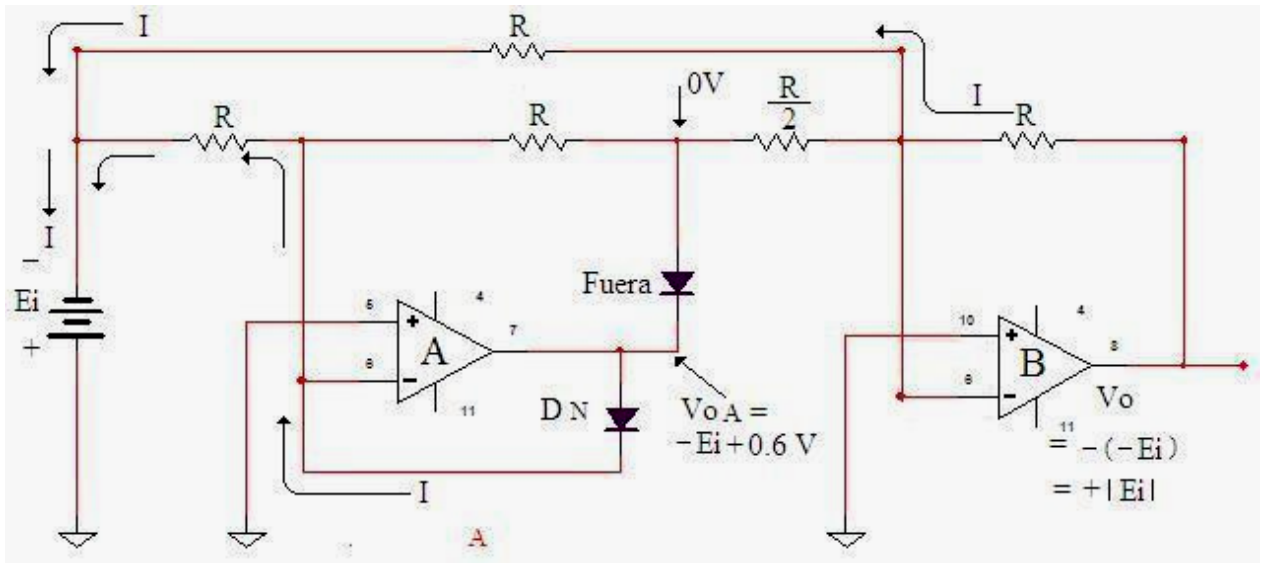
FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO DE VALOR MEDIO ABSOLUTO

Para construir un convertidor de voltaje AC a voltaje DC, se inicia con el rectificador de precisión o amplificador de valor absoluto que se muestra en la Figura 3.5. Para las entradas positivas, en la Figura 3.5(a) el amplificador operacional A invierte E_1 . El amplificador operacional B suma la salida de A y E_1 para dar una salida del circuito $V_0 = E_1$. Para entradas negativas como se muestra en la Figura 3.5 (b), el amplificador operacional B invierte a $-E_1$ y la salida del circuito es $+E_1$. Por lo tanto, la salida del circuito V_0 es positiva y es igual al valor rectificado o absoluto de la entrada.

Para obtener una señal de DC se añade un capacitor electrolítico de 10 μF que se muestra en el circuito final. El capacitor da el promedio de la salida rectificada del amplificador operacional B, el cual toma cerca de 1 seg. antes de que el voltaje del capacitor se establezca a su lectura final. [15]



(a) Para entradas positivas, el amplificador operacional A invierte E_1 , el amplificador B es un sumador inversor de modo que $V_0 = E_1$.



(b) Para entradas negativas, la salida de A se rectifica a cero, el amplificador operacional B invierte E_1 de modo que $V_0 = +E_1$.

FIG. 3.5 Este amplificador de valor absoluto tiene ambos modos de suma al potencial de tierra durante cualquier polaridad de voltaje de entrada.

**IMPLEMENTACIÓN ELÉCTRICA DEL ACONDICIONADOR DE SEÑAL DE
VOLTAJE AC**

Para poder acondicionar la señal de voltaje AC no solo es necesario el uso del MAV, también es necesario utilizar circuitería adicional a este como se puede ver en el diagrama eléctrico de la Figura 3.6. Los circuitos adicionales son:

- Seguidores de voltaje no inversores.
- Amplificador no inversor.

La señal que alimenta a este acondicionador es la señal de salida del transductor visto en el módulo de sensor de voltaje AC.

Esta entra a un seguidor de voltaje no inversor (amplificador A), el cual evita una caída de tensión de la señal fuente. Posteriormente entra al circuito MAV (amplificadores B y C) para poder rectificarla y promediarla con un valor máximo de 1.5 V DC. Después de ser convertida a una señal DC se amplifica por medio de un amplificador no inversor (amplificador D) con una ganancia de 3.3 para obtener el voltaje máximo de entrada del microcontrolador PIC16F877 el cual es de 5 V DC. Finalmente la señal vuelve a entrar a un seguidor de voltaje no inversor (amplificador E) por las mismas razones que el primero.

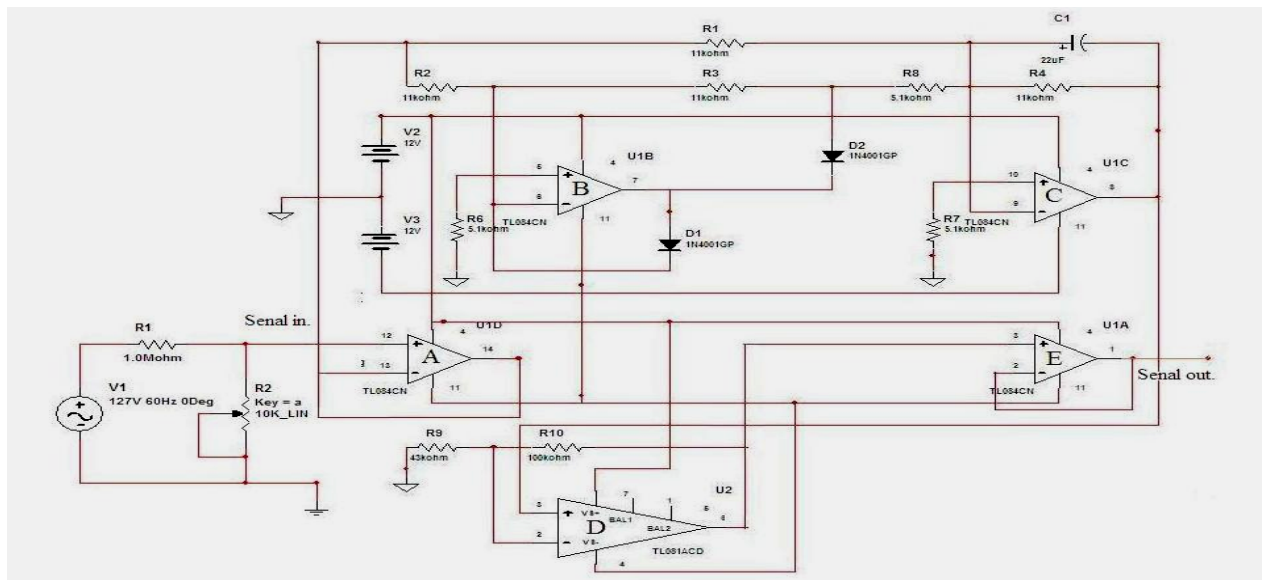


FIG. 3.6 Diagrama eléctrico del acondicionador de señal de voltaje AC.

MÓDULO ACONDICIONADOR DE VOLTAJE DC

Como la salida del divisor de tensión utilizado como sensor de voltaje DC es una señal DC no es necesario rectificar. Tampoco es necesario amplificar la señal debido a que el valor máximo de esta es de 5 V, el cual es el valor máximo aceptado por el PIC16F877 para sus entradas analógicas.

Como se muestra en el diagrama eléctrico de la Figura 3.7, a la salida del divisor de tensión utilizado como sensor de voltaje DC, solamente se tiene un seguidor de voltaje no inversor para mantener constante el voltaje de salida del mismo.

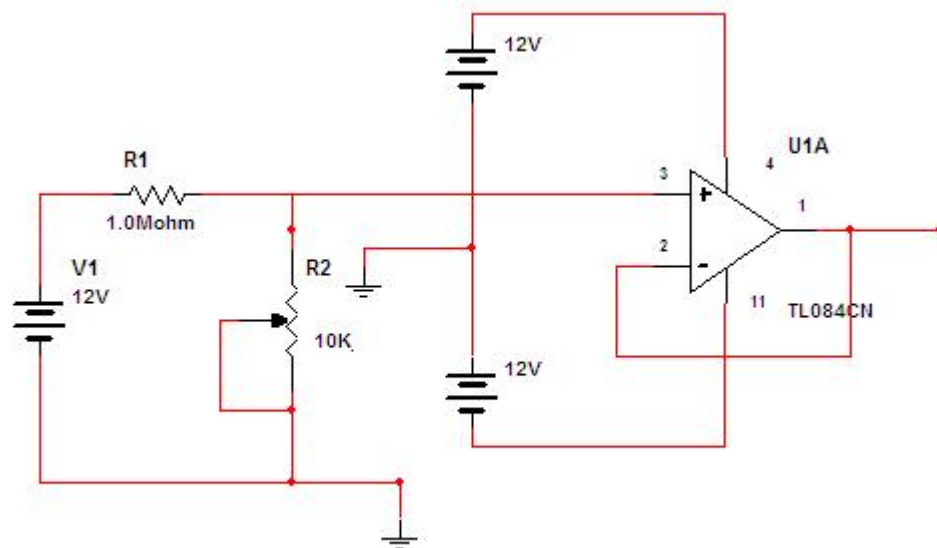


FIG. 3.7 Diagrama eléctrico del acondicionador de señal de voltaje DC.

MÓDULO ACONDICIONADOR DE CORRIENTE AC

La salida del transformador de medición de corriente tiene como valor máximo 1.5 V AC cuando se mida la corriente máxima (1.5 A), por lo tanto, al ser una señal AC, tiene que ser rectificadas. Esto se logra con el circuito MAV. El diagrama eléctrico del acondicionamiento de corriente AC se muestra en la Figura 3.8.

Como se puede ver en la Figura 3.8, la señal del transformador de medición de corriente pasa primero a través de un seguidor de voltaje no inversor (amplificador A) para evitar una caída de tensión de la señal fuente, después entra para ser rectificificada en el circuito MAV (amplificadores B y C), luego es amplificada con una ganancia de 3.333 con un amplificador no inversor (amplificador D) y al final pasa nuevamente por un seguidor de voltaje no inversor (amplificador E).

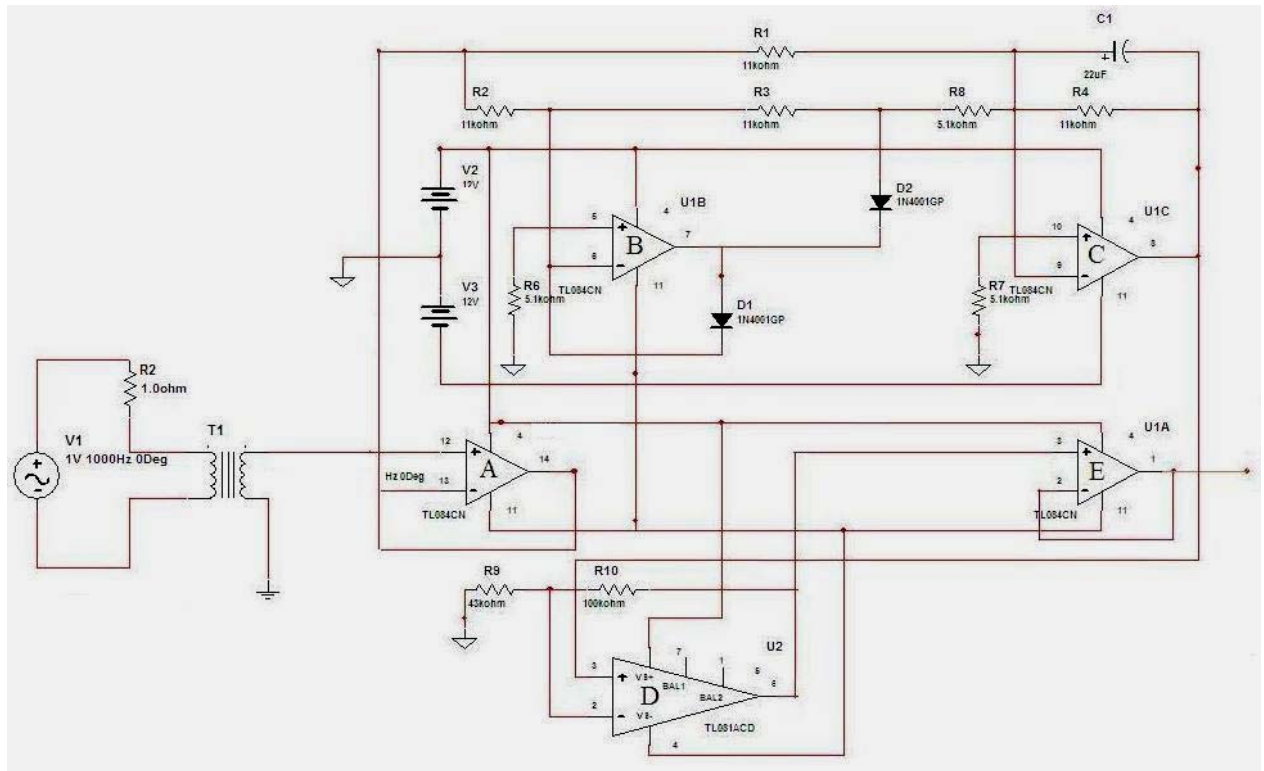


FIG. 3.8 Diagrama eléctrico del acondicionador de señal de corriente AC.

3.2.3 ETAPA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Esta etapa corresponde a como se adquirirán las señales que entrega la etapa de acondicionamiento de señal. De acuerdo al requerimiento de nuestra propuesta esta etapa corresponde a la utilización del PIC16F877 y que se necesita para su correcto funcionamiento. Esta etapa es la más importante porque es la unión entre las señales de medición y la computadora.

Por lo tanto se propone que esta etapa tenga los módulos siguientes:

- Módulo Microcontrolador (hardware de adquisición)
- Módulo comunicación
- Módulo fuente de potencia

MÓDULO MICROCONTROLADOR

De acuerdo a la propuesta de trabajo utilizaremos un PIC16F877. Se decidió utilizar este microcontrolador por las características y periféricos con los que cuenta y fueron ocupados para el desarrollo de este sistema. Estas características y periféricos son los siguientes:

- Alimentación de 5 V DC.
- CAD de 10 bits.
- 8 canales de entrada analógicos.
- Un multiplexor 8:1.
- Módulo de comunicación Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART).
- Fuentes de interrupción por conversión analógica - digital, recepción y transmisión de datos.

El microcontrolador PIC16F877 de Microchip pertenece a una gran familia de microcontroladores de 8 bits (bus de datos) que tienen las siguientes características generales que los distinguen de otras familias:

- Arquitectura Harvard.
- Tecnología RISC.
- Tecnología CMOS.

Estas características se conjugan para lograr un dispositivo altamente eficiente en el uso de la memoria de datos y programa y por lo tanto en la velocidad de ejecución. [23]

En la Figura 3.9 se muestra a manera de bloques la organización interna del PIC16F877. Se muestra también en la Figura 3.10 su diagrama de pines, para tener una visión conjunta del interior y exterior del Chip.

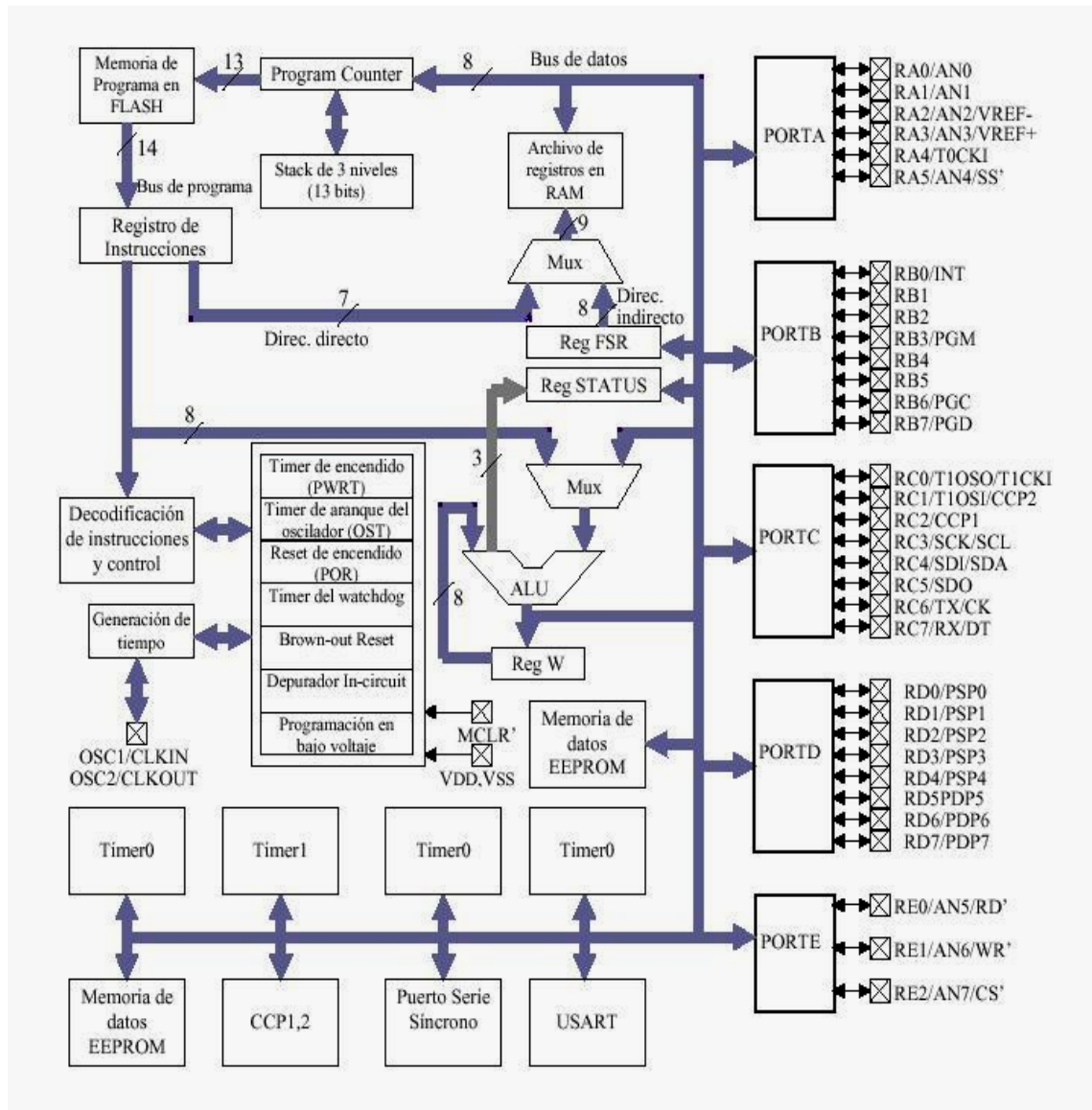


FIG. 3.9 Organización interna del PIC16F877.

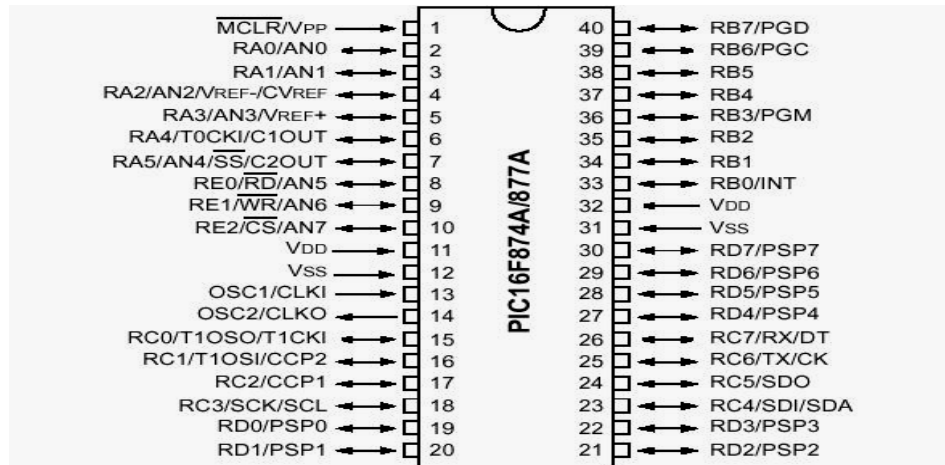


FIG 3.10 Diagrama de pines del microcontrolador

En el Apéndice B, se pueden ver más características del microcontrolador PIC16F877.

En el siguiente diagrama a bloques de la Figura 3.11 se pueden ver las acciones que el microcontrolador realiza. Todo esto se lleva acabo dentro del microcontrolador utilizando algunos periféricos que contiene este.

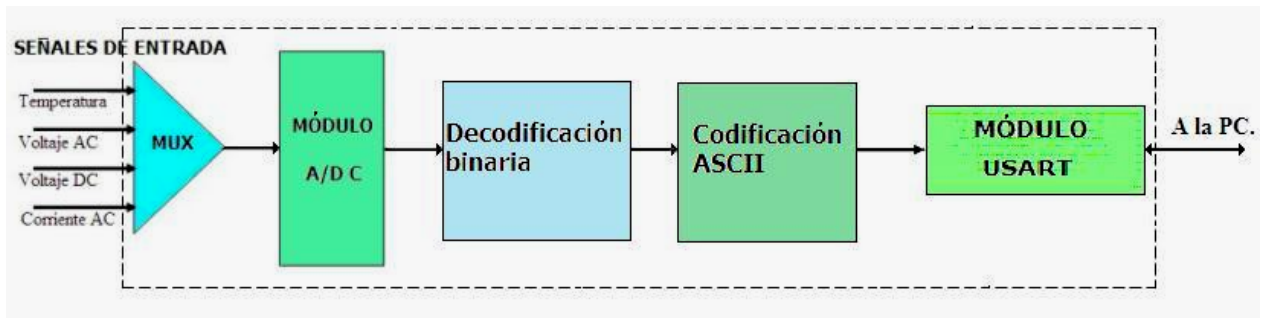


FIG. 3.11 Acciones que realiza el microcontrolador en la Etapa de Adquisición.

La primera acción que realiza el microcontrolador es recibir la señal a medir correspondiente al canal elegido por medio del modulo USART. Aquí es donde entran en función el multiplexor del microcontrolador ya que tiene que elegir una señal de entrada de las cuatro que se tienen de acuerdo a lo que se seleccione desde la PC. Luego, esta señal entra al Módulo CAD para su conversión a forma digital. La señal digital obtenida es dada en forma de BCD empaquetado el cual tiene que ser decodificado a BCD para después ser convertida a código ASCII por lo cual esta lista para ser entendida por la PC. Por ultimo, el código generado es transmitido por el

modulo USART del microcontrolador a la PC la cual se encarga de procesar esta información y desplegar de forma grafica la señal, si no es elegido otro canal se continua adquiriendo la misma señal hasta que sea seleccionado otro canal para repetir el proceso de adquisición.

La configuración y puesta en funcionamiento de los modulo que componen al microcontrolador (hardware de adquisición) se tratan en el capitulo de programación (capitulo 4).

MÓDULO COMUNICACIÓN

La comunicación a emplear en este modulo es la serial 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. [23]

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, microondas, etc. [7]

COMUNICACIÓN EN SERIE

La comunicación en serie sólo utiliza una línea para la transmisión de datos, y opcionalmente alguna línea o líneas para protocolo.

La comunicación serie requiere sólo una línea para la transmisión esto abarata los costos en líneas de transmisión y no sólo esto, ya que este hecho también hace posible que los datos puedan ser enviados no necesariamente por un conductor eléctrico, sino inclusive por aire o por el vacío si en lugar de pulsos eléctricos se usan impulsos electromagnéticos, tales como: ondas de radio, microondas, pulsos luminosos, infrarrojo, ultrasonido, láser (a través de fibra óptica), etc. [7]

PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN SERIE

A diferencia de la comunicación en paralelo, en la comunicación en serie se hace necesario establecer métodos de sincronización para evitar la interpretación errónea de los datos transmitidos. Para ilustrar esto consideremos la siguiente información en serie como se observa Figura 3.12 (a):

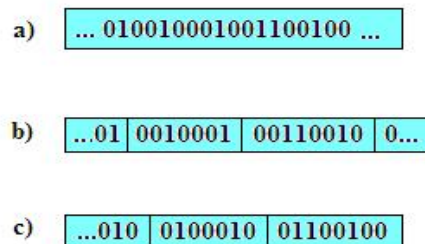


FIG. 3.12 Diferentes interpretaciones de un dato en serie.

Esta información puede interpretarse de diversas maneras, (aún si se recibe a la velocidad adecuada) dependiendo del punto de inicio de separación de datos, por ejemplo, una posible interpretación sería como se ve en la Figura 42 (b) y que interpretado como códigos ASCII corresponde a los caracteres '1' y '2'. Sin embargo, otra posible interpretación es la se observa en la Figura 42 (c) que corresponde a los caracteres 'b' y 'd'.

Método Asíncrono: Cada carácter va señalado mediante dos bits: un bit de inicio y un bit de paro, estos dos bits permiten al receptor reconocer el inicio y el final de cada carácter. La especificación RS404 de la Electronic Industries Association (EIA) define las características del método asíncrono para transmisión en serie de acuerdo a las siguientes reglas: [23]

- 1) Cuando no se envían datos la línea debe mantenerse en estado 1.
- 2) Cuando se va a mandar un carácter se envía primero un bit de inicio de valor 0.
- 3) A continuación se envían todos los bits del carácter a transmitir al ritmo marcado por el reloj de transmisión.
- 4) Después del último bit del carácter enviado se envía un bit de paro de valor 1.

Método Síncrono: Cada mensaje o bloque de transmisión va precedido de unos caracteres de sincronismo. Así, cuando el receptor identifica una configuración de bits igual a la de los caracteres de sincronismo da por detectado el inicio y el tamaño de los datos.

Para el usuario de un microcontrolador que posee una USART o sistema similar la manera detallada como el sistema logra establecer la comunicación resulta transparente a él, ya que sólo tiene que configurar el protocolo del transmisor y del receptor para que estos logren la comunicación adecuada, es decir, el usuario usualmente sólo debe configurar:

- Tipo de comunicación (síncrona o asíncrona).
- Velocidad de transmisión en Baudios (bits por segundo).
- Longitud de los datos.
- Bits de inicio y de paro, bits de paridad, etc. [23]

LA USART DEL PIC16F877

La USART del PIC puede ser configurada para operar en tres modos:

- Modo Asíncrono (full duplex (transmisión y recepción simultáneas)),
- Modo Síncrono – Maestro (half duplex)
- Modo Síncrono – Esclavo (half duplex)

El modo de transmisión utilizado en este trabajo es el modo asíncrono, el cual se explica a continuación: [23]

MODO ASÍNCRONO

En este modo la USART usa un formato estándar **NRZ** asíncrono, el cual para la sincronización usa: 1 bit de inicio (I), 8 o 9 bits de datos y 1 bit de paro (P). Mientras no se están transmitiendo datos la USART envía continuamente un bit de marca. El modo asíncrono se selecciona limpiando el bit SYNC del registro TXSTA (98H). El modo asíncrono es deshabilitado durante el modo SLEEP.

Cada dato es transmitido y recibido comenzando por el LSB. El hardware no maneja bit de Paridad, pero el noveno bit puede ser usado para este fin y manejado por software como se ve en la Figura 3.13. [23]

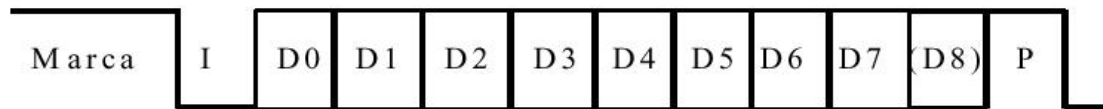


FIG. 3.13 Modo asíncrono de transmisión.

El módulo Asíncrono de la USART consta de 3 módulos fundamentales:

- El circuito de muestreo.
- El generador de frecuencia de transmisión (Baud Rate).
- El transmisor- receptor asíncrono.

El PIC posee internamente un puerto serial por lo que para comunicarse con la PC solo es necesario convertir los voltajes de 5 V DC del PIC a + - 12 V DC como marca el protocolo RS-232 y que son los voltajes que tiene el puerto serie de una PC de escritorio. Esta conversión de voltajes se realiza por medio de un circuito integrado especializado como el MAX 232 (en el Apéndice C se puede consultar la Hoja de datos de este dispositivo). Este circuito convierte los voltajes evitando daño eléctrico tanto en el PIC como en la PC. [23]

Entonces el modulo comunicación corresponde a conectar este circuito integrado al PIC y a la PC. Se utiliza un conector DB-9 para conectarse a la PC. Ver Figura 3.14:

MÓDULO FUENTE DE POTENCIA

Este módulo corresponde a la fuente de voltaje necesaria para el funcionamiento del microcontrolador PIC16F877 y para los circuitos que se utilizan en la etapa de sensores, acondicionamiento y comunicación.

Se necesita un voltaje V_{cc} de 5 V para el PIC16F877 a una corriente de 250 mA. El sensor de temperatura (LM 35) usa esta misma alimentación, al igual que la interfaz comunicación (MAX 232).

Los módulos acondicionadores usan amplificadores operacionales (TL 084, TL081) los cuales necesitan voltajes de ± 10 V DC.

Entonces se propone que este modulo este formado por una fuente lineal de + 5 VDC y otra fuente bipolar de ± 10 V DC. Los dispositivos utilizados para la fuente de potencia se muestran en la figura 3.14.

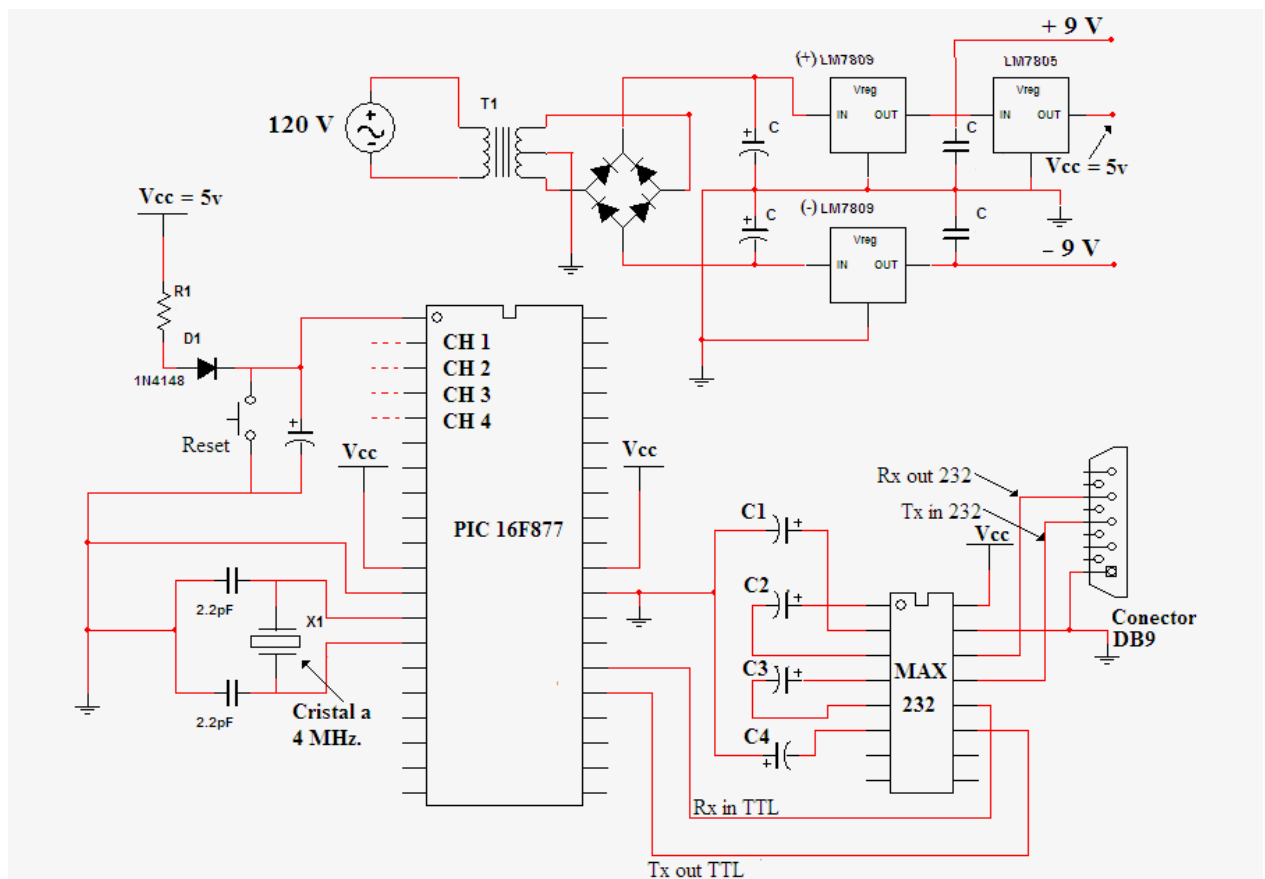


FIG. 3.14 Módulo comunicación y fuente de potencia.

CAPÍTULO IV: PROGRAMACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS

INTRODUCCIÓN

La última etapa de la que consta el sistema de adquisición de datos a construir es la etapa de programación. Esta etapa es muy importante porque es la parte de software en donde se dan las instrucciones para que:

- a) El PIC realice la adquisición de la señal de entrada, la convierta en dígitos y mande la información a la PC.
- b) La PC se comunique con el PIC y tome el valor digital adquirido para procesarlo y calcular el valor real medido. Visualización en la pantalla de la computadora de la Temperatura, del Voltaje AC, del Voltaje DC y de la Corriente AC utilizando graficas en función del tiempo.

La metodología para desarrollar este programa de automatización es por programación modular y consiste en: Desarrollar pequeños programas que realicen la función de cada bloque que conforma al sistema de adquisición de datos. Posteriormente se unirán los programas de cada bloque para formar el programa principal de automatización.

Entonces esta etapa se podrá dividir en 2 módulos de programación

- Módulo de programación del PIC
- Módulo de programación de la PC

4.1 MÓDULO DE PROGRAMACIÓN DEL PIC16F877

Este módulo corresponde a la programación del microcontrolador en lenguaje ensamblador el cual es un lenguaje de bajo nivel. Para que el PIC realice una función se debe de programar una serie de pasos secuencialmente. La forma más fácil de programar es utilizando un diagrama de flujo.

Las principales acciones que debe hacer el PIC son:

CAPÍTULO IV PROGRAMACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS.

- Configuración: Configuración de los puertos como entradas y salidas, del CAD y puerto serie a utilizar.
- Adquisición: Recepción de dato para selección del canal, conversión por medio del CAD de la señal analógica correspondiente al canal elegido
- Conversión texto: Convertir el dato digitalizado en un formato texto para su transmisión e interpretación en la PC.

Todas estas acciones se encuentran dentro del programa principal cuyo diagrama de flujo es el que se muestra en la Figura 4.1.

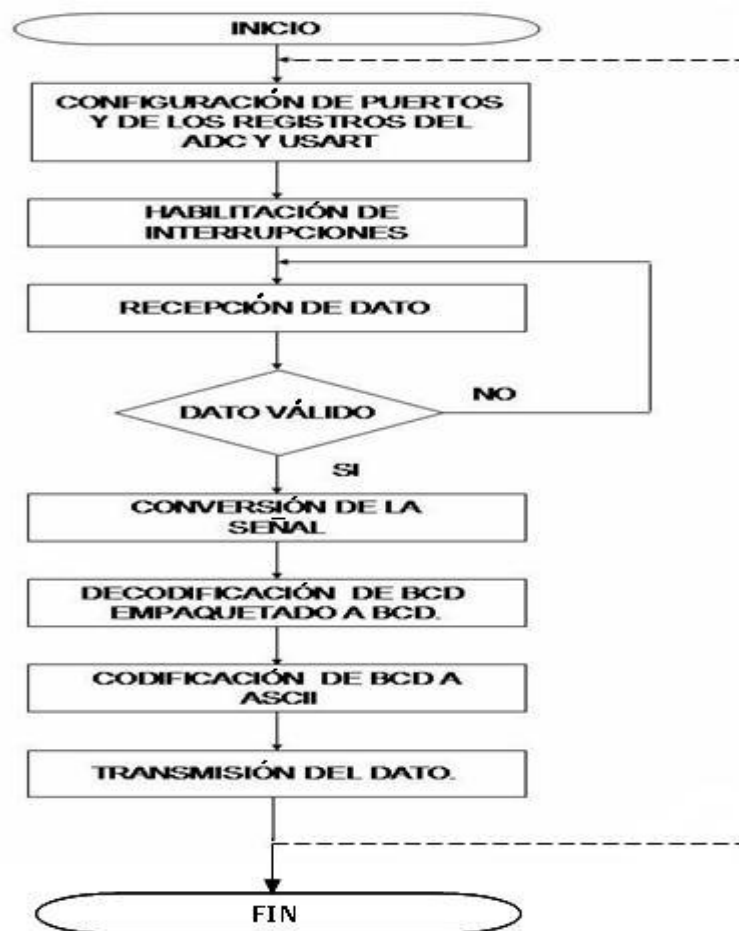


FIG. 4.1 Diagrama de flujo del programa principal.

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA ACCIÓN CONFIGURACIÓN

En la Figura 4.2 se muestra el diagrama de flujo utilizado para realizar la configuración de los recursos utilizados.

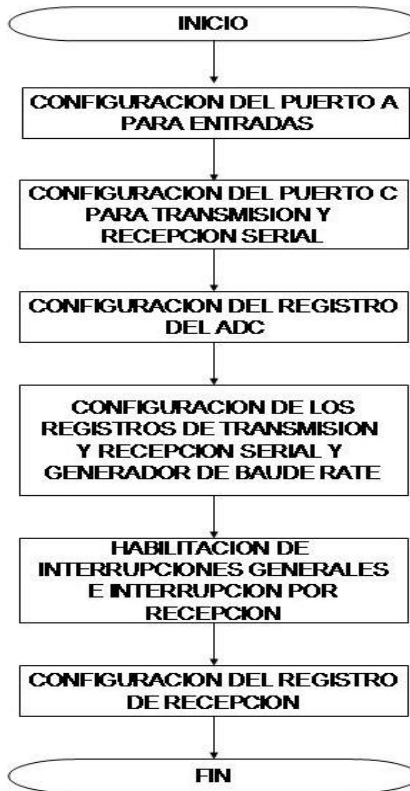


FIG. 4.2 Diagrama de flujo para la acción de configuración del PIC16F877.

Como se muestra en el diagrama, lo primero que se realiza en esta acción es configurar el puerto A del microcontrolador para que actúen como entradas de las señales a adquirir todos los pines del mismo, luego se configura el puerto C para que el microcontrolador pueda transmitir y recibir información, posteriormente se configura el CAD del microcontrolador. Después se configuran los registros de transmisión y del generador de Baude Rate (velocidad de transmisión) para después habilitar las interrupciones generales y la particular por recepción de dato. Por último se realiza la configuración del registro de recepción de dato del microcontrolador.

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA ACCIÓN ADQUISICIÓN

En la Figura 4.3 se muestra el diagrama de flujo utilizado para realizar la acción de adquisición.

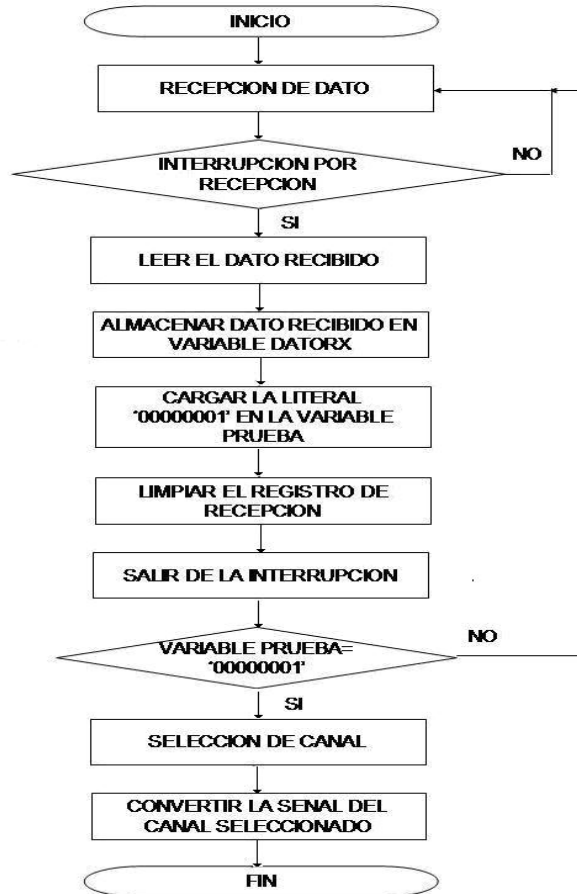


FIG. 4.3 Diagrama de flujo para la acción de adquisición.

En esta acción, primero se recibe el dato de selección de canal, luego se comprueba si existe una interrupción por recepción. Si no existe interrupción se vuelve a la acción de recibir dato. Si existe, entonces se lee el dato recibido y luego lo almacena en la variable DATORX, luego se carga la literal binaria ‘0000001’, en la variable PRUEBA, después se limpia el registro de recepción para datos que se reciban posteriormente y se sale de la interrupción. Posteriormente, se comprueba si la variable PRUEBA es igual a ‘0000001’ (esto sirve para comprobar que se recibió un dato), si no es igual se regresa a la recepción de dato. Pero si es igual, entonces se selecciona el

canal correspondiente al dato recibido y el CAD del microcontrolador realiza la conversión de la señal del canal seleccionado.

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA ACCIÓN CONVERSIÓN TEXTO

En la Figura 4.4 se muestra el diagrama de flujo utilizado para realizar la acción Conversión texto.

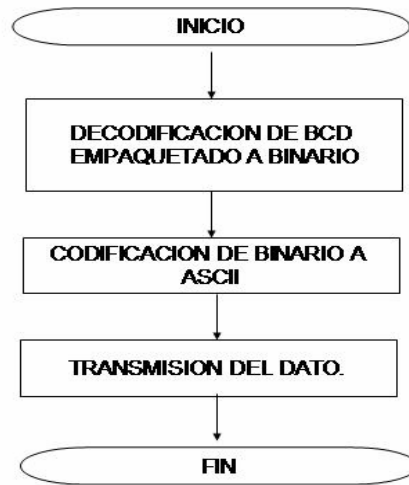


FIG 4.4 Diagrama de flujo de la acción Conversión de texto.

En esta acción lo primero que se hace es utilizar los bits que nos proporciona el convertidor, estos bits se encuentran codificados de forma BCD empaquetado. Por lo tanto utilizamos una rutina la cual hace la decodificación a BCD, posteriormente el resultado se convierte a código ASCII para su transmisión a la PC.

Cabe mencionar que el lenguaje del microcontrolador es el lenguaje ensamblador y que se dispone de un paquete de programación denominado MPLAB el cual permite hacer programas estructurados en ensamblador, compilar los programas, simular los resultados del programa y por último programar físicamente al microcontrolador cargando en su memoria EEPROM ese programa.

CAPÍTULO IV PROGRAMACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS.

La comunicación por puerto serie requiere que se definan los parámetros de comunicación para lograr una sincronización en la comunicación. Los parámetros de configuración que se programaron dentro del microcontrolador son:

- Baud rate: 2400
- Data bits: 8
- Stop bits: 1
- Parity: 0

Estos mismos parámetros deben de configurarse en el puerto de la PC al que se conecte el microcontrolador.

A continuación se muestra el programa en lenguaje ensamblador conteniendo las instrucciones para configurar el puerto serie, esperar la interrupción de puerto serie, la subrutina de atención del puerto serie, las instrucciones para adquisición del canal deseado, las instrucciones para convertir el código BCD empaquetado a binario y la codificación de código binario a ASCII y la transmisión del dato. Cabe mencionar que cuando se sensa en el puerto serie que existe alguna información, el microcontrolador ejecuta una interrupción y el apuntador de programa se posiciona en la dirección de memoria 0004. En ésta dirección de memoria se debe poner un brinco a la subrutina o programa en donde se tiene las instrucciones para leer el contenido del puerto.

;* PROGRAMA PARA EL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE 4 CANALES*****

```
LIST          P=16F877A
include      "p16f877a.inc"
```

```
cblock      0x20          ;DECLARACIÓN DE VARIABLES
```

```
CounterA
CounterB
CounterC
DATORX
PRUEBA
C5
C4
C3
C2
C1
C0
CONTADOR
```

CAPÍTULO IV PROGRAMACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS.

BCD_2
 BCD_1
 BCD_0
 delay
 TEMPORAL
 DATOC_L
 DATOC_H
 ADCON

```

                                endc

                                ORG          0x00

goto INICIO

                                ORG          0X04

; RUTINA DE INTERRUPCIONES POR RECEPCIÓN

INTERRUP bcf STATUS,RP0      ;**selección al banco 0
          bcf STATUS,RP1

          btfss PIR1,RCIF      ; ¿interrupción por recepción?
          goto VOLVER
          bcf PIR1,RCIF        ;limpiar bandera de interrupción por recepción
          movf RCREG,w          ;lectura del dato recibido
          movwf DATORX         ;almacenamiento del dato recibido en la variable

DATORX   movlw b'00000001'     ;cargar la literal en la variable PRUEBA
          movwf PRUEBA
          clrf RCREG           ;limpiar el registro RCREG

          bcf STATUS,RP0      ;**selección al banco 0
          bcf STATUS,RP1
VOLVER   retfie                ;retornar de interrupción

; PROGRAMA GENERAL

;(1)..... CONFIGURACIÓN DE PUERTOS Y DE LOS REGISTROS DEL CAD Y USART

INICIO  bcf STATUS,RP0      ;**selección al banco 0
          bcf STATUS,RP1

          clrf PORTB         ;limpiar PORTB
          clrf PORTD         ;limpiar PORTD

          bsf STATUS,RP0     ;**cambio al banco 1
          bcf STATUS,RP1     ;**cambio al banco 1

          movlw b'11111111'   ;configuración del Puerto A como entradas
          movwf TRISA
          movlw b'00000000'   ;configuración del Puerto B como salidas
          movwf TRISB
          movlw b'10000000'   ;configuración del Puerto C para tx y rx
          movwf TRISC
          movlw b'00000000'   ;configuración del Puerto D como salidas
          movwf TRISD
          movlw b'10000000'   ;mover esta literal al registro W
          movwf ADCON1        ;configura los 8 canales del ADC como
                                ; canales analógicos de entrada y justificación
                                ; a la derecha en los registros ADDRESS (H, L)

          bcf STATUS,RP0     ;**cambio al banco 1
          bcf STATUS,RP1

          bcf PIR1,ADIF      ;Flag de final de conversión del convertidor
A/D*** el
          convertidor no ha finalizado
          bsf STATUS,RP0     ;**cambio al banco 1
          bcf STATUS,RP1
  
```

CAPÍTULO IV PROGRAMACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS.

```

movlw b'00000100' ;configurar los bit del registro TXSTA
movwf TXSTA ;(habilita transmisión y alta velocidad)

movlw .103 ;constante para generar la velocidad de tx
movwf SPBRG

bcf STATUS,RP0 ;**cambio al banco 0
bcf STATUS,RP1

;(2).....HABILITACIÓN DE INTERRUPTONES

movlw b'11000000' ;Bit7 habilitación de las interrupciones generales
movwf INTCON ;Bit6 habilitación de interrupciones de los
; periféricos que no controla con el registro INTCON

bsf STATUS,RP0 ; **cambio al banco 1
bsf PIE1,RCIE ;habilitación de la interrupción por rx
bcf STATUS,RP0 ;**cambio al banco 0

movlw b'10010000' ;configuración del registro de recepción serie
movwf RCSTA

;(3).....RUTINA DE RECEPCIÓN DE DATO PARA ELEGIR CANAL A ADQUIRIR

LOOP bcf STATUS,RP0 ;**cambio al banco 0
bcf STATUS,RP1

btss PRUEBA,0 ;testear el Bit0 de prueba, sale del loop si es 1
goto LOOP
goto DATOVALIDO

;(4).....SUBROUTINA PARA COMPROBAR SI EL DATO RECIBIDO ES VÁLIDO

DATOVALIDO bcf STATUS,RP0 ;**cambio de banco 0
bcf STATUS,RP1
movf DATORX,w ;SELECCIONAR CANAL CERO
xorlw b'00110000'
btss STATUS,Z ;testear el BitZ de STATUS, sale si es 1 y va a

TEST2 goto TEST2
CH0 movlw b'01000001' ;Si el BitZ es cero carga la literal a la variable
ADCON movwf ADCON
goto CONVERSION ;Va a la rutina del convertidor A/DC &&&&&

TEST2 movf DATORX,w ;SELECCIONAR CANAL UNO
xorlw b'00110001'
btss STATUS,Z ;testear el BitZ de STATUS, sale si es 1 y va a

TEST3 goto TEST3
CH1 movlw b'01001001' ;Si el BitZ es cero carga la literal a la variable
ADCON movwf ADCON
goto CONVERSION ;Va a la rutina del convertidor A/DC &&&&&

TEST3 movf DATORX,w ;SELECCIONAR CANAL DOS
xorlw b'00110010'
btss STATUS,Z ;testear el BitZ de STATUS, sale si es 1 y va a

TEST4 goto TEST4
CH2 movlw b'01010001' ;Si el BitZ es cero carga la literal a la variable
ADCON movwf ADCON
goto CONVERSION ;Va a la rutina del convertidor CAD &&&&&

TEST4 movf DATORX,w ;SELECCIONAR CANAL tres
xorlw b'00110011'
btss STATUS,Z ;testear el BitZ de STATUS, sale si es 1 y regresa
return ;retorno de subrutina
CH3 movlw b'01011001'

```


CAPÍTULO IV PROGRAMACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS.

```

ADCON      movwf  ADCON      ;Si el BitZ es cero carga la literal a la variable
           goto   CONVERSION ;Va a la rutina del convertidor A/DC &&&&&

;(5)....Rutina del convertidor A/DC

CONVERSION bcf     STATUS,RP0 ;**cambio al banco 0
           bcf     STATUS,RP1

ADCON0     movf   ADCON,w     ;mover la variable ADCON al registro w
           movwf  ADCON0     ;mover el registro w a la dirección F al registro

           clrf   delay      ;limpia la variable delay

funcion ret1
           ret1                ;tiempo de adquisición del condensador
           decfsz delay,f     ;decrementa la variable delay
           goto   ret1        ;si no ha acabado de decrementar regresa a la

           bsf   ADCON0,GO    ;se limpia la variable delay
           clrf  delay

           movlw b'00001000' ;se mueve la literal en w
           movwf delay        ;se carga la literal en la variable delay
           ret2
           decfsz delay,f     ;decrementa la variable delay

           goto  ret2         ;si no ha acabado de decrementar regresa a la

sigue      btfsz  ADCON0,GO    ;verifica si ha terminado la conversión
           goto  sigue        ; si no ha terminado regresa a la función sigue

           bsf   STATUS,RP0    ;**cambio al banco 1
           movf  ADRESL,w     ;mueve a w el registro ADRESL
           bcf   STATUS,RP0    ;**cambio al banco 0
           movwf PORTB       ;mueve lo que hay en W AL PUERTO B

           movf  ADRESH,w     ;mueve a W el registro ADRESH
           movwf PORTC       ;mueve lo que hay en W AL PUERTO C
           movlw b'00000001' ;mover la literal al registro W para seleccionar las

salidas del
           movwf PORTD        ;del PORTD
           movf  ADRESH,w     ;***mueve a W la parte alta del resultado***
           movwf DATOC_H     ;mueve de W a DATOC_H
           bsf   STATUS,RP0    ;**cambio al banco 1
           bcf   STATUS,RP1
           movf  ADRESL,w     ;***mueve a W la parte baja del resultado***
           bcf   STATUS,RP0    ;CAMBIO DE BANCO
           movwf DATOC_L     ;mueve de W a DATOC_H

;(6)....RUTINA PARA LA DECODIFICACIÓN BINARIA-BCD EMPAQUETADO

BITS16_BCD bcf     STATUS,C     ;limpiar el bit de acarreo
           clrf   CONTADOR    ;limpia el contador
           movlw b'00010000' ;inicia el contador en 16 (conversión de binario a

bcd
           movwf CONTADOR
           clrf  BCD_0        ;limpia la variable bcd_0
           clrf  BCD_1        ;limpia la variable bcd_1
           clrf  BCD_2        ;limpia la variable bcd_2

LOOP_16    rlf   DATOC_L,F     ;corrimiento a la izquierda
           rlf   DATOC_H,F     ;corrimiento a la izquierda
           rlf   BCD_2,F      ;corrimiento a la izquierda
           rlf   BCD_1,F      ;corrimiento a la izquierda
           rlf   BCD_0,F      ;corrimiento a la izquierda
           decfsz CONTADOR,F  ;decrementa el contador
           goto  AJUSTE       ;ir ha ajuste
           goto  ASCII        ;^^^si el contador es cero va ala rutina ASCII^^^
           return            ;regresa de la subrutina

```

CAPÍTULO IV PROGRAMACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS.

```

AJUSTE          movlw   BCD_2           ;mover la literal a la variable bcd2
                movwf   FSR           ;direccionamiento indirecto por medio de la
                ;          dirección que contiene w
                call    AJUSTE_BCD     ;ir al loop AJUSTE
                incf    FSR,F         ;incrementar a f
                call    AJUSTE_BCD     ;llama a la rutina AJUSTE_BCD
                incf    FSR,F         ;se incrementa el numero de la dirección para
                ;          direccionamiento indirecto
                call    AJUSTE_BCD     ;llama a la rutina AJUSTE_BCD
                goto    LOOP_16       ;regresa a la subrutina LOOP_16

AJUSTE_BCD     movf    INDF,W         ;se carga el contenido de la dirección
correspondiente en w
                ddw    0x03          ;se suma 03 H al contenido de la dirección
correspondiente
                movwf   TEMPORAL      ;el resultado de la suma se guarda en la variable
temporal
                btfsz  TEMPORAL,3     ;comprueba si el bit 3 de la variable temporal es
cero
                movwf   INDF          ;si no es cero se carga el resultado de la suma en
                ;          la direccion correspondiente
                movf    INDF,W         ;el contenido de la dirección correspondiente se
carga en W
                addlw  0x30          ;se suma 30 H al contenido de la dirección
correspondiente
                movwf   TEMPORAL      ;el resultado se almacena en la variable temporal
                btfsz  TEMPORAL,7     ;comprueba si el BIT 7 de la variable temporal es
cero
                movwf   INDF          ;guardamos el resultado de la suma en la
                ;          direccion correspondiente
                return                ;regresa a AJUSTE

; (7)....RUTINA CODIFICACIÓN DEL DATO ADQUIRIDO DE BCD A CODIGO ASCII

ASCII          movf    BCD_2,w       ;mover BCD_2 al registro W
BCD_2          andlw   b'00001111'    ;multiplicamos por 0xF para desempaquetar el

BYTE BCD_2    addlw   b'00110000'     ;le sumamos un 48 bin. para hacer la conversión
BCD           BCD DESEMPAQUETADO - ASCII

                movwf   C0           ;el resultado lo guardamos en la variable C0

                ret3
                ret4

                swapf   BCD_2        ;intercambia los bits mas significativos por los
                ;          menos significativos
                movf    BCD_2,w       ;mover BCD_2 al registro W
                andlw   b'00001111'    ;multiplicamos por 0xF para desempaquetar el

byte BCD_2    addlw   b'00110000'     ;le sumamos un 48 bin. para hacer la conversión
                BCD DESEMPAQUETADO - ASCII
                movwf   C1           ;el resultado lo guardamos en la variable C1

                movf    BCD_1,w       ;mover BCD_1 al registro W
                andlw   b'00001111'    ;multiplicamos por 0xf para desempaquetar el

BYTE BCD_2    addlw   b'00110000'     ;le sumamos un 48 bin. para hacer la conversión
                BCD DESEMPAQUETADO - ASCII
                movwf   C2           ;el resultado lo guardamos en la variable C2

                ret5
                ret6
                decfsz  delay,f
                goto    ret5
                decfsz  delay,f
                goto    ret6
    
```

CAPÍTULO IV PROGRAMACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS.

```

                goto    ret6

                swapf   BCD_1           ;intercambia los bits mas significativos por los
                menos significativos
                movf    BCD_1,w         ;mover BCD_2 al registro W
                andlw   b'00001111'    ;multiplicamos por 0xF para desempaquetar el
byte BCD_2
                addlw   b'00110000'    ;le sumamos un 48 bin. para hacer la conversión
                BCD DESEMPAQUETADO - ASCII
                movwf   C3              ;el resultado lo guardamos en la variable C3

                movf    BCD_0,w         ;mover bcd_0 al registro W
                andlw   b'00001111'    ;multiplicamos por 0xF para desempaquetar el
byte BCD_2
                addlw   b'00110000'    ;le sumamos un 48 bin. para hacer la conversión
                BCD DESEMPAQUETADO - ASCII
                movwf   C4              ;el resultado lo guardamos en la variable c4

                ret7
                decfsz  delay,f
                goto    ret7
                ret8
                decfsz  delay,f
                goto    ret8

                swapf   BCD_0           ;intercambia los bits mas significativos por los
                menos significativos
                movf    BCD_0,w         ;mover BCD_2 al registro W
                andlw   b'00001111'    ;multiplicamos por 0xF para desempaquetar el
byte BCD_2
                addlw   b'00110000'    ;le sumamos un 48 bin. para hacer la conversión
                BCD DESEMPAQUETADO - ASCII
                movwf   C5              ;el resultado lo guardamos en la variable C5

                ;(8)...RUTINA DE TRANSMISIÓN

TXSERIE
                bsf     STATUS,RP0      ;**cambio al banco 1
                bsf     TXSTA,TXEN     ;habilita la tx con el bit TXEN
                bcf     STATUS,RP0

                movf    C3,w
                movwf   TXREG

                bsf     STATUS,RP0      ;**cambio al banco 1
                bcf     STATUS,RP1

COMP_TX
                btfsz  TXSTA,TRMT      ;comprueba si acabo de tx
                goto   COMP_TX

                bcf     STATUS,RP0      ;**cambio al banco 0
                movf    C2,w
                movwf   TXREG

                bsf     STATUS,RP0      ;**cambio al banco 1
                bcf     STATUS,RP1

COMP_TX1
                btfsz  TXSTA,TRMT      ;comprueba si acabo de tx
                goto   COMP_TX1

                bcf     STATUS,RP0      ;**cambio al banco 0
                movf    C1,w           ;
                movwf   TXREG

                bsf     STATUS,RP0      ;**cambio al banco 1
                bcf     STATUS,RP1

COMP_TX2
                btfsz  TXSTA,TRMT      ;comprueba si acabo de tx
                goto   COMP_TX2

```

CAPÍTULO IV PROGRAMACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS.

```

                                bcf     STATUS,RP0           ;**cambio al banco 0
                                movf   C0,w
                                movwf  TXREG

                                bsf     STATUS,RP0           ;**cambio al banco 1
                                bcf     STATUS,RP1

COMP_TX3                        btfss  TXSTA,TRMT           ;comprueba si acabo de tx
                                goto    COMP_TX3

                                bcf     TXSTA,TXEN
                                bcf     STATUS,RP0
                                clrf   PRUEBA

                                call   PDELAY

                                goto    INICIO               ;regresa al inicio del programa

                                ;SUBROUTINA DE RETARDO DE 1 SEG.

PDELAY                          movlw  D'3'
                                movwf  CounterC
                                movlw  D'24'
                                movwf  CounterB
                                movlw  D'168'
                                movwf  CounterA
LOOP                              decfsz CounterA,1
                                goto    LOOP
                                decfsz CounterB,1
                                goto    LOOP
                                decfsz CounterC,1
                                goto    LOOP
                                return

END                              ;fin del programa
```

4.2 MÓDULO DE PROGRAMACIÓN DE LA PC

Las tareas que debe realizar la computadora que se conecte al sistema de adquisición de datos construido son:

1. Mandar por puerto serie que canal se quiere adquirir del microcontrolador.
2. Leer la respuesta que manda el microcontrolador (código ASCII).
3. Convertir el código ASCII recibido al valor real del voltaje de entrada del sistema de adquisición de datos.
4. Graficar en pantalla el voltaje real calculado.
5. Salvar los datos adquiridos en un archivo de texto.

La Figura 4.5 muestra el diagrama de flujo de las tareas que se realizarán en la computadora y la relación que tiene una con la otra.

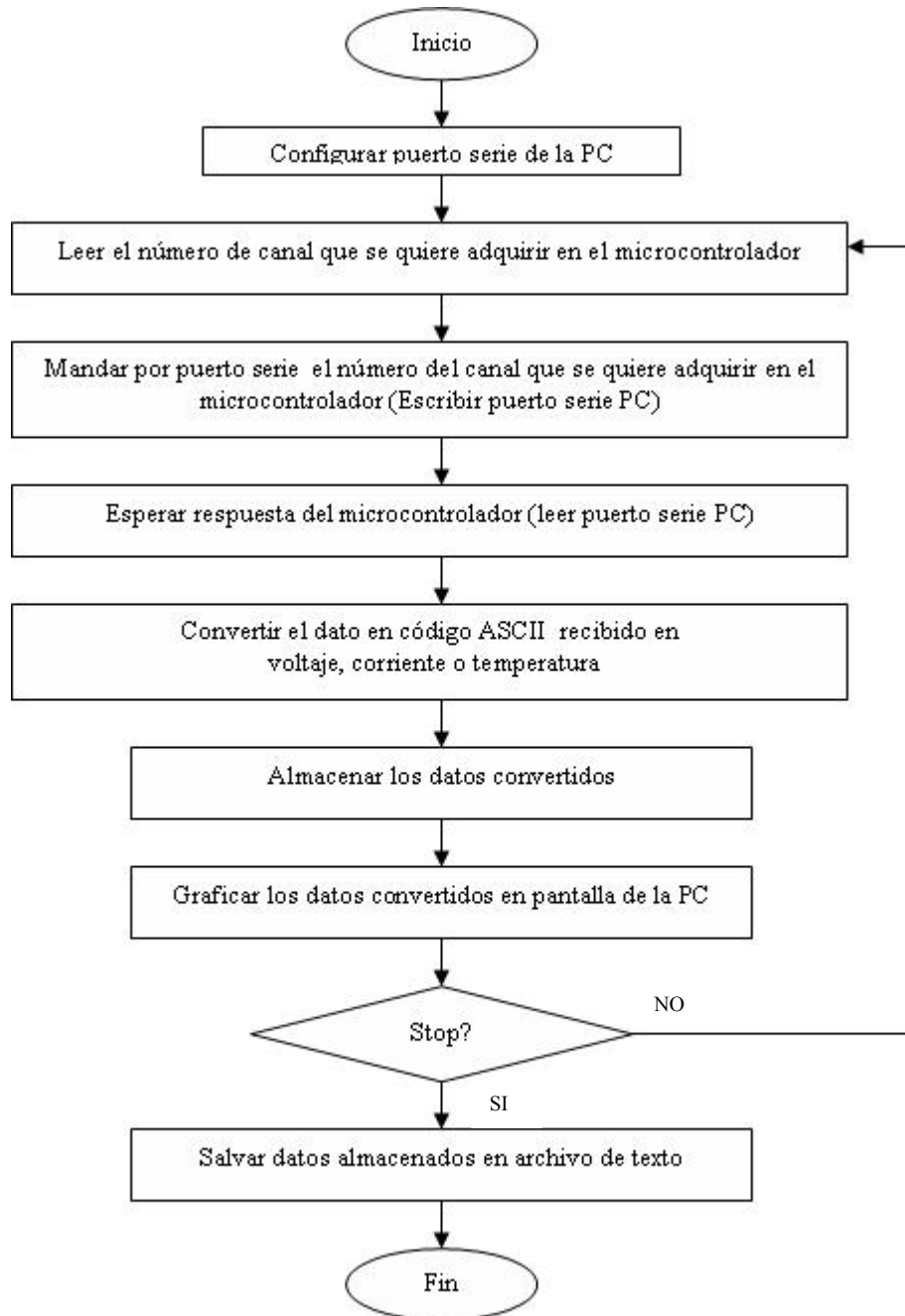


FIG 4.5. Diagrama de flujo de las principales tareas que debe realizar el programa de la PC correspondiente al sistema de adquisición de datos construido.

El programa que se utilizó para implementar el diagrama de flujo es LabView debido a que este programa es un software especializado para adquisición de datos permitiendo fácilmente la comunicación serie además del graficado por pantalla. A continuación se muestra el programa de comunicación, lectura, conversión y graficado del valor adquirido del microcontrolador.

gráficas de los 4 canales a leer. Se observa también las funciones utilizadas para almacenar los datos en la parte inferior.

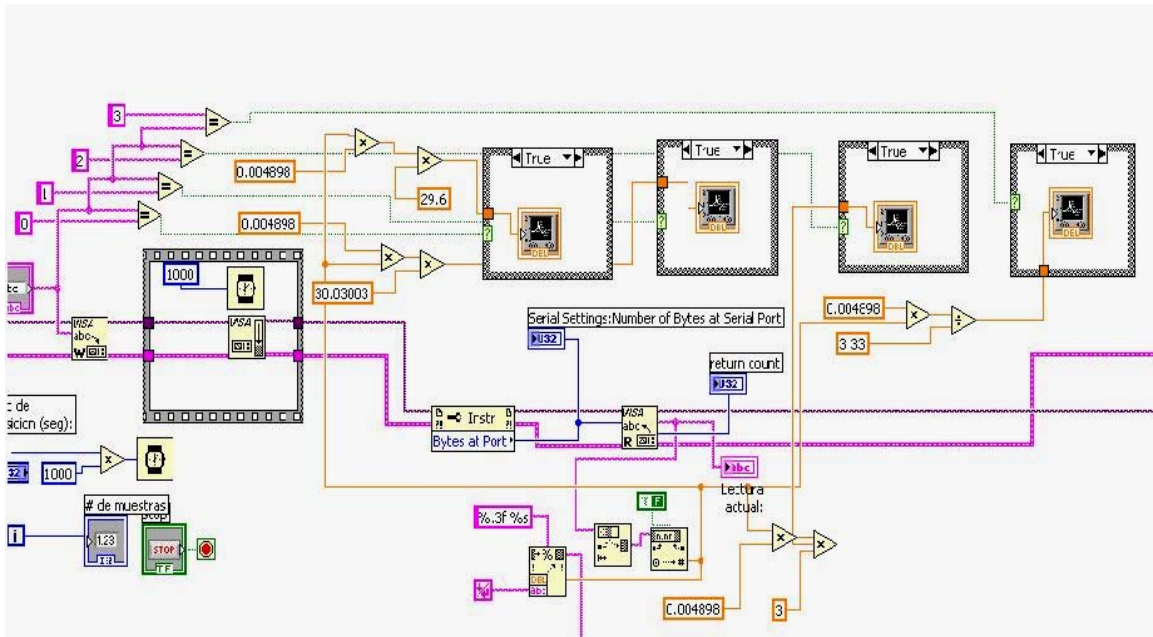


FIG. 4.7 Programa en LABVIEW correspondiente al graficado de los 4 canales.

Otro parte del programa muy importante es el poder salvar los datos almacenados, para ello se utilizo la función “open and create file” de LABVIEW. Esta función abre un archivo y pregunta por medio de una ventana el nombre y en donde se quiere almacenar los datos. La Figura 4.8 muestra el programa que realiza la función de salvar datos y la ventana de Save donde se introduce el nombre del archivo a salvar.

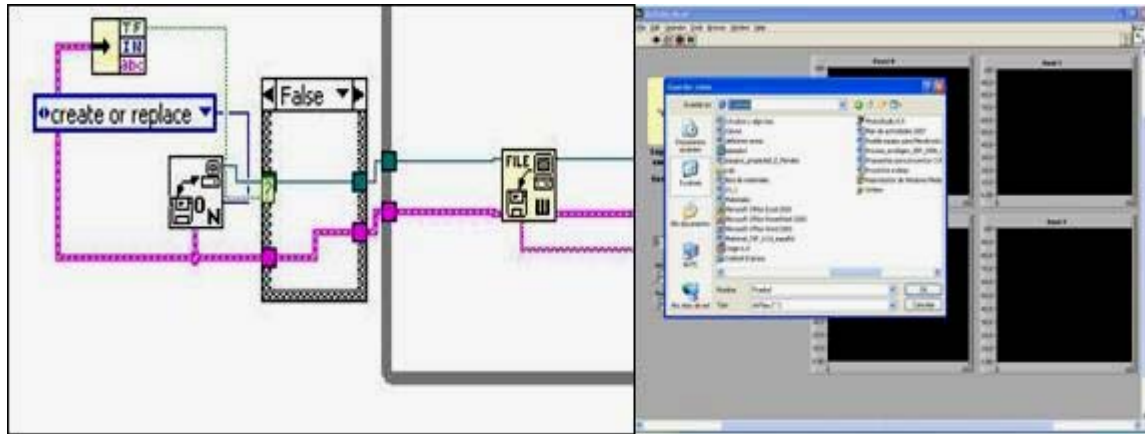


FIG. 4.8 Programa en LABVIEW correspondiente a las funciones de “save” y ventana donde se introduce nombre y lugar donde se salvaran los datos.

PROGRAMA GENERAL DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE 4 CANALES

Por último se unieron los programas que realizan tareas específicas y se forma el programa general de lectura, conversión y graficado de los 4 canales del sistema de adquisición de datos construido con un PIC16F877. La Figura 4.9 muestra la pantalla final de visualización en la PC.

Se observan 4 graficas correspondientes a cada uno de los canales, también se observan los valores de los parámetros de la configuración del puerto serie. Se tiene un indicador donde se introduce por teclado cual es el numero de canal que se quiere visualizar, un indicador donde se cuenta el número de adquisiciones que se llevan y un indicador del valor del código ASCII recibido.

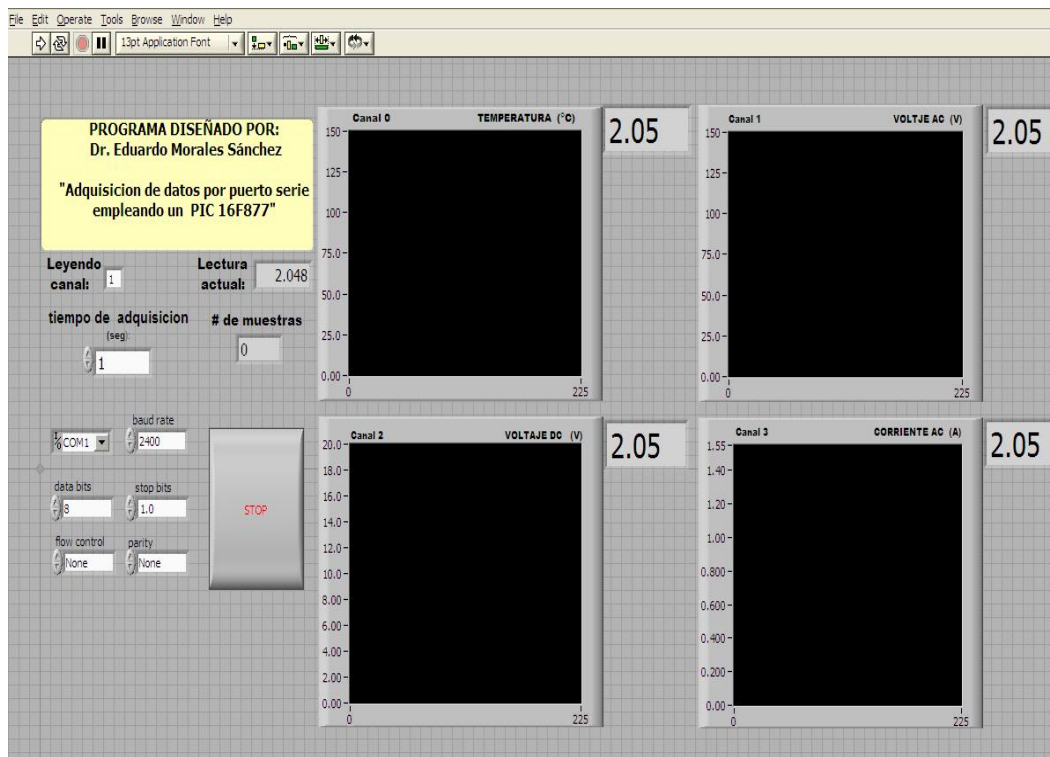


FIG. 4.9 Pantalla principal del programa desarrollado en LABVIEW para el sistema de adquisición de datos de 4 canales construido.

CAPÍTULO V: PRUEBAS DE LABORATORIO**INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se desarrollan las pruebas necesarias para comprobar el correcto funcionamiento del Sistema de adquisición de datos de cuatro canales. Todas las pruebas están orientadas a obtener los valores máximo y mínimo de todas las variables a medir y que el sistema puede adquirir.

Estas pruebas consisten en:

- La **simulación** de sensores y acondicionadores de señal utilizando el software MULTISIM 2001. En esta prueba se simulan al sensor y acondicionador de cada variable a adquirir trabajando juntos.
- **Comprobar** la simulación mediante el uso de un osciloscopio. Para un mejor entendimiento de esta parte, en todas las imágenes del osciloscopio, la línea amarilla representa al canal 1 y la línea azul al canal 2 del mismo. El osciloscopio que se utilizó en esta prueba es el modelo GDS-8200 de la marca GW Instek.
- **Adquirir** Temperatura, Voltaje AC, Voltaje DC y Corriente AC y comparar los resultados gráficos obtenidos con el software LABVIEW con los previstos para comprobar el buen funcionamiento del sistema.

5.1 PRUEBAS DEL CANAL DE ADQUISICIÓN DE TEMPERATURA**• SIMULACIÓN**

VALOR MÍNIMO: La Figura 5.1 muestra las salidas de un osciloscopio virtual de dos canales. La línea de color rojo representa la salida del circuito LM35 (0 V) que se utilizó como sensor de temperatura. Posteriormente esta señal entra al acondicionador la cual la amplifica con una ganancia de 3.33 para que pueda ser

ingresada al PIC. La salida del acondicionador de señal esta representada en la gráfica con la línea de color verde.

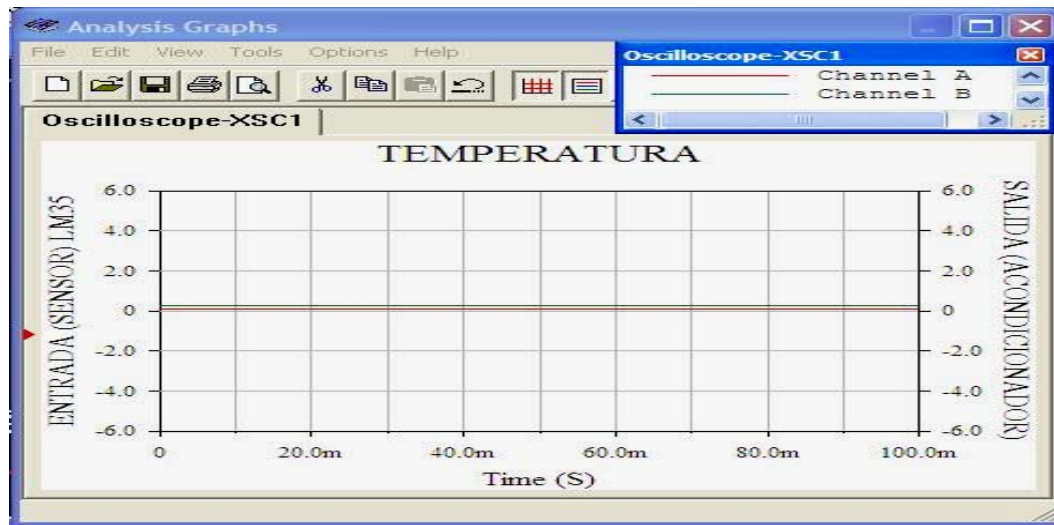


FIG. 5.1 Valor mínimo de Temperatura adquirido en la simulación.

VALOR MÁXIMO: Igual que en la figura anterior, en la Figura 5.2 la línea de color rojo representa la salida del circuito LM35 y la línea verde la salida del acondicionador de señal. Como valor máximo de salida del LM35 tenemos 1.5 V (150° C) por lo que a la salida del acondicionador de señal tenemos un valor de 5 V. este valor es el resultado de amplificar con una ganancia de 3.33 la señal de salida máxima del sensor.

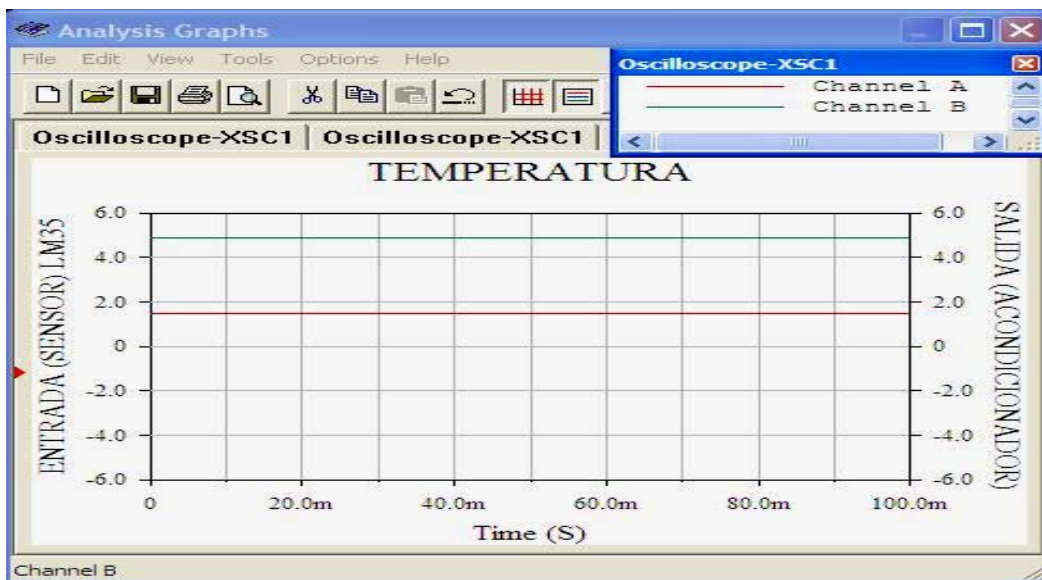


FIG. 5.2 Valor máximo de Temperatura adquirido en la simulación.

- **COMPROBACIÓN**

VALOR MÍNIMO: En esta prueba, se comprobó de manera real el valor mínimo de temperatura que el sistema de adquisición mide. La Figura 5.3 muestra las salidas de un osciloscopio de dos canales. La idea de esta prueba era medir una temperatura de 0 °C (temperatura mínima), por lo que se utilizó un trozo de hielo. Por lo tanto, a la salida del sensor se tuvo una salida de 0 V DC y por consiguiente a la salida del acondicionador también se tuvo 0 V DC.



FIG. 5.3 Valor mínimo de Temperatura comprobado con el osciloscopio.

VALOR MÁXIMO: En la realización de esta prueba, se utilizó un foco de 100 W encendido para medir su temperatura, aproximando el sensor hasta tener una temperatura de 100 °C para cumplir con la especificación de valor máximo de temperatura. En la Figura 5.4 la línea amarilla es la salida del LM35, la cual es 1 V DC. Este valor se obtiene debido a la relación de este circuito la cual es de 10.0 mV/°C. La línea azul representa la salida acondicionada, la cual está amplificada 3.33 veces por lo tanto se obtiene una salida de 3.33 V DC. Hay que recordar que el voltaje máximo de entrada al convertidor A/D del PIC16F877 es de 5 V DC. Por lo tanto se tiene un rango mayor para poder medir temperaturas mayores a 100 °C. Con este sistema de adquisición la temperatura máxima que se puede adquirir es de 150 °C.



FIG. 5.4 Valor máximo de Temperatura comprobado con el osciloscopio.

- **ADQUISICIÓN**

VALOR MÍNIMO: Como se mencionó anteriormente, se le tomó la temperatura a un trozo de hielo para poder medir 0°C . En la Figura 5.5 se puede ver la grafica de adquisición de temperatura. El valor de la señal que se muestra es de 0.32°C . Este valor se comparó con el que adquirido por un termómetro digital BK TOOL KIT 2700A, el cual fue de 0.57°C . Con esto se cumple el rango de error de la especificación de diseño el cual es 0.5°C .

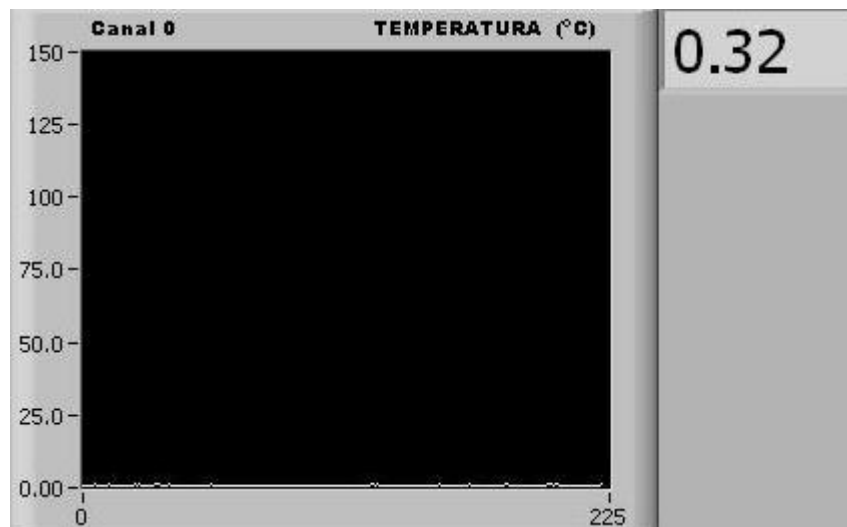


FIG. 5.5 Valor mínimo de Temperatura adquirido y graficado con LABVIEW.

VALOR MÁXIMO: Para poder adquirir el valor máximo de temperatura que pedían las especificaciones, el sensor fue aproximado a un foco de 100 W midiendo una temperatura de 120.33 °C como se observa en la figura 5.6. Este resultado también fue comparado con el termómetro digital mencionado anteriormente. El rango de error en la adquisición de temperatura fue de 0.3 °C, con lo que se cumple con el rango de precisión que marca las especificaciones del proyecto el cual es 0.5 °C.

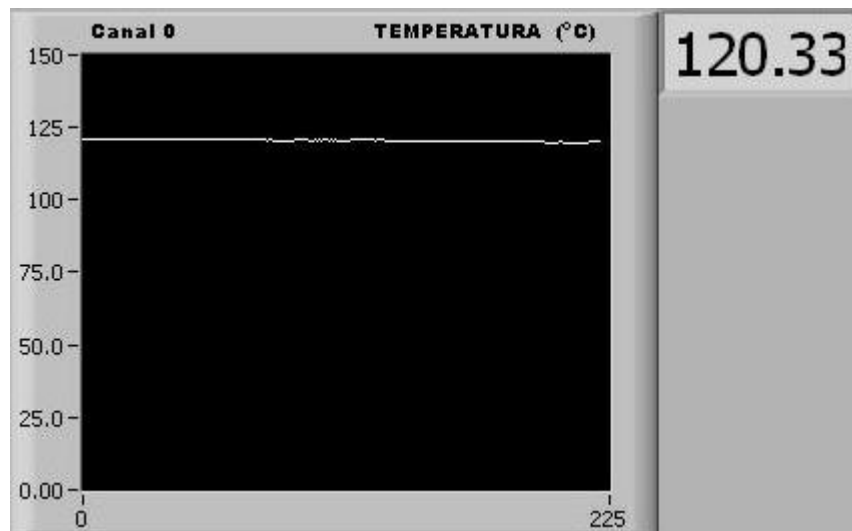


FIG. 5.6 Valor máximo de Temperatura adquirido y graficado con LABVIEW.

5.2 PRUEBAS DEL CANAL DE ADQUISICIÓN DE VOLTAJE AC

- **SIMULACIÓN**

VALOR MÍNIMO: En la gráfica de la Figura 5.7 la línea roja representa la entrada mínima (0 V AC) a un divisor de tensión que actúa como sensor de voltaje AC. La línea verde representa la salida del acondicionador de la señal la cual debe ser de 0 V DC.

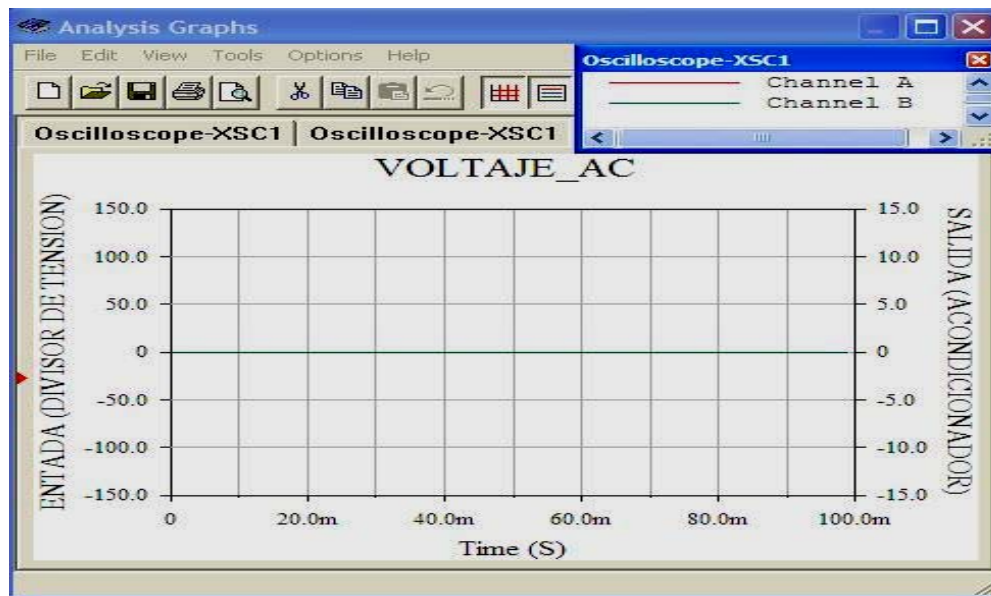


FIG. 5.7 Valor mínimo de Voltaje AC adquirido en la simulación.

VALOR MÁXIMO: En la Figura 5.8, la línea roja representa el voltaje de línea, el cual es de 127 V AC y que es la señal de entrada al divisor de tensión. La línea verde representa la salida del acondicionador de señal.

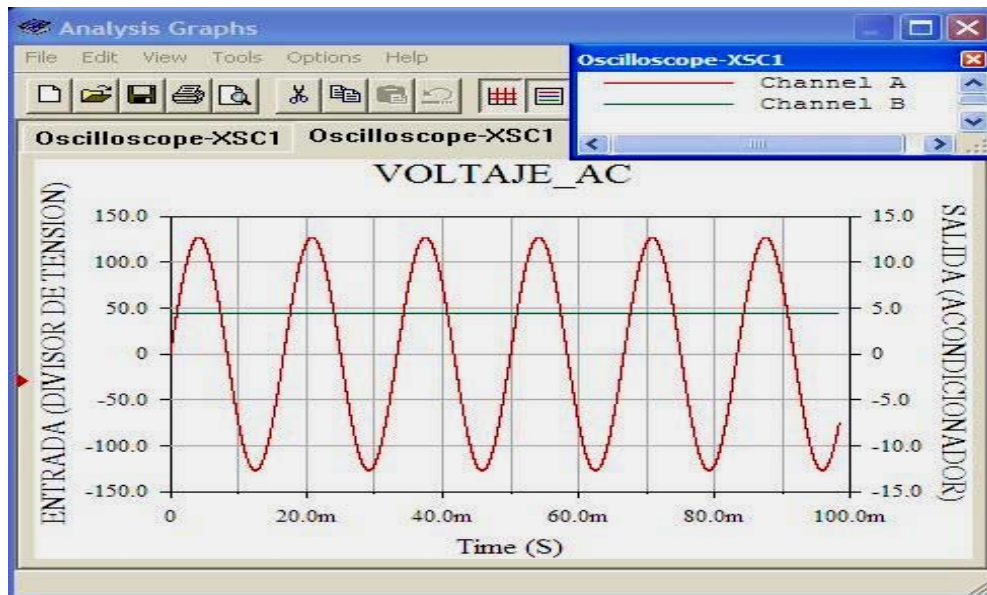


FIG. 5.8 Valor máximo de Voltaje AC adquirido en la simulación.

- **COMPROBACIÓN**

VALOR MÍNIMO: En la realización de esta prueba se utilizó un generador de funciones el cual proporcionó a la entrada del sensor una señal sinusoidal de 60 Hz. con una amplitud de 0 V AC. En la Figura 5.9 se muestran la señal de entrada del sensor así como la salida del acondicionador de señal. Ambas señales tienen un valor de cero volts.



FIG. 5.9 Valor mínimo de Voltaje AC comprobado con el osciloscopio.

VALOR MÁXIMO: Como se mencionó en las especificaciones, el voltaje AC máximo que se tiene que adquirir con este sistema es el voltaje de línea. En la Figura 5.10, este voltaje de línea esta representado por la línea amarilla el cual es la señal de salida del sensor. La línea azul representa la salida del acondicionador y como se puede ver, es una señal de voltaje DC, por lo tanto el convertidor A/D del PIC 16F877 ya puede adquirir esta señal sin ser dañado.

VALOR MÁXIMO: Se adquirió el valor del voltaje de línea, el cual, medido con un multímetro, era de 122 V AC. El valor adquirido por el sistema es de 121.49 V AC como se aprecia en la Figura 5.12, por lo que se tiene un rango de error de 0.51 V AC. Con esto se cumple con el margen de error de las especificaciones de sistema, el cual era de 1 V AC.

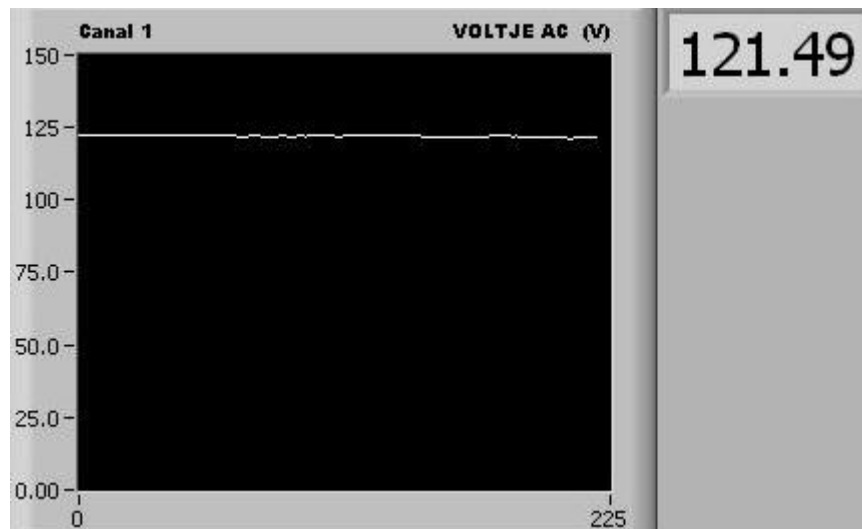


FIG. 5.12 Valor máximo de Voltaje AC adquirido y graficado con LABVIEW.

5.3 PRUEBAS DEL CANAL DE ADQUISICIÓN DE VOLTAJE DC

- *SIMULACIÓN*

VALOR MÍNIMO: En la Figura 5.13 la línea roja representa la entrada mínima (0 Volts DC) a un divisor de tensión que actúa como sensor de voltaje DC. La línea verde representa la salida del acondicionador de la señal la cual debe ser de 0 Volts DC.

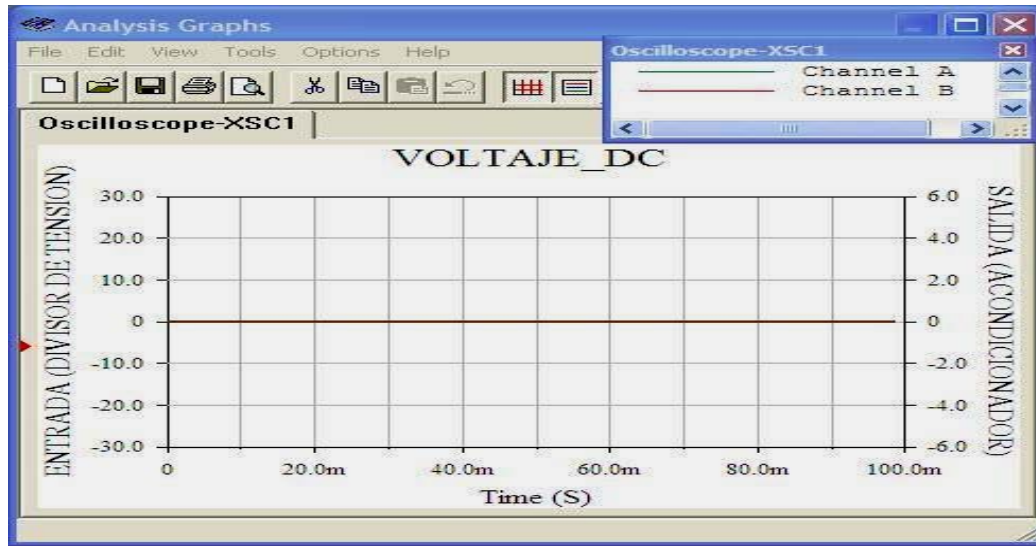


FIG. 5.13 Valor mínimo de Voltaje DC adquirido en la simulación.

VALOR MÁXIMO: En la grafica de la Figura 5.14, la línea roja representa la entrada máxima (15 V DC) al divisor de tensión (sensor de voltaje DC) y la línea roja es la salida del acondicionador de señal, la cual es de 5 V DC, por lo que ya puede ser utilizada por el PIC16F877.

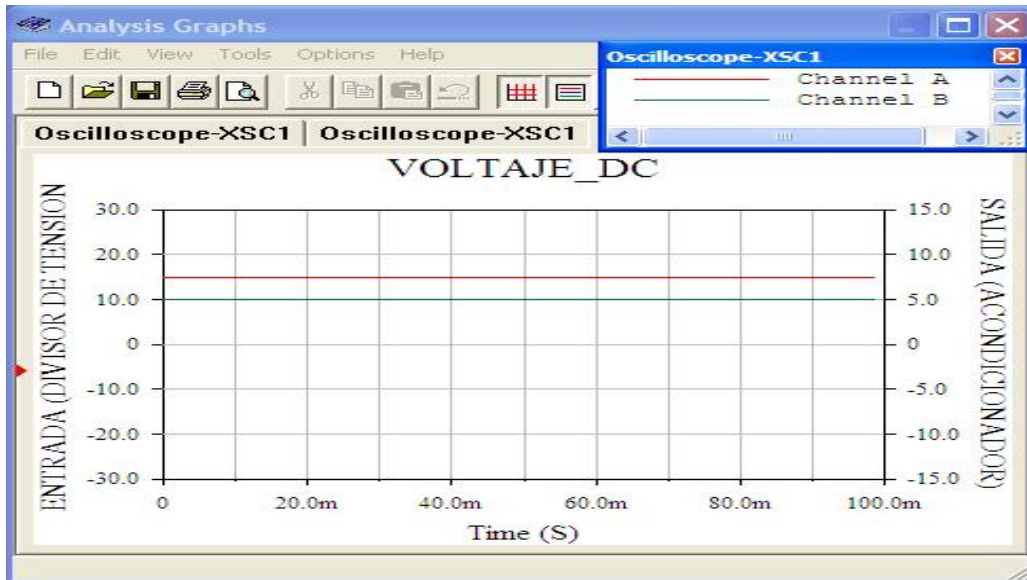


FIG. 5.14 Valor máximo de Voltaje DC adquirido en la simulación.

- **COMPROBACIÓN**

VALOR MÍNIMO: Para la realización de esta prueba, fue utilizada una pila de 9 V DC, la cual fue conectada a un divisor de tensión para poder obtener 0 V DC. Por lo tanto, al tener 0 V DC a la entrada del sensor a la salida del acondicionador también se tuvieron 0 V DC. En la Figura 5.15 se pueden ver que las líneas de los dos canales del osciloscopio tienen un valor de cero.



FIG. 5.15 Valor mínimo de Voltaje DC comprobado con el osciloscopio.

VALOR MÁXIMO: En esta prueba, se pusieron en serie dos pilas, teniendo un voltaje total de 14.3 V DC, el cual se acerca al valor máximo contemplado en las especificaciones. En la Figura 5.16, la línea amarilla representa el valor de entrada al divisor de tensión y la línea azul la salida del acondicionador de señal. A la entrada del sensor se tiene un voltaje de 14.3 V DC y a la salida del acondicionador se tienen 4.74 V DC con lo que se cumple la relación de 3:1 propuesta en el módulo del sensor de Voltaje DC.

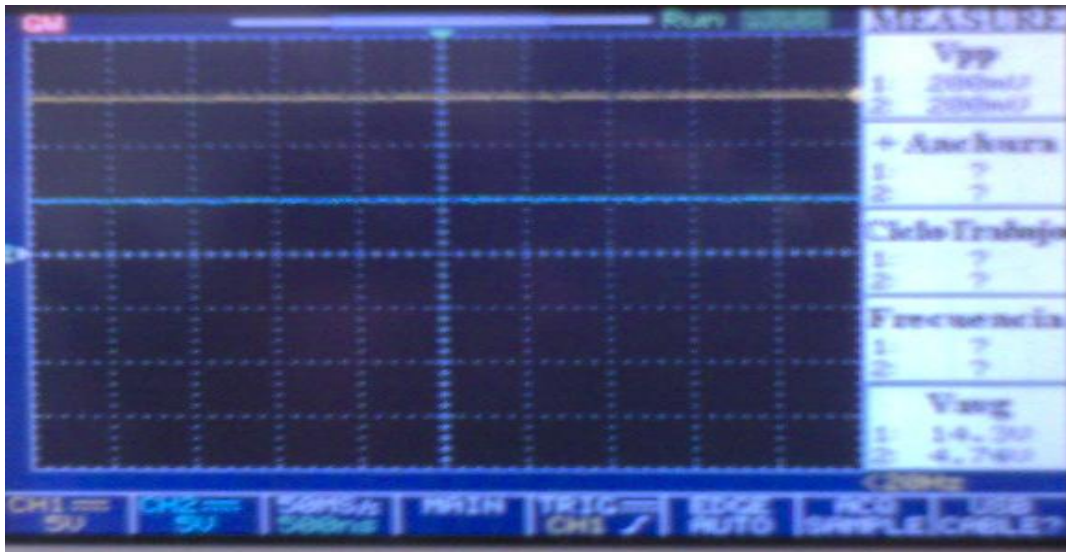


FIG. 5.16 Valor máximo de Voltaje DC comprobado con el osciloscopio.

- **ADQUISICIÓN**

VALOR MÍNIMO: Para poder obtener el valor mínimo se realizó de igual manera que en la comprobación con el osciloscopio del valor mínimo. En la Figura 5.17 se puede observar de manera gráfica y numérica la señal obtenida la cual es de 0 V DC.

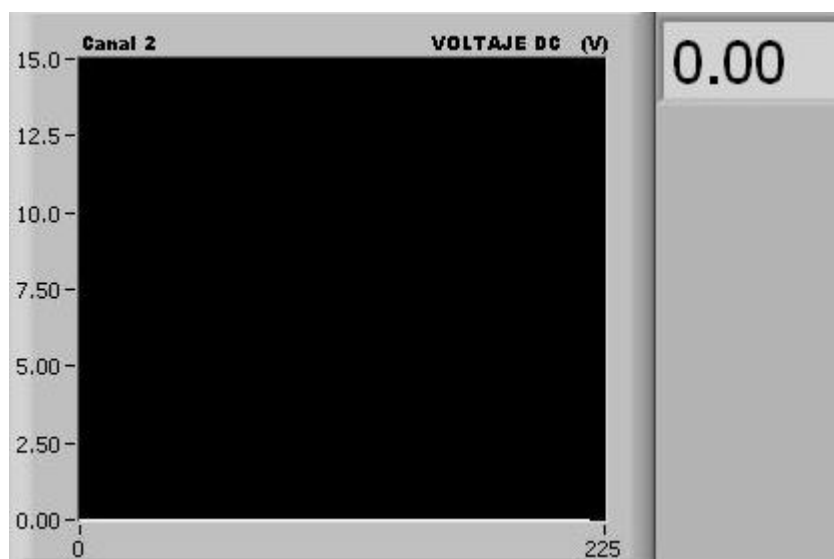


FIG. 5.17 Valor mínimo de Voltaje DC adquirido y graficado con LABVIEW.

VALOR MÁXIMO: Aquí también se realizó la misma prueba que en la comprobación con el osciloscopio del valor máximo. En la Figura 5.18 se puede ver la señal adquirida la cual tiene un valor de 14.4 V DC. Por lo tanto, cumple con el rango de error de las especificaciones el cual era de 0.1 V DC.

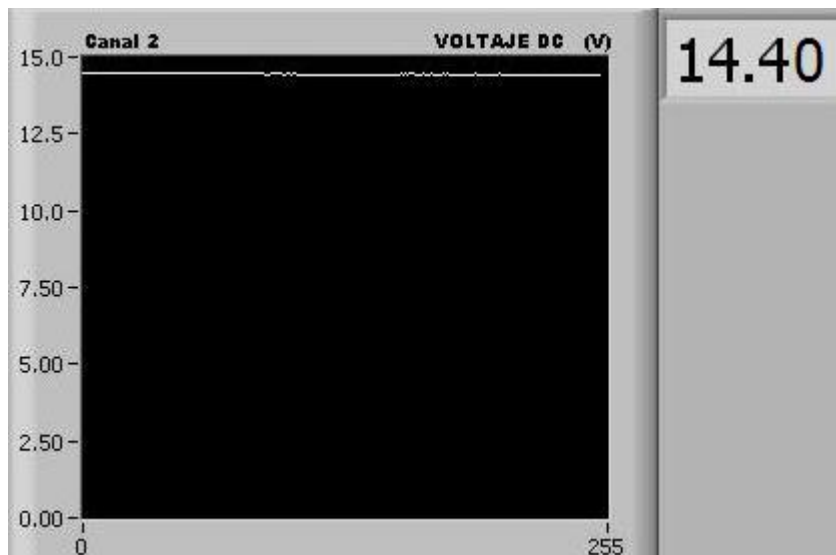


FIG. 5.18 Valor máximo de Voltaje DC adquirido y graficado con LABVIEW.

5.4 PRUEBAS DEL CANAL DE ADQUISICIÓN DE CORRIENTE AC

- *SIMULACIÓN*

VALOR MÍNIMO: Se tiene en la grafica de la Figura 5.19 una entrada de 0 A AC en el sensor de corriente alterna (transformador de corriente) por lo tanto la salida del acondicionador es de 0V DC.

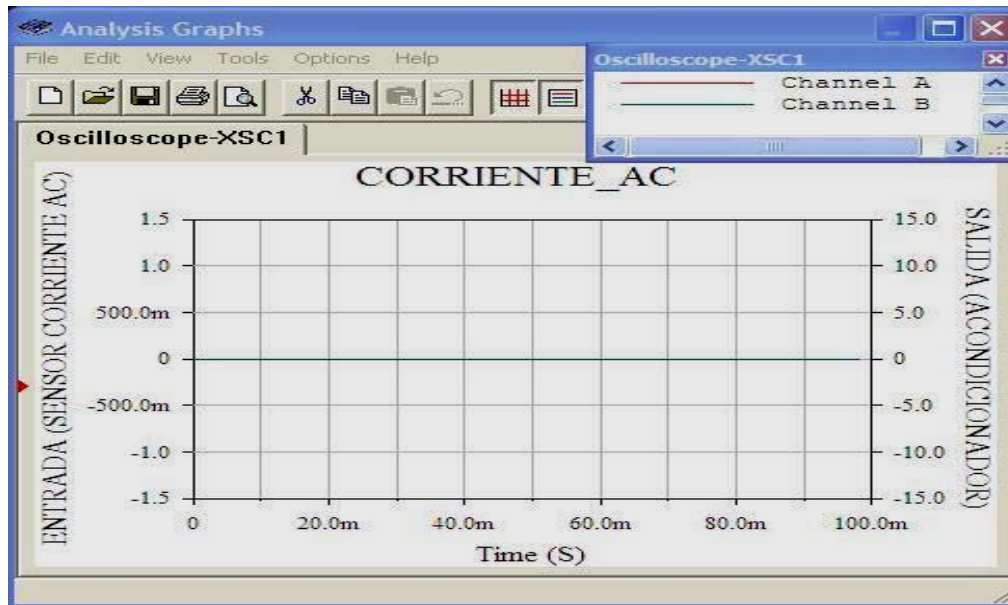


FIG. 5.19 Valor mínimo de Corriente AC adquirido en la simulación.

VALOR MÁXIMO: Como valor máximo de entrada al transformador de corriente tenemos una corriente de 1.5 A AC, por lo que a la salida obtenemos una señal de 5 V DC, como se muestra en la Figura 5.20.

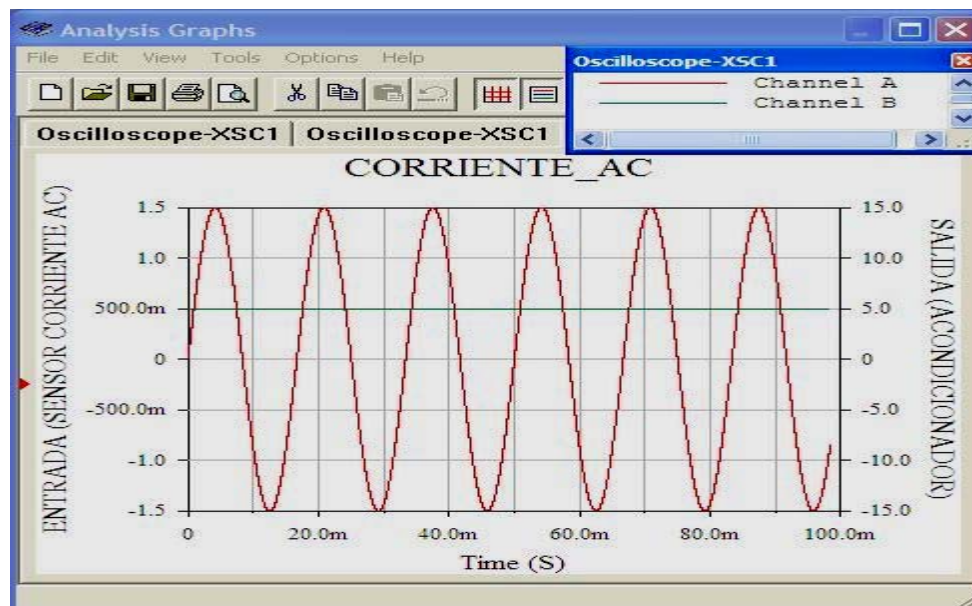


FIG. 5.20 Valor máximo de Corriente AC adquirido en la simulación.

- **COMPROBACIÓN**

VALOR MÍNIMO: Para poder obtener una corriente que se aproximara lo más posible a cero, se colocó una lámpara de halógeno la cual posee una resistencia externa muy grande por lo que aplicando la ley de Ohm se obtuvo una corriente cercana a cero amperes. Por lo tanto, a la salida del sensor se tiene 0 V AC y por consiguiente se tiene 0 V DC a las salida del acondicionador. En la Figura 5.21, se observa lo mencionado.



FIG. 5.21 Valor mínimo de Corriente AC comprobado con el osciloscopio.

VALOR MÁXIMO: Según las especificaciones de diseño del sistema, la corriente máxima a adquirir es de 1.5 A AC. Para medir 1.5 A se conectaron dos focos de 100 W en paralelo, entre fase y neutro. Cada foco demanda una corriente de 0.75 A AC por lo que sumadas demandan una corriente total de 1.5 A AC. En la Figura 5.22 la línea amarilla es el voltaje AC el cual es la salida del sensor y la línea azul representa la salida del acondicionador la cual es una señal ya rectificadas y lista para usarse por el microcontrolador.

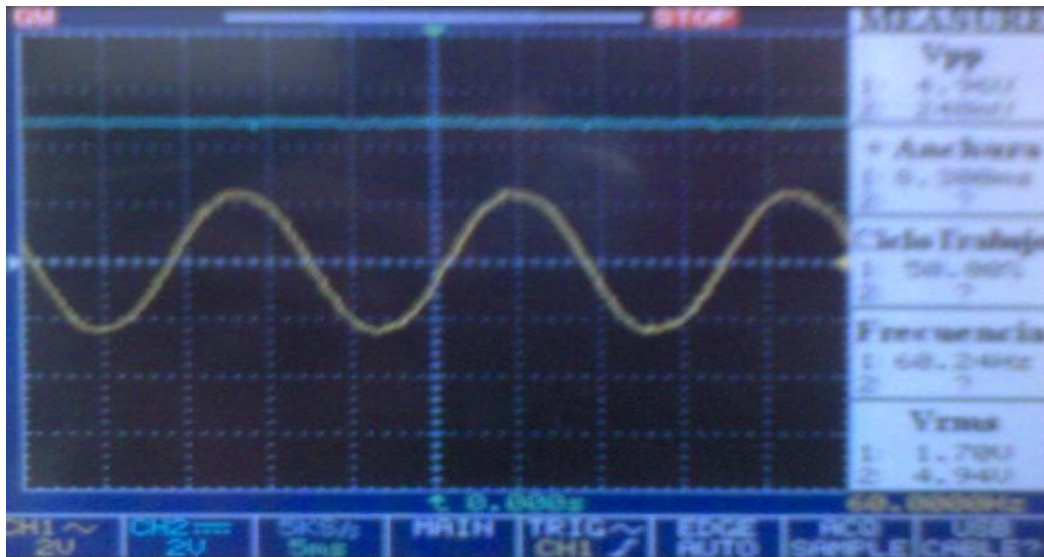


FIG. 5.22 Valor máximo de Corriente AC comprobado con el osciloscopio.

- **ADQUISICIÓN**

VALOR MÍNIMO: De igual forma que en la comprobación, se adquirió el valor mínimo de corriente AC utilizando una lámpara de halógeno. La Figura 5.23 muestra el valor adquirido el cual es de 0 A AC.



FIG. 5.23 Valor mínimo de Corriente AC adquirido y graficado con LABVIEW.

VALOR MÁXIMO: Como se mencionó anteriormente, la corriente máxima a medir fue de 1.5 A AC. En la Figura 5.24 se puede ver que el sistema fue capaz de adquirir esta corriente, con la que se cumple con la especificación de diseño.



FIG. 5.24 Valor máximo de Corriente AC adquirido y graficado con LABVIEW.

Para finalizar, se muestra en la Tabla 5.1 la precisión, exactitud y sensibilidad para cada canal de adquisición, excepto el de Corriente AC por las razones que se exponen en el capítulo de conclusiones.

CANAL DE ADQUISICIÓN	PRECISIÓN	EXACTITUD	SENSIBILIDAD
Temperatura	$\pm 0.25 \text{ }^\circ\text{C}$	$\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C max.}$	$0.144 \text{ }^\circ\text{C}$
Voltaje AC	$\pm 0.5 \text{ V}$	$\pm 0.5 \text{ V}$	0.147 V
Voltaje DC	$\pm 0.005 \text{ V}$	$\pm 0.05 \text{ V}$	0.0146 V

TABLA 5.1 Precisión, exactitud y sensibilidad para cada canal del sistema de adquisición.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES**6.1 CONCLUSIONES**

En conclusión, se diseñó y construyó un sistema de adquisición de datos de 4 canales de entrada analógicos para PC basado en un microcontrolador PIC16F877 con comunicación serie RS-232 para uso general en los laboratorios del CIAII de bajo costo (\$450.00 aproximadamente, no incluyendo el valor de la fuente).

También se diseñó y construyó acondicionadores de señal para cada canal analógico de entrada de acuerdo a los objetivos particulares y especificaciones de diseño.

Igualmente se diseñó y elaboró el programa en lenguaje ensamblador para realizar la comunicación serie RS-232 para lograr la adquisición de datos con el microcontrolador PIC16F877.

La medición de Temperatura se realiza con un sensor de temperatura del tipo CI (LM35) con un error de 0.3 ° C pudiendo medir un valor mínimo de 0 ° C y uno máximo de 150° C.

Para la medición de Voltaje AC se ocupa un divisor de tensión teniendo un error de 0.51 VAC. El valor mínimo medido fue de 0 VAC y el máximo de 150 V AC.

Igualmente, en la medición de Voltaje DC se utilizo un divisor de tensión pudiendo medir 0 V DC como mínimo y 15 V DC como máximo. El rango de error en esta medición es de 0.1 V DC.

Todos los rangos de error anteriores cumplen con las especificaciones de diseño, el objetivo general y los objetivos específicos planteados al principio.

En la medición de Corriente AC se utilizó un transformador de corriente como sensor, debido a que ofrece aislamiento magnético lo cual evita daños causados por posibles problemas en el incremento de la corriente los cuales pueden dañar al sistema. Con las pruebas de laboratorio se observó que su comportamiento no es lineal (por lo consiguiente no es precisa ni exacta la medición realizada por este canal). Por lo tanto se propone utilizar otro sensor de corriente que sea lineal.

Finalmente, este Sistema de Adquisición de Datos puede ser adaptado y utilizado para adquirir rangos mayores en la medición de las variables anteriormente mencionadas o medir otras variables. Solo es necesario utilizar el sensor adecuado con su acondicionamiento de señal respectivo.

6.2 APORTACIONES

- Desarrollo de tecnología propia para la implementación del Sistema de Adquisición, a bajo costo.
- Desarrollo de un conjunto de programas para lograr la implementación del sistema tanto en lenguaje ensamblador como en LABVIEW.

6.3 TRABAJOS FUTUROS

Para trabajos futuros se propone lo siguiente:

- Utilizar otro método para la medición de Corriente AC y mejorar la precisión.
- Utilizar otro protocolo para la comunicación (USB, GPIB, etc.) entre la PC y el microcontrolador.
- Agregar una pantalla LCD para la visualización de datos para que el sistema sea portátil.
- Agregar canales de entrada/salida digitales, contadores, temporizadores y convertidores digital-analógico.



July 1999

LM35

Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^\circ\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^\circ\text{C}$ over a full -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\ \mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55° to $+150^\circ\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40° to $+110^\circ\text{C}$ range (-10° with improved accuracy). The LM35 series is available packaged in

hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear $+ 10.0\ \text{mV}/^\circ\text{C}$ scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at $+25^\circ\text{C}$)
- Rated for full -55° to $+150^\circ\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\ \mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^\circ\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\ \Omega$ for $1\ \text{mA}$ load

Typical Applications

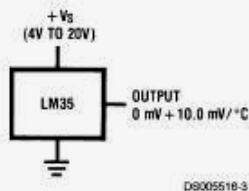
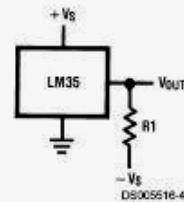


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor ($+2^\circ\text{C}$ to $+150^\circ\text{C}$)



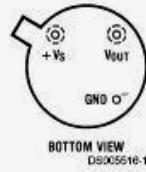
Choose $R_1 = -V_S/50\ \mu\text{A}$
 $V_{\text{OUT}} = +1,500\ \text{mV}$ at $+150^\circ\text{C}$
 $= +250\ \text{mV}$ at $+25^\circ\text{C}$
 $= -550\ \text{mV}$ at -55°C

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

TRI-STATE® is a registered trademark of National Semiconductor Corporation.

Connection Diagrams

TO-46
Metal Can Package*

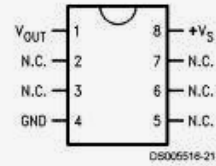


*Case is connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH or LM35DH

See NS Package Number H03H

SO-8
Small Outline Molded Package



N.C. = No Connection

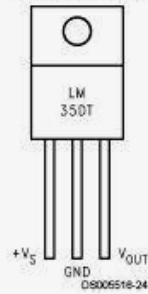
Order Number LM35DM
See NS Package Number M08A

TO-92
Plastic Package



Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ
See NS Package Number Z03A

TO-220
Plastic Package*



*Tab is connected to the negative pin (GND).
Note: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP.

Order Number LM35DT
See NS Package Number TA03F

Absolute Maximum Ratings (Note 10)		TO-92 and TO-220 Package, (Soldering, 10 seconds)		260°C	
If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.		SO Package (Note 12)		215°C	
		Vapor Phase (60 seconds)		215°C	
		Infrared (15 seconds)		220°C	
		ESD Susceptibility (Note 11)		2500V	
		Specified Operating Temperature Range: T _{MIN} to T _{MAX} (Note 2)			
		LM35, LM35A		-55°C to +150°C	
		LM35C, LM35CA		-40°C to +110°C	
		LM35D		0°C to +100°C	
Supply Voltage	+35V to -0.2V				
Output Voltage	+6V to -1.0V				
Output Current	10 mA				
Storage Temp.:					
TO-46 Package,	-60°C to +180°C				
TO-92 Package,	-60°C to +150°C				
SO-8 Package,	-65°C to +150°C				
TO-220 Package,	-65°C to +150°C				
Lead Temp.:					
TO-46 Package, (Soldering, 10 seconds)	300°C				

Electrical Characteristics (Notes 1, 6)		LM35A			LM35CA			Units (Max.)
Parameter	Conditions	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	T _A =+25°C	±0.2	±0.5		±0.2	±0.5		°C
	T _A =-10°C	±0.3			±0.3		±1.0	°C
	T _A =T _{MAX}	±0.4	±1.0		±0.4	±1.0		°C
	T _A =T _{MIN}	±0.4	±1.0		±0.4		±1.5	°C
Nonlinearity (Note 8)	T _{MIN} ≤ T _A ≤ T _{MAX}	±0.18		±0.35	±0.15		±0.3	°C
Sensor Gain (Average Slope)	T _{MIN} ≤ T _A ≤ T _{MAX}	+10.0	+9.9, +10.1		+10.0		+9.9, +10.1	mV/°C
Load Regulation (Note 3) 0 ≤ I _L ≤ 1 mA	T _A =+25°C	±0.4	±1.0		±0.4	±1.0		mV/mA
	T _{MIN} ≤ T _A ≤ T _{MAX}	±0.5		±3.0	±0.5		±3.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	T _A =+25°C	±0.01	±0.05		±0.01	±0.05		mV/V
	4V ≤ V _S ≤ 30V	±0.02		±0.1	±0.02		±0.1	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	V _S =+5V, +25°C	56	67		56	67		µA
	V _S =+5V	105		131	91		114	µA
	V _S =+30V, +25°C	56.2	68		56.2	68		µA
	V _S =+30V	105.5		133	91.5		116	µA
Change of Quiescent Current (Note 3)	4V ≤ V _S ≤ 30V, +25°C	0.2	1.0		0.2	1.0		µA
	4V ≤ V _S ≤ 30V	0.5		2.0	0.5		2.0	µA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.5	+0.39		+0.5	µA/°C
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, I _L =0	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	°C
Long Term Stability	T _J =T _{MAX} , for 1000 hours	±0.08			±0.08			°C

Electrical Characteristics								
(Notes 1, 6)								
Parameter	Conditions	LM35			LM35C, LM35D			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy, LM35, LM35C (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.5			± 0.5		± 1.5	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$	± 0.8	± 1.5		± 0.8		± 1.5	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$	± 0.8		± 1.5	± 0.8		± 2.0	$^\circ\text{C}$
Accuracy, LM35D (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$				± 0.6	± 1.5		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$				± 0.9		± 2.0	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$				± 0.9		± 2.0	$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.3		± 0.5	± 0.2		± 0.5	$^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	+10.0	+9.8, +10.2		+10.0		+9.8, +10.2	mV/ $^\circ\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1$ mA	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 2.0		± 0.4	± 2.0		mV/mA
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.5		± 5.0	± 0.5		± 5.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.1		± 0.01	± 0.1		mV/V
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	± 0.02		± 0.2	± 0.02		± 0.2	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56	80		56	80		μA
	$V_S = +5\text{V}$	105		158	91		138	μA
	$V_S = +30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56.2	82		56.2	82		μA
	$V_S = +30\text{V}$	105.5		161	91.5		141	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	0.2	2.0		0.2	2.0		μA
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	0.5		3.0	0.5		3.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.7	+0.39		+0.7	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{\text{MAX}}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^\circ\text{C}$

Note 1: Unless otherwise noted, these specifications apply: $-55^\circ\text{C} \leq T_J \leq +150^\circ\text{C}$ for the LM35 and LM35A; $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq +110^\circ\text{C}$ for the LM35C and LM35CA; and $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +100^\circ\text{C}$ for the LM35D. $V_S = +6\text{Vdc}$ and $I_{\text{LOAD}} = 50 \mu\text{A}$, in the circuit of Figure 2. These specifications also apply from $+2^\circ\text{C}$ to T_{MAX} in the circuit of Figure 1. Specifications in **boldface** apply over the full rated temperature range.

Note 2: Thermal resistance of the TO-46 package is $400^\circ\text{C}/\text{W}$, junction to ambient, and $24^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is $180^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is $220^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package is $90^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the Applications section.

Note 3: Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

Note 4: Tested Limits are guaranteed and 100% tested in production.

Note 5: Design Limits are guaranteed (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

Note 6: Specifications in **boldface** apply over the full rated temperature range.

Note 7: Accuracy is defined as the error between the output voltage and $10\text{mV}/^\circ\text{C}$ times the device's case temperature, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in $^\circ\text{C}$).

Note 8: Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the device's rated temperature range.

Note 9: Quiescent current is defined in the circuit of Figure 1.

Note 10: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See Note 1.

Note 11: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k Ω resistor.

Note 12: See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" or the section titled "Surface Mount" found in a current National Semiconductor Linear Data Book for other methods of soldering surface mount devices.

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PIC16F877

LA FAMILIA DEL PIC16F877.

El microcontrolador PIC16F877 de Microchip pertenece a una granfamilia de microcontroladores de 8 bits (bus de datos) que tienen las siguientes características generales que los distinguen de otras familias:

- Arquitectura Harvard
- Tecnología RISC
- Tecnología CMOS

Estas características se conjugan para lograr un dispositivo altamente eficiente en el uso de la memoria de datos y programa y por lo tanto en la velocidad de ejecución.

Microchip ha dividido sus microcontroladores en tres grandes subfamilias de acuerdo al número de bits de su bus de instrucciones:

Subfamilia	Bits del bus de instrucciones	nomenclatura
Base - Line	12	PIC12XXX y PIC14XXX
Mid - Range	14	PIC16XXX
High - End	16	PIC17XXX y PIC18XXX

Los microcontroladores que produce Microchip cubren una amplio rango de dispositivos cuyas características pueden variar como sigue:

- Empaquetado (desde 8 patitas hasta 68 patitas)
- Tecnología de la memoria incluida (EPROM, ROM, Flash)
- Voltajes de operación (desde 2.5 v. Hasta 6v)
- Frecuencia de operación (Hasta 20 Mhz)

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PIC16F877

La siguiente es una lista de las características que comparte el PIC16F877 con los dispositivos más cercanos de su familia:

PIC16F873	PIC16F874	PIC16F876	PIC16F877
-----------	-----------	-----------	-----------

- CPU RISC
- Sólo 35 instrucciones que aprender
- Todas las instrucciones se ejecutan en un ciclo de reloj, excepto los saltos que requieren dos
- Frecuencia de operación de 0 a 20 MHz (DC a 200 nseg de ciclo de instrucción)
- Hasta 8k x 14 bits de memoria Flash de programa
- Hasta 368 bytes de memoria de datos (RAM)
- Hasta 256 bytes de memoria de datos EEPROM
- Hasta 4 fuentes de interrupción
- Stack de hardware de 8 niveles
- Reset de encendido (POR)
- Timer de encendido (PWRT)
- Timer de arranque del oscilador (OST)
- Sistema de vigilancia Watchdog timer.
- Protección programable de código
- Modo SEP de bajo consumo de energía
- Opciones de selección del oscilador
- Programación y depuración serie “In-Circuit” (ICSP) a través de dos patitas
- Lectura/escritura de la CPU a la memoria flash de programa
- Rango de voltaje de operación de 2.0 a 5.5 volts
- Alta disipación de corriente de la fuente: 25mA
- Rangos de temperatura: Comercial, Industrial y Extendido
- Bajo consumo de potencia:
 - o Menos de 0.6mA a 3V, 4 Mhz
 - o 20 μ A a 3V, 32 Khz
 - o menos de 1 μ A corriente de standby.

PERIFÉRICOS.

- **Timer0:** Contador/Temporizador de 8 bits con pre-escalador de 8 bits
- **Timer1:** Contador/Temporizador de 16 bits con pre-escalador
- **Timer0:** Contador/Temporizador de 8 bits con pre-escalador y post-escalador de 8 bits y registro de periodo.
- **Dos módulos de Captura, Comparación y PWM**
- **Convertidor Analógico/Digital:** de 10 bits, hasta 8 canales
- Puerto Serie Síncrono (SSP)
- Puerto Serie Universal (USART/SCI).
- Puerto Paralelo Esclavo (PSP): de 8 bits con líneas de protocolo

CONJUNTO DE INSTRUCCIONES DE RANGO MEDIO

En la siguiente tabla se resumen las 35 instrucciones que reconoce la CPU de los PIC de medio rango, incluyendo su mnemónico, tiempo de ejecución, código de máquina y afectación de banderas:

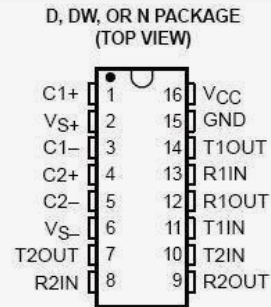
Mnemónico	Descripción	Ciclos	Código de Máquina	Banderas afectadas
Operaciones con el archivo de registros orientadas a bytes				
ADDWF f,d	Suma f + W	1	00 0111 dfff ffff	C,DC,Z
ANDWF f,d	W AND f	1	00 0101 dfff ffff	Z
CLRF f	Limpia f	1	00 0001 1fff ffff	Z
CLRW	Limpia W	1	00 0001 0xxx xxxx	Z
COMF f,d	Complementa los bits de f	1	00 1001 dfff ffff	Z
DECF f,d	Decrementa f en 1	1	00 0011 dfff ffff	Z
DECFSZ f,d	Decrementa f, escapa si 0	1(2)	00 1011 dfff ffff	
INCF f,d	Incrementa f en 1	1	00 1010 dfff ffff	Z
INCFSZ f,d	Incrementa f, escapa si 0	1(2)	00 1111 dfff ffff	
IORWF f,d	W OR f	1	00 0100 dfff ffff	Z
MOVF f,d	Copia el contenido de f	1	00 1000 dfff ffff	Z
MOVWF f	Copia contenido de W en f	1	00 0000 1fff ffff	
NOP	No operación	1	00 0000 0xx0 0000	
RLF f,d	Rota f a la izquierda	1	00 1101 dfff ffff	C
RRF f,d	Rota f a la derecha	1	00 1100 dfff ffff	C
SUBWF f,d	Resta f – W	1	00 0010 dfff ffff	C,DC,Z
SWAPF f,d	Intercambia nibbles de f	1	00 1110 dfff ffff	
XORWF f,d	W EXOR f	1	00 0110 dfff ffff	Z
Operaciones con el archivo de registros orientadas a bits				
BCF f,b	Limpia bit b en f	1	01 00bb bfff ffff	
BSF f,b	Pone bit b en f	1	01 01bb bfff ffff	
BTFSC f,b	Prueba bit b en f, escapa si 0	1(2)	01 10bb bfff ffff	
BTFSS f,b	Prueba bit b en f, escapa si 1	1(2)	01 11bb bfff ffff	
Operaciones con literales y de control				
ADDLW k	Suma literal k + W	1	11 111x kkkk kkkk	C,DC,Z
ANDLW k	k AND W	1	11 1001 kkkk kkkk	Z
CALL k	Llamado a subrutina	2	10 0kkk kkkk kkkk	
CLRWDT	Limpia timer del watchdog	1	00 0000 0110 0100	TO',PD'
GOTO k	Salto a la dirección k	2	10 1kkk kkkk kkkk	
IORLW k	k OR W	1	11 0000 kkkk kkkk	Z
MOVLW k	Copia literal a W	1	11 00xx kkkk kkkk	
RETFIE	Retorna de interrupción	2	00 0000 0000 1001	
RETLW k	Retorna con literal k en W	2	11 01xx kkkk kkkk	
RETURN	Retorna de subrutina	2	00 0000 0000 1000	
SLEEP	Activa Modo standby	1	00 0000 0110 0011	TO'PD'
SUBLW k	Resta k - W	1	11 110x kkkk kkkk	C,CD,Z
XORLW k	k EXOR W	1	11 1010 kkkk kkkk	Z

- Operates With Single 5-V Power Supply
- LinBiCMOS™ Process Technology
- Two Drivers and Two Receivers
- ±30-V Input Levels
- Low Supply Current . . . 8 mA Typical
- Meets or Exceeds TIA/EIA-232-F and ITU Recommendation V.28
- Designed to be Interchangeable With Maxim MAX232
- Applications
 - TIA/EIA-232-F
 - Battery-Powered Systems
 - Terminals
 - Modems
 - Computers
- ESD Protection Exceeds 2000 V Per MIL-STD-883, Method 3015
- Package Options Include Plastic Small-Outline (D, DW) Packages and Standard Plastic (N) DIPs

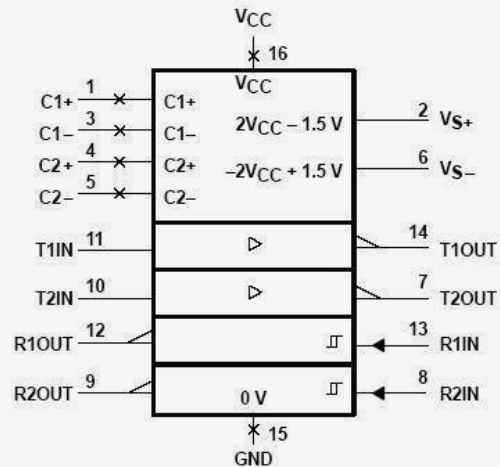
description

The MAX232 device is a dual driver/receiver that includes a capacitive voltage generator to supply EIA-232 voltage levels from a single 5-V supply. Each receiver converts EIA-232 inputs to 5-V TTL/CMOS levels. These receivers have a typical threshold of 1.3 V and a typical hysteresis of 0.5 V, and can accept ±30-V inputs. Each driver converts TTL/CMOS input levels into EIA-232 levels. The driver, receiver, and voltage-generator functions are available as cells in the Texas Instruments LinASIC™ library.

The MAX232 is characterized for operation from 0°C to 70°C. The MAX232I is characterized for operation from -40°C to 85°C.



logic symbol†



† This symbol is in accordance with ANSI/IEEE Std 91-1984 and IEC Publication 617-12.

AVAILABLE OPTIONS

T _A	PACKAGED DEVICES		
	SMALL OUTLINE (D)	SMALL OUTLINE (DW)	PLASTIC DIP (N)
0°C to 70°C	MAX232D†	MAX232DW†	MAX232N
-40°C to 85°C	MAX232ID†	MAX232IDW†	MAX232IN

† This device is available taped and reeled by adding an R to the part number (i.e., MAX232DR).



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

LinASIC and LinBiCMOS are trademarks of Texas Instruments Incorporated.

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Input supply voltage range, V_{CC} (see Note 1)	.....	-0.3 V to 6 V
Positive output supply voltage range, V_{S+}$	.....	V_{CC} - 0.3$ V to 15 V
Negative output supply voltage range, V_{S-}	.....	-0.3 V to -15 V
Input voltage range, V_I : Driver	.....	-0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Receiver	± 30 V
Output voltage range, V_O : T1OUT, T2OUT	.....	$V_{S-} - 0.3$ V to $V_{S+} + 0.3$ V
R1OUT, R2OUT	.....	-0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Short-circuit duration: T1OUT, T2OUT	.....	Unlimited
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Note 2): D package	.....	113°C/W
DW package	.....	105°C/W
N package	.....	78°C/W
Storage temperature range, T_{stg}	.....	-65°C to 150°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	.....	260°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTE 1: All voltage values are with respect to network ground terminal.

2. The package thermal impedance is calculated in accordance with JEDEC 51, except for through-hole packages, which use a trace length of zero.

recommended operating conditions

		MIN	NOM	MAX	UNIT
Supply voltage, V_{CC}		4.5	5	5.5	V
High-level input voltage, V_{IH} (T1IN, T2IN)		2			V
Low-level input voltage, V_{IL} (T1IN, T2IN)				0.8	V
Receiver input voltage, R1IN, R2IN				± 30	V
Operating free-air temperature, T_A	MAX232		0	70	°C
	MAX232I		-40	85	

electrical characteristics over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP†	MAX	UNIT		
V _{OH}	High-level output voltage	T1OUT, T2OUT	R _L = 3 kΩ to GND		5	7	V	
		R1OUT, R2OUT	I _{OH} = -1 mA		3.5			
V _{OL}	Low-level output voltage‡	T1OUT, T2OUT	R _L = 3 kΩ to GND		-7	-5	V	
		R1OUT, R2OUT	I _{OL} = 3.2 mA		0.4			
V _{IT+}	Receiver positive-going input threshold voltage	R1IN, R2IN	V _{CC} = 5 V, T _A = 25°C		1.7	2.4	V	
V _{IT-}	Receiver negative-going input threshold voltage	R1IN, R2IN	V _{CC} = 5 V, T _A = 25°C		0.8	1.2	V	
V _{hys}	Input hysteresis voltage	R1IN, R2IN	V _{CC} = 5 V		0.2	0.5	1	V
r _i	Receiver input resistance	R1IN, R2IN	V _{CC} = 5, T _A = 25°C		3	5	7	kΩ
r _o	Output resistance	T1OUT, T2OUT	V _{S+} = V _{S-} = 0, V _O = ± 2 V		300		Ω	
I _{OS} §	Short-circuit output current	T1OUT, T2OUT	V _{CC} = 5.5 V, V _O = 0		±10		mA	
I _{IS}	Short-circuit input current	T1IN, T2IN	V _I = 0		200		μA	
I _{CC}	Supply current		V _{CC} = 5.5 V, T _A = 25°C, All outputs open,		8	10	mA	

† All typical values are at V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C.

‡ The algebraic convention, in which the least positive (most negative) value is designated minimum, is used in this data sheet for logic voltage levels only.

§ Not more than one output should be shorted at a time.

switching characteristics, V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
t _{PLH(R)}	Receiver propagation delay time, low- to high-level output	See Figure 1		500		ns
t _{PHL(R)}	Receiver propagation delay time, high- to low-level output	See Figure 1		500		ns
SR	Driver slew rate	R _L = 3 kΩ to 7 kΩ, See Figure 2			30	V/μs
SR(tr)	Driver transition region slew rate	See Figure 3		3		V/μs

APPLICATION INFORMATION

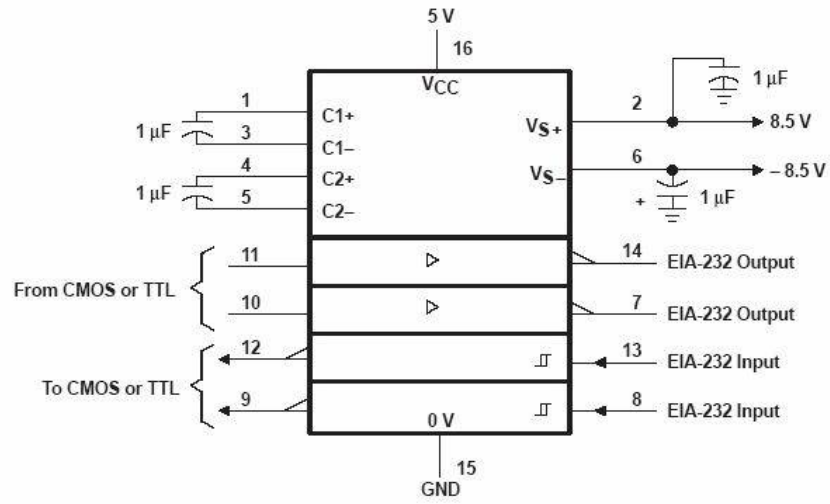


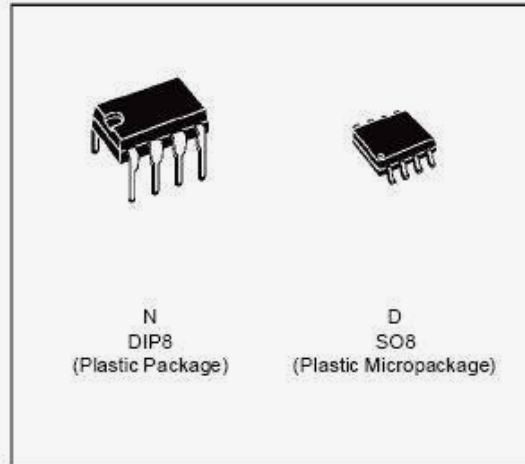
Figure 4. Typical Operating Circuit



TL081
TL081A - TL081B

GENERAL PURPOSE J-FET
SINGLE OPERATIONAL AMPLIFIER

- WIDE COMMON-MODE (UP TO V_{CC}^+) AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGE
- LOW INPUT BIAS AND OFFSET CURRENT
- OUTPUT SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- HIGH INPUT IMPEDANCE J-FET INPUT STAGE
- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- LATCH UP FREE OPERATION
- HIGH SLEW RATE : $16V/\mu s$ (typ)



DESCRIPTION

The TL081, TL081A and TL081B are high speed J-FET input single operational amplifiers incorporating well matched, high voltage J-FET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

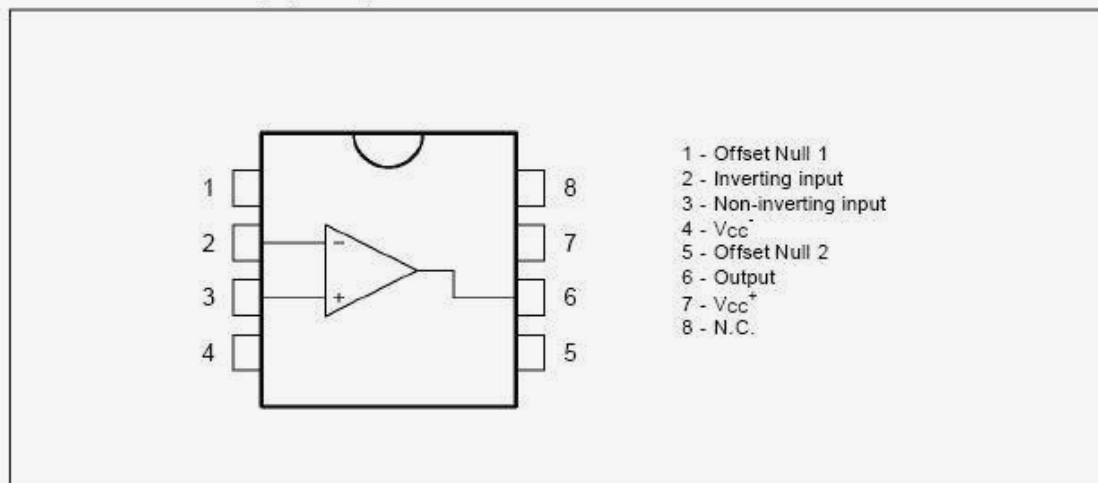
The devices feature high slew rates, low input bias and offset currents, and low offset voltage temperature coefficient.

ORDER CODES

Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
TL081M/AM/BM	-55°C, +125°C	•	•
TL081I/AI/BI	-40°C, +105°C	•	•
TL081C/AC/BC	0°C, +70°C	•	•

Examples : TL081CD, TL081IN

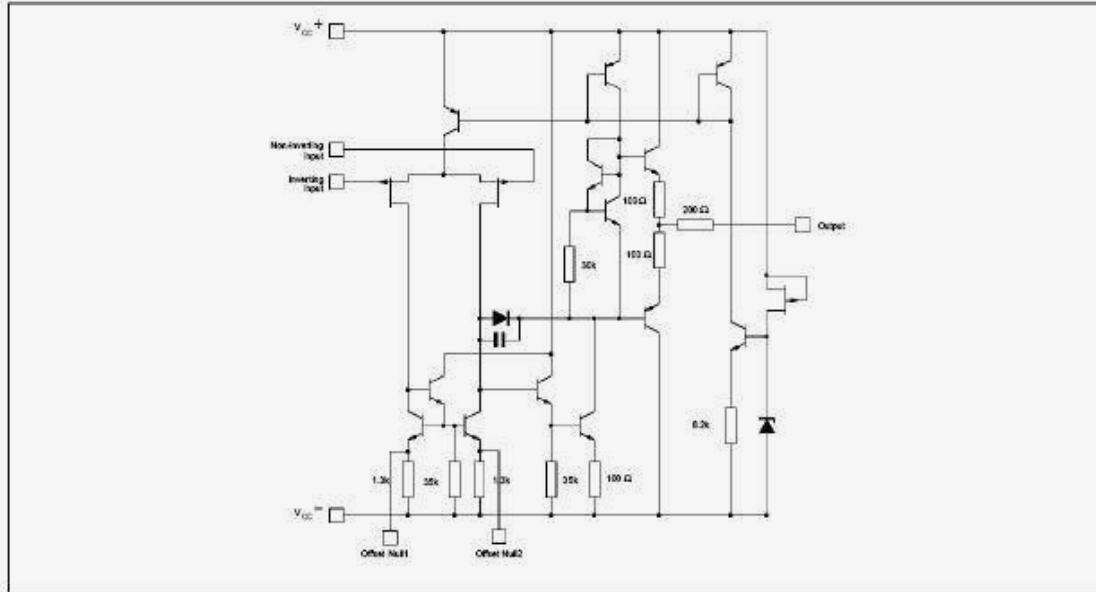
PIN CONNECTIONS (top view)



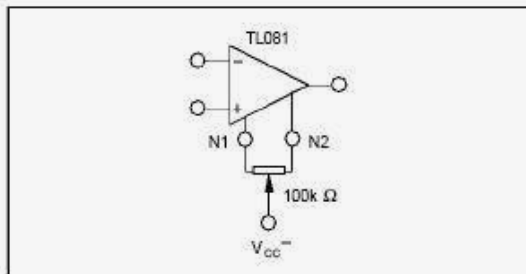
GENERAL

TL081 - TL081A - TL081B

SCHEMATIC DIAGRAM



INPUT OFFSET VOLTAGE NULL CIRCUITS



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit	
V_{CC}	Supply Voltage - (note 1)	± 18	V	
V_i	Input Voltage - (note 3)	± 15	V	
V_{Id}	Differential Input Voltage - (note 2)	± 30	V	
P_{tot}	Power Dissipation	680	mW	
	Output Short-circuit Duration - (note 4)	Infinite		
T_{oper}	Operating Free Air Temperature Range	TL081C,AC,BC TL081I,AI,BI TL081M,AM,BM	0 to 70 -40 to 105 -55 to 125	$^{\circ}C$
T_{stg}	Storage Temperature Range		-65 to 150	$^{\circ}C$

- Notes :
1. All voltage values, except differential voltage, are with respect to the zero reference level (ground) of the supply voltages where the zero reference level is the midpoint between V_{CC+} and V_{CC-} .
 2. Differential voltages are at the non-inverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
 3. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 16 volts, whichever is less.
 4. The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.

GENERAL

TL081 - TL081A - TL081B

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

V_{CC} = ±15V, T_{amb} = 25°C (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	TL081,M,AC,AI, AM,BC,BI,BM			TL081C			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
V _{io}	Input Offset Voltage (R _S = 50Ω) T _{amb} = 25°C T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.}		3 3 1	10 6 3 13 7 5		3	10 13	mV
DV _{io}	Input Offset Voltage Drift		10			10		μV/°C
I _{io}	Input Offset Current * T _{amb} = 25°C T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.}		5	100 4		5	100 4	pA nA
I _b	Input Bias Current * T _{amb} = 25°C T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.}		20	200 20		20	400 20	pA nA
A _{vd}	Large Signal Voltage Gain (R _L = 2kΩ, V _O = ±10V) T _{amb} = 25°C T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.}	50 25	200		25 15	200		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio (R _S = 50Ω) T _{amb} = 25°C T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.}	80 80	86		70 70	86		dB
I _{CC}	Supply Current, no Load T _{amb} = 25°C T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.}		1.4	2.5 2.5		1.4	2.5 2.5	mA
V _{icm}	Input Common Mode Voltage Range	±11	+15 -12		±11	+15 -12		V
CMR	Common Mode Rejection Ratio (R _S = 50Ω) T _{amb} = 25°C T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.}	80 80	86		70 70	86		dB
I _{os}	Output Short-circuit Current T _{amb} = 25°C T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.}	10 10	40	60 60	10 10	40	60 60	mA
±V _{OPP}	Output Voltage Swing T _{amb} = 25°C T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.}			R _L = 2kΩ 12 R _L = 10kΩ 13.5 R _L = 2kΩ 10 R _L = 10kΩ 12				V
SR	Slew Rate (V _{in} = 10V, R _L = 2kΩ, C _L = 100pF, T _{amb} = 25°C, unity gain)	8	16		8	16		V/μs
t _r	Rise Time (V _{in} = 20mV, R _L = 2kΩ, C _L = 100pF, T _{amb} = 25°C, unity gain)		0.1			0.1		μs
K _{ov}	Overshoot (V _{in} = 20mV, R _L = 2kΩ, C _L = 100pF, T _{amb} = 25°C, unity gain)		10			10		%
GBP	Gain Bandwidth Product (f = 100kHz, T _{amb} = 25°C, V _{in} = 10mV, R _L = 2kΩ, C _L = 100pF)	2.5	4		2.5	4		MHz
R _i	Input Resistance		10 ¹²			10 ¹²		Ω
THD	Total Harmonic Distortion (f = 1kHz, A _v = 20dB, R _L = 2kΩ, C _L = 100pF, T _{amb} = 25°C, V _O = 2V _{PP})		0.01			0.01		%
e _n	Equivalent Input Noise Voltage (f = 1kHz, R _S = 100Ω)		15			15		nV √Hz
∅ _m	Phase Margin		45			45		Degrees

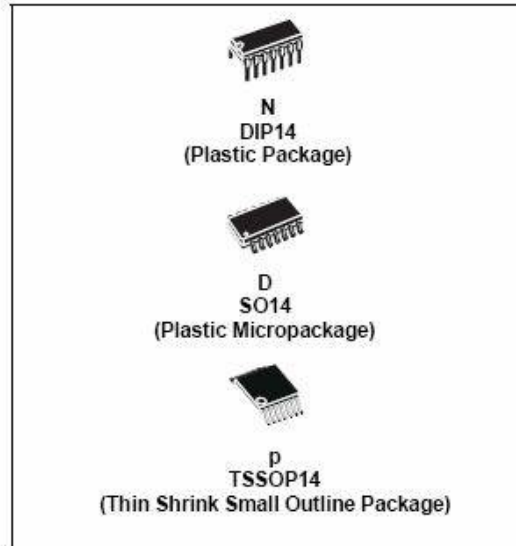
* The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every 10°C increase in the junction temperature.



TL084
TL084A - TL084B

**GENERAL PURPOSE J-FET
QUAD OPERATIONAL AMPLIFIERS**

- WIDE COMMON-MODE (UP TO V_{CC}^+) AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGE
- LOW INPUT BIAS AND OFFSET CURRENT
- OUTPUT SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- HIGH INPUT IMPEDANCE J-FET INPUT STAGE
- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- LATCH UP FREE OPERATION
- HIGH SLEW RATE : 16V/ μ s (typ)



DESCRIPTION

The TL084, TL084A and TL084B are high speed J-FET input quad operational amplifiers incorporating well matched, high voltage J-FET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

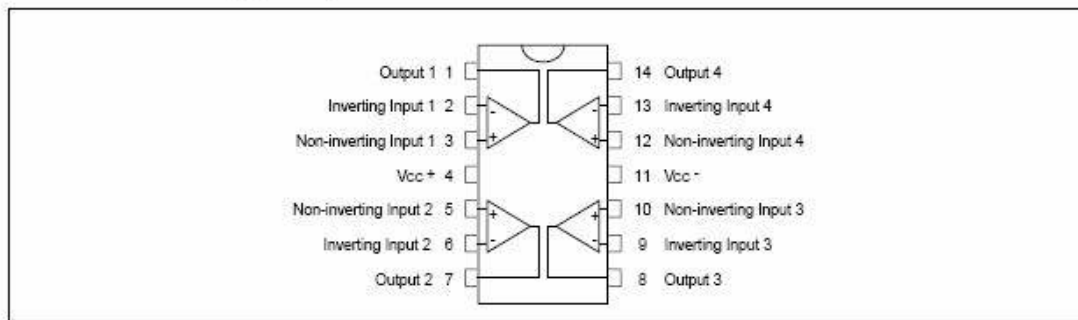
The devices feature high slew rates, low input bias and offset currents, and low offset voltage temperature coefficient.

ORDER CODE

Part Number	Temperature Range	Package		
		N	D	P
TL084M/AM/BM	-55°C, +125°C	•	•	•
TL084I/AI/BI	-40°C, +105°C	•	•	•
TL084C/AC/BC	0°C, +70°C	•	•	•
Example : TL084CN, TL084CD				

N = Dual in Line Package (DIP)
D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)
P = Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP) - only available in Tape & Reel (PT)

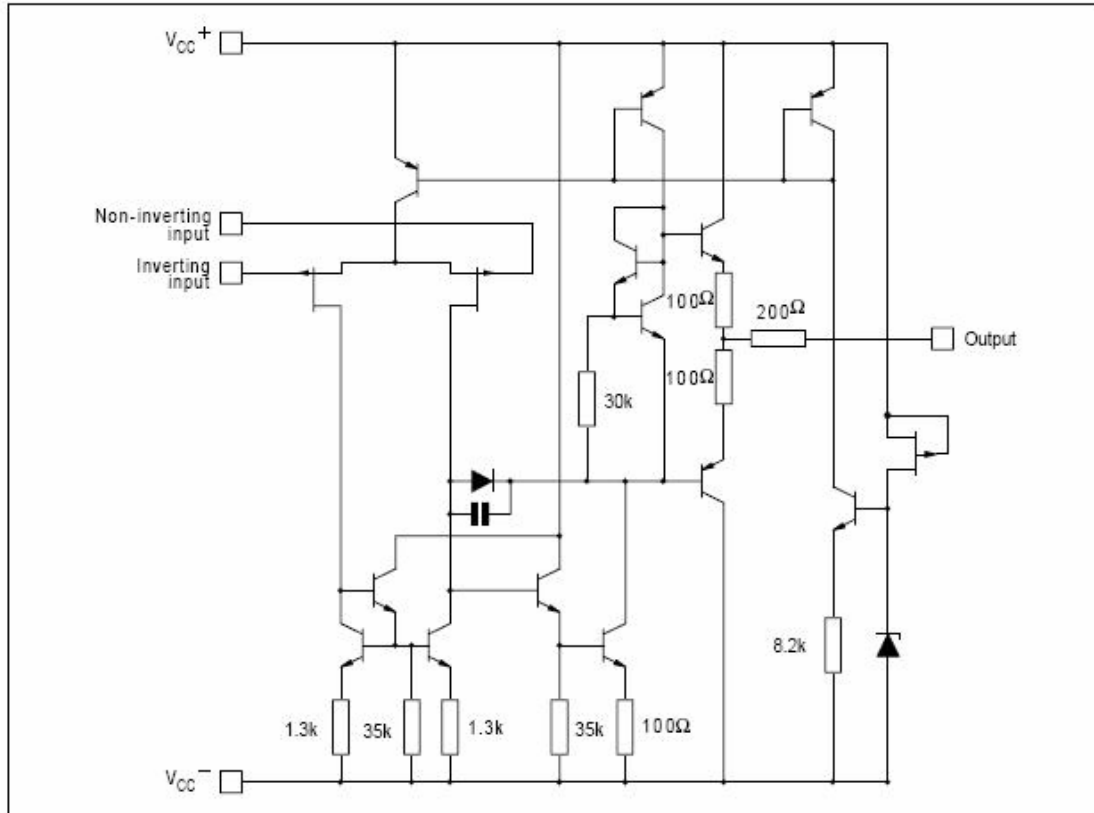
PIN CONNECTIONS (top view)



GENERAL

TL084 - TL084A - TL084B

SCHEMATIC DIAGRAM (each amplifier)



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	TL084M, AM, BM	TL084I, AI, BI	TL084C, AC, BC	Unit
V_{CC}	Supply voltage - note 1)	±18			V
V_i	Input Voltage - note 2)	±15			V
V_{id}	Differential Input Voltage - note 3)	±30			V
P_{tot}	Power Dissipation	680			mW
	Output Short-circuit Duration - note 4)	Infinite			
T_{oper}	Operating Free-air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C
T_{stg}	Storage Temperature Range	-65 to +150			°C

1. All voltage values, except differential voltage, are with respect to the zero reference level (ground) of the supply voltages where the zero reference level is the midpoint between V_{CC-} and V_{CC+} .
2. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
3. Differential voltages are the non-inverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
4. The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.

GENERAL

TL084 - TL084A - TL084B

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$V_{CC} = \pm 15V$, $T_{amb} = +25^{\circ}C$ (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	TL084I,M,AC,AI,AM, BC,BI,BM			TL084C			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
V_{io}	Input Offset Voltage ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$		3	10		3	10	mV
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		3 1	6 3 13 7 5			13	
DV_{io}	Input Offset Voltage Drift		10			10		$\mu V/^{\circ}C$
I_{io}	Input Offset Current - note 1) $T_{amb} = +25^{\circ}C$		5	100		5	100	pA nA
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$			4		4	4	
I_{ib}	Input Bias Current -note 1 $T_{amb} = +25^{\circ}C$		20	200		20	400	pA nA
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$			20		20	20	
A_{vd}	Large Signal Voltage Gain ($R_L = 2k\Omega$, $V_o = \pm 10V$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$	50	200		25	200		V/mV
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	25			15			
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$	80	86		70	86		dB
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	80			70			
I_{CC}	Supply Current, no load, per amplifier $T_{amb} = +25^{\circ}C$		1.4	2.5		1.4	2.5	mA
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$			2.5		2.5	2.5	
V_{icm}	Input Common Mode Voltage Range	± 11	+15 -12		± 11	+15 -12		V
CMR	Common Mode Rejection Ratio ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$	80	86		70	86		dB
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	80			70			
I_{os}	Output Short-circuit Current $T_{amb} = +25^{\circ}C$	10	40	60	10	40	60	mA
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	10		60	10		60	
$\pm V_{opp}$	Output Voltage Swing $T_{amb} = +25^{\circ}C$		10	12		10	12	V
	$RL = 2k\Omega$		12	13.5		12	13.5	
	$RL = 10k\Omega$		10			10		
	$RL = 10k\Omega$		12			12		
SR	Slew Rate ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 10V$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity gain	8	16		8	16		V/ μs
t_r	Rise Time ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity gain		0.1			0.1		μs
K_{ov}	Overshoot ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity gain		10			10		%
GBP	Gain Bandwidth Product ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 10mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $f = 100kHz$	2.5	4		2.5	4		MHz
R_i	Input Resistance		10^{12}			10^{12}		Ω

Los materiales y componentes utilizados en este proyecto son los que se muestran en la parte de abajo. Solo son los usados en la etapa de Acondicionamiento de Señal y la etapa de adquisición. No se incluyen los elementos de los sensores debido a que el sistema es flexible y cualquier sensor puede ser remplazado.

DISPOSITIVOS:

DISPOSITIVO	CANTIDAD
TL081	3
TL084	3
PIC16F877A	1
MAX232	1
LM7805	1

ELEMENTOS

Resistencias:

R = 10 K Ω

R2= 100K Ω

R3= 20K Ω

P1= P2= P3 precisión

P = 50K Ω

Capacitores:

C1= 22 μ F. electrolítico

C2= 10 μ F. electrolítico

C3= 10 μ F. electrolítico

C4= 22 ρ F. cerámico

Diodos:

Dn= Dp =1N4002

D1= 1N4001

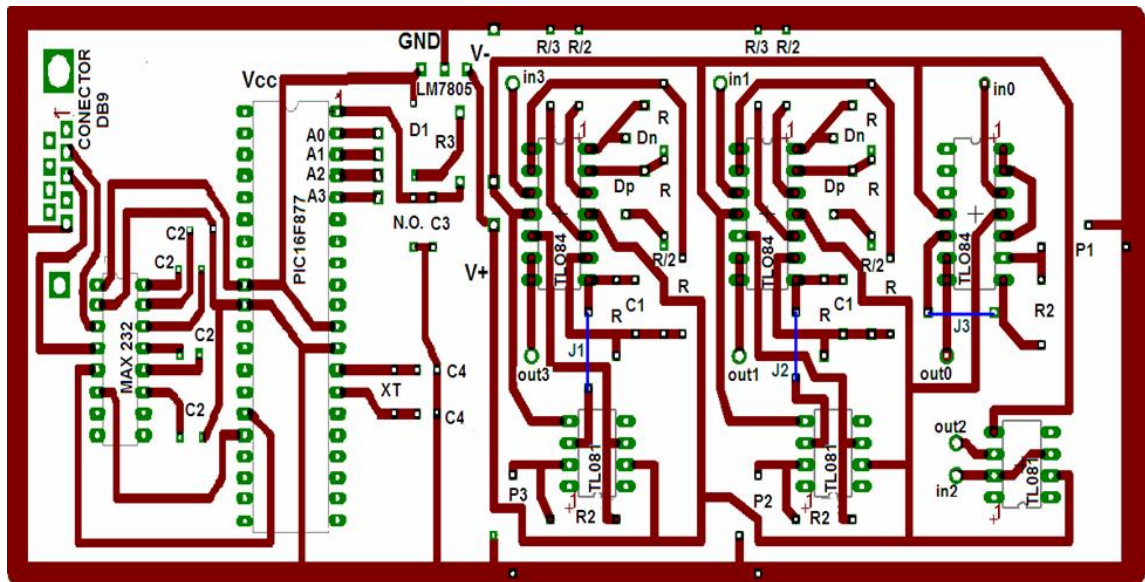
Cristal :

XT= 4 MHz.

Placa fenólica de (20 X 10)cm.

1 conector DB-9 tipo hembra.

A continuación se muestra el diseño de la placa donde se conectaron todos los dispositivos y elementos utilizados en este proyecto.



Finalmente se muestran las imágenes del proyecto ya finalizado. También se puede ver la fuente de alimentación del sistema que se desarrolló para el mismo.



FIG. E.1 Fuente de alimentación.

La siguiente figura muestra los dispositivos y componentes ya montados sobre la placa fenólica con el diseño mostrado anteriormente.

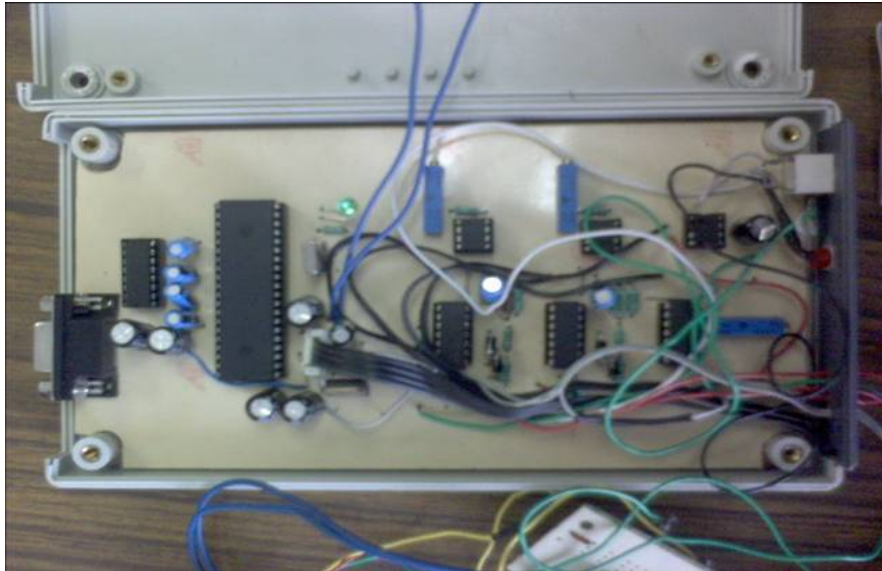


FIG. E.2 Dispositivos y componentes montados sobre la placa fenólica.

En la figura de abajo se pueden ver los sensores utilizados en este trabajo.

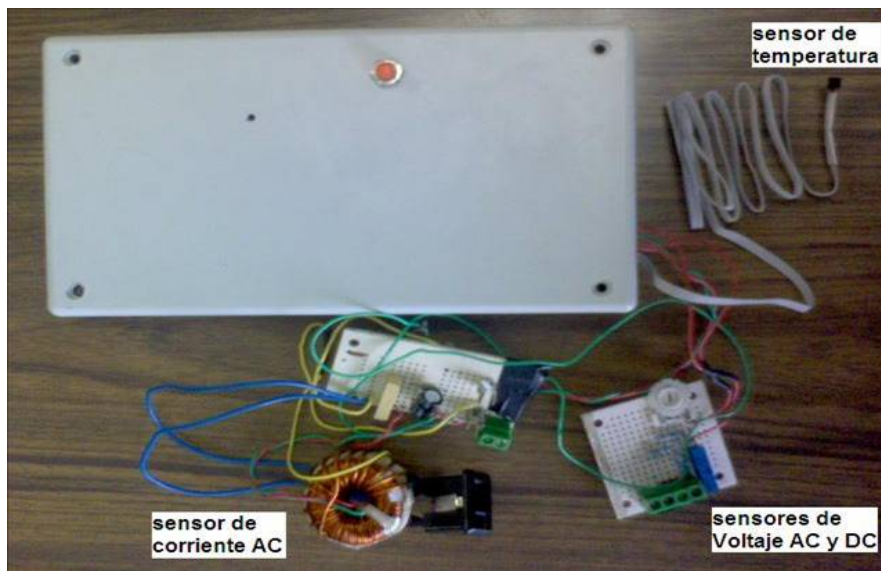


FIG. E.3 Sensores.