

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PORTÁTIL  
BASADO EN MICROCONTROLADOR PARA EL REGISTRO DE  
RADIACIÓN SOLAR, TEMPERATURA Y VELOCIDAD DE  
VIENTO”**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADO POR:  
NICOLÁS EUSEBIO CORTEZ LEDESMA**

PROMOCIÓN  
1992-1  
**LIMA-PERÚ**  
2002

A la memoria de mis padres a quienes va mi eterna gratitud, así como a mi esposa, mis hijos y mis hermanos que son la fuerza y el estímulo para mi superación diaria.

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PORTÁTIL  
BASADO EN MICROCONTROLADOR PARA EL REGISTRO  
DE RADIACIÓN SOLAR, TEMPERATURA Y VELOCIDAD DE  
VIENTO**

## SUMARIO

El avance de la tecnología, aplicada a los trabajos de investigación y de experimentación, exige cada vez más optimizar la toma de datos. La medición y evaluación son las dos necesidades fundamentales de cualquier laboratorio o cadena de producción, con los datos obtenidos es posible así remodificar un proyecto o comprobar si los productos obtenidos cumplen con los requisitos prefijados. Como es natural el análisis de los resultados será función de la calidad de los instrumentos utilizados. Ello implica la necesidad de automatizar el registro de datos mediante el uso de interfases y ordenadores; que cobra mayor importancia cuando se requiere registrar datos en forma continua y por periodos de tiempo considerables, que es el caso por ejemplo del registro de la radiación solar, para establecer un mapa solar local actualizado.

El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar un sistema portátil para automatizar el registro de datos de intensidad de radiación solar, temperatura en aplicaciones térmicas y velocidad de viento. Este sistema portátil está basado en microcontrolador, el cual presenta la ventaja de incorporar un conversor análogo/digital de 10 bits, con 8 canales de entrada. Además, para el almacenamiento de datos, este sistema utiliza una memoria serial EEPROM con el bus I<sup>2</sup>C.

## ÍNDICE

	Página
<b>PRÓLOGO</b>	01
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>GENERALIDADES</b>	03
1.1 Energía solar	03
1.1.1 Intensidad de radiación solar (irradiancia solar)	03
1.1.2 Irradiancia en la ciudad de Ayacucho	05
1.1.3 Determinación de los parámetros térmicos de una cocina tipo caja como aplicación de la energía solar	07
1.2 Sensores utilizados	10
1.2.1 Celdas fotovoltaicas	10
1.2.2 Sensores de temperatura	13
1.2.3 Sensor de velocidad de viento	17
1.3 Puertos y protocolos de comunicaciones	18
1.3.1 Puerto de Comunicaciones RS-232	18
1.3.2 Bus de Comunicaciones I <sup>2</sup> C	20
1.4 Microcontroladores PIC	21
1.4.1 Microcontrolador PIC 16F877	22
1.5 Memoria serial EEPROM I <sup>2</sup> C	25
1.5.1 Memoria serial 24LC256	25
1.5.2 Protocolo I <sup>2</sup> C	27

## **CAPÍTULO II**

<b>DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA PORTÁTIL</b>	<b>31</b>
2.1 Introducción	31
2.2 Antecedentes	31
2.3 Planteamiento del problema	32
2.4 Principio de funcionamiento	33
2.4.1 Acondicionamiento de señales	33
2.4.2 Conversión análogo/digital	35
2.4.3 Almacenamiento de datos de memoria EEPROM	35
2.4.4 Transferencia de datos a la PC	35
2.5 Esquema general	36
2.6 Descripción del hardware del sistema portátil	37
2.6.1 Fuente de alimentación	37
2.6.2 Sensor de temperatura: termocupla	37
2.6.3 Sensor de temperatura: circuito integrado LM335	38
2.6.4 Sensor de intensidad de radiación solar: Fococelda	38
2.6.5 Sensor de velocidad de viento: Anemómetro analógico	38
2.6.6 Módulo display de cristal líquido (LCD) e interruptores	38
2.6.7 Memoria serial	39
2.6.8 Driver TTL – RS232	39
2.7 Descripción del sistema operativo del microcontrolador PIC16F877	39
2.7.1 Programa principal	40
2.7.2 Rutinas de adquisición de datos a través de los canales analógicos	41
2.7.3 Rutina para reloj de tiempo real	41

2.7.4	Rutina de multiplicación y conversión de binario de BCD	41
2.7.5	Rutina de almacenamiento de datos en la memoria serial 24LC256	41
2.7.6	Rutina de transferencia de datos hacia el computador	42
2.8	Descripción del software de aplicación	42

### **CAPÍTULO III**

#### **INGENIERÍA DEL PROYECTO**

3.1	Diseño del hardware	43
3.1.1	Transductores	43
3.1.2	Circuitos de acondicionamiento de señal	43
3.1.3	Diagrama esquemático del sistema portátil	49
3.2	Diseño del software	51
3.2.1	Sistema operativo del microcontrolador PIC16F877	51
3.2.2	Software de aplicación en ambiente Windows	56

### **CAPÍTULO IV**

#### **EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO**

4.1	Resultados de las pruebas de campo	58
4.1.1	Registro de datos de intensidad de radiación solar en la ciudad de Ayacucho	58
4.1.2	Registro de datos de temperatura de vidrio interno de una cocina solar tipo caja	59
4.1.3	Registro de datos de temperatura de placa colectora de una cocina solar tipo caja	64
4.1.4	Registro de datos correspondiente a velocidad de viento en la ciudad de Ayacucho	67

**CAPÍTULO V**

<b>COSTOS Y PRESUPUESTOS</b>	68
5.1 Listado de circuitos integrados	68
5.2 Listado de componentes electrónicos	68
5.3 Costos debido a componentes electrónicos	69
5.4 Costo por fabricación del circuito impreso	69
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	71
<b>ANEXO A</b>	
<b>LISTADO DE PROGRAMAS Y RUTINAS</b>	79
<b>A1</b> Sistema operativo del microcontrolador PIC16P877	80
<b>A2</b> Software de aplicación en ambiente Windows	108
<b>ANEXO B</b>	
<b>DIAGRAMAS DEL CIRCUITO IMPRESO DEL SISTEMA PORTÁTIL</b>	112
<b>ANEXO C</b>	
<b>ANEMÓMETRO BASADO EN DIODO ZENER</b>	115
<b>ANEXO D</b>	
<b>HOJA DE DATOS DE LOS COMPONENTES ELECTRÓNICOS</b>	119
<b>D1</b> Hoja de datos del sensor de temperatura LM-335	120
<b>D2</b> Hoja de datos de circuito integrado TL074	130
<b>D3</b> Hoja de datos de la memoria serial EEPROM 24LC256	139
<b>D4</b> Hoja de datos de circuito integrado MAX-232	150
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	167



## **PRÓLOGO**

El presente informe de suficiencia ha sido desarrollado con el objeto de resolver la necesidad de contar con mapas de radiación solar, mapas de velocidad de viento y datos de temperatura; elaborados mediante un sistema portátil autónomo.

La Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga como centro de energías renovables (CER-UNSCH), está empeñada en promover el uso de energías no convencionales en sus diferentes aplicaciones (principalmente en zonas rurales).

En el Capítulo I se trata las generalidades, en el cual se desarrollan los conceptos necesarios relacionados al tema del informe.

En el Capítulo II se realiza el planteamiento del problema y se describe el principio de funcionamiento del hardware y software del sistema portátil .

En el Capítulo III se desarrolla el diseño del hardware y el software. En el diseño del hardware se implementan los circuitos acondicionadores de señal para los sensores utilizados, así como de las interfases necesarias para el manejo periféricos y la comunicación con el computador. En el diseño del software se desarrollan, por una parte, el sistema operativo del microcontrolador (en lenguaje ensamblador) como administrador del sistema portátil, y por otra parte, un programa de aplicación (realizada en Visual Basic) que permite la transferencia y almacenamiento de los datos registrados por el sistema portátil.

En el Capítulo IV se describen los resultados de las pruebas de campo, relacionándolos con los datos y/o registros existentes.

En el Capítulo V se incorpora una pequeña tabla con los costos y presupuestos requeridos para implementar el sistema portátil.

Finalmente se formulan las conclusiones y observaciones destacándose las ventajas presentadas por el sistema portátil en el registro de datos y su posible gama de aplicaciones.

# **CAPÍTULO I GENERALIDADES**

## **1.1 Energía Solar**

La energía solar es una fuente inagotable y disponible para el aprovechamiento del hombre civilizado para satisfacer sus necesidades, se presenta como una alternativa para reemplazar las energías convencionales.

La energía generada al interior del sol a temperatura de varios millones de grados, se transfiere a su superficie y desde allí es irradiada al espacio que lo circunda, en todas las direcciones, viaja a través del espacio vacío, llega a la atmósfera terrestre el que se comporta como un filtro cuando aquella la atraviesa para, finalmente, incidir sobre la superficie de la Tierra e iniciar diversos procesos, vitales en algunos casos.

### **1.1.1 Intensidad de radiación solar (Irradiancia solar)**

#### **Irradiancia solar**

La irradiancia solar es el flujo de energía radiante recibido sobre una superficie por unidad de área y de tiempo ( $W/m^2$ ).

#### **Irradiancia solar extraterrestre**

Es la cantidad de energía solar que recibe perpendicularmente una superficie horizontal en el tope superior de la atmósfera y que se encuentra a la distancia media sol-tierra (150 millones de km). Esta magnitud se conoce como constante solar ( $I_{sc}$ ):  
 $I_{sc} = 1360 \text{ W/m}^2$ .

Isc varía durante el año entre 1398 (4 enero) y cerca de 1308 (4 de julio), debido a la variación de la distancia entre el sol y la tierra durante el año.

### **Irradiancia directa y difusa**

Antes de llegar a la superficie de la tierra, la radiación interactúa con la atmósfera. Como resultado de ello se tiene además de la irradiancia directa la irradiancia difusa.

La irradiancia solar directa es la irradiancia solar sin dispersión atmosférica, en tanto que la difusa es la que proviene de todo el cielo, exceptuando el ángulo sólido del disco solar.

Por otro lado, se tienen los efectos horarios y estacionales:

- El efecto horario es debido a la rotación de la Tierra, la radiación es máxima al medio día y disminuye al amanecer y atardecer.
- El efecto estacional, debido a la traslación de la tierra, afecta la posición del sol. Para una localidad sobre la línea del ecuador, el movimiento aparente del sol es un círculo los días 21 de marzo al 21 de septiembre. Sin embargo el plano en el que se mueve el sol varía, encontrándose en el norte entre el 21 de marzo y el 21 de septiembre (el 21 de junio forma un ángulo de  $23.50$  hacia el norte con la vertical) y en el hemisferio sur entre el 21 de septiembre y el 21 de marzo (el 21 de diciembre forma un ángulo de  $23.50$  hacia el sur con la vertical).

De acuerdo a esto, se debería corregir estacionalmente la inclinación con respecto al plano horizontal. Pero ahora resulta que por razones técnicas, los módulos solares deben colocarse con una inclinación mínima de  $10$  a  $15^\circ$ . En la práctica, los módulos solares se suelen instalar en el hemisferio norte (sur) con una inclinación igual al de la latitud del lugar pero no inferior de  $10$  a  $15^\circ$  y mirando hacia el sur

(norte). Existen, actualmente, programas de computador que optimizan la orientación de los módulos.

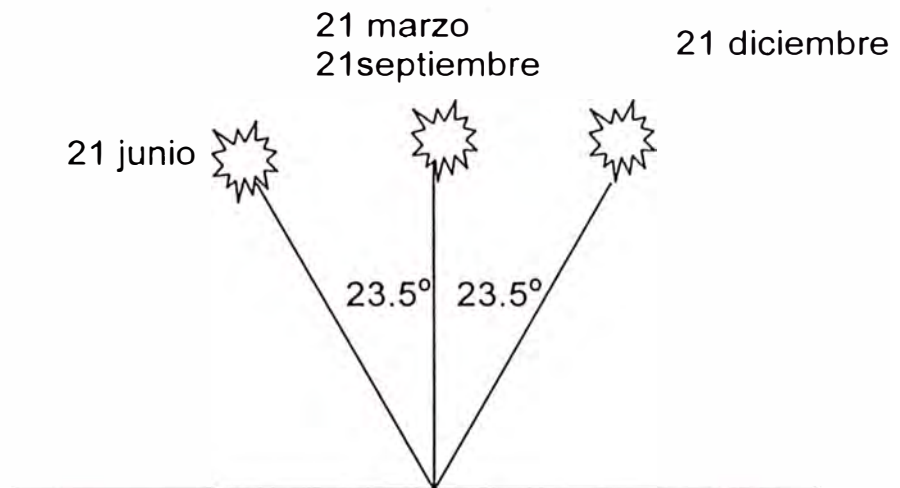


Figura 1.1. Posición aparente del sol al medio día en un lugar del ecuador en cuatro fechas diferentes.

### 1.1.2 Irradiancia en la Ciudad de Ayacucho

La ciudad de Ayacucho se encuentra a 2,761m.s.n.m.,  $15^\circ 09'$  de latitud sur y longitud  $74^\circ 12'$  oeste, su intensidad de radiación solar, de acuerdo a los resultados obtenidos por Paolo Ambrosetti Bertazzi, del Programa de Investigación de las Energías Naturales (1979), desarrollado durante los años de 1977-1979, se resume en la tabla

**Tabla 1.1. Irradiancia en la ciudad de Ayacucho.**

Mes	Total diario Kwh/m <sup>2</sup>	Mañana (%)	Tarde (%)	10-14 (%)	9-15 (%)	8-16 (%)
I	7,109	49,1	50,9	55,0	76,8	90,9
II	7,352	47,7	52,3	55,5	76,8	90,9
III	7,020	50,5	49,5	55,4	76,7	91,6
IV	6,486	49,6	50,4	56,1	77,4	92,0
V	6,063	52,0	48,0	56,2	77,8	92,0
VI	5,760	49,8	50,2	56,2	78,4	92,6
VII	5,785	49,4	50,6	55,2	77,3	92,2
VIII	6,287	51,3	48,7	56,5	77,9	92,3
IX	6,994	51,3	48,7	55,0	76,7	91,3
X	7,320	55,7	44,3	53,9	74,8	89,5
XI	7,516	57,2	42,8	52,8	74,6	89,2
XII	7,168	54,5	45,5	53,5	74,8	89,5

Obteniendo los siguientes conclusiones importantes:

- Que la radiación solar promedio de Ayacucho por día, por mes del año es: 6,738 KWh/m<sup>2</sup>.
- La radiación mínima promedio 5,760 KWh/m<sup>2</sup>, que corresponde al mes de junio.
- La radiación máxima promedio 7.516 KWh/m<sup>2</sup>, en el mes de noviembre.
- Número de horas de sol promedio: 6,738 hrs.
- “La radiación solar es intensa durante todo el año, a causa de la altura, poco contenido de vapor de agua y falta de contaminación atmosférica”, que en estos últimos años esta siendo deteriorada fuertemente.
- En la ciudad de Ayacucho el número de horas sol es relativamente elevado ( un promedio de 2600 horas por año).
- Existe una probabilidad de tener una secuencia de algunos días desfavorables apreciablemente, dichos días no son tan pobres en radiación.
- Generalmente la velocidad del viento no alcanza valores elevados.

- El promedio de las temperaturas máximas diarias no varía mucho a lo largo del año, pero el promedio de las mínimas varía en forma más apreciable, debido a que en el invierno las heladas pueden ser muy fuertes.

### 1.1.3 Determinación de los parámetros térmicos de una cocina tipo caja como aplicación de la energía solar

#### a) Primer factor de mérito F1

El primer factor de mérito establece la relación entre la eficiencia óptica de la cocina y las pérdidas al exterior desde la placa.

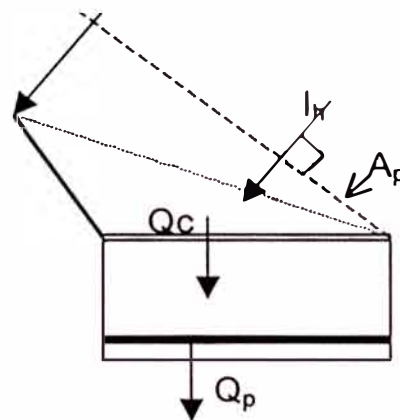


Figura 1.2. Cocina solar tipo caja.

El balance de calor sobre el sistema indica que el calor útil en el colector ( $Q_u$ ) es igual al calor absorbido por el colector ( $Q_c$ ) menos las pérdidas desde el colector ( $Q_p$ ).

$$Q_u = Q_c - Q_p \quad (1.1)$$

$$Q_u = A_{hp} I_h \eta_o - U_L A_p (T_p - T_a) \quad (1.2)$$

Cuando se establece el equilibrio térmico, el calor útil es cero, entonces de la ecuación (1.2) se tiene:

$$\eta_o A_{ph} I_h = A_p U_L (T_p - T_a) \quad (1.3)$$

De la ecuación (1.3) se puede deducir el primer factor de mérito.

$$F_1 = \frac{\eta_o}{U_L} = \frac{A_p(T_p - T_a)}{A_{ph}I_h} \quad (1.4)$$

Donde:

$\eta_o$  = eficiencia óptica

$U_L$  = coeficiente de pérdidas ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )

$A_p$  = área de la placa absorbente

$A_{ph}$  = área de la superficie proyectada sobre el plano horizontal

$I_h$  = radiación solar global sobre la superficie horizontal ( $W/m^2$ )

$T_p$  = temperatura de placa

$T_a$  = temperatura ambiente

**Tabla 1.2. Parámetros obtenidos de dos cocinas solares**

25 de setiembre del 2001		
Parámetros	Cocina solar 2	Cocina solar 1
$A_{ph}$ ( $m^2$ )	0,539	0,491
$A_p$ ( $m^2$ )	0,231	0,189
$T_p$ ( $^\circ C$ )	163	166
$T_a$ ( $^\circ C$ )	28	28
$I_h$ ( $W/m^2$ )	787	787
$F_1$ ( $m^2 \text{ } ^\circ C/W$ )	0,074	0,067

De las figuras 1.3 y 1.4, correspondientes al 25 de septiembre del 2001, se encuentra que la diferencia de la temperatura de la placa y del medio ambiente se hace estacionario durante los últimos 30 a 40 minutos.



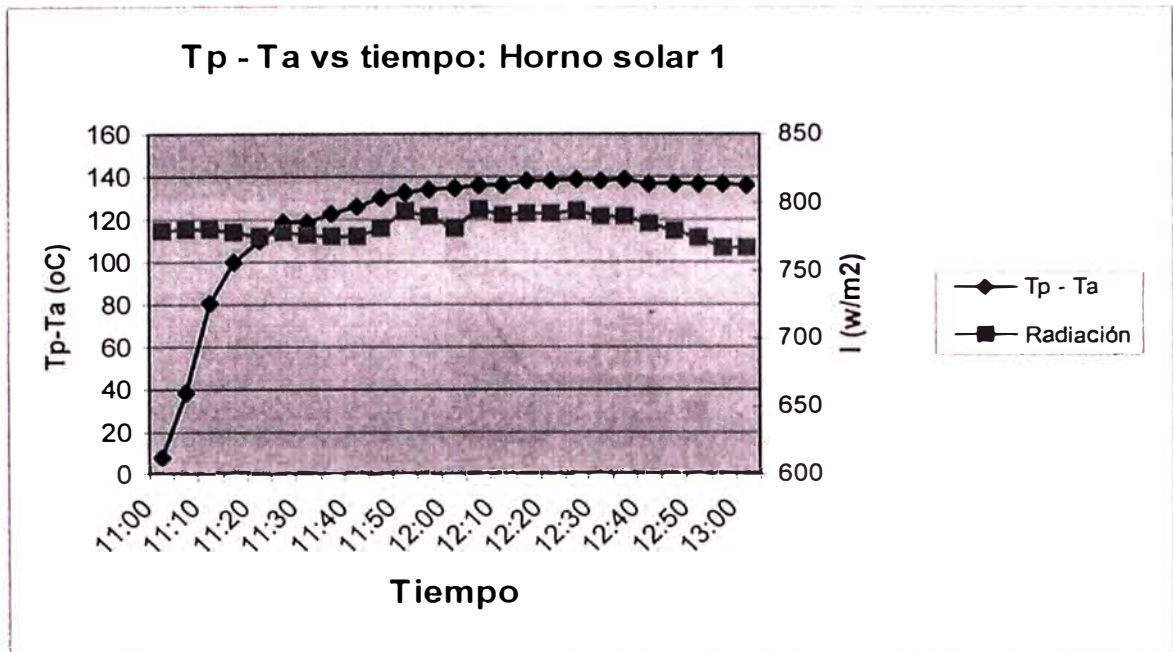


Figura. 1.3. Fecha de evaluación 25-09-01

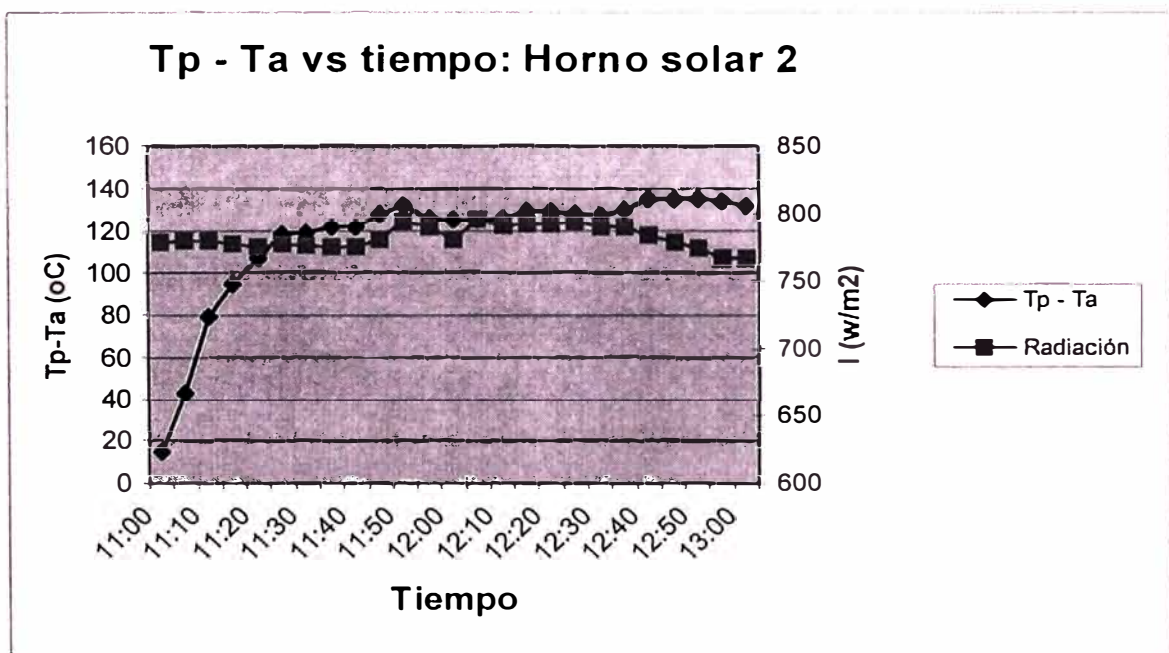


Figura. 1.4. Fecha de evaluación 25-09-01

## b) Segundo factor de mérito F2

Tiene en cuenta la eficiencia de la transferencia de calor hacia el recipiente.

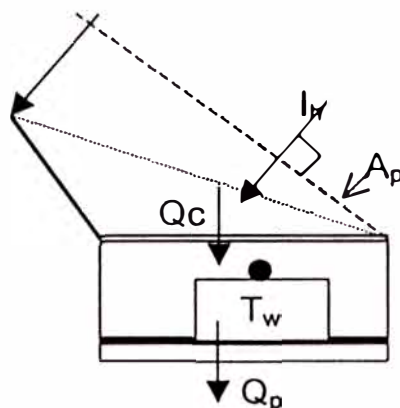


Figura 1.5. Cocina solar tipo caja

La expresión para determinar el factor de mérito F2 es el siguiente:

$$F_2 = \frac{F_1 (Mc)_w}{\tau A_{hp}} \ln \frac{I_h - (A_p / A_{hp} F_1)(T_{w2} - T_a)}{I_h - (A_p / A_{hp} F_1)(T_{w1} - T_a)} \quad (1.5)$$

F2 se puede calcular midiendo el tiempo en alcanzar un intervalo de temperatura, para el caso de cocinas solares, este intervalo va de 40 °C a 80 °C .

## 1.2 Sensores utilizados

### 1.2.1 Celdas fotovoltaicas

La conversión directa de luz solar en energía eléctrica se consigue por medio de las celdas solares. El principio físico de funcionamiento de una celda solar se basa en el efecto fotoeléctrico, por medio del cual los fotones de luz de cierta energía liberan electrones de sus órbitas estables localizadas del semiconductor, permitiendo su desplazamiento libre. Si la fotogeneración de cargas eléctricas se efectúa en una zona en la actúa un campo eléctrico, este canaliza y acelera las mismas en una dirección preferencial, constituyendo este movimiento una corriente eléctrica. Por lo que

obtener materiales fotoeléctricos apropiados y fabricar un campo eléctrico adecuado en la zona de fotogeneración, constituye en esencia el arte de hacer celdas solares.

Este tipo de proceso de conversión no depende del calor, que al contrario reducen su eficiencia. Esta conducta responde al hecho de que los fotones de luz solar transmiten su energía directamente a los electrones sin un paso térmico intermedio. Consecuentemente, las células solares continúan funcionando al mismo rendimiento en cielos nublados que cuando hay brillante luz solar.

Se puede conseguir un efecto de conversión fotovoltaica en todos los semiconductores. Los aislantes son inapropiados a causa de su baja conductividad y los metales son insensibles a la luz a causa a su alta concentración de electrones en la oscuridad.

El silicio es el más importante material semiconductor para la conversión fotovoltaica de energía solar. Actualmente, las células se fabrican de material monocristalino.

### **Característica voltaje-corriente de una celda solar**

La característica corriente–voltaje (IV) de una celda solar se determina mediante la curva IV. La tensión máxima que produce una célula fotovoltaica es máxima cuando no esta conectada a ninguna carga exterior. Para el caso de una celda de  $100\text{cm}^2$  de silicio, a una radiación de  $1\text{kwh}/\text{m}^2$  y temperatura de  $20^\circ\text{C}$ , el voltaje máximo puede ser de 0.1 a 0.5volts y la corriente de corto circuito de 2.5 a 3 A.

Las celdas fotovoltaicas comerciales de silicio tienen un punto de trabajo característico del orden de  $30\text{ mA}/\text{cm}^2$  con un voltaje de 0,45 V para una radiación pico de  $1\text{kW}/\text{m}^2$ . Para una aplicación definida en que se requiera alimentar una carga

a voltajes y corrientes altas, se necesita hacer conexiones en serie y en paralelo, para elevar los puntos de trabajo.

La figura muestra la característica IV (intensidad I contra V) de una celda solar (equivalente al de un panel solar), la función de la intensidad de corriente I respecto al voltaje V, se expresa como:

$$I = ACG - AI_s [e^{qV/kT} - 1]$$

En donde A es el área de la celda, C es una constante,  $G = Q_s$  es la radiación solar ( $W/m^2$ ),  $I_s$  es la corriente de saturación del diodo, q la carga eléctrica elemental (e), k la constante de Boltzman ( $k=1.38 \times 10^{-23}$  J/K) y T la temperatura absoluta en Kelvin.

Sin iluminación las características es la de un diodo. La relación entonces es:

$$I_d = -AI_s [e^{qV/kT} - 1]$$

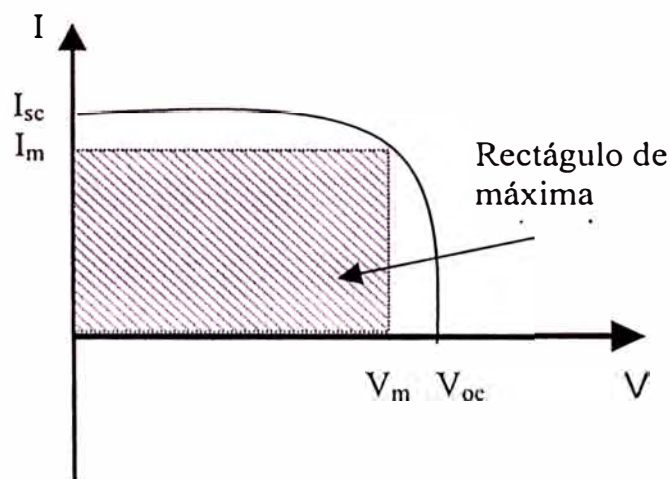


Figura 1.6. Característica IV de una celda solar.

### **Voltaje de circuito abierto ( $V_{oc}$ ) y Corriente de corto circuito ( $I_{sc}$ ).**

Dos importantes características de las celdas solares son el voltaje de circuito abierto  $V_{oc}$  y la corriente de corto circuito  $I_{sc}$ .

Para circuito abierto  $I=0$  y entonces:

$$V_{oc} = (kT/q) \ln[(C.G/I_s) + 1]$$

$$V_{oc} \approx (kT/q) \ln[C.G/I_s]$$

Para corto circuito,  $V=0$  y por consiguiente  $I_{sc} = CGA$

La corriente  $I_{sc}$  es entonces una función lineal de la radiación solar. Esta propiedad permite emplear las celdas solares como sensores para la medición de la radiación solar.

### 1.2.2 Sensores de temperatura

A menudo la temperatura se define como aquella propiedad que miden los termómetros. También se introduce la temperatura basándose en alguna propiedad termométrica, por ejemplo la expansión de un líquido, un gas, la resistencia de un conductor, la tensión eléctrica generada por un par termoeléctrico (termocupla), etc.

**Tabla 1.3. Características notables de los sensores de temperatura**

Tipo de termómetro	Rango Nominal [°C]	Costo	Linealidad	Características Notables
Termómetro de mercurio	-10 a 300	Bajo	Buena	Simple, lento y de lectura manual.
Termorresistencia Pt, Ni, etc.) RTD: (Resistance Temperature Detectors)	-150 a 600	Medio	Alta	Exactitud
Termocupla	-150 a 1500	Bajo	Alta	Requiere referencia de temperatura.
Termistor	-15 a 115	Medio	No lineal	Muy sensible
Integrado Lineal		Medio	Muy alta	Fácil conexión a sistemas de toma de datos.
Gas	-20 a 100	Medio	Buena	No muy versátil
Diodos	-200 a 50	Bajo	Alta	Bajo costo

En la práctica existen numerosos tipos de sensores de temperatura o termómetros que, según la aplicación específica, pueden ser los más adecuados. En la tabla siguiente se indican algunos tipos de termómetros y sensores de temperatura usuales junto a algunas de sus características más notables.

**a) Sensor de temperatura basado en un par termoeléctrico (termocupla)**

Una termocupla básicamente es un transductor de temperaturas, es decir un dispositivo que convierte una magnitud física en una señal eléctrica. Está constituida por dos alambres metálicos diferentes que, unidos, desarrollan una diferencia de potencial eléctrica entre sus extremos libres que es aproximadamente proporcional a la diferencia de temperaturas entre estas puntas y la unión. Se suelen fabricar con metales puros o aleaciones (caso común) y la característica más notable es que son empleadas para medir temperaturas en un rango notablemente grande comparadas con otros termómetros. Valores típicos del rango están entre 70 K y 1700 K, pudiéndose llegar en algunas circunstancias con aleaciones especiales hasta los 2000 K.

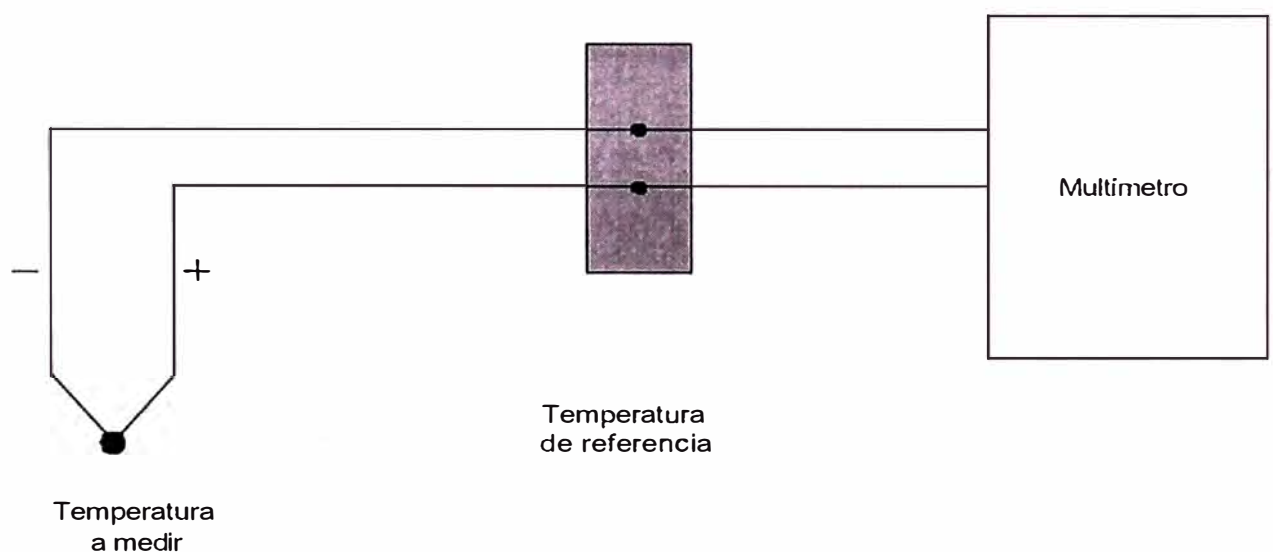


Figura 1.7. Termocupla

Una termocupla, en rigor, mide diferencias de temperaturas y no temperaturas absolutas. Esto hace necesario el uso de una temperatura de referencia, por lo que suele emplearse un baño de agua con hielo ( $0^{\circ}\text{C}$ ). El empleo de termocuplas para medir temperaturas está fundamentado en el efecto Seebeck, que a su vez es una combinación de dos efectos: el Thompson y el Peltier.

**b) Sensor de temperatura basado en circuito integrado (semiconductor)**

Varios fabricante han producido circuitos integrados que son muy adecuados para medir temperaturas. En particular estos circuitos son muy adecuados para medir temperaturas cuando se usa un sistema de toma de datos conectado en una computadora.

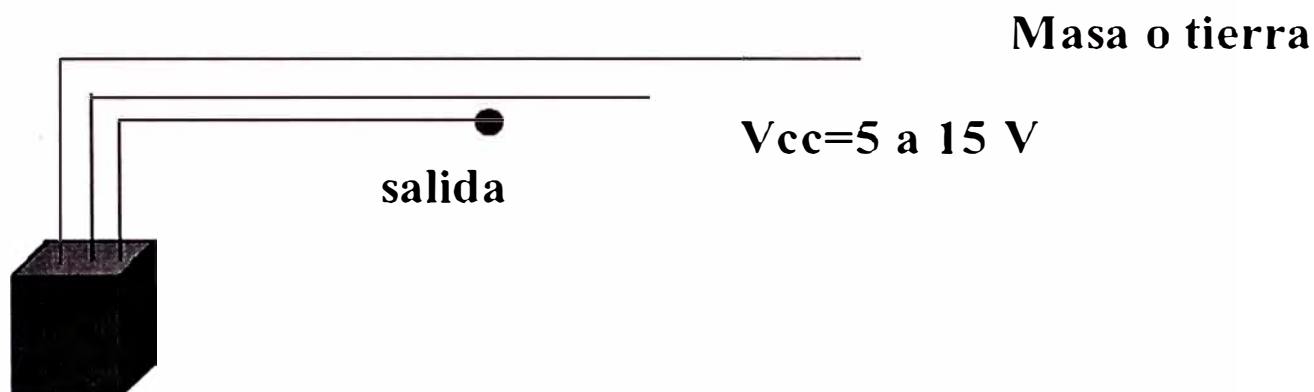


Figura 1.8. Sensor basado en semiconductor

Estos circuitos, por lo general tienen tres patas: tierra, alimentación ( $V_c$  entre 5 a 15V) y una salida, similar a como se muestra en la Figura 2. Estos circuitos producen una señal muy lineal y calibrada. Por lo general producen ente 1 y 10  $\text{mV}/^{\circ}\text{K}$ . Existen integrados con calibraciones para diversos sistemas de unidades. El rango usual de estos termómetro esta típicamente entre los  $-10^{\circ}\text{C}$  y  $120^{\circ}\text{C}$ .

### c) Sensor de temperatura LM335

Se eligió el sensor LM335, que es un sensor de temperatura de estado sólido que pertenece a una familia de dispositivos que poseen una sensibilidad de  $10\text{mV}/^\circ\text{K}$ . Se usa en el caso de aplicaciones en las que se necesita medir temperaturas comprendidas entre  $-10^\circ$  y  $100^\circ\text{C}$ , su diseño es similar al zener de dos terminales.

En la hoja de datos correspondiente al LM335, se observa que la sensibilidad del dispositivo es de  $10\text{mV}/^\circ\text{K}$ , sin embargo en caso de nuestra aplicación lo que deseamos es medir grados Celsius. La relación que existe entre grados Celsius y grados Kelvin es el siguiente: una elevación en un grado en la escala de Kelvin es igual a una elevación en la escala Celsius y el punto de congelación del agua es de  $0^\circ\text{C}$  y equivale a  $273^\circ\text{K}$ .

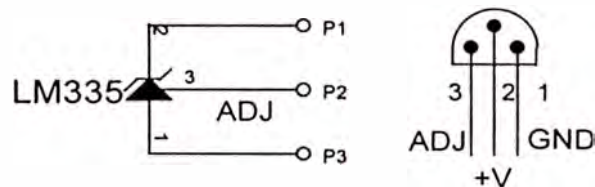


Figura 1.9. Sensor de temperatura LM335

#### **Ecuación que representa el sensor:**

La respuesta del LM335 es proporcional al aumento de la temperatura.

En la figura se muestra una gráfica del voltaje de salida del LM335 en función de la temperatura.



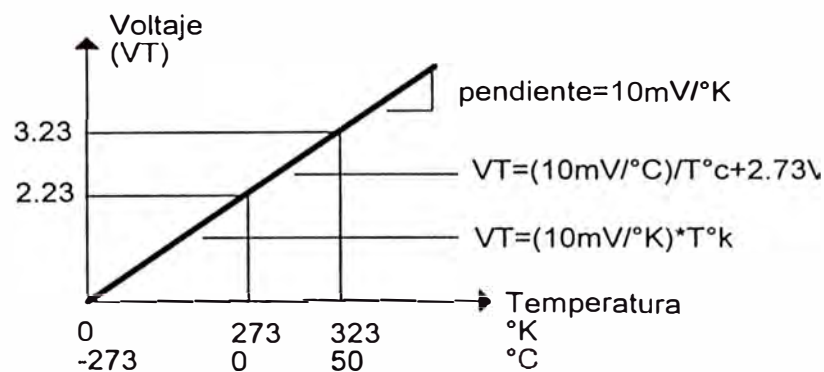


Figura 1.10. Gráfica de linealidad del sensor LM335

La pendiente de la línea equivale a la sensibilidad del dispositivo: 10mV/°K, por lo tanto, el voltaje de salida expresado en °K es el siguiente:

$$V_T = (10\text{mV}/^\circ\text{K}) * (T_{\text{ent}^\circ\text{K}})$$

En la cual T es la temperatura en °K, a 273°K (0°C) el voltaje de salida del sensor es:

$$V_T = (10\text{mV}/^\circ\text{K}) * 273^\circ\text{K} = 2.73\text{V}$$

Ahora es posible expresar el voltaje de salida del sensor en grados Celsius:

$$V_T = (10\text{mV}/^\circ\text{C}) * (T_{\text{ent}^\circ\text{C}}) + 2.73\text{V}$$

En donde T es la entrada expresada en grados Celsius. En el caso de nuestra aplicación a 0°C le corresponde un  $V_T=2.73\text{V}$  y a 100°C le corresponde un  $V_T=3.73\text{V}$ .

### 1.2.3 Sensor de velocidad viento: Anemómetro basado en diodo Zener

La información referente al sensor de velocidad de viento basado en diodo zener se ilustra en el ANEXO B.

## 1.3 Puertos y protocolos de comunicaciones

### 1.3.1 Puerto de Comunicaciones RS-232

#### Puerto RS-232 (UART)

El puerto serial mas comúnmente empleado se conoce bajo la denominación V.24 o RS-232. Desde el año 1969 existe la norma EIA-RS232-C, que reemplazó completamente al RS232-B. El puerto serial RS232-D definido en el año 1986 es una versión ampliada del RS232-C. Actualmente se tiene la versión RS232-E o exactamente el EIA/TIA-232-E, que fue introducida en el año 1990; pero la versión más difundida sigue siendo el RS232-C.

Las propiedades del RS232-C son las siguientes:

#### ***Propiedades Funcionales:***

- Conexión entre los equipos terminales de datos y los equipos de transmisión de datos
- Transmisión binaria síncrona o asíncrona
- Velocidad máxima de transmisión de 20000 bits/s

#### ***Propiedades Mecánicas:***

- Conector de 25 polos entre los equipos
- Los conectores Amphenol 57-30360 y Canon 7529 están definidos en ISO 2110
- Están permitidos longitudes de cables de hasta 15 metros; cuando la capacitancia de carga máxima no supera 2,5 nF, se puede alcanzar longitudes mayores.

#### ***Propiedades Eléctricas de la Señal:***

- El Uno lógico corresponde a voltajes menores de  $-3V$ , mientras que el Cero lógico a voltajes mayores de  $+3V$ . El rango entre  $-3V$  y  $+3V$  no está permitido.
- El voltaje máximo es de  $\pm 25V$ , pero normalmente se emplea  $\pm 15V$

- La corriente de cortocircuito no debe exceder de 0,5 A.

**Tabla 1.4. Distribución de las señales del puerto serial en un conector de 25 pines**

Solo en casos excepcionales son empleados todos los pines del puerto serial, el hecho de que un dispositivo tenga un puerto RS232 no significa que podrá comunicarse con otro dispositivo que tenga también otro RS232, pues es necesario fijar en ambos el tipo de transmisión (síncrona o asíncrona), los parámetros de comunicación y la forma de conexión.

Pin	Denominación	Dirección
<b>Masa</b>		
1	Protective Ground	
7	Signal Ground / Common Return	
<b>Datos</b>		
2	Transmitted Data (TxD)	T
3	Received Data (RxD)	R
<b>Señales de Control y Estado</b>		
4	Request To Send (RTS)	T
5	Clear To Send (CTS)	R
6	Data Set Ready (DSR)	R
20	Connect Data to Line / Data Terminal Ready	T
22	Ring Indicator (RI)	R
8	Received Line Signal / Detector Carrier Detector (DCD)	R
21	Signal Quality Detector	R
23	Data Signal Rate Selector	T, R
11	Select Transmit Frequency	T
<b>Señales de Sincronización</b>		
24	Transmit Signal Element Timing, Transmit Clock (TC)	T
15	Transmit Signal Element Timing, Transmit Clock (TC)	R
17	Receiver Signal Element Timing, Receive Clock (RC)	R
<b>Canales Auxiliares</b>		
14	Secondary Transmitted Data	T
16	Secondary Received Data	R

19	Secondary Request to Send	T
13	Secondary Clear to Send	R
12	Secondary Carrier Detector	R
Otros		
9, 10	Reserved for Data Set Testing	T, R
25	No asignado	

La seguridad en la transmisión se puede aumentar al realizarse un Handshaking, esto se logra empleando los pines RTS (Request to Send) y CTS (Clear to Send). En este caso la transmisión de datos se puede hacer solo cuando RTS y CTS están activos (low). Un aumento adicional de la seguridad en la transmisión de datos es mediante el empleo de los pines Data Set Ready (DSR) y Data Terminal Ready (DTR), que son responsables del enlace.

### 1.3.2 Bus de Comunicaciones I<sup>2</sup>C

El nombre proviene de Inter Integrated Circuit Bus y fue desarrollado por la empresa Philips para la conexión serial de componentes integrados que se encuentren dentro de un solo aparato. En vez de tener innumerables cables para la conexión de los componentes, solo se necesita dos cables y un cable a tierra para lograr esta conexión; lo que simplifica el cableado y hace las placas más pequeñas y seguras.

Cada componente I<sup>2</sup>C tiene su propia dirección y puede trabajar, en dependencia a su función, como emisor (Transmitter) o receptor (Receiver). Además, cada componente puede trabajar como Master, de los cuales el bus puede soportar varios de ellos (Multimaster), o como Slave. Por ejemplo, un microcontrolador representa al Master, mientras que una memoria serial EEPROM al Slave.

El bus I<sup>2</sup>C solo puede transmitir información a distancias pequeñas (algunos varios metros) y puede alcanzar una velocidad máxima de transmisión de 100 kBit/s. Para la transmisión de datos solo se necesitan dos cables, uno para la línea de datos

SDA (Serial Data-Line) y el otro para la sincronización SCL (Serial Clock-Line). Dentro del IC se encuentran transistores con salida con Open-Collector o con Open-Drain.

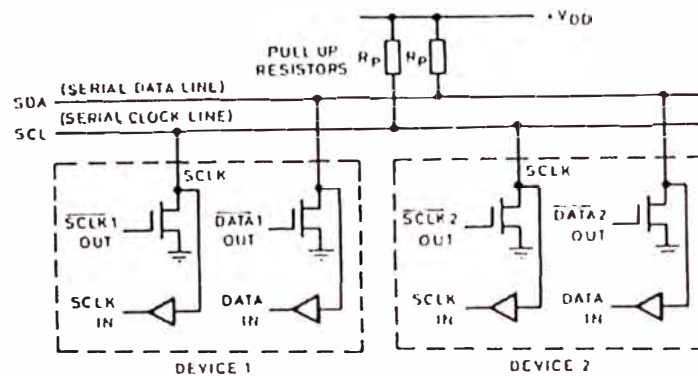


Figura 1.11. Bus I<sup>2</sup>C

#### 1.4 Microcontroladores PIC

Un microcontrolador es un circuito integrado que tiene generalmente los siguientes componentes básicos:

- Unidad central de proceso (CPU).
- Memoria de acceso aleatorio para datos (RAM).
- Memoria de sólo lectura (ROM, EPROM).
- Bus de datos, bus de direcciones y líneas de entrada/salida.
- Temporizadores (Timers).
- Fuentes de interrupción.

Dependiendo del tipo de microcontrolador puede prescindir de algunas características como las interrupciones o bien, tener un aumento en sus prestaciones al incluir comparadores, mayor número de fuentes de interrupción, interfaces de comunicación, conversores analógico a digita, etc. Sin duda la elección del microcontrolador dependerá del proceso o proyecto que se tiene en mente pues los

fabricantes tienen muchos modelos enfocados a tareas específicas. Esta selección deberá ir de la mano con factores económicos óptimos así como de la idea del controlador incrustado (*embedded controller*), el cual es un controlador dedicado a una sola tarea e incorporado al sistema que gobierna. Cada vez existen más productos que incorporan un microcontrolador con el fin de aumentar sus prestaciones, reducir su tamaño y costo así como para mejorar la fiabilidad.

Las aplicaciones de un microcontrolador son tan inmensas que el límite es la propia imaginación del diseñador. Los siguientes son algunos campos en los que los microcontrolador tienen gran uso:

- Aparatos portátiles y de bolsillo.
- Aparatos electrodomésticos.
- Control industrial y robótica.
- Periféricos de computadoras.
- Sistemas de adquisición de datos.
- Sistemas de seguridad.
- Navegación.
- Telefonía celular.
- Industria automotriz.

#### **1.4.1 Microcontrolador PIC 16F877**

##### **Características:**

- CPU RISC de alto rendimiento.
- Solo 35 instrucciones.
- Todas las instrucciones son de 1 ciclo, excepto aquellos que sirven para saltos de programas que son de 2 ciclos.

- Velocidad máxima de operación: DC - 20 MHz (reloj de entrada), DC - 200 ns (ciclo de instrucción)
- 8K x 14 palabras de Memoria de Programa tipo FLASH, 368 x 8 bytes de Memoria de Datos (RAM), 256 x 8 bytes de Memoria de Datos EEPROM.
- 14 posibilidades de Interrupción.
- Hardware Stack de 8 niveles de profundidad.
- Modos de direccionamiento: Directo, indirecto y relativo.

#### **Características especiales del microcontrolador:**

- Dispositivo para RESET DESDE EL ENCENDIDO (POR).
- Tiempo de espera para la fuente de poder (PWRT) y el oscilador (OST).
- Watchdog Timer (WDT) con oscilador RC incorporado.
- Código de protección de software.
- Modo SLEEP para ahorro de energía.
- Opciones del oscilador seleccionables.

#### **Tecnología CMOS:**

- FLASH/EEPROM de alta velocidad y bajo consumo.
- Diseño protegido contra la energía estática.
- Programación serial IN CIRUIT (ICSP) vía dos pines y con voltaje simple 5V.
- El Procesador accesa a la memoria del programa para leer/escribir.
- Amplio rango de operación de voltaje: 2V. a 5.5V.
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Rangos de temperatura Comercial e Industrial.

- Bajo consumo de potencia: < 2 mA typical @ 5V, 4 MHz; 20 mA typical @ 3V, 32 kHz; 1 mA typical standby current

#### **Características periféricas:**

- Timer0: timer/counter de 8 bits con preescalador programmable de 8 bits.
- Timer1: timer/counter de 16 bits con preescalador, que puede incrementarse durante el sleep vía cristal/clock externo.
- Timer2: timer/counter de 8 bits con registro periódico de 8 bits, preescalador y postescalador.
- Dos modos de captura, Modo de Comparación y Modulación PWM: la captura es de 16-bits y la resolución máxima es de 12.5ns, la comparación es de 16-bits y la resolución máxima es de 200ns, la máxima resolución del PWM es de 10-bits.
- Conversor Análogo-a-Digital de 10 bits multi-canal (8 canales).
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI (Master Mode) and I<sup>2</sup>C (Master/Slave).
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter USART/SCI) with 9-bit address detection.
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR)



**Tabla 1.5. Resumen de las características del PIC 16F877**

<b>Características del PICmicro™ y Rangos promedios de referencia</b>	<b>PIC16F877</b>
Frecuencia de operación	DC - 20 MHz
Resets (y Retardos)	POR, BOR (PWRT, OST)
Memoria de Programa FLASH (14-bit words)	8K
Memoria de Datos (bytes)	368
Memoria de Datos EEPROM	256
Interrupciones	14
Puertos de entrada/salida (I/O)	Puertos: A, B, C, D y E
Temporizadores (Timers)	3
Módulos: Capture/Compare/PWM	2
Comunicación Serial	MSSP, USART
Comunicación Paralela	PSP
Module conversor Análogo-a-Digital de 10 bits	8 canales de entrada
Conjunto de instrucciones	35 Instrucciones

## 1.5 Memoria serial EEPROM I<sup>2</sup>C

### 1.5.1 Memoria serial 24LC256

#### Características de la memoria 24LC256:

- Tecnología CMOS de bajo consumo
- Bus serial de 2 hilos, compatible con el protocolo I<sup>2</sup>C
- Se pueden conectar hasta 8 dispositivos en cascada
- Garantizado hasta 100,000 ciclos de borrado/grabado
- Retención de datos por 200 años
- EEPROM de 32K x 8bits

#### Descripción de pines

**A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>:** Chip address inputs

Son usadas para realizar operaciones con múltiples dispositivos. Los niveles de estas entradas son comparadas con los bits correspondientes de la dirección esclavo

(internamente). El chip es seleccionado si con su dirección coincide. Hasta 8 chips pueden ser conectados al mismo bus usando diferentes direcciones.

### **SDA: Serial Data**

Es un pin bidireccional usado para transferir direcciones y datos. Es un terminal drenador abierto, antes de nada, el bus requiere resistencias pull up conectados a Vcc, de 10K para 100KHz y 2K para 400KHz a 1MHz.

Para transferencia normal de datos, SDA está permitido cambiar sólo durante SLC bajo. Cambios durante SLC alto son reservados para indicar las condiciones de START y STOP.

### **SLC: Serial Clock**

Esta entrada es utilizada para sincronizar la transferencia de datos.

### **WP: Write Protect**

Puede estar conectado a Vss, Vcc o quedar libre. Una resistencia interna pull down mantiene el estado desprotegido si este pin está a Vss ó libre. Su operación normal es habilitado, se puede leer/escribir completamente en las direcciones 0000..7FFF.

Si  $WP=Vcc$ , las operaciones de escritura son inhibidas, mientras las operaciones de lectura no son afectadas.

### **Descripción funcional**

Soporta un bus bidireccional de 2 hilos y protocolo de transmisión de datos. El bus puede ser controlado por un dispositivo maestro el cual genera la señal de reloj (SLC), controla el acceso al bus y genera las condiciones de START y STOP mientras el 24xx256 trabaja como esclavo. Ambos maestro y esclavo pueden operar

como transmisor y receptor, pero el dispositivo maestro determina en que modo son habilitados.

### 1.5.2 Protocolo I<sup>2</sup>C

El siguiente protocolo del bus, se delinea del modo siguiente:

- La transferencia de datos pueden ser iniciados sólo cuando el bus no está ocupado.
- Durante la transferencia de datos, la línea de datos puede quedar estable cuando la línea de reloj está en alto.

#### Bus no ocupado.

Cuando ambas líneas de datos y reloj están en nivel alto.

#### Inicio de transferencia de datos

Una transición de alto a bajo de la línea SDA mientras el reloj está en alto, determina una condición de START

#### Parar la transferencia de datos

Una transición de nivel bajo a alto de la línea SDA mientras el reloj está en alto, determina una condición de STOP.

#### Formato del byte de control

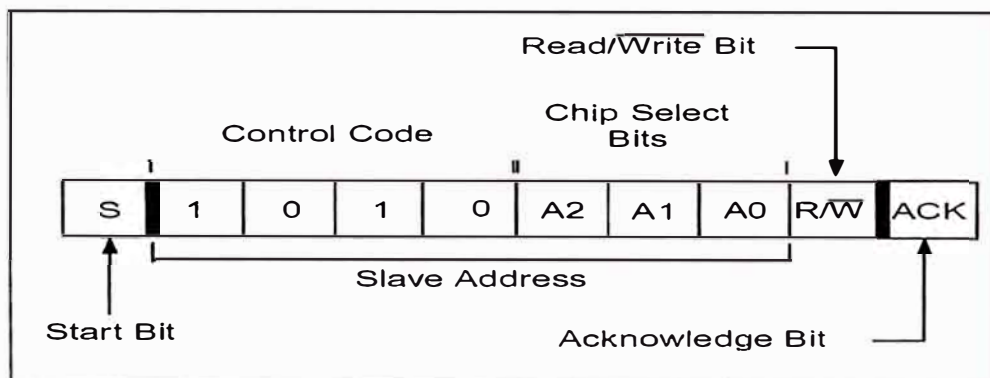


Figura 1.12. Formato del byte de control

### Direccionando el dispositivo

El byte de control es el primer byte recibido luego de la condición de START. Este byte consiste en un código de control de 4 bits; para el 24xx256 este código es 1010<sub>2</sub> para leer y escribir. Los siguientes tres bits del byte de control son los bits para selección del chip (A<sub>2</sub>,A<sub>1</sub>,A<sub>0</sub>). Los siguientes 2 bytes recibidos definen la dirección del primer byte de datos, sólo de A<sub>14</sub>...A<sub>0</sub> son usados.

Los bits más significativos son transferidos primero, seguido de los bits menos significativos.

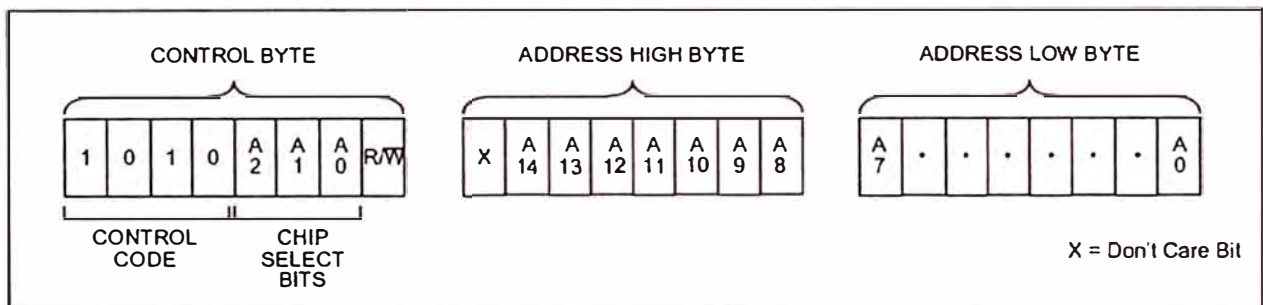


Figura 1.13. Formato de direccionamiento de dispositivo

### Operación de escritura

#### Escritura de byte

El maestro envía la condición de START, la palabra de control y dirección; luego de recibir la señal de reconocimiento del esclavo, el maestro envía el dato, el esclavo reconoce el dato y el maestro genera la condición de STOP.

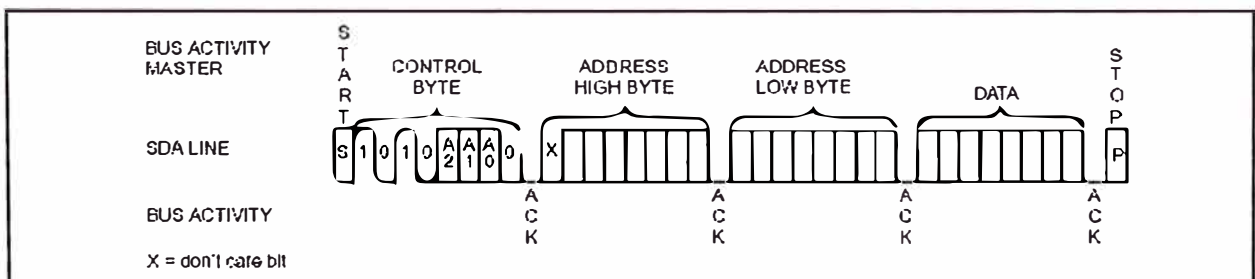


Figura 1.14. Formato para escritura de byte

### Escritura de página

Si en lugar de generar una condición de STOP, el maestro transmite hasta 63 bytes adicionales, los cuales son temporalmente almacenados en un buffer del PIC, pueden ser escritos en la memoria.

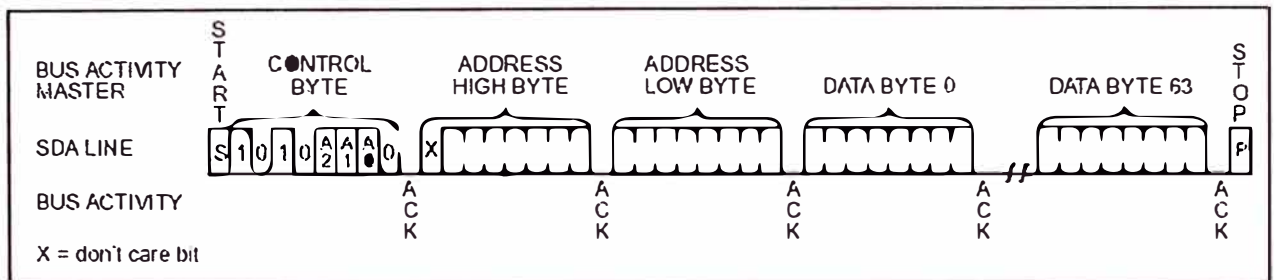


Figura 1.15. Formato para escritura de página

### Operación de lectura

La operación de lectura es realizada de la misma manera que un operación de escritura, excepto que R/W será igual a 1.

La memoria contiene un contador de direcciones que mantiene la dirección de la última palabra accesada, internamente incrementada en 1. si la lectura previa fuera en la dirección 'n', la siguiente operación de lectura leería dato de la dirección 'n+1'.

Para una lectura aleatoria, el maestro luego de enviar el dato, envía la condición de STOP.

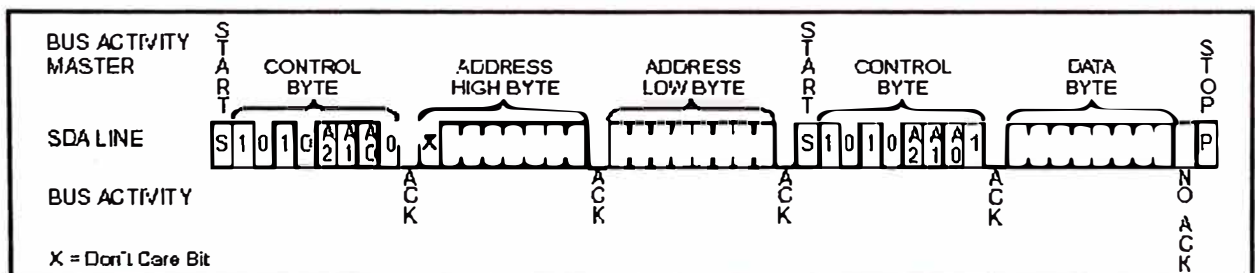


Figura 1.16. Formato para lectura aleatoria

Para una lectura secuencial, luego de transmitido el dato, el maestro genera un reconocimiento como contrapartida a la condición de STOP, para luego leer el siguiente dato, correspondiente a la dirección siguiente.

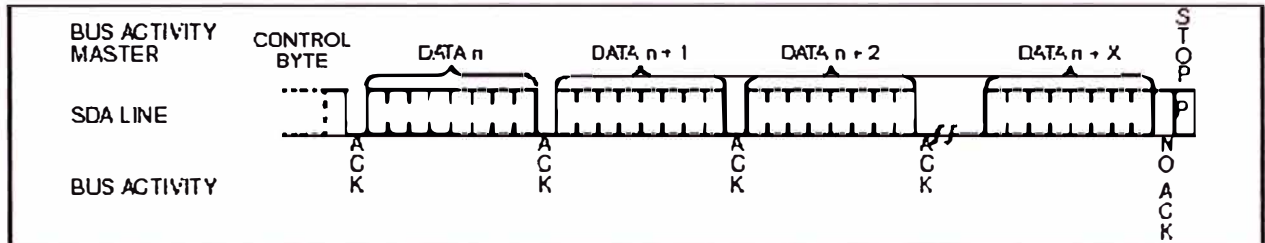


Figura 1.17. Formato para lectura secuencial

## **CAPÍTULO II DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA PORTÁTIL**

### **2.1 Introducción**

El sistema portátil basado en microcontrolador para el registro de radiación solar, temperatura y velocidad de viento (de ahora en adelante designado por SisPort) es un proyecto desarrollado con la finalidad de automatizar el registro de datos correspondientes a radiación solar y su relación con la temperatura y velocidad de viento. Este registro de datos servirá para el desarrollo, evaluación y estandarización de equipos de tecnología solar (módulos fotovoltaicos, cocinas y hornos solares).

En este capítulo se describe el principio de funcionamiento del SisPort que satisface los objetivos trazados.

### **2.2 Antecedentes**

Con la necesidad de contar con un mapa solar en la ciudad de Ayacucho, cabe resaltar que el investigador italiano Paolo Ambrosetti Bertazzi, del Programa de Investigación de las Energías Naturales (1979), durante los años de 1977-1979 elaboró un mapa solar con los datos correspondientes a la intensidad de radiación solar. Estos datos fueron obtenidos manualmente con intervalos de tiempo de 20 minutos y corresponden a una zona determinada de la ciudad de Ayacucho.

El SisPort no sólo tiene como objetivo la implementación de un mapa solar actualizado, sino que también la adquisición automática de datos correspondientes a la velocidad de viento y temperatura (de algunos componentes de una aplicación de

tecnología solar). Logrando como variante importante el mapeo solar automatizado, no sólo en la ciudad de Ayacucho, sino en las zonas rurales donde el uso de aplicaciones de tecnología solar es alternativo debido a la escasez de fuentes de energía convencionales.

### **2.3 Planteamiento del problema**

Durante los últimos años se ha incrementado de manera importante el uso de energías renovables por las ventajas sociales, económicas, ecológicas, ambientales, etc. ,que ofrece. Encontrando múltiples aplicaciones térmicas (cocinas y hornos solares) y eléctricas (sistemas fotovoltaicos) lo que permite desarrollar aún más nuevas investigaciones en esta línea.

Para el uso y desarrollo de las aplicaciones solares, se necesita conocer los niveles de radiación solar aprovechables para una zona determinada. En todos los casos existirá un mínimo nivel de radiación solar aprovechable, referido al flujo de energía incidente sobre la superficie terrestre capaz de ser transformado en energía útil y ello va depender de diversos factores como la variabilidad de la radiación solar, estados meteorológicos, ubicación geográfica, etc.

Para implementar aplicaciones basados en sistemas de tecnología solar, y lograr que esta tecnología sea sostenible, se requiere tener un registro actualizado de datos, correspondientes a la Intensidad de radiación solar global:

- Durante las horas del día y los meses del año.
- Promedio por día, por mes del año.
- Mínima promedio por mes del año.
- Máxima promedio por mes del año.

A su vez datos metereológicos como:

- Velocidad de viento, por día, por mes del año.
- Humedad relativa, por día, por mes del año.
- Temperatura ambiente, por día, por mes del año.



## 2.4 Principio de funcionamiento

Por la naturaleza propia del sistema, se necesita leer y almacenar periódicamente los datos correspondientes a la intensidad de radiación solar, temperatura y velocidad de viento. Los datos de radiación solar son registrados durante 12 horas al día (de 6 a.m. a 6 p.m.), los datos de temperatura y velocidad son registrados durante 4 horas al día (de 10 a.m. a 2 p.m). Enseguida se mencionarán los procesos que se desarrollan para el registro automático de datos.

### 2.4.1 Acondicionamiento de señales

Las señales analógicas provenientes de diferentes fuentes, como es en este caso, al ser convertidas en señal eléctrica por los correspondientes transductores (sensores), varían entre un rango de voltaje equivalente, que dependen de la fuente de datos y del sensor utilizado. Además, por el hecho de utilizar un solo dispositivo para la adquisición de estos datos, se requiere acondicionar estos rangos de voltaje para digitalizarlos convenientemente utilizando un solo voltaje de referencia. Por tales motivos se han implementado circuitos de acondicionamiento de señal, tales como:

#### a) **Circuito de acondicionamiento de señal para el sensado de intensidad de radiación solar**

Para el registro de intensidad de radiación solar, utilizamos una fotocelda como sensor ( $UNI-100mV \approx 1000W/m^2$ ), el cual presenta la característica lineal  $0.1mV/(W/m^2)$ , por lo que se implementó un circuito de acondicionamiento de señal basado en amplificador operacional en configuración de amplificador no inversor, para amplificar la señal sensada y normalizarla en el rango  $0 .. V_{ref}$ , donde  $V_{ref}$  será el voltaje de referencia utilizada para el conversor analógico/digital.

**b) Circuito de acondicionamiento de señal para el sensado de temperatura utilizando el circuito integrado LM 335**

Para el registro de temperaturas teniendo como escala máxima  $120^{\circ}\text{C}$ , utilizamos el sensor del tipo semiconductor LM335, el cual presenta la característica lineal  $10\text{mV}/^{\circ}\text{K}$ , por lo que se requiere un circuito de acondicionamiento de señal basado en amplificador operacional en configuración de seguidor de voltaje, agregándole un pedestal de amplitud negativa para normalizar la lectura de la temperatura en  $^{\circ}\text{C}$  y en el rango  $0 \dots V_{\text{ref}}$ .

**c) Circuito de acondicionamiento de señal para el sensado de temperatura utilizando termocupla tipo “K”**

Para el registro de temperaturas teniendo como escala máxima  $220^{\circ}\text{C}$ , utilizamos un par termoeléctrico tipo “K” (termocupla de chromel - alumel) como sensor, el cual presenta la característica lineal  $\#^{\circ}\text{C} = 25(\#\text{mV}) + 22.1^{\circ}\text{C}$ , por lo que se requiere un circuito de acondicionamiento de señal basado en amplificador operacional en configuración de amplificador de instrumentación, para normalizar la lectura de la temperatura en el rango  $0 \dots V_{\text{ref}}$ .

**d) Circuito de acondicionamiento de señal para el sensado de velocidad de viento**

Para el registro de velocidad de viento teniendo como escala máxima una velocidad de  $20 \text{ m/s}$ , utilizamos el anemómetro basado en diodo zener (Anexo B). El cual requiere un circuito de acondicionamiento de señal basado en amplificador operacional, para normalizar la lectura de velocidad de viento en el rango  $0 \dots V_{\text{ref}}$ .

e) **Circuito de acondicionamiento para al voltaje de referencia del conversor análogo/digital incorporado en el microcontrolador**

Este circuito permite suministrar al conversor análogo/digital, el voltaje adecuado para obtener una resolución adecuada en la digitalización de datos provenientes de los diferentes sensores.

#### **2.4.2 Conversión análogo/digital**

Las señales provenientes de los circuitos de acondicionamiento, son ingresados a los diferentes canales de conversión, los cuales secuencialmente son digitalizados por un conversor análogo/digital de 10 bits. La selección del canal de conversión se realiza por software.

#### **2.4.3 Almacenamiento de datos de memoria EEPROM**

Para el almacenamiento de datos digitalizados, se utilizó una memoria serial tipo EEPROM (memoria de sólo lectura borrable y reescribible eléctricamente), utilizando el protocolo de comunicación serial I<sup>2</sup>C (Inter-Integrated Circuit), teniendo el microcontrolador como maestro y la memoria como esclavo.

#### **2.4.4 Transferencia de datos a la PC**

La transferencia de datos de la memoria serial hacia el computador se realiza utilizando el protocolo de comunicación serial RS-232C, para lo cual utilizamos el circuito integrado MAX-232.

Este protocolo de comunicación se implementó de la siguiente manera:

- Por el lado del microcontrolador a través de sus registro especiales.
- De parte el computador utilizando el lenguaje de programación Visual Basic.
- Los parámetros de comunicación son: 19200 bps, 8 bits de datos, Paridad ninguna y un bit de parada.

## 2.5 Esquema general

En la figura 2.1 se muestra la implementación que permite la realización del sistema portátil para el registro de datos. En dicha figura se puede observar que por cada uno de los sensores se ha requerido un circuito de acondicionamiento de señal (CAS), cuyas salidas son conectadas a los canales de conversión análogo/digital correspondientes al puerto A del microcontrolador PIC 16F877.

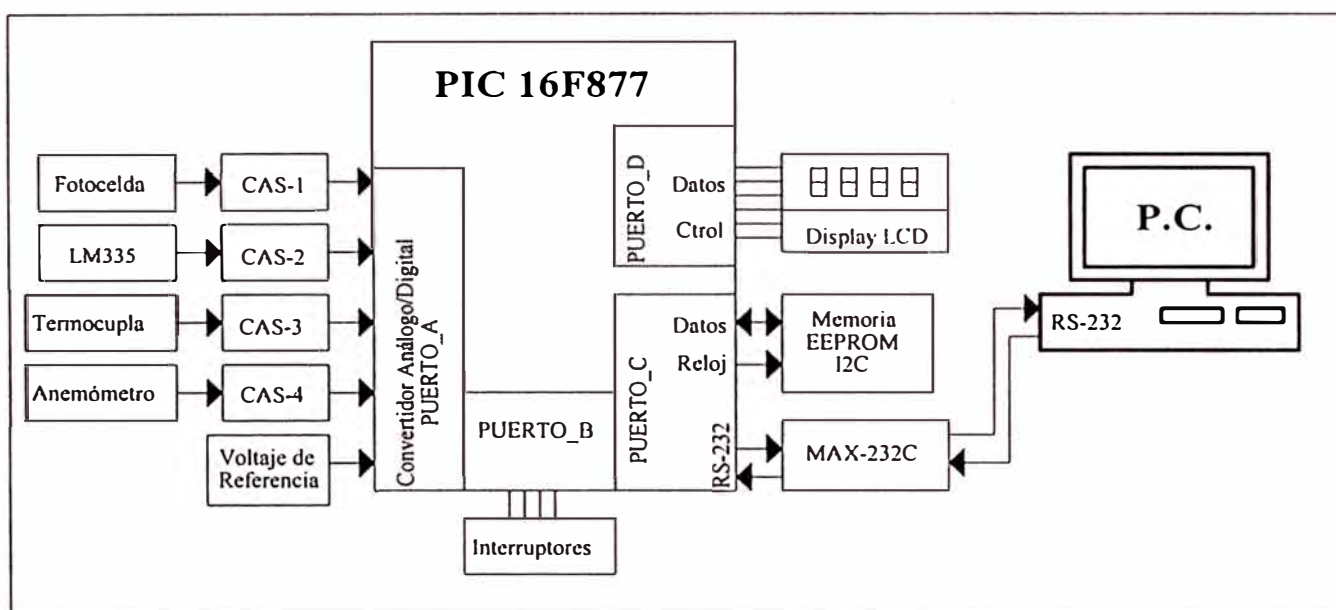


Figura 2.1. Diagrama de bloques del sistema portátil

Con el puerto B del PIC se encuentran conectados los interruptores que permiten configurar el número de horas por día para el registro de datos y seleccionar alguna de las tareas específicas que debe realizar el PIC, como son: captura de datos, almacenamiento de datos y transferencia de datos hacia el computador.

Con el puerto C del PIC se encuentran conectados la memoria serial (para el almacenamiento de los datos capturados) y el circuito integrado MAX-232C (para manejo del protocolo RS-232). A través de este puerto del PIC, es posible el manejo

de los registros especiales para la implementación del protocolo I<sup>2</sup>C (comunicación con la memoria serial) y el protocolo RS-232 (comunicación con el computador).

Con el puerto D del PIC se encuentra conectado el display de cristal líquido (LCD) , el cual nos permite visualizar las opciones de configuración de las operaciones del PIC. Sólo requiere de la presencia del LCD para el caso de configuración y se puede retirar durante la captura de datos.

## **2.6 Descripción del hardware del sistema portátil**

El módulo basado en microcontrolador se dispone físicamente de la siguiente manera:

### **2.6.1 Fuente de alimentación**

La fuente de alimentación del módulo portátil está basado en dos baterías, cada uno de 12 voltios, los cuales permiten alimentar los voltajes  $+V_{cc}=+5V$  y  $-V_{cc}=-5V$  a través de los reguladores de voltaje correspondientes. Estas baterías son aprovechadas de módulos fotovoltaicos instalados en zonas rurales y su consumo adicional no se ve afectado por las características de los componentes electrónicos; además estas baterías son recargados permanentemente por los mencionados módulos.

### **2.6.2 Sensor de temperatura: termocupla**

La señal eléctrica proveniente de la termocupla tipo K es conectada al terminal identificado con la etiqueta de “CON-TERMOCUPLA”, luego amplificada utilizando el circuito integrado TL074 y posteriormente conectado al PIN 7 del microcontrolador, PIN que corresponde al quinto puerto de conversión de señal analógica a señal digital (AN4).

### **2.6.3 Sensor de temperatura: circuito integrado LM335**

La señal eléctrica proveniente del circuito integrado LM335 es conectada al terminal identificado con la etiqueta de “CON-LM335”, luego adaptada utilizando el circuito integrado TL074 y posteriormente conectado al PIN 3 del microcontrolador, PIN que corresponde al cuarto puerto de conversión de señal analógica a señal digital (AN3).

### **2.6.4 Sensor de intensidad de radiación solar: Fococelda**

La señal eléctrica proveniente de la fotocelda es conectada al terminal identificado con la etiqueta de “CON-RADIÓMETRO”, luego amplificada utilizando el circuito integrado TL074 y posteriormente conectado al PIN 2 del microcontrolador, PIN que corresponde al primer puerto de conversión de señal analógica a señal digital (AN0).

### **2.6.5 Sensor de velocidad de viento: Anemómetro analógico**

La señal eléctrica proveniente del sensor de velocidad de viento es conectada al terminal identificado con la etiqueta de “CON-ANEMÓMETRO”, luego adaptada utilizando el circuito integrado TL074 y posteriormente conectado al PIN 8 del microcontrolador, PIN que corresponde al sexto puerto de conversión de señal analógica a señal digital (AN5).

### **2.6.6 Módulo display de cristal líquido (LCD) e interruptores**

Eventualmente se necesitará de un módulo display para visualizar las opciones de configuración adicionales que sean posibles implementar en el SisPort. Este módulo LCD se conecta utilizando los pines identificados como RD1, RD2, RD3, RD4, RD5, RD6 y RD7 del puerto D del microcontrolador.

Las distintas opciones que se presentan en este display dependerán de la activación de cuatro interruptores identificados con “+”, “-“, “Next” y “Enter”. Los mencionados interruptores están conectado en los pines identificados como RB0, RB1, RB2 y RB3 del puerto B del microcontrolador.

### **2.6.7 Memoria serial**

Dos dispositivos (circuito integrado 24LC256), cada uno de 32KB, se encuentran conectados al microcontrolador a través de los pines RC3 y RC4 del puerto C, para aprovechar los registros especiales de éste, que permiten el manejo de la memoria serial mediante el protocolo I<sup>2</sup>C (protocolo de comunicación entre circuitos integrados).

### **2.6.8 Driver TTL – RS232**

El circuito integrado MAX-232, es utilizado como driver para la transmisión de datos del microcontrolador hacia el computador, a través del puerto serial de comunicaciones. El circuito integrado es conectado al microcontrolador a través de los pines RC6 y RC7 del puerto C, para aprovechar los registros especiales de manejo de comunicación serial; además es conectado a un conector DB9 macho, mediante el cual es posible la conexión con el computador.

## **2.7 Descripción del sistema operativo del microcontrolador PIC16F877**

El sistema operativo del Sisport deberá ser iniciado a las 6 a.m. de un día determinado y será autónomo por un periodo máximo de 7 días; Está compuesto por un programa principal y un conjunto de rutinas que permiten en manejo modular de la diferentes operaciones y funciones que deberá realizar el microcontrolador, a continuación describiremos la función principal de cada uno ellos.

### 2.7.1 Programa principal

El programa principal realiza las siguientes tareas:

- Primeramente se definen los registros especiales y los registros de uso general;
- Se incluyen los macros utilizados;
- Se configuran los puertos de entradas y salidas: puertos A y E para conversión análogo-digital, puerto C para manejo de los protocolos I<sup>2</sup>C y RS232, y puerto D para manejo del display LCD;
- Se inician los registros para el control de tiempo: contadores de segundos, minutos, horas y días de operación autónoma; hasta un máximo de 7 días;
- Desde de las 6 a.m. hasta las 6 p.m. de cada día de operación autónoma, cada 20 segundos se registra un dato proveniente del sensor de intensidad de radiación solar y almacenados secuencialmente en la memoria serial 1. A partir de las 10 a.m. hasta las 2 p.m. se registran adicionalmente los datos provenientes del sensor LM335, de la termocupla y sensor de velocidad de viento, almacenándose secuencialmente en la memoria serial 2;
- Desde las 6 p.m. de cierto día hasta las 6 a.m. del día siguiente el SisPort no captura ningún dato, por lo que este intervalo de tiempo puede ser aprovechado para transferir la información al computador. La transferencia de información es solicitada por el computador a través de una interrupción, utilizando una aplicación elaborado en el lenguaje de programación Visual Basic;
- Al cabo de 7 días de captura de datos el SisPort deja de capturar datos hasta que el sistema sea reiniciado previa transferencia de datos.



### **2.7.2 Rutinas de adquisición de datos a través de los canales analógicos**

Existe una rutina por cada canal de adquisición de datos, cada una de estas rutinas realizan las siguientes funciones:

- Inicialización de registros especiales y habilitación del canal correspondiente para la conversión análogo-digital, esto incluye la selección de la entrada AN3 como entrada de referencia de voltaje ( $V_{ref}$ ) para la conversión; y
- Conversión de datos, entregando el valor digital correspondiente a la señal de entrada seleccionada en los registros muestraH:muestraL, donde el registro muestraH es el byte mas significativo y el registro muestraL es el byte menos significativo.

### **2.7.3 Rutina para reloj de tiempo real**

Esta rutina está basado en el control de tiempo debido a las interrupciones producidas por el desbordamiento del registro TMR1 del microcontrolador. Utilizando un cristal externo de 32.768 KHz y considerando un factor de preescala de 1:2 se obtienen interrupciones cada 4 segundos. Esta rutina actualiza los valores de los registros contadores de segundos, minutos, horas y días.

### **2.7.4 Rutina de multiplicación y conversión de binario de BCD**

Los datos almacenados en las memorias seriales, antes de ser transferidos al computador, son afectados por un factor multiplicativo que depende de la fuente de señal sensada, luego se determinan cada uno de sus dígitos decimales los cuales son enviados al computador utilizando su correspondiente código ASCII.

### **2.7.5 Rutina de almacenamiento de datos en la memoria serial 24LC256**

Esta rutina de servicio realiza las siguientes operaciones:

- Inicialización de los registros especiales para el manejo del protocolo I<sup>2</sup>C.

- Implementación de operaciones de lectura y escritura en la memorias seriales 24LC256, utilizando el protocolo I<sup>2</sup>C. En el modo de captura de datos la operación es de escritura de datos y en el modo de transferencia de datos al computador la operación es de lectura de datos.

#### **2.7.6 Rutina de transferencia de datos hacia el computador**

Esta rutina de servicio realiza las siguientes operaciones:

- Inicialización de los registros especiales para el manejo del protocolo RS232.
- Implementación de operaciones de transmisión y recepción de datos.

#### **2.8 Descripción del software de aplicación**

El software de aplicación está elaborada en Microsoft Visual Basic, este software realiza las siguientes funciones:

- Conexión con el microcontrolador y transferencia de datos hacia el computador, utilizando el puerto serial de comunicaciones, mediante el protocolo RS232;
- Creación de una hoja de cálculo y almacenamiento de datos provenientes del microcontrolador. La hoja de cálculo es creada en Microsoft Excel, utilizando el Visual Basic.

## **CAPÍTULO III INGENIERÍA DEL PROYECTO**

### **3.1 DISEÑO DEL HARDWARE**

Para el diseño del hardware se van ha considerar principalmente los siguientes componentes:

- Transductores.
- Circuitos de acondicionamiento de señal, uno para cada transductor.
- Microcontrolador PIC 16F877 de Microchip Technologies.
- Memoria serial EEPROM 24LC256 de 32KB, utilizada para almacenamiento de datos registrados.
- Circuito integrado MAX-232C para implementar la comunicación serial utilizando el protocolo de comunicaciones RS-232.

#### **3.1.1 Transductores**

Los transductores considerados para el diseño son los siguientes:

- Sensores de temperatura: Para termoeléctrico (Termocupla) y circuito integrado LM335.
- Sensor de intensidad de radiación solar: Fotocelda
- Sensor de velocidad de viento: Anemómetro de copas.

#### **3.1.2 Circuitos de acondicionamiento de señal**

Los circuitos de acondicionamiento de señal que forman parte del diseño son los siguientes:

- Circuito de acondicionamiento de señal para el sensado de temperatura utilizando Termocupla.
- Circuito de acondicionamiento de señal para el sensado de temperatura utilizando el circuito integrado LM 335.
- Circuito de acondicionamiento de señal para el sensado de intensidad de radiación solar.
- Circuito de acondicionamiento de señal para el sensado de velocidad de viento.
- Circuito de acondicionamiento para al voltaje de referencia del conversor análogo/digital incorporado en el microcontrolador.

A continuación describiremos cada uno de los circuito de acondicionamiento de señal.

**a) Circuito de acondicionamiento de señal para el sensado de temperatura utilizando termocupla tipo “K”**

Para el diseño se va a utilizar amplificadores operacionales en un arreglo de amplificador de instrumentación, para aprovechar sus características de rechazo a modo común, alta impedancia de entrada, gran ganancia en modo diferencial y baja impedancia de salida, que son características de este. El arreglo se muestra en la figura 3.1. Este consta de una etapa diferencial en cascada con una unipolar. La ganancia es el producto de ambas etapas, si hacemos la ganancia de la etapa unipolar 1 (obteniendo de esta forma un mayor CRM), la ganancia del amplificador es

$$G_1 = \left( 1 + 2 \frac{R1}{Rp} \right)$$

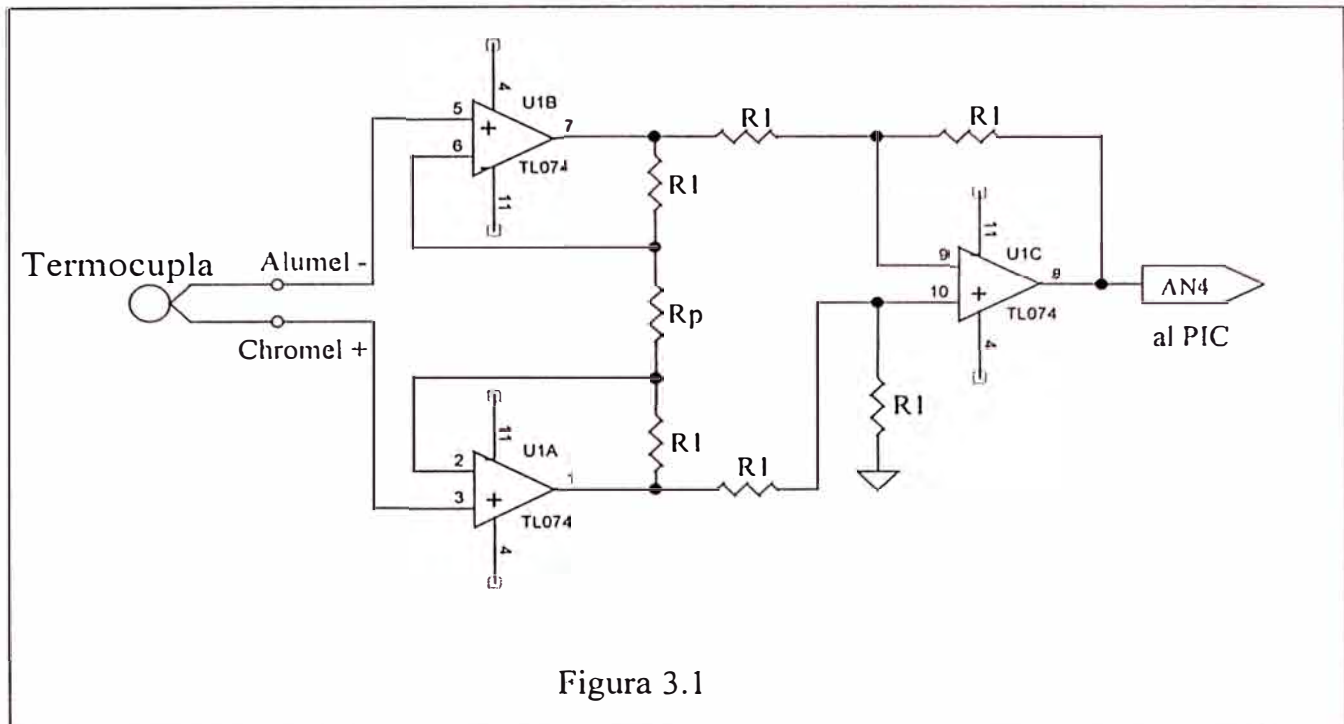


Figura 3.1

la ganancia se ajusta para que el rango de salida del par termoeléctrico 0..8mV corresponda a un rango 0 .. 2.046V a la salida del diferencial (equivalente al rango de temperaturas 0 .. 226.7°C), por lo que la ganancia es igual a 251, con  $R1=15K\Omega$  y  $Rp=120\Omega$ .

Para implementar este arreglo se utilizó el circuito integrado TL074 que viene en un encapsulado de cuatro amplificadores. Este es un amplificador operacional con entrada fet, drift pequeño y alto rechazo al modo común, características deseables para el circuito a implementar.

#### b) Circuito de acondicionamiento de señal para el sensado de temperatura utilizando el circuito integrado LM 335

Para el diseño se va a utilizar un amplificador operacional en un arreglo de amplificador no inversor de ganancia 1, tal como se muestra en la figura 3.2

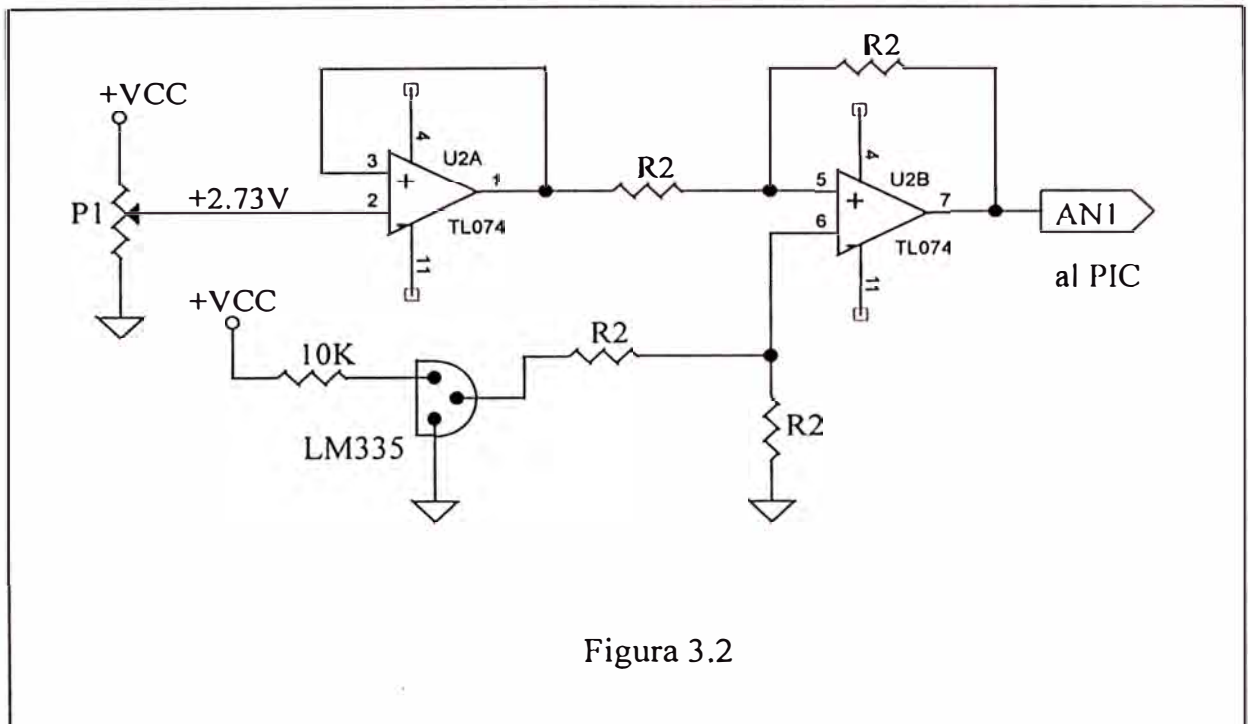


Figura 3.2

Dadas las características de respuesta del circuito integrado LM335, para 0°C entrega 2.73V, se añade un pedestal de -2.73V para que la salida sea normalizada 0 .. 2.046V (lo que corresponde al rango de temperaturas 0 .. 204°C), con  $R2=10K\Omega$  y  $P1=100K\Omega$ .

Para implementar este amplificador se utilizó el circuito integrado TL074.

**c) Circuito de acondicionamiento de señal para el sensado de intensidad de radiación solar**

Para el diseño se va a utilizar un amplificador operacional en un arreglo de amplificador no inversor, tal como se muestra en la figura 3.3

La ganancia del amplificador está dada por la siguiente relación:

$$G_2 = \left( 1 + \frac{R4}{R3} \right)$$

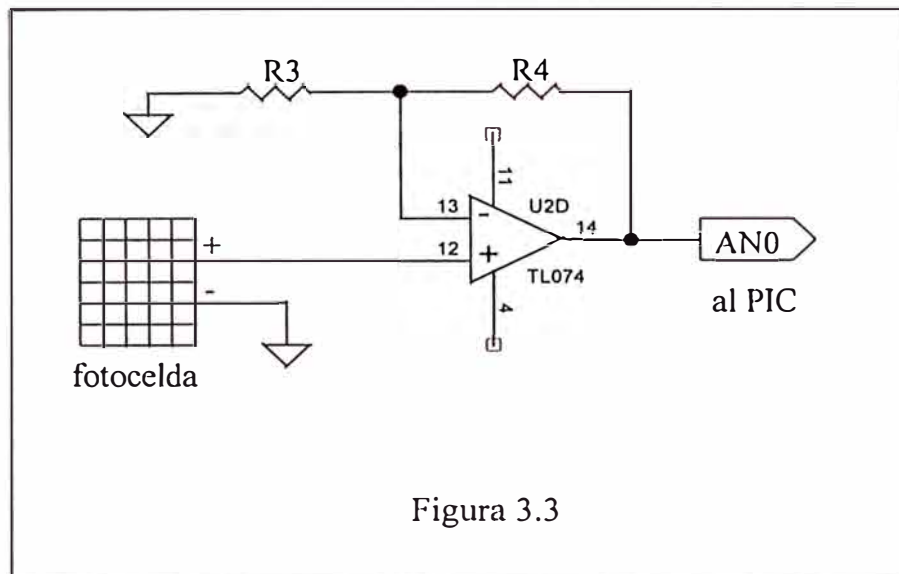


Figura 3.3

la ganancia se ajusta para que el rango de salida 0..122.7mV corresponda un rango 0..2.046V a la salida (equivalente al rango 0 .. 1127.6W/m<sup>2</sup>), por lo que la ganancia es igual a 16.66, con R3=300Ω y R4=4.7KΩ.

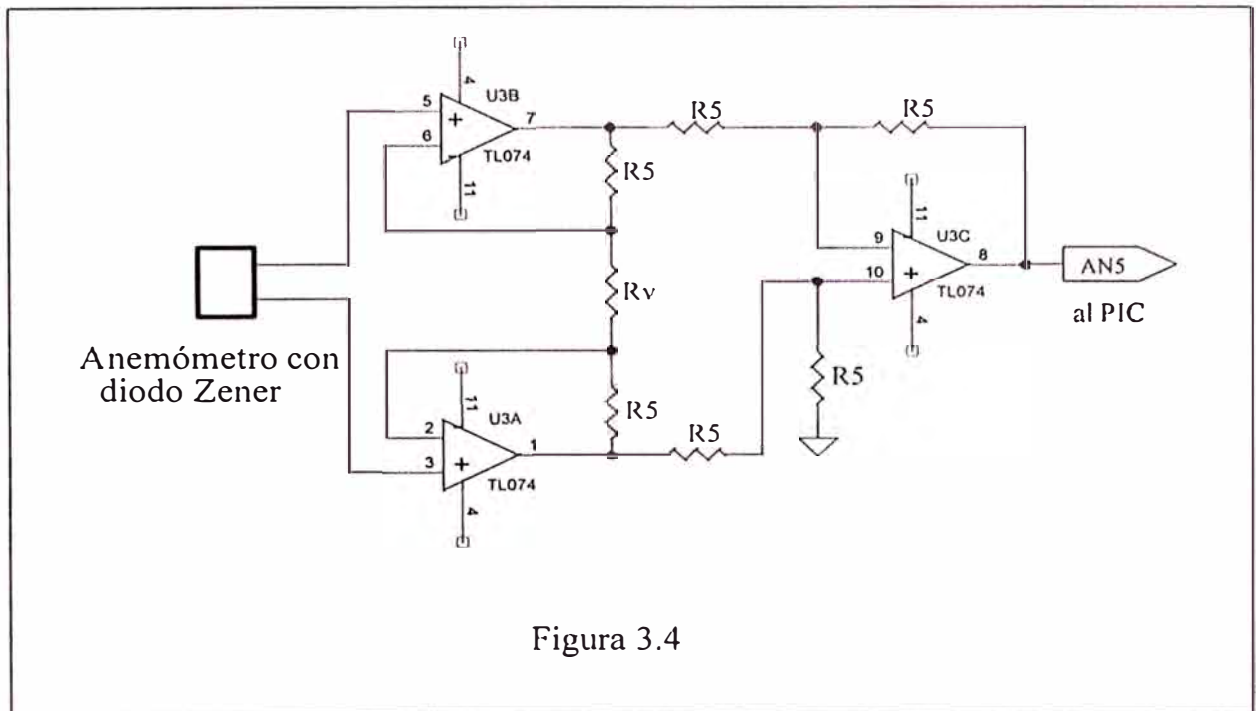
Para implementar este amplificador se utilizó el circuito integrado TL074.

#### d) Circuito de acondicionamiento de señal para el sensado de velocidad de viento

Para el diseño se va a utilizar amplificadores operacionales en un arreglo de amplificador de instrumentación. El arreglo se muestra en la figura 3.4. cuya ganancia está dada por la expresión:

$$G_3 = \left( 1 + 2 \frac{R5}{Rv} \right)$$

la ganancia se ajusta para que el rango de salida del anemómetro 0 .. 1.023V corresponda a un rango 0 .. 2.046V a la salida del diferencial (equivalente al rango de velocidades de viento entre 0 .. 20 m/s), por lo que la ganancia es igual a 2, con R5=10KΩ y Rv=20KΩ.



Para implementar este arreglo se utilizó el circuito integrado TL074.

**e) Circuito de acondicionamiento para el voltaje de referencia del conversor analógico/digital incorporado en el microcontrolador**

El voltaje de referencia determinado para el conversor analógico/digital incorporado en el microcontrolador, responde a los siguientes requerimientos:

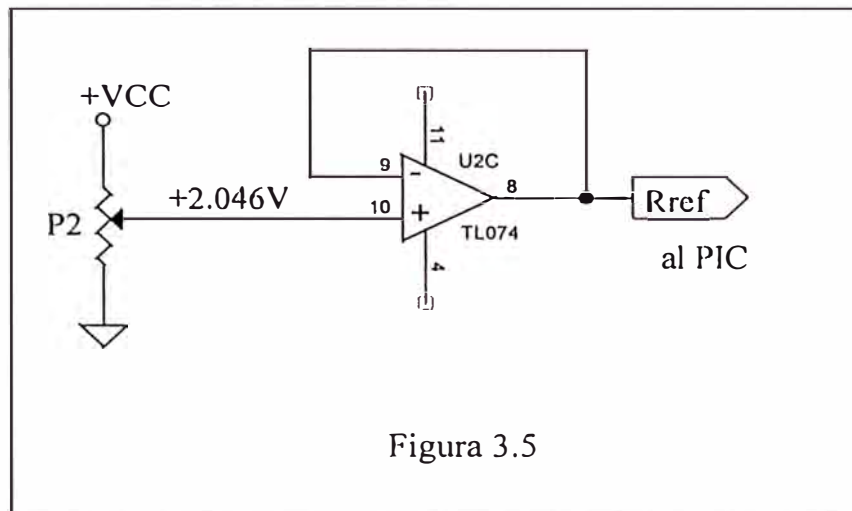
- Lectura de temperatura en grados centígrados con una resolución de  $0.2^{\circ}\text{C}$ .
- Lectura de intensidad de radiación solar con una resolución de  $1.2\text{W}/\text{m}^2$
- Lectura de velocidad de viento con una resolución de m/s

Por lo que, si se cuenta con un conversor de 10 bits tendremos 1023 escalas

La respuesta del sensor de temperatura LM335, es  $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ , si se desea tener una resolución de  $0.2^{\circ}\text{C}$  entonces el conversor debe detectar cambios de  $2\text{mV}$ , lo que permitirá medir el rango  $0 \dots 204.6^{\circ}\text{C}$ .

Entonces el voltaje de referencia recomendado es igual a  $1023 \times 2\text{mV} = 2.046\text{V}$





La respuesta del par termoelectrónico  $^{\circ}\text{C} = 0.10(\#m\text{V}) + ^{\circ}\text{T}_{\Lambda}$ , si se desea tener una resolución de  $0.2^{\circ}\text{C}$  entonces el conversor debe detectar cambios de  $2m\text{V}$ .

La ganancia requerida para lograr el objetivo se halla teniendo en cuenta que para una salida de la termocupla de  $8m\text{V}$  le corresponde la lectura de  $200^{\circ}\text{C}$ , lo que permite determinar que la ganancia es igual a 251. Con estas características se puede medir el rango  $0 \dots 226.7^{\circ}\text{C}$ .

La respuesta del sensor de intensidad de radiación solar es  $100m$  equivale a  $100\text{W}/\text{m}^2$ . Para el voltaje de referencia elegido y deseando lograr una resolución de  $1.2\text{W}/\text{m}^2$ , se necesita una ganancia de 16.66. Con estas características se puede medir el rango  $0 \dots 1227.6 \text{ W}/\text{m}^2$

La respuesta del sensor de temperatura es  $10m\text{V}/^{\circ}\text{C}$ , si se desea tener una resolución de  $0.2^{\circ}\text{C}$  entonces el conversor debe detectar cambios de  $2m\text{V}$ , lo que permitirá medir el rango  $0 \dots 204.6^{\circ}\text{C}$ .  $(1023) \times (2m\text{V}) = 2.046\text{V}$ .

### 3.1.3 Diagrama esquemático del sistema portátil

El diagrama esquemático se muestra en la figura 3.6.

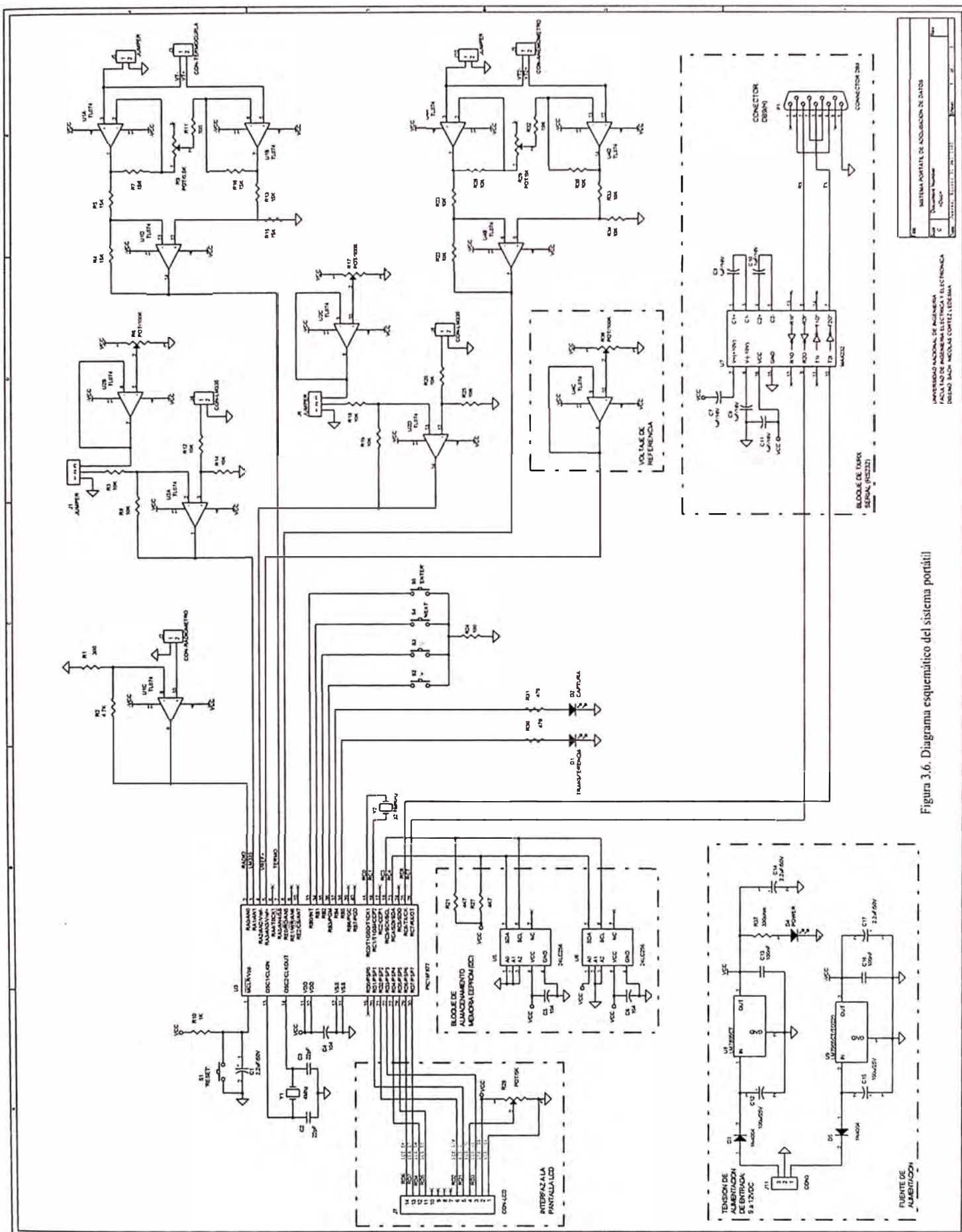


Figura 3.6. Diagrama esquemático del sistema portátil

SISTEMA PORTATIL DE ADQUISICION DE DATOS	
Nombre	...
Apellido	...
Matrícula	...
Fecha	...

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
 INSTITUTO VICE RECTOR DE INVESTIGACION Y DESARROLLO TECNOLÓGICO  
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EN SISTEMAS DE COMPUTACION

## **3.2 DISEÑO DEL SOFTWARE**

### **3.2.1 Sistema operativo del microcontrolador PIC16F877**

Usualmente el lenguaje ensamblador es la herramienta apropiada para la programación de algoritmos, adquisición y proceso de datos.

Los microcontroladores PIC de Microchip Technologies están basados en la arquitectura Harvard y su lenguaje ensamblador consta de un conjunto de instrucciones reducidas (RISC).

El conjunto de programas que forman parte del sistema operativo han sido implementados en el lenguaje ensamblador para microcontroladores PIC. Los diagramas de flujo han sido elaborados utilizando los diagramas de NASSI-SCHNEIDERMAN.

#### **Programa principal**

El diagrama de flujo del algoritmo principal se muestra en de la figura 3.7.

- En los macros se incluyen pequeñas rutinas que facilitan la programación, como por ejemplo cambio de página, saltos, aclarar datos de 16 bits, etc.
- Se configuran los registros especiales: TMR1 como temporizador para reloj de tiempo real, registros para manejo de interrupción, puertos A y E para adquisición de datos (canales de conversión análogo/digital), puerto B para señalización y selección de modo de trabajo del PIC (modo captura o modo transmisión de datos), Puerto C para manejo de memoria EEPROM y transmisión de datos a la PC, puerto D para el manejo del display LCD.
- Luego de encender el sistema portátil se tiene dos opciones para elegir; 1 para el modo captura de datos y 2 para el modo de transmisión de datos hacia el computador.

- En el modo captura de datos, el sistema portátil tiene una autonomía durante un periodo máximo de 7 días. La captura de datos correspondiente a la intensidad de radiación solar se realiza desde las 06 horas hasta las 18 horas, en intervalos de 20 segundos y almacenados en la memoria 1. La captura de datos correspondientes a la temperatura y velocidad de viento se realiza desde las 10 horas hasta las 14 horas, en intervalos de 20 segundos y almacenados en la memoria 2.
- En el modo transmisión de datos, el sistema portátil primeramente lee el dato de la memoria, luego realiza la conversión a dígitos decimales y seguidamente la transferencia hacia el computador.

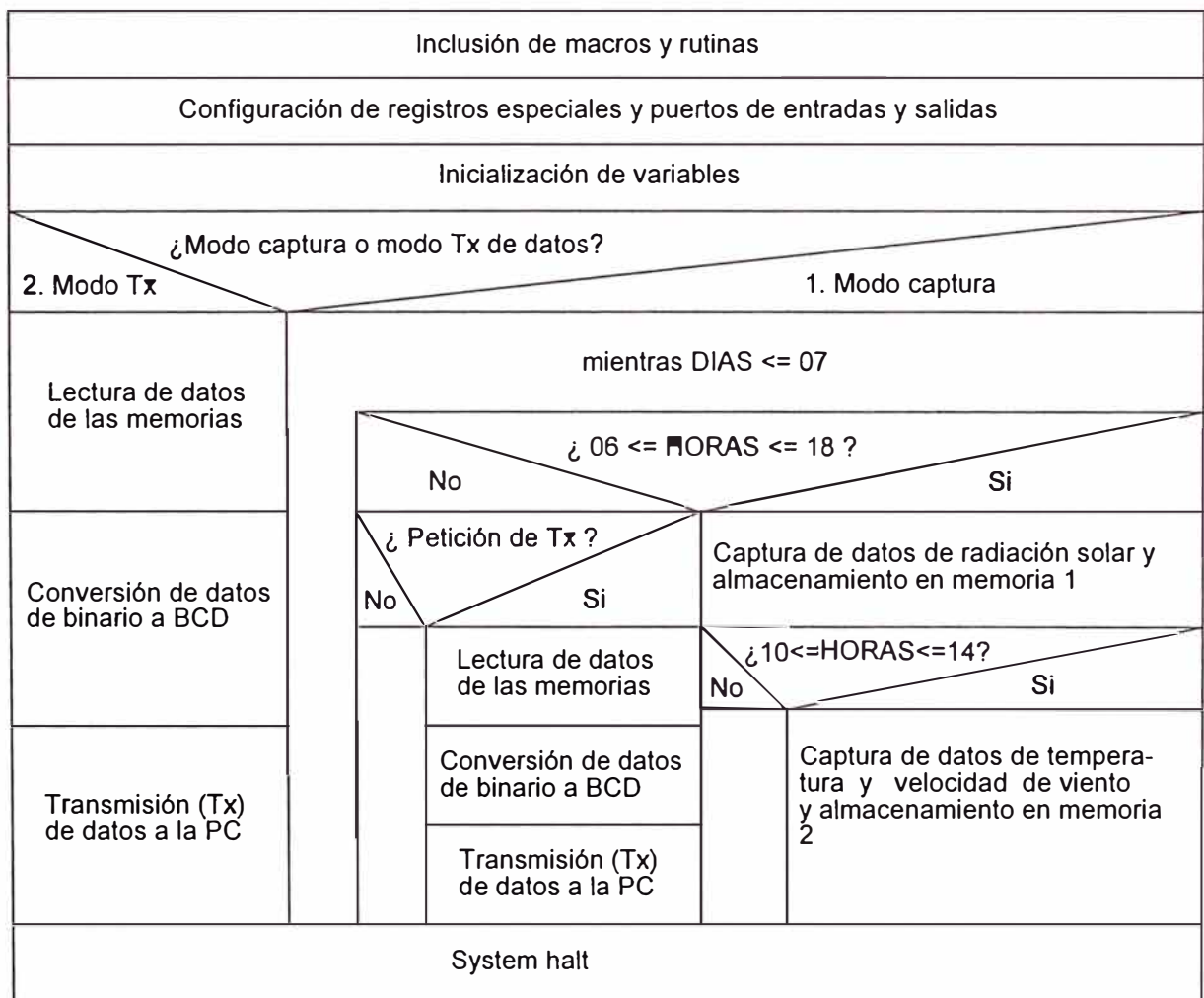


Figura 3.7. Diagrama de flujo del programa principal

### Rutina para implementar el reloj de tiempo real usando el registro TMR1

El diagrama de flujo de esta rutina se encuentra en la figura 3.8.

- El reloj de tiempo real está basado en las interrupciones producidas por el desbordamiento del registro TMR1, éstas se producen cada 4 segundos. Cada interrupción incrementa en 4 al contador de SEGUNDOS, 60 segundos incrementa la cuenta del contador de MINUTOS, 60 minutos incrementa la cuenta del contador de HORAS, 24 horas incrementa el contador de DÍAS.

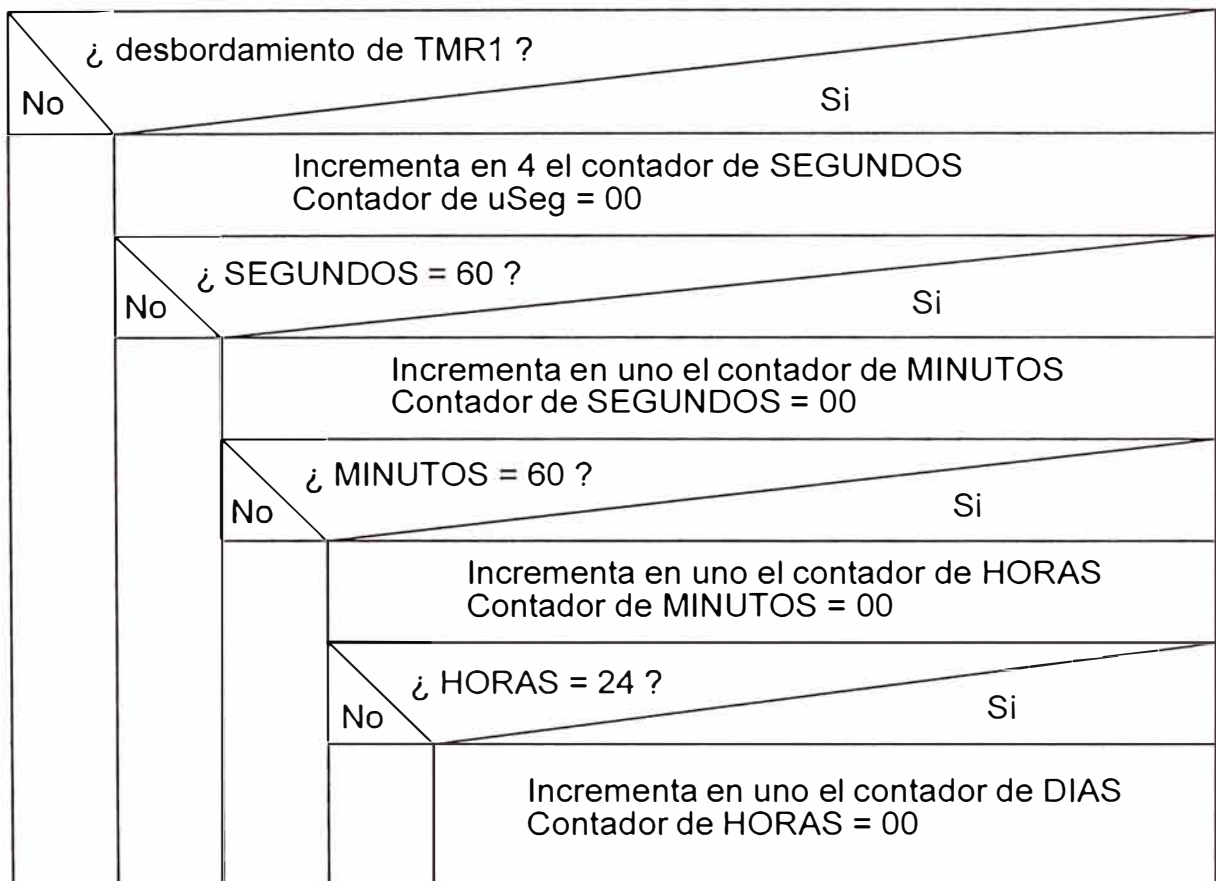


Figura 3.8. Diagrama de flujo de la rutina del reloj de tiempo real

### Rutina para conversión de número binario a dígitos decimales (BCD)

El diagrama de flujo de la rutina de conversión de número binario a dígitos decimales se encuentra en la figura 3.9.

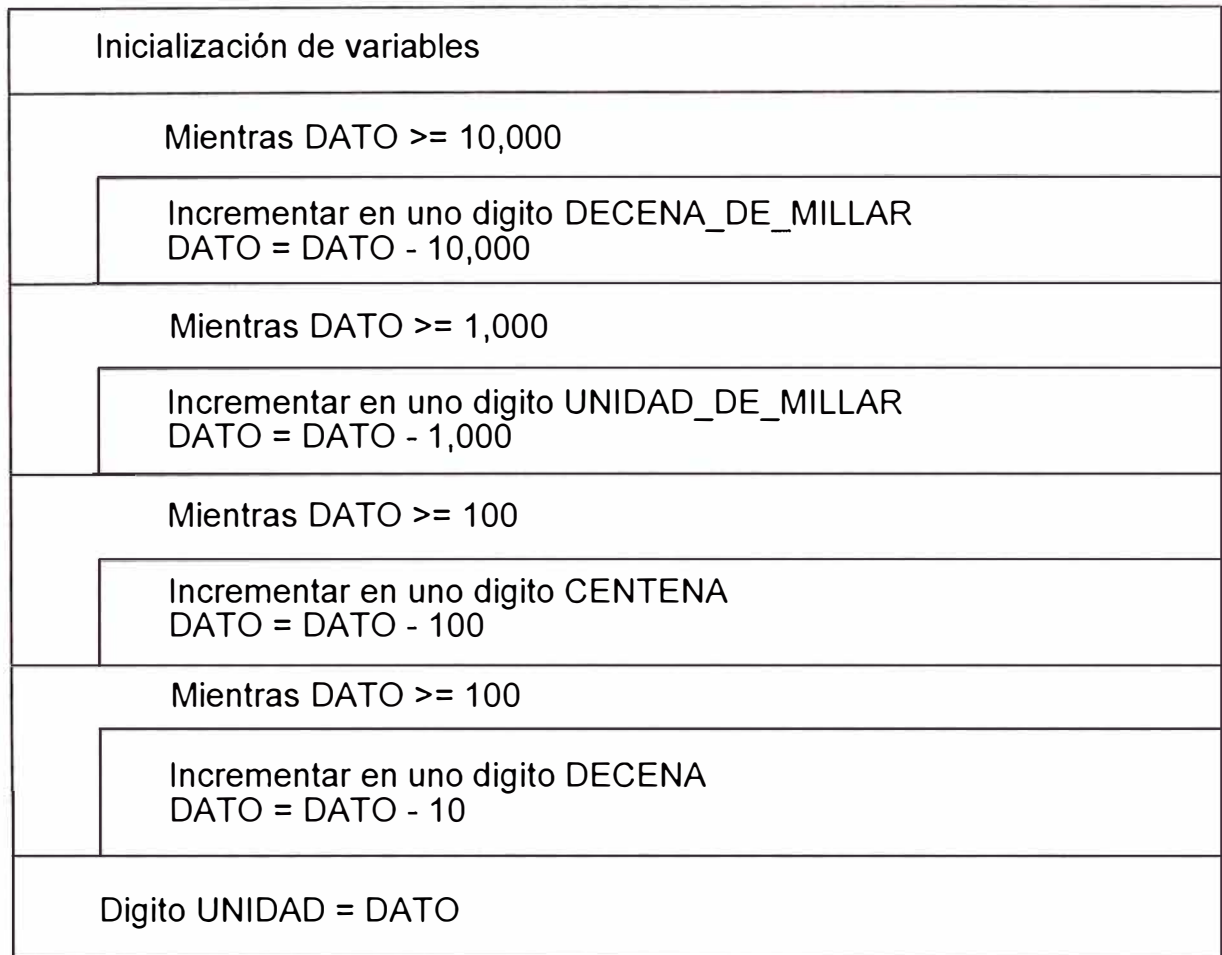


Figura 3.9. Diagrama de flujo de la rutina de conversión de binario a BCD

### Rutina para adquisición de datos

El diagrama de flujo de la rutina de adquisición de datos se encuentra en la figura 3.10.

Los pines del puerto A y puerto E son configurados como entradas analógicas: canal 0 para intensidad de radiación solar, canal 1 temperatura mediante el sensor LM335, canal 4 para temperatura mediante termocupla y canal 5 para velocidad de viento.



Figura 3.10. Diagrama de flujo de la rutina de adquisición de datos

### Rutina para almacenamiento y recuperación de datos en memoria 24LC256

Los diagramas de flujo de la rutina de escritura y lectura de datos en la memoria EEPROM 25LC256 se encuentran en la figura 3.11.

Escritura de dato	Lectura de dato
enviar bit de start enviar palabra de control enviar dirección alta enviar dirección baja configurar modo escritura enviar dato de 1 byte esperar bit de reconocimiento enviar bit de stop	enviar bit de start enviar palabra de control enviar dirección alta enviar dirección baja enviar bit de start configurar modo lectura recibir dato de 1 byte esperar bit de reconocimiento enviar bit de stop

Figura 3.11. Diagramas de flujo de las rutinas de escritura y lectura de datos en la memoria 24LC256

### Rutina para transferencia de datos a la PC mediante RS-232

Esta rutina se implementa haciendo uso de los registros especiales del PIC (TXSTA y TXREG), previamente configurado con los siguientes parámetros: 19,200 Bps, 8 bits de datos, sin bit de paridad y 1 bit de parada.

#### 3.2.2 Software de aplicación en ambiente Windows

El software de aplicación ha sido desarrollado utilizando el lenguaje de programación Visual Basic, por las prestaciones que implica utilizar un lenguaje de alto nivel que permite el manejo de herramientas visuales.

El software de aplicación permite la transferencia de datos desde el microcontrolador hacia el computador y el almacenamiento de los mismos en una hoja de cálculo de Microsoft Excel.

#### Programa principal

El programa principal representado gráficamente por el formulario de la figura 3.12

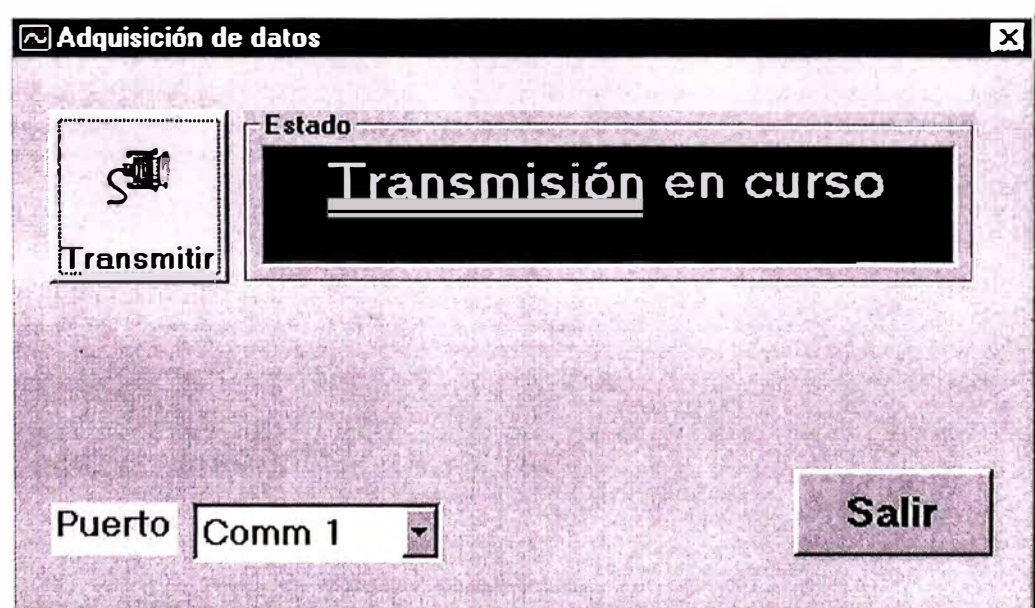


Figura 3.12. Formulario del programa principal del software de aplicación



El formulario principal está compuesto por los siguientes controles:

- Control de selección “Puerto serial de comunicaciones”. Permite seleccionar entre los puertos seriales Comm1, Comm2, comm3 ó Comm4.
- Botón comando “Transferencia de datos”. Establece la comunicación con el PIC y almacena en una hoja de cálculo de Microsoft Excel los datos transferidos. Los datos correspondientes a la intensidad de radiación solar, temperatura del sensor LM335, temperatura de la termocupla y velocidad de viento son almacenados en columnas individuales de la hoja de cálculo.
- Botón comando “Salir”. Permite abandonar la aplicación.

## CAPÍTULO IV EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO

### 4.1 Resultados de las pruebas de campo

Los resultados correspondientes a las pruebas de campo se presentan seleccionando un conjunto de datos, sensados con un instrumento patrón y con el sistema portátil, en una fecha determinada, elaborando sus correspondientes gráficas.

#### 4.1.1 Registro de datos de intensidad de radiación solar en la ciudad de Ayacucho

El sistema portátil utiliza el radiómetro (UNI-100mV  $\approx$  1000W/m<sup>2</sup>. lectura mínima en el multímetro: 0.1 W/m<sup>2</sup>) como sensor de intensidad de radiación solar y para establecer comparación se ha utilizado el multímetro digital modelo CIE-122 utilizando el mismo sensor.

Fecha de adquisición de datos: 25-09-2002			
Nº de muestra	Hora	Radiómetro: Sistema portátil	Radiómetro UNI
1	11:00	779.4 W/m <sup>2</sup>	779 W/m <sup>2</sup>
2	11:15	778.4 W/m <sup>2</sup>	778 W/m <sup>2</sup>
3	11:30	775.8 W/m <sup>2</sup>	776 W/m <sup>2</sup>
4	11:45	781.2 W/m <sup>2</sup>	781 W/m <sup>2</sup>
5	12:00	781.4 W/m <sup>2</sup>	781 W/m <sup>2</sup>
6	12:15	791.8 W/m <sup>2</sup>	792 W/m <sup>2</sup>
7	12:30	790.2 W/m <sup>2</sup>	790 W/m <sup>2</sup>
8	12:45	778.8 W/m <sup>2</sup>	779 W/m <sup>2</sup>
9	13:00	767.0 W/m <sup>2</sup>	767 W/m <sup>2</sup>
10	13:15	765.2 W/m <sup>2</sup>	764 W/m <sup>2</sup>

Tabla 4.1. Datos de intensidad de radiación solar

Las gráficas correspondientes se muestran en las figuras 4.1 y 4.2. (páginas 60 y 61 respectivamente).

#### 4.1.2 Registro de datos de temperatura de vidrio externo de una cocina solar tipo caja

El sistema portátil utiliza el circuito integrado LM335 como sensor de temperatura y para establecer comparación se ha utilizado el multímetro digital modelo DT-9508 utilizando la termocupla tipo K como sensor.

Fecha de adquisición de datos: 25-09-2002			
Nº de muestra	Hora	Termómetro: Sistema portátil	Termómetro digital
1	11:00	19.6 °C	20 °C
2	11:15	31.2 °C	31 °C
3	11:30	31.8 °C	32 °C
4	11:45	33.2 °C	33 °C
5	12:00	40.8 °C	41 °C
6	12:15	41.4 °C	41 °C
7	12:30	41.4 °C	41 °C
8	12:45	42.4 °C	42 °C
9	13:00	41.6 °C	42 °C
10	13:15	40.8 °C	41 °C

Tabla 4.2. Datos de temperatura de vidrio interno de una cocina solar tipo caja

Las gráficas correspondientes se muestran en las figuras 4.3 y 4.4. (páginas 62 y 63 respectivamente).

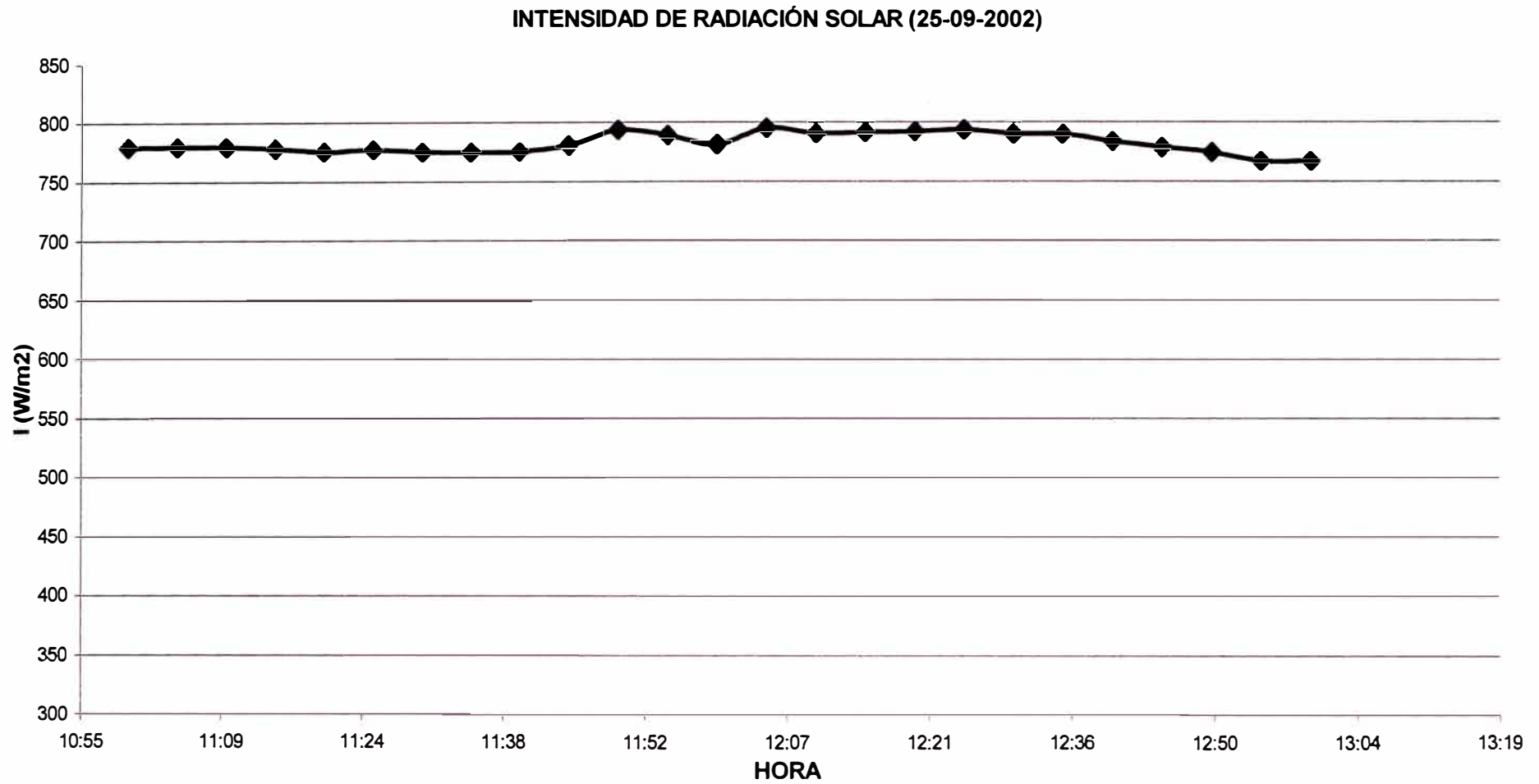


Figura 4.1. Gráfica de intensidad de radiación solar, con datos obtenidos mediante el sistema portátil.

### INTENSIDAD DE RADIACIÓN SOLAR (25-09-2002)

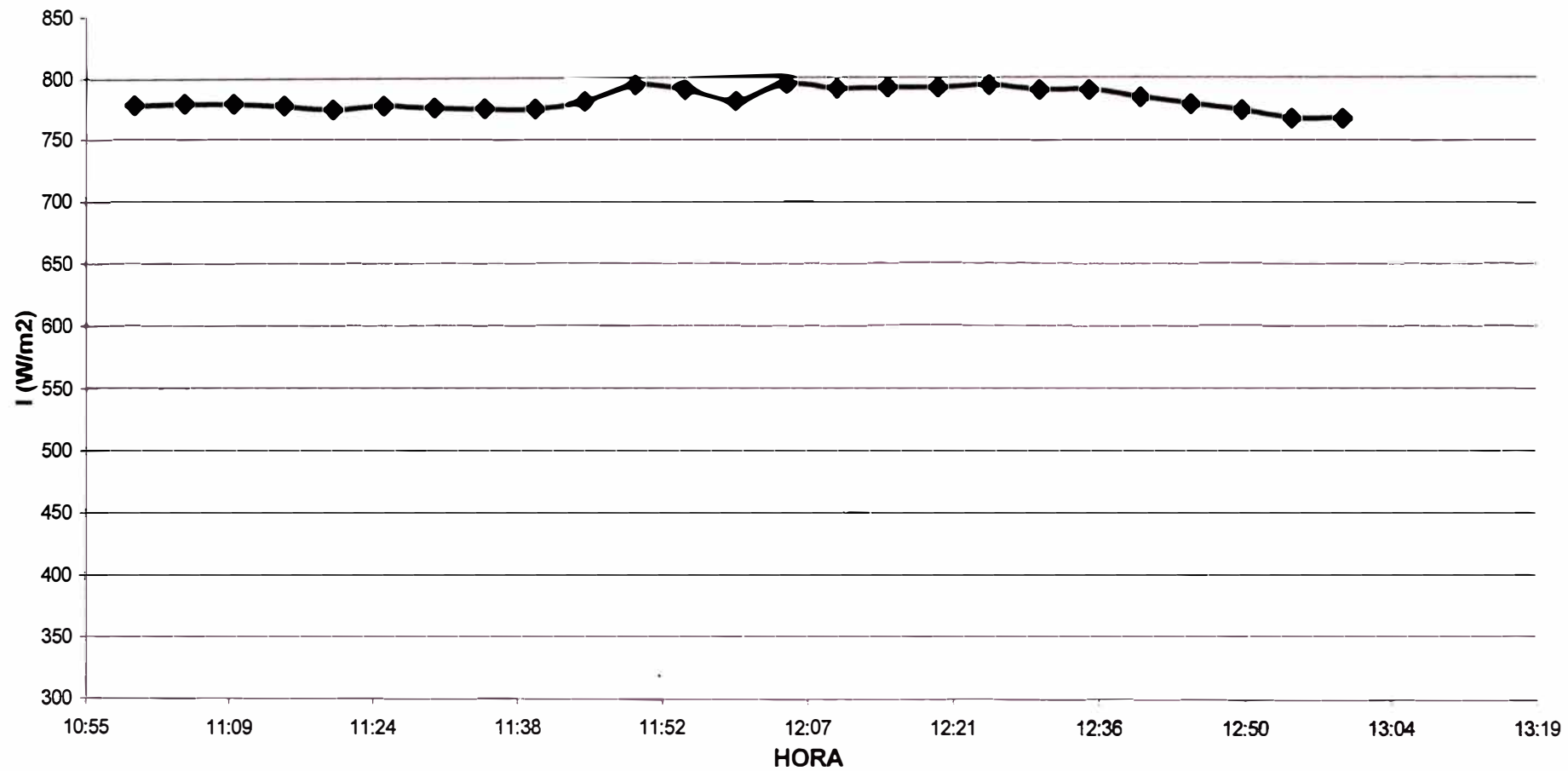


Figura 4.2. Gráfica de intensidad de radiación solar, con datos obtenidos mediante el radiómetro referencial.

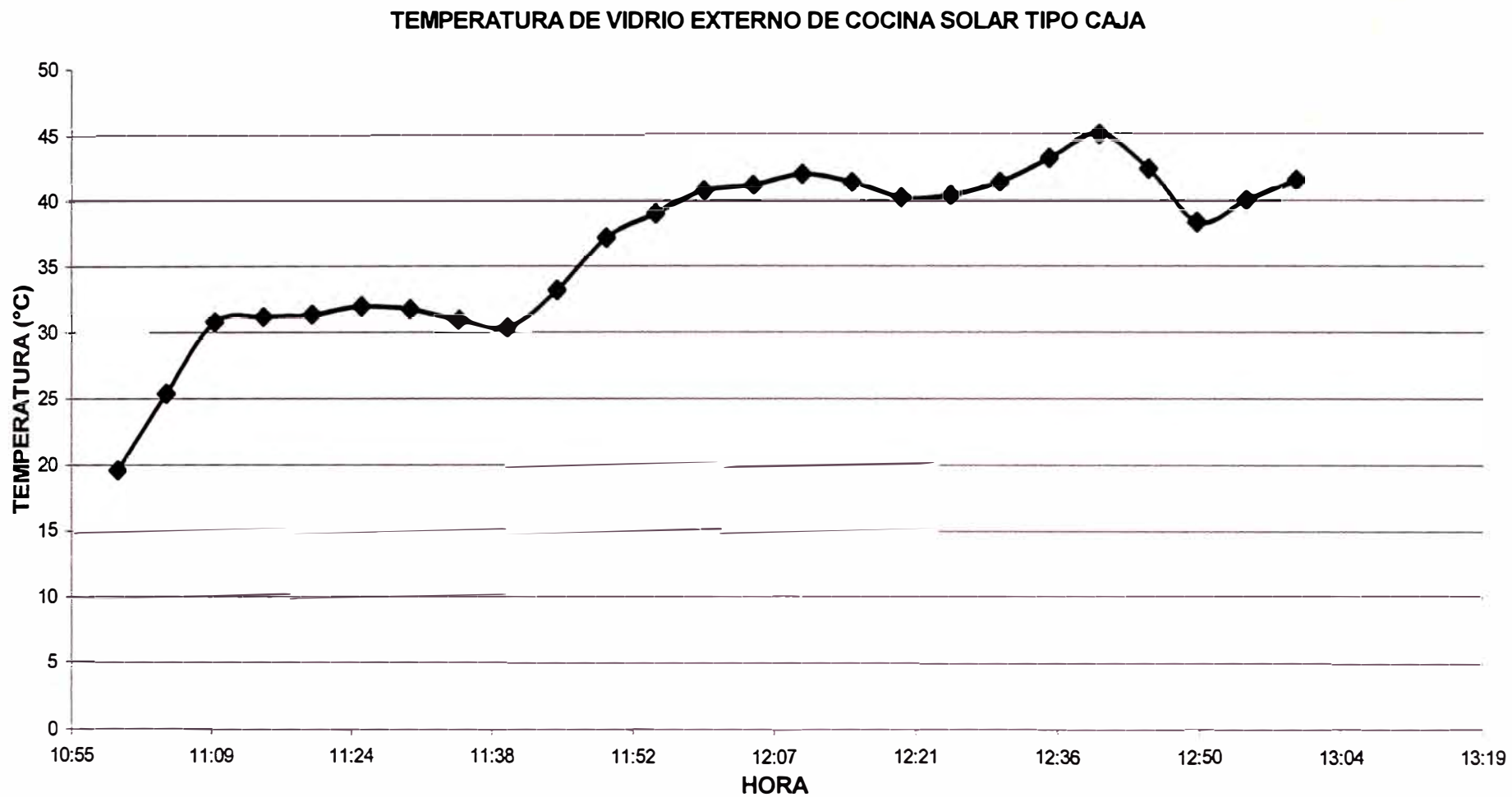


Figura 4.3. Gráfica de temperatura de vidrio externo de una cocina solar tipo caja, con datos obtenidos mediante el sistema portátil.

### TEMPERATURA DE VIDRIO EXTERNO DE COCINA SOLAR TIPO CAJA

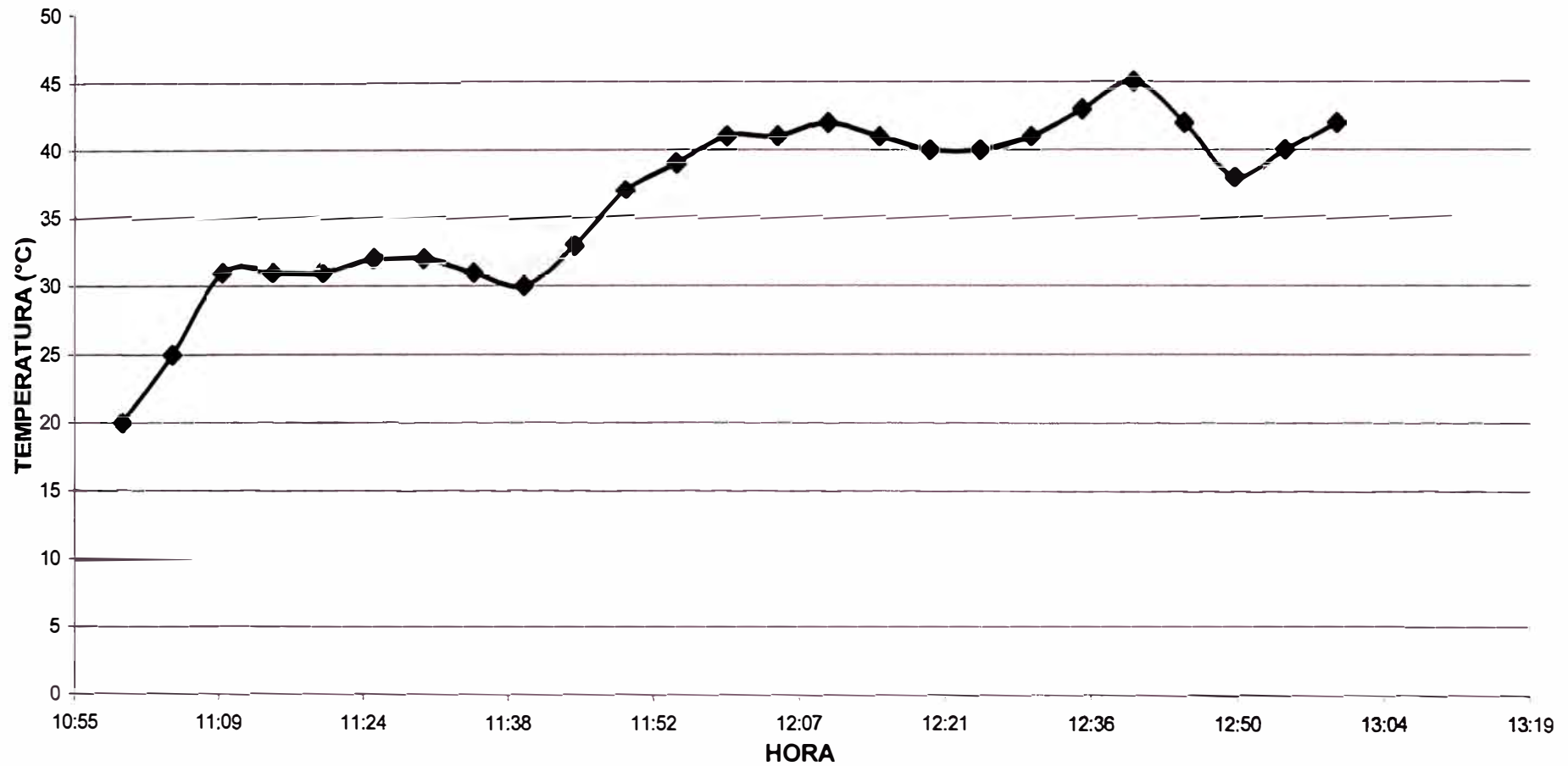


Figura 4.4. Gráfica de temperatura de vidrio externo de una cocina solar tipo caja, con datos obtenidos mediante el termómetro referencial.

### 4.1.3 Registro de datos de temperatura de placa colectora de una cocina solar tipo caja

El sistema portátil utiliza la termocupla tipo K como sensor de temperatura y para establecer comparación se ha utilizado el multímetro digital modelo DT-9508 utilizando el mismo tipo de sensor.

Fecha de adquisición de datos: 25-09-02			
N° de muestra	Hora	Termómetro: Sistema portátil	Termómetro digital
1	11:00	27.2 °C	28 °C
2	11:15	126.2 °C	127 °C
3	11:30	147.6 °C	147 °C
4	11:45	159.4 °C	158 °C
5	12:00	164.4 °C	163 °C
6	12:15	167.2 °C	166 °C
7	12:30	165.4 °C	166 °C
8	12:45	165.0 °C	166 °C
9	13:00	163.0 °C	164 °C
10	13:15	162.6 °C	163 °C

Tabla 4.3. Datos de temperatura de colector de una cocina solar tipo caja

Las gráficas correspondientes se muestran en las figuras 4.5 y 4.6. (páginas 65 y 66 respectivamente).



### TEMPERTURA DE PLACA COLECTORA DE COCINA SOLAR TIPO CAJA

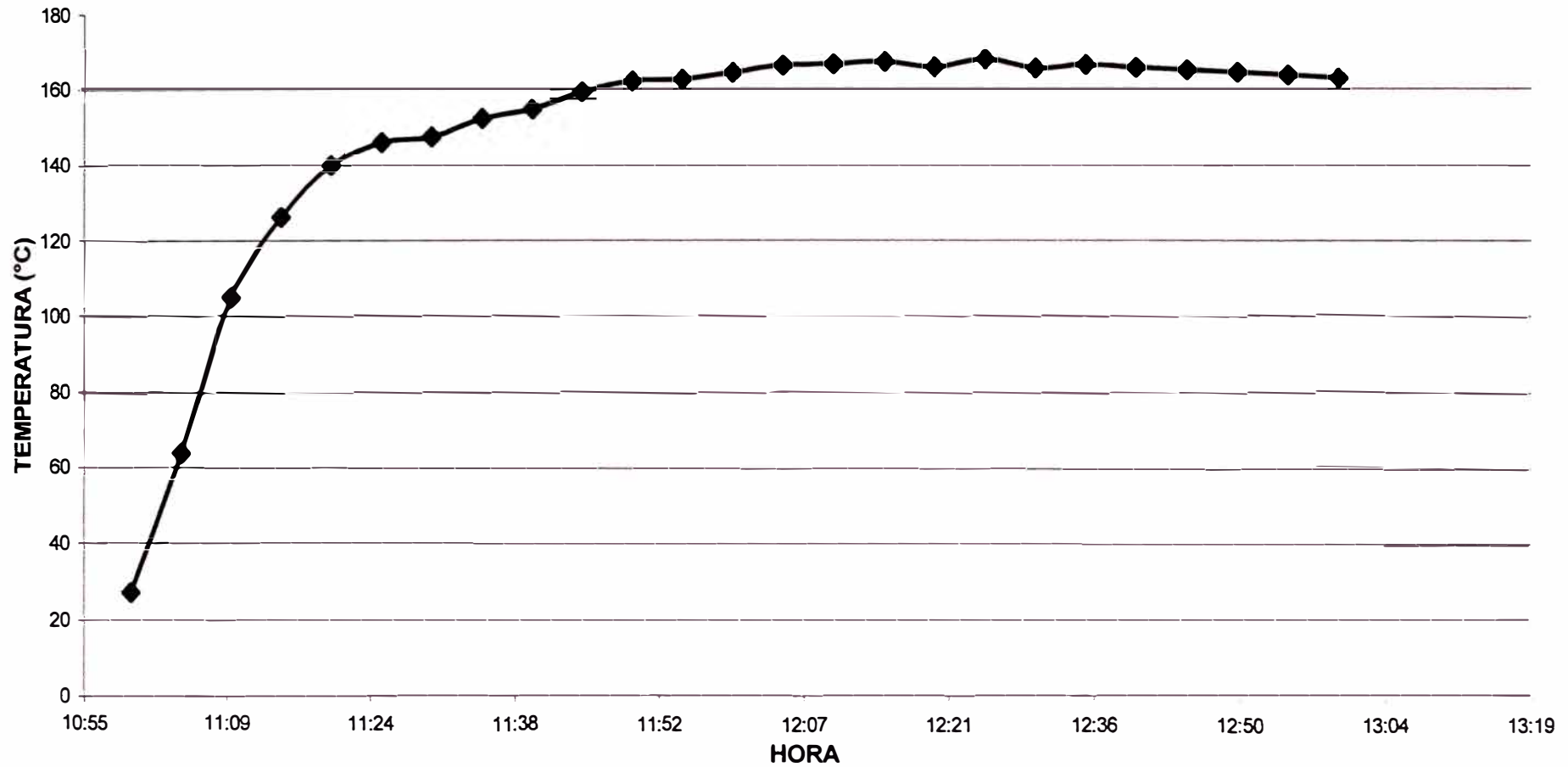


Figura 4.5. Gráfica de temperatura de colector de una cocina solar tipo caja, con datos obtenidos mediante el sistema portátil.

### TEMPERATURA DE PLACA COLECTORA DE COCINA SOLAR TIPO CAJA

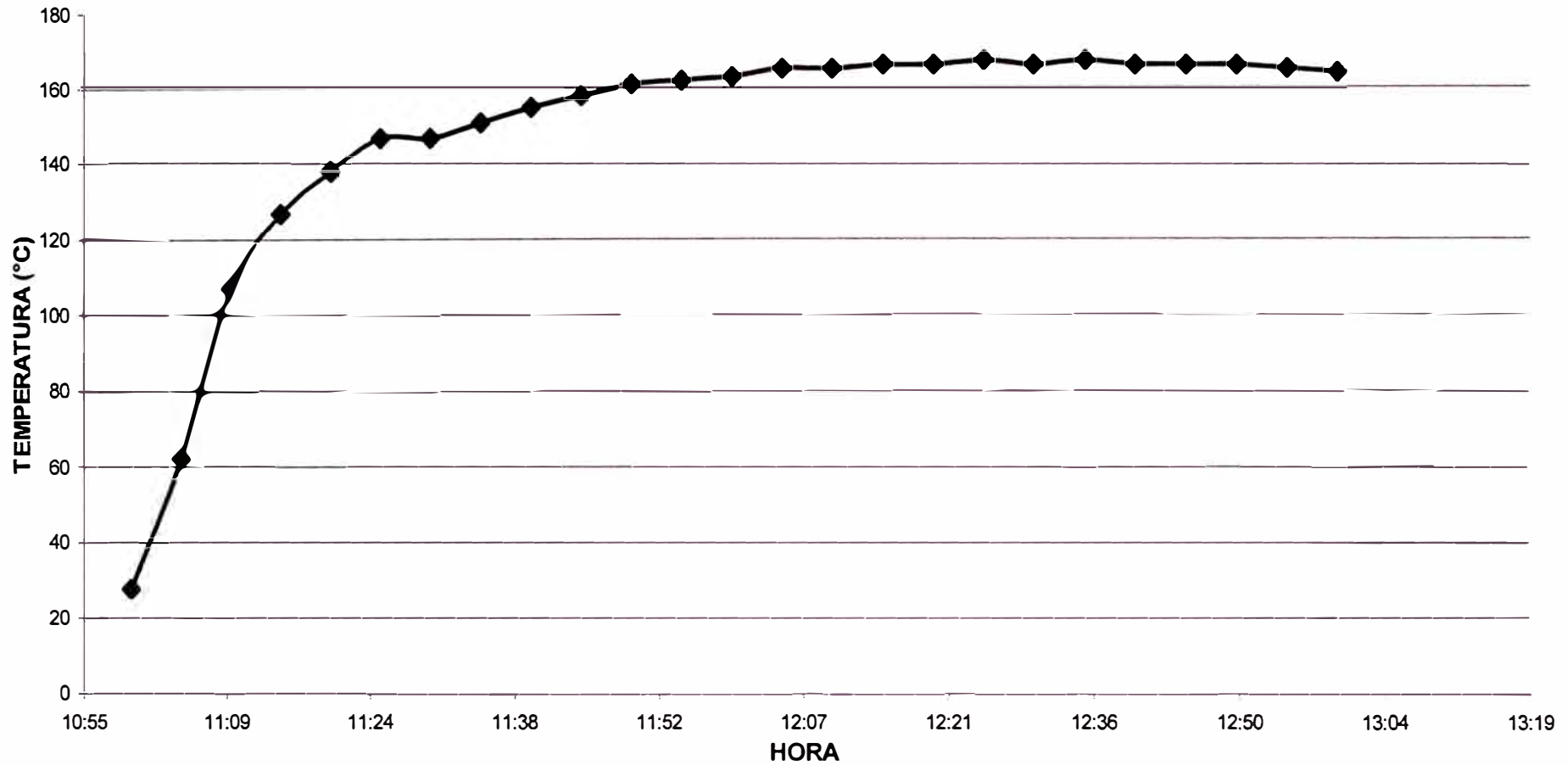


Figura 4.6. Gráfica de temperatura de colector de una cocina solar tipo caja, con datos obtenidos mediante el termómetro referencial.

#### 4.1.4 Registro de datos correspondiente a velocidad de viento en la ciudad de Ayacucho

El sistema portátil utiliza un anemómetro digital para el sistema portátil y un anemómetro analógico marca Leybold como patrón.

Fecha de adquisición de datos: 25-09-2002			
Nº de muestra	Hora	Anemómetro: Sistema portátil	Anemómetro de referencia
1	11:00	1.6 m/s	1 m/s
2	11:15	1.6 m/s	1 m/s
3	11:30	2.8 m/s	2.5 m/s
4	11:45	2.6 m/s	2.5 m/s
5	12:00	2.4 m/s	2 m/s
6	12:15	1.2 m/s	1 m/s
7	12:30	1.2 m/s	1 m/s
8	12:45	2.2 m/s	2 m/s
9	13:00	1.8 m/s	2 m/s
10	13:15	1.6 m/s	1 m/s

Tabla 4.4. Datos de velocidad de viento en la ciudad de Ayacucho

Las gráficas correspondientes se muestran en las figuras 4.7 y 4.8. (páginas 68 y 69 respectivamente).

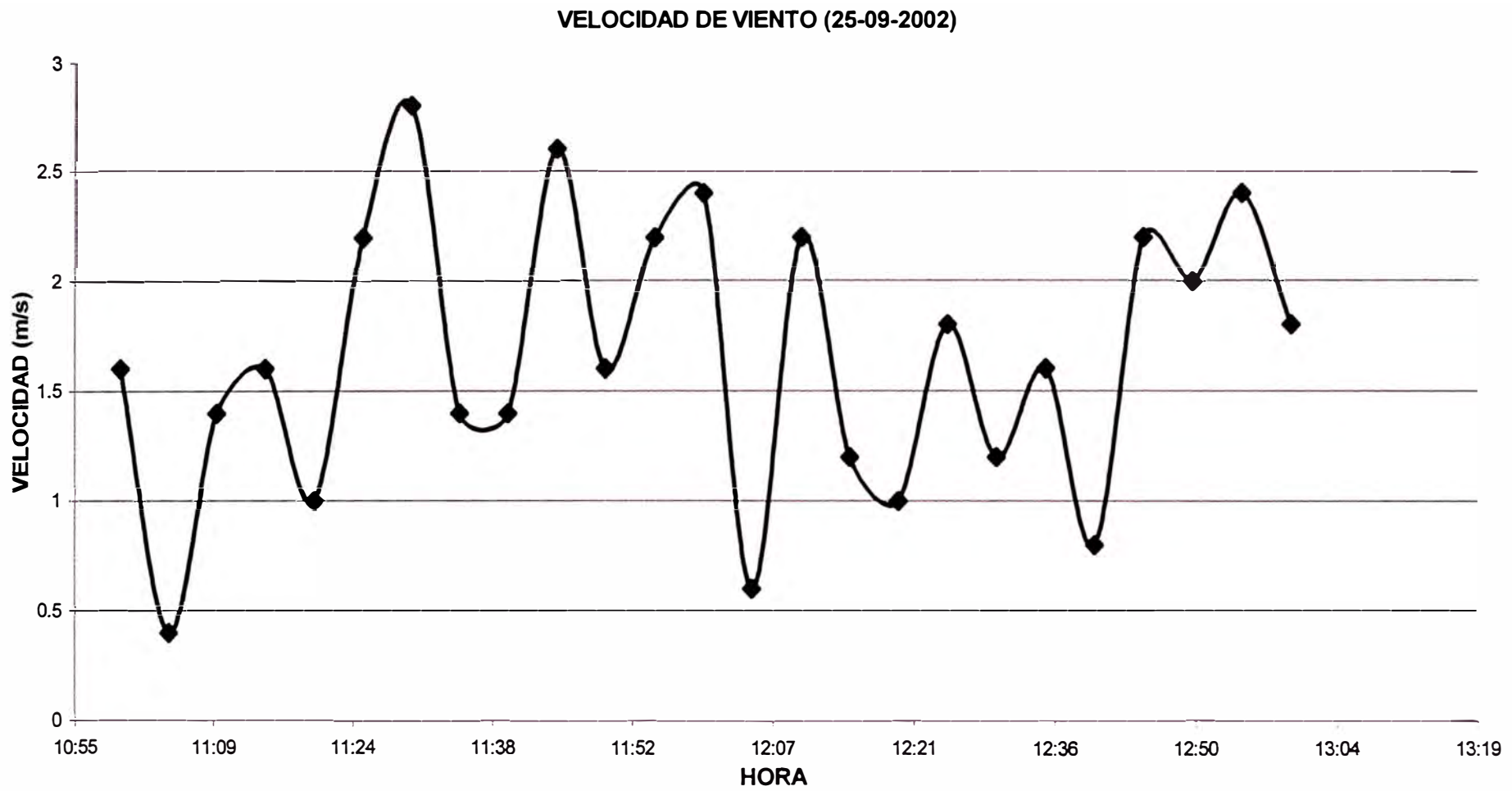


Figura 4.7. Gráfica de velocidad de viento, con datos obtenidos mediante el sistema portátil.

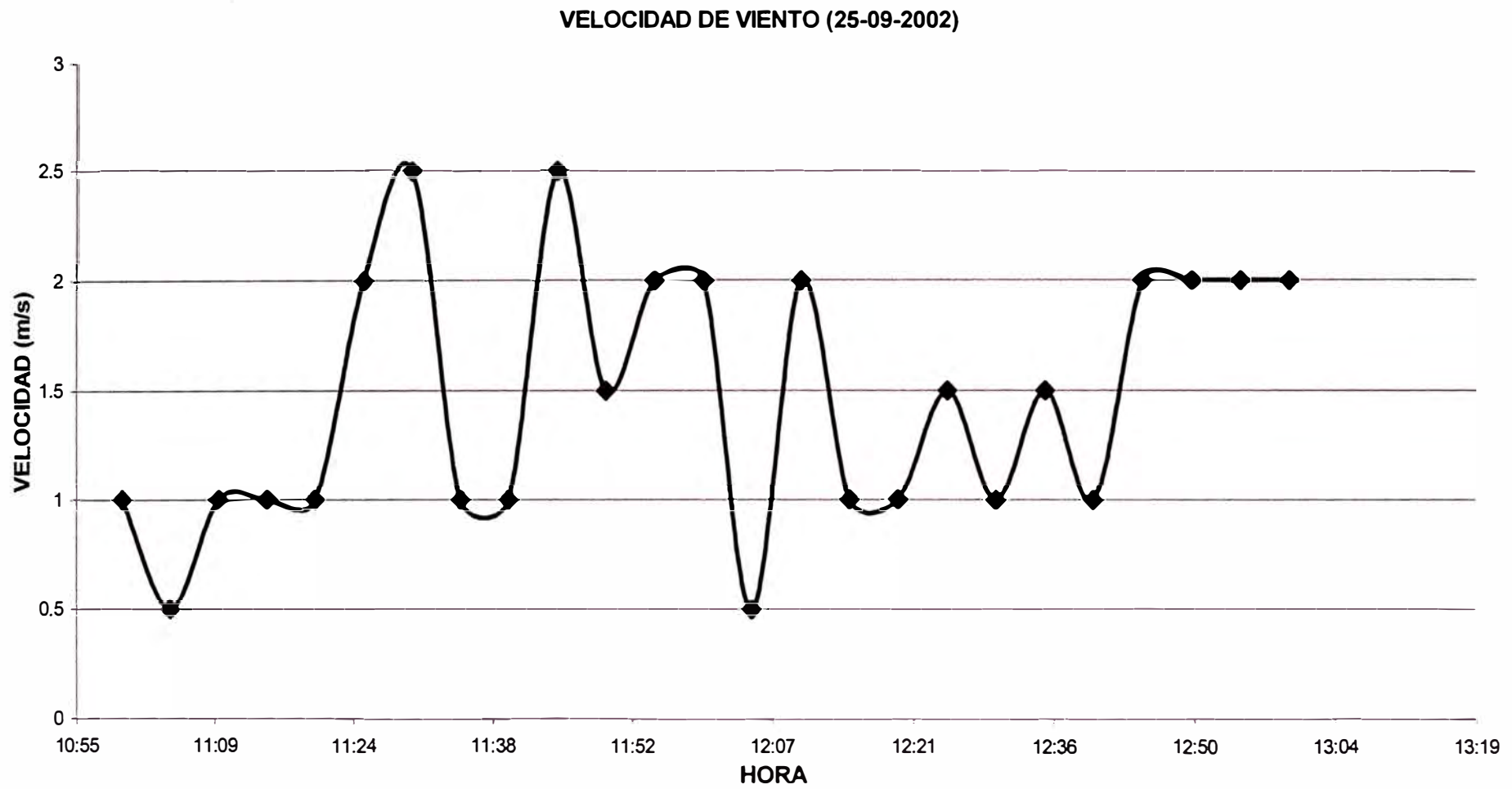


Figura 4.8. Gráfica de velocidad de viento, con datos obtenidos mediante el anemómetro referencial.

## CAPÍTULO V COSTOS Y PRESUPUESTOS

En primer lugar se presentan, dividido en dos listas, los componentes electrónicos y luego el detalle de los costos.

### 5.1 Listado de circuitos integrados (C.I.)

U3:	PIC	16F877 de Microchip Technologies
U7:	C.I.	MAX 232
U5, U6:	C.I.	24LC256
U1, U2, U4:	C.I.	TL074
U8:	C.I.	LM7805CT
U9:	C.I.	LM7905CT

### 5.2 Listado de componentes electrónicos

R1	=	300 $\Omega$	a	¼ Watts	
R2	=	4.7K $\Omega$	a	¼ Watts	= R21, R27
R3	=	10K $\Omega$	a	¼ Watts	= R8, R12, R14, R20, R18, R19, R22, R23, R25, R26, R33, R34, R35.
R4	=	15K $\Omega$	a	¼ Watts	= R5, R7, R13, R15, R16
R6	=	POT/100K $\Omega$			= R17, R36
R9	=	POT/0.5K $\Omega$			= R17, R36
R10	=	1K $\Omega$	a	¼ Watts	
R11	=	100 $\Omega$	a	¼ Watts	= R24
R28	=	POT/5K $\Omega$			= R29
R32	=	18K $\Omega$	a	¼ Watts	
R37	=	330 $\Omega$	a	¼ Watts	
C1	=	2.2 $\mu$ F/50V			= C14, C17
C2	=	22pF			= C3
C4	=	104			= C5, C6
C7	=	1 $\mu$ F/16V			= C8, C9, C10 y C11
C12	=	100 $\mu$ F/25V			= C15
C13	=	100 nF			= C16
D1	=	LED			= D2, D4
D3	=	1N4004			= D5
Y1	=	Cristal de 4MHz			

- Y2 = Cristal de 32.768 KHz  
 S1 = Interruptores pulsadores = S2, S3, S4, S5.  
 J2 = Conector para RADIÓMETRO.  
 J3 = conector para termocupla.  
 J4 = conector para sensor LM335  
 J9 = conector para anemómetro  
 J11 = conector para alimentación de voltaje.  
 DB9(H) = conector para comunicación serial mediante RS-232

### 5.3 Costos debido a componentes electrónicos

Item	Descripción y/o especificación	Cant.	Precio unitario	Precio total
01	microcontrolador PIC 16F877	01	S/. 60.00	S/. 60.00
02	circuito integrado MAX 232	01	S/. 10.00	S/. 10.00
03	circuito integrado 24LC256	02	S/. 15.00	S/. 30.00
04	circuito integrado TL074	03	S/. 2.00	S/. 6.00
05	regulador de voltaje 7805	01	S/. 1.50	S/. 1.50
06	regulador de voltaje 7905	01	S/. 1.50	S/. 1.50
07	cristal de cuarzo de 4 MHz	01	S/. 6.00	S/. 6.00
08	cristal de cuarzo de 32.768 KHz	01	S/. 4.00	S/. 4.00
09	diodos de unión 1N4004 y led	07	S/. 0.20	S/. 1.40
10	resistencias de carbón de ¼ Watt	31	S/. 0.05	S/. 1.50
11	Potenciómetros de 5K y 100K	06	S/. 1.00	S/. 6.00
12	condensadores cerámicos 104	05	S/. 0.20	S/. 1.00
13	condensadores electrolíticos	10	S/. 0.30	S/. 3.00
14	terminal de 2 tomas	05	S/. 1.00	S/. 5.00
15	terminal de 3 tomas	01	S/. 2.00	S/. 2.00
16	conector DB9(Hembra)	01	S/. 5.00	S/. 5.00
17	conector de 10x2 pines	01	S/. 1.00	S/. 1.00
18	interruptores pulsadores	04	S/. 0.50	S/. 2.00
19	display LCD 20x2 caracteres	01	S/. 42.00	S/. 42.00
20	cable serial	01	S/. 8.00	S/. 8.00
21	zócalos para circuitos integrados	06	S/. 0.50	S/. 3.00

### 5.4 Costo por fabricación del circuito impreso

Item	Descripción y/o especificación	Cant.	Precio unitario	Precio total
01	circuito impreso de fibra de vidrio de (12cm)x(9cm)	01	S/. 45.50	S/. 45.50

<b>RESUMEN DE GASTOS</b>	
Costos debido a componentes electrónicos	S/. 198.90
Costo por fabricación del circuito impreso	S/. 45.50
<b>Costo total en soles</b>	S/. 244.4
<b>Costo total en dólares</b>	\$. 69.83

Tasa de cambio al comprar los componentes: \$1 = S/. 3.50



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

1. El sistema portátil tiene como componente principal el microcontrolador PIC 16F877, que incorpora 5 puertos para manejo de periféricos, registros especiales, para la implementación por software, de los protocolos de comunicación serial I<sup>2</sup>C y RS-232, y un conversor análogo/digital de 10 bits con 8 canales. Para la digitalización de las señales provenientes de los sensores se ha implementado circuito de acondicionamiento de señal (CAS).
2. Para el almacenamiento de datos registrados, el sistema portátil cuenta con dos memorias serial tipo EEPROM, cada uno de 32Kbytes, compatible con el protocolo de comunicación I<sup>2</sup>C. Una memoria tiene una capacidad de almacenamiento de datos correspondientes a la intensidad de radiación solar hasta por un periodo de 7 días, registrando datos cada 20 segundos durante 12 horas al día. La otra memoria tiene una capacidad de almacenamiento de datos correspondientes a dos fuentes de temperatura y una fuente de velocidad de viento, por un periodo de 7 días, registrando datos cada 20 segundos durante 4 horas al día.
3. Para la administración de los recursos y registro de datos, se ha desarrollado un conjunto de programas que componen el sistema operativo del sistema portátil.

4. El sistema portátil, optimiza la toma de datos de radiación solar para un mapeo efectivo de la intensidad solar durante días y meses.
5. El registro de datos, se determina por intervalos de tiempo del orden de segundos, que permitirá contar con mayor información de intensidad de radiación, temperatura, velocidad de viento para una mejor evaluación de los parámetros que caracterizan las diferentes aplicaciones solares.
6. El sistema portátil, tiene un funcionamiento autónomo hasta por una semana. Lo que permitirá su utilización aún en zonas alejadas con las ventajas que significa el transporte, tiempo, manejo, etc.
7. Para lograr que la tecnología solar alcance mayor sostenibilidad, de manera que las distintas aplicaciones solares tenga mayor aceptación y difusión; se requiere garantizar que las distintas aplicaciones solares sean de fácil uso por el usuario, para lograrlo se requiere mayor control y evaluación de los parámetros con apoyo de instrumentos de medición de acuerdo al avance tecnológico. En este sentido, el sistema portátil es un aporte inicial a mejorar la instrumentación en la investigación solar.
8. Los datos de radiación solar, temperatura, velocidad de viento y otros son requeridos para el diseño y optimización de aplicaciones como los siguientes:

#### 8.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS (SFV)

La temperatura y la intensidad de radiación solar son importantes cuando se considera la utilización de las células fotovoltaicas (SFV) para la generación de electricidad en aplicaciones diversas.

Para diseñar y utilizar adecuadamente las células fotovoltaicas (SFV), es necesario conocer y entender la influencia, sobre el comportamiento de los mismos, de los 2 parámetros de funcionamiento: temperatura e intensidad de radiación solar.

## 8.2 COCINAS SOLARES TIPO CAJA

Para la determinación de los parámetros térmicos de las cocinas solares tipo caja: F1 (primer factor de mérito) y F2 (segundo factor de mérito), es necesario conocer y entender la influencia de la temperatura y la intensidad de radiación solar.

El primer factor de mérito establece la relación entre la eficiencia óptica de la cocina y las pérdidas al exterior desde la placa; el segundo factor de mérito establece la eficiencia de la transferencia de calor hacia el recipiente.

## 8.3 TERMAS SOLARES

Para determinar la curva característica de un colector de placa plana de una terma solar, correspondiente al rendimiento instantáneo que relaciona la energía captada y la recibida en un instante dado, la relación es la siguiente:

$$\eta = F_R \eta_o - \frac{F_R \mu_1 (T_m - T_a)}{I}$$

FR factor de eficacia o coeficiente de transporte de calor

$\eta_o$  eficiencia óptica.

$\mu_1$  coeficiente global de pérdidas.

Tm temperatura del fluido a la entrada.

Ta temperatura ambiente.

I intensidad de radiación solar en la apertura del colector.

Además, es necesario determinar la temperatura de estratificación del tanque de almacenamiento.

#### 8.4 SECADORES SOLARES

Las curvas de secado (control del contenido de humedad) de los productos dependen de las condiciones de humedad relativa, temperatura y velocidad del viento empleado en la circulación.

En cierto rango de temperatura, velocidad de viento y humedad del aire, el tiempo de secado se reduce aumentando la temperatura o velocidad del viento ó disminuyendo la humedad relativa.

9. La situación actual respecto a la creciente demanda energética, el agotamiento pronosticado de recursos energéticos fósiles y el aumento de la contaminación ambiental, derivada de la combustión de estos recursos, hacen que el ser humano busque fuentes alternativas de energía, entre las que el sol y el viento juegan un papel preponderante.

Dentro de una gama de aplicaciones actuales destacan las siguientes :

##### 9.1. Aplicaciones fotovoltaicas

- Electrificación básica
- Bombeo de agua
- Riego tecnificado
- Telecomunicaciones
- Refrigeración
- Electrodomésticos

- Climatización de ambientes
- Depuradoras de aguas residuales

### 9.2. Aplicaciones termosolares

- Calentamiento de agua
- Secado de productos
- Destiladores
- Cocinas solares
- Calefacción de ambientes
- Iluminación natural
- Destrucción de residuos tóxicos peligrosos.
- Refrigeración mediante el uso de máquinas de absorción
- Climatización termosolar
- Desinfección del suelo

### 9.3. Aplicaciones eólicas

- Generación eléctrica para: Iluminación, bombeo, telecomunicaciones, refrigeración, electrodomésticos, etc.
- Bombeo de agua a través de aerobombas.
- Aire acondicionado a través de renovación de aire ( turbo extractor)

## **RECOMENDACIONES**

1. Implementar las rutinas necesarias en el Sistema portátil para configurar los tiempos de captura de datos de diferentes fuentes.

2. Buscar un reloj de tiempo real externo que interrumpa cada segundo al microcontrolador.
3. Buscar ampliar la utilización de diferentes sensores para tener una información simultánea de los diferentes valores meteorológicos del medio ambiente.
4. Implementar un software de aplicación entorno Windows, que permita de manera versátil, la administración, manipulación y evaluación de los datos.
5. Buscar un manejo versátil por el usuario no especializado.
6. Buscar implementar una comunicación inalámbrica para la transferencia de datos entre el sistema portátil y el computador.

**ANEXO A**

**LISTADO DE LOS PROGRAMAS Y RUTINAS**

## ANEXO A1

### SISTEMA OPERATIVO DEL MICROCONTROLADOR PIC16F877

#### Programa principal

```
*****
;
; Archivo SisPort.asm
*****
list    p=16F877          ;directiva que define el procesador
#include <p16f877.inc>
#include "macros.inc"
__CONFIG _CP_OFF & _WDT_OFF & _BODEN_ON & _PWRTE_ON &
        _XT_OSC & _WRT_ENABLE_ON & _LVP_OFF
;definición de las variables a usar
base    equ    0x20;      1ra direcc. libre para registros de uso general

*****
;
; VECTOR DE RESET
*****
org     0x0
goto   inicio           ; va al programa principal

*****
;
; VECTOR DE INTERRUPCION
org     0x4
; RUTINA PARA SERVICIO DE INTERRUPCION (isr)
*****
#include "reloj.asm"     ;para manejo de calendario
*****
;verifica horario de captura de datos de radiación solar
movlw  .18              ;entre las 18:00 horas y
subwf  hh,W            ;las 06:00 del día siguiente
jc     fin_isr         ;hay captura de datos
movlw  .06              ;de radiación solar
subwf  hh,W
jnc    fin_isr

*****
;
;captura datos de radiación solar y guarda en EEPROM_1
*****
```



```

movlw 0x0A0 ;palabra de control
movwf CONTROL
movf PAG_EE1,W ;carga la parte alta de la
andlw 0x7F ;dirección de EEPROM_1 (7 bits)
movwf ALTADIR
movf DIR_EE1,W ;carga la dirección de EEPROM_1
movwf DIR_EE
call Iniciar_AD0 ;inicializa canal de conversion AN0
call AD_convert ;convierte dato de la fotocelda
movf muestraL
movwf DATO_EE
call graba_1d ;graba parte baja de dato sensado
incf DIR_EE,F
movf muestraH
movwf DATO_EE
call graba_1d ;graba parte alta de dato sensado
incf DIR_EE1,F
incf DIR_EE1,F ;avanza dos posiciones
btfsc STATUS,Z
incf PAG_EE1 ;incrementa la página

;*****
;verifica horario para captura datos de temperatura
;y velocidad de viento
movlw .10 ;entre las 10:00 horas y
subwf hh,W ;las 14:00 horas
jnc fin_isr ;hay captura de datos de
movlw .14 ;temperatura y velocidad
subwf hh,W ;de viento
jc fin_isr

;*****
;captura datos de temperatura y velocidad de viento
;almacenando en EEPROM_2
;*****
movlw 0x0A2 ;palabra de control
movwf CONTROL
movf PAG_EE2,W
andlw 0x7F
movwf ALTADIR ;carga la página
movf DIR_EE2,W
movwf DIR_EE ;carga la dirección
call Iniciar_AD1 ;inicializa canal de conversion AN1
call AD_convert ;convierte dato del sensor LM335
movf muestraL
movwf DATO_EE
call graba_1d ;graba parte baja de dato sensado

```

```

incf    DIR_EE,F
movf    muestraH
movwf   DATO_EE
call    graba_1d           ;graba parte alta de dato sensado
movlw   0x28               ;offset para Termocupla
addwf   PAG_EE2,W
andlw   0x7F
movwf   ALTADIR           ;carga la página
movf    DIR_EE2,W
movwf   DIR_EE            ;carga la dirección
call    Iniciar_AD4       ;inicializa canal de conversion AN4
call    AD_convert        ;convierte dato de la termocupla
movf    muestraL
movwf   DATO_EE
call    graba_1d           ;graba parte baja de dato sensado
incf    DIR_EE,F
movf    muestraH
movwf   DATO_EE
call    graba_1d           ;graba parte alta de dato sensado
movlw   0x50               ;offset para Anemómetro
addwf   PAG_EE2,W
andlw   0x7F
movwf   ALTADIR           ;carga la página
movf    DIR_EE2,W
movwf   DIR_EE            ;carga la dirección
call    Iniciar_AD5       ;inicializa canal de conversion AN5
call    AD_convert        ;convierte dato del anemómetro
movf    muestraL
movwf   DATO_EE
call    graba_1d           ;graba parte baja de dato sensado
incf    DIR_EE,F
movf    muestraH
movwf   DATO_EE
call    graba_1d           ;graba parte alta de dato sensado
incf    DIR_EE2,F
incf    DIR_EE2,F         ;avanza dos posiciones
btfsc   STATUS,Z
incf    PAG_EE2           ;incrementa la página

fin_isr movf    salvar_fsr,W   ; restablece FSR
        movwf   FSR
        swapf   salvar_status,W ; restablece registro STATUS
        movwf   STATUS
        swapf   salvar_w,W     ; restablece registro W

        retfie                ;fin de la rutina de interrupción

```

```
*****
;
```

```
;inclusión de archivos
```

```
    #include "display.asm"      ;rutinas para manejo de display
    #include "mensajes.asm"     ;rutinas para mensajes
    #include "conv_AD.asm"      ;rutinas para manejo del A/D
    #include "m24LC256.asm"     ;rutinas para read/write en EEPROM
    #include "multipli.asm"     ;rutinas para multiplicacion
    #include "conv_BCD.asm"     ;rutinas para convertir a BCD
    #include "rs232.asm"       ;rutinas para manejo del USART
```

```
*****
;
```

```
; PROGRAMA PRINCIPAL
```

```
*****
;
```

```
inicio:
```

```
    cblock    base
                conta20      ;variable para contabiliar 20"
                PAG_EE1      ;paginado radiómetro
                DIR_EE1      ;dirección de EEPROM_1
                PAG_FIN1     ;última página de EEPROM_1
                DIR_FIN1     ;última dirección de EEPROM_1
                PAG_EE2      ;paginado T° y velocidad viento
                DIR_EE2      ;dirección de EEPROM_2
                PAG_FIN2     ;última página de EEPROM_2
                DIR_FIN2     ;última dirección de EEPROM_2
    endc
```

```
;inicialización de registros especiales
```

```
    clrf     PORTB
    clrf     PORTC
    clrf     PORTD
    banco 1
    movlw   B'10000001'      ;entradas A/D=RA0,RA1,RA2,RA5,RE0,RE1
    movwf   ADCON1          ; y RE2, RA3 = Vref
    movlw   B'00001111'     ;entradas para los switches
    movwf   TRISB           ;salidas para los led's de captura y Tx
    movlw   0x07            ;resist pull-up habilitadas
    movwf   OPTION_REG     ;precala para TMR0 de 1:256
    bsf     PIE1,TMR1IE     ;habilita la interrupción por desborde de TMR1
    banco 0
    clrf     TMR1H          ;byte alto de TMR1
    clrf     TMR1L          ;byte bajo de TMR1
    movlw   B'00011011'     ;configura TMR1: xtal externo, 1:2 preescala
    movwf   T1CON          ;para una interrupción cada 4 seg.
    bcf     PIR1,TMR1IF     ;setea flag de overflow de TMR1
    bsf     INTCON,PEIE     ;habilita interrupciones periféricas
```

```
;inicialización de los periféricos
```

```

call inicio_LCD ;inicializa display LCD
call Iniciar_USART ;inicializa módulo comunicación USART

;inicialización de variables
clrf ss ;borra contador de segundos
clrf mm ;borra contador de minutos
movlw 0x06
movwf hh ;inicia contador de horas 6:00 a.m.
clrf dd ;borra contador de días
clrf conta20 ;borra contador de 20 segundos
clrf PAG_EE1 ;borra dirección alta de EEPROM_1
clrf DIR_EE1 ;borra dirección de EEPROM_1
clrf PAG_EE2 ;borra dirección alta de EEPROM_2
clrf DIR_EE2 ;borra dirección de EEPROM_2

;*****
;envío de mensajes
movlw 0x80
call EnviaCmdLCD
call mensaje1 ;nuestra nombre del graduando
call ret300ms
movlw 0x80
call EnviaCmdLCD ;muestra opción de captura de datos
call mensaje2
movlw 0xC0
call EnviaCmdLCD
call mensaje3 ;muestra opción de transmisión

;lazo en espera del modo de operación del sistema portátil
modo_op nop
btfs PORTB,3
goto captura ;se pulsó S2
btfs PORTB,2
goto transmi ;se pulsó S3
goto modo_op

;*****
;esta sección es para el modo CAPTURA de DATOS
;*****
captura
bsf INTCON,GIE ;habilita todas las interrupciones
movlw DISP_CLEAR ;aclarar display
call EnviaCmdLCD
bsf PORTB,4 ;led de captura ON
capta movlw .07
xorwf dd,W ;si se completa 7 días
jz fin_C ;fin de captura

```

```

        btfsc    PORTB,1      ;se pulsó S4 (Stop), fin captura
        goto    capta

fin_C   bcf      INTCON,GIE   ;desactiva las interrupciones
        bcf      PORTB,4     ;led de captura OFF
        movlw   0x0A0        ;palabra de control EEPROM_1
        movwf   CONTROL
        movlw   0x7F         ;última página
        movwf   ALTADIR
        movlw   0x0FE        ;penúltima dirección de EEPROM_1
        movwf   DIR_EE
        movf    DIR_EE1      ;guardando dirección final de datos
        movwf   DATO_EE     ;almacenados en EEPROM_1
        call    graba_1d
        incf    DIR_EE,F
        movf    PAG_EE1     ;guardando página final de datos
        movwf   DATO_EE     ;almacenados en EEPROM_1
        call    graba_1d
        movlw   0x0A2        ;palabra de control EEPROM_2
        movwf   CONTROL
        movlw   0x7F         ;última página
        movwf   ALTADIR
        movlw   0x0FE        ;penúltima dirección de EEPROM_2
        movwf   DIR_EE
        movf    DIR_EE2     ;guardando dirección final de datos
        movwf   DATO_EE     ;almacenados en EEPROM_2
        call    graba_1d
        incf    DIR_EE,F
        movf    PAG_EE2     ;guardando página final de datos
        movwf   DATO_EE     ;almacenados en EEPROM_2
        call    graba_1d
        goto    fin

;*****
;esta sección es para el modo TRANSMISIÓN de DATOS
;*****
transmi
        movlw   DISP_CLEAR   ;aclarar display
        call    EnviaCmdLCD
        bsf     PORTB,5      ;led de Tx ON
        movlw   0x0A0        ;palabra de control EEPROM_1
        movwf   CONTROL
        movlw   0x7F         ;última página
        movwf   ALTADIR
        movlw   0x0FE        ;penúltima dirección de EEPROM_1
        movwf   DIR_EE
        call    lee_1d       ;recupera dirección final de datos

```

```

movf   DATO_EE,W           ;almacenados en EEPROM_1
movwf  DIR_FIN1           ;lo tenemos en DIR_FIN1
incf   DIR_EE,F
call   lee_1d              ;recupera página final de datos
movf   DATO_EE,W           ;almacenados en EEPROM_1
movwf  PAG_FIN1           ;lo tenemos en PAG_FIN1
movlw  0x0A2               ;palabra de control EEPROM_2
movwf  CONTROL
movlw  0x7F                ;última página
movwf  ALTADIR
movlw  0x0FE               ;penúltima dirección de EEPROM_2
movwf  DIR_EE
call   lee_1d              ;recupera dirección final de datos
movf   DATO_EE,W           ;almacenados en EEPROM_2
movwf  DIR_FIN2           ;lo tenemos en DIR_FIN2
incf   DIR_EE,F
call   lee_1d              ;recupera página final de datos
movf   DATO_EE,W           ;almacenados en EEPROM_2
movwf  PAG_FIN2           ;lo tenemos en PAG_FIN2
clrf   PAG_EE1             ;borra dirección alta de EEPROM_1
clrf   DIR_EE1             ;borra dirección de EEPROM_1
clrf   PAG_EE2             ;borra dirección alta de EEPROM_2
clrf   DIR_EE2             ;borra dirección de EEPROM_2

```

\*\*\*\*\*

;leer datos de RADIACIÓN SOLAR de la EEPROM\_1 y transmitirlos  
;y a la PC

Envia\_M1

```

movlw  0x0A0               ;palabra de control
movwf  CONTROL
Txm1  movf   PAG_EE1,W
andlw  0x7F
movwf  ALTADIR             ;carga la página
movf   DIR_EE1,W
movwf  DIR_EE              ;carga la dirección
call   lee_1d
movf   DATO_EE,W
movwf  muestraL
incf   DIR_EE,F
call   lee_1d
movf   DATO_EE,W
movwf  muestraH
call   factor0
call   conv_BCD
call   envio_BCD
movlw  0x0A                ;código de fin de cadena
call   TxCar

```

```

incf    DIR_EE1,F
incf    DIR_EE1,F
btfsc   STATUS,Z
incf    PAG_EE1,F
movf    PAG_EE1,W
subwf   PAG_FIN1,W
jnc     Envia_M2 ; sale si PAG_FIN1 < PAG_EE1
jnz     Txm1     ;continúa si PAG_FIN1 > PAG_EE1
movf    DIR_EE1,W ;si PAG_FIN1 = PAG_EE1
subwf   DIR_FIN1,W ;continúa siempre que
jnc     Envia_M2 ;DIR_FIN1 >= DIR_EE1
goto    Txm1

```

```

;*****
;leer datos de TEMPERATURA Y VELOCIDAD DE VIENTO de la EEPROM_2
;y transmitirlos a la PC

```

```
Envia_M2
```

```

    movlw 0x0A2 ;palabra de control
    movwf CONTROL
Txm2 movf  PAG_EE2,W
    andlw 0x7F
    movwf ALTADIR ;carga página de LM-335
    movf  DIR_EE2,W
    movwf DIR_EE ;carga la dirección
    call lee_1d
    movf  DATO_EE,W
    movwf muestraL
    incf  DIR_EE,F
    call lee_1d ;lee datos de LM-335
    movf  DATO_EE,W
    movwf muestraH
    call factor1
    call conv_BCD
    call envio_BCD ;envía datos de LM-335
    movlw 0x28 ;offset página de Termocupla
    addwf PAG_EE2,W
    andlw 0x7F
    movwf ALTADIR ;carga la página
    movf  DIR_EE2,W
    movwf DIR_EE ;carga la dirección
    call lee_1d
    movf  DATO_EE,W
    movwf muestraL
    incf  DIR_EE,F
    call lee_1d ;lee datos de Termocupla
    movf  DATO_EE,W
    movwf muestraH

```

```

call    factor4
call    conv_BCD
call    envio_BCD           ;envía datos de Termocupla
movlw   0x50                ;offset página de Anemómetro
addwf   PAG_EE2,W
andlw   0x7F
movwf   ALTADIR            ;carga la página
movf    DIR_EE2,W
movwf   DIR_EE             ;carga la dirección
call    lee_1d
movf    DATO_EE,W
movwf   muestraL
incf    DIR_EE,F
call    lee_1d             ;lee datos de Anemómetro
movf    DATO_EE,W
movwf   muestraH
call    factor5
call    conv_BCD
call    envio_BCD         ;envía datos de Anemómetro
movlw   0x0D               ;código de fin de cadena
call    TxCar
incf    DIR_EE2,F
incf    DIR_EE2,F
btfsc   STATUS,Z
incf    PAG_EE2,F
movf    PAG_EE2,W
subwf   PAG_FIN2,W
jnc     fin_Tx             ;sale si PAG_FIN2 < PAG_EE2
jnz     Txm2              ;continúa si PAG_FIN2 > PAG_EE2
movf    DIR_EE2,W         ;si PAG_FIN2 = PAG_EE2
subwf   DIR_FIN2,W       ;continúa siempre que
jnc     fin_Tx           ;DIR_FIN2 >= DIR_EE2
goto    Txm2
fin_Tx  bcf    PORTB,5    ;led de Tx OFF

fin
goto    $
END                                           ;directiva fin de programa

```

### Rutina para implementar el reloj de tiempo real usando el registro TMR1

```

;*****
; Archivo reloj.asm
;*****
cblock
    salvar_w           ;para salvar registro W

```



```

                salvar_status      ;para salvar registro STATUS
                salvar_fsr         ;para salvar registro FSR
        endc

;*****
        movwf  salvar_w          ;salva registro W
        swapf  STATUS,W         ;salva registro STATUS
        movwf  salvar_status

        btfs   PIR1,TMR1IF      ;prueba flag de interrupción de TMR1
        goto   fin_isr
        bcf    PIR1,TMR1IF      ;borra flag de interrupción de TMR1

        cblock
                ss                ;variable para contar número de segundos
                mm                ;variable para contar número de minutos
                hh                ;variable para contar número de horas
                dd                ;variable para contar número de días
        endc

        movf   FSR,W
        movwf  salvar_fsr        ;salva FSR

;*****
;inicio de las cuentas
        movlw  ss
        movwf  FSR
        incf   INDF,F            ; incrementa en 4 contador de segundos
        incf   INDF,F
        incf   INDF,F
        incf   INDF,F
        movlw  d'60'
        subwf  INDF,W
        bnz   pasa_reloj        ; mientras no alcanza un minuto
        clrf  INDF              ; borra contador de segundos
        incf  FSR,F             ; punto para contar minutos
        incf  INDF,F           ; incrementa contador de minutos
        movlw  d'60'
        subwf  INDF,W
        bnz   pasa_reloj        ; mientras no alcanza una hora
        clrf  INDF              ; borra contador de minutos
        incf  FSR,F             ; punto para contar horas
        incf  INDF,F           ; incrementa contador de horas
        movlw  d'24'
        subwf  INDF,W
        bnz   pasa_reloj        ; mientras no alcanza un día
        clrf  INDF              ; borra contador de horas

```

```

incf    FSR,F           ; punto para contar días
incf    INDF,F          ; incrementa contador de días

```

```

;*****
;
pasa_reloj
    incf    conta20,F
    movlw   .5
    xorwf   conta20,W
    btfss   STATUS,Z     ; salta si transcurrió 20"
    goto    fin_isr      ; no ha transcurrido 20"
    clrf    conta20,F

```

### Rutina para manejo del display LCD

```

;*****
;
;archivo Display.asm
;*****
    cblock
        CHAR           ;almacena caracter
        TEMP           ;almacenamiento temporal
        W_temp
        contador1      ;registro usado por retardo
        contador2      ;registro usado por retardo
    endc

DATOS EQU PORTD        ;lineas de datos = portD
CNTRL EQU PORTD        ;lineas de control = portD
E      EQU 1           ;linea de control E = bit1
RW     EQU 2           ;linea de control RW = bit2
RS     EQU 3           ;linea de control RS = bit3
t0     equ d'137'      ;constante para generar aprox. 100ms
t4.6ms equ 0x06*3     ;constante para generar 4,6ms
t15.4ms equ 0x14*3    ;constante para generar 15,4ms
t200us equ 0x01       ;constante para generar aprox. 200us
DISP_ON_CURSOR_BLINK EQU B'00001111' ;cursor parpadea
DISP_ON_NOCURSOR EQU B'00001100' ;sin cursor
DISP_CLEAR EQU B'00000001' ;Aclarar display
DISP_OFF EQU b'00001000' ;apaga el display
DISP_LINEA2 EQU b'11000000' ;segunda línea

```

```

;*****
;
;EnviaCarLCD - Envía un caracter a la pantalla LCD
;Esta rutina separa el caracter entre el nibble superior e inferior
;y los envía a la pantalla LCD, nibble mas alto primero
;*****
EnviaCarLCD

```

```

movwf W_temp           ;almacena temporal W
movwf CHAR             ;W contiene caracter a ser enviado
call TestBusyLCD      ;esperar que LCD este listo
movf CHAR,w           ;
andlw 0xF0            ;obtener el nibble superior
movwf DATOS           ;enviar datos al LCD
bcf CNTRL,RW          ;poner al LCD en modo lectura
bsf CNTRL,RS          ;poner al LCD en modo de datos
nop
bsf CNTRL,E           ;conmutar E
nop
bcf CNTRL,E           ;
swapf CHAR,w          ;
andlw 0xF0            ;obtener el nibble inferior
movwf DATOS           ;enviar datos al LCD
bcf CNTRL,RW          ;poner al LCD en modo lectura
bsf CNTRL,RS          ;poner al LCD en modo de datos
nop
bsf CNTRL,E           ;conmutar E
nop
bcf CNTRL,E           ;
movf W_temp,W         ;restaura W
return

```

```

;*****
;
;EnviaCmdLCD - Envía comando a la pantalla LCD
;Esta rutina separa el comando en nibble superior y nibble
;inferior y los envía a la pantalla LCD, nibble mas alto primero
;*****
;
;EnviaCmdLCD

```

```

movwf CHAR            ;caracter a ser enviado esta en reg. W
call TestBusyLCD     ;esperar LCD listo
movf CHAR,w          ;
andlw 0xF0           ;obtener nibble superior
movwf DATOS          ;enviar dato al LCD
bcf CNTRL,RW         ;poner LCD en modo lectura
bcf CNTRL,RS         ;poner LCD en modo comando
nop
bsf CNTRL,E          ;conmutar E para LCD
nop
bcf CNTRL,E          ;
swapf CHAR,w         ;
andlw 0xF0           ;obtener nibble inferior
movwf DATOS          ;enviar dato al LCD
nop
bsf CNTRL,E          ;conmutar E para LCD
nop

```

```

    bcf    CNTRL,E
    return

```

```

;*****
;
; Esta rutina chequea el flag de busy de la pantalla LCD, retorna cuando no esta
; ocupado, afecta: TEMP
;*****

```

```

TestBusyLCD
    banco1
    movlw  b'11110000'    ;seleccionar DATOS[4..7]
    movwf  TRISD
    banco0
    bcf    CNTRL,RS      ;pone LCD en modo comando
    bsf    CNTRL,RW      ;prepara para leer flag de busy
    nop
    bsf    CNTRL,E       ;E='1'
    nop
    movf   DATOS,W      ;lee flag de busy del nibble superior
    bcf    CNTRL,E       ;conmuta E para tomar nibble inferior
    andlw  0F0h         ;enmascara el nibble
    movwf  TEMP         ;lo almacena
    nop
    bsf    CNTRL,E
    nop
    swapf  DATOS,w      ;lee flag de busy del nibble inferior
    bcf    CNTRL,E       ;poner E='0'
    andlw  00Fh         ;enmascara nibble superior
    iorwf  TEMP         ;combina nibbles
    btfsc  TEMP,7       ;chequea flag de busy, alto = ocupado
    goto   TestBusyLCD  ;si esta ocupado, chequear nuevamente
    bcf    CNTRL,RW
    banco1
    movlw  0x00         ;poner DATOS como salidas
    movwf  TRISD
    banco0
    return

```

```

;*****
;
; Esta rutina inicializa la pantalla LCD
; Afecta: TEMP
;*****

```

```

inicio_LCD
    banco0
    bcf    CNTRL,E       ; aclara lineas de control
    bcf    CNTRL,RW
    bcf    CNTRL,RS
    movlw  0x0F         ;aclara líneas de datos

```

```

    movwf  DATOS
;Configurar puertos DATOS[4..7] y CNTRL[1..3] como salidas
    banco1
    movlw  B'00001111'      ;4 bits mas altos de DATOS
    movwf  TRISD
    bcf    TRISD,E          ;bits de control como salidas
    bcf    TRISD,RW
    bcf    TRISD,RS
    banco0

;Inicializar la pantalla LCD
    movlw  t15.4ms         ;guarda de 15 ms
    movwf  contador2
    call   retardo
    movlw  B'00110000'     ;configurar LCD para interfaz de 4 bits
    movwf  DATOS
    nop
    bsf    CNTRL,E        ;conmutar E para LCD
    nop
    bcf    CNTRL,E
    movlw  t4.6ms
    movwf  contador2
    call   retardo
    movlw  B'00110000'     ;función escoger 2 líneas
    movwf  DATOS          ;de caracteres de 5x7 bits
    nop
    bsf    CNTRL,E        ;conmutar E para LCD
    nop
    bcf    CNTRL,E
    movlw  B'00110000'     ;parte de la secuencia de encendido
    movwf  DATOS
    nop
    bsf    CNTRL,E        ;conmutar E para LCD
    nop
    bcf    CNTRL,E
    movlw  t200us         ;retardo
    movwf  contador2
    call   retardo
    movlw  B'00100000'     ;configurar modo 4 bits
    movwf  DATOS
    nop
    bsf    CNTRL,E        ;conmutar E para LCD
    nop
    bcf    CNTRL,E

;El flag de ocupado estaría válido después de este punto
    movlw  B'00101000'     ;interfaz de 4 bits, 2 líneas

```

```

call    EnviaCmdLCD    ;de caracteres de 5x7
movlw   DISP_ON_CURSOR_BLINK    ;Display on, cursor on,blink
call    EnviaCmdLCD
movlw   DISP_CLEAR    ;aclarar display
call    EnviaCmdLCD
movlw   B'00000110'    ;poner modo incremental, sin desplazamiento
call    EnviaCmdLCD
movlw   B'10000000'    ;dirección DDRam
call    EnviaCmdLCD
return

```

```

;*****
;
;retardo: Rutina que genera un retardo,
;el registro contador2 contiene la duración del retardo
;*****
;
retardo:
    clrf    contador1    ;aclara contador1
ret     decfsz  contador1,F
        goto   ret
        decfsz  contador2,F
        goto   ret
        return

ret100ms:
    movlw   t0
    movwf   contador2
    call    retardo
    call    retardo
    return

ret300ms:
    call    ret100ms
    call    ret100ms
    call    ret100ms
    return

ret600ms:
    call    ret300ms
    call    ret300ms
    return

```

### Rutinas para envío de mensajes en el display LCD

```

;*****
;
; Archivo mensajes.asm
;*****
;
cblock
    C_mens
endc

```

```

;*****
;
;definiendo los mensajes
nico    movf    C_mens,W
        addwf   PCL,F
        dt     " Nicolas Cortez  "
captur  movf    C_mens,W
        addwf   PCL,F
        dt     "Captura de Datos S2"
trans   movf    C_mens,W
        addwf   PCL,F
        dt     "Tx de Datos a PC S3"

;*****
mensaje1
        clrf    C_mens
tit1    call    nico
        call    EnviaCarLCD      ;mostrando en el display LCD
        incf    C_mens,F
        movf    C_mens,W
        xorlw   0x14
        btfss  STATUS,Z
        goto   tit1
        return

mensaje2
        clrf    C_mens
tit2    call    captur
        call    EnviaCarLCD      ;mostrando en el display LCD
        incf    C_mens,F
        movf    C_mens,W
        xorlw   0x14
        btfss  STATUS,Z
        goto   tit2
        return

mensaje3
        clrf    C_mens
tit3    call    trans
        call    EnviaCarLCD      ;mostrando en el display LCD
        incf    C_mens,F
        movf    C_mens,W
        xorlw   0x14
        btfss  STATUS,Z
        goto   tit3
        return

```

## Rutina para adquisición de datos

```

;*****
;
;archivo Conv_AD.asm
;fecha:25/06/2002
;*****
;
;      cblock
;          muestraH      ; dato digitalizado = muestraH:muestraL
;          muestraL
;          contad1
;      ende

;*****
;
;Iniciar_AD0
;      movlw  B'01000001'      ;clock Fosc/5 (Max. 5MHz), Ch0,A/D on
;      movwf  ADCON0
;      return

;*****
;
;Iniciar_AD1:
;      movlw  B'01000001'      ;clock Fosc/5 (Max. 5MHz), Ch1,A/D on
;      movwf  ADCON0
;      return

;*****
;
;Iniciar_AD4
;      movlw  B'01000001'      ;clock Fosc/5 (Max. 5MHz), Ch4,A/D on
;      movwf  ADCON0
;      return

;*****
;
;Iniciar_AD5
;      movlw  B'01000001'      ;clock Fosc/5 (Max. 5MHz), Ch5,A/D on
;      movwf  ADCON0
;      return

;*****
;
;rutina de conversion A/D, valido para todos los canales A/D
; la muestra se almacena en muestraH:muestraL
AD_convert:
;      movlw  d'20'
;      movwf  contad1          ;inicializa contador1
AD_esp1
;      decfsz contad1,F        ;intervalo de espera
;      goto   AD_esp1
;      bsf   ADCON0,GO        ; Inicia A/D conversión
AD_esp2

```



```

    btfss    PIR1,ADIF      ; Ciclo de conversión A/D
    goto    AD_esp2
    nop
    bcf     PIR1,ADIF      ; Aclara flag de conversión
    movf    ADRESH,W       ; Escribe el resultado en muestraH:muestraL
    movwf   muestraH
    banco 1
    movf    ADRESL,W
    banco 0
    movwf   muestraL
    return

```

### Rutina para almacenamiento y recuperación de datos en memoria 24LC256

```

*****
;Archivo m24lc256.asm
;rutinas para lectura y escritura en EEPROM 24LC256
;utilizando el protocolo I2C
*****
    cblock
        DATO_EE      ;registro de datos de EEPROM
        DIR_EE       ;registro de direcciones de EEPROM
        PAG_EE       ;parte alta del registro de dirección
        CONTROL      ;registro de control de EEPROM
        ALTADIR      ;parte alta del registro de dirección
        GEN0         ;contador para Tx/Rx 8 bits
    endc

scl    equ    0x03      ;pin de datos serial de EEPROM
sda    equ    0x04      ;pin de reloj serial de EEPROM

*****
; Coloca BIT de START
;*****
bit_str
    bcf    PORTC,scl
    nop
    bsf    PORTC,sda
    nop
    bsf    PORTC,scl
    nop
    bcf    PORTC,sda
    nop
    bcf    PORTC,scl
    retlw  0

```

```

;*****
;
; Genera un pulso de reloj
;*****
pulsck bsf    PORTC,scl
        nop
        bcf    PORTC,scl
        retlw  0

;*****
;
; Coloca BIT de STOP
;*****
bit_stop
        bcf    PORTC,sda
        nop
        nop
        bsf    PORTC,scl
        nop
        nop
        bsf    PORTC,sda
        nop
        nop
        bcf    PORTC,scl
        retlw  0

;*****
;
; Rutinas comunes para LEER o ESCRIBIR 1 DATO
;*****
inicia
        movlw  B'11100111'      ;configura pines del PUERTO C
        bcf    PORTC,scl      ;"scl" y "sda" como salidas
        bsf    PORTC,sda
        banco1
        movwf  TRISC
        banco0
        retlw  0

;*****
;
comun1
        movlw  8
        movwf  GEN0            ;inicia contador para 8 bits
        retlw  0

;*****
;
;para verificar bit de reconocimiento
ack_bit
        bsf    PORTC,sda
        movlw  B'11110111'    ;configura "sda" como entrada

```

```

    banco1                ;para verificación de
    movwf TRISC            ;bit de reconocimiento
    banco0
    nop
    bsf PORTC,scl
    retlw 0

;*****
comun2
    bcf PORTC,scl
    nop
    bsf PORTC,sda
    movlw B'11100111'     ;configura "scl" y "sda" como
    banco1                ;salidas
    movwf TRISC
    banco0
    movlw 8
    movwf GEN0            ;inicia contador para 8 bits
    retlw 0

;*****
cntrl
    rlf CONTROL,F        ;envía palabra de control
    btfsc STATUS,C       ;bit a bit a través del carry
    bsf PORTC,sda        ;por la linea "sda"
    btfss STATUS,C
    bcf PORTC,sda
    call pulseck         ;pulso de reloj
    decfsz GEN0,F        ;hasta completar los 8 bits
    goto cntrl
    rlf CONTROL,F        ;CONTROL queda intacto
    call ack_bit         ;"sda" es entrada
    return

;*****
envia_ctrl
    call inicia          ;sda=1 como salida
    call bit_strt        ;pone bit de start
    call comun1          ;CONTROL, ALTADIR y GEN0=8
    bcf CONTROL,0       ;0 para escribir
    call cntrl
    btfsc PORTC,sda     ;espera bit de reconocimiento
    goto envia_ctrl
    call comun2          ;"scl" y "sda" salidas y GEN0=8
    return

```

```

*****
,
envia_Hdir
    rlf    ALTADIR,F        ;envía dirección alta
    btfsc  STATUS,C
    bsf    PORTC,sda
    btfss  STATUS,C
    bcf    PORTC,sda
    call   pulsck
    decfsz GEN0,F
    goto   envia_Hdir
    rlf    ALTADIR,F        ;ALTADIR queda intacto
    call   ack_bit         ; "sda" es entrada
ack1  nop
    btfsc  PORTC,sda       ;espera bit de reconocimiento
    goto   ack1
    call   comun2          ;"scl" y "sda" salidas y GEN0=8
    return

*****
,
envia_dir
    rlf    DIR_EE,F        ;envía dirección baja
    btfsc  STATUS,C
    bsf    PORTC,sda
    btfss  STATUS,C
    bcf    PORTC,sda
    call   pulsck
    decfsz GEN0,F
    goto   envia_dir
    rlf    DIR_EE,F        ;DIR_EE queda intacto
    call   ack_bit         ;"sda" es entrada
ack2  nop
    btfsc  PORTC,sda       ;espera bit de reconocimiento
    goto   ack2
    call   comun2          ;"scl" y "sda" salidas y GEN0=8
    return

*****
,
; Graba byte: DATO_EE --> (PAG_EE-DIR_EE)
*****
,
graba_1 d
    call   envia_ctrl
    call   envia_Hdir
    call   envia_dir
graba  rlf    DATO_EE,F        ;graba 1 dato de 8 bits
    btfsc  STATUS,C
    bsf    PORTC,sda
    btfss  STATUS,C

```

```

        bcf      PORTC,sda
        call     pulsck
        decfsz   GEN0,F
        goto     graba
        rlf      DATO_EE,F      ;DATO_EE queda intacto
        call     ack_bit        ;"sda" es entrada
ack3    btfsc    PORTC,sda      ;espera bit de reconocimiento
        goto     ack3
        call     comun2         ;"scl" y "sda" salidas y GEN0=8
        call     bit_stop       ;fin rutina graba_1d
        return

;*****
; Lee byte: DATO_EE <-- (PAG_EE-DIR_EE)
;*****
lee_1d
        call     envia_ctrl
        call     envia_Hdir
        call     envia_dir
        call     bit_strt
        bsf      CONTROL,0      ;1 para leer
        movlw    8
        movwf    GEN0
ack4    call     cntrl           ;envia palabra de cntrl
        nop
        btfsc    PORTC,sda      ;espera bit de reconocimiento
        goto     ack4
        bcf      PORTC,scl
        nop
        bsf      PORTC,sda
        movlw    8
        movwf    GEN0
lee     bsf      PORTC,scl      ;lee dato de 8 bits
        nop
        bcf      STATUS,C
        btfsc    PORTC,sda
        bsf      STATUS,C
        rlf      DATO_EE,F
        bcf      PORTC,scl
        decfsz   GEN0,F
        goto     lee
        call     comun2         ;"scl" y "sda" salidas y GEN0=8
        call     pulsck
        call     bit_stop
        return

```

## Rutinas de multiplicación

```

;*****
; Archivo multipli.asm
;*****
        cblock
                Tempo1      ;guarda el valor de muestraL
                Tempo2      ;guarda el valor de muestraH
        endc

```

;Esta parte multiplica por 12 el valor muestraH:muestraL  
multix12:

```

        movf    muestraL,W ;primero se multiplica x3
        movwf   Tempo1
        addwf   muestraL,F
        movf    muestraH,W
        movwf   Tempo2
        btfsc   STATUS,C
        addlw   0x1
        addwf   muestraH,W
        movwf   muestraH
        movf    Tempo1,W
        addwf   muestraL,F
        movf    Tempo2,W
        btfsc   STATUS,C
        addlw   0x1
        addwf   muestraH,W
        movwf   muestraH
        ;luego se multiplica x4
        rlf     muestraL,F
        rlf     muestraH,F
        rlf     muestraL,F
        rlf     muestraH,F
        return

```

```

multix2:
        bcf     STATUS,C      ;multiplicando x2
        rlf     muestraL,F
        rlf     muestraH,F
        return

```

```

factor0:
        movlw   0x07          ;se quita offset del Opamp para
        subwf   muestraL,F     ;medir radiación solar
        movf    muestraH,W
        btfss   STATUS,C
        sublw   0x1

```

```

        movwf  muestraH
        call   multix12
        return

factor1:
        call   multix2
        return

factor4:
        movlw  .100                ;agregar offset 10(T°A)/2 para
        addwf  muestraL,F           ;medir temperatura con la
        movf   muestraH,W          ;termocupla
        btfsc  STATUS,C
        addlw  0x1
        movwf  muestraH
        call   multix2
        return

factor5:
        call   multix2
        return

```

### Rutina para conversión de número binario a dígitos decimales (BCD)

```

;*****
;
;Archivo Conv_BCD.asm
;rutinas para convertir número binario a digitos 'BCD'
;y para enviar los dígitos 'BCD' a la 'PC'
;*****
        cblock
                DECI                ; digito decimal
                UNIT                ; digito unidad
                DECE                ; digito decena
                CENT                ; digito centena
                MIL                 ; digito unidad de millar
        endc

;*****
;Rutina para convertir número binario de 10 bits a dígitos 'BCD'
;*****
conv_BCD:
        clrf   MIL                 ; inicializando variables correspondientes
        clrf   CENT                ; a los dígitos decimales a obtener
        clrf   DECE
        clrf   UNIT
        clrf   DECI

```

```

d_dmil  movlw    0x27                ; determinando el dígito decena de millar
        subwf   muestraH,W
        btfss   STATUS,C
        goto    d_mil
        btfsc   STATUS,Z
        goto    d2
        movwf   muestraH
        movlw   0x10
        subwf   muestraL,W
        movwf   muestraL
        btfss   STATUS,C
        decf    muestraH,F
d1      incf    MIL,F
        goto    d_dmil
d2      movlw   0x10
        subwf   muestraL,W
        btfss   STATUS,C
        goto    d_mil
        movwf   muestraL
        clrf    muestraH
        goto    d1
d_mil   movlw   0x03                ;determinando el dígito unidad de millar
        subwf   muestraH,W
        btfss   STATUS,C
        goto    d_cent
        btfsc   STATUS,Z
        goto    d4
        movwf   muestraH
        movlw   0xE8
        subwf   muestraL,W
        movwf   muestraL
        btfss   STATUS,C
        decf    muestraH,F
d3      incf    CENT,F
        goto    d_mil
d4      movlw   0xE8
        subwf   muestraL,W
        btfss   STATUS,C
        goto    d_cent
        movwf   muestraL
        clrf    muestraH
        goto    d3
d_cent  movlw   0x64                ;determinando el dígito centena
        movf    muestraH,F
        btfsc   STATUS,Z
        goto    d5

```



```

        subwf    muestraL,W
        btfs    STATUS,C
        decf    muestraH,F
        movwf   muestraL
        incf    DECE,F
        goto    d_cent
d5      movlw    0x64
        subwf   muestraL,W
        btfs   STATUS,C
        goto   d_dec
        incf   DECE,F
        movwf  muestraL
        goto  d5
d_dec   movlw   0x0A           ;determinando el dígito decena
        subwf  muestraL,W
        btfs  STATUS,C
        goto  d_unit
        incf  UNIT,F
        movwf muestraL
        goto d_dec
d_unit  movf   muestraL,W     ;el resto es el dígito unidad
        movwf DECI
        return

```

```

;*****
;
;Rutina para enviar digitos MIL, CENT, DECE, UNIT y DECI
;transmitidos serialmente a la PC
;*****

```

```

envio_BCD:

```

```

        movf    MIL,W
        addlw   0x30
        call    TxCar
        movf    CENT,W
        addlw   0x30
        call    TxCar
        movf    DECE,W
        addlw   0x30
        call    TxCar
        movf    UNIT,W
        addlw   0x30
        call    TxCar
        movlw   ''
        call    TxCar
        movf    DECI,W
        addlw   0x30
        call    TxCar
        return

```

## Rutina para transferencia de datos a la PC mediante RS-232

```

;*****
;
;Archivo rs232.asm
;*****
    cblock
        regrx
    endc

;*****
;
; Inicialización del USART del PIC
; Vtx=9600 bps, asíncrona, 8 bits, operaciones del puerto habilitadas
;*****
Iniciar_USART
    bcf    RCSTA,CREN    ;aclara OVERRUN error bit
    nop
    bsf    RCSTA,CREN
    banco1
    movlw  B'00100000'    ;operación asíncrona,8bits,Tx on
    movwf  TXSTA
    movlw  .5              ;Vtx=9600 baudios; Xtal=4Mhz
    movwf  SPBRG
    banco0
    movlw  B'10010000'    ;habilita. operaciones en puerto serial
    movwf  RCSTA
    clrf   TXREG          ;aclara buffers del puerto serial
    clrf   RCREG
    return

;*****
;
; Rutina para envío de caracteres
; el dato debe estar en el registro W (no se modifica)
;*****
TxCar
    nop                    ;asegura la estabilizacion del puerto
    nop
    nop
    banco1
TxCar1
    btfss  TXSTA,TRMT     ;check estado del transmisor para enviar
    goto   TxCar1        ;si no esta listo intentar nuevamente
    banco0
    movwf  TXREG          ;transmitir un nuevo dato
    return

```

## Macros utilizados en el programa principal y en las rutinas

```

;*****
;
; Archivo Macros.inc
;*****
List
jmp    macro    Adr            ;goto
      goto     Adr
      endm

jz     macro    Adr            ;saltar si cero
      btfsc   STATUS,Z
      jmp     Adr
      endm

jnz    macro    Adr            ;saltar si no cero
      btfss   STATUS,Z
      jmp     Adr
      endm

jc     macro    Adr            ;saltar si carry
      btfsc   STATUS,C
      jmp     Adr
      endm

jnc    macro    Adr            ;saltar si no carry
      btfss   STATUS,C
      jmp     Adr
      endm

banco0 macro
      bcf     STATUS,RP0
      endm

banco1 macro
      bsf     STATUS,RP0
      endm
LIST

```

## ANEXO A2 SOFTWARE DE APLICACIÓN EN AMBIENTE WINDOWS

### Programa principal

```
Option Explicit
'cadena capturada y datos por canal
Dim cadena As String
Dim radia As Variant
Dim lm335 As Variant
Dim thermo As Variant
Dim anemom As Variant
Dim k1 As Integer           'puntero de filas de radiómetro
Dim k2 As Integer           'puntero de filas de T° y Anemómetro
Const amarillo = &H80FF&    'códigos de colores
Const verde = &HFF00&
Const rojo = &HFF&

'declara una variable Application de Excel
Public xlApli As Excel.Application
Public xlLibro As Excel.Workbook
Public xlHoja As Excel.Worksheet

Private Sub cboPuerto_Click()
'se determina el puerto COMx según la caja de lista
  If MSComm1.PortOpen = True Then
    MSComm1.PortOpen = False
    MSComm1.CommPort = cboPuerto.ListIndex + 1
    MSComm1.PortOpen = True
  Else
    MSComm1.CommPort = cboPuerto.ListIndex + 1
  End If
End Sub

Private Sub cmdSalir_Click()
  If MSComm1.PortOpen = True Then MSComm1.PortOpen = False
  'graba, cierra libro y abandona objetos
  xlHoja.SaveAs "D:\Captura2002\250902.xls"
  xlLibro.Close
  xlApli.Quit
```

```

        Set xlApli = Nothing
        Set xlLibro = Nothing
        Set xlHoja = Nothing
    Unload Me 'abandona aplicación
End Sub

```

```

Private Sub chkConectar_Click()
    'si está pulsado el botón CONECTAR
    'habilitar la función de COMUNICACIONES RS-232
    If chkConectar.Value = 1 Then
        MSComm1.PortOpen = True
        lblEstado.ForeColor = amarillo
        lblEstado.Caption = "Conectando"
        'Asigna referencia de objeto
        Set xlApli = Excel.Application
        Set xlLibro = xlApli.Workbooks.Add
        Set xlHoja = xlLibro.Worksheets.Add
        'asigna rótulos de la lista de datos
        xlHoja.Cells(1, 1).Value = "HORA"
        xlHoja.Cells(1, 2).Value = "RADIACIÓN"
        xlHoja.Cells(1, 3).Value = "T° LM335"
        xlHoja.Cells(1, 4).Value = "T° Therm"
        xlHoja.Cells(1, 5).Value = "Anemómetro"
        'habilita los temporizadores
        Timer1.Enabled = True
    Else
        'Esta desconectado la comunicación
        MSComm1.PortOpen = False
        lblEstado.ForeColor = amarillo
        lblEstado.Caption = "No conectado"
        Timer1.Enabled = False
        DoEvents
    End If
End Sub

```

```

Private Sub Form_Load()
    lblEstado.ForeColor = amarillo
    lblEstado.Caption = "No conectado"
    Timer1.Enabled = False
    cboPuerto.ListIndex = 0 'por defecto COM1
    k1 = 2                    'para llenar datos a partir de la segunda fila
    k2 = 2
End Sub

```

```

Private Sub MSComm1_OnComm()
    Select Case MSComm1.CommEvent
        ' Controlar cada evento o error escribiendo
    End Select

```

```

' código en cada instrucción Case
' Errores
  Case comBreak           ' Se ha recibido una interrupción.
  Case comEventCDTO       ' Tiempo de espera CD (RLSD).
  Case comEventCTSTO      ' Tiempo de espera CTS.
  Case comEventDSRTO      ' Tiempo de espera DSR.
  Case comEventFrame      ' Error de trama
  Case comEventOverrun    ' Datos perdidos.
  Case comEventRxOver     ' Desbordamiento del búfer de recepción.
  Case comEventRxParity   ' Error de paridad.
  Case comEventTxFull     ' Búfer de transmisión lleno.
  Case comEventDCB        ' Error inesperado al recibir DCB]
' Eventos
  Case comEvCD            ' Cambio en la línea CD.
  Case comEvCTS          ' Cambio en la línea CTS.
  Case comEvDSR          ' Cambio en la línea DSR.
  Case comEvRing         ' Cambio en el indicador de llamadas.
  Case comEvReceive      ' Recibido nº RThreshold de caracteres.

cadena = cadena & MSComm1.Input
  If Asc(Right(cadena, 1)) = 10 Then 'si es CRM1 (10)
    PresentaDatos1
    cadena = ""
  ElseIf Asc(Right(cadena, 1)) = 13 Then 'si es CRM2 (13)
    PresentaDatos2
    cadena = ""
  End If

  Case comEvSend          ' Hay un número SThreshold de caracteres
                        ' en el búfer de transmisión.
  Case comEvEOF           ' Se ha encontrado un carácter
                        ' EOF en la entrada

End Select
End Sub

Private Sub PresentaDatos1()
  cadena = Trim(cadena)
  'si está completa la cadena
  If Len(cadena) < 7 Then Exit Sub
  Timer1.Enabled = False
  'separa dato de radiación solar
  radia = Mid(cadena, 1, 6) & " "
  'envia a la hoja de cálculo
  xlHoja.Cells(k1, 2).Value = radia
  k1 = k1 + 1

  lblEstado.ForeColor = verde

```

```
lblEstado.Caption = "Transmisión en curso"

Timer1.Enabled = True
DoEvents
End Sub

Private Sub PresentaDatos2()
    cadena = Trim(cadena)
    'si está completa la cadena
    If Len(cadena) < 19 Then Exit Sub
    Timer1.Enabled = False
    'separa dato de temperaturas y velocidad de viento
    lm335 = Mid(cadena, 1, 6) & " "
    thermo = Mid(cadena, 7, 6) & " "
    anemom = Mid(cadena, 13, 6) & " "
    xlHoja.Cells(k1, 3).Value = lm335
    xlHoja.Cells(k1, 4).Value = thermo
    xlHoja.Cells(k1, 5).Value = anemom
    k2 = k2 + 1

    lblEstado.ForeColor = verde
    lblEstado.Caption = "Transmisión en curso"

    Timer1.Enabled = True
    DoEvents
End Sub

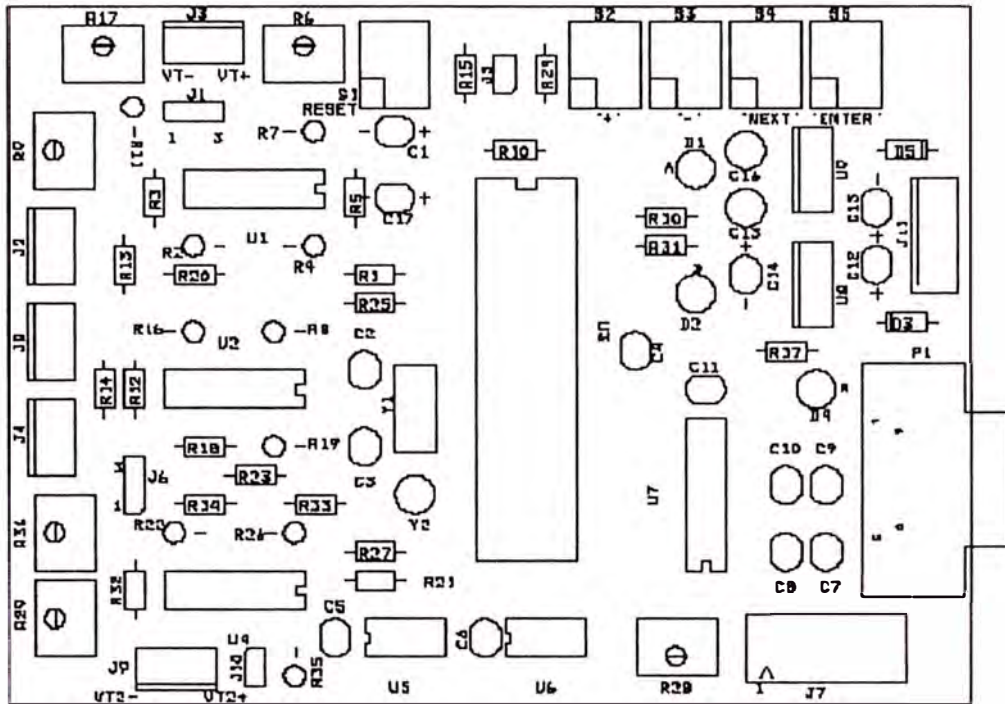
Private Sub Timer1_Timer()
    'se ejecuta siempre que no exista comunicación RS232
    Beep
    lblEstado.ForeColor = rojo
    lblEstado.Caption = "No Recibe"
End Sub
```

## **ANEXO B**

### **DIAGRAMAS DEL CIRCUITO IMPRESO DEL SISTEMA PORTÁTIL**



**DIAGRAMA DE DISTRIBUCIÓN DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS  
EN EL CIRCUITO IMPRESO**



**DIAGRAMA DE CONEXIONES DE LA CARA PRINCIPAL DEL CIRCUITO  
IMPRESO**

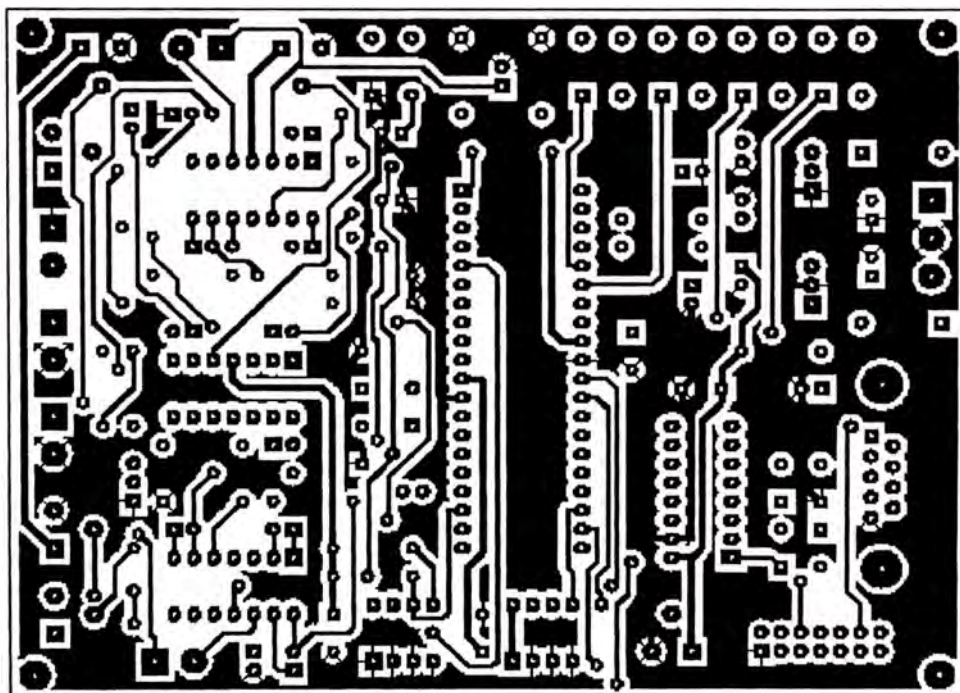
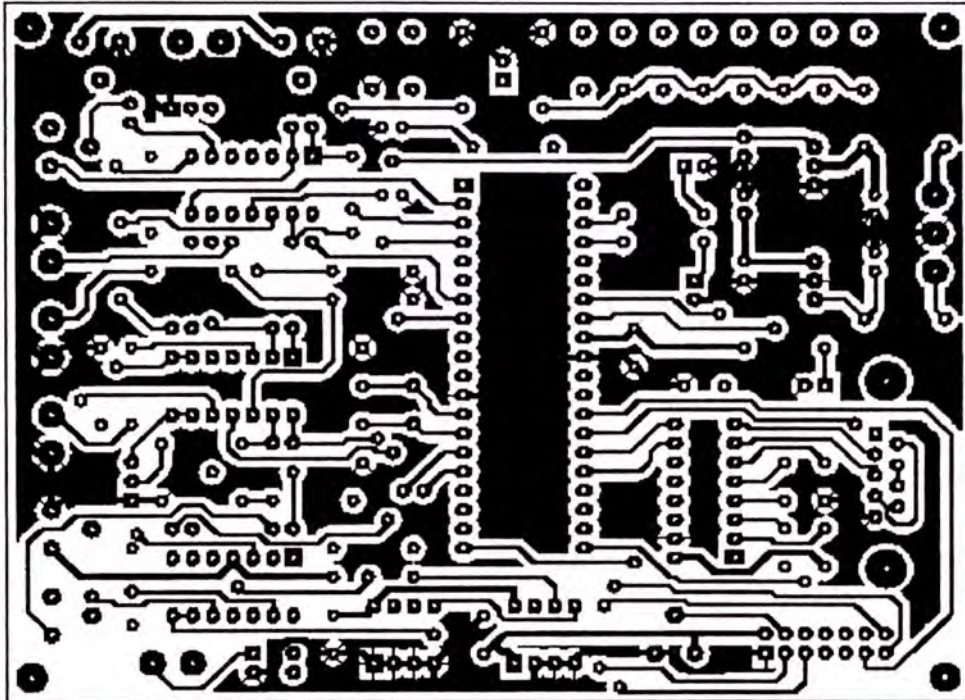


DIAGRAMA DE CONEXIONES DE LA CARA POSTERIOR DEL  
CIRCUITO IMPRESO



## **ANEXO C**

### **ANEMÓMETRO BASADO EN DIODO ZENER**

# Anemómetro mediante diodo zener

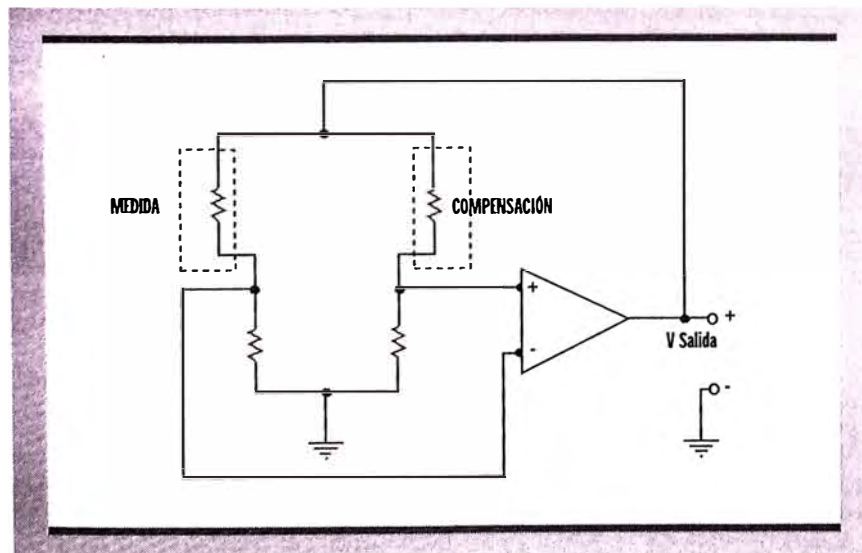
**INSTRUMENTACIÓN.** Con objeto de resolver algunos inconvenientes que presentan los diseños térmicos como son: elevada constante de tiempo de respuesta, acusada alinealidad y baja sensibilidad, se propone un nuevo diseño que utiliza un diodo zener de pequeña potencia (400 mW) como elemento sensor.

**MIGUEL DE LA FUENTE RUZ Y JUAN MANUEL CANO MARTÍNEZ,**  
 DPTO. ELECTRÓNICA, ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR, UNIVERSIDAD DE JAÉN  
 E-mail: mfuentc@tripas.ujacn.es

Entre los diversos métodos de medida de la velocidad del viento cabe destacar, por su simplicidad, los que basan su funcionamiento en la relación que existe en la potencia calorífica transferida entre un hilo (filamento) calentado y su entorno. El flujo calorífico que se establece entre el hilo y la corriente de aire que lo envuelve sigue aproximadamente una ley cuadrática de modo que la potencia disipada es proporcional a la raíz cuadrada de la velocidad del viento [1].

Los anemómetros construidos bajo este principio son dispositivos muy sensibles, pequeños y de elevada velocidad de respuesta (algunos diseños son capaces de responder a microvariaciones de la velocidad de hasta 2 kHz). Los diseños más comunes de anemómetros térmicos son los de hilo caliente a temperatura constante [2]. En éstos se utiliza un puente autoequilibrado para mantener a una determinada temperatura el filamento de un hilo conductor con elevado coeficiente de temperatura positivo (Ni, Pt y aleaciones). Como se muestra en la figura 1, el hilo

Figura 1. Principio del anemómetro de temperatura constante.



se sitúa en uno de los brazos del puente Wheatstone polarizado con la salida del amplificador de potencia. El puente se mantiene en equilibrio a una determinada temperatura del hilo. Si varía la disipación en el hilo, como consecuencia de una variación de la velocidad del viento que lo circunda, éste modificará su resistencia, lo que provocará una variación en la salida del amplificador que tratará de compensar esta modificación hasta restaurar nuevamente el equilibrio del puente. El incremento de tensión de salida se relaciona de manera no lineal con el incremento de velocidad del viento.

En aplicaciones de bajo coste, es posible sustituir el hilo sensor por el filamento de una pequeña lámpara de incandescencia [3],[4]. Aunque la reducción del coste mediante la utilización del filamento de lámpara es muy importante, es preciso indicar que esta solución adolece de un inconveniente significativo, su extrema fragilidad. Esta fragilidad hace que solo en situaciones muy específicas y controladas pueda ser empleado con garantía.

Para solventar el problema de la fragilidad se han propuesto y utilizado diferentes dispositivos que lo resuelven de manera eficiente. En [5] se presenta un diseño que utiliza un transistor como elemento sensor.

## ANEMÓMETRO BASADO EN DIODO ZENER

Con objeto de resolver algunos inconvenientes que presentan los diseños comentados, como son: elevada constante de tiempo de respuesta, acusada alinealidad y baja sensibilidad, se propone un nuevo diseño que utiliza un diodo zener de pequeña potencia (400 mW) como elemento sensor.

El empleo de un zener como sensor resulta atractivo por los siguientes motivos:

- a) Presenta un elevado coeficiente de tempera-

## TEST DE CIRCUITOS.

tura en su tensión zener. Para diodos zener de tensión nominal  $>5,6$  V, éste suele ser positivo y tanto más elevado cuanto mayor es la tensión zener. Así, para el zener BZX55C12 (12 V), su coeficiente de temperatura vale  $S_z=8,4$  mV/K manteniéndose estable entre 25 y 150°C.

b) Pequeño tamaño que permite su calentamiento a una temperatura elevada con una potencia reducida  $<1$  W. Además debido a su pequeña masa su tiempo de respuesta es pequeño ( $<1$  s).

c) Robusto, tanto a nivel mecánico como eléctrico. El zener es capaz de absorber picos altos de corriente sin deterioro y puede trabajar de manera continua con una disipación elevada.

d) Bajo coste y fácil reemplazo.

## Se propone un nuevo diseño que utiliza un diodo zener de pequeña potencia como elemento sensor

El circuito propuesto para la medida aparece en la figura 2. El puente formado por los dos diodos zener junto a las resistencias de 0,5 ohmios se alimenta con una tensión constante a través del regulador L200, esta tensión  $V_{ref}$  obliga a circular por los diodos corrientes similares que hace que estabilicen su temperatura a valores comprendidos entre 90 y 100°C (ajustable mediante el potenciómetro R11). Las variaciones de temperatura ambiente, y por tanto de disipación en los diodos, se autocancelan gracias a la característica diferencial del puente. Cuando el diodo sensor se sitúa en una corriente de aire, aumenta su disipación y por tanto tiende a disminuir su temperatura. Esta disminución de temperatura  $T$  provoca una disminución  $V_z=S_z \cdot T$  de su tensión zener, lo que da lugar a un aumento de la corriente por dicha rama. Este incremento de corriente hace que la potencia disipada por el zener aumente y se restablezca su temperatura,



## TEST DE CIRCUITOS.

a la vez, esta corriente adicional proporcional a la nueva disipación provoca un desequilibrio del puente. El incremento de potencia disipada  $P=V_{ref} * I$  es aproximadamente proporcional a la raíz cuadrada de la velocidad del viento. El amplificador diferencial construido mediante un LM324 es suficientemente preciso para la aplicación en cuestión. Diseños donde se necesite una mayor precisión pueden hacer uso de amplificadores de instrumentación integrados (tipo INA 114 o similares).

En cuanto al convertidor de tensión ICL7660, se utiliza para conseguir una tensión negativa suficiente para la referencia de tensión y del LM324. Esta tensión negativa permitirá que la desviación (positiva o negativa) de los diodos zener (de compensación y de medida) pueda ser cancelada mediante el ajuste del potenció-

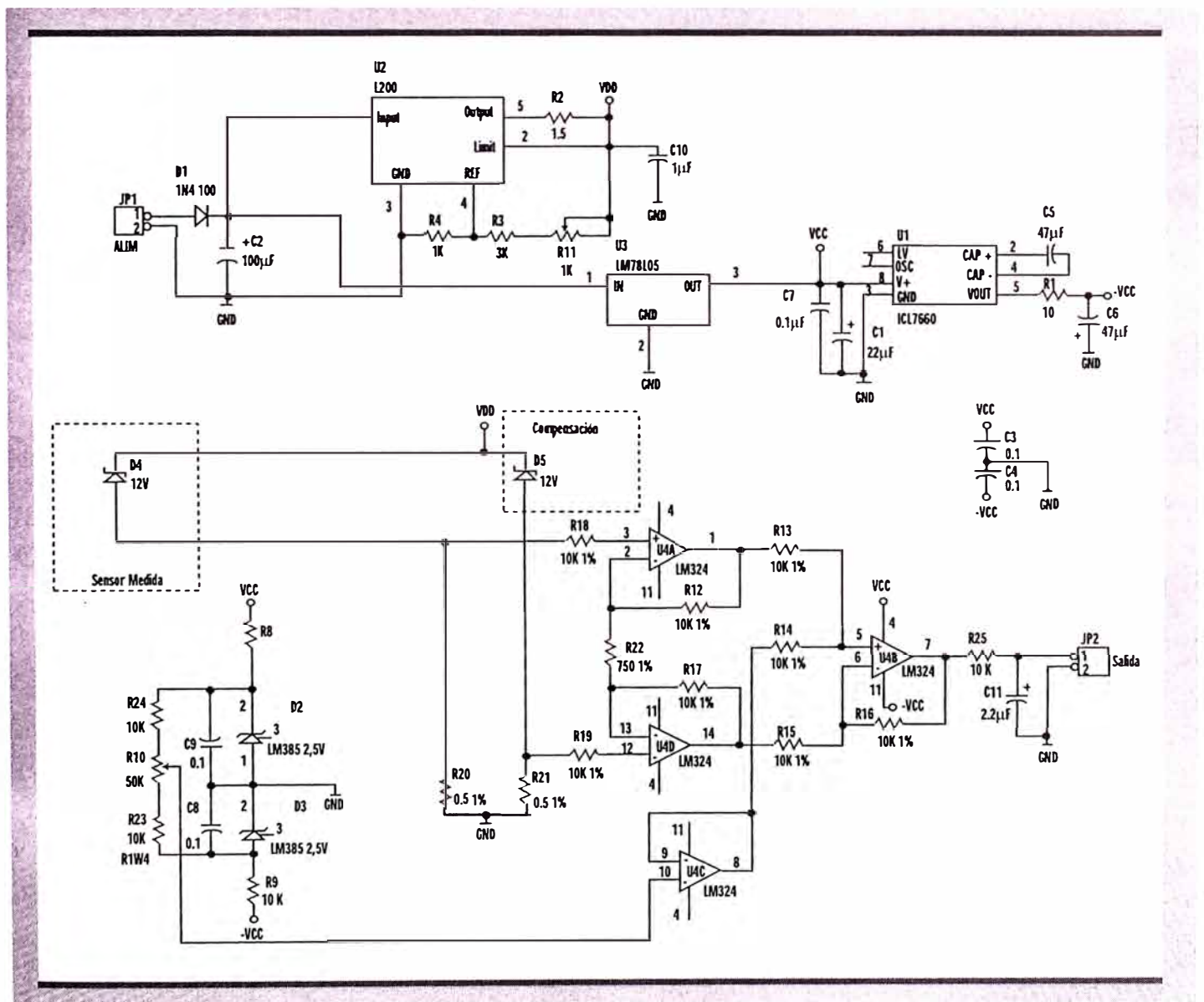
metro R10 que, fijará el cero a la salida atendiendo a las condiciones de disipación.

En "<http://www.voltio.ujacn.es/mfuente.htm>" se puede encontrar los planos del circuito impreso, así como un software bajo Windows que realiza un registro multicanal de la velocidad del viento.

## REFERENCIAS

- [1] Flometrics. Mathematical model of hot wire anemometer. Flometrics 1991.
- [2] Norton, Harry N. Sensores y analizadores. Editorial Gustavo Gili. 1984
- [3] Sheingold, Daniel H. Transducer Interfacing Handbook. Analog Devices 1980
- [4] Williams, James. Thermal techniques in measurement and control circuitry. Application note 5. Linear Technology. 1984
- [5] Woodward, Stephen. Self-heated transistor digitizes airflow. EDN Magazine. Design Ideas Marzo 1996. ME

Figura 2. Esquema del anemómetro basado en diodo zener.



**ANEXO D**

**HOJAS DE DATOS DE LOS COMPONENTES ELECTRÓNICOS**

**ANEXO D1**

**HOJA DE DATOS DEL SENSOR DE TEMPERATURA LM-335**

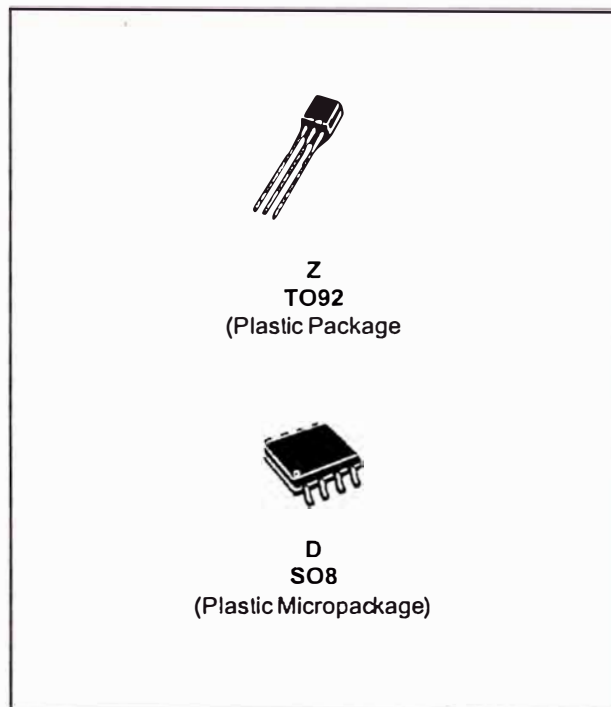


## PRECISION TEMPERATURE SENSORS

- DIRECTLY CALIBRATED IN °K
- 1°C INITIAL ACCURACY
- OPERATES FROM 450µA TO 5mA
- LESS THAN 1Ω DYNAMIC IMPEDANCE

### DESCRIPTION

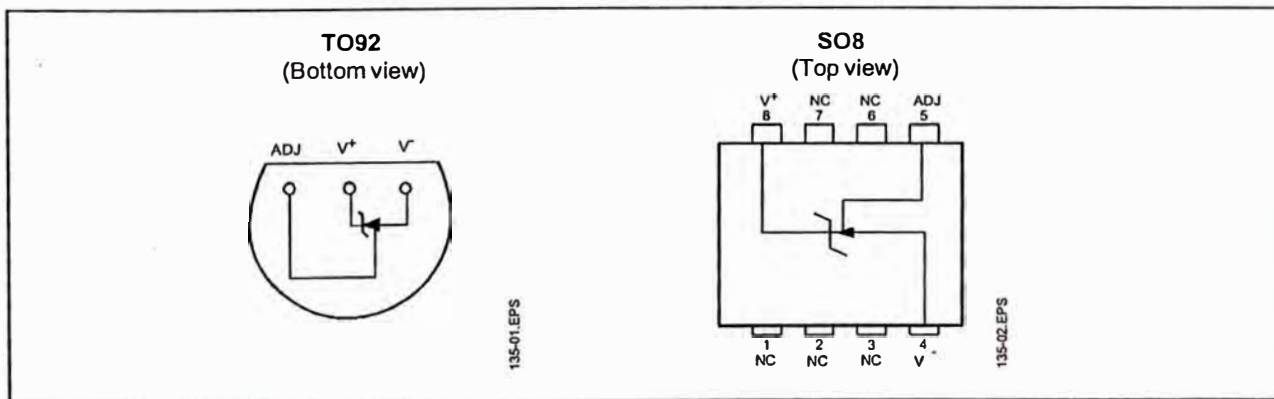
The LM135, LM235, LM335 are precision temperature sensors which can be easily calibrated. They operate as a 2-terminal Zener and the breakdown voltage is directly proportional to the absolute temperature at 10mV/°K. The circuit has a dynamic impedance of less than 1Ω and operates within a range of current from 450µA to 5mA without alteration of its characteristics. Calibrated at +25°C, the LM135, LM235, LM335 have a typical error of less than 1°C over a 100°C temperature range. Unlike other sensors, the LM135, LM235, LM335 have a linear output.



### ORDER CODES

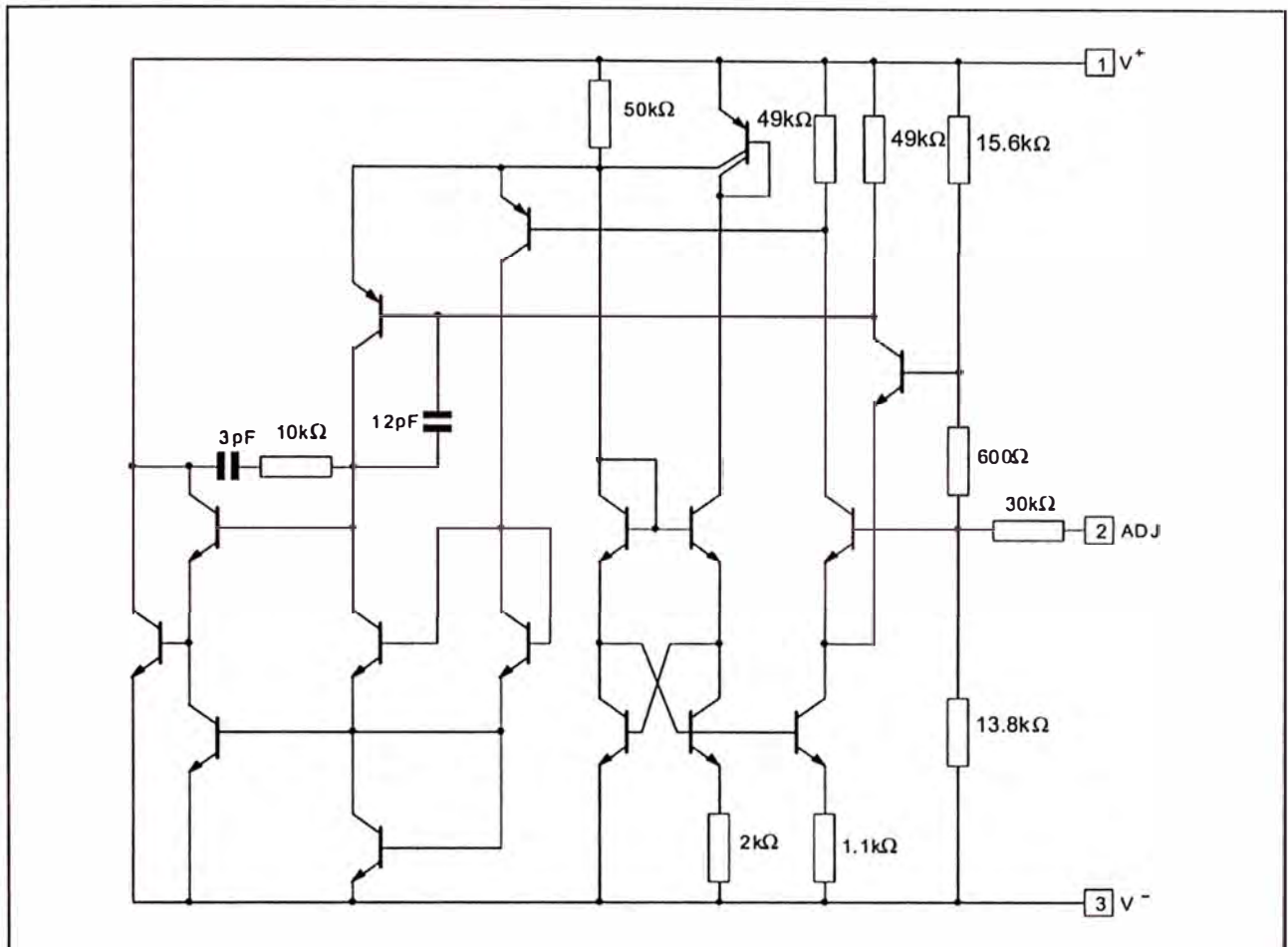
Part number	Temperature Range	Package	
		Z	D
LM135	-55°C, +150°C	•	•
LM235	-40°C, +125°C	•	•
LM335,A	-40°C, +100°C	•	•

### PIN CONNECTIONS



# LM135-LM235-LM335,A

## SCHEMATIC DIAGRAM



## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	LM135	LM235	LM335,A	Unit
$I_R$ $I_F$	Current Reverse Forward	15 10	15 10	15 10	mA
$T_{oper}$	Operating Free-air Temperature Range - (note 1) Continuous Intermittent	-55 to +150 +150 to +200	-40 to +125 +125 to +150	-40 to +100 +100 to +125	°C
$T_{stg}$	Storage Temperature Range	-65 to +150	-65 to +150	-65 to +150	°C

Note : 1.  $T_j \leq 150^\circ\text{C}$

TEMPERATURE ACCURACY

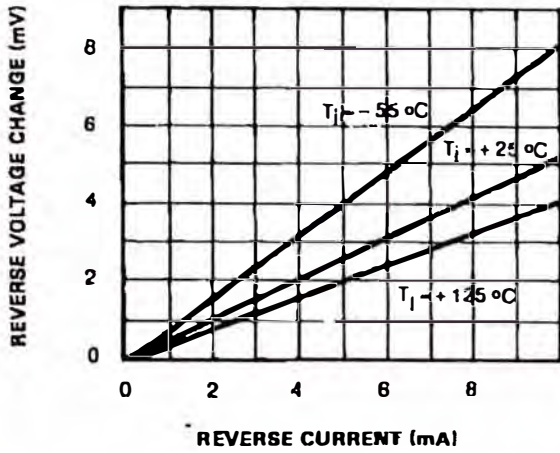
Parameter	LM135 - LM235 LM335A			LM335			Unit
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Operating Output Voltage $T_{case} = +25^{\circ}C, I_R = 1mA$	2.95	2.98	3.01	2.92	2.98	3.04	V
Uncalibrated Temperature Error ( $I_R = 1mA$ ) $T_{case} = +25^{\circ}C$ $T_{min.} \leq T_{case} \leq T_{max.}$		1 2	3 5		2 4	6 9	$^{\circ}C$
Temperature Error with $25^{\circ}C$ Calibration $T_{min.} \leq T_{case} \leq T_{max.}, I_R = 1mA$							$^{\circ}C$
Calibrated Error at Extended Temperature $T_{case} = T_{max.}$ (intermittent)		2			2		$^{\circ}C$
Non-linearity ( $I_R = 1mA$ )							$^{\circ}C$
	LM135 - LM235	0.3	1				
	LM335			0.3	1.5		
	LM335A	0.3	1.5				

ELECTRICAL CHARACTERISTICS - (note 1)

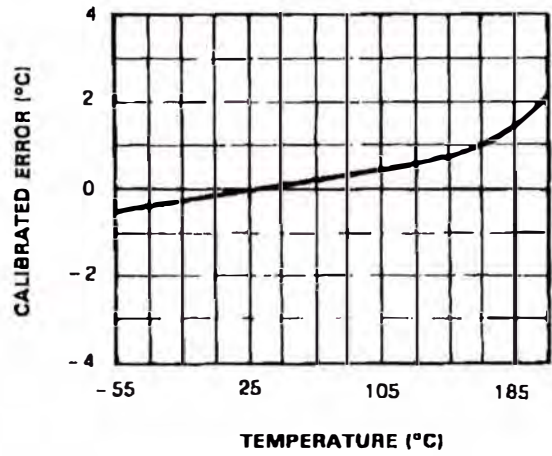
Parameter	LM135 - LM235			LM335,A			Unit
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Operating output voltage change with current $450\mu A \leq I_R \leq 5mA$ at constant temperature		2.5	10		3	14	mV
Dynamic Impedance ( $I_R = 1mA$ )		0.5			0.6		$\Omega$
Output Voltage Temperature Drift		+10			+10		mV/ $^{\circ}C$
Time Constant							s
	Still Air	80			80		
	Air 0.5m/s	10			10		
	Stirred Oil	1			1		
Time Stability ( $T_{case} = +125^{\circ}C$ )		0.2			0.2		$^{\circ}C/kh$

Note : 1. Accuracy measurements are made in a well-stirred oil bath. For other conditions, self heating must be considered.

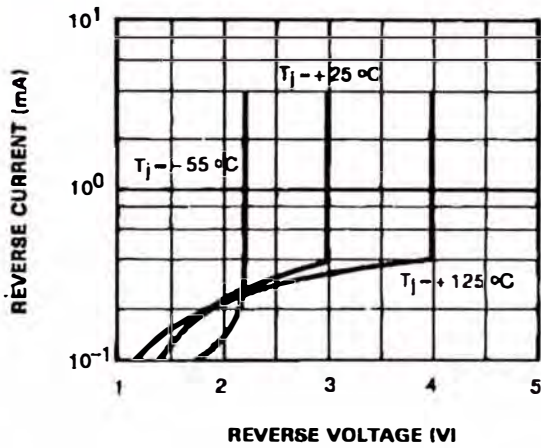
REVERSE VOLTAGE CHANGE



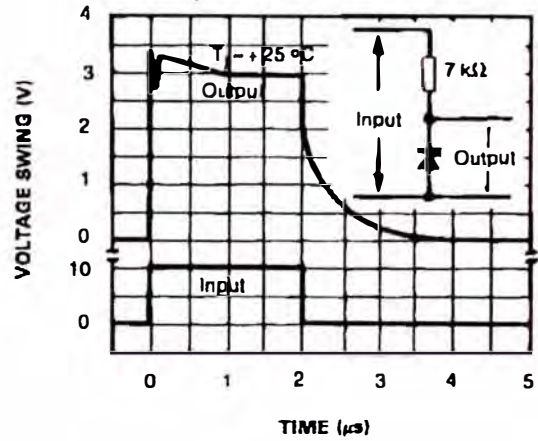
CALIBRATED ERROR



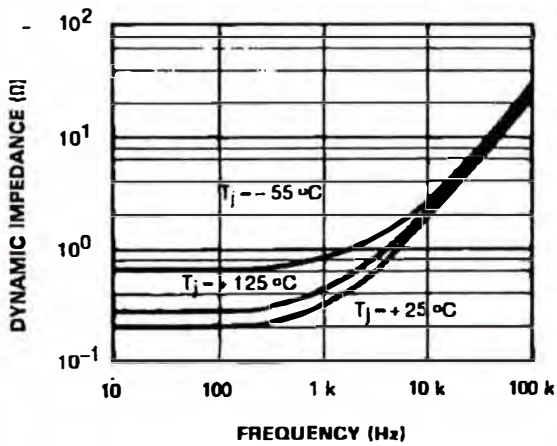
REVERSE CHARACTERISTICS



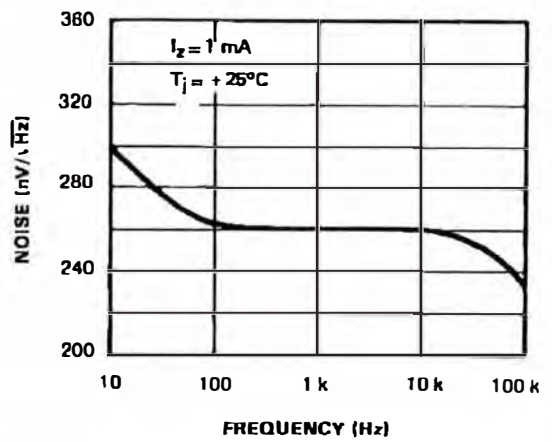
RESPONSE TIME



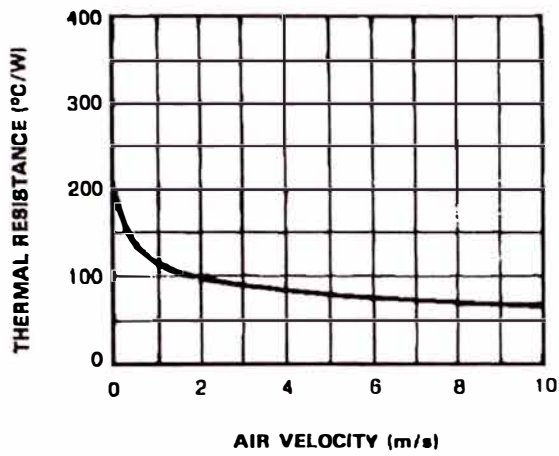
DYNAMIC IMPEDANCE



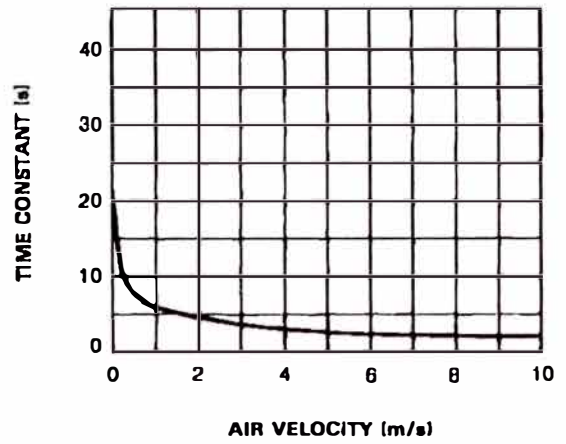
NOISE VOLTAGE



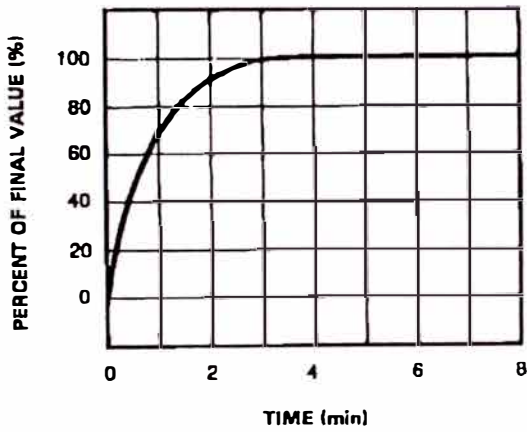
THERMAL RESISTANCE JUNCTION TO AIR



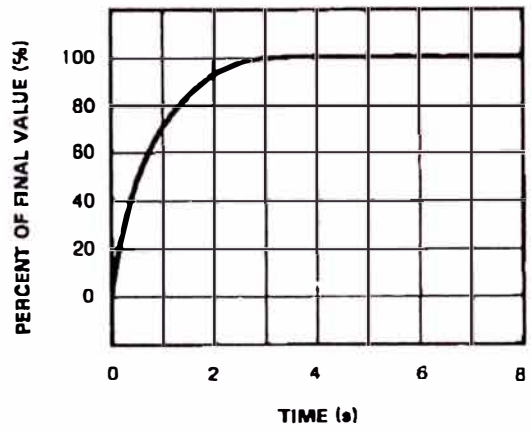
THERMAL TIME CONSTANT



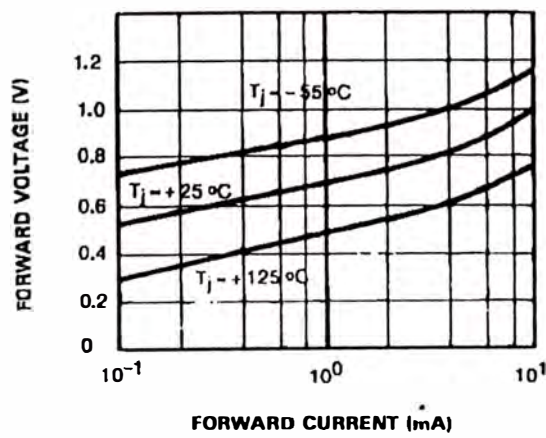
THERMAL RESPONSE IN STILL AIR



THERMAL RESPONSE IN STIRRED OIL BATH



FORWARD CHARACTERISTICS



# LM135-LM235-LM335,A

## APPLICATION HINTS

There is an easy method of calibrating the device for higher accuracies (see typical applications).

The single point calibration works because the output of the LM135, LM235, LM335 is proportional to the absolute temperature with the extrapolated output of sensor going to 0V at 0°K (-273.15°C). Errors in output voltage versus temperature are only slope. Thus a calibration of the slope at one temperature corrects errors at all temperatures.

The output of the circuit (calibrated or not) can be given by the equation :  $V_{OT} = V_{OT0} \times \frac{T}{T_0}$

where T is the unknown temperature and T<sub>0</sub> is the reference temperature (in °K).

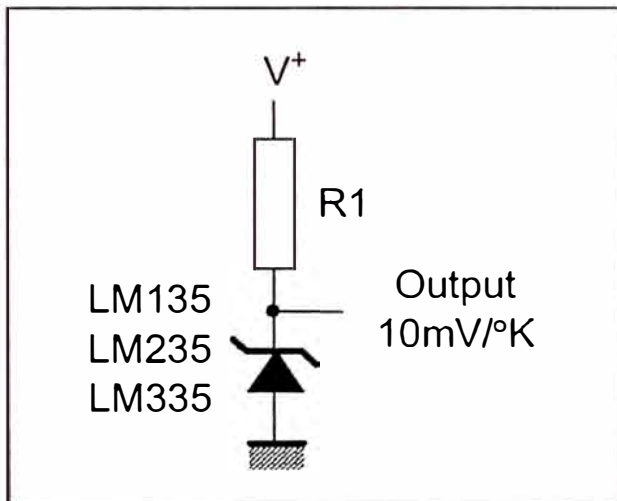
Nominally the output is calibrated at 10mV/°K.

Precautions should be taken to ensure good sensing accuracy. As in the case of all temperature sensors, self heating can decrease accuracy. The LM135, LM235, LM335 should operate with a low current, but sufficient to drive the sensor and its calibration circuit to their maximum operating temperature.

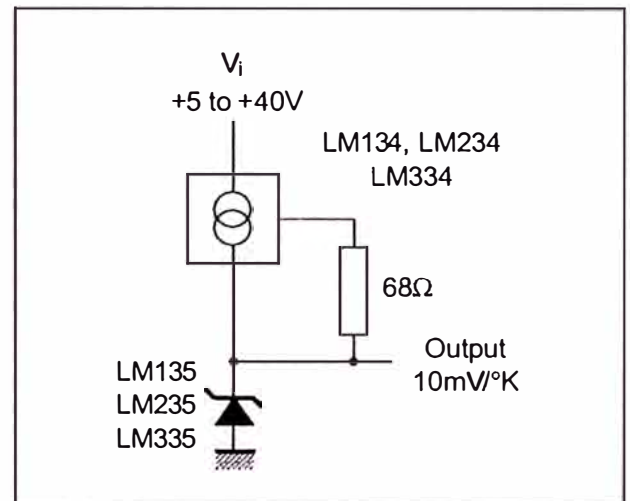
If the sensor is used in surroundings where the thermal resistance is constant, the errors due to self heating can be externally calibrated. This is possible if the circuit is biased with a temperature stable current. Heating will then be proportional to zener voltage and therefore temperature. In this way the error due to self heating is proportional to the absolute temperature as scale factor errors.

## TYPICAL APPLICATIONS

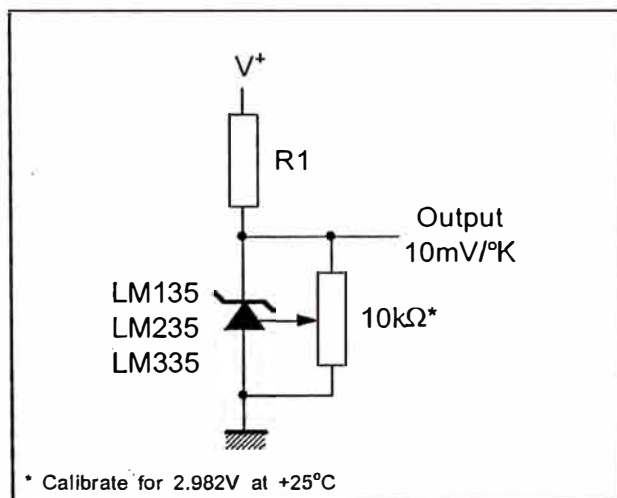
### BASIC TEMPERATURE SENSOR



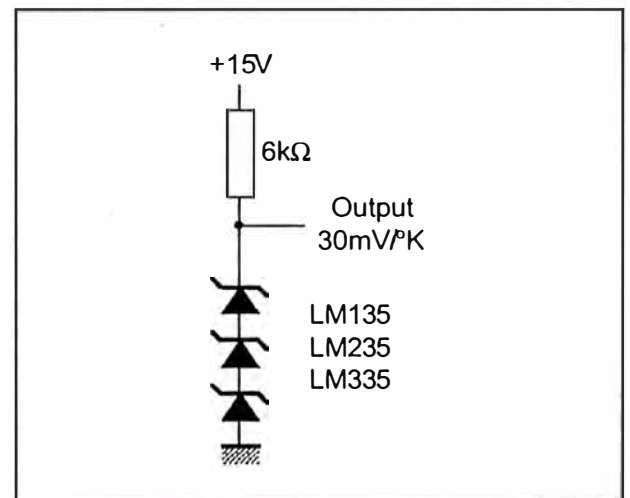
### WIDE OPERATING SUPPLY



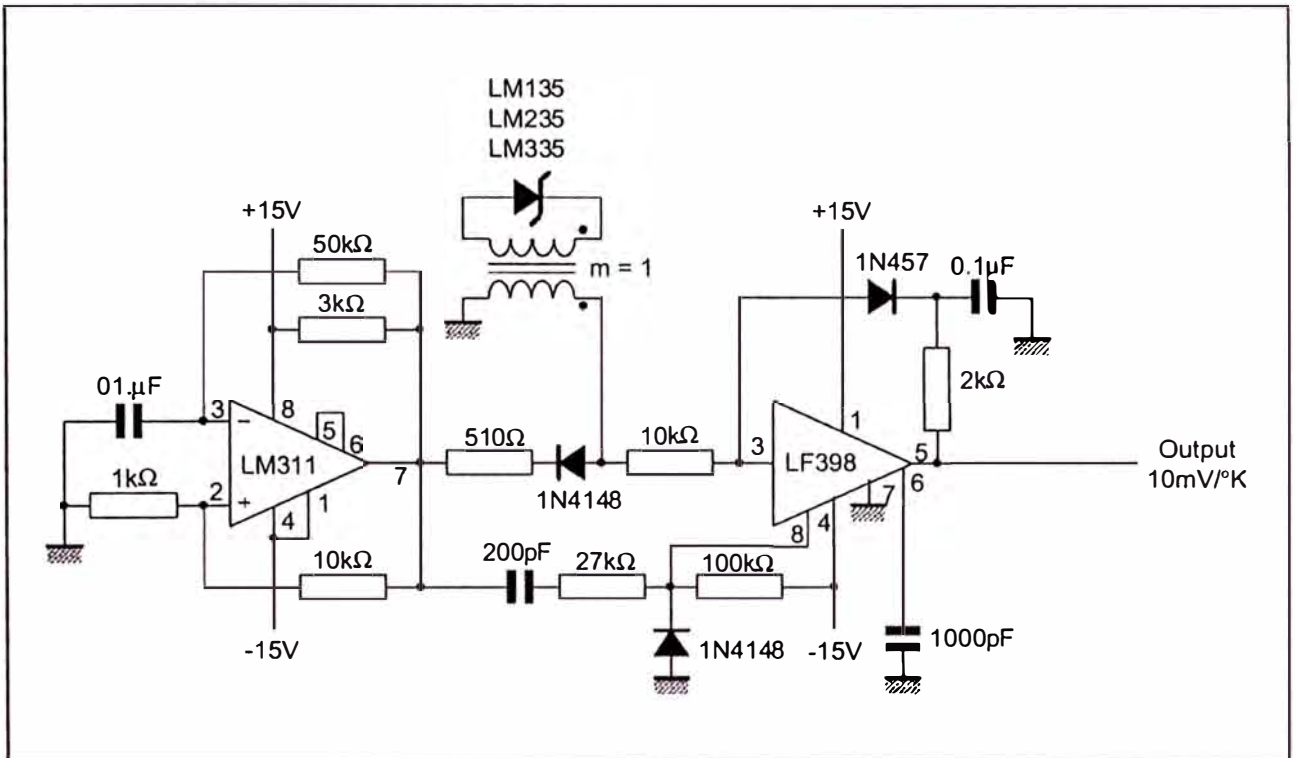
### CALIBRATED SENSOR



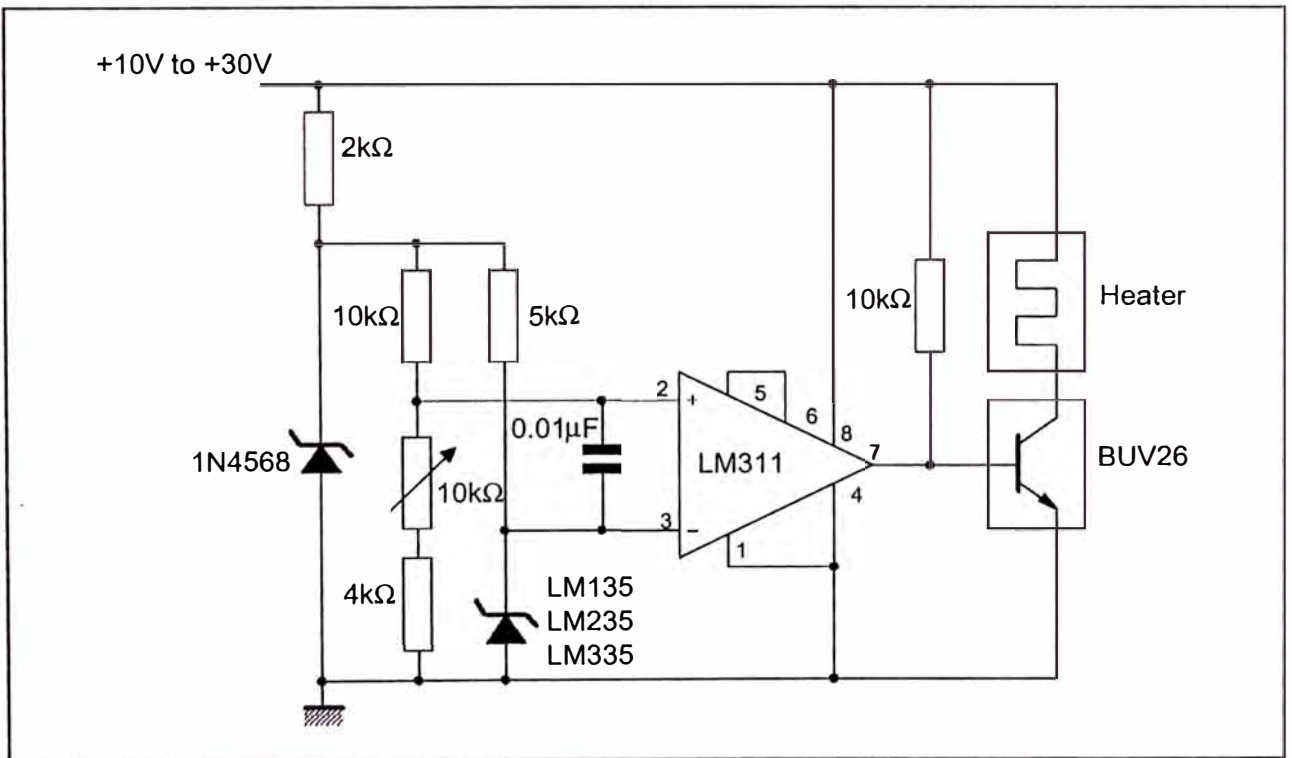
### AVERAGE TEMPERATURE SENSING



ISOLATED TEMPERATURE SENSOR

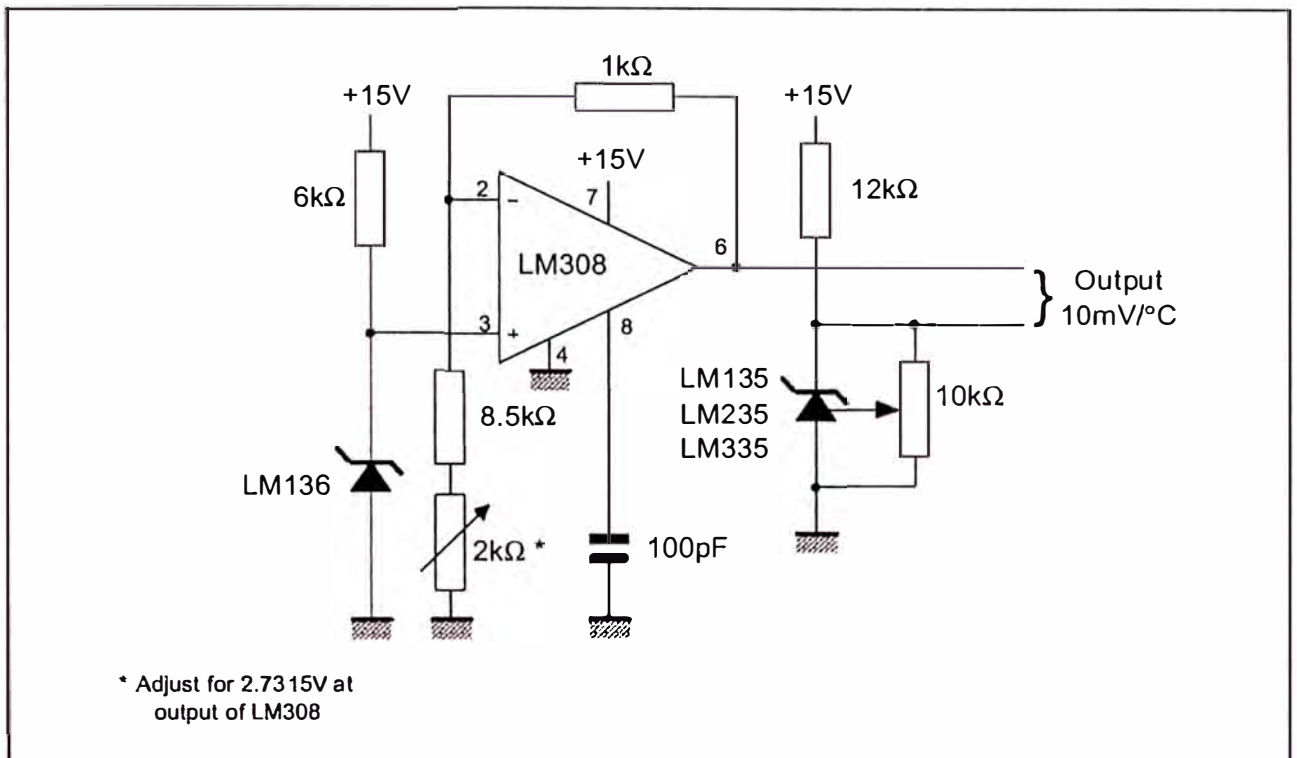


SIMPLE TEMPERATURE CONTROLLER

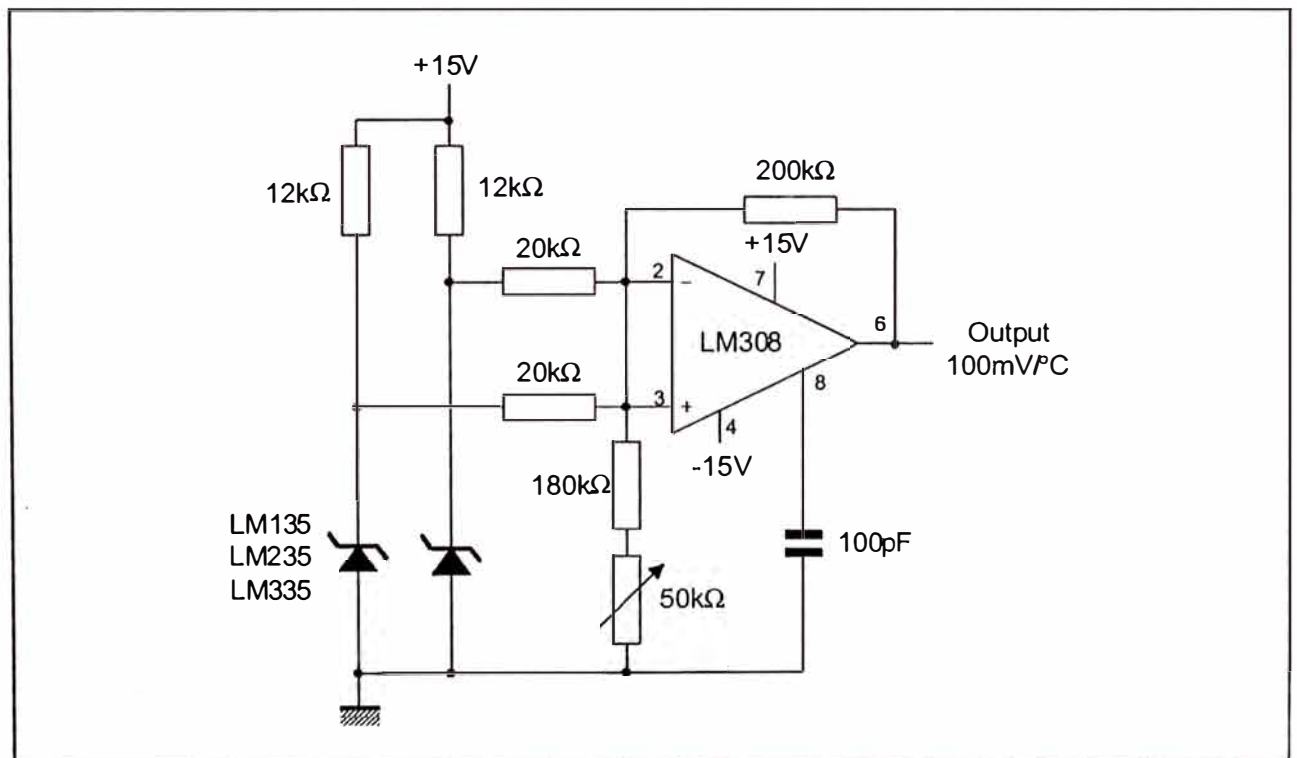


# LM135-LM235-LM335,A

## CENTIGRADE THERMOMETER



## DIFFERENTIAL TEMPERATURE SENSOR





**THERMOCOUPLE COLD JUNCTION COMPENSATION**  
(compensation for grounded thermocouple)

Thermo-couple	R3	Seebeck Coefficient
J	377Ω	52.3μV/°C
T	308Ω	42.8μV/°C
K	293Ω	40.8μV/°C
S	45.8Ω	6.4μV/°C

Adjustments : compensates for both sensor and resistor tolerances.

- Short 1N4568.
- Adjust R1 for SEEBECK coefficient times ambient temperature (in degrees K) across R3.
- Short LM135 and adjust R2 for voltage across R3 corresponding to thermocouple type.
 

J	14.32mV	K	11.17mV
T	11.79mV	S	1.768mV

\* Select R3 for proper thermocouple type

**SINGLE POWER SUPPLY COLD JUNCTION COMPENSATION**

Thermo-couple	R3	R4	Seebeck Coefficient
J	1.05kΩ	365Ω	52.3μV/°C
T	856Ω	315Ω	42.8μV/°C
K	816Ω	300Ω	40.8μV/°C
S	128Ω	46.3Ω	6.4μV/°C

Adjustments :

- Adjust R1 for the voltage across R3 equal to the SEEBECK coefficient times ambient temperature in degrees Kelvin.
- Adjust R2 for voltage across R4 corresponding to thermocouple.
 

J	14.32mV	K	11.17mV
T	11.79mV	S	1.768mV

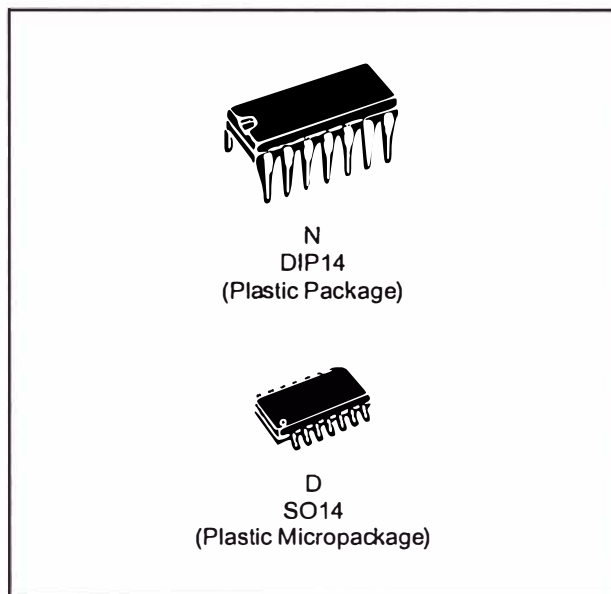
\* Select R3 and R4 for proper thermocouple

**ANEXO D2**

**HOJA DE DATOS DE CIRCUITO INTEGRADO TL074**

LOW NOISE  
QUAD J-FET OPERATIONAL AMPLIFIERS

- LOW POWER CONSUMPTION
- WIDE COMMON-MODE (UP TO  $V_{CC}^+$ ) AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGE
- LOW INPUT BIAS AND OFFSET CURRENT
- LOW NOISE  $e_n = 15nV/\sqrt{Hz}$  (typ)
- OUTPUT SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- HIGH INPUT IMPEDANCE J-FET INPUT STAGE
- LOW HARMONIC DISTORTION : 0.01% (typ)
- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- LATCH UP FREE OPERATION
- HIGH SLEW RATE :  $13V/\mu s$  (typ)



**DESCRIPTION**

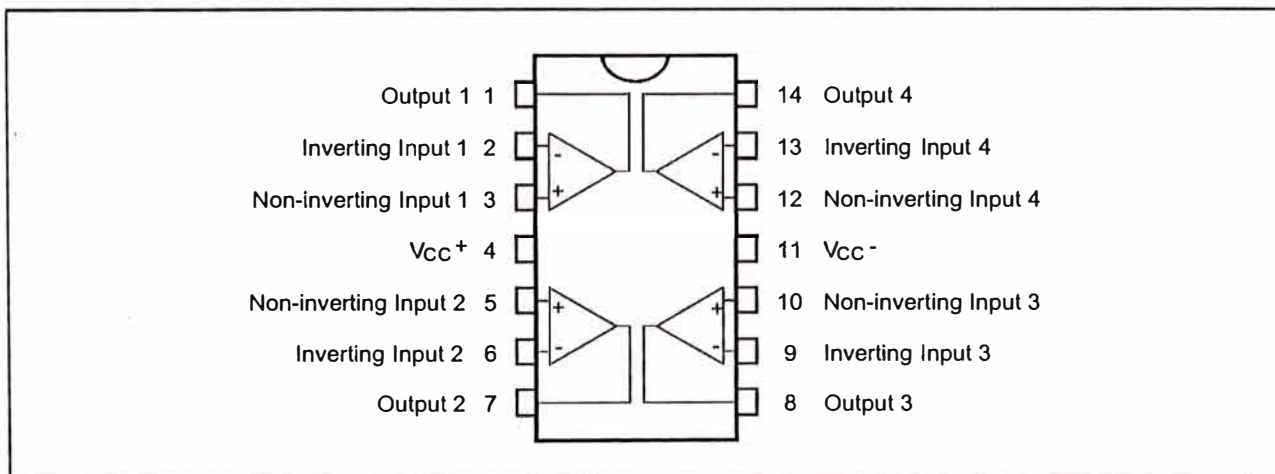
The TL074, TL074A and TL074B are high speed J-FET input quad operational amplifiers incorporating well matched, high voltage J-FET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

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

**ORDER CODES**

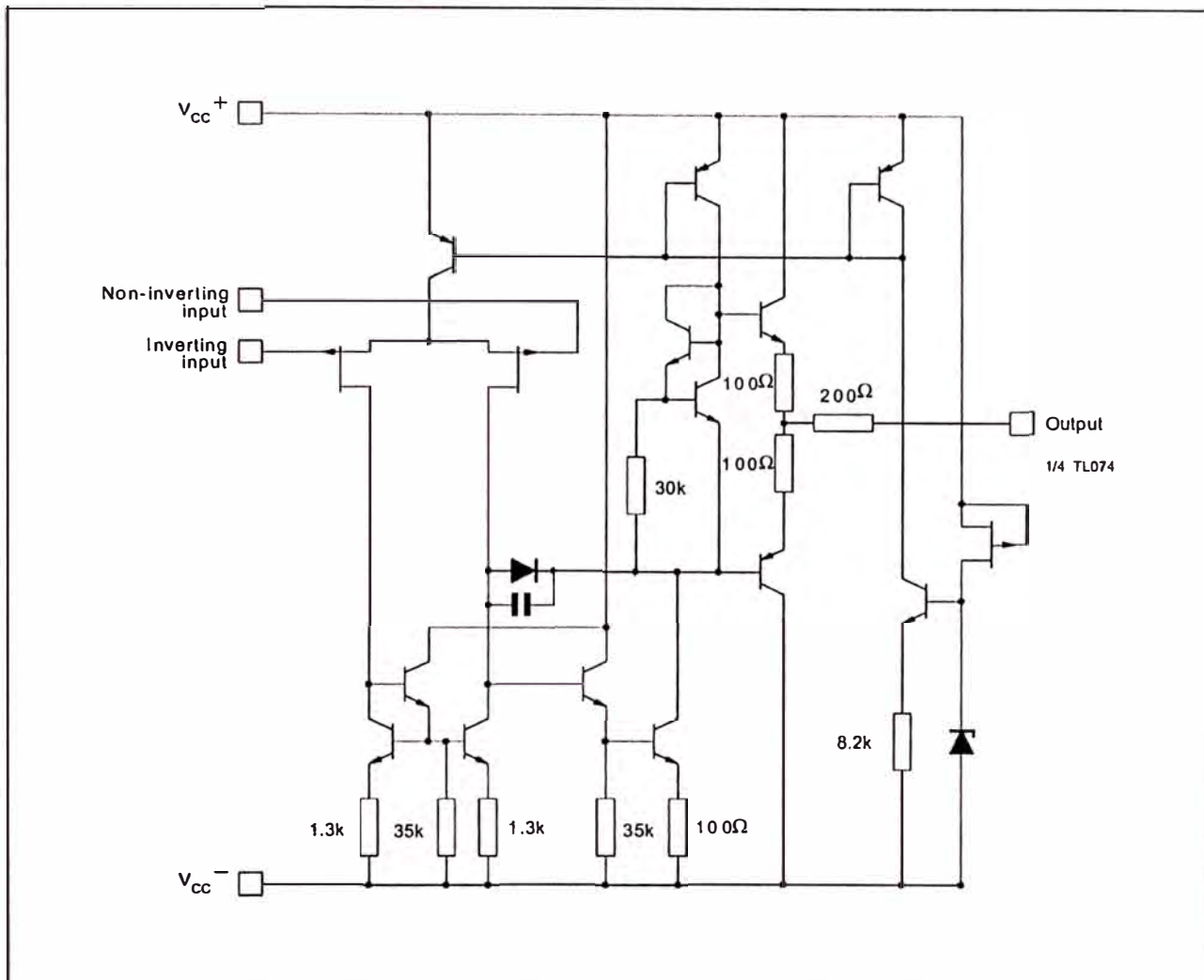
Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
TL074M/AM/BM	-55°C, +125°C	•	•
TL074I/AI/BI	-40°C, +105°C	•	•
TL074C/AC/BC	0°C, +70°C	•	•
Example : TL074IN			

**PIN CONNECTIONS (top view)**



# TL074 - TL074A - TL074B

## SCHEMATIC DIAGRAM



## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V <sub>cc</sub>	Supply Voltage - (note 1)	±18	V
V <sub>i</sub>	Input Voltage - (note 3)	±15	V
V <sub>id</sub>	Differential Input Voltage - (note 2)	±30	V
P <sub>tot</sub>	Power Dissipation	680	mW
	Output Short-circuit Duration - (note 4)	Infinite	
T <sub>oper</sub>	Operating Free Air Temperature Range	TL074C,AC,BC TL074I,AI,BI TL074M,AM,BM	0 to 70 -40 to 105 -55 to 125

- 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<sub>cc</sub><sup>+</sup> and V<sub>cc</sub><sup>-</sup>.
  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 15 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.

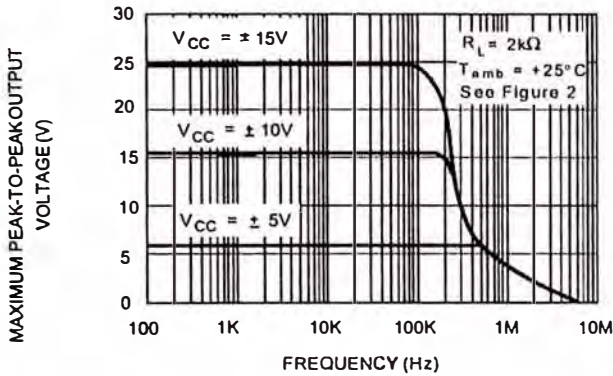
**ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

V<sub>CC</sub> = ±15V, T<sub>amb</sub> = 25°C (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	TL074I,M,AC,AI, AM,BC,BI,BM			TL074C			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
V <sub>io</sub>	Input Offset Voltage (R <sub>s</sub> = 50Ω) T <sub>amb</sub> = 25°C TL074BC,BI,BM T <sub>min.</sub> ≤ T <sub>amb</sub> ≤ T <sub>max.</sub> TL074BC,BI,BM		3 1	6 3 7 5		3	10 13	mV
DV <sub>io</sub>	Input Offset Voltage Drift		10			10		μV/°C
I <sub>io</sub>	Input Offset Current * T <sub>amb</sub> = 25°C T <sub>min.</sub> ≤ T <sub>amb</sub> ≤ T <sub>max.</sub>		5	100 4		5	100 10	pA nA
I <sub>ib</sub>	Input Bias Current * T <sub>amb</sub> = 25°C T <sub>min.</sub> ≤ T <sub>amb</sub> ≤ T <sub>max.</sub>		20	200 20		30	200 20	pA nA
A <sub>vd</sub>	Large Signal Voltage Gain (R <sub>L</sub> = 2kΩ, V <sub>O</sub> = ±10V) T <sub>amb</sub> = 25°C T <sub>min.</sub> ≤ T <sub>amb</sub> ≤ T <sub>max.</sub>	50 25	200		25 15	200		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio (R <sub>S</sub> = 50Ω) T <sub>amb</sub> = 25°C T <sub>min.</sub> ≤ T <sub>amb</sub> ≤ T <sub>max.</sub>	80 80	86		70 70	86		dB
I <sub>CC</sub>	Supply Current, per Amp, no Load T <sub>amb</sub> = 25°C T <sub>min.</sub> ≤ T <sub>amb</sub> ≤ T <sub>max.</sub>		1.4	2.5 2.5		1.4	2.5 2.5	mA
V <sub>icm</sub>	Input Common Mode Voltage Range	±11	+15 -12		±11	+15 -12		V
CMR	Common Mode Rejection Ratio (R <sub>S</sub> = 50Ω) T <sub>amb</sub> = 25°C T <sub>min.</sub> ≤ T <sub>amb</sub> ≤ T <sub>max.</sub>	80 80	86		70 70	86		dB
I <sub>OS</sub>	Output Short-circuit Current T <sub>amb</sub> = 25°C T <sub>min.</sub> ≤ T <sub>amb</sub> ≤ T <sub>max.</sub>	10 10	40	60 60	10 10	40	60 60	mA
±V <sub>OPP</sub>	Output Voltage Swing T <sub>amb</sub> = 25°C R <sub>L</sub> = 2kΩ R <sub>L</sub> = 10kΩ T <sub>min.</sub> ≤ T <sub>amb</sub> ≤ T <sub>max.</sub> R <sub>L</sub> = 2kΩ R <sub>L</sub> = 10kΩ	10 12 10 12	12 13.5		10 12 10 12	12 13.5		V
SR	Slew Rate (V <sub>in</sub> = 10V, R <sub>L</sub> = 2kΩ, C <sub>L</sub> = 100pF, T <sub>amb</sub> = 25°C, unity gain)	8	13		8	13		V/μs
t <sub>r</sub>	Rise Time (V <sub>in</sub> = 20mV, R <sub>L</sub> = 2kΩ, C <sub>L</sub> = 100pF, T <sub>amb</sub> = 25°C, unity gain)		0.1			0.1		μs
K <sub>ov</sub>	Overshoot (V <sub>in</sub> = 20mV, R <sub>L</sub> = 2kΩ, C <sub>L</sub> = 100pF, T <sub>amb</sub> = 25°C, unity gain)		10			10		%
GBP	Gain Bandwidth Product (f = 100kHz, T <sub>amb</sub> = 25°C, V <sub>in</sub> = 10mV, R <sub>L</sub> = 2kΩ, C <sub>L</sub> = 100pF)	2	3		2	3		MHz
R <sub>i</sub>	Input Resistance		10 <sup>12</sup>			10 <sup>12</sup>		Ω
THD	Total Harmonic Distortion (f = 1kHz, A <sub>v</sub> = 20dB, R <sub>L</sub> = 2kΩ, C <sub>L</sub> = 100pF, T <sub>amb</sub> = 25°C, V <sub>O</sub> = 2V <sub>PP</sub> )		0.01			0.01		%
e <sub>n</sub>	Equivalent Input Noise Voltage (f = 1kHz, R <sub>s</sub> = 100Ω)		15			15		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
∅ <sub>m</sub>	Phase Margin		45			45		Degrees
V <sub>O1</sub> /V <sub>O2</sub>	Channel Separation (A <sub>v</sub> = 100)		120			120		dB

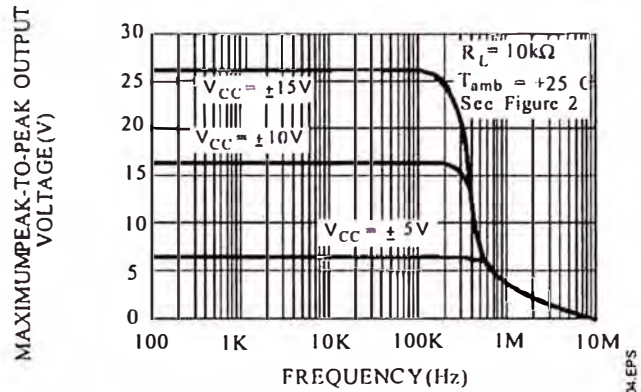
\* The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every 10°C increase in the junction temperature.

MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS FREQUENCY



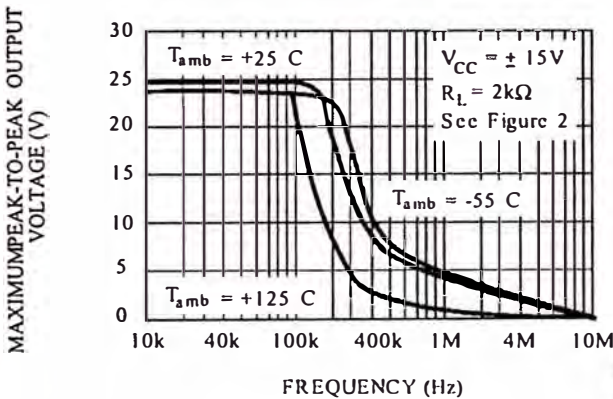
074-03.EPS

MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS FREQUENCY



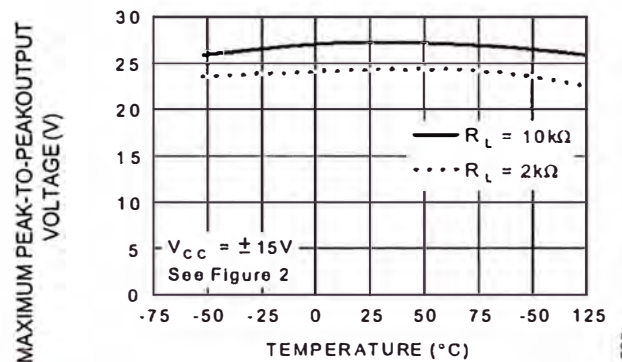
074-04.EPS

MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS FREQUENCY



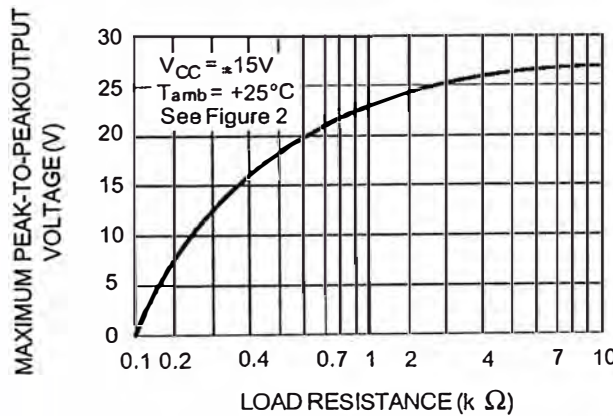
074-05.EPS

MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS FREE AIR TEMP.



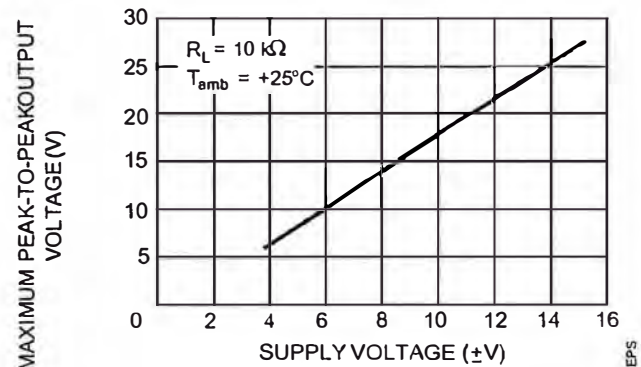
074-06.EPS

MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS LOAD RESISTANCE



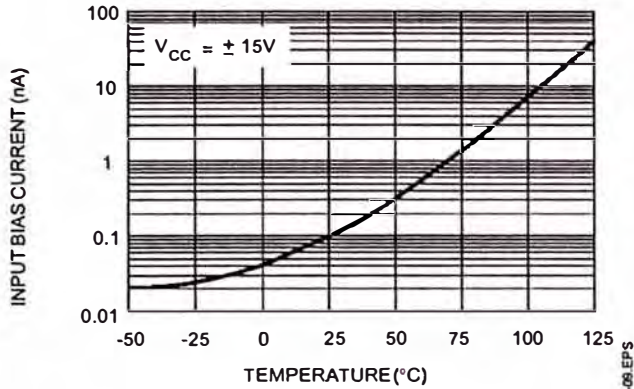
074-07.EPS

MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS SUPPLY VOLTAGE

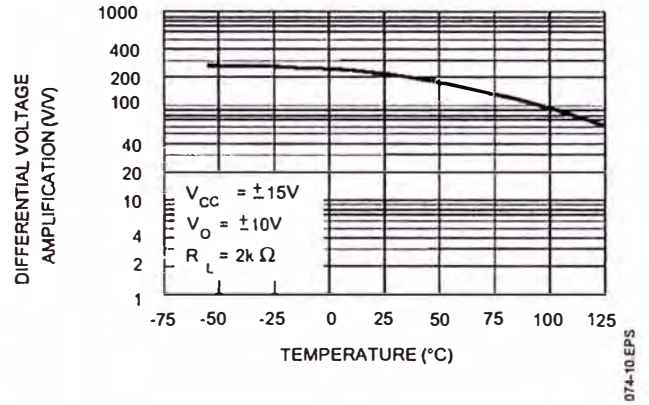


074-08.EPS

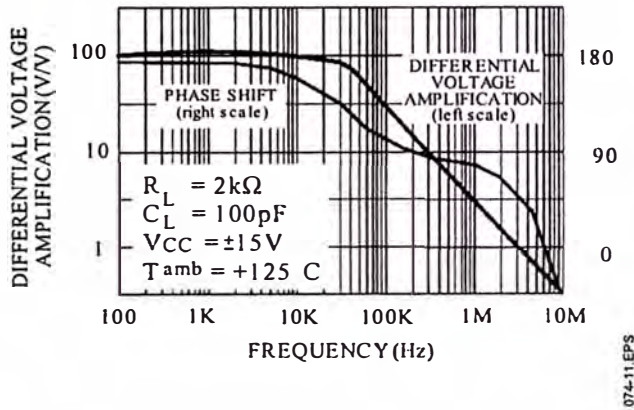
**INPUT BIAS CURRENT VERSUS FREE AIR TEMPERATURE**



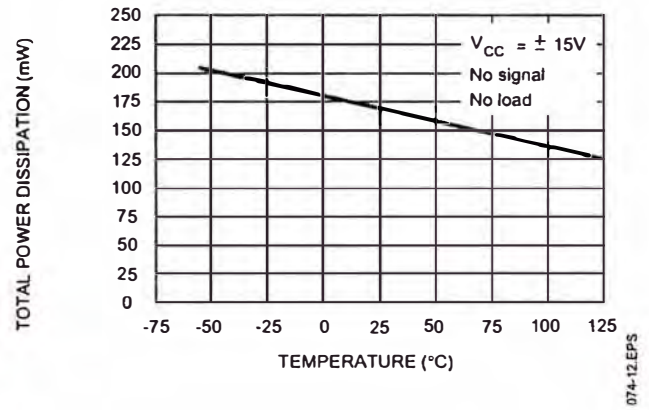
**LARGE SIGNAL DIFFERENTIAL VOLTAGE AMPLIFICATION VERSUS FREE AIR TEMPERATURE**



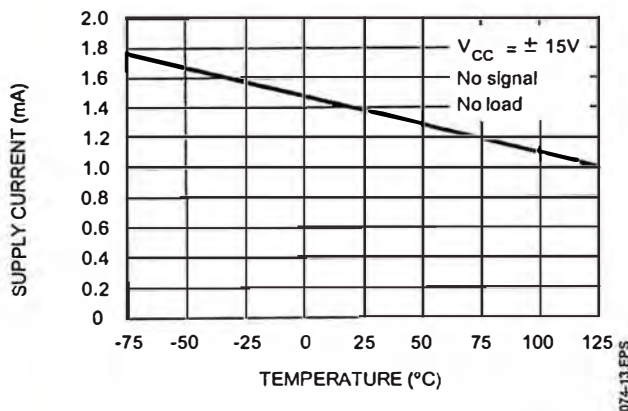
**LARGE SIGNAL DIFFERENTIAL VOLTAGE AMPLIFICATION AND PHASE SHIFT VERSUS FREQUENCY**



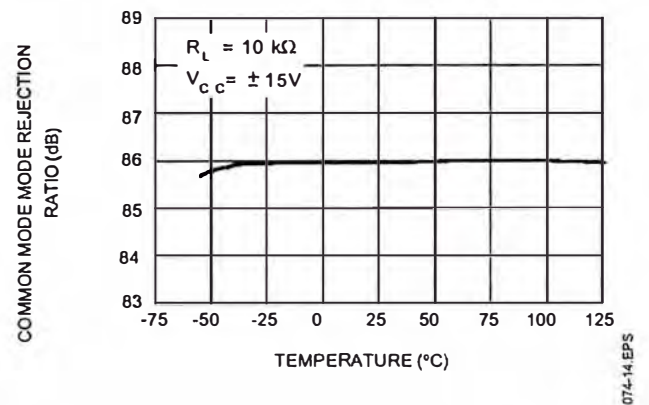
**TOTAL POWER DISSIPATION VERSUS FREE AIR TEMPERATURE**



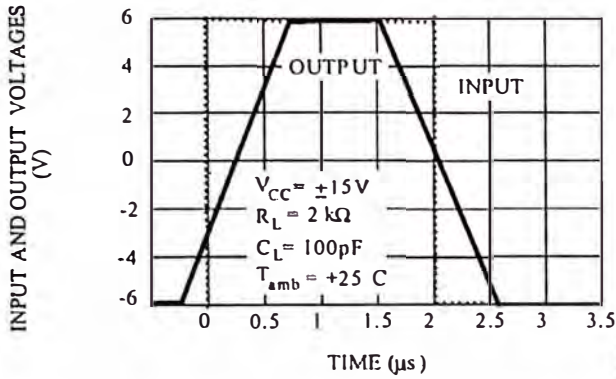
**SUPPLY CURRENT PER AMPLIFIER VERSUS FREE AIR TEMPERATURE**



**COMMON MODE REJECTION RATIO VERSUS FREE AIR TEMPERATURE**

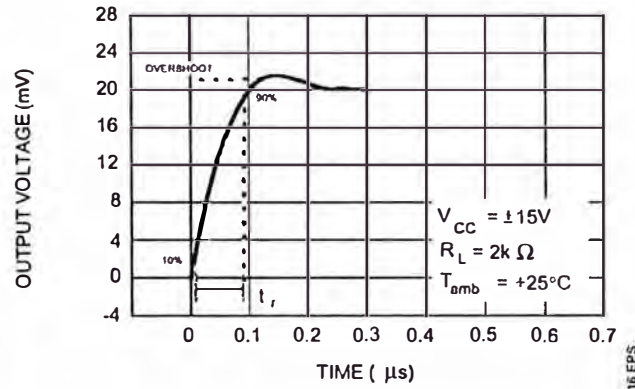


VOLTAGE FOLLOWER LARGE SIGNAL PULSE RESPONSE



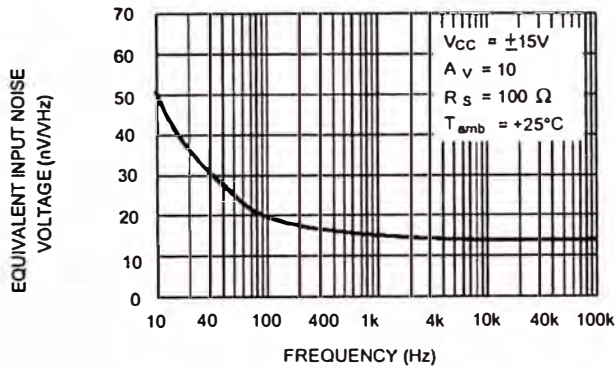
074-15.EPS

OUTPUT VOLTAGE VERSUS ELAPSED TIME



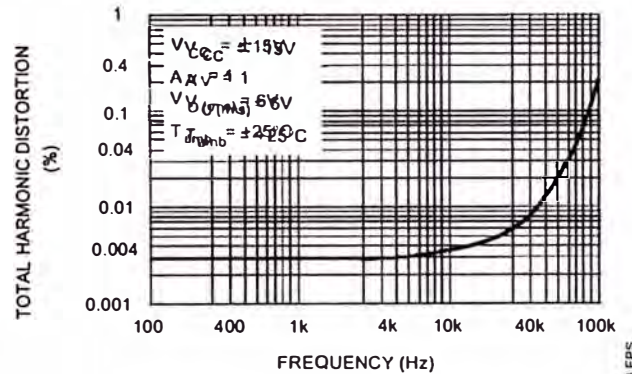
074-16.EPS

EQUIVALENT INPUT NOISE VOLTAGE VERSUS FREQUENCY



074-17.EPS

TOTAL HARMONIC DISTORTION VERSUS FREQUENCY

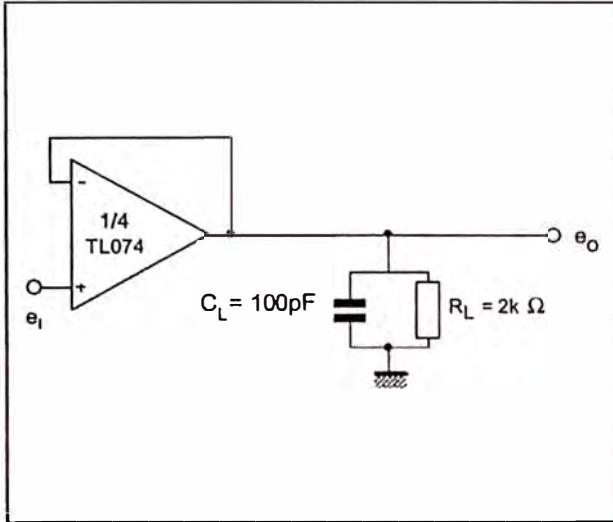


074-18.EPS



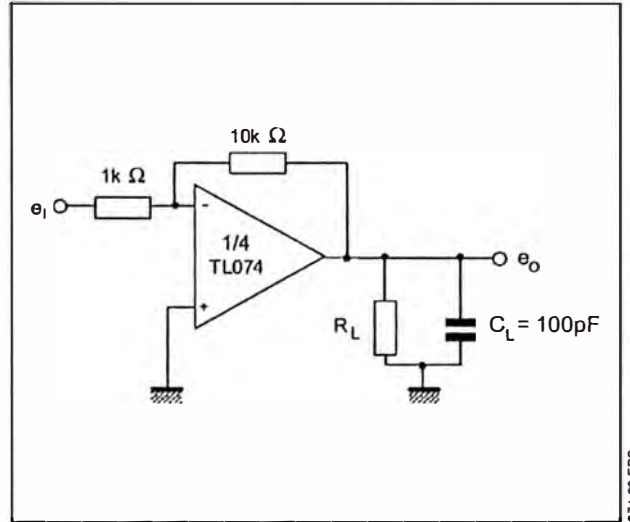
PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

Figure 1 : Voltage Follower



074-19.EPS

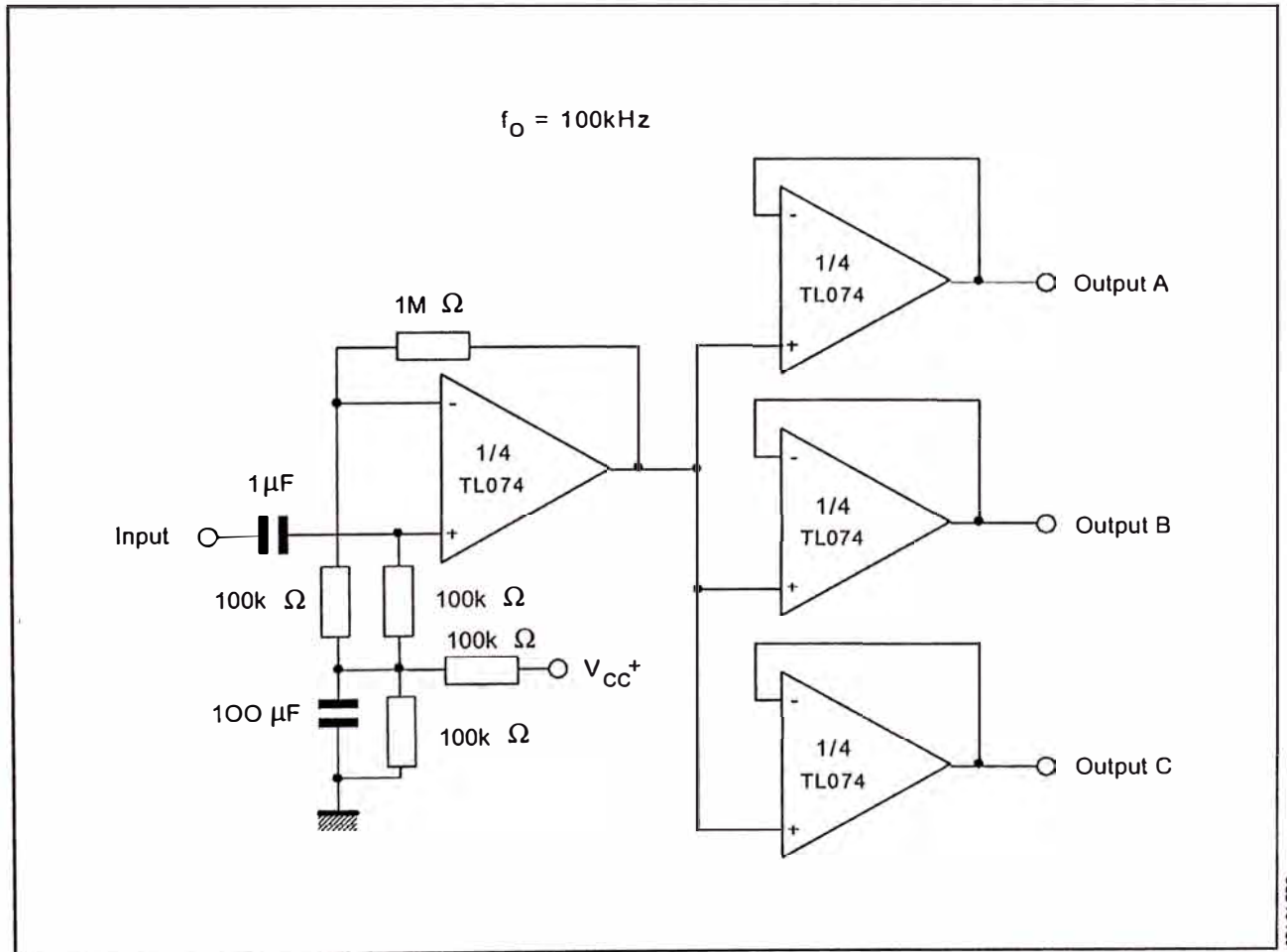
Figure 2 : Gain-of-10 Inverting Amplifier



074-20.EPS

TYPICAL APPLICATIONS

AUDIO DISTRIBUTION AMPLIFIER

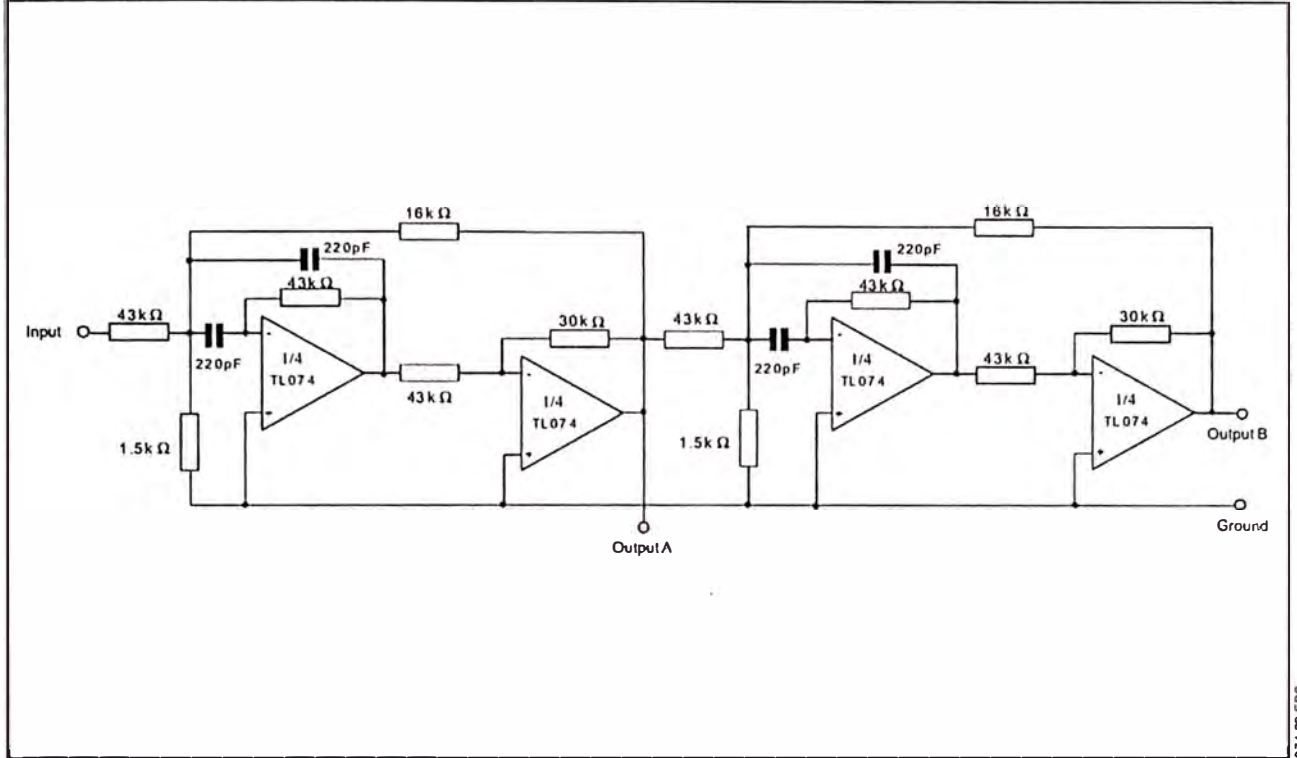


074-21.EPS

**TL074 - TL074A - TL074B**

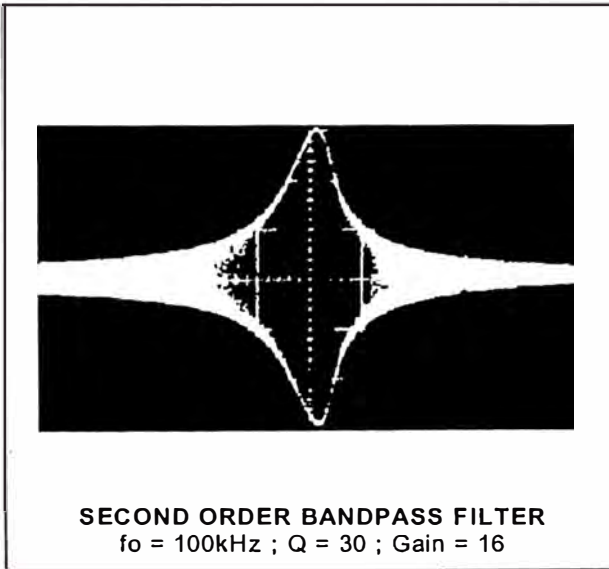
**TYPICAL APPLICATIONS (continued)**

**POSITIVE FEEDBACK BANDPASS FILTER**



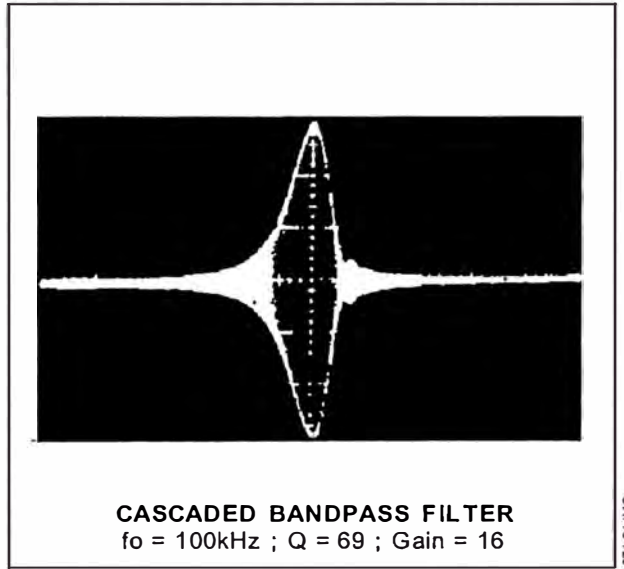
074-22.EPS

**OUTPUT A**



074-23.IMG

**OUTPUT B**



074-24.IMG

**ANEXO D3**

**HOJA DE DATOS DE LA MEMORIA SERIAL EEPROM 24LC256**



# MICROCHIP 24AA256/24LC256/24FC256

## 256K Bit I<sup>2</sup>C™ CMOS Serial EEPROM

### DEVICE SELECTION TABLE

Part Number	Vcc Range	Max Clock Frequency	Temp Ranges
24AA256	1.8-5.5V	400 kHz <sup>†</sup>	C
24LC256	2.5-5.5V	400 kHz <sup>‡</sup>	I, E
24FC256	2.5-5.5V	1 MHz	I

<sup>†</sup>100 kHz for Vcc < 2.5V.  
<sup>‡</sup>100 kHz for E temperature range.

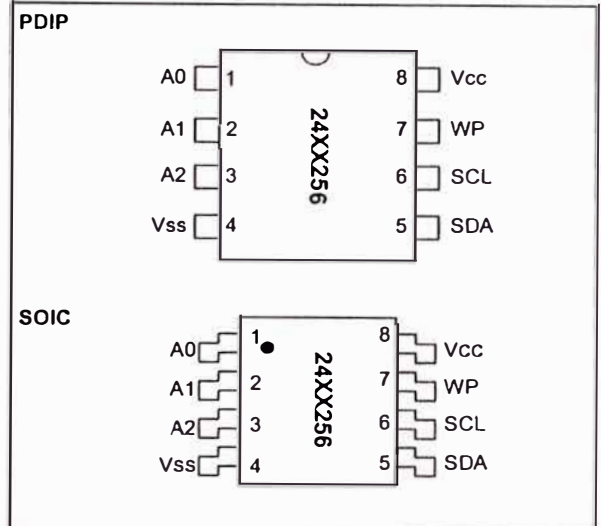
### FEATURES

- Low power CMOS technology
  - Maximum write current 3 mA at 5.5V
  - Maximum read current 400 µA at 5.5V
  - Standby current 100 nA typical at 5.5V
- 2-wire serial interface bus, I<sup>2</sup>C compatible
- Cascadable for up to eight devices
- Self-timed ERASE/WRITE cycle
- 64-byte page-write mode available
- 5 ms max write-cycle time
- Hardware write protect for entire array
- Output slope control to eliminate ground bounce
- Schmitt trigger inputs for noise suppression
- 100,000 erase/write cycles guaranteed
- Electrostatic discharge protection > 4000V
- Data retention > 200 years
- 8-pin PDIP and SOIC (208 mil) packages
- Temperature ranges:
  - Commercial (C): 0°C to +70°C
  - Industrial (I): -40°C to +85°C
  - Automotive (E): -40°C to +125°C

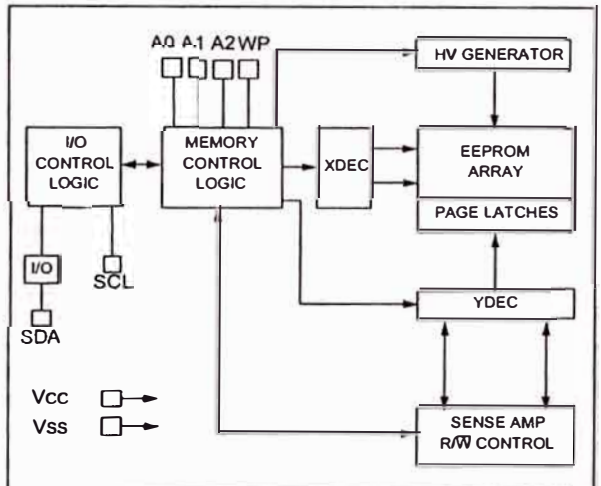
### DESCRIPTION

The Microchip Technology Inc. 24AA256/24LC256/24FC256 (24XX256\*) is a 32K x 8 (256K bit) Serial Electrically Erasable PROM, capable of operation across a broad voltage range (1.8V to 5.5V). It has been developed for advanced, low power applications such as personal communications or data acquisition. This device also has a page-write capability of up to 64 bytes of data. This device is capable of both random and sequential reads up to the 256K boundary. Functional address lines allow up to eight devices on the same bus, for up to 2M bit address space. This device is available in the standard 8-pin plastic DIP and 8-pin SOIC (208 mil) packages.

### PACKAGE TYPE



### BLOCK DIAGRAM



I<sup>2</sup>C is a trademark of Philips Corporation.

\*24XX256 is used in this document as a generic part number for the 24AA256/24LC256/24FC256 devices.

# 24AA256/24LC256/24FC256

## 1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

### 1.1 Maximum Ratings\*

V<sub>CC</sub>.....7.0V  
 All inputs and outputs w.r.t. V<sub>SS</sub> .....-0.6V to V<sub>CC</sub> +1.0V  
 Storage temperature .....-65°C to +150°C  
 Ambient temp. with power applied .....-65°C to +125°C  
 Soldering temperature of leads (10 seconds) .....+300°C  
 ESD protection on all pins..... $\leq 4$  kV

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

TABLE 1-1 PIN FUNCTION TABLE

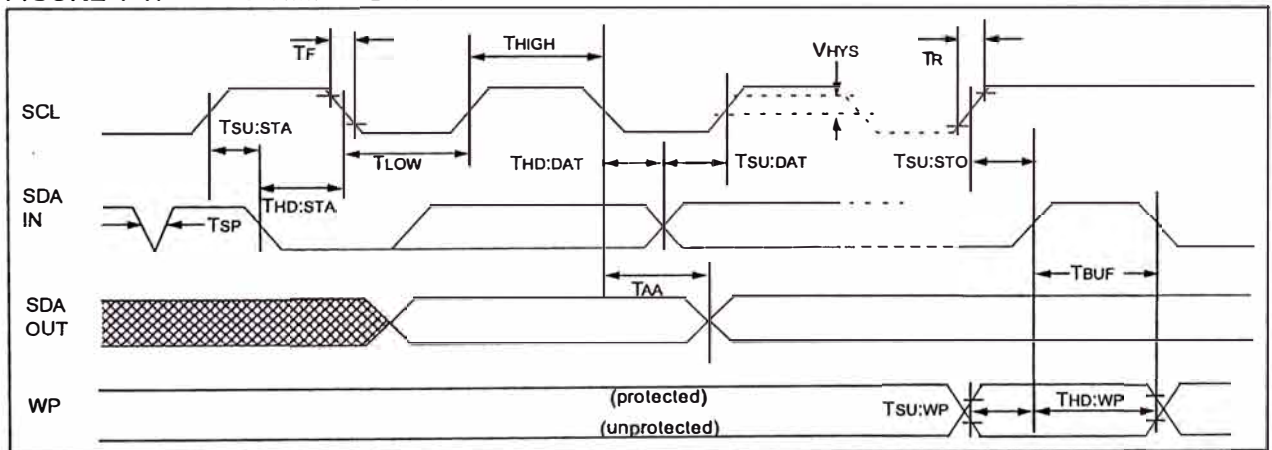
Name	Function
A0, A1, A2	User Configurable Chip Selects
V <sub>SS</sub>	Ground
SDA	Serial Data
SCL	Serial Clock
WP	Write Protect Input
V <sub>CC</sub>	+1.8 to 5.5V (24AA256) +2.5 to 5.5V (24LC256,24FC256)

TABLE 1-2 DC CHARACTERISTICS

Parameter	Symbol	Min	Max	Units	Conditions
Commercial (C): V <sub>CC</sub> = +1.8V to 5.5V T <sub>amb</sub> = 0°C to +70°C Industrial (I): V <sub>CC</sub> = +2.5V to 5.5V T <sub>amb</sub> = -40°C to +85°C Automotive (E): V <sub>CC</sub> = +4.5V to 5.5V T <sub>amb</sub> = -40°C to 125°C					
A0, A1, A2, SCL, SDA, and WP pins: High level input voltage	V <sub>IH</sub>	0.7 V <sub>CC</sub>	—	V	V <sub>CC</sub> 2.5V V <sub>CC</sub> < 2.5V V <sub>CC</sub> 2.5V (Note)
Low level input voltage	V <sub>IL</sub>	—	0.3 V <sub>CC</sub> 0.2 V <sub>CC</sub>	V	
Hysteresis of Schmitt Trigger inputs (SDA, SCL pins)	V <sub>HYS</sub>	0.05 V <sub>CC</sub>	—	V	
Low level output voltage	V <sub>OL</sub>	—	0.40	V	
Input leakage current	I <sub>LI</sub>	-10	10	μA	I <sub>OL</sub> = 3.0 mA @ V <sub>CC</sub> = 4.5V I <sub>OL</sub> = 2.1 mA @ V <sub>CC</sub> = 2.5V
Output leakage current	I <sub>LO</sub>	-10	10	μA	V <sub>IN</sub> = V <sub>SS</sub> or V <sub>CC</sub> , WP = V <sub>SS</sub> V <sub>IN</sub> = V <sub>SS</sub> or V <sub>CC</sub> , WP = V <sub>CC</sub>
Pin capacitance (all inputs/outputs)	C <sub>IN</sub> , C <sub>OUT</sub>	—	10	pF	V <sub>CC</sub> = 5.0V (Note) T <sub>amb</sub> = 25°C, f <sub>c</sub> = 1 MHz
Operating current	I <sub>CC</sub> Read	—	400	μA	V <sub>CC</sub> = 5.5V, SCL = 400 kHz
	I <sub>CC</sub> Write	—	3	mA	V <sub>CC</sub> = 5.5V
Standby current	I <sub>CCS</sub>	—	1	μA	SCL = SDA = V <sub>CC</sub> = 5.5V A0, A1, A2, WP = V <sub>SS</sub>

Note: This parameter is periodically sampled and not 100% tested.

FIGURE 1-1: BUS TIMING DATA



# 24AA256/24LC256/24FC256

**TABLE 1-3 AC CHARACTERISTICS**

	Commercial (C): V <sub>CC</sub> = +1.8V to 5.5V		Industrial (I): V <sub>CC</sub> = +2.5V to 5.5V		Automotive (E): V <sub>CC</sub> = +4.5V to 5.5V		T <sub>amb</sub> = 0°C to +70°C		T <sub>amb</sub> = -40°C to +85°C		T <sub>amb</sub> = -40°C to 125°C	
	Symbol	Min	Max	Units	Conditions							
All parameters apply across the specified operating ranges unless otherwise noted.												
Clock frequency	FCLK	—	100	kHz	4.5V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5V (E Temp range) 1.8V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 2.5V 2.5V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5V 24FC256 (2.5 V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5 V)							
Clock high time	T <sub>HIGH</sub>	4000	—	ns	4.5V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5V (E Temp range) 1.8V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 2.5V 2.5V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5V 24FC256 (2.5 V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5 V)							
Clock low time	T <sub>LOW</sub>	4700	—	ns	4.5V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5V (E Temp range) 1.8V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 2.5V 2.5V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5V 24FC256 (2.5 V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5 V)							
SDA and SCL rise time (Note 1)	T <sub>R</sub>	—	1000	ns	4.5V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5V (E Temp range) 1.8V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 2.5V 2.5V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5V 24FC256 (2.5 V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5 V)							
SDA and SCL fall time (Note 1)	T <sub>F</sub>	—	300	ns	All except 24FC256 24FC256 (2.5 V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5 V)							
START condition hold time	T <sub>HD:STA</sub>	4000	—	ns	4.5V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5V (E Temp range) 1.8V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 2.5V 2.5V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5V 24FC256 (2.5 V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5 V)							
START condition setup time	T <sub>SU:STA</sub>	4700	—	ns	4.5V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5V (E Temp range) 1.8V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 2.5V 2.5V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5V 24FC256 (2.5 V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5 V)							
Data input hold time	T <sub>HD:DAT</sub>	0	—	ns	(Note 2)							
Data input setup time	T <sub>SU:DAT</sub>	250	—	ns	4.5V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5V (E Temp range) 1.8V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 2.5V 2.5V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5V 24FC256 (2.5 V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5 V)							
STOP condition setup time	T <sub>SU:STO</sub>	4000	—	ns	4.5V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5V (E Temp range) 1.8V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 2.5V 2.5V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5V 24FC256 (2.5 V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5 V)							
WP setup time	T <sub>SU:WP</sub>	4000	—	ns	4.5V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5V (E Temp range) 1.8V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 2.5V 2.5V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5V 24FC256 (2.5 V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5 V)							
WP hold time	T <sub>HD:WP</sub>	4700	—	ns	4.5V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5V (E Temp range) 1.8V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 2.5V 2.5V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5V 24FC256 (2.5 V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5 V)							
Output valid from clock (Note 2)	T <sub>AA</sub>	—	3500	ns	4.5V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5V (E Temp range) 1.8V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 2.5V 2.5V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5V 24FC256 (2.5 V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5 V)							
Bus free time: Time the bus must be free before a new transmission can start	T <sub>BUF</sub>	4700	—	ns	4.5V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5V (E Temp range) 1.8V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 2.5V 2.5V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5V 24FC256 (2.5 V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5 V)							
Output fall time from V <sub>IH</sub> minimum to V <sub>IL</sub> maximum C <sub>B</sub> ≤ 100 pF	T <sub>OF</sub>	10 + 0.1C <sub>B</sub>	250	ns	All except 24FC256 (Note 1) 24FC256 (Note 1)							

# 24AA256/24LC256/24FC256

**TABLE 1-3 AC CHARACTERISTICS**

All parameters apply across the specified operating ranges unless otherwise noted.	Commercial (C): Vcc = +1.8V to 5.5V		Tamb = 0°C to +70°C		
	Industrial (I): Vcc = +2.5V to 5.5V		Tamb = -40°C to +85°C		
	Automotive (E): Vcc = +4.5V to 5.5V		Tamb = -40°C to 125°C		
	Symbol	Min	Max	Units	Conditions
Input filter spike suppression (SDA and SCL pins)	TSP	—	50	ns	All except 24FC256 (Notes 1 and 3)
Write cycle time (byte or page)	TWC	—	5	ms	
Endurance		100K	—	cycles	25°C, Vcc = 5.0V, Block Mode (Note 4)

**Note 1:** Not 100% tested. C<sub>B</sub> = total capacitance of one bus line in pF.

**2:** As a transmitter, the device must provide an internal minimum delay time to bridge the undefined region (minimum 300 ns) of the falling edge of SCL to avoid unintended generation of START or STOP conditions.

**3:** The combined TSP and VHYS specifications are due to new Schmitt trigger inputs which provide improved noise spike suppression. This eliminates the need for a TI specification for standard operation.

**4:** This parameter is not tested but guaranteed by characterization. For endurance estimates in a specific application, please consult the Total Endurance Model which can be obtained on Microchip's website @[www.microchip.com](http://www.microchip.com).

# 24AA256/24LC256/24FC256

## 2.0 PIN DESCRIPTIONS

### 2.1 A0, A1, A2 Chip Address Inputs

The A0, A1, A2 inputs are used by the 24XX256 for multiple device operations. The levels on these inputs are compared with the corresponding bits in the slave address. The chip is selected if the compare is true.

Up to eight devices may be connected to the same bus by using different chip select bit combinations. If left unconnected, these inputs will be pulled down internally to Vss.

### 2.2 SDA Serial Data

This is a bi-directional pin used to transfer addresses and data into and data out of the device. It is an open-drain terminal, therefore, the SDA bus requires a pullup resistor to Vcc (typical 10 kΩ for 100 kHz, 2 kΩ for 400 kHz and 1 MHz).

For normal data transfer SDA is allowed to change only during SCL low. Changes during SCL high are reserved for indicating the START and STOP conditions.

### 2.3 SCL Serial Clock

This input is used to synchronize the data transfer from and to the device.

### 2.4 WP

This pin can be connected to either Vss, Vcc or left floating. An internal pull-down resistor on this pin will keep the device in the unprotected state if left floating. If tied to Vss or left floating, normal memory operation is enabled (read/write the entire memory 0000-7FFF).

If tied to Vcc, WRITE operations are inhibited. Read operations are not affected.

## 3.0 FUNCTIONAL DESCRIPTION

The 24XX256 supports a bi-directional 2-wire bus and data transmission protocol. A device that sends data onto the bus is defined as a transmitter, and a device receiving data as a receiver. The bus must be controlled by a master device which generates the serial clock (SCL), controls the bus access, and generates the START and STOP conditions while the 24XX256 works as a slave. Both master and slave can operate as a transmitter or receiver, but the master device determines which mode is activated.

## 4.0 BUS CHARACTERISTICS

The following bus protocol has been defined:

- Data transfer may be initiated only when the bus is not busy.
- During data transfer, the data line must remain stable whenever the clock line is HIGH. Changes in the data line while the clock line is HIGH will be interpreted as a START or STOP condition.

Accordingly, the following bus conditions have been defined (Figure 4-1).

### 4.1 Bus not Busy (A)

Both data and clock lines remain HIGH.

### 4.2 Start Data Transfer (B)

A HIGH to LOW transition of the SDA line while the clock (SCL) is HIGH determines a START condition. All commands must be preceded by a START condition.

### 4.3 Stop Data Transfer (C)

A LOW to HIGH transition of the SDA line while the clock (SCL) is HIGH determines a STOP condition. All operations must end with a STOP condition.

### 4.4 Data Valid (D)

The state of the data line represents valid data when, after a START condition, the data line is stable for the duration of the HIGH period of the clock signal.

The data on the line must be changed during the LOW period of the clock signal. There is one bit of data per clock pulse.

Each data transfer is initiated with a START condition and terminated with a STOP condition. The number of the data bytes transferred between the START and STOP conditions is determined by the master device.

### 4.5 Acknowledge

Each receiving device, when addressed, is obliged to generate an acknowledge signal after the reception of each byte. The master device must generate an extra clock pulse which is associated with this acknowledge bit.

**Note:** The 24XX256 does not generate any acknowledge bits if an internal programming cycle is in progress.

A device that acknowledges must pull down the SDA line during the acknowledge clock pulse in such a way that the SDA line is stable LOW during the HIGH period of the acknowledge related clock pulse. Of course, setup and hold times must be taken into account. During reads, a master must signal an end of data to the slave by NOT generating an acknowledge bit on the last byte that has been clocked out of the slave. In this case, the slave (24XX256) will leave the data line HIGH to enable the master to generate the STOP condition.



# 24AA256/24LC256/24FC256

FIGURE 4-1: DATA TRANSFER SEQUENCE ON THE SERIAL BUS

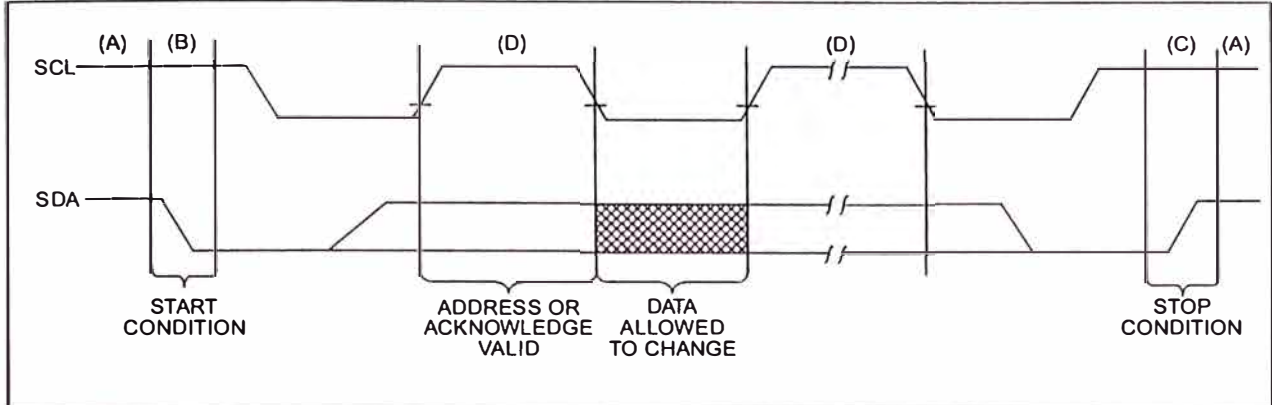
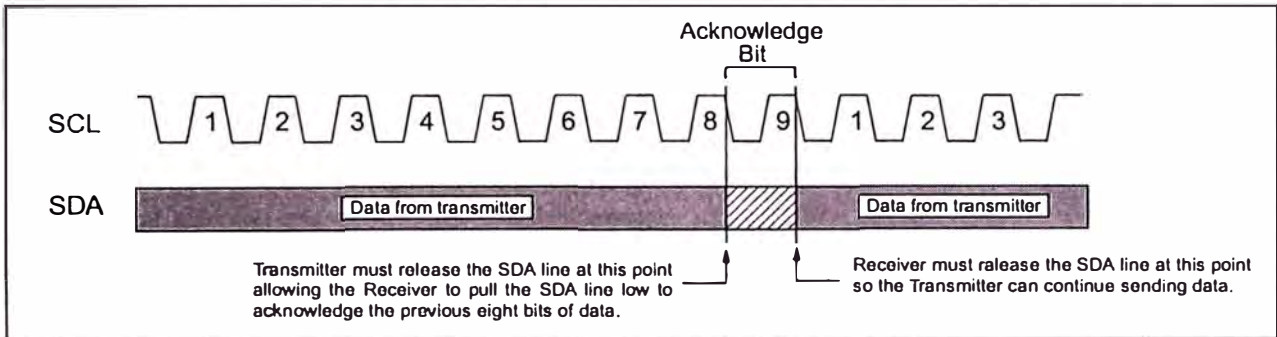


FIGURE 4-2: ACKNOWLEDGE TIMING



# 24AA256/24LC256/24FC256

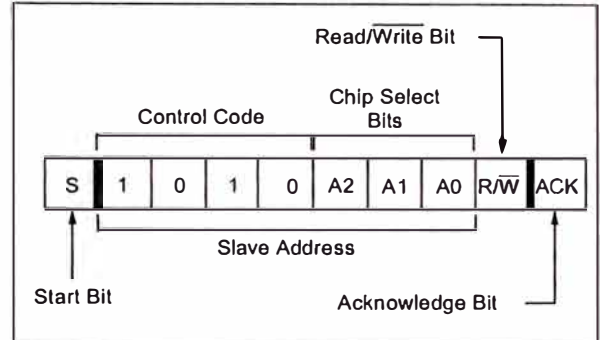
## 5.0 DEVICE ADDRESSING

A control byte is the first byte received following the start condition from the master device (Figure 5-1). The control byte consists of a 4-bit control code; for the 24XX256 this is set as 1010 binary for read and write operations. The next three bits of the control byte are the chip select bits (A2, A1, A0). The chip select bits allow the use of up to eight 24XX256 devices on the same bus and are used to select which device is accessed. The chip select bits in the control byte must correspond to the logic levels on the corresponding A2, A1, and A0 pins for the device to respond. These bits are in effect the three most significant bits of the word address.

The last bit of the control byte defines the operation to be performed. When set to a one a read operation is selected, and when set to a zero a write operation is selected. The next two bytes received define the address of the first data byte (Figure 5-2). Because only A14...A0 are used, the upper address bits is a don't care. The upper address bits are transferred first, followed by the less significant bits.

Following the start condition, the 24XX256 monitors the SDA bus checking the device type identifier being transmitted. Upon receiving a 1010 code and appropriate device select bits, the slave device outputs an acknowledge signal on the SDA line. Depending on the state of the R/W bit, the 24XX256 will select a read or write operation.

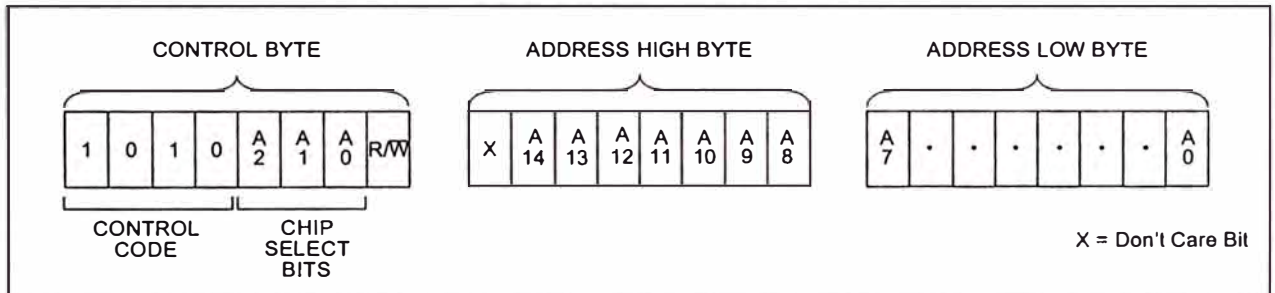
FIGURE 5-1: CONTROL BYTE FORMAT



### 5.1 Contiguous Addressing Across Multiple Devices

The chip select bits A2, A1, A0 can be used to expand the contiguous address space for up to 2 Mbit by adding up to eight 24XX256's on the same bus. In this case, software can use A0 of the control byte as address bit A15; A1, as address bit A16; and A2, as address bit A17. It is not possible to sequentially read across device boundaries.

FIGURE 5-2: ADDRESS SEQUENCE BIT ASSIGNMENTS



# 24AA256/24LC256/24FC256

## 6.0 WRITE OPERATIONS

### 6.1 Byte Write

Following the start condition from the master, the control code (four bits), the chip select (three bits), and the R/W bit (which is a logic low) are clocked onto the bus by the master transmitter. This indicates to the addressed slave receiver that the address high byte will follow after it has generated an acknowledge bit during the ninth clock cycle. Therefore, the next byte transmitted by the master is the high-order byte of the word address and will be written into the address pointer of the 24XX256. The next byte is the least significant address byte. After receiving another acknowledge signal from the 24XX256, the master device will transmit the data word to be written into the addressed memory location. The 24XX256 acknowledges again and the master generates a stop condition. This initiates the internal write cycle, and, during this time, the 24XX256 will not generate acknowledge signals (Figure 6-1). If an attempt is made to write to the array with the WP pin held high, the device will acknowledge the command but no write cycle will occur, no data will be written, and the device will immediately accept a new command. After a byte write command, the internal address counter will point to the address location following the one that was just written.

### 6.2 Page Write

The write control byte, word address, and the first data byte are transmitted to the 24XX256 in the same way as in a byte write. But instead of generating a stop condition, the master transmits up to 63 additional bytes, which are temporarily stored in the on-chip page buffer and will be written into memory after the master has transmitted a stop condition. After receipt of each word, the six lower address pointer bits are internally incremented by one. If the master should transmit more

than 64 bytes prior to generating the stop condition, the address counter will roll over and the previously received data will be overwritten. As with the byte write operation, once the stop condition is received, an internal write cycle will begin (Figure 6-2). If an attempt is made to write to the array with the WP pin held high, the device will acknowledge the command but no write cycle will occur, no data will be written, and the device will immediately accept a new command.

### 6.3 Write Protection

The WP pin allows the user to write-protect the entire array (0000-7FFF) when the pin is tied to Vcc. If tied to Vss or left floating, the write protection is disabled. The WP pin is sampled at the STOP bit for every write command (Figure 1-1) Toggling the WP pin after the STOP bit will have no effect on the execution of the write cycle.

**Note:** Page write operations are limited to writing bytes within a single physical page, regardless of the number of bytes actually being written. Physical page boundaries start at addresses that are integer multiples of the page buffer size (or 'page size') and end at addresses that are integer multiples of [page size - 1]. If a page write command attempts to write across a physical page boundary, the result is that the data wraps around to the beginning of the current page (overwriting data previously stored there), instead of being written to the next page as might be expected. It is therefore necessary for the application software to prevent page write operations that would attempt to cross a page boundary.

FIGURE 6-1: BYTE WRITE

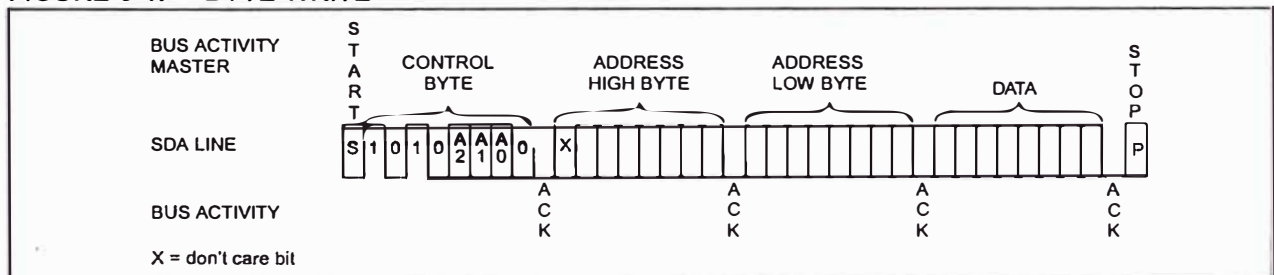
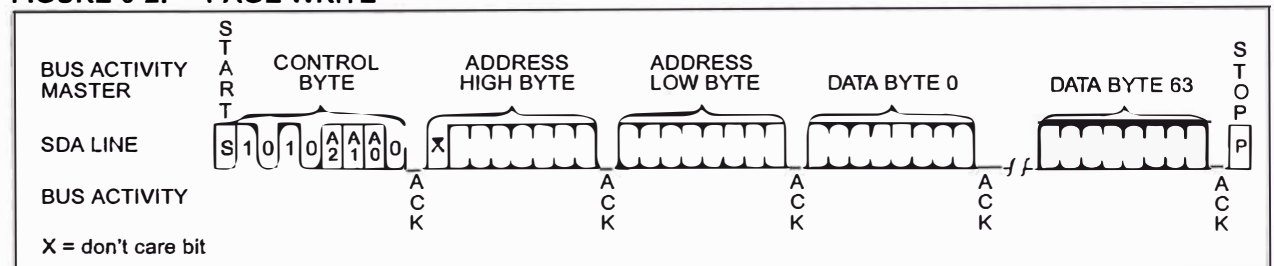


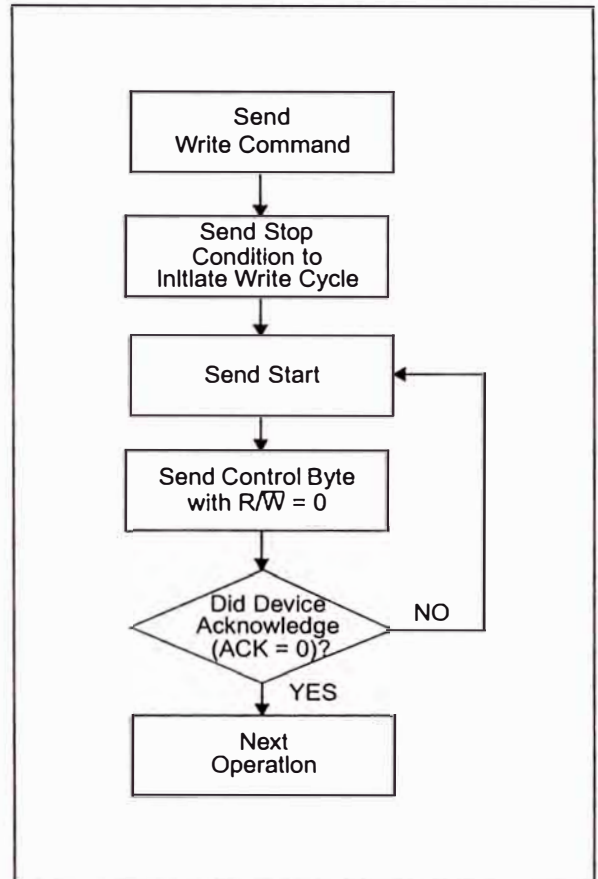
FIGURE 6-2: PAGE WRITE



## 7.0 ACKNOWLEDGE POLLING

Since the device will not acknowledge during a write cycle, this can be used to determine when the cycle is complete (This feature can be used to maximize bus throughput.) Once the stop condition for a write command has been issued from the master, the device initiates the internally timed write cycle. ACK polling can be initiated immediately. This involves the master sending a start condition, followed by the control byte for a write command ( $R/\overline{W} = 0$ ). If the device is still busy with the write cycle, then no ACK will be returned. If no ACK is returned, then the start bit and control byte must be resent. If the cycle is complete, then the device will return the ACK, and the master can then proceed with the next read or write command. See Figure 7-1 for flow diagram.

FIGURE 7-1: ACKNOWLEDGE POLLING FLOW



# 24AA256/24LC256/24FC256

## 8.0 READ OPERATION

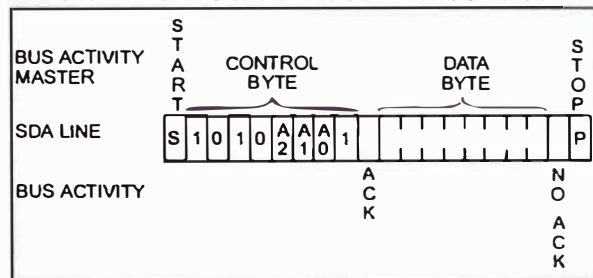
Read operations are initiated in the same way as write operations with the exception that the R/W bit of the control byte is set to one. There are three basic types of read operations: current address read, random read, and sequential read.

### 8.1 Current Address Read

The 24XX256 contains an address counter that maintains the address of the last word accessed, internally incremented by one. Therefore, if the previous read access was to address n (n is any legal address), the next current address read operation would access data from address n + 1.

Upon receipt of the control byte with R/W bit set to one, the 24XX256 issues an acknowledge and transmits the 8-bit data word. The master will not acknowledge the transfer but does generate a stop condition and the 24XX256 discontinues transmission (Figure 8-1).

FIGURE 8-1: CURRENT ADDRESS READ



### 8.2 Random Read

Random read operations allow the master to access any memory location in a random manner. To perform this type of read operation, first the word address must be set. This is done by sending the word address to the 24XX256 as part of a write operation (R/W bit set to 0). After the word address is sent, the master generates a start condition following the acknowledge. This terminates the write operation, but not before the internal address pointer is set. Then, the master issues the control byte again but with the R/W bit set to a one. The 24XX256 will then issue an acknowledge and transmit the 8-bit data word. The master will not acknowledge the transfer but does generate a stop condition which causes the 24XX256 to discontinue transmission (Figure 8-2). After a random read command, the internal address counter will point to the address location following the one that was just read.

### 8.3 Sequential Read

Sequential reads are initiated in the same way as a random read except that after the 24XX256 transmits the first data byte, the master issues an acknowledge as opposed to the stop condition used in a random read. This acknowledge directs the 24XX256 to transmit the next sequentially addressed 8-bit word (Figure 8-3). Following the final byte transmitted to the master, the master will NOT generate an acknowledge but will generate a stop condition. To provide sequential reads, the 24XX256 contains an internal address pointer which is incremented by one at the completion of each operation. This address pointer allows the entire memory contents to be serially read during one operation. The internal address pointer will automatically roll over from address 7FFF to address 0000 if the master acknowledges the byte received from the array address 7FFF.

FIGURE 8-2: RANDOM READ

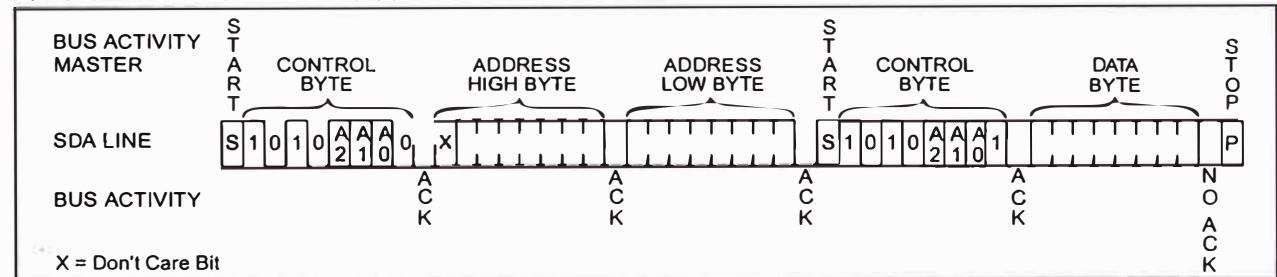
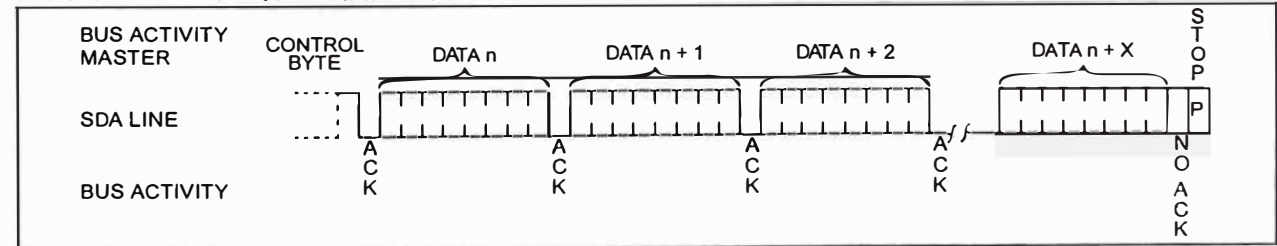


FIGURE 8-3: SEQUENTIAL READ



**ANEXO D4**

**HOJA DE DATOS DE CIRCUITO INTEGRADO MAX-232**



# +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

## General Description

The MAX220–MAX249 family of line drivers/receivers is intended for all EIA/TIA-232E and V.28/V.24 communications interfaces, particularly applications where  $\pm 12V$  is not available.

These parts are especially useful in battery-powered systems, since their low-power shutdown mode reduces power dissipation to less than  $5\mu W$ . The MAX225, MAX233, MAX235, and MAX245/MAX246/MAX247 use no external components and are recommended for applications where printed circuit board space is critical.

## Applications

Portable Computers  
Low-Power Modems  
Interface Translation  
Battery-Powered RS-232 Systems  
Multidrop RS-232 Networks

## Features

### Superior to Bipolar

- ◆ Operate from Single +5V Power Supply (+5V and +12V—MAX231/MAX239)
- ◆ Low-Power Receive Mode In Shutdown (MAX223/MAX242)
- ◆ Meet All EIA/TIA-232E and V.28 Specifications
- ◆ Multiple Drivers and Receivers
- ◆ 3-State Driver and Receiver Outputs
- ◆ Open-Line Detection (MAX243)

## Ordering Information

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX220CPE	0°C to +70°C	16 Plastic DIP
MAX220CSE	0°C to +70°C	16 Narrow SO
MAX220CWE	0°C to +70°C	16 Wide SO
MAX220C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX220EPE	-40°C to +85°C	16 Plastic DIP
MAX220ESE	-40°C to +85°C	16 Narrow SO
MAX220EWE	-40°C to +85°C	16 Wide SO
MAX220EJE	-40°C to +85°C	16 CERDIP
MAX220MJE	-55°C to +125°C	16 CERDIP

Ordering Information continued at end of data sheet.

\*Contact factory for dice specifications.

## Selection Table

Part Number	Power Supply (V)	No. of RS-232 Drivers/Rx	No. of Ext. Caps	Nominal Cap. Value ( $\mu F$ )	SHDN & Three-State	Rx Active in SHDN	Data Rate (kbps)	Features
MAX220	+5	2/2	4	0.1	No	—	120	Ultra-low-power, industry-standard pinout
MAX222	+5	2/2	4	0.1	Yes	—	200	Low-power shutdown
MAX223 (MAX213)	+5	4/5	4	1.0 (0.1)	Yes	✓	120	MAX241 and receivers active in shutdown
MAX225	+5	5/5	0	—	Yes	✓	120	Available in SO
MAX230 (MAX200)	+5	5/0	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	5 drivers with shutdown
MAX231 (MAX201)	+5 and +7.5 to +13.2	2/2	2	1.0 (0.1)	No	—	120	Standard +5/+12V or battery supplies; same functions as MAX232
MAX232 (MAX202)	+5	2/2	4	1.0 (0.1)	No	—	120 (64)	Industry standard
MAX232A	+5	2/2	4	0.1	No	—	200	Higher slew rate, small caps
MAX233 (MAX203)	+5	2/2	0	—	No	—	120	No external caps
MAX233A	+5	2/2	0	—	No	—	200	No external caps, high slew rate
MAX234 (MAX204)	+5	4/0	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Replaces 1488
MAX235 (MAX205)	+5	5/5	0	—	Yes	—	120	No external caps
MAX236 (MAX206)	+5	4/3	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	Shutdown, three state
MAX237 (MAX207)	+5	5/3	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Complements IBM PC serial port
MAX238 (MAX208)	+5	4/4	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Replaces 1488 and 1489
MAX239 (MAX209)	+5 and +7.5 to +13.2	3/5	2	1.0 (0.1)	No	—	120	Standard +5/+12V or battery supplies; single-package solution for IBM PC serial port
MAX240	+5	5/5	4	1.0	Yes	—	120	DIP or flatpack package
MAX241 (MAX211)	+5	4/5	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	Complete IBM PC serial port
MAX242	+5	2/2	4	0.1	Yes	✓	200	Separate shutdown and enable
MAX243	+5	2/2	4	0.1	No	—	200	Open-line detection simplifies cabling
MAX244	+5	8/10	4	1.0	No	—	120	High slew rate
MAX245	+5	8/10	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, two shutdown modes
MAX246	+5	8/10	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, three shutdown modes
MAX247	+5	8/9	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, nine operating modes
MAX248	+5	8/8	4	1.0	Yes	✓	120	High slew rate, selective half-chip enables
MAX249	+5	6/10	4	1.0	Yes	✓	120	Available in quad flatpack package



# +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS—MAX220/222/232A/233A/242/243

Supply Voltage (V <sub>CC</sub> )	-0.3V to +6V	20-Pin Plastic DIP (derate 8.00mW/°C above +70°C)	440mW
Input Voltages		16-Pin Narrow SO (derate 8.70mW/°C above +70°C)	696mW
T <sub>IN</sub>	-0.3V to (V <sub>CC</sub> - 0.3V)	16-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C)	762mW
R <sub>IN</sub> (Except MAX220)	±30V	18-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C)	762mW
R <sub>IN</sub> (MAX220)	±25V	20-Pin Wide SO (derate 10.00mW/°C above +70°C)	800mW
T <sub>OUT</sub> (Except MAX220) (Note 1)	±15V	20-Pin SSOP (derate 8.00mW/°C above +70°C)	640mW
T <sub>OUT</sub> (MAX220)	±13.2V	16-Pin CERDIP (derate 10.00mW/°C above +70°C)	800mW
Output Voltages		18-Pin CERDIP (derate 10.53mW/°C above +70°C)	842mW
T <sub>OUT</sub>	±15V	Operating Temperature Ranges	
R <sub>OUT</sub>	-0.3V to (V <sub>CC</sub> + 0.3V)	MAX2_ _AC_ _, MAX2_ _C_ _	0°C to +70°C
Driver/Receiver Output Short Circuited to GND	Continuous	MAX2_ _AE_ _, MAX2_ _E_ _	-40°C to +85°C
Continuous Power Dissipation (T <sub>A</sub> = +70°C)		MAX2_ _AM_ _, MAX2_ _M_ _	-55°C to +125°C
16-Pin Plastic DIP (derate 10.53mW/°C above +70°C)	842mW	Storage Temperature Range	-65°C to +160°C
18-Pin Plastic DIP (derate 11.11mW/°C above +70°C)	889mW	Lead Temperature (soldering, 10sec)	+300°C

**Note 1:** Input voltage measured with T<sub>OUT</sub> in high-impedance state,  $\overline{\text{SHDN}}$  or V<sub>CC</sub> = 0V.

**Note 2:** For the MAX220, V<sub>+</sub> and V<sub>-</sub> can have a maximum magnitude of 7V, but their absolute difference cannot exceed 13V.

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 in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX220/222/232A/233A/242/243

(V<sub>CC</sub> = +5V ±10%, C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub> = 0.1μF, MAX220, C<sub>1</sub> = 0.047μF, C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub> = 0.33μF, T<sub>A</sub> = T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub>, unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>RS-232 TRANSMITTERS</b>						
Output Voltage Swing	All transmitter outputs loaded with 3kΩ to GND		±5	±8		V
Input Logic Threshold Low				1.4	0.8	V
Input Logic Threshold High	All devices except MAX220		2	1.4		V
	MAX220: V <sub>CC</sub> = 5.0V		2.4			
Logic Pull-Up/Input Current	All except MAX220, normal operation			5	40	μA
	$\overline{\text{SHDN}}$ = 0V, MAX222/242, shutdown, MAX220			±0.01	±1	
Output Leakage Current	V <sub>CC</sub> = 5.5V, $\overline{\text{SHDN}}$ = 0V, V <sub>OUT</sub> = ±15V, MAX222/242			±0.01	±10	μA
	V <sub>CC</sub> = $\overline{\text{SHDN}}$ = 0V, V <sub>OUT</sub> = ±15V			±0.01	±10	
Data Rate				200	116	kb/s
Transmitter Output Resistance	V <sub>CC</sub> = V <sub>+</sub> = V <sub>-</sub> = 0V, V <sub>OUT</sub> = ±2V		300	10M		Ω
Output Short-Circuit Current	V <sub>OUT</sub> = 0V		±7	±22		mA
<b>RS-232 RECEIVERS</b>						
RS-232 Input Voltage Operating Range					±30	V
RS-232 Input Threshold Low	V <sub>CC</sub> = 5V	All except MAX243 R <sub>2IN</sub>	0.8	1.3		V
		MAX243 R <sub>2IN</sub> (Note 2)	-3			
RS-232 Input Threshold High	V <sub>CC</sub> = 5V	All except MAX243 R <sub>2IN</sub>		1.8	2.4	V
		MAX243 R <sub>2IN</sub> (Note 2)		-0.5	-0.1	
RS-232 Input Hysteresis	All except MAX243, V <sub>CC</sub> = 5V, no hysteresis in shdn.		0.2	0.5	1	V
	MAX243			1		
RS-232 Input Resistance			3	5	7	kΩ
TTL/CMOS Output Voltage Low	I <sub>OUT</sub> = 3.2mA			0.2	0.4	V
TTL/CMOS Output Voltage High	I <sub>OUT</sub> = -1.0mA		3.5	V <sub>CC</sub> - 0.2		V
TTL/CMOS Output Short-Circuit Current	Sourcing V <sub>OUT</sub> = GND		-2	-10		mA
	Shrinking V <sub>OUT</sub> = V <sub>CC</sub>		10	30		



## +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX220/222/232A/233A/242/243 (continued)

(V<sub>CC</sub> = +5V ±10%, C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub> = 0.1μF, MAX220, C<sub>1</sub> = 0.047μF, C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub> = 0.33μF, T<sub>A</sub> = T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub>, unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
TTL/CMOS Output Leakage Current	$\overline{\text{SHDN}} = V_{CC}$ or $\overline{\text{EN}} = V_{CC}$ ( $\overline{\text{SHDN}} = 0V$ for MAX222), $0V \leq V_{OUT} \leq V_{CC}$			±0.05	±10	μA
$\overline{\text{EN}}$ Input Threshold Low	MAX242			1.4	0.8	V
$\overline{\text{EN}}$ Input Threshold High	MAX242		2.0	1.4		V
Operating Supply Voltage			4.5		5.5	V
V <sub>CC</sub> Supply Current ( $\overline{\text{SHDN}} = V_{CC}$ ), Figures 5, 6, 11, 19	No load	MAX220		0.5	2	mA
		MAX222/232A/233A/242/243		4	10	
	3kΩ load both inputs	MAX220		12		
		MAX222/232A/233A/242/243		15		
Shutdown Supply Current	MAX222/242	T <sub>A</sub> = +25°C		0.1	10	μA
		T <sub>A</sub> = 0°C to +70°C		2	50	
		T <sub>A</sub> = -40°C to +85°C		2	50	
		T <sub>A</sub> = -55°C to +125°C		35	100	
SHDN Input Leakage Current	MAX222/242				±1	μA
SHDN Threshold Low	MAX222/242			1.4	0.8	V
SHDN Threshold High	MAX222/242		2.0	1.4		V
Transition Slew Rate	C <sub>L</sub> = 50pF to 2500pF, R <sub>L</sub> = 3kΩ to 7kΩ, V <sub>CC</sub> = 5V, T <sub>A</sub> = +25°C, measured from +3V to -3V or -3V to +3V	MAX222/232A/233A/242/243	6	12	30	V/μs
		MAX220	1.5	3	30	
Transmitter Propagation Delay TLL to RS-232 (normal operation), Figure 1	t <sub>PHLT</sub>	MAX222/232A/233A/242/243		1.3	3.5	μs
		MAX220		4	10	
	t <sub>PLHT</sub>	MAX222/232A/233A/242/243		1.5	3.5	
		MAX220		5	10	
Receiver Propagation Delay RS-232 to TLL (normal operation), Figure 2	t <sub>PHLR</sub>	MAX222/232A/233A/242/243		0.5	1	μs
		MAX220		0.6	3	
	t <sub>PLHR</sub>	MAX222/232A/233A/242/243		0.6	1	
		MAX220		0.8	3	
Receiver Propagation Delay RS-232 to TLL (shutdown), Figure 2	t <sub>PHLS</sub>	MAX242		0.5	10	μs
	t <sub>PLHS</sub>	MAX242		2.5	10	
Receiver-Output Enable Time, Figure 3	t <sub>ER</sub>	MAX242		125	500	ns
Receiver-Output Disable Time, Figure 3	t <sub>DR</sub>	MAX242		160	500	ns
Transmitter-Output Enable Time (SHDN goes high), Figure 4	t <sub>ET</sub>	MAX222/242, 0.1μF caps (includes charge-pump start-up)		250		μs
Transmitter-Output Disable Time (SHDN goes low), Figure 4	t <sub>DT</sub>	MAX222/242, 0.1μF caps		600		ns
Transmitter + to - Propagation Delay Difference (normal operation)	t <sub>PHLT</sub> - t <sub>PLHT</sub>	MAX222/232A/233A/242/243		300		ns
		MAX220		2000		
Receiver + to - Propagation Delay Difference (normal operation)	t <sub>PHLR</sub> - t <sub>PLHR</sub>	MAX222/232A/233A/242/243		100		ns
		MAX220		225		

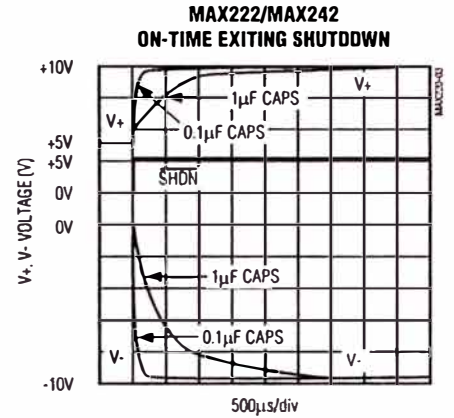
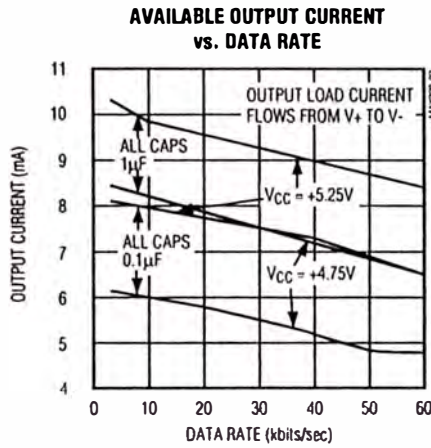
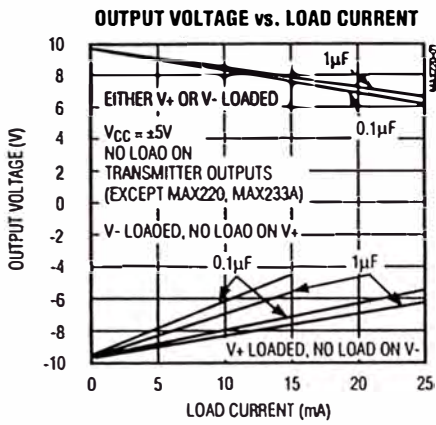
**Note 3:** MAX243 R2OUT is guaranteed to be low when R2<sub>IN</sub> is ≥ 0V or is floating.

# +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX243

## Typical Operating Characteristics

MAX220/MAX222/MAX232A/MAX233A/MAX242/MAX243



# +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS—MAX223/MAX230–MAX241

V <sub>CC</sub> .....	-0.3V to +6V	20-Pin Wide SO (derate 10.00mW/°C above +70°C).....	800mW
V <sub>+</sub> .....	(V <sub>CC</sub> - 0.3V) to +14V	24-Pin Wide SO (derate 11.76mW/°C above +70°C).....	941mW
V <sub>-</sub> .....	+0.3V to -14V	28-Pin Wide SO (derate 12.50mW/°C above +70°C).....	1W
Input Voltages		44-Pin Plastic FP (derate 11.11mW/°C above +70°C).....	889mW
T <sub>IN</sub> .....	-0.3V to (V <sub>CC</sub> + 0.3V)	14-Pin CERDIP (derate 9.09mW/°C above +70°C).....	727mW
R <sub>IN</sub> .....	±30V	16-Pin CERDIP (derate 10.00mW/°C above +70°C).....	800mW
Output Voltages		20-Pin CERDIP (derate 11.11mW/°C above +70°C).....	889mW
T <sub>OUT</sub> .....	(V <sub>+</sub> + 0.3V) to (V <sub>-</sub> - 0.3V)	24-Pin Narrow CERDIP	
R <sub>OUT</sub> .....	-0.3V to (V <sub>CC</sub> + 0.3V)	(derate 12.50mW/°C above +70°C).....	1W
Short-Circuit Duration, T <sub>OUT</sub> .....	Continuous	24-Pin Sidebrazed (derate 20.0mW/°C above +70°C).....	1.6W
Continuous Power Dissipation (T <sub>A</sub> = +70°C)		28-Pin SSOP (derate 9.52mW/°C above +70°C).....	762mW
14-Pin Plastic DIP (derate 10.00mW/°C above +70°C).....		Operating Temperature Ranges	
16-Pin Plastic DIP (derate 10.53mW/°C above +70°C).....		MAX2 __ C __ .....	0°C to +70°C
20-Pin Plastic DIP (derate 11.11mW/°C above +70°C).....		MAX2 __ E __ .....	-40°C to +85°C
24-Pin Narrow Plastic DIP		MAX2 __ M __ .....	-55°C to +125°C
(derate 13.33mW/°C above +70°C).....		Storage Temperature Range.....	-65°C to +160°C
24-Pin Plastic DIP (derate 9.09mW/°C above +70°C).....		Lead Temperature (soldering, 10sec).....	+300°C
16-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°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 in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX223/MAX230–MAX241

(MAX223/230/232/234/236/237/238/240/241, V<sub>CC</sub> = +5V ±10%; MAX233/MAX235, V<sub>CC</sub> = 5V ±5%, C1–C4 = 1.0μF; MAX231/MAX239, V<sub>CC</sub> = 5V ±10%; V<sub>+</sub> = 7.5V to 13.2V; T<sub>A</sub> = T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub>; unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Output Voltage Swing	All transmitter outputs loaded with 3kΩ to ground	±5.0	±7.3		V
V <sub>CC</sub> Power-Supply Current	No load, T <sub>A</sub> = +25°C	MAX232/233	5	10	mA
		MAX223/230/234–238/240/241	7	15	
		MAX231/239	0.4	1	
V <sub>+</sub> Power-Supply Current		MAX231	1.8	5	mA
		MAX239	5	15	
Shutdown Supply Current	T <sub>A</sub> = +25°C	MAX223	15	50	μA
		MAX230/235/236/240/241	1	10	
Input Logic Threshold Low	T <sub>IN</sub> ; EN, SHDN (MAX233); $\overline{\text{EN}}$ , SHDN (MAX230/235–241)			0.8	V
Input Logic Threshold High	T <sub>IN</sub>	2.0			V
	EN, $\overline{\text{SHDN}}$ (MAX223); $\overline{\text{EN}}$ , SHDN (MAX230/235/236/240/241)	2.4			
Logic Pull-Up Current	T <sub>IN</sub> = 0V		1.5	200	μA
Receiver Input Voltage Operating Range		-30		30	V

## +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX223/MAX230—MAX241 (continued)

(MAX223/230/232/234/236/237/238/240/241,  $V_{CC} = +5V \pm 10\%$ ; MAX233/MAX235,  $V_{CC} = 5V \pm 5\%$ , C1-C4 = 1.0 $\mu$ F; MAX231/MAX239,  $V_{CC} = 5V \pm 10\%$ ;  $V+ = 7.5V$  to 13.2V;  $T_A = T_{MIN}$  to  $T_{MAX}$ ; unless otherwise noted.)

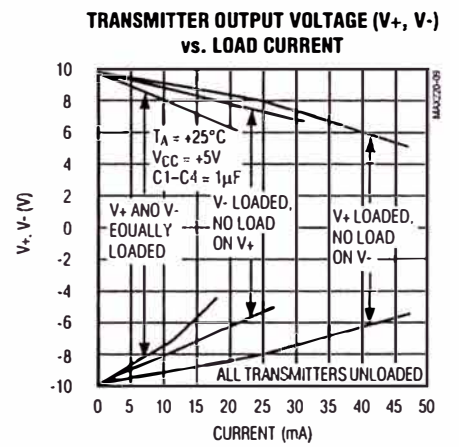
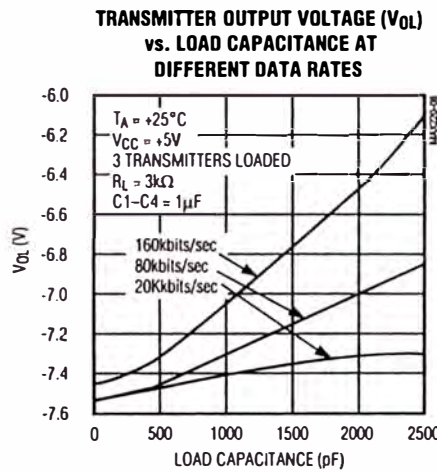
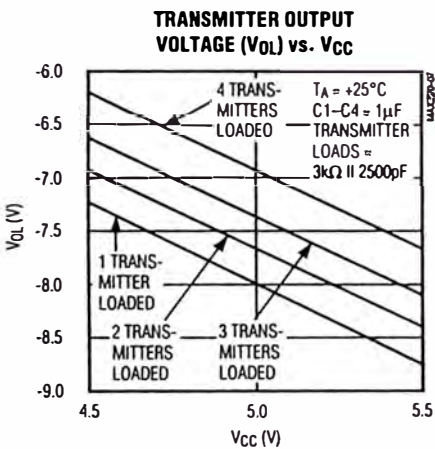
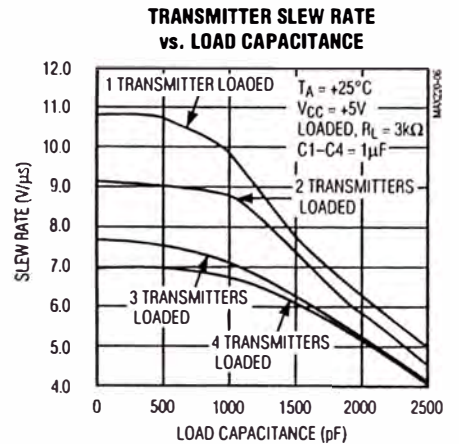
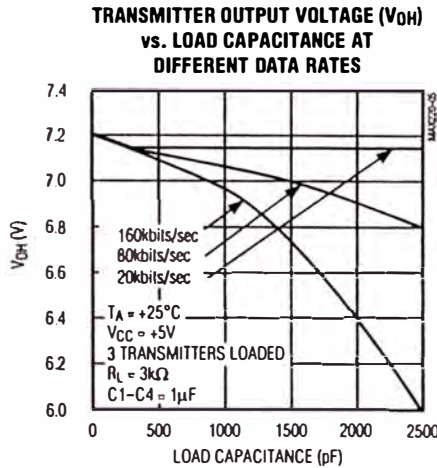
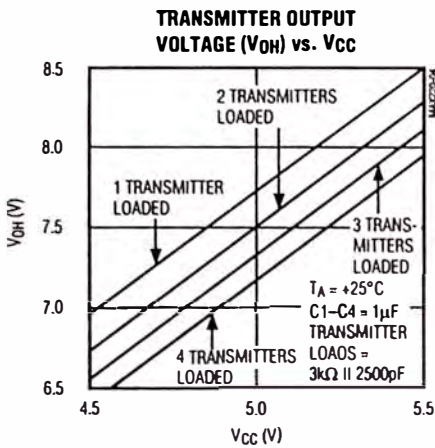
PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
RS-232 Input Threshold Low	$T_A = +25^\circ\text{C}$ , $V_{CC} = 5V$	Normal operation $\overline{\text{SHDN}} = 5V$ (MAX223) $\overline{\text{SHDN}} = 0V$ (MAX235/236/240/241)	0.8	1.2		V
		Shutdown (MAX223) $\overline{\text{SHDN}} = 0V$ , $\text{EN} = 5V$ ( $R_{4IN}$ , $R_{5IN}$ )	0.6	1.5		
RS-232 Input Threshold High	$T_A = +25^\circ\text{C}$ , $V_{CC} = 5V$	Normal operation $\overline{\text{SHDN}} = 5V$ (MAX223) $\overline{\text{SHDN}} = 0V$ (MAX235/236/240/241)		1.7	2.4	V
		Shutdown (MAX223) $\overline{\text{SHDN}} = 0V$ , $\text{EN} = 5V$ ( $R_{4IN}$ , $R_{5IN}$ )		1.5	2.4	
RS-232 Input Hysteresis	$V_{CC} = 5V$ , no hysteresis in shutdown		0.2	0.5	1.0	V
RS-232 Input Resistance	$T_A = +25^\circ\text{C}$ , $V_{CC} = 5V$		3	5	7	k $\Omega$
TTL/CMOS Output Voltage Low	$I_{OUT} = 1.6\text{mA}$ (MAX231/232/233, $I_{OUT} = 3.2\text{mA}$ )				0.4	V
TTL/CMOS Output Voltage High	$I_{OUT} = -1\text{mA}$		3.5	$V_{CC} - 0.4$		V
TTL/CMOS Output Leakage Current	$0V \leq R_{OUT} \leq V_{CC}$ ; $\text{EN} = 0V$ (MAX223); $\overline{\text{EN}} = V_{CC}$ (MAX235-241)			0.05	$\pm 10$	$\mu\text{A}$
Receiver Output Enable Time	Normal operation	MAX223		600		ns
		MAX235/236/239/240/241		400		
Receiver Output Disable Time	Normal operation	MAX223		900		ns
		MAX235/236/239/240/241		250		
Propagation Delay	RS-232 IN to TTL/CMOS OUT, $C_L = 150\text{pF}$	Normal operation		0.5	10	$\mu\text{s}$
		$\overline{\text{SHDN}} = 0V$ (MAX223)	$I_{PHLS}$	4	40	
			$I_{PLHS}$	6	40	
Transition Region Slew Rate	MAX223/MAX230/MAX234-241, $T_A = +25^\circ\text{C}$ , $V_{CC} = 5V$ , $R_L = 3\text{k}\Omega$ to $7\text{k}\Omega$ , $C_L = 50\text{pF}$ to $2500\text{pF}$ , measured from $+3V$ to $-3V$ or $-3V$ to $+3V$		3	5.1	30	V/ $\mu\text{s}$
	MAX231/MAX232/MAX233, $T_A = +25^\circ\text{C}$ , $V_{CC} = 5V$ , $R_L = 3\text{k}\Omega$ to $7\text{k}\Omega$ , $C_L = 50\text{pF}$ to $2500\text{pF}$ , measured from $+3V$ to $-3V$ or $-3V$ to $+3V$			4	30	
Transmitter Output Resistance	$V_{CC} = V+ = V- = 0V$ , $V_{OUT} = \pm 2V$		300			$\Omega$
Transmitter Output Short-Circuit Current				$\pm 10$		mA

# +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

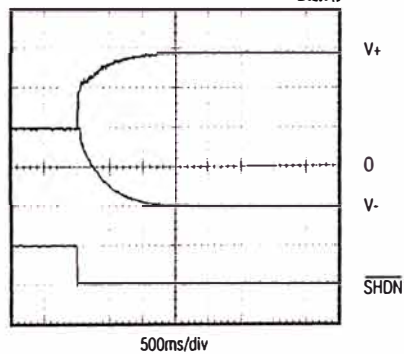
## Typical Operating Characteristics

### MAX223/MAX230-MAX241

MAX220-MAX249



**$V_+$ ,  $V_-$  WHEN EXITING SHUTDOWN ( $1\mu\text{F}$  CAPACITORS)**



\*SHUTDOWN POLARITY IS REVERSED FOR NON MAX241 PARTS

# +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS—MAX225/MAX244—MAX249

Supply Voltage (V <sub>CC</sub> )	-0.3V to +6V	Continuous Power Dissipation (T <sub>A</sub> = +70°C)	
Input Voltages		28-Pin Wide SO (derate 12.50mW/°C above +70°C)	1W
T <sub>IN</sub> , ENA, ENB, ENR, ENT, ENRA,		40-Pin Plastic DIP (derate 11.11mW/°C above +70°C)	611mW
ENRB, ENTA, ENTB	-0.3V to (V <sub>CC</sub> + 0.3V)	44-Pin PLCC (derate 13.33mW/°C above +70°C)	1.07W
R <sub>IN</sub>	±25V	Operating Temperature Ranges	
T <sub>OUT</sub> (Note 3)	±15V	MAX225C_-, MAX24_C_-	0°C to +70°C
R <sub>OUT</sub>	-0.3V to (V <sub>CC</sub> + 0.3V)	MAX225E_-, MAX24_E_-	-40°C to +85°C
Short Circuit (one output at a time)		Storage Temperature Range	-65°C to +160°C
T <sub>OUT</sub> to GND	Continuous	Lead Temperature (soldering, 10sec)	+300°C
R <sub>OUT</sub> to GND	Continuous		

**Note 4:** Input voltage measured with transmitter output in a high-impedance state, shutdown, or V<sub>CC</sub> = 0V.

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 in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX225/MAX244—MAX249

(MAX225, V<sub>CC</sub> = 5.0V ±5%; MAX244-MAX249, V<sub>CC</sub> = +5.0V ±10%, external capacitors C1-C4 = 1μF; T<sub>A</sub> = T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub>; unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
<b>RS-232 TRANSMITTERS</b>						
Input Logic Threshold Low			1.4	0.8	V	
Input Logic Threshold High		2	1.4		V	
Logic Pull-Up/Input Current	Tables 1a-1d	Normal operation		10	50	μA
		Shutdown		±0.01	±1	
Data Rate	Tables 1a-1d, normal operation		120	64	kbits/sec	
Output Voltage Swing	All transmitter outputs loaded with 3kΩ to GND	±5	±7.5		V	
Output Leakage Current (shutdown)	Tables 1a-1d	ENA, ENB, ENT, ENTA, ENTB = V <sub>CC</sub> , V <sub>OUT</sub> = ±15V		±0.01	±25	μA
		V <sub>CC</sub> = 0V, V <sub>OUT</sub> = ±15V		±0.01	±25	
Transmitter Output Resistance	V <sub>CC</sub> = V <sub>+</sub> = V <sub>-</sub> = 0V, V <sub>OUT</sub> = ±2V (Note 4)	300	10M		Ω	
Output Short-Circuit Current	V <sub>OUT</sub> = 0V	±7	±30		mA	
<b>RS-232 RECEIVERS</b>						
RS-232 Input Voltage Operating Range				±25	V	
RS-232 Input Threshold Low	V <sub>CC</sub> = 5V	0.8	1.3		V	
RS-232 Input Threshold High	V <sub>CC</sub> = 5V		1.8	2.4	V	
RS-232 Input Hysteresis	V <sub>CC</sub> = 5V	0.2	0.5	1.0	V	
RS-232 Input Resistance		3	5	7	kΩ	
TTL/CMOS Output Voltage Low	I <sub>OUT</sub> = 3.2mA		0.2	0.4	V	
TTL/CMOS Output Voltage High	I <sub>OUT</sub> = -1.0mA	3.5	V <sub>CC</sub> - 0.2		V	
TTL/CMOS Output Short-Circuit Current	Sourcing V <sub>OUT</sub> = GND	-2	-10		mA	
	Shrinking V <sub>OUT</sub> = V <sub>CC</sub>	10	30			
TTL/CMOS Output Leakage Current	Normal operation, outputs disabled, Tables 1a-1d, 0V ≤ V <sub>OUT</sub> ≤ V <sub>CC</sub> , ENR <sub>-</sub> = V <sub>CC</sub>		±0.05	±0.10	μA	

# +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

**MAX220-MAX249**

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX225/MAX244-MAX249 (continued)

(MAX225,  $V_{CC} = 5.0V \pm 5\%$ ; MAX244-MAX249,  $V_{CC} = +5.0V \pm 10\%$ , external capacitors C1-C4 = 1 $\mu$ F;  $T_A = T_{MIN}$  to  $T_{MAX}$ ; unless otherwise noted.)

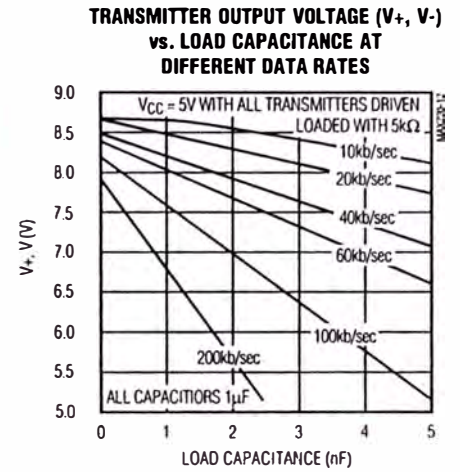
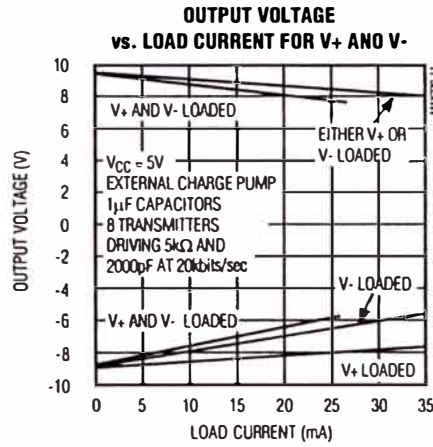
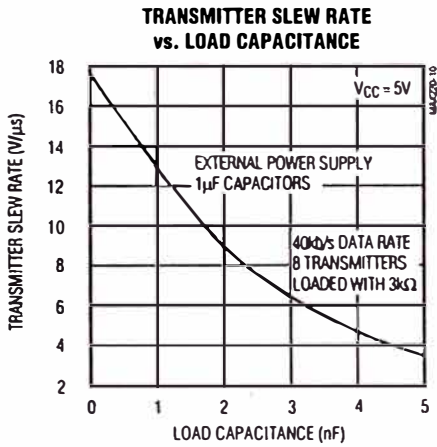
PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>POWER SUPPLY AND CONTROL LOGIC</b>						
Operating Supply Voltage		MAX225	4.75		5.25	V
		MAX244-MAX249	4.5		5.5	
$V_{CC}$ Supply Current (normal operation)	No load	MAX225		10	20	mA
		MAX244-MAX249		11	30	
	3k $\Omega$ loads on all outputs	MAX225		40		
		MAX244-MAX249		57		
Shutdown Supply Current	$T_A = +25^\circ\text{C}$			8	25	$\mu$ A
	$T_A = T_{MIN}$ to $T_{MAX}$				50	
Control Input	Leakage current				$\pm 1$	$\mu$ A
	Threshold low			1.4	0.8	V
	Threshold high		2.4	1.4		
<b>AC CHARACTERISTICS</b>						
Transition Slew Rate	$C_L = 50\text{pF}$ to 2500pF, $R_L = 3\text{k}\Omega$ to 7k $\Omega$ , $V_{CC} = 5V$ , $T_A = +25^\circ\text{C}$ , measured from +3V to -3V or -3V to +3V		5	10	30	V/ $\mu$ s
Transmitter Propagation Delay TLL to RS-232 (normal operation), Figure 1	$t_{PHLT}$			1.3	3.5	$\mu$ s
	$t_{PLHT}$			1.5	3.5	
Receiver Propagation Delay TLL to RS-232 (normal operation), Figure 2	$t_{PHLR}$			0.6	1.5	$\mu$ s
	$t_{PLHR}$			0.6	1.5	
Receiver Propagation Delay TLL to RS-232 (low-power mode), Figure 2	$t_{PHLS}$			0.6	10	$\mu$ s
	$t_{PLHS}$			3.0	10	
Transmitter + to - Propagation Delay Difference (normal operation)	$t_{PHLT} - t_{PLHT}$			350		ns
Receiver + to - Propagation Delay Difference (normal operation)	$t_{PHLR} - t_{PLHR}$			350		ns
Receiver-Output Enable Time, Figure 3	$t_{ER}$			100	500	ns
Receiver-Output Disable Time, Figure 3	$t_{DR}$			100	500	ns
Transmitter Enable Time	$t_{ET}$	MAX246-MAX249 (excludes charge-pump start-up)		5		$\mu$ s
		MAX225/MAX245-MAX249 (includes charge-pump start-up)		10		ms
Transmitter Disable Time, Figure 4	$t_{DT}$			100		ns

**Note 5:** The 300 $\Omega$  minimum specification complies with EIA/TIA-232E, but the actual resistance when in shutdown mode or  $V_{CC} = 0V$  is 10M $\Omega$  as is implied by the leakage specification.

# +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

## Typical Operating Characteristics

### MAX225/MAX244-MAX249





# +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

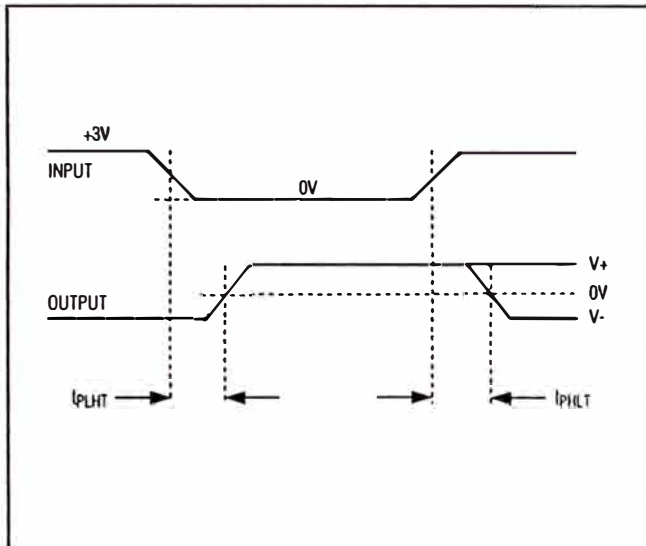


Figure 1. Transmitter Propagation-Delay Timing

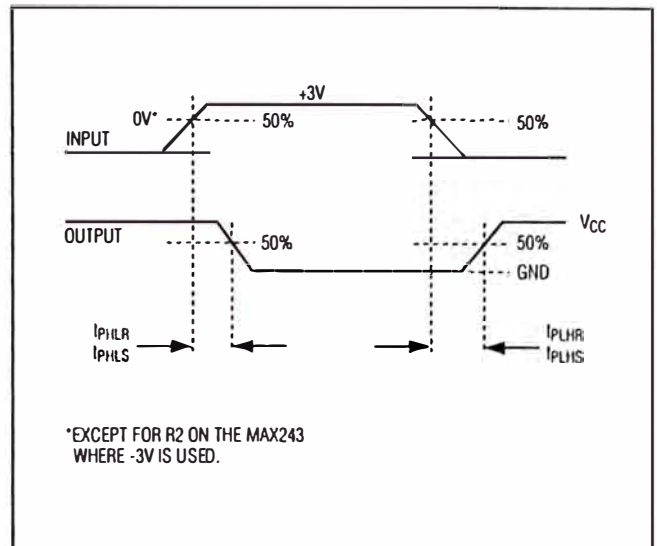


Figure 2. Receiver Propagation-Delay Timing

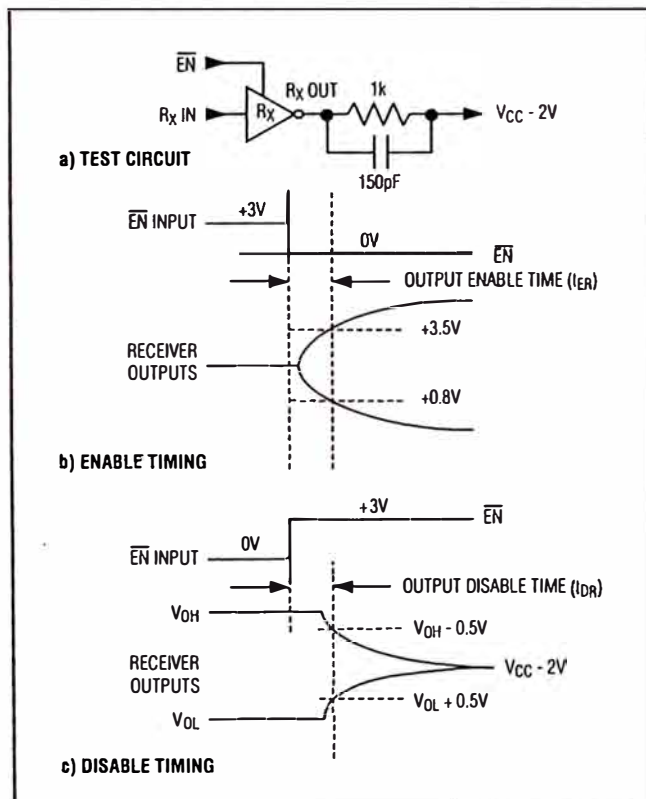


Figure 3. Receiver-Output Enable and Disable Timing

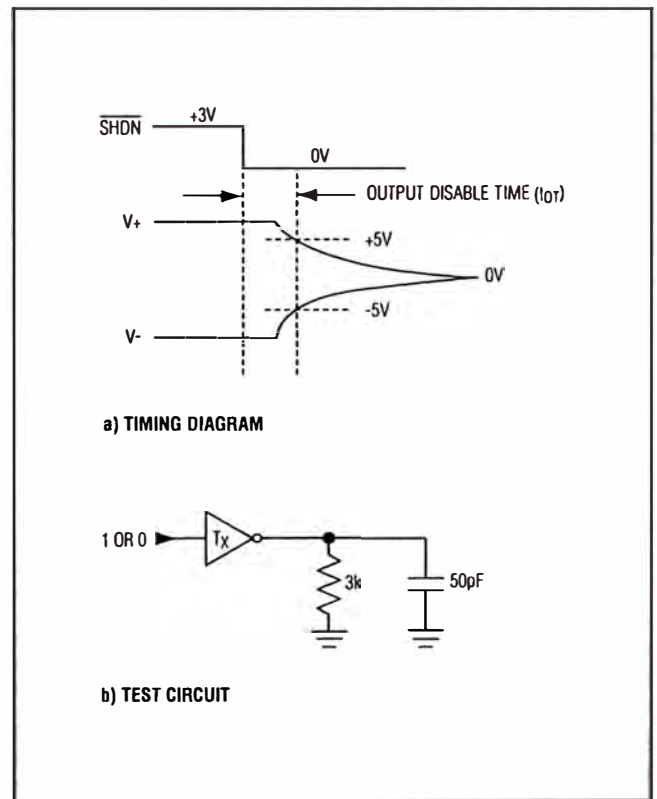


Figure 4. Transmitter-Output Disable Timing

## **+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers**

**Table 1a. MAX245 Control Pin Configurations**

$\overline{\text{ENT}}$	$\overline{\text{ENR}}$	OPERATION STATUS	TRANSMITTERS	RECEIVERS
0	0	Normal Operation	All Active	All Active
0	1	Normal Operation	All Active	All 3-State
1	0	Shutdown	All 3-State	All Low-Power Receive Mode
1	1	Shutdown	All 3-State	All 3-State

**Table 1b. MAX245 Control Pin Configurations**

$\overline{\text{ENT}}$	$\overline{\text{ENR}}$	OPERATION STATUS	TRANSMITTERS		RECEIVERS	
			TA1-TA4	TB1-TB4	RA1-RA5	RB1-RB5
0	0	Normal Operation	All Active	All Active	All Active	All Active
0	1	Normal Operation	All Active	All Active	RA1-RA4 3-State, RA5 Active	RB1-RB4 3-State, RB5 Active
1	0	Shutdown	All 3-State	All 3-State	All Low-Power Receive Mode	All Low-Power Receive Mode
1	1	Shutdown	All 3-State	All 3-State	RA1-RA4 3-State, RA5 Low-Power Receive Mode	RB1-RB4 3-State, RB5 Low-Power Receive Mode

**Table 1c. MAX246 Control Pin Configurations**

$\overline{\text{ENA}}$	$\overline{\text{ENB}}$	OPERATION STATUS	TRANSMITTERS		RECEIVERS	
			TA1-TA4	TB1-TB4	RA1-RA5	RB1-RB5
0	0	Normal Operation	All Active	All Active	All Active	All Active
0	1	Normal Operation	All Active	All 3-State	All Active	RB1-RB4 3-State, RB5 Active
1	0	Shutdown	All 3-State	All Active	RA1-RA4 3-State, RA5 Active	All Active
1	1	Shutdown	All 3-State	All 3-State	RA1-RA4 3-State, RA5 Low-Power Receive Mode	RB1-RB4 3-State, RA5 Low-Power Receive Mode

## +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

**MAX220-MAX249**

**Table 1d. MAX247/MAX248/MAX249 Control Pin Configurations**

$\overline{\text{ENTA}}$	$\overline{\text{ENTB}}$	$\overline{\text{ENRA}}$	$\overline{\text{ENRB}}$	OPERATION STATUS	TRANSMITTERS			RECEIVERS	
					MAX247	TA1-TA4	TB1-TB4	RA1-RA4	RB1-RB5
					MAX248	TA1-TA4	TB1-TB4	RA1-RA4	RB1-RB4
					MAX249	TA1-TA3	TB1-TB3	RA1-RA5	RB1-RB5
0	0	0	0	Normal Operation		All Active	All Active	All Active	All Active
0	0	0	1	Normal Operation		All Active	All Active	All Active	All 3-State, except RB5 stays active on MAX247
0	0	1	0	Normal Operation		All Active	All Active	All 3-State	All Active
0	0	1	1	Normal Operation		All Active	All Active	All 3-State	All 3-State, except RB5 stays active on MAX247
0	1	0	0	Normal Operation		All Active	All 3-State	All Active	All Active
0	1	0	1	Normal Operation		All Active	All 3-State	All Active	All 3-State, except RB5 stays active on MAX247
0	1	1	0	Normal Operation		All Active	All 3-State	All 3-State	All Active
0	1	1	1	Normal Operation		All Active	All 3-State	All 3-State	All 3-State, except RB5 stays active on MAX247
1	0	0	0	Normal Operation		All 3-State	All Active	All Active	All Active
1	0	0	1	Normal Operation		All 3-State	All Active	All Active	All 3-State, except RB5 stays active on MAX247
1	0	1	0	Normal Operation		All 3-State	All Active	All 3-State	All Active
1	0	1	1	Normal Operation		All 3-State	All Active	All 3-State	All 3-State, except RB5 stays active on MAX247
1	1	0	0	Shutdown		All 3-State	All 3-State	Low-Power Receive Mode	Low-Power Receive Mode
1	1	0	1	Shutdown		All 3-State	All 3-State	Low-Power Receive Mode	All 3-State, except RB5 stays active on MAX247
1	1	1	0	Shutdown		All 3-State	All 3-State	All 3-State	Low-Power Receive Mode
1	1	1	1	Shutdown		All 3-State	All 3-State	All 3-State	All 3-State, except RB5 stays active on MAX247

## +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

### Detailed Description

The MAX220-MAX249 contain four sections: dual charge-pump DC-DC voltage converters, RS-232 drivers, RS-232 receivers, and receiver and transmitter enable control inputs.

#### Dual Charge-Pump Voltage Converter

The MAX220-MAX249 have two internal charge-pumps that convert +5V to  $\pm 10V$  (unloaded) for RS-232 driver operation. The first converter uses capacitor C1 to double the +5V input to +10V on C3 at the V+ output. The second converter uses capacitor C2 to invert +10V to -10V on C4 at the V- output.

A small amount of power may be drawn from the +10V (V+) and -10V (V-) outputs to power external circuitry (see the *Typical Operating Characteristics* section), except on the MAX225 and MAX245-MAX247, where these pins are not available. V+ and V- are not regulated, so the output voltage drops with increasing load current. Do not load V+ and V- to a point that violates the minimum  $\pm 5V$  EIA/TIA-232E driver output voltage when sourcing current from V+ and V- to external circuitry.

When using the shutdown feature in the MAX222, MAX225, MAX230, MAX235, MAX236, MAX240, MAX241, and MAX245-MAX249, avoid using V+ and V- to power external circuitry. When these parts are shut down, V- falls to 0V, and V+ falls to +5V. For applications where a +10V external supply is applied to the V+ pin (instead of using the internal charge pump to generate +10V), the C1 capacitor must not be installed and the SHDN pin must be tied to VCC. This is because V+ is internally connected to VCC in shutdown mode.

#### RS-232 Drivers

The typical driver output voltage swing is  $\pm 8V$  when loaded with a nominal 5k $\Omega$  RS-232 receiver and VCC = +5V. Output swing is guaranteed to meet the EIA/TIA-232E and V.28 specification, which calls for  $\pm 5V$  minimum driver output levels under worst-case conditions. These include a minimum 3k $\Omega$  load, VCC = +4.5V, and maximum operating temperature. Unloaded driver output voltage ranges from (V+ -1.3V) to (V- +0.5V).

Input thresholds are both TTL and CMOS compatible. The inputs of unused drivers can be left unconnected since 400k $\Omega$  input pull-up resistors to VCC are built in (except for the MAX220). The pull-up resistors force the outputs of unused drivers low because all drivers invert. The internal input pull-up resistors typically source 12 $\mu A$ , except in shutdown mode where the pull-ups are disabled. Driver outputs turn off and enter a high-impedance state—where leakage current is typically microamperes (maximum 25 $\mu A$ )—when in shutdown

mode, in three-state mode, or when device power is removed. Outputs can be driven to  $\pm 15V$ . The power-supply current typically drops to 8 $\mu A$  in shutdown mode. The MAX220 does not have pull-up resistors to force the outputs of the unused drivers low. Connect unused inputs to GND or VCC.

The MAX239 has a receiver three-state control line, and the MAX223, MAX225, MAX235, MAX236, MAX240, and MAX241 have both a receiver three-state control line and a low-power shutdown control. Table 2 shows the effects of the shutdown control and receiver three-state control on the receiver outputs.

The receiver TTL/CMOS outputs are in a high-impedance, three-state mode whenever the three-state enable line is high (for the MAX225/MAX235/MAX236/MAX239-MAX241), and are also high-impedance whenever the shutdown control line is high.

When in low-power shutdown mode, the driver outputs are turned off and their leakage current is less than 1 $\mu A$  with the driver output pulled to ground. The driver output leakage remains less than 1 $\mu A$ , even if the transmitter output is backdriven between 0V and (VCC + 6V). Below -0.5V, the transmitter is diode clamped to ground with 1k $\Omega$  series impedance. The transmitter is also zener clamped to approximately VCC + 6V, with a series impedance of 1k $\Omega$ .

The driver output slew rate is limited to less than 30V/ $\mu s$  as required by the EIA/TIA-232E and V.28 specifications. Typical slew rates are 24V/ $\mu s$  unloaded and 10V/ $\mu s$  loaded with 3 $\Omega$  and 2500pF.

#### RS-232 Receivers

EIA/TIA-232E and V.28 specifications define a voltage level greater than 3V as a logic 0, so all receivers invert. Input thresholds are set at 0.8V and 2.4V, so receivers respond to TTL level inputs as well as EIA/TIA-232E and V.28 levels.

The receiver inputs withstand an input overvoltage up to  $\pm 25V$  and provide input terminating resistors with

**Table 2. Three-State Control of Receivers**

PART	SHDN	SHDN	EN	EN(R)	RECEIVERS
MAX223	—	Low High High	X Low High	—	High Impedance Active High Impedance
MAX225	—	—	—	Low High	High Impedance Active
MAX235 MAX236 MAX240	Low Low High	—	—	Low High X	High Impedance Active High Impedance

## +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

nominal 5k $\Omega$  values. The receivers implement Type 1 interpretation of the fault conditions of V.28 and EIA/TIA-232E.

The receiver input hysteresis is typically 0.5V with a guaranteed minimum of 0.2V. This produces clear output transitions with slow-moving input signals, even with moderate amounts of noise and ringing. The receiver propagation delay is typically 600ns and is independent of input swing direction.

### Low-Power Receive Mode

The low-power receive-mode feature of the MAX223, MAX242, and MAX245-MAX249 puts the IC into shutdown mode but still allows it to receive information. This is important for applications where systems are periodically awakened to look for activity. Using low-power receive mode, the system can still receive a signal that will activate it on command and prepare it for communication at faster data rates. This operation conserves system power.

### Negative Threshold—MAX243

The MAX243 is pin compatible with the MAX232A, differing only in that RS-232 cable fault protection is removed on one of the two receiver inputs. This means that control lines such as CTS and RTS can either be driven or left floating without interrupting communication. Different cables are not needed to interface with different pieces of equipment.

The input threshold of the receiver without cable fault protection is -0.8V rather than +1.4V. Its output goes positive only if the input is connected to a control line that is actively driven negative. If not driven, it defaults to the 0 or "OK to send" state. Normally, the MAX243's other receiver (+1.4V threshold) is used for the data line (TD or RD), while the negative threshold receiver is connected to the control line (DTR, DTS, CTS, RTS, etc.).

Other members of the RS-232 family implement the optional cable fault protection as specified by EIA/TIA-232E specifications. This means a receiver output goes high whenever its input is driven negative, left floating, or shorted to ground. The high output tells the serial communications IC to stop sending data. To avoid this, the control lines must either be driven or connected with jumpers to an appropriate positive voltage level.

### Shutdown—MAX222-MAX242

On the MAX222, MAX235, MAX236, MAX240, and MAX241, all receivers are disabled during shutdown. On the MAX223 and MAX242, two receivers continue to operate in a reduced power mode when the chip is in shutdown. Under these conditions, the propagation delay increases to about 2.5 $\mu$ s for a high-to-low input transition. When in shutdown, the receiver acts as a CMOS inverter with no hysteresis. The MAX223 and MAX242 also have a receiver output enable input (EN for the MAX242 and EN for the MAX223) that allows receiver output control independent of SHDN (SHDN for MAX241). With all other devices, SHDN (SHDN for MAX241) also disables the receiver outputs.

The MAX225 provides five transmitters and five receivers, while the MAX245 provides ten receivers and eight transmitters. Both devices have separate receiver and transmitter-enable controls. The charge pumps turn off and the devices shut down when a logic high is applied to the ENT input. In this state, the supply current drops to less than 25 $\mu$ A and the receivers continue to operate in a low-power receive mode. Driver outputs enter a high-impedance state (three-state mode). On the MAX225, all five receivers are controlled by the ENR input. On the MAX245, eight of the receiver outputs are controlled by the ENR input, while the remaining two receivers (RA5 and RB5) are always active. RA1-RA4 and RB1-RB4 are put in a three-state mode when ENR is a logic high.

### Receiver and Transmitter Enable Control Inputs

The MAX225 and MAX245-MAX249 feature transmitter and receiver enable controls.

The receivers have three modes of operation: full-speed receive (normal active), three-state (disabled), and low-power receive (enabled receivers continue to function at lower data rates). The receiver enable inputs control the full-speed receive and three-state modes. The transmitters have two modes of operation: full-speed transmit (normal active) and three-state (disabled). The transmitter enable inputs also control the shutdown mode. The device enters shutdown mode when all transmitters are disabled. Enabled receivers function in the low-power receive mode when in shutdown.

# +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

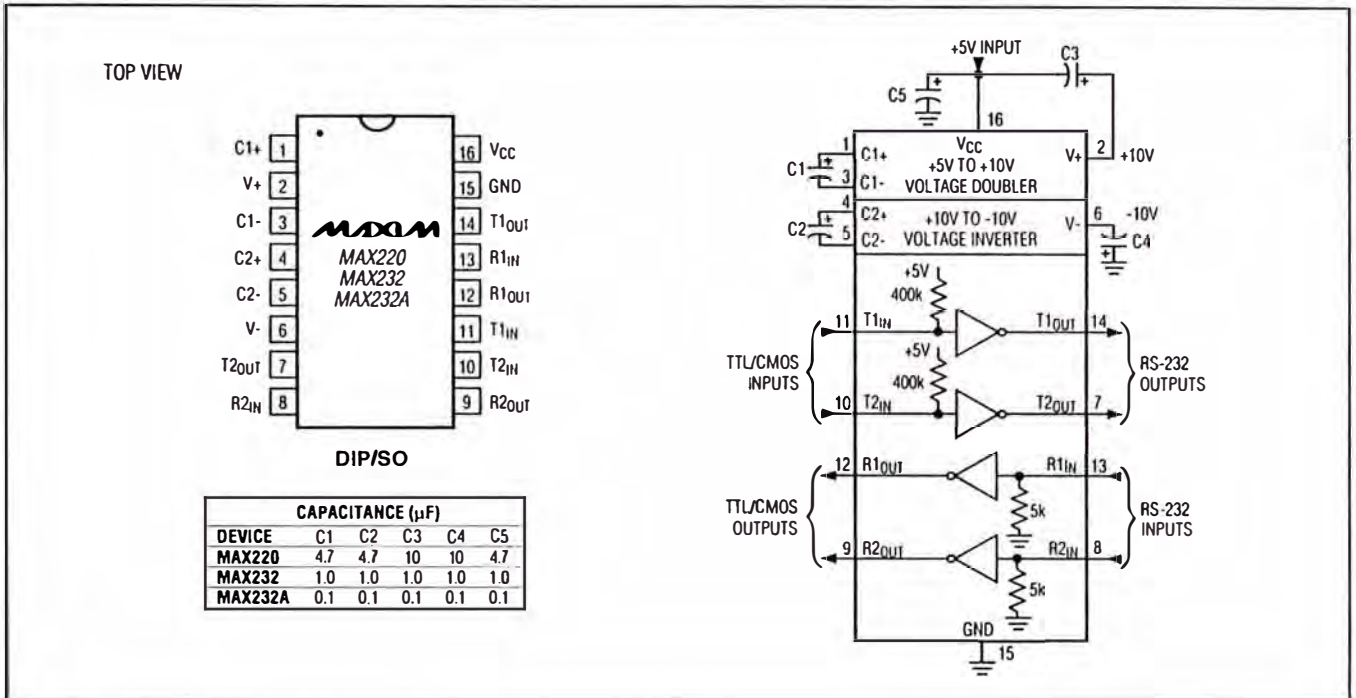


Figure 5. MAX220/MAX232/MAX232A Pin Configuration and Typical Operating Circuit

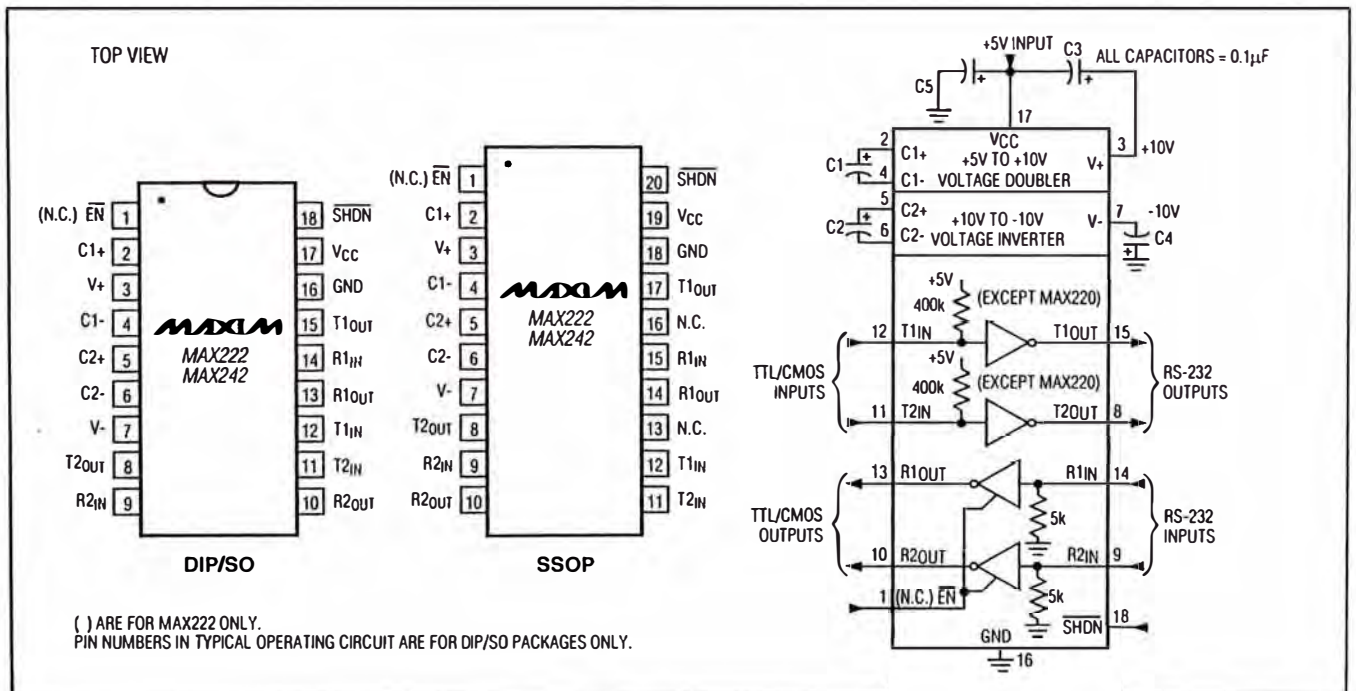


Figure 6. MAX222/MAX242 Pin Configurations and Typical Operating Circuit

## BIBLIOGRAFÍA

1. Valera P., Aníbal ENERGÍA SOLAR  
UNI – 1995.
2. J.M. Chasseriaux CONVERSIÓN TÉRMICA DE LA RADIACIÓN  
SOLAR  
Librería Agropecuaria S.A. – 1990.
3. Boylestad, Robert ELECTRÓNICA: TEORICA DE CIRCUITOS  
México. PRINCE HALL HISPANOAMERICANA  
S.A. 1989.
4. Angulo Usástegui, José MICROCONTROLADORES PIC: DISEÑO  
PRÁCTICO Y APLICACIONES  
McGRAW-HILL/IBEROAMERICANA DE  
ESPAÑA, S.A.U. – 1999.
5. Brey, Barry B. LOS MICROPROCESADORES INTEL  
México. PRINCE HALL HISPANOAMERICANA  
S.A. 1994.
6. Microchip Technologies MICROCONTROLADORES PIC 16F877  
[www.microchip.com/](http://www.microchip.com/)
7. Microchip Technologies MEMORIA EEPROM 24LC256  
[www.microchip.com/](http://www.microchip.com/)
8. Microchip Technologies MPASM ASSEMBLER USER'S GUIDE  
[www.microchip.com/](http://www.microchip.com/)
9. Francisco Charte Ojeda PROGRAMACIÓN CON VISUAL BASIC 6  
EDICIONES ANAYA MULTIMEDIA S.A. 1998.
10. Páginas Web con información sobre microcontroladores  
<http://www.superpic.com>  
<http://www.microchip.com>  
<http://www.hobbiepic.com>  
<http://www.cekit.com>