

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**“Diseño y Construcción de un Instrumento electrónico  
para cuantificar magnitudes físicas (DataLogger).  
Primera Etapa: Medir la Temperatura”**

PRESENTADO POR:  
**QUIJADA VALLE, OBED MANACES  
ARGUETA SORTO, ANGELBERTO**

PARA OPTAR AL TITULO DE:  
**INGENIERO ELECTRICISTA**

CIUDAD UNIVERSITARIA, AGOSTO 2011

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR :**

**MSc. RUFINO ANTONIO QUEZADA SÁNCHEZ**

**SECRETARIO GENERAL :**

**LIC. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHÁVEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**DECANO :**

**ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO**

**SECRETARIO :**

**ING. OSCAR EDUARDO MARROQUÍN HERNÁNDEZ**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**DIRECTOR :**

**ING. JOSÉ WILBER CALDERÓN URRUTIA**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

Título :

**“Diseño y Construcción de un Instrumento electrónico  
para cuantificar magnitudes físicas (DataLogger).  
Primera Etapa: Medir la Temperatura”**

Presentado por :

**QUIJADA VALLE, OBED MANACES**

**ARGUETA SORTO, ANGELBERTO**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director :

**ING. CARLOS OSMIN POCASANGRE JIMENEZ**

San Salvador, Agosto 2011

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director :

**ING. CARLOS OSMIN POCASANGRE JIMENEZ**

*Si piensas que estas vencido, lo estás.  
Si piensas que no te atreves, así es  
Si te gusta ganar pero piensas que no puedes  
Es casi seguro: no ganarás.  
Si piensas que perderás, estás perdido,  
Pues el mundo nos enseña  
Que el éxito empieza en la voluntad del hombre.  
Todo está en el estado de ánimo.  
Si piensas que eres superior, lo eres.  
Has tenido que pensar alto para ascender,  
Has tenido que estar seguro de ti mismo  
Antes de ganar ningún premio.  
Las batallas de la vida no siempre favorecen  
Al hombre más fuerte o al más rápido,  
Pero tarde o temprano el hombre que gana  
¡Es el hombre que cree que puede!*

*Napoleón*

## DEDICATORIA

*A Dios nuestro divino creador que siempre me ha llevado de la mano y me ha permitido tener para cosechar, así como también la oportunidad de acumular las experiencias que han servido de base para la realización de este proyecto que realice llenándome de alegría y motivación...*

*A mi madre Rosario Valle Viuda de Quijada por ser la mujer a quien admiro, respeto y amo, que siempre procuro mi bienestar y me formo como persona.*

*A mis hermanas y hermanos, Fátima, Maynol y muy especialmente a Reina y Beti por alentarme siempre a continuar sin importar los obstáculos que se presentaban.*

*A mi tía muy querida que ya no se encuentra entre nosotros, Sor Angelina Valle quien siempre me acompañó con su aliento, amor incondicional y oraciones para seguir adelante, descanse en paz tía...*

*A mi estimada prima Emperatriz con quien compartí mucho tiempo de mi carrera, gracias por darme su ayuda siempre que la necesite.*

*A mis mejores amigos y amigas Domingo y Patricia Deras, Magaly, Claudia, Zuleyma, Larisa, Santa Cruz, y todos aquellos que contribuyeron de una u otra manera para la realización de este proyecto y todas aquellas otras que estuvieron a mi lado y que en este momento he dejado de nombrar.*

**Obed Manaces Quijada Valle**

*Al Señor quien me ha llevado a reconocer que es Su bondad y Su gracia sobre mi vida la que genera todos mis éxitos.*

*Les dedico este trabajo a mis padres Tulio Argueta y Claribel Soto, por apoyarme y por tener su confianza de que lograría alcanzar este momento, por todos sus cuidados y consejos a lo largo de mi vida.*

*A mi querida esposa Edith Maricela Romero por apoyarme y alentarme a salir adelante, gracias por acompañarme en todos mis desvelos y momentos de preocupación y a mi amada hija recién nacida Ángela Josabeth por darme la alegría de tenerte con migo.*

*A mis hermanos Tulio y Nidia por apoyarme siempre y en general a todos aquellos que me apoyaron de una u otra manera a lo largo de mi carrera.*

**Angelberto Argueta Sorto**

## **AGRADECIMIENTOS**

*Agradecemos a Dios por nuestro trabajo de investigación, por los buenos resultados que hemos obtenido y por todos aquellos logros que seguiremos obteniendo.*

*Agradecemos a nuestros Padres, por apoyarnos durante toda nuestra carrera, por animarnos a conseguir lo que queremos y ayudarnos cuando lo necesitábamos.*

*Agradecemos a Nuestro Docente Director, Ingeniero Carlos Osmin Pocasangre, por dirigirnos en este trabajo y por habernos apoyado en nuestros objetivos.*

*Agradecemos a cada uno de los docentes de la Escuela de Ingeniería Eléctrica ya que todos contribuyeron a nuestra formación académica y a motivarnos para superarnos cada día más.*

*Agradecemos a El señor Posada y a Juan por su ayuda al momento de hacer uso de los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Eléctrica.*

*Agradecemos a cada uno de nuestros amigos y compañeros de la carrera, lo más importante es unirse y salir adelante juntos, muchas gracias por su compañía, por animarnos unos a otros y disfrutar la carrera juntos.*

**Angelberto Sorto & Obed Quijada**

# INDICE

RESUMEN.....	v
INTRODUCCIÓN .....	vi
ALCANCES .....	viii
OBJETIVOS .....	ix
GLOSARIO TÉCNICO .....	x
CAPITULO 1. ANTECEDENTES Y GENERALIDADES DEL PROYECTO .....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.1.1. Monitoreo Termal del Volcán de Santa Ana .....	1
1.1.2. Técnicas Aplicadas para Monitoreo Volcánico.....	2
1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA.....	4
1.3. JUSTIFICACION .....	5
1.4. Sensor .....	6
1.5. Temperatura .....	6
1.5.1. Sensor de Temperatura.....	7
1.5.1.1. Historia de la medición de temperatura .....	7
1.5.1.2. Escalas actuales de temperatura .....	7
1.5.1.3. Escala Celsius .....	8
1.5.1.4. Escala de temperatura en el SI .....	8
1.5.1.5. Conversión de temperatura.....	9
1.5.1.6. Fenómenos utilizados para censar temperatura.....	11
1.5.1.7. Características de un sensor .....	11
1.5.1.8. Resolución y precisión .....	12
1.6. Sensor de temperatura LM35.....	14
1.7. Reloj de Tiempo Real DS1307 .....	15
1.7.1. ¿Cómo se conecta?.....	15
1.7.2. Circuito de conexión entre el reloj de tiempo real DS1307 con el microcontrolador PIC18F4550. ....	17
1.7.3. Código fuente encargado de establecer hora y fecha actual.....	19
1.8. Convertidor Analógico/Digital PCF8591 .....	21
1.8.1. Rutina que lee las entradas del A/D.....	23
1.8.2. Circuito de conexión entre el convertidor, el microcontrolador y los sensores de temperatura. ....	24
1.9. Teclado Matricial 4x4.....	25
1.9.1. Descripción del Teclado 4X4.....	25



1.9.2.	Circuito de conexión en Proteus entre el teclado 4X4, la pantalla LCD y el microcontrolador PIC18F4550. ....	27
1.10.	Memoria SD card .....	28
1.10.1.	Nuevos tipos de memoria SD .....	28
1.10.2.	Unidades de la PC para tecnología SD .....	30
1.10.3.	Clases en las memorias SD .....	31
1.10.4.	Capacidades de almacenamiento de la SD .....	31
1.10.5.	Resumen sobre la memoria SD .....	32
1.10.6.	Conexiones entre la SD Card y el microcontrolador PIC18F4550. ....	33
1.10.7.	Segmento de código para inicialización de la SD y creado del archivo para guardar.....	34
1.10.8.	Líneas de código encargado de guardar los datos leídos en el archivo creado.....	35
1.11.	Pantalla de Cristal Líquido o LCD .....	36
1.11.1.	Generalidades.....	36
1.11.2.	Conexiones hechas en Proteus entre la LCD y el microcontrolador. ....	37
1.11.3.	Código que inicializa la pantalla para ver los datos leídos .....	38
 CAPITULO 2. REALIZACION DEL DISEÑO .....		39
2.1.	Metodología de Diseño: .....	39
2.2.	Etapas básicas del proyecto:.....	39
2.2.1.	Sensores para Medición de Temperatura .....	39
2.2.2.	Hardware de adquisición, control y transmisión de datos .....	40
2.2.3.	Visualización de los datos adquiridos por los sensores: .....	40
2.3.	Materiales y métodos .....	40
2.3.1.	El microcontrolador .....	40
2.3.2.	Sistema de Archivos .....	41
2.3.3.	Almacenamiento de datos .....	41
2.3.4.	Hardware (interfaz SPI) .....	41
2.3.5.	Herramientas de Desarrollo .....	42
2.3.5.1.	Software PIC C Compiler .....	42
2.3.5.2.	Software Proteus .....	42
2.3.5.3.	Programador .....	42
2.4.	Diagrama del Sistema de Adquisición de Datos de Temperatura. ....	44
2.4.1.	Ubicación de los sensores .....	45
2.4.2.	Visualización de la variable temperatura en la PC .....	45
2.5.	Realización del Diseño .....	46
2.5.1.	Características eléctricas del sensor de temperatura .....	46

2.5.2.	Circuito de alimentación .....	47
2.5.3.	Componentes del circuito de alimentación .....	48
2.5.4.	Criterio de selección del microcontrolador PIC18F4550.....	49
2.6.	Diagrama general del instrumento de medición (DATALOGGER).....	51
2.7.	Lista de elementos a utilizar en el proyecto.....	52
2.8.	Montaje sobre la placa .....	56
2.9.	Circuito completo diseñado y simulado en Proteus.....	57
CAPITULO 3. RESULTADOS DEL PROYECTO .....		59
3.1.	Ubicación física de los sensores y el Datalogger al momento de la toma de datos.....	59
3.2.	Introducción.....	60
3.3.	Características del datalogger de temperatura.....	61
3.3.1.	Fundamento teórico.....	61
3.3.2.	Características generales del datalogger de temperatura.....	61
3.4.	Sensores de Temperatura.....	62
3.4.1.	LM35 .....	62
3.4.2.	Características del LM35. ....	63
3.5.	Control del datalogger de temperatura. ....	63
3.5.1.	Características del PIC18f4550.....	64
3.6.	Acondicionamiento de la señal de los sensores de temperatura. ....	65
3.6.1.	Acondicionamiento de la señal del LM35. ....	65
3.7.	Pruebas .....	65
3.7.1.	Resultado de las pruebas.....	66
3.8.	Análisis Económico .....	69
CAPITULO 4. MANUAL DE USUARIO .....		70
4.1.	Partes del Datalogger. ....	71
4.2.	Ensamble del Datalogger .....	72
4.3.	Funcionamiento del Datalogger. ....	73
4.4.	Apagado del Datalogger y retiro de Memoria SD.....	74
4.5.	Análisis de Datos en la PC.....	75

CONCLUSIONES.....	76
RECOMENDACIONES .....	78
BIBLIOGRAFIA .....	79
ANEXOS.....	81
Anexo 1. Datos técnicos del sensor LM35.....	81
Anexo 2. Datos técnicos del microcontrolador PIC18F4550.....	83
Anexo 3. Datos técnicos del convertidor A/D PCF8591 .....	85
Anexo 4. Datos técnicos del reloj de tiempo real DS1307 .....	87

## RESUMEN

En este proyecto se desarrolla una plataforma portable y autónoma de hardware y software, que dota a un sistema basado en un microcontrolador, de la capacidad de manejar tarjetas de memoria Flash SD.

El usuario del sistema es aquel que desarrolle una aplicación específica de adquisición de datos para almacenarlos en la tarjeta SD en forma de archivo de texto (con extensión \*.CSV). Por lo tanto, su contenido, podrá ser visualizado por casi todos los ordenadores, ya que la mayoría funcionan bajo el sistema operativo de Microsoft Windows.

El tipo de microcontrolador escogido limita en gran medida las aplicaciones. Además, su arquitectura también influye en la forma en la que se desarrolla el software para este. Por tanto se ha de entender que el sistema desarrollado es muy específico para los microcontroladores PIC.

Igualmente ocurre para el tipo de tarjeta de memoria Flash escogida, la tarjeta SD. Como "sistema de propósito general", tal y como se ha diseñado, ofrece las mayores posibilidades. El usuario puede utilizar un mismo sistema para realizar diversas tareas.

El módulo con el código correspondiente al manejo del sistema de archivos FAT16 lleva el nombre de **FAT16.c** y su archivo de cabecera lleva el nombre de **FAT16.h**. El cual provee al sistema de todas las funciones necesarias para el manejo de archivos y directorios; lo cual lo convierte en el módulo más importante y complejo.

## INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el uso de equipo registrador de datos para supervisar una amplia gama de variables ambientales como la temperatura, la radiación solar, cantidad de lluvia y los niveles de agua es cada vez más frecuente tanto que en la actualidad existe un buen número de estos aparatos para realizar estas funciones a costos bastante elevados.

Muchos equipos modernos como DataLogger (Registrador de Datos) ofrecen larga operación interna en las baterías junto con multi canal universal de la capacidad de entrada. Esto los hace ideales para su uso en el campo con una variedad de sensores ambientales. El registrador de datos básico de los insumos necesarios para estos sensores se enumera a continuación:

Los tres principales tipos de sensores de temperatura son termopares, sensores PT100 y termistores. Los termopares requieren un registrador de datos con alta resolución. Además requieren alimentación externa por lo que es ideal para su uso con registrador de datos de instalaciones en lugares remotos. Termistores son de bajo costo y preciso, pero no son lineales por lo que el registrador de datos necesita una tabla interna. Sensores PT100 son muy precisos, pero ya son muchos los dispositivos de tres hilos de bajo costo.

En base a lo anterior el proyecto que se implementa tiene como objetivo Diseñar y construir un prototipo de un Instrumento electrónico para cuantificar magnitudes físicas (DataLogger), para medir la temperatura, como primera etapa.

El presente documento esta estructura en tres capítulos los cuales se definen a continuación:

El primer capítulo titulado "Antecedentes y Generalidades del proyecto": Se hace una breve historia sobre aspectos de temperatura y sensores disponibles en el mercado así como sus características más importantes, además se presenta el diseño de los módulos

periféricos tales como: Reloj de tiempo real, Conversor, Teclado matricial, memoria externa y pantalla de cristal o LCD (se incluye base teórica, circuito de diseño y líneas de código que ejemplifican su función y funcionamiento junto con el microcontrolador).

En el segundo capítulo titulado “Realización del Diseño”: Se explica la metodología de diseño y un análisis más profundo sobre el uso y criterio de selección de los sensores y el microcontrolador, así como Materiales y métodos, sistemas de archivos, almacenamiento de datos, hardware, herramientas de desarrollo entre otros. Se presenta además el sistema general en forma de bloques también su diseño en ARES<sup>(1)</sup> y la ubicación física de los sensores y el DataLogger al momento de ponerse a funcionar.

En el tercer capítulo titulado “Resultados del Proyecto”: Se presenta el diseño y construcción final del DataLogger, explicando sus características generales de funcionalidad y limitantes. Se incluye además los resultados de las pruebas como su respectivo análisis económico y de legalidad. Al final se muestra un pequeño manual de usuario así como las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

(1) Es la herramienta de enrutado, ubicación y edición de componentes, se utiliza para la fabricación de placas de circuito impreso, permitiendo editar generalmente, las capas superficiales (Top Copper), y de soldadura (Bottom Copper).

## **ALCANCES**

Al finalizar el trabajo de graduación, se debe de tener un DataLogger Programable que se pueda Medir y cuantificar la variable Temperatura utilizando sensores; almacenándola por largos períodos de tiempo.

Para la programación del Microcontrolador se debe de utilizar el estándar de programación ANSI C/C++, y Buscarse un medio de visualización de los datos obtenidos. Como es un instrumento modular, debe de ser escalable ó ser capaz de soportar nuevos sensores que se diseñarán en futuros trabajos de graduación.

## OBJETIVOS

### Objetivo general:

Diseñar y construir un prototipo de un Instrumento electrónico para cuantificar magnitudes físicas (DataLogger), para medir la temperatura, como primera etapa.

### Objetivo específicos:

1. Construir un DataLogger utilizando tecnologías de microcontroladores y lenguaje de programación ANSI C/C++ de gama alta y 16 bits de procesamiento de palabras para así tener prestaciones adicionales.
2. Tener hardware de comunicación moderno como USB en el cual se pueda extraer los datos.
3. Disponer de suficiente memoria no volátil en el equipo, para poder almacenar mediciones a un máximo de 32,000 muestras compuestas por: Hora, fecha, valor de las variables físicas estudiadas.
4. Obtener un medio para analizar los datos almacenados por el DataLogger y así mostrarlos al usuario.
5. Medir y analizar como primera etapa la variable física TEMPERATURA, utilizando sensores, mostrando al final un mapa térmico.



## GLOSARIO TÉCNICO

- **DataLogger:** es un dispositivo electrónico que registra los datos en el tiempo o en relación a la ubicación ya sea con un sistema incorporado en el instrumento o sensor o por medio de instrumentos y sensores externos. Cada vez más, pero no del todo, se basa en un procesador digital (o equipo
- **Memoria Flash SD:** Una tarjeta de memoria o tarjeta de memoria flash es un dispositivo de almacenamiento que conserva la información que le ha sido almacenada de forma correcta aun con la pérdida de energía, es decir, es una memoria no volátil.
- **MEMORIA FLASH-NAND:** Es una tecnología desarrollada en la empresa Toshiba®; se basa en celdas de memoria NAND de tipo no volátil. Este tipo de celdas permiten conservar y guardar información sin necesidad de alimentación eléctrica hasta por 10 años y dependiendo el tipo de chip instalado, soportan como mínimo 10,000 ciclos de escritura y borrado de datos.
- **Termopares (Termocupla):** Es un transductor formado por la unión de dos metales distintos que produce un voltaje (efecto Seebeck), que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado "punto caliente" o unión caliente o de medida y el otro denominado "punto frío" o unión fría o de referencia.
- **Sensores PT100:** Termómetros de resistencia, también llamados detectores de temperatura de resistencia o resistencia dispositivos térmicos (I + D s), son la temperatura sensores que se aprovechan del cambio predecible en la resistencia eléctrica de algunos materiales con los cambios de temperatura.
- **Magnitud eléctrica:** Son las unidades de medida que sirven para identificar las características de un circuito eléctrico.

- **Magnitud física:** Es una propiedad o cualidad de un objeto o sistema físico a la que se le pueden asignar distintos valores como resultado de una medición cuantitativa.
- **Meteorología:** Es la ciencia interdisciplinaria, fundamentalmente una rama de la Física de la atmósfera, que estudia el estado del tiempo, el medio atmosférico, los fenómenos allí producidos y las leyes que lo rigen.
- **Fumarolas:** Es una mezcla de gases y vapores que surgen por las grietas exteriores de un volcán (o sea fuera de su cráter) a temperaturas altas. También se desprenden de las coladas de lava. Su composición varía según la temperatura a que son emitidas, de tal manera que este va cambiando a lo largo del "ciclo de vida" de una fumarola.
- **Magma:** Es una mezcla de alta temperatura compuesta de roca fundida (principalmente silicatos) y gases. Se halla en el interior de la tierra que tiende a ascender y a salir por las grietas de la corteza formando un volcán. El magma ascendente que, desde su generación hasta antes de su solidificación, extrude en la superficie, recibe el nombre de lava.
- **Recámara magmática:** Es un gran repositorio subterráneo de roca fundida llamada magma. Dentro de la cámara, el magma se encuentra a gran presión, y con el tiempo puede llegar a fracturar la roca que lo envuelve. Si el magma encuentra una salida hacia la superficie terrestre, el resultado es una erupción volcánica.
- **Sistemas de adquisición de datos:** Consiste, en tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora.
- **Sensor:** Es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas.
- **Sensor de temperatura:** Los sensores de temperatura se catalogan en dos series diferentes: TD y HEL/HRTS. Estos sensores consisten en una fina película de

resistencia variable con la temperatura (RTD) y están calibrados por láser para una mayor precisión e intercambiabilidad. Las salidas lineales son estables y rápidas.

- **Temperatura:** Una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, definida por el principio cero de la termodinámica.
- **Resolución de un sensor:** La resolución de un sensor es el menor cambio en la magnitud de entrada que se aprecia en la magnitud de salida.
- **Precisión de un sensor:** La precisión es el máximo error esperado en la medida.
- **Termometría:** Se encarga de la medición de la temperatura de cuerpos o sistemas. Para este fin, se utiliza el termómetro, que es un instrumento que se basa en la propiedad de dilatación de los cuerpos con el calor.
- **Termómetros:** Es un instrumento de medición de temperatura. Desde su invención ha evolucionado mucho, principalmente a partir del desarrollo de los termómetros electrónicos digitales.
- **Termistor:** Es un sensor resistivo de temperatura. Su funcionamiento se basa en la variación de la resistividad que presenta un semiconductor con la temperatura.
- **Bus i2c:** Es un bus de comunicaciones en serie. Es un bus muy usado en la industria, principalmente para comunicar microcontroladores y sus periféricos en sistemas integrados y generalizando más para comunicar circuitos integrados entre sí que normalmente residen en un mismo circuito impreso.
- **Microcontrolador:** Es un circuito integrado que incluye en su interior las tres unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada y salida.
- **Memoria MMC:** MultiMediaCard o MMC es un estándar de tarjeta de memoria. Prácticamente igual a la SD, carece de la pestaña de seguridad que evita sobrescribir la información grabada en ella.

- **Tarjeta SD:** Es un formato de tarjeta de memoria . Se utiliza en dispositivos portátiles tales como cámaras fotográficas digitales, PDA, teléfonos móviles, ordenadores portátiles e incluso videoconsolas.
- **Archivos FAT:** Es un formato popular para disquetes admitido prácticamente por todos los sistemas operativos existentes para computadora personal. Se utiliza como mecanismo de intercambio de datos entre sistemas operativos distintos que coexisten en la misma computadora, lo que se conoce como entorno multiarranque. También se utiliza en tarjetas de memoria y dispositivos similares.
- **Interface SPI:** El Bus SPI (del inglés *Serial Peripheral Interface*) es un estándar de comunicaciones, usado principalmente para la transferencia de información entre circuitos integrados en equipos electrónicos. El bus de interfaz de periféricos serie o bus SPI es un estándar para controlar casi cualquier dispositivo electrónico digital que acepte un flujo de bits serie regulado por un reloj
- **Proteus:** Es una compilación de programas de diseño y simulación electrónica, desarrollado por Labcenter Electronics que consta de los dos programas principales: Ares e Isis, y los módulos VSM y Electra.
- **Ares de Proteus:** Es la herramienta de enrutado, ubicación y edición de componentes, se utiliza para la fabricación de placas de circuito impreso, permitiendo editar generalmente, las capas superficial (Top Copper), y de soldadura (Bottom Copper).
- **ISIS de Proteus:** Permite diseñar el plano eléctrico del circuito que se desea realizar con componentes muy variados, desde simples resistencias, hasta alguno que otro microprocesador o microcontrolador, incluyendo fuentes de alimentación, generadores de señales y muchos otros componentes con prestaciones diferentes. Los diseños realizados en Isis pueden ser simulados en tiempo real, mediante el módulo VSM, asociado directamente con ISIS.

- **Calibración:** Es una comparación entre las mediciones - uno de magnitud conocida o corrección hecha o un conjunto con un dispositivo y otro medición hecha en una forma tan similar como sea posible con un segundo dispositivo.

# CAPITULO 1

## ANTECEDENTES Y GENERALIDADES DEL PROYECTO

### 1.1. Antecedentes

En estudio de meteorología, los estudiosos de la antigua Grecia mostraban gran interés por la atmosfera. Ya en el año 400AC Aristóteles escribió un tratado llamado Meteorológica, donde abordaba el “estudio de las cosas que han sido elevadas”; un tercio del tratado está dedicado a los fenómenos atmosféricos y el termino meteorología deriva de su título. A lo largo de la historia, gran parte de los procesos realizados en el descubrimiento de leyes físicas y químicas se vio estimulado por la curiosidad que despertaban los fenómenos atmosféricos.

#### 1.1.1. Monitoreo Termal del Volcán de Santa Ana

El régimen termal del volcán de Santa Ana ha sido monitoreado al medir temperaturas en las fumarolas y en el lago del cráter desde 2002 a 2005.

SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales) monitoreo cinco fumarolas y lago del cráter, e investigadores de la UES (Universidad de El Salvador) monitorearon dos fumarolas y las tierras dentro del cráter del lago indicando un incremento en temperatura de 3.4 °C desde 2002 al 2004, sugiriendo un incremento en el flujo del calor en el lago durante ese periodo.

Este incremento en el flujo del calor pudiera ser producido por una nueva transferencia de magma a la recamara magmatica debajo del lago o la apertura de nuevos conductos permeables para la transferencia de gases y calor a la superficie.

Una estación de monitoreo continua dentro de los suelos del cráter registrando un incremento de temperatura de 84 °C a 95 °C tres días después de un derrumbe dentro del

cráter que lanzo ceniza y que fue dispersada alrededor del volcán (una explosión alrededor de junio 16 de 2005).

Después fue observada primeramente incandescencia en agosto 26 de 2005, medidas discretas de temperaturas en agosto 29 de 2005, una de las fumarolas mostro un incremento en temperatura de 11.8 °C con respecto a previas medidas. Además el mismo día, una nueva zona fumarolica fue identificada presentando altos flujos de CO<sub>2</sub> y temperaturas alrededor de 60 y 70 °C.

Estos resultados muestran incremento en temperaturas y cambios en el régimen termal del volcán de Santa Ana que pueden ser resumidos como sigue:

- a) Incremento gradual en la temperatura anual del lago.
- b) Incremento significativo en las temperaturas de las fumarolas dentro del cráter y
- c) La aparición de nuevas fumarolas en la frontera del cráter.

Estas observaciones termales pudieran ser consideradas como posibles señales precursoras de la erupción del volcán de Santa Ana el primero de octubre de 2005.

### 1.1.2. Técnicas Aplicadas para Monitoreo Volcánico.

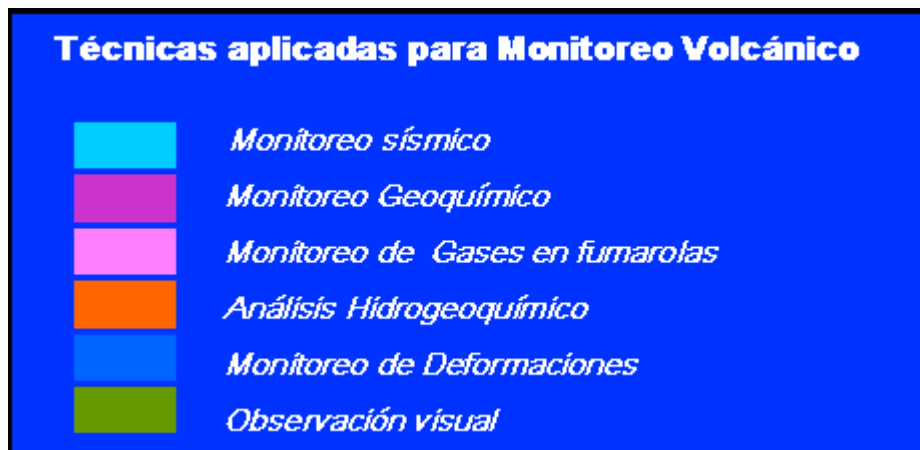





Figura 1.1. Técnicas para monitoreo volcánico (Ref. [www.gogle.SNET - Técnicas de monitoreo volcánico.htm](http://www.gogle.SNET - Técnicas de monitoreo volcánico.htm)).

**Tabla 1.1.** Tipos de monitoreo volcánico y equipos de apoyo.

	TIPOS DE MONITOREO	DESCRIPCION	EQUIPOS DE APOYO
I N S T R U M E N T A L	<p><b>GEOQUÍMICO</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Registro de la emisión difusa de CO<sub>2</sub> de los flancos de los volcanes.</li> <li>-Registro del contenido de Radón en agua</li> <li>- Toma de muestras de gases en modo discreto para análisis químico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Red de estaciones geoquímicas, financiadas por la Agencia de Cooperación Española: 2 estaciones de radón y 5 estaciones de CO<sub>2</sub>.</li> <li>- Registro de la emisión difusa de CO<sub>2</sub> en el volcán de San Miguel, además de un equipo móvil.</li> </ul>
	<p><b>HIDROGEOQUÍMICO</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis de la temperatura, el Ph y la composición (cloruros, sulfatos, etc.) de las aguas asociadas a los complejos volcánicos.</li> <li>- Las muestras se toman de lagunas, manantiales o pozos cercanos a los volcanes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Laboratorio de aguas de SNET (Servicio Hidrológico).</li> </ul>
D E  C A M P O	<p><b>TEMPERATURA FUMAROLAS</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Medida de temperatura en fumarolas, siempre que sea posible el acceso a las mismas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Termómetros de precision (Termocuplas)</li> </ul>



## 1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

Producto de utilizar en todos aquellos ámbitos en los que se deban realizar tomas de larga duración de un parámetro de medición sin la necesidad de contar con personal de control con una presencia continua en el lugar de la medición, se emplean datalogger sobre todo en pruebas de campo, en el control de transportes (p.e. transportes en camiones), en pruebas dentro de la industria alimentaria, para el análisis de errores de sistemas (p.e. en tensiones oscilatorias de o en un sistema), en estudios de calidad, en investigación y desarrollo y en formación.

Los datalogger están compuestos de un procesador programable, una memoria, puertos y de uno o varios canales de entrada para la conexión de diferentes sensores. Los datalogger suelen tener un abastecimiento propio de energía (p.e. una batería o acumulador). A través del sensor se reciben los datos de medición.

Un convertidor analógico-digital convierte los datos en datos electrónicos y los graba en la memoria. Esta puede ser una tarjeta de memoria, un EEPROM, un disco duro o cualquier otro medio. Al memorizar se puede prevenir una posible pérdida de datos (p.e. batería descargada).

Los datos registrados son transmitidos a través de los puertos (puerto de serie, USB, LAN, ó Bluetooth) y analizados por un software residente en una computadora.

A través de uno de los puertos se configura el quipo para su uso (p.e. inicio y fin de la medición, intervalos, etc.). Dependiendo de las mediciones los datalogger de datos pueden tener uno o más canales para poder conectar diferentes sensores simultáneamente.

### **1.3. JUSTIFICACION**

Los sistemas de adquisición de datos han avanzado de forma impresionante, y en la actualidad se cuenta con sistemas meteorológicos satelitales, proporcionando una mejor confiabilidad pero a costos muy elevados, por estas razones se ha propuesto realizar un diseño para mejorar el estado de los sensores a bajo costo y ubicarlos en los lugares que realmente se necesitan, por ejemplo en monitoreo de fumarolas en los volcanes.

El diseño de ingeniería para la digitalización de un instrumento de adquisición de datos analógicos (en este caso temperatura) que permite mantener un equilibrio en las acciones de operación, mantenimiento, legales y financieras desarrolladas a diario en un ámbito donde se desea monitorear constantemente la temperatura.

El impacto que genera este proyecto es positivo en el sector industria entre otros ya que se le dará una nueva y mejorada utilización pues se pretende que el proyecto quede abierto para que en un futuro pueda ser convertido en lo que es llamado un sistema de adquisición de datos meteorológicos, y que debido al gran avance tecnológico este también pueda ser mejorado de forma inalámbrica donde los sistemas son instalados a grandes distancias.

Además se espera reducir el costo de construcción drásticamente respecto al valor de instrumentos que se encuentran el mercado desarrollando la misma función.

#### **1.4. Sensor**

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, pH, etc.

Un sensor se diferencia de un transductor en que el sensor está siempre en contacto con la variable de instrumentación con lo que puede decirse también que es un dispositivo que aprovecha una de sus propiedades con el fin de adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro dispositivo. Es decir, un sensor es un elemento de un sistema de medida que es afectado directamente por el fenómeno, cuerpo o sustancia portador de la magnitud a ser medida; Y un transductor es un dispositivo usado en mediciones, que hace corresponder una magnitud de entrada a una magnitud de salida según una relación determinada.

Como por ejemplo el termómetro de mercurio que aprovecha la propiedad que posee el mercurio de dilatarse o contraerse por la acción de la temperatura. Un sensor también puede decirse que es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra. Áreas de aplicación de los sensores: Industria automotriz, Industria aeroespacial, Medicina, Industria de manufactura, Robótica, etc.

Los sensores pueden estar conectados a un computador para obtener ventajas como son el acceso a una base de datos, la toma de valores desde el sensor, etc.

#### **1.5. Temperatura**

La temperatura es una magnitud referida a las nociones comunes de caliente o frío. Por lo general, un objeto más "*caliente*" que otro puede considerarse que tiene una temperatura mayor, y si es frío, se considera que tiene una temperatura menor. En física, se define como una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, definida por el principio cero de la termodinámica.

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 (Termocuplas), etc.

### **1.5.1. Sensor de Temperatura**

#### **1.5.1.1. Historia de la medición de temperatura**

La idea de medir la temperatura existe desde hace mucho tiempo. Uno de los primeros que quiso hacer una escala de temperatura fue Galen (170 ac). Tenía una escala de 4 grados de calor y cuatro de frío. Los antiguos instrumentos de medida de temperatura eran llamados termoscopios.

En 1610 Galileo introdujo vino en los termoscopios en vez de aire. En 1724 Gabriel Fahrenheit introdujo mercurio en los termoscopios. La razón por la que se usó el mercurio es porque la expansión térmica del mercurio es grande, mayoritariamente homogénea y no se pega al cristal. El mercurio también permanece en fase líquida durante un gran rango de temperatura; también es fácil de leer.

#### **1.5.1.2. Escalas actuales de temperatura**

Las escalas actuales de temperatura tienen dos puntos básicos: cuando el agua empieza a congelarse y cuando empieza a hervir. Entre estas dos temperaturas se establece una escala. Las dos escalas más populares son las escalas Celsius (hecha por Anders Celsius) y la Fahrenheit (hecha por Gabriel Fahrenheit).

La escala Fahrenheit se define de manera que el punto de congelación del agua es a 32 Fahrenheit y el de ebullición a 212 grados Fahrenheit. Esto significa que entre el punto de congelación y el de ebullición hay 180 divisiones. Fahrenheit introdujo su escala en 1724.

### **1.5.1.3. Otra escala es la Celsius**

En la escala Celsius el punto de congelación del agua se considera los 0 grados (centígrados) y el punto de ebullición los 100 grados (centígrados). Esta escala tiene 100 divisiones, y también es conocida como centiescala.

En 1948 los centígrados (escala centígrada) fueron sustituidos por los grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ). La escala Celsius se define por los dos puntos siguientes:

1. El punto triple del agua se define como  $0.01^{\circ}\text{C}$ .
2. Un grado Celsius equivale al cambio de temperatura de un grado en la escala de los gases ideales.

En la escala Celsius el punto de ebullición del agua a una presión de 1 atmósfera es fijado a  $99.975^{\circ}\text{C}$ . Con la centi-escala eran 100.

### **1.5.1.4. Escala de temperatura en el SI**

La temperatura está relacionada con la energía cinética de las moléculas. La energía cinética cambia cuando la temperatura cambia.

La temperatura se define como el intercambio de calor entre dos objetos. La escala fundamental de temperatura es la de Kelvin. La escala de temperatura de Kelvin depende del punto de cero absoluto. Este es el punto en el que las moléculas no se mueven más, de forma que no ceden calor. Esto ocurre en todas las moléculas. El punto de cero absoluto es de 0 K, que son  $-273.15^{\circ}\text{C}$ . La escala es la misma que la Celsius.

La temperatura del aire varía entre el día y la noche, entre una estación y otra, y también entre una ubicación geográfica y otra. Formalmente esta variable es una magnitud relacionada con la rapidez del movimiento de las partículas que constituyen la materia, es decir cuanta mayor agitación presenten éstas, mayor será la temperatura.

#### **1.5.1.5. Conversión de temperatura**

La temperatura es una propiedad física la cual se refiere a las nociones comunes de frío o calor, sin embargo su significado formal es más complejo, a menudo el calor o el frío percibido por las personas está más relacionado a ciertas sensaciones térmicas, que con la temperatura real. Esencialmente, la temperatura es una propiedad que poseen los sistemas físicos.

La temperatura está íntimamente relacionada con la energía interna de un sistema: a mayor temperatura mayor será la energía interna.

La temperatura es una propiedad intensiva es decir que no depende del tamaño del sistema, sino que es una propiedad que le es inherente y no depende ni de la cantidad de sustancia ni del material del que este compuesto.

Es posible expresar la misma temperatura en diferentes unidades para lo cual se pueden utilizar las siguientes tablas para su respectiva conversión.

**Tabla 1.2.** Fusión y ebullición.

ESCALA	Fusión	Ebullición
KELVIN	273.15 K	373.15 K
SELSIUS	0 °C	100 °C
FAHRENHEIT	32 °F	212 °F

### Conversión de temperatura.

Las siguientes formulas muestran como convertir de Fahrenheit a Celsius y viceversa y de Celsius a Kelvin respectivamente:

$$(Ec. 1.1) \quad C = \frac{5}{9}(F - 32)$$

$$(Ec. 1.2) \quad F = \frac{9}{5}C + 32$$

$$(Ec. 1.3) \quad K = C + 273$$

Los sensores electrónicos han ayudado a medir con mayor exactitud las magnitudes físicas; no se puede hablar de los sensores sin sus acondicionadores de señal, ya que normalmente entregan señales muy pequeñas y es muy importante equilibrar sus características, con las del circuito que le permiten adquirir, acondicionar, procesar y actuar con las señales.

Probablemente sea la temperatura el parámetro físico más común que se mide en una aplicación electrónica, incluso en muchos casos en que el parámetro de interés no es la temperatura, esta se ha de medir para incluir indirectamente su efecto en la medida deseada.

#### 1.5.1.6. Fenómenos utilizados para censar temperatura:

- 1) Variaciones en volumen o en estado de los cuerpos (sólidos, líquidos o gaseosos).
- 2) Variación de resistencia de un conductor (sondas de resistencia).
- 3) Variación de resistencia de un semiconductor (termistores).
- 4) Fem creada en la unión de dos metales distintos (termopares).
- 5) Intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación).

#### 1.5.1.7. Características de un sensor:

- Rango de medida: dominio en la magnitud medida en el que puede aplicarse el sensor.
- Precisión: es el error de medida máximo esperado.
- *Offset* o desviación de cero: valor de la variable de salida cuando la variable de entrada es nula. Si el rango de medida no llega a valores nulos de la variable de entrada, habitualmente se establece otro punto de referencia para definir el *offset*.
- Linealidad o correlación lineal.
- Sensibilidad de un sensor: relación entre la variación de la magnitud de salida y la variación de la magnitud de entrada.
- Resolución: mínima variación de la magnitud de entrada que puede apreciarse a la salida.
- Rapidez de respuesta: puede ser un tiempo fijo o depender de cuánto varíe la magnitud a medir. Depende de la capacidad del sistema para seguir las variaciones de la magnitud de entrada.
- Derivas: son otras magnitudes, aparte de la medida como magnitud de entrada, que influyen en la variable de salida. Por ejemplo, pueden ser condiciones ambientales, como la humedad, la temperatura u otras como el envejecimiento (oxidación, desgaste, etc.) del sensor.
- Repetitividad: error esperado al repetir varias veces la misma medida.



Un sensor es un tipo de transductor que transforma la magnitud que se quiere medir o controlar, en otra, que facilita su medida. Pueden ser de indicación directa (e.g. un termómetro de mercurio) o pueden estar conectados a un indicador (posiblemente a través de un convertidor analógico a digital, un computador y un display) de modo que los valores detectados puedan ser leídos por un humano.

#### **1.5.1.8. Resolución y precisión**

La resolución de un sensor es el menor cambio en la magnitud de entrada que se aprecia en la magnitud de salida. Sin embargo, la precisión es el máximo error esperado en la medida.

La resolución puede ser de menor valor que la precisión. Por ejemplo, si al medir una distancia la resolución es de 0.01 mm, pero la precisión es de 1 mm, entonces pueden apreciarse variaciones en la distancia medida de 0.01 mm, pero no puede asegurarse que haya un error de medición menor a 1 mm.

En la mayoría de los casos este exceso de resolución conlleva a un exceso innecesario en el coste del sistema. No obstante, en estos sistemas, si el error en la medida sigue una distribución normal o similar, lo cual es frecuente en errores accidentales, es decir, no sistemáticos, la repetitividad podría ser de un valor inferior a la precisión.

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

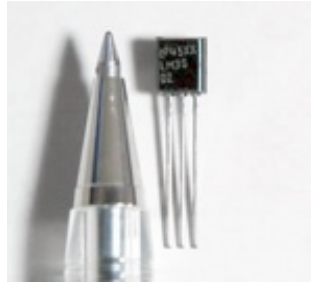
En la práctica existen numerosos tipos de sensores de temperatura o termómetros que, según la aplicación específica, pueden ser los más adecuados. En la tabla siguiente se indican algunos tipos de termómetros y sensores de temperatura usuales junto a algunas de sus características más notables.

**Tabla 1.3.** Termómetros y sensores más usuales con sus características más comunes.

Tipo de termómetro	Rango Nominal (°C)	Costo	Linealidad	Característica Notables
Termómetro de mercurio	-10 a 300	Bajo	Buena	Simple, lento y de lectura manual
Termorresistencia (Pt, Ni, etc.) RT (Resistance Temperatura 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

Termistor: Es un dispositivo que varía su resistencia eléctrica en función de la temperatura. Algunos termómetros hacen uso de circuitos integrados que contienen un termistor, como el LM35.

## 1.6. Sensor de temperatura LM35



**Figura 1. 2.** Una de las presentaciones del encapsulado LM35 (Ref.[www.nationalsemiconductor.com](http://www.nationalsemiconductor.com)).

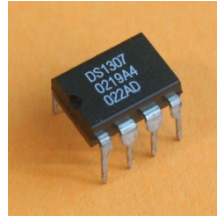
El viejo sensor de temperatura LM35 es un clásico en los circuitos comerciales y de aficionados.

Este pequeño sensor (y varios de sus "parientes") entrega diez milivoltios por cada grado centígrado (10mV/°C).

Permite una precisión importante, pudiendo leerse fracciones de grado. Pero para ello es necesario hacer un adecuado tratamiento de la señal, ya que al trabajar con tensiones tan pequeñas, cualquier ruido o interferencia puede hacer que se tome una lectura errónea, o a veces, errática.

La aplicación específica del LM35 en este proyecto se desarrolla en el capítulo III detallándose características y principio de funcionamiento dentro del DataLogger.

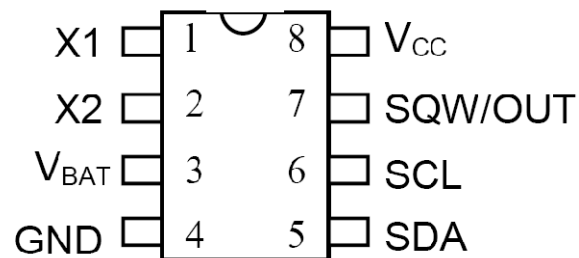
## 1.7. Reloj de Tiempo Real DS1307



**Figura 1.3.** Una de las presentaciones del encapsulado DS1307 (Ref. [www.maxim.com](http://www.maxim.com)).

El semiconductor Maxim/Dallas DS1307 es un reloj de tiempo real exacto, el cual automáticamente, mantiene el tiempo y la fecha actual, incluyendo compensación para meses con menos de 31 días y saltos de año. La dirección y los datos son transferidos serialmente por 2- hilos, en bus bi-direccional. También el reloj opera en formato de 24 horas o en formato de 12 horas AM/PM.

### 1.7.1. ¿Cómo se conecta?



**Figura 1.4.** Pines del reloj de tiempo real (Ref. Datasheet DS1307).

Según se ve en la figura anterior el DS1307 es un dispositivo de 8 pines al que se le conecta:

- Un cristal de cuarzo estándar, de bajo costo, a 32.76 KHz entre los pines 1 y 2 para proveer tiempo base exacto.

- Opcionalmente se le puede conectar al pin3, baterías de respaldo de 3 voltios, asegurando que se mantendrá el tiempo a la fecha aunque este desconectada la fuente de tensión del circuito principal. El circuito integrado automáticamente detecta que se ha removido la energía en el circuito principal y se conectan las baterías de respaldo cuando es requerido. La batería de respaldo puede durar hasta 10 años y se coloca en la misma base de circuito impreso.
- El pin 4 estará conectado a tierra y el pin 5 a positivo a una fuente de 5 voltios, el voltaje mínimo al que trabaja es 4.5 V y el máximo 5.5 V.
- Adicionalmente el circuito integrado DS1307 tiene dos características interesantes. El pin 7 es una salida de colector abierto, que puede ser programada para hacer “flash” cada 1 Hz. Esto permite la colocación de un led como indicador de segundos en aplicaciones de reloj. El circuito integrado también tiene 56 bytes de memoria RAM para propósito general, el cual puede ser usado como memoria extra por el Master PIC.
- El pin 6 (SCL) y el pin 5 (SDA) van conectados al PIC donde se transferirá la información de manera serial, el microcontrolador también tendrá identificadas las patas con SCL y SDA, en el caso de PIC18f4550 corresponden a los pines 33 y 34.

En este proyecto estos pines no fueron usados para el reloj de tiempo real ya que se utilizaron para la micro SD, en su defecto se usaron los pines 39 (como SDA) y 40 (como SCL) configurado a través de software. El código que se encarga de configurar los pines 39 y 40 en SDA y SCL respectivamente es:

```
1. #use I2C(MASTER, SDA=PIN_B6, SCL=PIN_B7, FORCE_SW)
```

En la hoja de especificaciones del fabricante del DS1307, se encontraron los siguientes detalles:

Slave address- 1101000xaddress size – byte bus speed – 100kHz

Esto significa que el comando i2c slave a programar en el PIC es el siguiente:

```
I2cslave %11010000, i2cslow, i2cbyte
```

Todos los datos de tiempo/fecha están en formato BCD, lo cual hace muy fácil su lectura y escritura usando notación hexadecimal. Por ejemplo 11:35 a.m. va a contener 11 en el registro de horas y 35 en el registro de minutos.

Debe tomarse en cuenta que el chip no va a operar hasta que sea puesto el tiempo y fecha actual. Al usar el DS 1307 es muy preciso y ayuda en gran cantidad de aplicaciones. Simplemente se necesita el integrado y el cristal y listo.

### 1.7.2. Circuito de conexión entre el reloj de tiempo real DS1307 con el microcontrolador PIC18F4550.

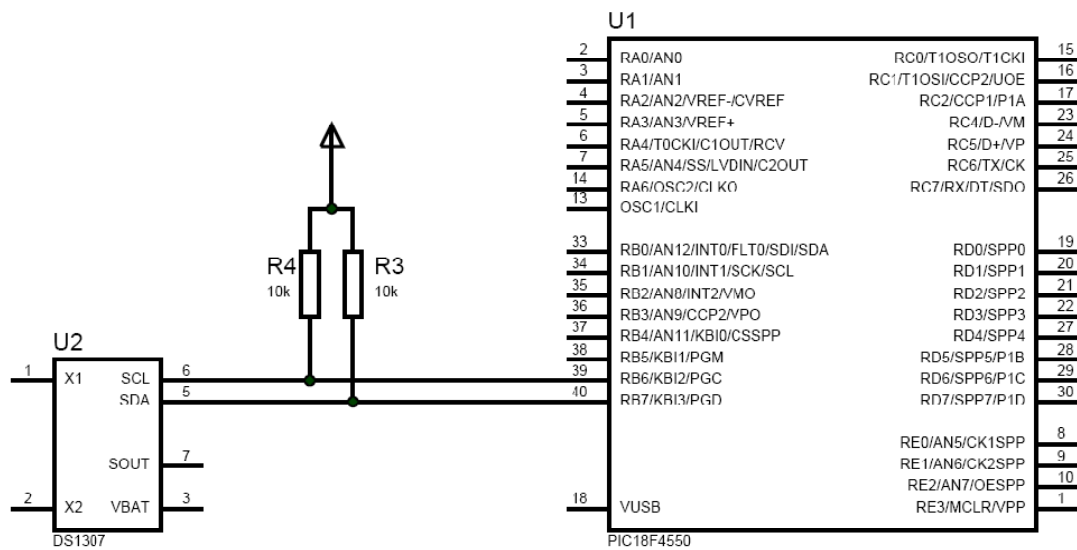


Figura 1.5. Conexiones del reloj de tiempo real DS1307 con el microcontrolador.

Como puede observarse en la figura anterior los pines 5 (SDA) y 6 (SCL) del reloj van conectadas a los pines 39 y 40 del PIC configurados por software como SDA y SCL

respectivamente a través de los cuales controla la hora y tiempo actual; entre estos dos pines se conecta dos resistencias de 10K ohm (pull- up).

Además se conecta un cristal de cuarzo de 32.768 MHz entre los pines 1 (X1) y 2 (X2) para manejar las oscilaciones del reloj.

### 1.7.3. El código fuente encargado de establecer hora y fecha actual es el siguiente:

```
1. void leer_ds1307() //rutina que lee los datos del DS1307
2. {
3.     intrespaldo;

4.     i2c_start(); //Start
5.     i2c_write(0b11010000); //Control
6.     i2c_write(0b00000000); //Direccion
7.     i2c_stop(); //Stop
8.     i2c_start(); //Start
9.     i2c_write(0b11010001); //Control Para lectura

10.    respaldo = i2c_read(); //Se lee los segundos
11.    uni_seg = respaldo;
12.    dec_seg = swap(respaldo);
13.    uni_seg&= 0x0f;
14.    dec_seg&= 0x0f;

15.    respaldo = i2c_read(); //Se lee los minutos
16.    uni_minu = respaldo;
17.    dec_minu = swap(respaldo);
18.    uni_minu&= 0x0f;
19.    dec_minu&= 0x0f;

20.    respaldo = i2c_read(); //Se lee las horas
21.    uni_hora = respaldo;
22.    dec_hora = swap(respaldo);
23.    uni_hora&= 0x0f;
24.    dec_hora&= 0x0f;

25.    respaldo = i2c_read(); //Se lee el día de la semana
26.    dia_sem = respaldo;

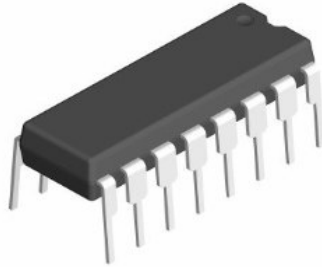
27.    respaldo = i2c_read(); //Se lee el día del mes
28.    uni_dia = respaldo;
29.    dec_dia = swap(respaldo);
30.    uni_dia&= 0x0f;
31.    dec_dia&= 0x0f;

32.    respaldo = i2c_read(); //Se lee el mes
33.    uni_mes = respaldo;
```



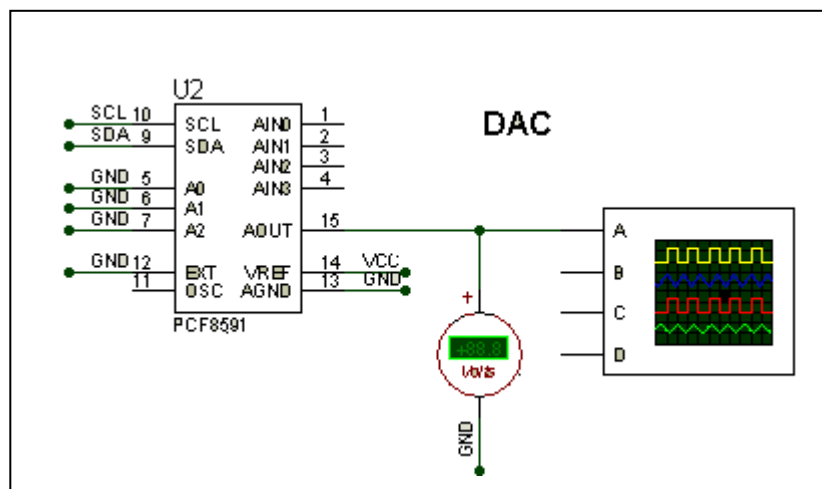
```
34. dec_mes = swap(respaldo);
35. uni_mes&= 0x0f;
36. dec_mes&= 0x0f;
37.
38. respaldo = i2c_read(); //Se lee los años
39. uni_amo = respaldo;
40. dec_amo = swap(respaldo);
41. uni_amo&= 0x0f;
42. dec_amo&= 0x0f;
43.
44. respaldo = i2c_read(0);
45.
46. i2c_stop(); //Stop
47. }
```

## 1. 8. Convertidor Analógico/Digital PCF8591



**Figura 1.6.** Presentación del encapsulado PCF8591 (PDIP).

En este proyecto se muestra como programar el conversor PCF 8591 Analógico-Digital de 8bits para que funcione en modo Conversor Analógico Digital. Para controlarlo se utilizara el PIC18F4450 y se emplea la comunicación I2C para manejar el conversor desde el PIC. Las conversiones realizadas por el PIC serán mostradas en un LCD alfanumérico de 4x20. El PIC estará programado en lenguaje C.



**Figura 1.7.** Algunas conexiones del convertidor.

Al leer las características que da el fabricante puede verse que para trabajar con el BUS I2C es necesario enviar en Byte la dirección válida del dispositivo.

Esta dirección consta de una parte fija (1001) y una parte programable perteneciente a los pines A0, A1, y A2 que son las entradas analógicas. Y luego se tiene el último Byte para la configuración de lectura o escritura. Esta dirección debe ser enviada como primer byte justo después de la condición de arranque del protocolo I2C {i2c\_start()}.

El segundo Byte que se manda sería "0100000", ya que el primer byte es fijo y la salida será analógica. El resto de los bits se pueden dejar en 0 puesto que no se utilizan.

Como se explica en las líneas anteriores para programar el PIC y poder controlar el conversor es necesario saber cómo vamos a trabajar con él. En este caso se trata de un conversor Analógico Digital. Cuando se manda el dato de dirección se envía esta trama "10010000" la cual nos permite escribir en él.

Una vez podamos escribir le mandaremos el modo de funcionamiento que deseamos tener. En este caso será "00000000" de este modo utilizara AIN0 como entrada Analógica y la conversión la hará por el canal 0. Una vez se logre esto se manda otra vez la trama de la dirección para leer mandando "10010011".

### 1.8.1. Rutina que lee las entradas del A/D

```
1. void leer_pcf()           // Rutina que lee las entradas del A/D
2. {
3.   i2c_start();           // Inicio la comunicación I2C
4.   i2c_write(0b10010000); // Envío Dirección I2C del PCF8591
5.   i2c_write(0b00000100); // Envío Configuración del PCF8591 para leer los 4 canales.
6.   i2c_stop();           //stop

7.   i2c_start();           //iniciamos comandos...
8.   i2c_write(0b10010001); //...de lectura
9.   temp4 = i2c_read();    //leer canal 4
10.  temp1 = i2c_read();    //leer canal 1
11.  temp2 = i2c_read();    //leer canal 2
12.  temp3 = i2c_read(0);   //leer canal 3 y no ack

13.  i2c_stop();           //stop
14. }
```

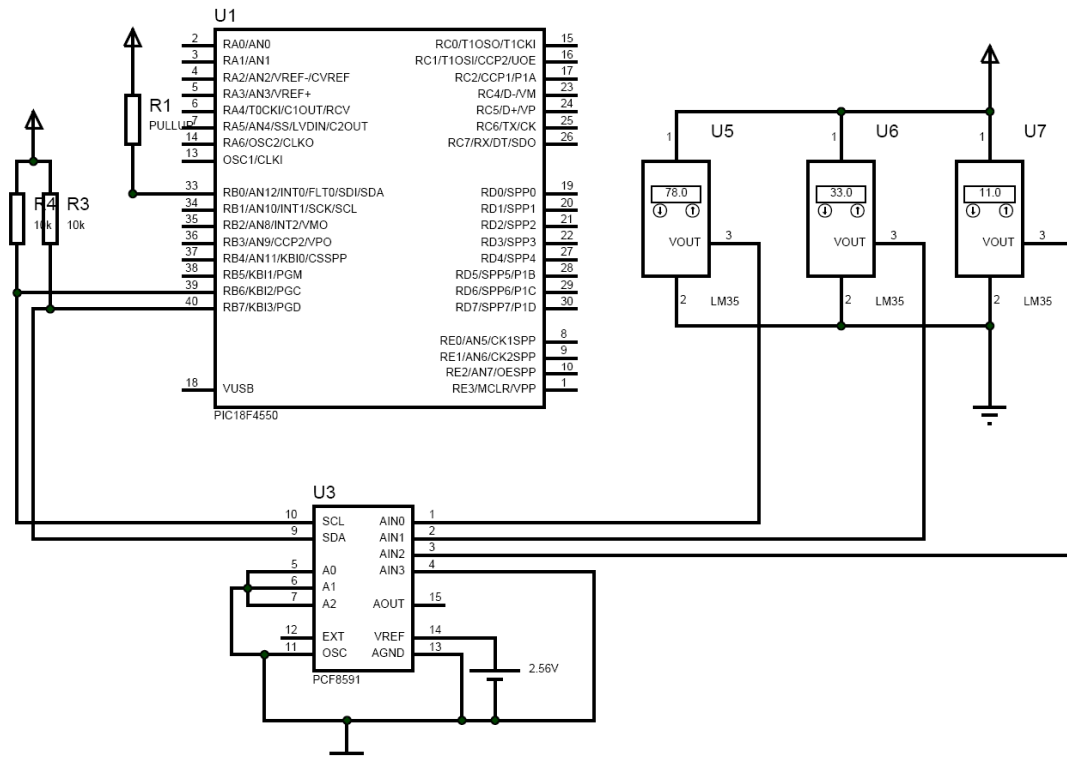
**NOTA:** Debido a que el PCF 8591 tiene tres pines de dirección (A0, A1 y A2) se puede tener  $2^3$  combinaciones es decir 8 direcciones distintas, esto indica que se pueden conectar 8 convertidores haciendo un total de 32 entradas para conectar igual número de sensores distintos, debido a que este convertidor tiene 4 entradas (A/N0, A/N1, A/N2 y A/N3). En este proyecto se utiliza un solo convertidor con tres de sus entradas analógicas.

Teniendo esto claro se puede programar el PIC. En el proyecto se leerá continuamente por el bus I2C lo que hay en el conversor. Los datos que se leen varían desde 0x00 a 0xFF ya que se trata de un conversor de 8 bits. Sabiendo que la tensión de referencia es de 2.56v y que hay 256 posibles lecturas hacemos una simple regla de tres y tendremos la conversión.

Con el código compilado pasamos a diseñar el circuito en Proteus para poder simularlo. Conectamos un voltímetro entre AIN0 para poder ver que tensión tiene a la entrada y comprobar si es correcta con la que lee el PIC. Para variar la tensión en AIN0 colocamos un potenciómetro. Después con un LCD se muestra la lectura del conversor ya tratada.

A continuación vemos como variando el potenciómetro que hace cambiar la tensión en AIN0 concuerda con los valores que aparecen en el LCD. Al tener una tensión de referencia de 2.56v las tensiones oscilaran entre 0v y 2.56v.

### 1.8.2. Circuito de conexión entre el convertidor, el microcontrolador y los sensores de temperatura.



**Figura 1.8.** Conexiones del Convertor con el PIC, se muestran además las conexiones de los sensores.

Puede observarse del circuito que las entradas 1 (A/N0), 2 (A/N1) y 3 (A/N2) del convertidor son las encargadas de leer los datos censados y enviados al microcontrolador a través de las líneas 9 (SDA) y 10 (SCL) que se conectan con los pines 39 (SDA) y 40(SCL) previamente configurados así por software.

## 1.9. Teclado Matricial 4x4

Todos los sistemas de desarrollo de Microelectrónica disponen de un gran número de módulos periféricos, ampliando el rango de aplicaciones de los microcontroladores y facilitando el proceso de probar los programas.

Aparte de estos módulos, es posible utilizar un gran número de módulos adicionales conectados al sistema de desarrollo por los conectores de puertos de E/S. Algunos de estos módulos adicionales pueden funcionar como dispositivos autónomos sin estar conectados al microcontrolador.

En algunas aplicaciones con microcontroladores, puede que sea necesario transmitir alguna información desde un microcontrolador hacia una computadora PC, y dependiendo de la aplicación puede que resulte ser conveniente utilizar un pequeño teclado para indicar cuál es esa información que se tiene que enviar, por ejemplo una clave que tenga que ser verificada o un comando que indique el inicio de un proceso, o simplemente la captura de algún dato importante.



**Figura 1.9.** Presentación del teclado matricial 4x4 (ref. [www.accecity.com](http://www.accecity.com)).

### 1.9.1. Descripción del Teclado 4X4

Dispositivo de entrada de datos que consta de 16 teclas o pulsadores, dispuestos e interconectados en 4 filas y 4 columnas organizadas en forma de matriz. Dispone de un

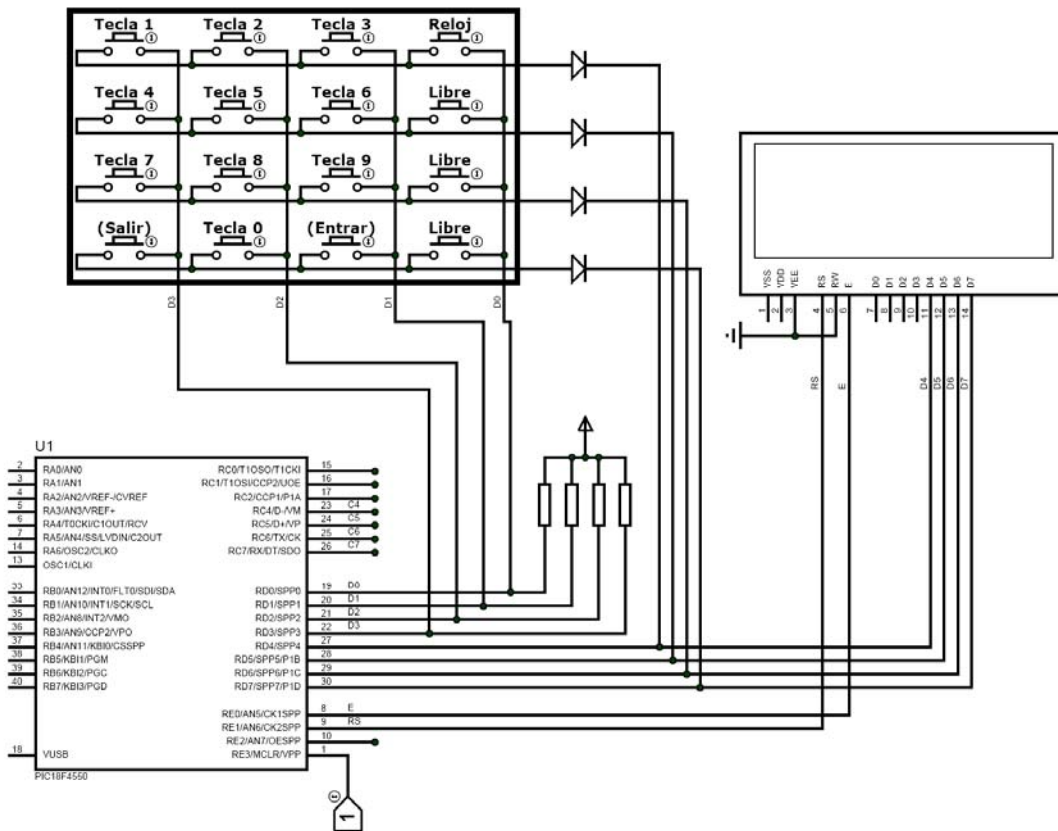
conector SIL (Single In Line) macho de 8 pines que se corresponden con las 4 filas y las cuatro columnas de las que dispone.

El Teclado 4X4 se utiliza para introducir los datos alfanuméricos en el microcontrolador. Está conectado al sistema a través del puerto D (D0-D7).

**El teclado se utiliza de la siguiente manera:**

1. Cuatro pines del microcontrolador se configuran como salidas, mientras que los otros cuatro pines se configuran como entradas. Para que el teclado funcione apropiadamente, las resistencias pull-down se deben conectar a los pines de entrada del microcontrolador. Así se define el estado lógico sin pulsar ningún botón.
2. Luego los pines de salida están a uno lógico (1), mientras que se lee el estado lógico de los pines de entrada. Al pulsar un botón, un uno lógico (1) aparecerá en algún pin de entrada.
3. Al combinar unos y ceros en los pines de salida, se define cual botón fue pulsado.

**1.9.2. Circuito de conexión en Proteus entre el teclado 4X4, la pantalla LCD y el microcontrolador PIC18F4550.**



**Figura 1.10.** Esquema de conexión entre el teclado, LCD y microcontrolador.

Del esquema anterior puede observarse que los pines D0-D4 del teclado corresponden a las entradas del mismo que se conectan con el PIC en las líneas 19, 20, 21 y 22 respectivamente. Las cuatro líneas restantes del teclado corresponden a la salida y se conectan con el microcontrolador a través de los pines 27, 28, 29 y 30.



### 1.10. Memoria SD card

SD proviene de las siglas ("*Secure Digital*") ó seguridad digital, debido a que cuenta con un cifrado de seguridad en el Hardware para protección de datos, algo que se utiliza muy poco por el usuario final.

Es una pequeña tarjeta de memoria basada en tecnología flash - NAND, la cual está diseñada para ser colocada como soporte de memoria en pequeños dispositivos electrónicos modernos tales como cámaras fotográficas digitales, reproductores MP4, teléfonos celulares, etc., los cuales cuentan con una ranura específica para ello.

Es sucesora de la memoria MMC, pero aún son compatibles. Es de los formatos más utilizados junto con MemoryStick de Sony®.

Compite actualmente contra otras tecnologías como tarjetas xD de Fuji®, Compact Flash y MemoryStick de Sony®.



**Figura 1.11.** Memoria SD, marca Kingston®, capacidad de 512 Mb.



**Figura 1.12.** Ejemplo de Lector Interno para trabajar con tarjetas de memoria digital.

#### 1.10.1. Nuevos tipos de memoria SD

Como parte del avance de la tecnología y la tendencia a la miniaturización de los dispositivos, las memorias SD han derivado en tarjetas de menor tamaño.

- **Memoria SD:** mide de alto 24 mm., ancho 32 mm. y espesor de 2.1 mm. Hay una nueva generación de tarjetas SD que tienen la característica de ser contra agua.



**Figura 1.13.** Memoria SD, marca Kingston®, capacidad de 512 Mb.

- **Memoria mini SD:** mide de alto 20 mm., ancho 21.5 mm. y espesor de 1.4 mm.



**Figura 1.14.** Memoria miniSD, marca Transcend®, capacidad para 2 Gb.

- **Memoria micro SD:** mide de alto 15 mm., ancho 11 mm. y espesor de 1 mm.



**Figura 1.15.** Memoria micro SD, marca Kingston®, capacidad para 1 Gb.

Para no perder compatibilidad entre ellas, se han diseñado adaptadores SD para poder utilizarlas en cualquier aparato que utilice tecnología SD ó adaptadores directamente a conectores USB.



**Figura 1.16.** Adaptador SD para micro SD, marca Kingston®

### 1.10.2. Unidades de la PC para tecnología SD

Se les llama unidades lectoras de memorias digitales, las cuáles integran varias ranuras para varios formatos de tarjetas de memorias digitales. Hay 4 tipos básicos de estos dispositivos:

**Tabla 1.4.** Unidades de la PC para tecnología SD.

Tipo de unidad	Características	Imagen
<p><b>Lectora interna de memorias digitales</b></p>	<p>Se monta en el gabinete de la computadora como cualquier disquetera o unidad óptica y se conecta hacia la tarjeta principal (Motherboard). Soportan hasta 32 tipos de memorias distintas.</p>	 <p>Figura 8. Lectora interna genérica de tarjetas de memoria para insertar en las bahías del gabinete.</p>
<p><b>Lectora externa de memorias digitales</b></p>	<p>Es un módulo del tamaño de una disquetera ó una lectora de DVD, que se conecta por medio de un cable hacia algún puerto USB. Soportan aproximadamente 20 tipos de memorias distintas.</p>	 <p>Figura 9. Lectora externa genérica de tarjetas de memoria externo para conectarse por medio del puerto USB.</p>
<p><b>Lectores PCMCIA de memorias digitales.</b></p>	<p>Es una pequeña tarjeta especial para su uso en las ranuras especiales llamadas PCMCIA de las computadoras portátiles, tales como <i>Laptop</i> y <i>Notebook</i>.</p>	 <p>Figura 10. Lector PCMCIA de memorias digitales, marca EDUP®, modelo MCR-5A.</p>
<p><b>Adaptadores USB</b></p>	<p>Es un dispositivo pequeño que soporta 3 ó 4 tipos de memorias digitales, este se conecta directamente al puerto USB.</p>	 <p>Figura 11. Adaptador para tarjetas de memoria con conexión directa al puerto USB, marca MicroTech®, modelo ZiO!</p>

### 1.10.3. Clases en las memorias SD

Debido a que las memorias SD han reemplazado del mercado a otros formatos en cuanto a almacenamiento de video, es necesario que tengan una alta velocidad de transmisión debido a que la información debe fluir muy rápido, principalmente video. Por lo anterior se han estandarizado cuatro clases que determinan la tasa de transferencia de la memoria SD, independientemente que tengan la misma capacidad entre sí:

**Tabla 1.5.** Clases en las memorias SD.

<b>Clase de memoria SD</b>	<b>Tasa de transferencia (Mb/s)</b>
<b>Clase 2</b>	<b>2 Megabytes/segundo</b>
<b>Clase 4</b>	<b>4 Mb/s</b>
<b>Clase 6</b>	<b>6 Mb/s</b>
<b>Clase 10</b>	<b>10 Mb/s</b>

### 1.10.4. Capacidades de almacenamiento de la SD

Las capacidades comerciales actuales son básicamente las siguientes:

**Tabla 1.6.** Capacidades de almacenamiento de la SD.

<b>Formato de memoria</b>	<b>Capacidades en Mb</b>
<b>SD</b>	32 Megabytes (Mb), 64 Mb, 128 Mb, 256 Mb , 512 Mb, 1 Gigabyte (Gb), 2 Gb, 4 Gb, 8 Gb, 16 Gb
<b>SD HC (High Capacity)</b>	4 Gb, 8 Gb y 16 Gb, 32 Gb
<b>MiniSD / SD Mini</b>	32 Mb, 64 Mb, 128 Mb, 256 Mb, 512 Mb, 1 Gb, 2 Gb, 4 Gb
<b>MiniSD HC (Clase 4)</b>	4 Gb, 8 Gb
<b>MicroSD / SD Micro</b>	32 Mb, 64 Mb, 128 Mb, 256 Mb, 512 Mb, 1 Gb, 2 Gb, 4 Gb, 8 Gb, 16 Gb
<b>MicroSD HC (Clase 2)</b>	16 Gb
<b>MicroSD HC (Clase 4)</b>	4 Gb, 8 Gb, 16 Gb
<b>MicroSD HC (Clase 6)</b>	8 Gb, 16 Gb

#### **1.10.5. Resumen sobre la memoria SD**

Secure Digital (SD) es un formato de tarjeta de memoria inventado por Panasonic. Se utiliza en dispositivos portátiles tales como cámaras fotográficas digitales, PDAs, teléfonos móviles e incluso videoconsolas (tanto de sobremesa como la Wii como portátiles como la Nintendo DSi), entre muchos otros.

Estas tarjetas tienen unas dimensiones de 32 mm x 24 mm x 2,1 mm. Existen dos tipos: unos que funcionan a velocidades normales, y otros de alta velocidad que tienen tasas de transferencia de datos más altas.

Algunas cámaras fotográficas digitales requieren tarjetas de alta velocidad para poder grabar vídeo con fluidez o para capturar múltiples fotografías en una sucesión rápida.

Los dispositivos con ranuras SD pueden utilizar tarjetas MMC, que son más finas, pero las tarjetas SD no caben en las ranuras MMC. Asimismo, se pueden utilizar directamente en las ranuras de CompactFlash o de PC Card con un adaptador.

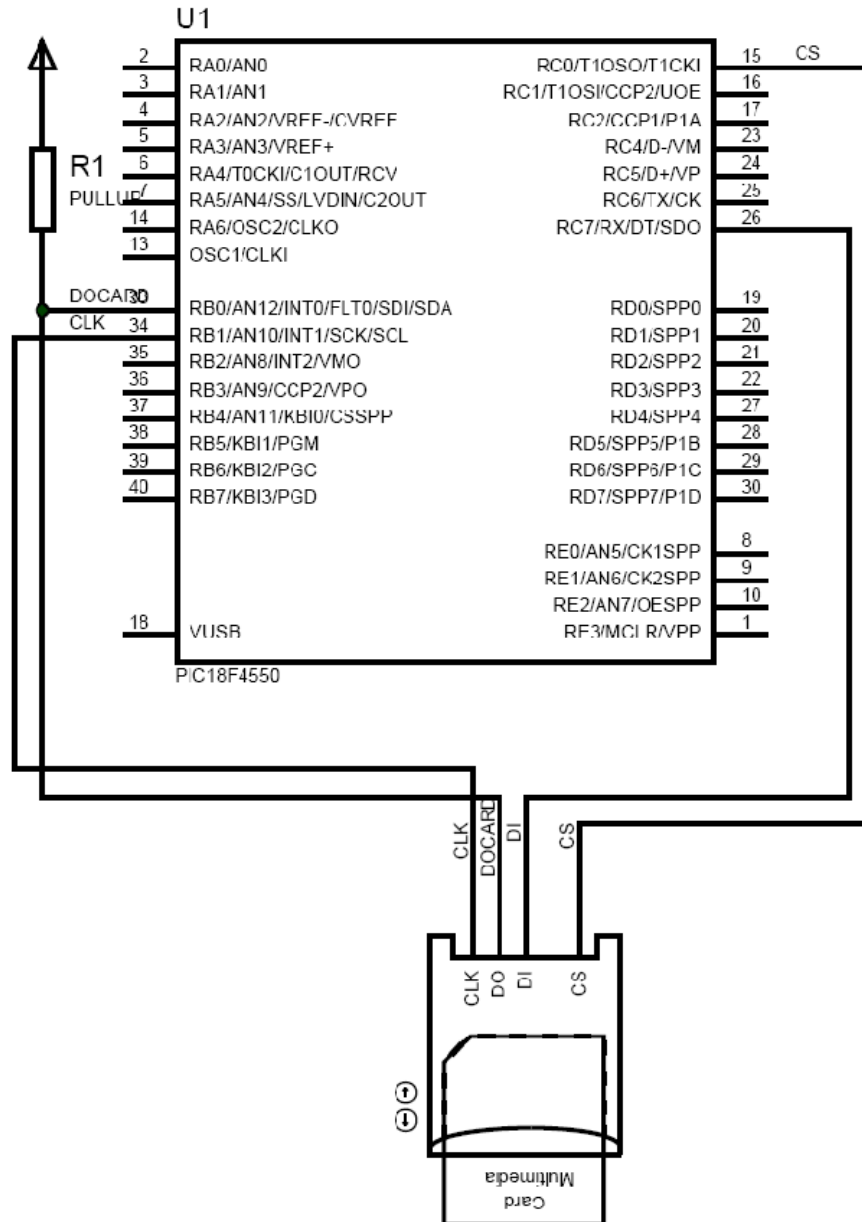
Sus variantes MiniSD y MicroSD se pueden utilizar, también directamente, en ranuras SD mediante un adaptador.

Hay algunas tarjetas SD que tienen un conector USB integrado con un doble propósito, y hay lectores que permiten que las tarjetas SD sean accesibles por medio de muchos puertos de conectividad como USB, FireWire y el puerto paralelo común. Las tarjetas SD también son accesibles mediante una disquetera usando un adaptador FlashPath.

Para este proyecto se utiliza la Micro SD de 1 GB que funciona a velocidades normales ya que la transferencia de datos del instrumento no requiere altas velocidades.

Se utiliza como medio de Comunicación entre el instrumento electrónico y la PC para el análisis de los datos tomados a través de un adaptador USB.

### 1.10.6. Conexiones entre la SD Card y el microcontrolador PIC18F4550.



**Figura 1.17.** Conexiones de la SD con el PIC.

Puede verse de la figura anterior que los pines DO y CLK de la SD se conectan con el PIC en los pines 33 y 34 para proporcionarle reloj y datos a guardar. Los pines restantes de la SD es decir CS y DI se comunican con el PIC a través de los pines 15 y 26 respectivamente.

### 1.10.7. Segmento de código para inicialización de la SD y creado del archivo para guardar.

```
1. if((SDCard_Init()==1) && (FAT_Init()==1)) //si se inicializan la SD y la FAT
2. {
3. msj3();
4. #ifdef DEBUG_DLG
5. fprintf(DEBUG_COM,"SD y FAT inicializadas.\r");
6. #endif

7. if(crear_archivo()==1)
8. {
9. RecordIDX=0;

10. #ifdef DEBUG_DLG
11. fprintf(DEBUG_COM,"Iniciando registro.\r\n");
12. #endif

13. while(DetectSD()) //y mientras haya tarjeta insertada
14. {
15. DLG_STATUS=1;
16. if(registrar()==0)
17. {
18. #ifdef DEBUG_DLG
19. fprintf(DEBUG_COM,"Error de escritura en SD.\r");
20. #endif
21. wait_card_eject();
22. }
23. }
24. DLG_STATUS=0;

25. #ifdef DEBUG_DLG
26. fprintf(DEBUG_COM,"Tarjeta expulsada.\r");
27. #endif

28. } //Y se pudo crear un archivo para registrar,
29. }
```

### 1.10.8. Líneas de código encargado de guardar los datos leídos en el archivo creado.

```
1.  int8 registrar()           // rutina que guarda los datos leídos en el archivo creado
2.  {
3.  delay_ms(10);
4.  teclado();

5.  if(ban_tmr1 == 1)
6.  {
7.  if(ban_reloj == 1)         //si está programando el reloj salta estas rutinas
8.  {gotono_display;}

9.  leer_ds1307();
10. leer_pcf();
11. msj_ds1307();

12. t1=temp1+t1;
13. t2=temp2+t2;
14. t3=temp3+t3;
15. x++;

16. if(minu == uni_minu )
17. {
18. RecordIDX++;

19. t1= t1/x;
20. t2= t2/x;
21. t3= t3/x;
22. msj_pcf();
23. sprintf(TxtBuf,"%u%u/%u%u/%u%u, %u%u:%u%u:%u%u, %0.4f, %0.4f, %0.4f \r\n", dec_dia,
    uni_dia, dec_mes, uni_mes, dec_amo, uni_amo, dec_hora, uni_hora, dec_minu, uni_minu,
    dec_seg, uni_seg, t1, t2, t3);      // Guarda los datos en la memoria.
```



## 1.11. Pantalla de Cristal Líquido o LCD

### 1.11.1. Generalidades

Una pantalla de cristal líquido o LCD (acrónimo del inglés *Liquid Crystal Display*) es una pantalla delgada y plana formada por un número de píxeles en color o monocromos colocados delante de una fuente de luz o reflectora. A menudo se utiliza en dispositivos electrónicos de pilas, ya que utiliza cantidades muy pequeñas de energía eléctrica.



**Figura 1.18.** Display LCD 20 x 4 Serial ([www.modtronix.com](http://www.modtronix.com)).

(Incluye cables de comando y alimentación)

- Interfaz para aplicaciones con microcontroladores, que permite visualizar 80 caracteres alfanuméricos en cuatro líneas de 20 caracteres.
- La tarjeta cuenta con una entrada de datos de tipo serial sincrónica con comando por 3 líneas: clock/data/strobe. La información al display se envía carácter a carácter y no requieren ser refrescados periódicamente. Es decir, una vez enviado un carácter al display, este permanece estático hasta no recibir una nueva orden.
- El display posee un gran número de funciones que permiten desplazar los caracteres en ambos sentidos, hacer parpadeos, posicionar el cursor un lugar específico, etc.

Otra característica destacable es la posibilidad de encender una luz interna del display para poder ser utilizado sin iluminación ambiente.

- Todas estas características hacen de este interfaz el dispositivo óptimo para representación de información para un sistema microprocesado.

### 1.11.2. Conexiones hechas en Proteus entre la LCD y el microcontrolador.

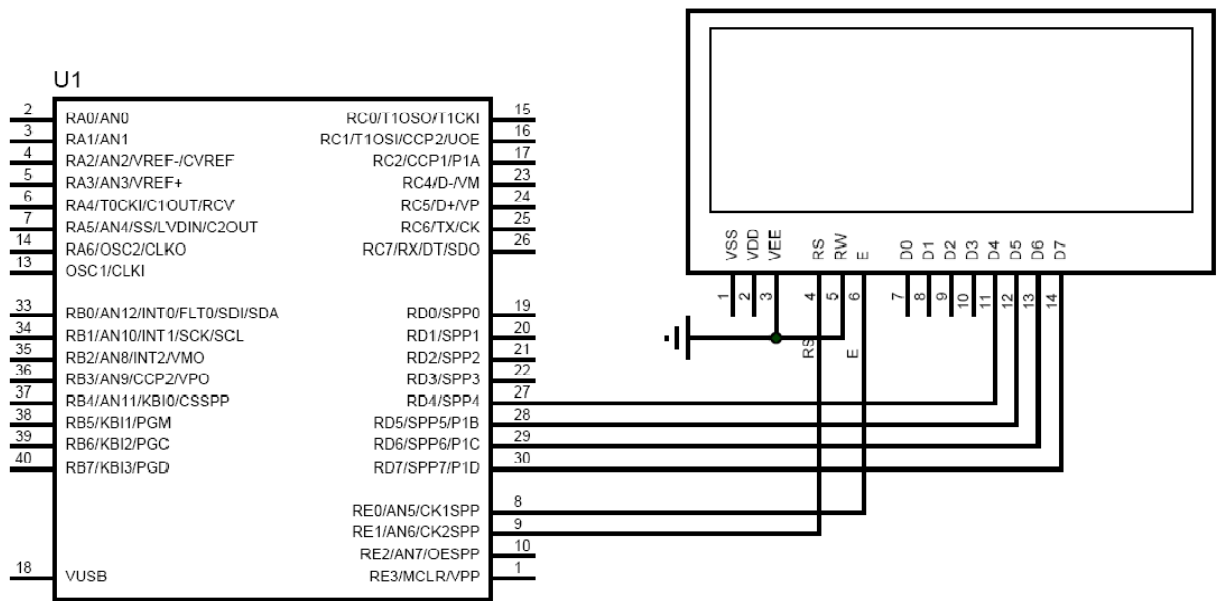


Figura 1.19. Conexiones de la LCD y el microcontrolador.

Puede observarse de la figura 19, que la LCD es de 8 bits pero se está usando una configuración de 4 bits D4-D7 que se conectan al microcontrolador en los pines 27 a 30 a través de los cuales se envía la información que se requiere presentar en pantalla

### 1.11.3. Código que inicializa la pantalla para ver los datos leídos

```
1. void ini_lcd_4b() //rutina de inicialización del LCD
2. {
3. int i;

4. delay_ms(15);
5. bit_clear(rs);
6. puerto_lcd = 0b00110000; //se envía 3 veces este binario

7. for(i=1;i<=3;i++)
8. {
9. delay_us(10);
10. bit_set(e);
11. delay_us(10);
12. bit_clear(e);
13. delay_ms(5);
14. }
15. puerto_lcd = 0b00100000;
16. delay_us(10);
17. bit_set(e);
18. delay_us(10);
19. bit_clear(e);
20. delay_ms(5);

21. display_4b(0 , 0b00101000); //Código para display a 4 bits
22. display_4b(0 , 0b00001100); //Código que activa el display
23. display_4b(0 , 0b00000110); //Que se desplace hacia la derecha

24. display_4b(0 , 1); //Limpia el display
25. delay_ms(2);
26. }
```

## CAPITULO 2

### REALIZACION DEL DISEÑO

En el capítulo anterior se desarrolló la parte referente a los dispositivos periféricos del microcontrolador que se encargan de la conversión, manejo del tiempo, almacenamiento de datos, presentación de algunos datos en la LCD y manejo del teclado; a continuación se presenta el diseño y selección de los sensores y el microcontrolador PIC y otras herramientas necesarias para el buen funcionamiento del sistema.

#### **2.1. Metodología de Diseño:**

1. Análisis de los Sensores a Utilizar.
2. Diseño del hardware para la adquisición de datos por parte de los sensores.
3. Diseño del software para visualización de datos de temperatura en tiempo real.
5. Análisis Económico.

#### **2.2. Etapas básicas del proyecto:**

**2.2.1. Sensores para Medición de Temperatura:** Esta etapa señala la selección de los sensores y los principios físicos aplicados para su funcionamiento adecuado. Los sensores en su conjunto emplean un convertidor característico (PCF8591) que transforma la variable temperatura presente en el ambiente, en otra con niveles cuantificables de voltaje, adecuados a los requerimientos de entrada del microcontrolador PIC18F4550 que se comunican a través del bus I2c.

**2.2.2. Hardware de adquisición, control y transmisión de datos:** El hardware de diseño para esta aplicación incluye los circuitos eléctricos que posee cada sensor, un

PIC18F4550 para el control de los procesos de adquisición, control y transmisión de datos

**2.2.3. Visualización de los datos adquiridos por los sensores:** Esta etapa conformada por un software el cual se desarrolla en ANSI C/C++ para la visualización en tiempo real de la variable temperatura en la LCD.

### **2.3. Materiales y métodos**

El sistema de adquisición de datos (datalogger) está basado en la utilización de los siguientes elementos:

- Sensores de temperatura
- El microcontrolador
- Almacenamiento de datos
- Hardware (interfaz SPI)
- Herramientas de Desarrollo (El código C y el compilador PIC-C)

#### **2.3.1. El microcontrolador**

La placa de adquisición consta de un microcontrolador PIC18F4550, CPU de 8 bits, ADC de 13 canales de 10 bits c/u, 32.768 Bytes de memoria de código (Flash), 2.048 Bytes de memoria RAM de datos, 256 Bytes memoria EEPROM de datos, empaque PDIP de 40 pines, modulo MSSP (“Master Synchronous Serial Port”) para comunicación SPI, etc..

#### **2.3.2. Sistema de Archivos**

No existe un sistema de archivos suficientemente desarrollado para tarjetas de memoria Flash SD. La gran mayoría de dispositivos electrónicos con memorias Flash utilizan el sistema de archivos FAT, de Microsoft, más concretamente en la versión FAT16.

Esto es debido a que normalmente, cualquiera de esos dispositivos necesita de comunicación con un ordenador personal, y al día de hoy la gran mayoría de ordenadores funcionan con sistemas operativos de Microsoft.

### **2.3.3. Almacenamiento de datos**

Se eligió la tarjeta SD que consiste en una solución de bajo costo para almacenamiento de datos. Está diseñada como medio de almacenamiento para una amplia área de aplicaciones.

El protocolo de comunicación está definido como una parte del estándar MMC (Modo MMC). Sin embargo y para asegurar compatibilidad con la mayoría de controladores existentes, la tarjeta SD ofrece un modo de comunicación alternativo basado en el estándar SPI el cual se utiliza en este proyecto.

### **2.3.4. Hardware (interfaz SPI)**

La interface SPI (Serial Peripheral Interface) utilizada entre el PIC y la tarjeta, es un protocolo de comunicación serie mediante el cual se transmiten paquetes de 8 bits entre un dispositivo maestro y un esclavo.

El protocolo SPI únicamente define la interface o bus de comunicación y no establece nada acerca de la estructura de la información intercambiada entre maestro y esclavo. La comunicación es full-dúplex, de modo que cada dispositivo conectado al bus puede actuar como transmisor y receptor al mismo tiempo.

### **2.3.5. Herramientas de Desarrollo**

(El código C y el compilador PIC-C) Principalmente se desarrollara un software que permite a sistemas basados en microcontroladores PIC de alta gama adquirir una señal externa y mediante la capacidad de manipular archivos, almacenarla en una tarjeta de memoria SD.

El modulo principal del código será el encargado de comunicar la tarjeta con el hardware, es decir, deberá implementar las funciones de más bajo nivel destinadas a manejar la tarjeta SD.

#### **2.3.5.1. Software PIC C Compiler**

PIC C herramienta de compilación de código de microcontroladores pic de microchip.

El software es compatible con DOS, Windows, Linux.

Incluye pack de software y manual.

Soporte técnico completo y actualizaciones gratis durante un año.

#### **2.3.5.2. Software Proteus**

*PROTEUS* es un entorno integrado diseñado para la realización completa de proyectos de construcción de equipos electrónicos en todas sus etapas: diseño, simulación, depuración y construcción.

#### **2.3.5.3. Programador**

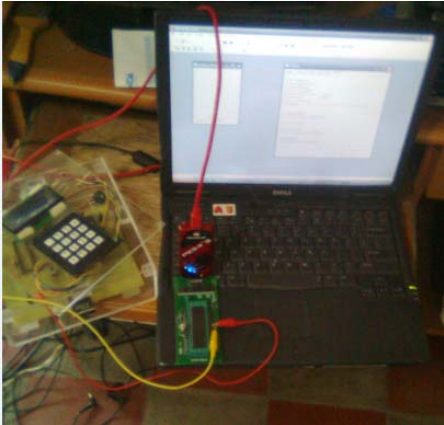
El programador utilizado para descargar el programa encargado de controlar al microcontrolador y sus periféricos posee las siguientes características:

- PICKit 3 Depurador/Programador.
- PICKit 3 Guia de Usuario.
- A serie de 12 lecciones en programa ensamblador que incluye I/O, convertidores A/D, temporizadores, interruptores, y tabla de datos (Se incluye todos los archivos del código fuente).
- Una guía de cómo usar el depurador del PICKit 3 con el MPLAB IDE.
- Un software gratis de MPLAB IDE de microchip y un compilador en C para completar el código creado.

Programador a la hora de descargar el programa en el Microcontrolador PIC18F4550.



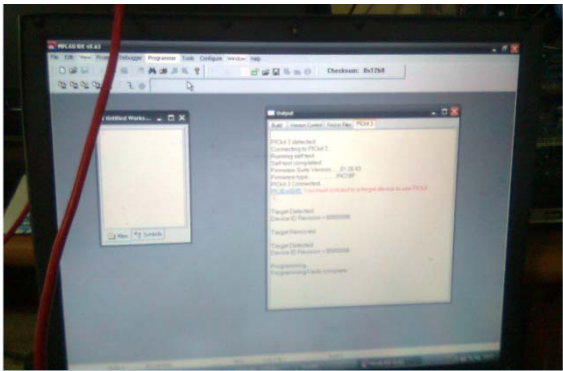
a) conexiones para descargar



c) Descarga en proceso



b) Iniciando descarga



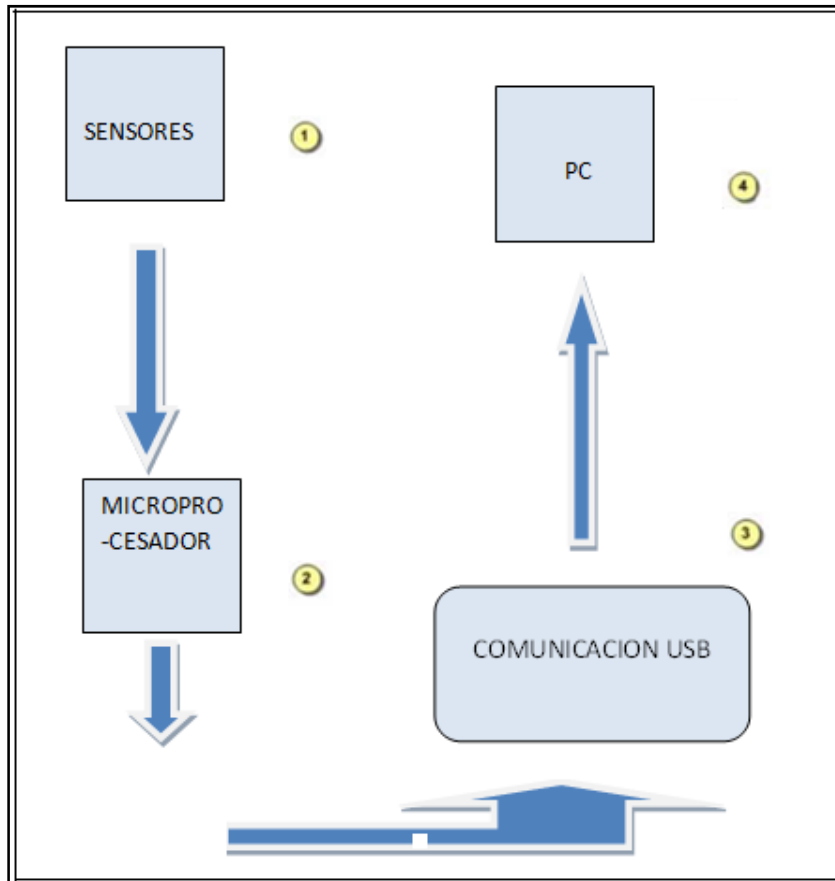
d) Descarga completa

**Figura 2.1.** Descarga del Programa en C en el Microcontrolador, secuencia a, b, c, d.



## 2.4. Diagrama del Sistema de Adquisición de Datos de Temperatura.

A continuación se muestra el diagrama básico concebido del sistema completo desde la adquisición de datos hasta la puesta en análisis de los mismos en una PC.



**Figura 2.2.** Diagrama de Bloques Básico del Sistema de Adquisición de Datos de temperatura.

### 1. Sensores de temperatura.

Son los dispositivos utilizados para obtener las diferentes lecturas de temperatura.

### 2. Microprocesador.

Recibe los datos de los sensores y controla las rutinas de temperatura y manejo de periféricos.

### 3. Comunicación USB

El microcontrolador envía los datos a la memoria externa los cuales se extraen a través de un adaptador USB para llevarlos a la PC.

### 4. PC.

Este es el lugar donde se descargarán los datos adquiridos, visualizándose así mediante un programa.

#### **2.4.1. Ubicación de los sensores**

Según las normas que la Organización Meteorológica Mundial ha establecido se deben ubicar de siguiente manera:

Lejos de obstrucciones que puedan influir en las mediciones para obtener datos de temperatura representativos.

#### **2.4.2. Visualización de la variable temperatura en la PC**

Debido a que se utiliza la memoria SD como unidad de almacenamiento y esta posee capacidad para guardar en formato Excel (formato CSV), los datos guardados pueden ser vistos en cualquier ordenador que posea Microsoft Excel, transportados a través de un adaptador USB.

## **2.5. Realización del Diseño**

### **2.5.1. Características eléctricas del sensor de temperatura**

El sensor de temperatura se construye con el circuito integrado LM35, su configuración es muy sencilla y además económica. El LM35 configurado como sensor térmico proporciona a la salida 10mV por grado centígrado (°C) y tiene además las siguientes características:

1. Impedancia baja
2. Calibración directa en grados Celsius (ó Centígrados)
3. Factor de escala Lineal: 10 mV / °C
4. Rango de operación –55 a 150°C
5. Precisión de 0.9°C
6. Apropiado para las aplicaciones remotas
7. Bajo costo debido a la configuración externa empleada
8. Tensión de funcionamiento de 4 a 30 voltios (dc)
9. Consumo de potencia, menos de 60 uA
10. Autocalfacción Baja, 0.08°C en ambiente normal
11. Variación lineal de 1/4°C típicamente
12. Rendimiento de impedancia de salida Bajo, 0.1omh para 1 mA de carga.

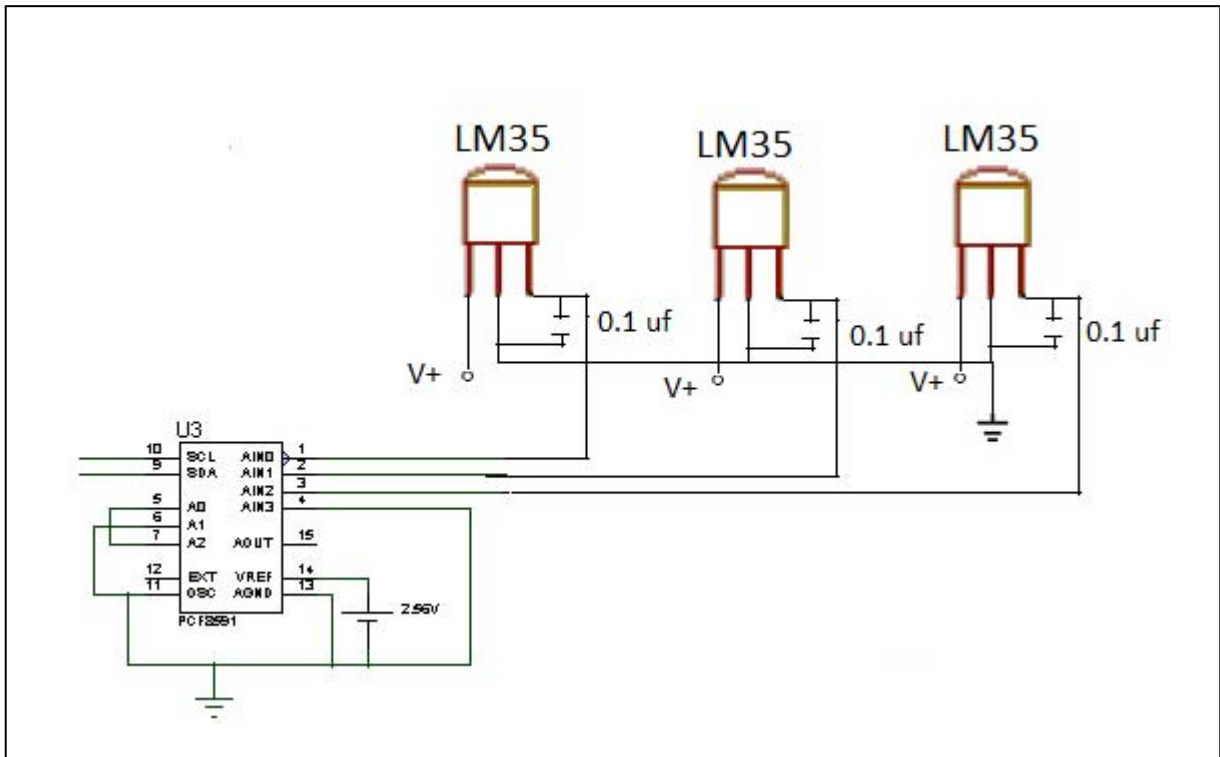


Figura 2.3. Configuración eléctrica sensor de temperatura.

### 2.5.2. Circuito de alimentación

Para alimentar el circuito del sistema electrónico se emplea una fuente de alimentación que entrega 5V y 300mA proporcionando una corriente suficiente para el buen funcionamiento del circuito ya que este tiene un consumo máximo de 35mA y 5V.

Dando como potencia máxima del circuito:

$$P = V * I$$

$$(Ec. 2.1) \quad P = 5V * 35mA$$

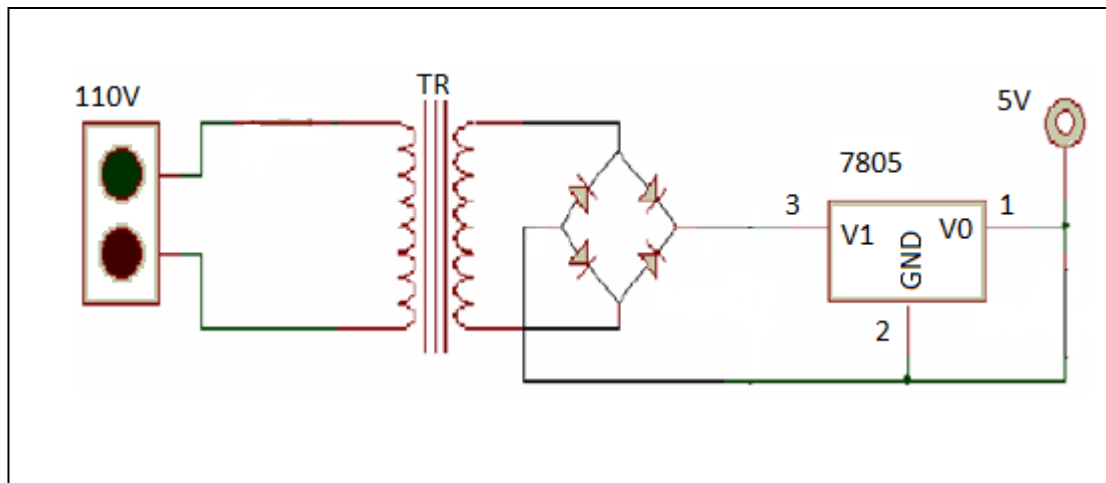
$$P = 175mW$$

Dónde:

P: es la potencia (watts).

I: es la corriente máxima (amperios).

V: es el voltaje (voltio).



**Figura 2.4.** Fuente de alimentación.

### 2.5.3. Componentes del circuito de alimentación:

#### Transformador:

Este se alimenta con 110 V/AC, 60 Hz, proporcionados por la red eléctrica domiciliaria y genera a su salida 12 V/ AC con una corriente 300mA.

#### Puente Rectificador:

La referencia comercial del puente rectificador es DC-W04M. Las características técnicas de este son 200 V a 3 A.

### LM7805:

El integrado LM7805 es un regulador de voltaje fijo de 5 voltios el necesario para los dispositivos del sistema como son el microcontrolador y el convertidor análogo digital y que tiene una corriente de salida hasta de 1.5 A si se tiene suficiente corriente de entrada.

### Nota:

El integrado LM317 que también se usa en este proyecto es un regulador de voltaje que permite poner 3.3 V necesarios para que funcione la Micro SD y 2.56 que sirve como voltaje de referencia del convertidor análogo digital.

#### 2.5.4. Criterio de selección del microcontrolador PIC18F4550:

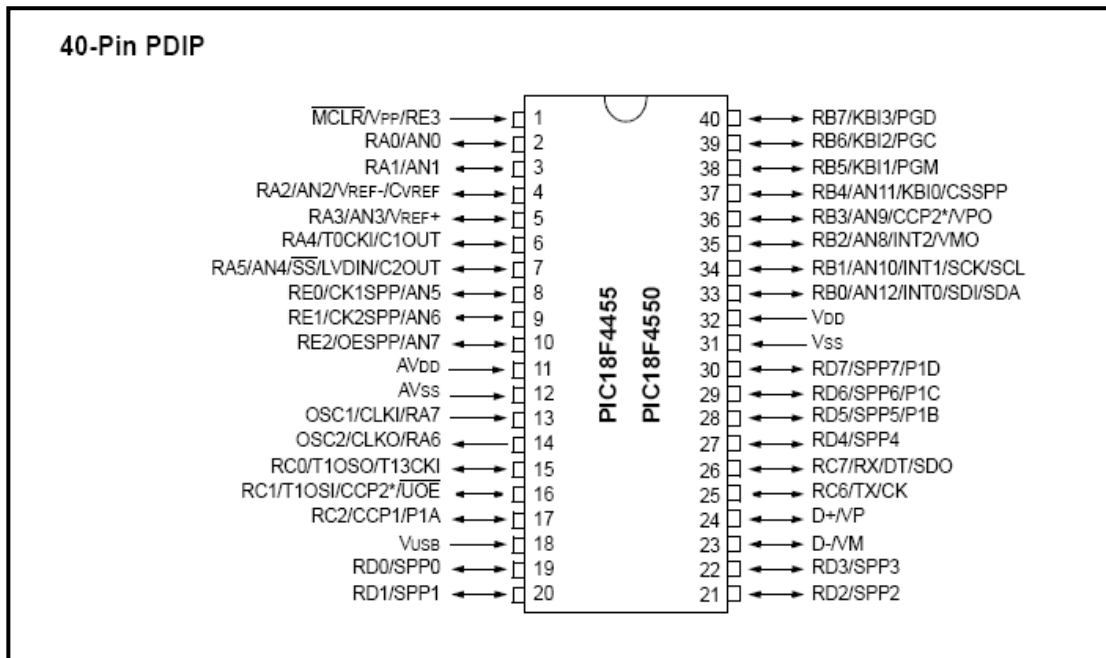


Figura 2.5. PIC18F4550.

Teniendo en cuenta las siguientes características se escogió este microcontrolador:

- Es un microcontrolador de tecnología CMOS de 16 bits y 40 pines.
- Operación de voltaje amplio (2.0V– 5.5V)
- Altas velocidades de reloj.
- Reprogramable.
- Cuenta con solo 35 instrucciones para su programación.
- El lenguaje ensamblador, de programación nos es familiar, para mayor facilidad lo podemos trabaja con macros.
- Interface disponible SCI (Interface Comunicación Serial), o
- Modulo USB
- Modulo I2C
- Relativamente económico.

Las especificaciones de funcionamiento requeridas para el microcontrolador PIC18F4550 son:

**Tabla 2.1.** Especificaciones para el funcionamiento del microcontrolador.

<i>Característica</i>	<i>Especificación</i>
<b>Voltaje de operación:</b>	<b>5 V</b>
<b>Frecuencia de Cristal:</b>	<b>20 Mhz</b>
<b>Ciclo de máquina por instrucción:</b>	<b>1 / frecuencia</b>

## 2.6. Diagrama general del instrumento de medición (DATALOGGER)

En la siguiente figura se muestra el diagrama general de bloques del DataLogger de Temperatura diseñado a partir de los análisis previos.

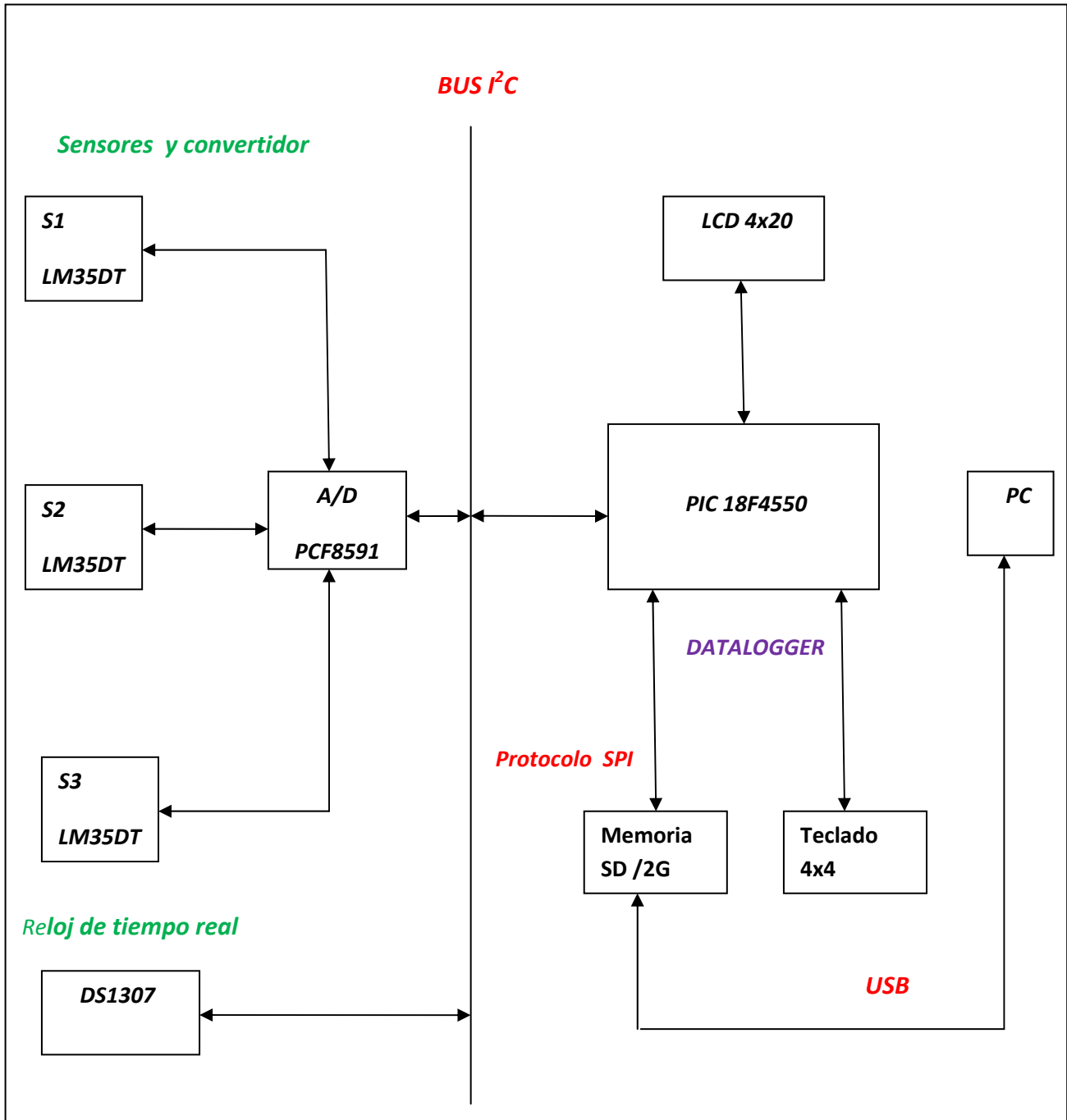



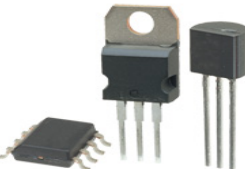
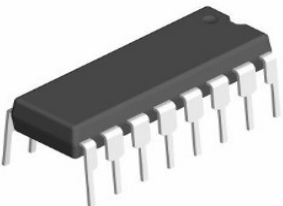
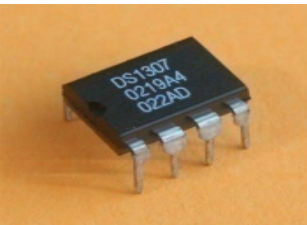
Figura 2.6. Diagrama de Bloques del Instrumento de Medición.



## 2.7. Lista de elementos a utilizar en el proyecto

A continuación se muestra la lista de los principales elementos utilizados en la construcción del instrumento de medición (DataLogger) especificando su función y limitantes de operación.

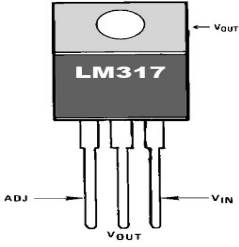
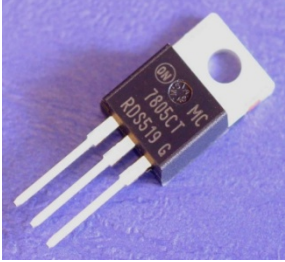


**Tabla 2.2.** Función Principal Y limitaciones de operación de los elementos del proyecto.

<i>Imagen del elemento</i>	<i>Nombre</i>	<i>Función Principal</i>	<i>Limitaciones de operación</i>
	Microcontrolador PIC18F4550	Proceso de datos recibidos y envió a la memoria SD.	No es posible poner más de un microcontrolador como esclavo.
	Sensores de temperatura LM35DT	Toma de datos para ser convertidos por el PCF8591.	Se distorsiona el dato tomado para distancias grandes debido a que el voltaje de salida es pequeño.
	Convertidor A/D PCF8591	Toma los datos analógicos censados y convierte a digital enviándolos por I2C al PIC.	Solo puede procesar datos enteros
	Reloj de tiempo real DS1307	Permite guardar los datos en tiempo real.	No se observó.

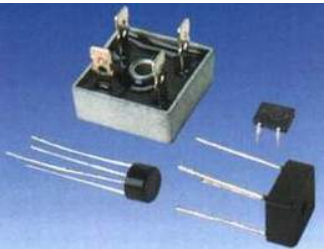
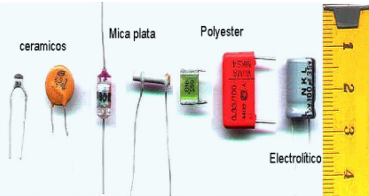
Continuación Tabla 2.2

	<p>Pantalla LCD</p>	<p>Visualización de los datos en tiempo real.</p>	<p>No se observó.</p>
	<p>Teclado 4X4</p>	<p>Configurar la fecha y hora para la toma de datos.</p>	<p>No se observó.</p>
	<p>Memoria Micro SD</p>	<p>Almacenamiento de datos de temperatura procesados por el PIC listos para ser llevados a la PC.</p>	<p>No se observó.</p>
	<p>Adaptador USB para Micro SD</p>	<p>Se conecta directamente al puerto USB de la PC para analizar los datos guardados en la SD.</p>	<p>No se observó.</p>

Continuación Tabla 2.2

	<p>Regulador de voltaje</p>	<p>Permite poner 3.3 para que funcione la SD y 2.56 V de referencia en el convertidor.</p>	<p>No se observó.</p>
	<p>Regulador de Voltaje LM7805</p>	<p>Pone los voltios necesarios para el adecuado funcionamiento de los dispositivos del sistema.</p>	<p>No se observó.</p>
	<p>Cristal de cuarzo de 20 MHz y 32.7KHz</p>	<p>Necesarios para el manejo del PIC y el reloj respectivamente.</p>	<p>No se observó.</p>
	<p>Batería de 3 voltios</p>	<p>Asegura que se mantendrá el tiempo a la fecha aunque este desconectada la fuente de tensión del circuito principal.</p>	<p>No se observó.</p>

Continuación Tabla 2.2

	<p>Potenciómetro</p>	<p>Uno ayuda en la obtención de los 2.56 V del convertidor, y hay dos más para establecer brillo y contraste en la LCD.</p>	<p>No se observó.</p>
	<p>Diodos</p>	<p>Sirven de protección del PIC. Están a la salida del teclado para que no se exceda el voltaje a la entrada del PIC.</p>	<p>No se observó.</p>
	<p>Capacitores</p>	<p>Filtran la señal tomada por los sensores a la salida del cable de 3m.</p>	<p>No se observó.</p>
	<p>Resistencias</p>	<p>Manejo de voltajes adecuados en diferentes puntos del sistema.</p>	<p>No se observó.</p>

## 2. 8. Montaje sobre la placa

Después de comprobar el correcto funcionamiento en la simulación de las partes que integran el sistema por separado y en conjunto y verificado que los elementos necesarios son fáciles de conseguir se pasa a diseñar la placa. Se colocan bornes para poder alimentar el circuito. Un botón para poder hacer un reset manual al PIC. También se coloca en la LCD su correspondiente regulador de contraste controlado por un potenciómetro.

Por último se pasa a ARES de Proteus para finalizar el diseño de la placa. Colocamos los componentes y se delimita el tamaño de la placa. Además se trazan las pistas con el tamaño deseado e incorporan la serigrafía para saber dónde ha de ir cada componente.

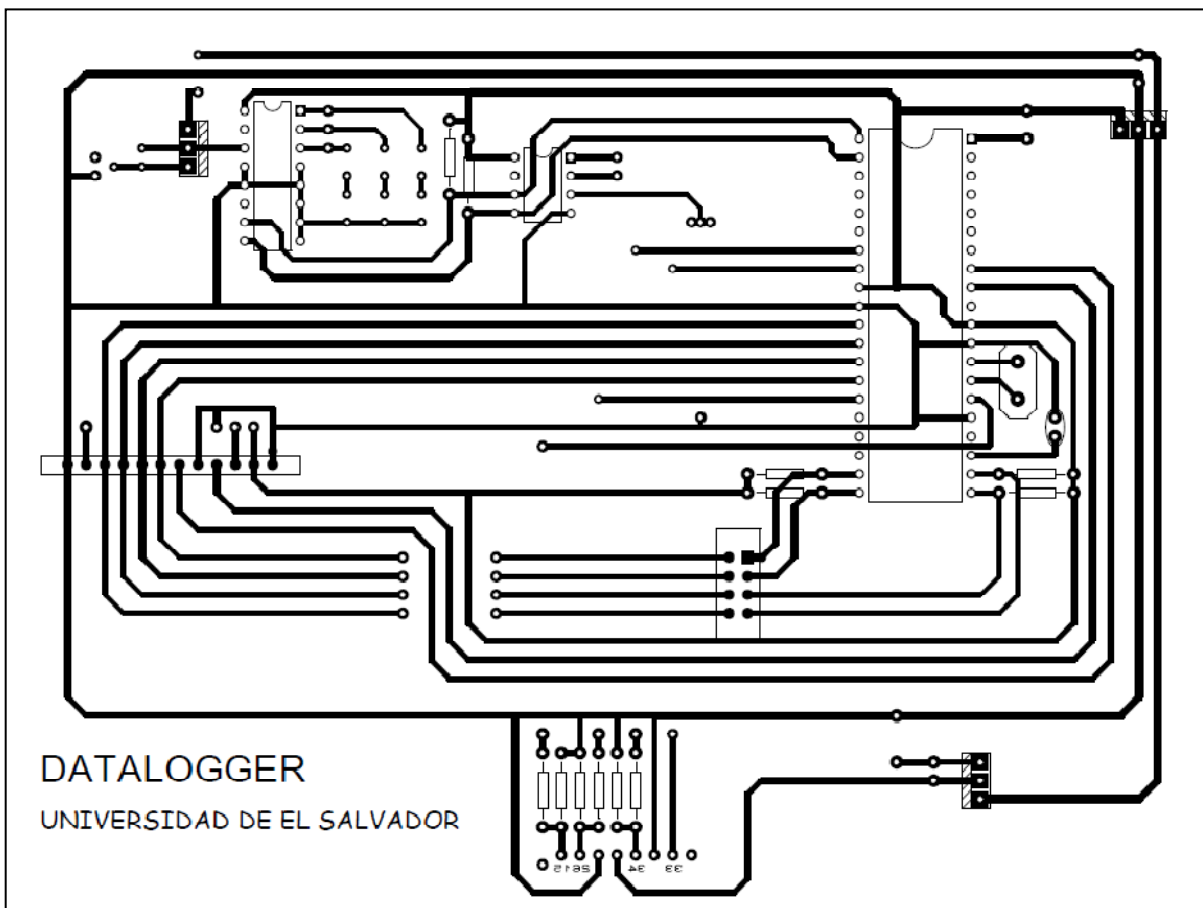


Figura 2.7. Diseño final de las pistas en ARES

## **2.9. Circuito completo diseñado y simulado en Proteus**

El Circuito general se compone de todas las etapas explicadas en los capítulos I y II, y sus componentes se adquieren tanto en el mercado local como el internacional para su implementación.

A continuación se muestra el alambrado completo de todos los componentes del sistema en Proteus corriendo.

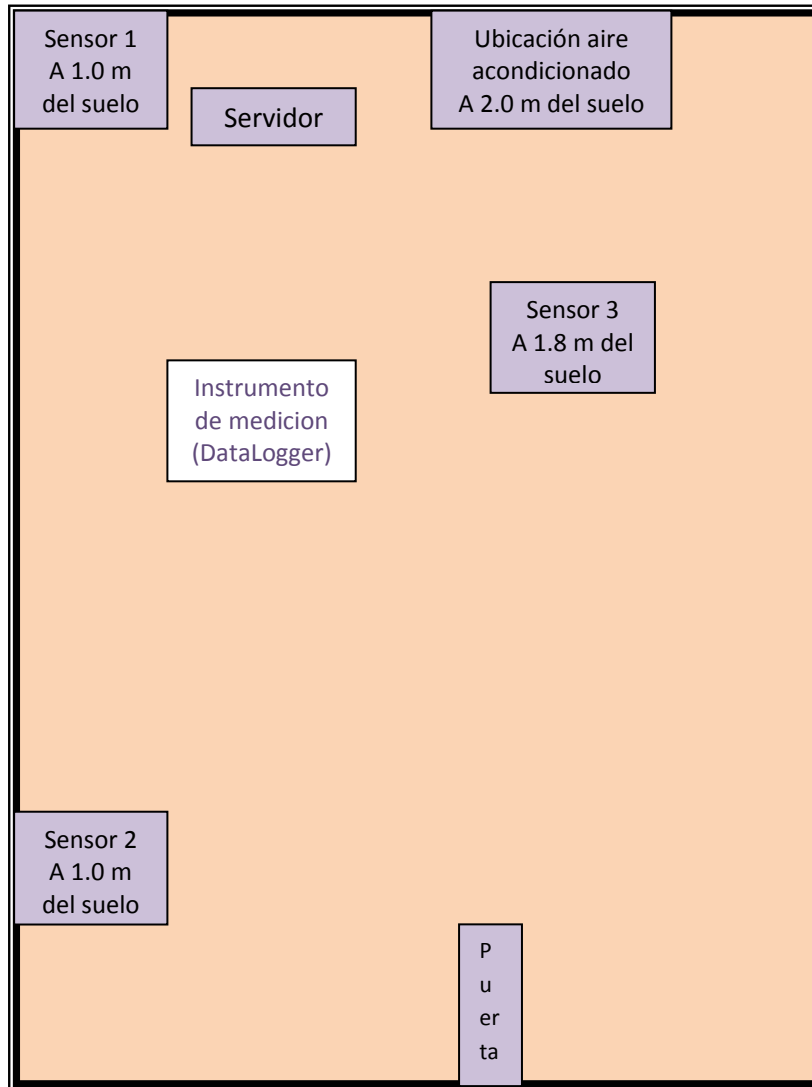


# CAPITULO 3

## RESULTADOS DEL PROYECTO

### 3.1 Ubicación física de los sensores y el Datalogger al momento de la toma de datos

El siguiente esquema muestra la ubicación de los sensores y el instrumento de medición DataLogger en el cuarto donde está el servidor del centro de cómputo de la Escuela de Ingeniería Eléctrica.



**Figura 2.9.** Ubicación física de los sensores en la toma de datos finales.

Se ha completado el diseño y construcción del sistema y su puesta en marcha para la lectura de datos. Ahora se analizan los resultados obtenidos del proyecto.



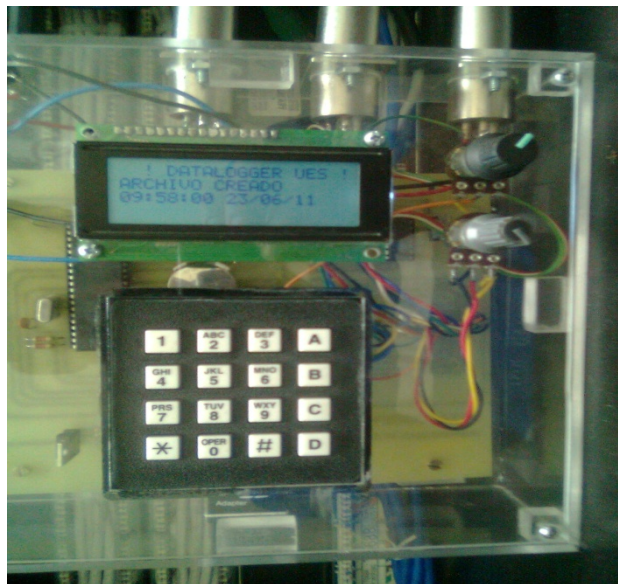
### 3.2. Introducción

Se implementó un datalogger de temperatura, que posee 3 canales de entradas analógicas para ser utilizado con el sensor de temperatura LM35.

El datalogger puede almacenar cualquier valor de temperatura comprendido en una rango de  $-55$  a  $150^{\circ}\text{C}$ , con una resolución de  $0.8^{\circ}\text{C}$ .

Los datos se guardan automáticamente en formato Excel (formato CSV) para que el usuario tenga la facilidad de descargar todas las temperaturas almacenadas en la memoria SD durante las diferentes pruebas.

El datalogger de temperatura da la facilidad al usuario de observar en la pantalla LCD el monitoreo constante de temperatura que se encuentra en grados Centígrados ( $^{\circ}\text{C}$ ), y al mismo tiempo se puede observar la fecha y hora actual.



**Figura 3.1.** DataLogger de Temperatura.

### 3.3. Características del datalogger de temperatura.

#### 3.3.1. Fundamento teórico

El datalogger de temperatura realiza mediciones de precisión, rápida respuesta y estabilidad. Se utiliza para la medición y almacenamiento de temperatura. Con este instrumento se puede monitorear valores de temperatura durante largos períodos de tiempo sin necesidad que el usuario se encuentre en el lugar. Las lecturas se almacenan en una memoria SD y se descargan fácilmente en la PC a través de una memoria micro USB para ser leídas en Excel.



**Figura 3.2.** Ranura que muestra la ubicación de la memoria SD a ser removida.

#### 3.3.2. Características generales del datalogger de temperatura.

- Memoria de almacenamiento micro SD de 1 Gb.
- Pantalla LCD en la que se muestra la información.
- Unidad de medición fija, °C.
- Descarga de los datos almacenados a través del puerto USB de cualquier PC.
- Análisis de los datos descargados los que han sido directamente guardados en el formato Excel.



**Figura 3.3.** Lecturas en LCD.

### **3.4. Sensores de Temperatura.**

#### **3.4.1. LM35**

El circuito integrado LM35 es un sensor de temperatura cuya tensión de salida es linealmente proporcional con la temperatura en la escala de grados centígrados. Posee una precisión aceptada para la aplicación requerida, no necesita calibración externa, posee solo tres terminales, permite el censado remoto y es de bajo costo.



**Figura 3.4.** Uno de los encapsulados del LM35 (Ref.[www.nationalsemiconductor.com](http://www.nationalsemiconductor.com)).

### **3.4.2. Características del LM35.**

- Factor de escala: 10mV/°C.
- Rango de utilización:  $-55^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$ .
- Precisión de:  $\sim 1,5^{\circ}\text{C}$ .
- No linealidad:  $\sim 0,5^{\circ}\text{C}$ .
- Calibrado directamente en grados Centígrado.
- Exactitud garantizada de  $0.5^{\circ}\text{C}$ .
- Conveniente para aplicaciones remotas.
- Opera entre 4 y 30 volts de alimentación.
- Bajo autocalentamiento.

### **3.5. Control del datalogger de temperatura.**

El control del datalogger se realizó con un microcontrolador avanzado que es el PIC18F4550, el cual contiene un convertidor analógico digital (ADC), aunque es con ayuda del ADC PCF8591 que se toman muestras del voltaje de salida del circuito LM35.

El número de datos que almacena el DataLogger depende de lo siguiente:

- 1. Intervalos de tiempo deseado.**
- 2. Capacidad de almacenamiento de la memoria SD.**
- 3. Frecuencia de toma de datos.**

En este proyecto las mediciones se llevaron a cabo en un intervalo de tiempo de 21 días con 18 horas; con una memoria de 1 Gb (1048576 Kb) y una frecuencia de toma de datos por minuto.

**EJEMPLOS DEL CONSUMO DE MEMORIA EN LA SD PARA ALGUNOS INTERVALOS DE TIEMPO CON MEDICIONES TOMADAS CADA MINUTO:**

**Tabla 3.1.** Cantidad de memoria consumida en la SD.

<i>Intervalos de tiempo</i>	<i>Memoria consumida en la SD</i>	<i>Numero de datos guardados</i>
<b>1 Día</b>	<b>60 Kb</b>	<b>1,441</b>
<b>8 Días</b>	<b>480 Kb</b>	<b>11,528</b>
<b>15 Días</b>	<b>900 Kb</b>	<b>21,615</b>
<b>22 Días</b>	<b>1,320 Kb</b>	<b>31,702</b>
<b>21 Días, 18 Horas</b>	<b>1,305Kb</b>	<b>31,340</b>
<b>30 Días</b>	<b>1,800 Kb</b>	<b>43,230</b>
<b>48 años</b>	<b>1 Gb</b>	<b>25,183,302</b>

De la información presentada en la tabla anterior puede destacarse lo siguiente:

A partir del archivo generado por el DataLogger el cual al ser descargado para su análisis puede verse que en 24 horas (1 día) se toman 1441 datos con un consumo de 60 Kb de memoria.

La memoria consumida por los datos tomados en las mediciones del (01 de junio) a partir de las 4:00 p.m.) al 23 del mismo mes (hasta las 10:00 a.m.) es de 1,305 Kb correspondiente a 0.1244% de la memoria total disponible (1 Gb) en la SD.

### **3.5.1. Características del PIC18f4550.**

La programación del microcontrolador se hizo en el lenguaje de programación C mediante el compilador CCS C Compiler Versión 4.114.

Utiliza un cristal de 20 MHz. También dispone de tres botoneras donde el usuario puede interactuar con el Datalogger de temperatura, ya sea para encendido y apagado del instrumento, así como para seleccionar el brillo y contraste de la LCD.



encuentra el servidor del centro de computo de la Escuela de Ingeniería Eléctrica durante veinte y dos días y 18 horas (desde el 1 de junio de 2011 a partir de las 4.0 p. m hasta el 23 de junio a las 10.0 a.m).

### 3.7.1. Resultado de las pruebas

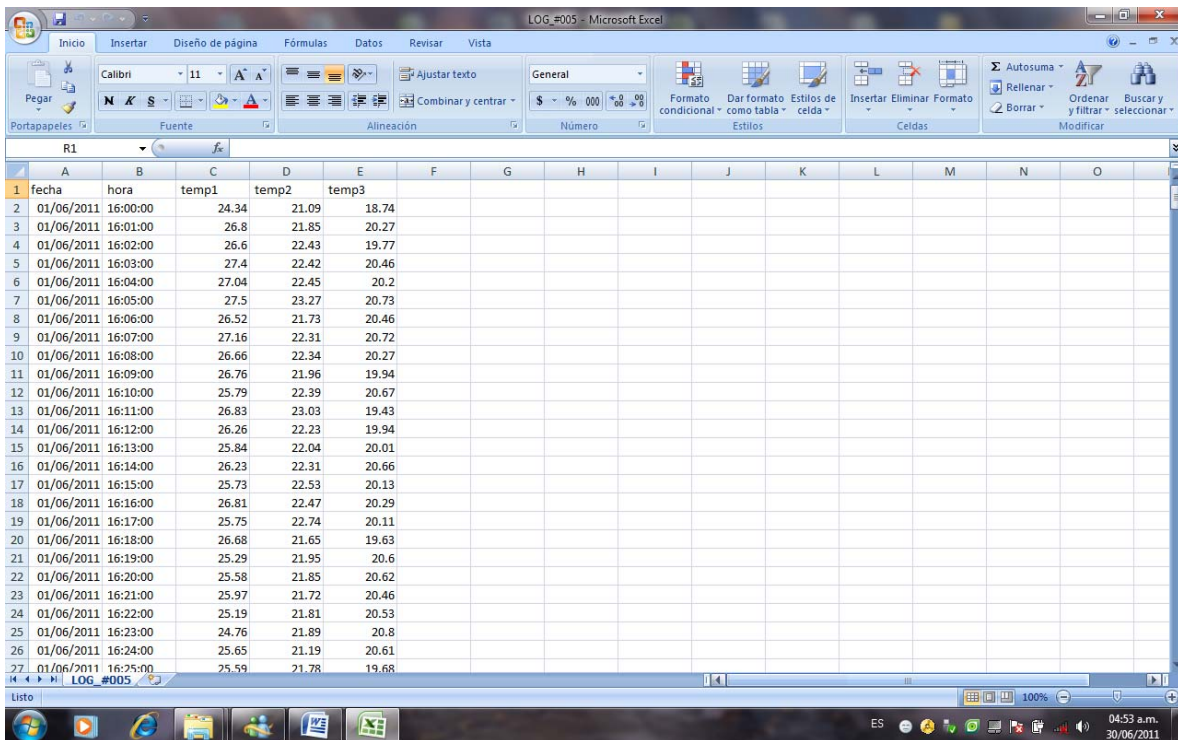
Archivos generados en el proceso de toma de datos del DataLogger:

**Tabla 3.2.** Archivos generados en la SD durante el tiempo de medicion.

Nombre	Fecha de Modificación	TIPO	Tamaño
LOG_#005	01/06/2011 16:00:00 23:59:00	CSV de Excel	20 KB
LOG_#006	02/06/2011 00:00:07 23:59:00	CSV de Excel	60 KB
LOG_#007	03/06/2011 00:00:07 23:59:00	CSV de Excel	60 KB
LOG_#008	04/06/2011 00:00:07 23:59:00	CSV de Excel	60 KB
LOG_#009	05/06/2011 00:00:07 23:59:00	CSV de Excel	60 KB
LOG_#010	06/06/2011 00:00:07 23:59:00	CSV de Excel	60 KB
LOG_#011	07/06/2011 00:00:07 23:59:00	CSV de Excel	60 KB
LOG_#012	08/06/2011 00:00:07 23:59:00	CSV de Excel	60 KB
LOG_#013	09/06/2011 00:00:08 23:59:00	CSV de Excel	60 KB
LOG_#014	10/06/2011 00:00:07 23:59:00	CSV de Excel	60 KB
LOG_#015	11/06/2011 00:00:07 23:59:00	CSV de Excel	60 KB
LOG_#016	12/06/2011 00:00:08 23:59:00	CSV de Excel	60 KB
LOG_#017	13/06/2011 00:00:08 23:59:00	CSV de Excel	60 KB
LOG_#018	14/06/2011 00:00:08 23:59:00	CSV de Excel	60 KB
LOG_#019	15/06/2011 00:00:08 23:59:00	CSV de Excel	60 KB
LOG_#020	16/06/2011 00:00:08	CSV de Excel	60 KB
LOG_#021	17/06/2011 00:00:08 23:59:00	CSV de Excel	60 KB

LOG_#022	18/06/2011 00:00:08 23:59:00	CSV de Excel	60 KB
LOG_#023	19/06/2011 00:00:08 23:59:00	CSV de Excel	60 KB
LOG_#024	20/06/2011 00:00:08 23:59:00	CSV de Excel	60 KB
LOG_#025	21/06/2011 00:00:09 11:54:00	CSV de Excel	30KB
LOG_#026	21/06/2011 12:00:00 23:59:00	CSV de Excel	30 KB
LOG_#027	22/06/2011 00:00:09 23:59:00	CSV de Excel	60 KB
LOG_#0228	23/06/2011 00:00:09 23:59:00	CSV de Excel	25 KB

**Imagen en Excel de cómo se guardan los datos en el momento de funcionamiento del DataLogger.**



**Figura 3.6.** Descarga de datos en Excel antes de obtener promedio.

Los datos que se muestran en la imagen anterior son promediados cada diez minutos con herramientas de Excel obteniéndose los datos finales a graficar.



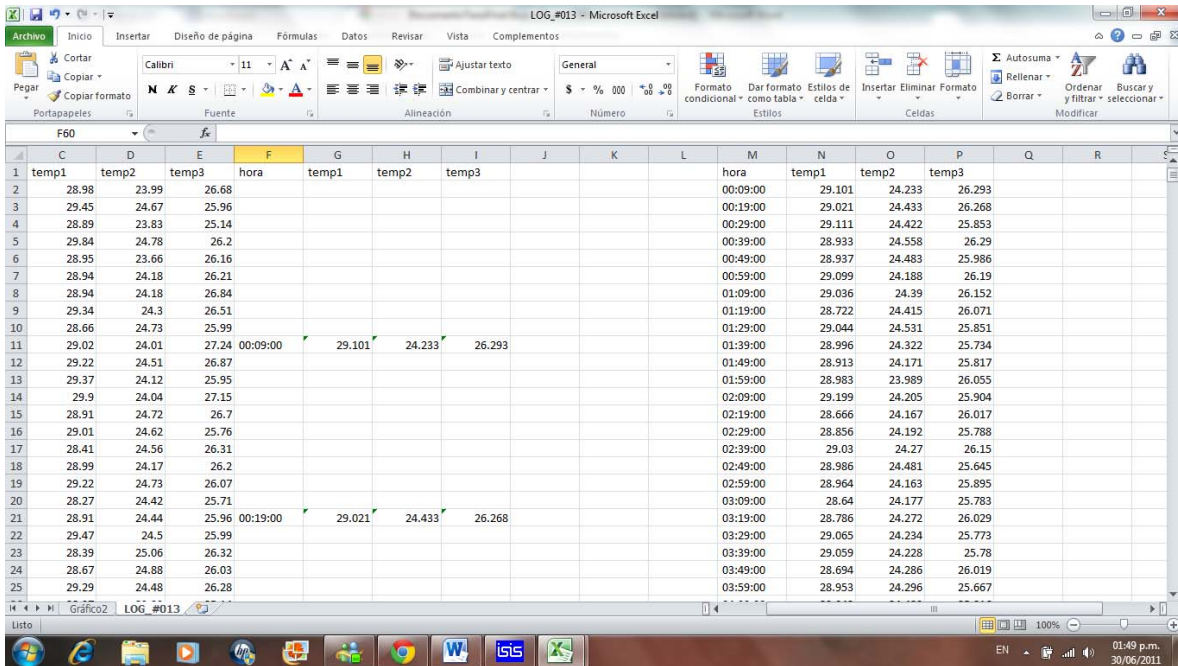


Figura 3.7. Datos promediados cada 10 minutos.

A continuación se muestran los gráficos de los datos obtenidos a partir de la figura 35.

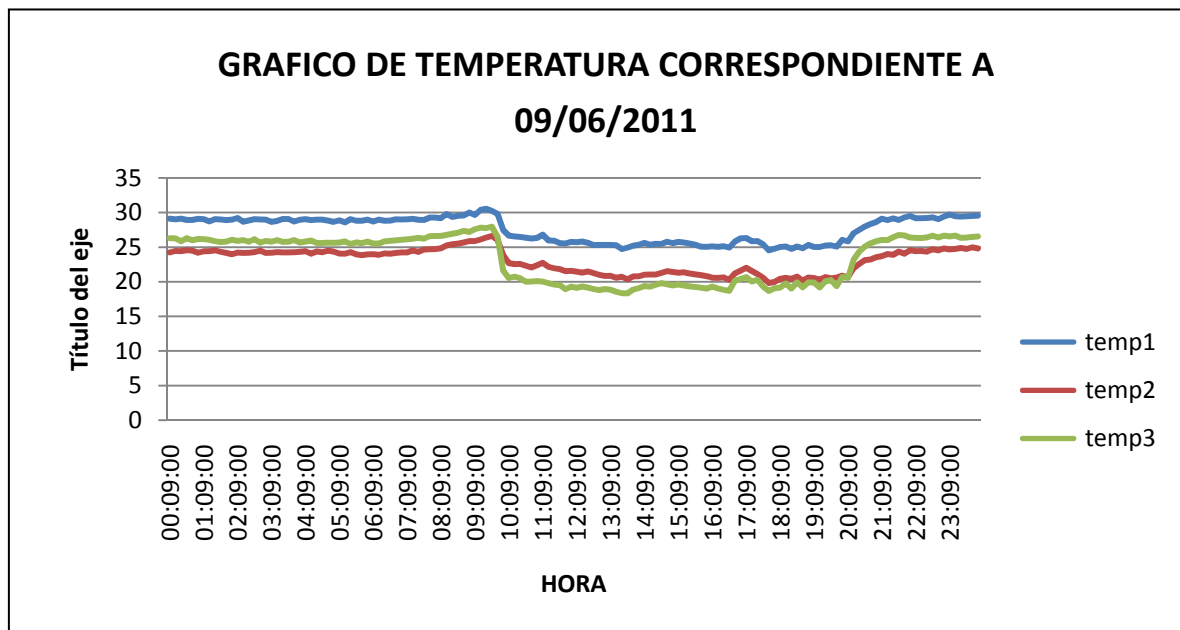


Figura 3.8. Gráfico de temperatura vrs. Tiempo para el 09/06/2011

### 3.8. Análisis Económico

En el desarrollo de esta metodología se trata de utilizar componentes de bajo costo.

A continuación se muestra el detalle de los componentes y sus costos para tener una clara idea del presupuesto necesario para este diseño, y luego ser comparado con los ya existentes en el mercado que desarrollan funciones similares.

**Tabla 3.3.** Tabla de costeo de componentes usados en el proyecto

<b>Componente</b>	<b>Terminología</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario en USD\$</b>	<b>Precio Total en USD\$</b>
Microcontrolador	PIC18F4550	1	6.8	6.8
Pantalla	LCD 4X20	1	19.1	19.1
Teclado	4X4	1	13.66	13.66
Convertidor A/D	PCF8591	1	3.98	3.98
Sensores	LM35DT	3	3.04	9.12
Reloj de Tiempo Real	DS1307	1	3.74	3.74
Memoria externa	Micro SD/2G	1	10.0	10.0
Adaptador USB P/ Micro SD	No Tiene	1	6.0	6.0
Integrado P/ Voltaje de Ref.	LM317	2	1.5	3.0
Integrado P/ Voltaje de Ref.	LM7805	1	1.35	1.35
Cristal de 20 MHz	XC1505CT-ND	1	1.05	1.05
Cristal de 32.768 kHz	535-9033-1-ND	1	0.64	0.64
Batería de 3 V	CR2026	1	1.0	1.0
Diodos	No Tiene	4	0.3	1.20
Capacitores	1uF	3	0.2	0.60
Capacitores	470uF	1	0.35	0.35
Potenciómetros	1K	3	1.0	3.0
Resistencias	10K ohm	3	0.25	0.75
Resistencias	75 ohm	3	0.25	0.75
Resistencias	240 ohm	3	0.25	0.75
Resistencias	2.2K ohm	4	0.25	1.0
Resistencias	3.2K ohm	3	0.25	0.75
Resistencias	1.8k ohm	3	0.25	0.75
Cable para micrófono	No Tiene	9 m	1.33	12.0
Pie de micrófono	No Tiene	3	4.0	12.0
Tubo de aluminio de ½ pulg.	No Tiene	3m	2.33	7.0
Tableta de cobre	No Tiene	1	5.0	5.0
Caja de acrílico	No Tiene	1	15.0	15.0
Otros	No tiene		10.0	10.0
<b>COSTO TOTAL</b>				<b>150.34</b>

## **CAPITULO 4**

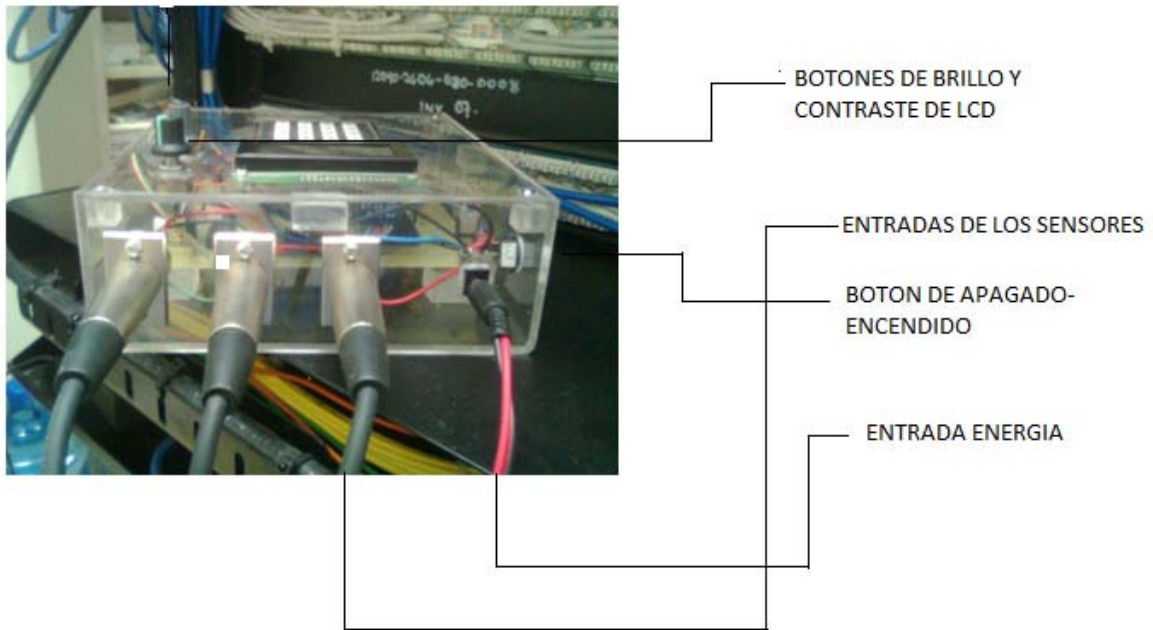
### **MANUAL DE USUARIO**

#### **DATALOGGER DE TEMPERATURA.**

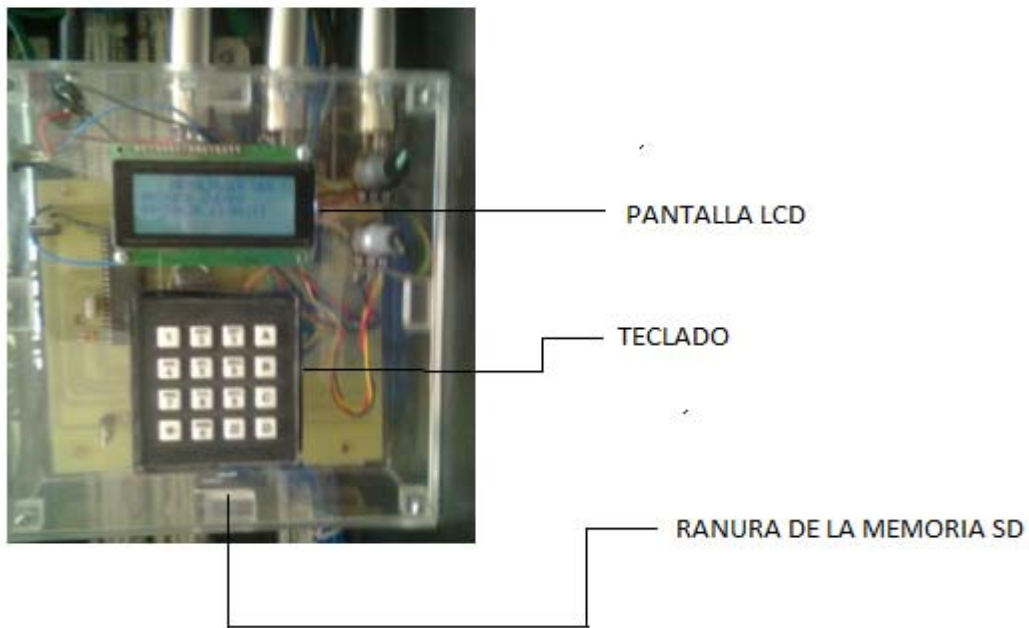
##### **ÍNDICE:**

- 4.1 Partes del Datalogger.
- 4.2 Ensamble del Datalogger.
- 4.3 Funcionamiento del Datalogger.
- 4.4 Apagado del Datalogger y retiro de Memoria SD.
- 4.5 Análisis de Datos en la PC.

#### 4.1. Partes del Datalogger.



**Figura 3.9.** Botones de brillo y contraste y de encendido, entradas de sensores y energía.



**Figura 3.10.** Pantalla LCD, Teclado y Ranura de la SD.

## **4.2. Ensamble del Datalogger**

Antes de poner a funcionar el instrumento de medición de temperatura (DataLogger) debe asegurarse que posee lo siguiente:

1. Los tres cables que corresponden a los sensores que se encargaran de monitorear la temperatura, los cuales deben conectarse en la parte de atrás del instrumento tal como se observa en la figura 3.9
2. Debe tener además la fuente de 12 voltios para energizar el datalogger, en la figura 3.9 se observa un cable rojo el cual corresponde a la energía del instrumento.
3. Colocar la memoria SD en la ranura correspondiente tal como se observa en la figura 3.10.

### **4.3. Funcionamiento del Datalogger.**

Una vez cumpla los pasos explicados en el apartado anterior puede poner a funcionar su datalogger (ponerlo a censar temperatura) de la manera siguiente:

1. Presione el botón rojo de encendido/apagado y su instrumento está en marcha.
2. Observe la Pantalla y deje que aparezcan los mensajes de inicialización y configuración de la memoria SD.
3. Si considera que el brillo y contraste necesita ser regulado utilice los botones que se observan en la figura 3.9 para modificarlo.
4. Luego utilice las teclas A y B para ubicar el cursor y configurar hora y fecha de inicio de toma de datos.
5. Luego solo espere el tiempo deseado que mida su instrumento.

#### **4.4. Apagado del Datalogger y retiro de Memoria SD.**

Cuan usted decida que su instrumento deje de tomar datos realice los siguientes pasos:

1. Simplemente presione el botón rojo de encendido/apagado y se cierran las mediciones, usted podrá ver que la pantalla se torna oscura.
2. Luego retire la memoria SD y colóquela en un adaptador USB como el que se muestra en la tabla 2.2 para ser conectada en cualquier PC para descargar los datos medidos.
3. Coloque el adaptador en la PC y está listo para abrir los archivos creados en EXCEL.

NOTA: Tome en cuenta que tendrá tantos archivos creados como días haya tenido funcionando el datalogger.

#### **4.5 Análisis de Datos en la PC.**

Una vez tenga su memoria conectada en la PC haga lo siguiente:

1. Abra su memoria de tal forma que pueda observar todos los archivos creados, deberá presentar nombre del archivo, fecha de creación y cantidad de memoria consumida.
2. Elija el archivo que quiera analizar y dele doble clic y se abrirá en Excel.
3. Esta listo para tratar sus datos de acuerdo a sus necesidades. Por ejemplo si desea elaborar tablas, hacer comparaciones o elaborar gráficos.



## CONCLUSIONES

- Se ha pretendido, en este proyecto, diseñar un sistema lo más versátil posible, de modo que pueda ser adaptable a cualquier aplicación posible para la que el microcontrolador esté preparado.
- Se pudo observar la gran dependencia que tiene el código con el compilador utilizado (CCS C Compiler v.4) lo cual determina en gran medida la sintaxis del mismo. Por lo que en todo momento se ha tratado de enfocar el desarrollo de la forma más teórica posible para realizar un sistema abierto que pueda ser constantemente evolucionado, portado a otras plataformas o modificado para ajustarlo a las necesidades del usuario.
- LM35 es un circuito integrado con un voltaje de salida linealmente proporcional a la temperatura en escala Celsius. No requiere calibración externa y proporciona una alta precisión en su Rango de temperatura de -55 a 150 °C, posee un factor de escala de 10 mV/°C, lo que facilita su utilización en la obtención directa de la temperatura a partir del voltaje de salida.
- Se ha pretendido con este proyecto incluir a la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la UES en el uso del Lenguaje C en el desarrollo de proyectos.
- Debido a que el convertidor usado tiene tres pines de dirección se puede tener 8 direcciones distintas, esto indica que se pueden conectar 8 convertidores haciendo un total de 32 entradas para conectar igual número de sensores distintos, debido a que este convertidor tiene 4 entradas. En este proyecto se utiliza un solo convertidor con tres de sus entradas analógicas.

- El costo del instrumento es bastante accesible incluso si se agregara un poco mas de circuitería ya que el mayor trabajo se hace a través de software.
- El convertidor PCF8591 solo proporciona a su salida valores enteros.
- El Voltaje de operación del LM35 es de 4 – 30 V.
- Una ventaja de utilizar sensores y no termopares es el ahorro de instrumentación electrónica por ejemplo acopladores ya que la mayoría de ajustes se hacen con programación y el convertidor A/D.
- Se esperaba obtener un instrumento que soportara mediciones a un máximo de 32000 muestras compuesta por hora, fecha y valor de la variable, pero de acuerdo a los cálculos el instrumento construido tiene capacidad de almacenar 25, 183,302 muestras.

## RECOMENDACIONES

- Para mejorar la resolución del instrumento puede cambiarse el convertidor A/D ya que el conversor utilizado en este proyecto es de 8 bits y los instrumentos reales son de 12 o 16 bits, se sugiere utilizar por ejemplo el MCP3424 que es de 16 bits y tiene cuatro canales diferenciales.
- Probar el aparato midiendo datos geológicos y no meteorológicos.
- Para futura tesis se recomienda:
  1. Crear rutina de autoconfiguración plug and play que permita identificar el tipo de sensor conectado en caso que se diseñe un sistema meteorológico en trabajos futuros.
  2. Crear un detector de errores por si falla la batería y eliminar datos que no son validos.
  3. Utilizar el modulo USB del microcontrolador para descarga directa con USB.
  4. Elaborar una macro que lea el archivo, lo suba y lo grafique.
  5. ADC con mayor resolución.
  6. Pruebas en ambiente geológicamente activos.
  7. Hacer análisis para un microcontrolador PIC 18F2550.
  8. Rutinas de control por medio de teclado, las variables a controlar son: tiempo de muestras, disparos de alarma, etc.
  9. Corrección de errores en los archivos grabados en la SD como: fecha de los archivos y nombre los archivos.

## BIBLIOGRAFIA

- ❖ Microcontroladores PIC, Diseño practico de aplicaciones, 1ª parte. 4ta Edición. Angulo Usategui, Angulo Martínez, Etxebaria Ruiz.
- ❖ Microcontroladores PIC, Diseño practico de aplicaciones, 2ª parte. 2da Edición. Angulo Usategui, Romero Yesa, Angulo Martínez.
- ❖ Microcontroladores PIC16F84, 2da Edición. Enrique Palacios, Fernando Remiro, Lucas J. López.
- ❖ HILL, Frederick, Peterson Gerald. Sistemas Digitales Organización y Diseño de Hardware. Editorial Limusa, Grupo Noriega Editores S.A. México D.F Tercera Edición 1993.
- ❖ ASHELKY, Louis. Fundamentos de Tecnología Digital. Editorial Limusa Grupo Noriega Editores S.A. México D.F 1993.

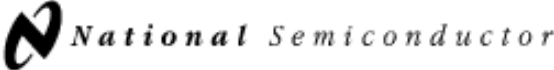
### ENLACES EXTERNOS:

1. [www.vppx134.vpehu.es/met/html/diccio/anemome.htm](http://www.vppx134.vpehu.es/met/html/diccio/anemome.htm)
2. [www.euskalmet.com](http://www.euskalmet.com)
3. [www.seac.es/Hardware/equipos/004.asp](http://www.seac.es/Hardware/equipos/004.asp)
4. [www.serviciouniversal.secom.gov.ar/normativa\\_2000\\_d764.htm](http://www.serviciouniversal.secom.gov.ar/normativa_2000_d764.htm)
5. [www.inm.es](http://www.inm.es)
6. [www.meteored.com/ram](http://www.meteored.com/ram)
7. [www.meteosort.com](http://www.meteosort.com)

8. [www.esa.int/export/esaED/](http://www.esa.int/export/esaED/)
9. [www.geocities.com/silvia\\_larocca/](http://www.geocities.com/silvia_larocca/)
10. [www.eumetsat.de/](http://www.eumetsat.de/)
11. [club.telepolis.com/fgilgon/meteoric.html](http://club.telepolis.com/fgilgon/meteoric.html)
12. [www.ipcc.ch/](http://www.ipcc.ch/)
13. [www.wmo.ch/](http://www.wmo.ch/)
14. [www.monografias.com/trabajos5/chips](http://www.monografias.com/trabajos5/chips)
15. [www.datasheetcatalog.com](http://www.datasheetcatalog.com)
16. [www.honeywell.com](http://www.honeywell.com)

# ANEXOS

## Anexo 1. Datos técnicos del sensor LM35


December 1994

### LM35/LM35A/LM35C/LM35CA/LM35D Precision Centigrade Temperature Sensors

#### General Description

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


available packaged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-202 package.

#### Features

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

#### Connection Diagrams

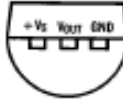
**TO-46**  
Metal Can Package\*



BOTTOM VIEW

TL/H/5516-1

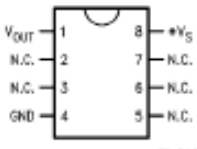
**TO-92**  
Plastic Package



BOTTOM VIEW

TL/H/5516-2

**SO-8**  
Small Outline Molded Package



TOP VIEW

N.C. = No Connection

Order Number LM35DM  
See NS Package Number M08A

TL/H/5516-21

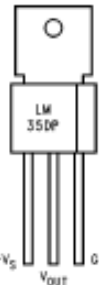
\*Case is connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH or LM35DH  
See NS Package Number H03H

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

#### Typical Applications

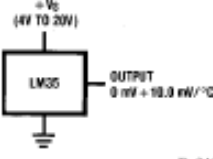
**TO-202**  
Plastic Package



TL/H/5516-24

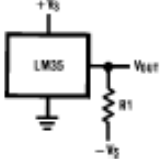
Order Number LM35DP  
See NS Package Number P03A

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



TL/H/5516-3

**FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor**



TL/H/5516-4

Choose  $R_1 = -V_{ref}/50\ \mu\text{A}$

$V_{OUT} = +1,500\ \text{mV}$  at  $+150^\circ\text{C}$   
 $= +250\ \text{mV}$  at  $+25^\circ\text{C}$   
 $= -550\ \text{mV}$  at  $-55^\circ\text{C}$

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

LM35/LM35A/LM35C/LM35CA/LM35D  
Precision Centigrade Temperature Sensors

### Absolute Maximum Ratings (Note 10)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	+35V to -0.2V
Output Voltage	+6V to -1.0V
Output Current	10 mA
Storage Temp., TO-46 Package,	-60°C to +180°C
TO-92 Package,	-60°C to +150°C
SO-8 Package,	-65°C to +150°C
TO-202 Package,	-65°C to +150°C

Lead Temp.:

TO-46 Package, (Soldering, 10 seconds)	300°C
TO-92 Package, (Soldering, 10 seconds)	260°C
TO-202 Package, (Soldering, 10 seconds)	+230°C

SO Package (Note 12):

Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 11)	2500V
Specified Operating Temperature Range: $T_{MIN}$ to $T_{MAX}$ (Note 2)	
LM35, LM35A	-55°C to +150°C
LM35C, LM35CA	-40°C to +110°C
LM35D	0°C to +100°C

### Electrical Characteristics (Note 1) (Note 6)

Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.2$	$\pm 0.5$		$\pm 0.2$	$\pm 0.5$	$\pm 1.0$	°C
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	$\pm 0.3$			$\pm 0.3$		$\pm 1.0$	°C
	$T_A = T_{MAX}$	$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		$\pm 0.4$	$\pm 1.0$	$\pm 1.5$	°C
	$T_A = T_{MIN}$	$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		$\pm 0.4$		$\pm 1.5$	°C
Nonlinearity (Note 8)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	$\pm 0.18$		$\pm 0.35$	$\pm 0.15$		$\pm 0.3$	°C
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	+10.0	+9.9, +10.1		+10.0		+9.9, +10.1	mV/°C
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		$\pm 0.4$	$\pm 1.0$	$\pm 3.0$	mV/mA
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	$\pm 0.5$		$\pm 3.0$	$\pm 0.5$		$\pm 3.0$	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.01$	$\pm 0.05$		$\pm 0.01$	$\pm 0.05$	$\pm 0.1$	mV/V
	$4V \leq V_S \leq 30V$	$\pm 0.02$		$\pm 0.1$	$\pm 0.02$		$\pm 0.1$	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5V, +25^\circ\text{C}$	56	67		56	67	114	$\mu\text{A}$
	$V_S = +5V$	105		131	91		114	$\mu\text{A}$
	$V_S = +30V, +25^\circ\text{C}$	56.2	68		56.2	68	116	$\mu\text{A}$
	$V_S = +30V$	105.5		133	91.5		116	$\mu\text{A}$
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4V \leq V_S \leq 30V, +25^\circ\text{C}$	0.2	1.0		0.2	1.0	2.0	$\mu\text{A}$
	$4V \leq V_S \leq 30V$	0.5		2.0	0.5		2.0	$\mu\text{A}$
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.5	+0.39		+0.5	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	°C
Long Term Stability	$T_J = T_{MAX}$ , for 1000 hours	$\pm 0.08$			$\pm 0.08$			°C

## Anexo 2. Datos técnicos del microcontrolador PIC18F4550



# MICROCHIP PIC18F2455/2550/4455/4550

## 28/40/44-Pin High-Performance, Enhanced Flash USB Microcontrollers with nanoWatt Technology

### Universal Serial Bus Features:

- USB V2.0 Compliant SIE
- Low-speed (1.5 Mb/s) and full-speed (12 Mb/s)
- Supports control, interrupt, Isochronous and bulk transfers
- Supports up to 32 endpoints (16 bidirectional)
- 1-Kbyte dual access RAM for USB
- On-board USB transceiver with on-chip voltage regulator
- Interface for off-chip USB transceiver
- Streaming Parallel Port (SPP) for USB streaming transfers (40/44-pin devices only)

### Power Managed Modes:

- Run: CPU on, peripherals on
- Idle: CPU off, peripherals on
- Sleep: CPU off, peripherals off
- Idle mode currents down to 5.8  $\mu$ A typical
- Sleep current down to 0.1  $\mu$ A typical
- Timer1 oscillator: 1.1  $\mu$ A typical, 32 kHz, 2V
- Watchdog Timer: 2.1  $\mu$ A typical
- Two-Speed Oscillator Start-up

### Flexible Oscillator Structure:

- Five Crystal modes, including High-Precision PLL for USB
- Two External RC modes, up to 4 MHz
- Two External Clock modes, up to 40 MHz
- Internal oscillator block:
  - 8 user selectable frequencies, from 31 kHz to 8 MHz
  - User tunable to compensate for frequency drift
- Secondary oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Fail-Safe Clock Monitor
  - Allows for safe shutdown if any clock stops

### Peripheral Highlights:

- High current sink/source: 25 mA/25 mA
- Three external interrupts
- Four Timer modules (Timer0 to Timer3)
- Up to 2 Capture/Compare/PWM (CCP) modules:
  - Capture is 16-bit, max. resolution 6.25 ns ( $T_{CY}/16$ )
  - Compare is 16-bit, max. resolution 100 ns ( $T_{CY}$ )
  - PWM output: PWM resolution is 1 to 10-bit
- Enhanced Capture/Compare/PWM (ECCP) module:
  - Multiple output modes
  - Selectable polarity
  - Programmable dead-time
  - Auto-Shutdown and Auto-Restart
- Addressable USART module:
  - LIN bus support
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module supporting 3-wire SPI™ (all 4 modes) and I<sup>2</sup>C™ Master and Slave modes
- 10-bit, up to 13-channels Analog-to-Digital Converter module (A/D) with programmable acquisition time
- Dual analog comparators with input multiplexing

### Special Microcontroller Features:

- C compiler optimized architecture with optional extended instruction set
- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle data EEPROM memory typical
- Flash/data EEPROM retention: > 40 years
- Self-programmable under software control
- Priority levels for interrupts
- 8 x 8 Single Cycle Hardware Multiplier
- Extended Watchdog Timer (WDT):
  - Programmable period from 41 ms to 131s
- Programmable Code Protection
- Single-supply 5V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)

Device	Program Memory		Data Memory		I/O	10-bit A/D (oh)	CCP/ ECCP (PWM)	SPP	MSSP		EUSART	Comparators	Timers 8/16-bit
	FLASH (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					SPI	Master I <sup>2</sup> C			
PIC18F2455	24K	12288	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F2550	32K	16384	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4455	24K	12288	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4550	32K	16384	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3



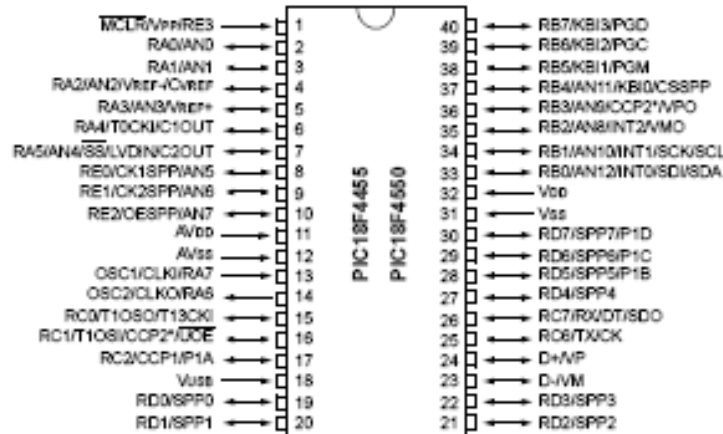
# PIC18F2455/2550/4455/4550

## Pin Diagrams

### 28-Pin SDIP, SOIC



### 40-Pin PDIP



Note: Pinouts are subject to change.

\* Assignment of this feature is dependent on device configuration.

## Anexo 3. Datos técnicos del convertidor A/D PCF8591

### 8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

#### 1 FEATURES

- Single power supply
- Operating supply voltage 2.5 V to 6 V
- Low standby current
- Serial input/output via I<sup>2</sup>C-bus
- Address by 3 hardware address pins
- Sampling rate given by I<sup>2</sup>C-bus speed
- 4 analog inputs programmable as single-ended or differential inputs
- Auto-incremented channel selection
- Analog voltage range from  $V_{SS}$  to  $V_{DD}$
- On-chip track and hold circuit
- 8-bit successive approximation A/D conversion
- Multiplying DAC with one analog output.

#### 2 APPLICATIONS

- Closed loop control systems
- Low power converter for remote data acquisition
- Battery operated equipment
- Acquisition of analog values in automotive, audio and TV applications.

#### 4 ORDERING INFORMATION

TYPE NUMBER	PACKAGE		
	NAME	DESCRIPTION	VERSION
PCF8591P	DIP16	plastic dual in-line package; 16 leads (300 mil)	SOT38-4
PCF8591T	SO16	plastic small outline package; 16 leads; body width 7.5 mm	SOT162-1



#### 3 GENERAL DESCRIPTION

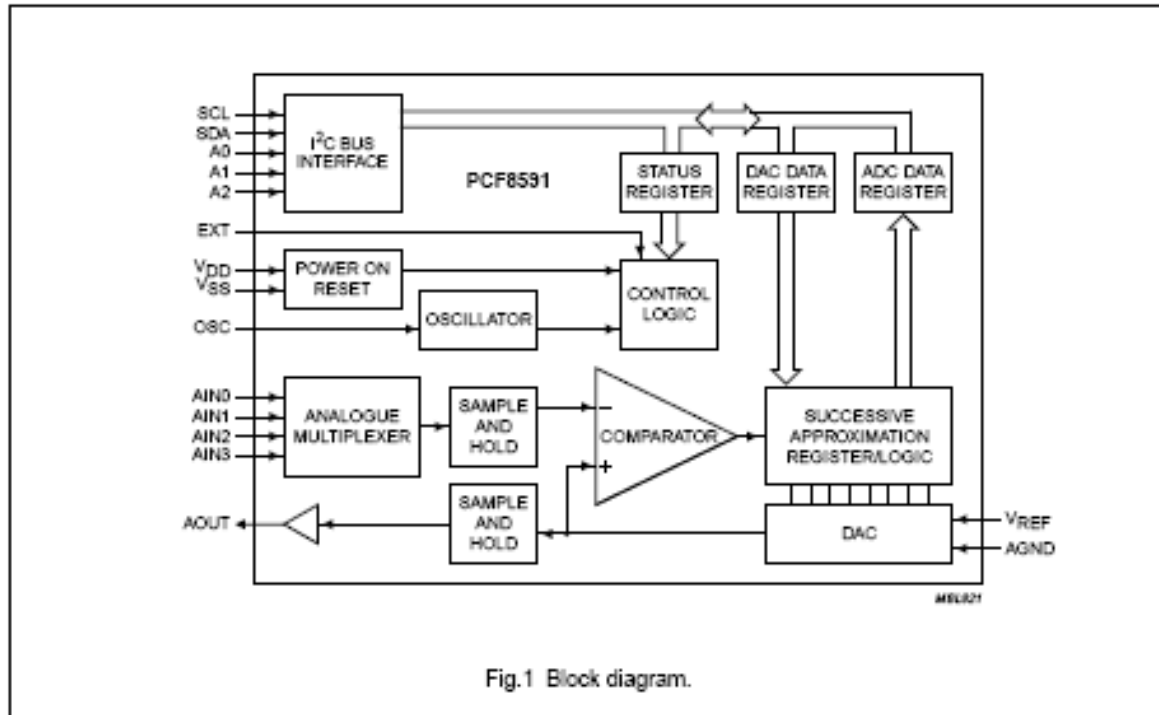
The PCF8591 is a single-chip, single-supply low power 8-bit CMOS data acquisition device with four analog inputs, one analog output and a serial I<sup>2</sup>C-bus interface. Three address pins A0, A1 and A2 are used for programming the hardware address, allowing the use of up to eight devices connected to the I<sup>2</sup>C-bus without additional hardware. Address, control and data to and from the device are transferred serially via the two-line bidirectional I<sup>2</sup>C-bus.

The functions of the device include analog input multiplexing, on-chip track and hold function, 8-bit analog-to-digital conversion and an 8-bit digital-to-analog conversion. The maximum conversion rate is given by the maximum speed of the I<sup>2</sup>C-bus.

## 8-bit A/D and D/A converter

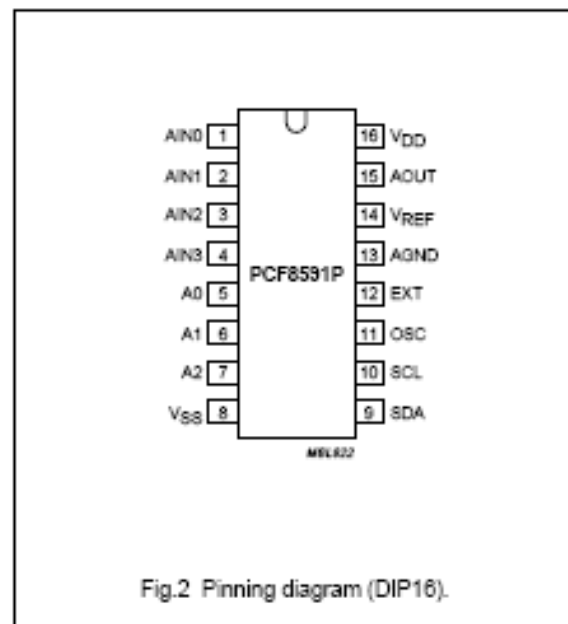
PCF8591

## 5 BLOCK DIAGRAM



## 6 PINNING

SYMBOL	PIN	DESCRIPTION
AIN0	1	analog inputs (A/D converter)
AIN1	2	
AIN2	3	
AIN3	4	
A0	5	hardware address
A1	6	
A2	7	
V <sub>SS</sub>	8	negative supply voltage
SDA	9	I <sup>2</sup> C-bus data input/output
SCL	10	I <sup>2</sup> C-bus clock input
OSC	11	oscillator input/output
EXT	12	external/internal switch for oscillator input
AGND	13	analog ground
V <sub>REF</sub>	14	voltage reference input
AOUT	15	analog output (D/A converter)
V <sub>DD</sub>	16	positive supply voltage



## Anexo 4. Datos técnicos del reloj de tiempo real DS1307



# DS1307 64 x 8, Serial, I<sup>2</sup>C Real-Time Clock

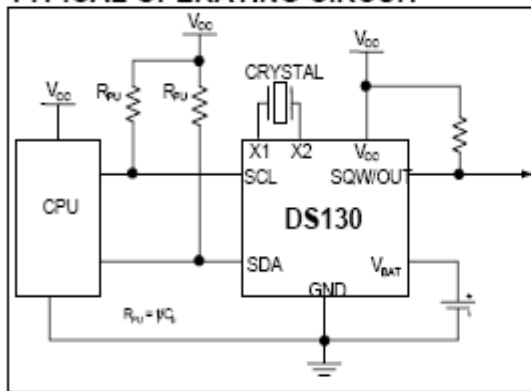
### GENERAL DESCRIPTION

The DS1307 serial real-time clock (RTC) is a low-power, full binary-coded decimal (BCD) clock/calendar plus 56 bytes of NV SRAM. Address and data are transferred serially through an I<sup>2</sup>C, bidirectional bus. The clock/calendar provides seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The end of the month date is automatically adjusted for months with fewer than 31 days, including corrections for leap year. The clock operates in either the 24-hour or 12-hour format with AM/PM indicator. The DS1307 has a built-in power-sense circuit that detects power failures and automatically switches to the backup supply. Timekeeping operation continues while the part operates from the backup supply.

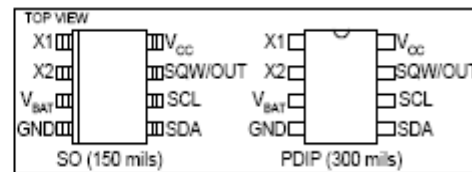
### FEATURES

- Real-Time Clock (RTC) Counts Seconds, Minutes, Hours, Date of the Month, Month, Day of the week, and Year with Leap-Year Compensation Valid Up to 2100
- 56-Byte, Battery-Backed, General-Purpose RAM with Unlimited Writes
- I<sup>2</sup>C Serial Interface
- Programmable Square-Wave Output Signal
- Automatic Power-Fail Detect and Switch Circuitry
- Consumes Less than 500nA in Battery-Backup Mode with Oscillator Running
- Optional Industrial Temperature Range: -40°C to +85°C
- Available in 8-Pin Plastic DIP or SO
- Underwriters Laboratories (UL) Recognized

### TYPICAL OPERATING CIRCUIT



### PIN CONFIGURATIONS



### ORDERING INFORMATION

PART	TEMP RANGE	VOLTAGE (V)	PIN-PACKAGE	TOP MARK*
DS1307+	0°C to +70°C	5.0	8 PDIP (300 mils)	DS1307
DS1307N+	-40°C to +85°C	5.0	8 PDIP (300 mils)	DS1307N
DS1307Z+	0°C to +70°C	5.0	8 SO (150 mils)	DS1307
DS1307ZN+	-40°C to +85°C	5.0	8 SO (150 mils)	DS1307N
DS1307Z+T&R	0°C to +70°C	5.0	8 SO (150 mils) Tape and Reel	DS1307
DS1307ZN+T&R	-40°C to +85°C	5.0	8 SO (150 mils) Tape and Reel	DS1307N

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

Voltage Range on Any Pin Relative to Ground .....	-0.5V to +7.0V
Operating Temperature Range (Noncondensing)	
Commercial .....	0°C to +70°C
Industrial .....	-40°C to +85°C
Storage Temperature Range .....	-55°C to +125°C
Soldering Temperature (DIP, leads) .....	+260°C for 10 seconds
Soldering Temperature (surface mount) .....	Refer to the JPC/JEDEC J-STD-020 Specification.

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 the absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

**RECOMMENDED DC OPERATING CONDITIONS**

( $T_A = 0^\circ\text{C}$  to  $+70^\circ\text{C}$ ,  $T_A = -40^\circ\text{C}$  to  $+85^\circ\text{C}$ .) (Notes 1, 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	$V_{CC}$		4.5	5.0	5.5	V
Logic 1 Input	$V_{IH}$		2.2		$V_{CC} + 0.3$	V
Logic 0 Input	$V_{IL}$		-0.3		+0.8	V
$V_{BAT}$ Battery Voltage	$V_{BAT}$		2.0	3	3.5	V

**DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

( $V_{CC} = 4.5\text{V}$  to  $5.5\text{V}$ ;  $T_A = 0^\circ\text{C}$  to  $+70^\circ\text{C}$ ,  $T_A = -40^\circ\text{C}$  to  $+85^\circ\text{C}$ .) (Notes 1, 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Input Leakage (SCL)	$I_{LI}$		-1		1	$\mu\text{A}$
I/O Leakage (SDA, SQW/OUT)	$I_{LO}$		-1		1	$\mu\text{A}$
Logic 0 Output ( $I_{OL} = 5\text{mA}$ )	$V_{OL}$				0.4	V
Active Supply Current ( $f_{SCL} = 100\text{kHz}$ )	$I_{CCA}$				1.5	mA
Standby Current	$I_{CCS}$	(Note 3)			200	$\mu\text{A}$
$V_{BAT}$ Leakage Current	$I_{BATLKG}$			5	50	nA
Power-Fail Voltage ( $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ )	$V_{PF}$		$1.216 \times V_{BAT}$	$1.25 \times V_{BAT}$	$1.284 \times V_{BAT}$	V

**DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

( $V_{CC} = 0\text{V}$ ,  $V_{BAT} = 3.0\text{V}$ ;  $T_A = 0^\circ\text{C}$  to  $+70^\circ\text{C}$ ,  $T_A = -40^\circ\text{C}$  to  $+85^\circ\text{C}$ .) (Notes 1, 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
$V_{BAT}$ Current (OSC ON); SQW/OUT OFF	$I_{BAT1}$			300	500	nA
$V_{BAT}$ Current (OSC ON); SQW/OUT ON (32kHz)	$I_{BAT2}$			480	800	nA
$V_{BAT}$ Data-Retention Current (Oscillator Off)	$I_{BATDR}$			10	100	nA