

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

SEDE LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TÍTULO DEL PROYECTO DE GRADO:

“Diseño e implementación de una estación meteorológica
automática”

Elaborada por:

GÓMEZ CEVALLOS JUAN CARLOS

LASLUIA MONTALUISA JUAN PABLO

Tesis presentada como requisito parcial previa la obtención
del título de:

INGENIERO ELECTROMECAÁNICO

2007

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a Dios por haberme permitido culminar mis estudios con salud y vida, después a mis padres quienes con su amor y cariño indeclinable me han dado fuerzas para que no desmaye en los momentos más difíciles, a mis hermanas Mónica y Juanita quienes han sido mi apoyo y ayuda durante toda mi carrera. Agradezco también a mis profesores quienes me impartieron sus enseñanzas para poder afrontar mi vida profesional sin inconvenientes.

Juan C. Gómez C.

Agradezco a mis padres por estar siempre a mi lado brindándome el apoyo necesario, a mis maestros por los conocimientos compartidos semestre a semestre en las aulas, a mis compañeros con quienes compartimos gratos momentos a lo largo de nuestra etapa universitaria.

Juan P. Lasluisa M.

DEDICATORIA.

Dedico este proyecto a mis padres Carlos y Teresa quienes me dieron la vida e inculcaron en mí la responsabilidad y el amor al estudio durante toda mi vida, también a mis hermanas y enamorada Gabriela quienes han sido mi sustento y los motores que me han impulsado a la finalización de mi carrera profesional.

Juan C. Gómez C.

El presente logro lo dedico especialmente a mis padres José y Celinda a mis hermanos Edwin y Elsa, quienes siempre supieron estar a mi lado apoyándome en momentos difíciles.

Juan P Lasluisa M.

CERTIFICACIÓN.

Certifico que el presente proyecto fue realizado en su totalidad por los señores: Lasluisa Montaluisa Juan Pablo y Gómez Cevallos Juan Carlos, como requerimiento parcial a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico.

Fecha.

Ing. Marco Singaña.

DIRECTOR

Ing. Wilson Sánchez.

CODIRECTOR

ANTECEDENTES.

Durante los últimos años los temas relacionados al clima han tenido vital importancia debido a la serie de eventos climáticos adversos como lluvias torrenciales, temperaturas elevadas, etc. Lo que afecta el normal desarrollo de las actividades humanas por esta razón conocer de una forma más detallada la variación de las diferentes variables climáticas, en forma automática es muy importante para que los meteorólogos puedan dar un pronóstico más exacto, y en cualquier momento de los diferentes tipos de fenómenos climáticos que se pudieran presentar.

JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La importancia del estudio del clima se acrecenta en las zonas agrícolas más representativas de la provincia y del país, dando lugar a la ubicación de las estaciones en zonas de difícil acceso para el técnico encargado de la recolección visual de los datos de superficie, por esta razón muy importante nuestra estación automática recopilará datos y enviará esta información la cual será visualizada a través de un PC, a toda hora con mucha precisión y eficacia.

La obtención de los datos meteorológicos como: temperatura ambiental, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, presión atmosférica, precipitación de lluvia y radiación solar, permitirá la medición y determinación de todos los elementos que en su conjunto representan las condiciones del estado atmosférico en un momento dado y en un determinado lugar; contribuyendo de esta manera a que se puedan desarrollar proyectos y programas en beneficio del país.

Estas magnitudes serán recolectadas diariamente en una base de datos los mismos que serán guardados en el computador cinco veces al día 7am, 10am, 13pm, 15pm, 16pm y 19pm respectivamente.

OBJETIVO GENERAL.

Obtener información meteorológica a través de sensores en tiempo real con el fin de obtener una base de datos que nos permita llevar un registro de estado del tiempo en el lugar de ubicación de la estación automática.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Recolectar el comportamiento del clima en la determinación de fenómenos meteorológicos.
- Analizar los principios de funcionamiento de los sensores de temperatura ambiente, humedad, presión, velocidad y dirección del viento, precipitación de lluvia y evaporación de agua, sus ventajas y desventajas en la utilización para estaciones meteorológicas.
- Elegir los sensores más adecuados para recolectar los datos con una precisión adecuada para nuestra aplicación.
- Realizar el acondicionamiento de las señales de cada uno de los sensores a utilizar para obtener una información veraz y oportuna.
- Diseñar e implementar el equipo para recolección y envío de datos.
- Implementar el software para analizar los datos recibidos y crear una base de datos que respalde y justifique la consecución de nuevas obras en beneficio de la colectividad.
- Implementar una estación meteorológica automática cuyas variables puedan ser observadas a distancia y en tiempo real.

METAS

- Diseñar e implementar una estación meteorológica automática cuyo costo sea menor a las estaciones convencionales, y que los datos obtenidos sean más precisos y confiables.
- Crear una base de datos para recopilar información para investigaciones futuras.

INTRODUCCIÓN.

En la actualidad la tendencia mundial en todos los campos, es la automatización de procesos ya que esto conlleva a tener datos más exactos, confiables y que además son fácilmente manejables. En el presente proyecto los pilares fundamentales son la adquisición, envío y almacenamiento de información.

El presente proyecto consiste en adquirir el estado de siete variables importantes dentro del estudio climático, para esto se decidió utilizar sensores análogos de voltaje y corriente adquirir esta información hacia un microcontrolador PIC 16F877A a través de siete canales análogos, una vez dentro del microcontrolador la información es ingresada en ecuaciones matemáticas para transformar los bits obtenidos de los conversores análogo-digitales a valores de temperatura (°C), presión (Hectopascales), Humedad (%), Dirección del viento (° Norte), Velocidad del viento (Km/h), Radiación solar (vatios/metro cuadrado), Nivel de precipitación (mm) estos valores son visualizados en una pantalla de cristal líquido (LCD), además los bits obtenidos de los conversores son dirigidos hacia un módulo de transmisión RF en protocolo RS232 a 2400 Bps.

El protocolo I²C es utilizado para poder leer información de un reloj en tiempo real el microcontrolador compara las horas, minutos y segundos si estas son iguales a constantes almacenadas en el PIC este ordena guardar la información de los conversores en una memoria EEPROM

La información enviada por el módulo RF es canalizada hacia un PC por medio de un receptor de RF todos los valores de las siete variables pueden ser monitoreadas por medio de un PC ubicado a 300 metros de distancia del transmisor ubicado a la intemperie.

INDICE DE CONTENIDOS.

CAPITULO I

VARIABLES CLIMÁTICAS.

1.1. Variables climáticas	1
1.1.1. Definición	1
1.2. Tipos de variables	1
1.3. Descripción de variables	2
1.3.1. Temperatura del aire	2
1.3.2. Humedad relativa	4
1.3.3. Precipitación	5
1.3.4. Presión Atmosférica	6
1.3.5. El viento	8
1.4. Fenómenos meteorológicos	15
1.4.1. Definición de los fenómenos	17
1.4.1.1. Hidrometeoros	17
1.4.2. Litometeoros	20
1.4.3. Electrometeoros	21
1.5. Técnicas del pronóstico del clima	23
1.5.1. Métodos de pronóstico	23
1.5.2. Parametrizaciones físicas de los modelos.	26
1.5.3. Confiabilidad de un pronóstico numérico del tiempo.	28
1.6. Consecuencias de los fenómenos climáticos adversos.	29
1.6.1. Las heladas.	29

CAPITULO II

ACONDICIONAMIENTO Y ADQUISICIÓN DE DATOS

2.1. Sensores	34
2.1.1. Sensores electrónicos	34
2.1.2. Tipos de sensores	35
2.1.3. Terminología	35
2.2. Sensores climáticos	35
2.2.1. Descripción y selección de los sensores	36
2.2.2. Sensores de temperatura	36
2.2.3. Sensores de presión	41

2.2.4. Tipos de sensores de presión	42
2.2.5. Sensores de humedad relativa.	47
2.2.6. Sensores de posición	49
2.2.7. Sensores de velocidad angular	52
2.2.8. Sensor de luz	56
2.2.9. Sensor de lluvia	63
2.3. Filtrado de señales	66
2.3.1. Filtros	66
2.3.2. Diseño de filtros	67
2.3.3. Tipos de filtros	68
2.4. Acondicionamiento de señales	71
2.4.1. Introducción.	71
2.4.2. Circuitos de corriente continua.	72
2.4.3. El amplificador operacional.	73
2.5. Almacenamiento de datos en memorias EEPROM	76
2.5.1. Introducción a las memorias programables.	76
2.5.2. Memoria EEPROM.	78
2.5.3. Bus de datos I ² C.	80
2.5.4. Memoria EEPROM 24C16A.	87
2.6. Variables y señales	88
2.6.1. Conversión análogo-digital	89
2.6.2. Características de los conversores análogo-digitales	90
2.7. Comunicación por radio frecuencia	93
2.7.1. Ondas de radio.	93
2.7.2. Módulos de comunicación por RF.	94
2.8. Comunicación serial	97
2.8.1. Introducción.	97
2.8.2. Consideraciones en la comunicación serie.	98
2.8.3. Velocidad de transmisión.	98
2.8.4. Modos de transmisión.	99
2.8.5. La transmisión asíncrona.	99
2.8.6. BIT de inicio y BIT de parada.	100
2.8.7. Reglas de transmisión asíncrona.	101
2.8.8. La transmisión y recepción de datos por el puerto serial.	102

2.8.9. La norma RS232.	104
2.8.10. Velocidad de transmisión de datos.	105
2.8.11. Conectores.	106
2.8.12. Distribución de pines del conector DB9.	106
2.8.13. El MAX232.	107
2.8.14. Funcionamiento.	108
2.8.15. Conexión de un microcontrolador al puerto serie del PC.	109
2.9. El reloj en tiempo real	110
2.9.1. El RTC-DS1307.	111
2.9.2. Comunicación I ² C con el reloj calendario DS1307.	112

CAPITULO III

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN.

3.1. Etapas para la recolección de datos	113
3.1.1. Módulo de visualización	113
3.1.2. Interface de radio frecuencia a RS232	117
3.2. Selección del microcontrolador	118
3.3. Selección de la memoria EEPROM	119
3.4. Interface de descarga de datos	119
3.5. Programación del microcontrolador	120
3.5.1. Programa para adquisición y envío de datos	121
3.5.2. Programa para descarga de datos desde una memoria EEPROM	122
3.6. Implementación de los circuitos	122
3.6.1. Módulo de captura, recolección y envío de datos	122
3.6.2. Interface de radio frecuencia a RS232	123
3.6.3. Interface de descarga de datos	125
3.7. Implementación de la alarma de baja temperatura	127
3.8. Diseño del software en LabView	128
3.8.1. Software de monitoreo y recolección de datos	129
3.8.2. Programa para descargar datos desde una memoria EEPROM en Labview	146

CAPITULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1. Pruebas de adquisición de datos con el PIC.	149
--	-----

4.1.1. Pruebas de los conversores análogo digitales.	149
4.1.2. Pruebas de la transmisión serial.	152
4.2. Pruebas de la interface de descarga.	153
4.2.1. Hardware.	154
4.2.2. Software.	154
4.2.3. Prueba de hardware.	155
4.2.4. Prueba del software.	156
4.3. Pruebas del software de monitoreo.	159
4.3.1. Comparación de datos (LabView vs. LCD)	159
4.3.2. Prueba de la recolección de datos (Excel)	167
4.3.3. Prueba de la recolección de datos (Access)	168
4.4. Prueba de recepción de datos vía RF.	168
4.5. Comprobación de las lecturas con instrumentos patrones.	170

CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.	172
5.2. Recomendaciones.	173
BIBLIOGRAFIA.	175

ANEXO A	DATASHEET LM335 (Sensor Temperatura)
ANEXO B	DATASHEET MPX4115A (Sensor presión)
ANEXO C	DATASHEET HIH 4000 (Sensor Humedad)
ANEXO D	DATASHEET WE570 (Sensor dirección viento)
ANEXO E	DISEÑO ANEMOMETRO.
ANEXO F	DATASHEET CM3 (Sensor radiación solar)
ANEXO G	DATASHEET RG200 (Sensor Nivel lluvia)
ANEXO H	DATASHEET RG700 (Convertor de frecuencia a corriente)
ANEXO I	DATASHEET RXM_433-LR (Receptor RF)
ANEXO J	DATASHEET TXM_433_LR (Transmisor RF)
ANEXO K.	DATASHEET DS1307 (Reloj en tiempo real)
ANEXO L.	PROGRAMA MICROCONTROLADOR PIC.

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO I

Figura 1.1	Caseta de abrigo meteorológico	3
Figura 1.2	Pluviómetro de balancín.	6
Figura 1.3	Pluviómetro tipo Hellman	7
Figura 1.4	Veleta para medir la dirección del viento.	9
Figura 1.5.	Rosa de los vientos	10
Figura 1.6	Anemómetro de cazoletas.	11
Figura 1.7	Anemómetro Tubo Pitot.	12
Figura 1.8	Anemómetro de hilo caliente.	13
Figura 1.9	Anemómetro Láser.	14
Figura 1.10	Anemómetro Sónico.	14
Figura 1.11	Forma de un Cumulonimbus.	27

CAPITULO II

Figura 2.1. Termistores.	37
Figura 2.2. Termorresistencias.	37
Figura 2.3. Termocuplas.	38
Figura 2.4. Diodos para medir temperatura.	38
Figura 2.5. Circuitos integrados para medir temperatura	39
Figura 2.6. Sensor de temperatura LM335.	39
Figura 2.7. Temperatura Vs. Voltaje.	40
Figura 2.8. Definición de Presión.	41
Figura 2.9. Sensor de presión resistivo.	42
Figura 2.10. Sensor de presión piezo-cerámico.	43
Figura 2.11. Sensor de presión con semiconductores.	43
Figura 2.12. Sensor de presión atmosférica MPX4115.	43
Figura 2.13. Presión Vs. Voltaje.	44
Figura 2.14. Sensor de presión absoluta.	46
Figura 2.15. Sensor de Humedad relativa HIH-4000.	47
Figura 2.16. Humedad relativa Vs. Voltaje de salida.	48
Figura 2.17. Sensor de velocidad del viento WE570	50

Figura 2.18. Dirección del viento Vs. Voltaje de salida.	51
Figura 2.19. Velocidad angular.	52
Figura 2.20. Codificador óptico formado por: disco ranurado, led y fotodetector.	54
Figura 2.21. Señal de salida del sensor de velocidad.	54
Figura 2.22. Conversión de frecuencia a voltaje del anemómetro.	55
Figura 2.23. Velocidad del viento Vs. Voltaje de salida.	55
Figura 2.24. Sensor resistivo LDR.	57
Figura 2.25. Celda Fotovoltaica.	57
Figura. 2.26. Fotodiodos.	58
Figura. 2.27. Fototransistores.	58
Figura. 2.28. Dispositivo Acoplado por Carga (CCD).	59
Figura. 2.29. Sensores reflectivos y por intercepción.	59
Figura 2.30. Estructura básica de un detector piroeléctrico.	60
Figura 2.31. Sensor de radiación solar CM3.	61
Figura 2.32. Radiación solar Vs. Voltaje de salida.	62
Figura2.33. Cazoleta del pluviómetro.	63
Figura 2.34. Medidor de nivel de lluvia RG200.	64
Figura 2.35. Módulo convertidor RG700.	65
Figura 2.36. Precipitación Vs. Voltaje de salida.	65
Figura 2.37. Concepto de filtro eléctrico.	66
Figura 2.38. Funciones de transferencia ideales y reales de los filtros.	70
Figura 2.39. Representación gráfica de un filtro según la función que realice.	71
Figura.2.40. Etapas de acondicionamiento de señales.	72
Figura.2.41. Proceso de adquisición de datos utilizando PIC's.	73
Figura 2.42. Descripción de pines de la EEPROM.	79
Figura 2.43. Bus I ² C	81
Figura 2.44. Inicio de la comunicación I ² C	82
Figura 2.45. La escritura datos en la memoria EEPROM.	83
Figura 2.46. Fin de la comunicación I ² C.	83
Figura 2.47. La memoria ATMEL 24C16A.	87
Figura 2.48. Organización interna de la memoria 24C16A.	88
Figura 2.49. (a) Una variable analógica y (b) Una variable digital binaria.	89
Figura. 2.50. Chip Conversor Análogo-Digital.	90
Figura 2.51. Característica de transferencia estática de una CAD.	91

Figura 2.52. Esquema básico de un sistema de transmisión de información por radio.	94
Figura 2.53. Módulo receptor de RF.	95
Figura 2.54. Pines del receptor de RF.	96
Figura 2.55. Módulo emisor de RF.	96
Figura 2.56. Pines del emisor de RF.	97
Figura 2.57. Formato de transmisión asíncrona.	101
Figura 2.58. La transmisión y recepción de datos por el puerto serial.	102
Figura 2.59. Conectores DB25 macho y hembra.	106
Figura 2.60. Conectores DB9 macho y hembra.	106
Figura 2.61. El MAX 232.	107
Figura 2.62. Diagrama interno del MAX232.	108
Figura 2.63. Conexión de un microcontrolador al puerto serie del PC.	109
Figura 2.64. Circuito de polarización del MAX232.	110
Figura 2.65. Reloj en tiempo Real.	111

CAPITULO III

Figura 3.1 Mensaje de entrada en el módulo de visualización.	114
Figura 3.2 Visualización de la temperatura Ambiente.	114
Figura 3.3 Visualización de la Presión atmosférica.	115
Figura 3.4 Visualización de la Humedad relativa.	115
Figura 3.5 Visualización de la dirección del viento.	115
Figura 3.6 Visualización de la velocidad del viento.	115
Figura 3.7 Visualización de la radiación solar.	115
Figura 3.8 Visualización del nivel de precipitaciones.	115
Figura 3.9 Diagrama de bloques del módulo de Visualización.	116
Figura 3.10 reloj en tiempo real (RTC DS1307)	117
Figura 3.11 Interfase entre Radio frecuencia y RS232	118
Figura 3.12 Diagrama de flujo de la interface.	120
Figura 3.13 Diagrama de bloques del módulo de adquisición, Almacenamiento y envío de datos	121
Figura 3.14 Diagrama de bloques	122
Figura 3.15 Módulo de Visualización, recolección de datos en campo y transmisor de radio frecuencia	123

Figura 3.16 Conexiones de la interface de radio frecuencia a RS232	125
Figura 3.17 Interfase de descarga de datos.	126
Figura 3.18 Detalle del circuito de la alarma.	127
Figura 3.19 Conexiones para habilitar el puerto serial.	128
Figura 3.20 Herramienta para dividir cadenas.	129
Figura 3.21 Detalle del programa para separar datos	130
Figura 3.22 Icono para transformar de string a numero.	130
Figura 3.23 Nodo de Fórmula	130
Figura 3.24 Transformación de los datos.	131
Figura 3.25 Uso del nodo de formula.	132
Figura 3.26 Ecuación del sensor de temperatura.	132
Figura 3.27 Ecuación del sensor de presión.	132
Figura 3.28 Ecuación del sensor de Humedad.	133
Figura 3.29 Ecuación del sensor de Dirección del Viento.	133
Figura 3.30 Ecuación del sensor de Velocidad del Viento.	133
Figura 3.31 Ecuación del sensor de Radiación Solar.	134
Figura 3.32 Ecuación del sensor de Nivel de Precipitaciones.	134
Figura 3.33 Tab control dentro del programa de monitoreo.	135
Figura 3.34 Icono para guardar datos en archivo de Excel.	135
Figura 3.35 Herramientas ADO para guardar datos en Access.	135
Figura 3.36 Get date/time string (reloj calendario de Labview).	136
Figura 3.37 Bloque de Comparaciones.	136
Figura 3.38 Conversión de las mediciones a una matriz	137
Figura 3.39 Código para guardar el título	137
Figura 3.40 Código para guardar los datos de las cinco matrices	138
Figura 3.41 Programa del Sub VI "access prog".	138
Figura 3.42 Ventana del administrador de orígenes de datos	140
Figura 3.43 Ventana de configuración.	141
Figura 3.44 Ventana de selección de la base.	141
Figura 3.45 Ventana de la temperatura.	142
Figura 3.46 Visualización de la presión.	142
Figura 3.47 Visualización de la humedad relativa.	143
Figura 3.48 Visualización de la dirección del viento	143
Figura 3.49 Visualización de la velocidad del viento.	144

Figura 3.50 Visualización de la Radiación solar.	144
Figura 3.51 Visualización del nivel de lluvia.	145
Figura 3.52 Visualización de las medidas del día	145
Figura 3.53 Visualización de la base de datos.	146
Figura 3.54 Código de la secuencia cero.	147
Figura 3.55 Código de la secuencia uno.	148
Figura 3.56 Código de la secuencia dos.	148

CAPITULO IV

Figura 4.1 Estructura del registro ADCON1	151
Figura 4.2 Combinaciones para la frecuencia de conversión.	151
Figura 4.3. Combinaciones para configurar los bits 3-0 del registro ADCON1.	152
Figura 4.4 Cadenas de datos recibidas en “serialCom”	153
Figura 4.5 Cadena de datos recibida en Hyperterminal.	155
Figura 4.6 Cadena de datos recibida en LabView.	156
Figura 4.7 Cadena de datos en Hyperterminal.	157
Figura 4.8 Página de datos archivo “Eledescarg”	158
Figura 4.9 Ventana de monitoreo de temperatura.	160
Figura 4.10 Ventana de monitoreo de presión atmosférica.	160
Figura 4.11. Ventana de monitoreo de humedad relativa.	161
Figura 4.12. Ventana de monitoreo de la dirección del viento.	161
Figura 4.13. Ventana de monitoreo de la velocidad del viento.	162
Figura 4.14. Ventana de monitoreo de la radiación solar.	162
Figura 4.15. Ventana de monitoreo de la precipitación.	163
Figura 4.16. Mensaje de inicio en la LCD.	163
Figura 4.17. Visualización de la temperatura en el módulo de campo.	164
Figura 4.18. Visualización de la presión en el módulo de campo.	164
Figura 4.19. Visualización de la humedad relativa en el módulo de campo.	165
Figura 4.20. Visualización de la dirección del viento en campo.	165
Figura 4.21. Visualización de la velocidad del viento en campo.	165
Figura 4.22. Visualización de la radiación solar en el campo.	166
Figura 4.23. Visualización del nivel de precipitaciones en campo.	166

Figura 4.24. Datos recolectados en Excel.	167
Figura 4.25. Datos recolectados en Access.	168

INDICE DE TABLAS.

CAPITULO I

Tabla 1.1 Denominaciones estándar de la dirección del viento.	10
Tabla 1.2 Resumen de variables climáticas.	15
Tabla 1.3. Características de los hidrometeoros.	19

CAPITULO II

Tabla 2.1. Algunos parámetros de materiales piroeléctricos comunes.	60
Tabla 2.2. Ejemplo de filtros pasivos RC	69
Tabla 2.3. Circuitos analógicos con amplificadores operacionales y función que realizan.	75
Tabla 2.4. Descripción de pines de la memoria 24C16A.	88
Tabla 2.5. Descripción de pines del receptor.	96
Tabla 2.6. Descripción de pines del transmisor.	97
Tabla 2.7. Descripción de pines del conector DB9.	107

CAPITULO III

Tabla 3.1 Distribución de pines del DS1307.	117
Tabla 3.2 Tabla comparativa de la Familia 16F87XA.	118
Tabla 3.3 Tipos de memorias I ² C.	119
Tabla 3.4 Instrucciones de PIC Basic.	120
Tabla 3.5 Valores de los componentes electrónicos del circuito.	124
Tabla 3.6 Lista de componentes de la interface de radio frecuencia a RS232.	125
Tabla 3.7 Lista de componentes de interface de descarga.	126
Tabla 3.8 Lista de componentes de la alarma de baja temperatura.	127
Tabla 3.9 Velocidades de transmisión serial en BPS según el estándar RS232C.	129
Tabla 3.10 Comandos SQL.	139

CAPITULO IV

Tabla 4.1 Datos para comprobar el óptimo funcionamiento de los Conversores.	150
---	-----

Tabla 4.2 Proceso seguido en el empaquetado de datos.	153
Tabla 4.3 Comparación de datos (Módulo de Campo vs. Datos LabView).	166
Tabla 4.4. Resultados de la prueba de distancia.	169
Tabla 4.5. Comparación de datos con instrumentos patrón.	170
Tabla 4.6. Recolección de datos.	171

CAPITULO I

VARIABLES CLIMÁTICAS.

1.1 VARIABLES CLIMÁTICAS.

1.1.1 Definición.- Para realizar una predicción del clima con mayor precisión los meteorólogos utilizan datos recolectados de la misma naturaleza como son: temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento, nivel de precipitaciones, y también de la radiación solar; a todas estas magnitudes se las conoce como variables climáticas.

1.2 TIPOS DE VARIABLES CLIMÁTICAS ⁽¹⁾

Para realizar estudios meteorológicos se debe tomar mediciones de las diferentes magnitudes físicas presentes en la naturaleza, con la finalidad de determinar el comportamiento del clima en una determinada zona, dentro del país el organismo encargado de esta labor es el INAMHI con la ayuda de las diferentes estaciones meteorológicas distribuidas en el territorio ecuatoriano. A continuación se describe los diferentes tipos de variables climáticas existentes dentro del estudio del clima.

- Temperatura del aire.
- Humedad Relativa.
- Precipitación.
- Presión Atmosférica en Superficie.
- Vientos en Superficie.
- Insolación.

(1) www.meteorologia.com.uy/caract_climat.htm

1.3.- DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES.

1.3.1 Temperatura del aire.

1.3.1.1 Definición.

La temperatura es la condición que determina la dirección del flujo resultante del calor entre dos cuerpos. En dicho sistema el cuerpo que en total libera calor al otro se dice que está a una temperatura más elevada.

La temperatura de un cuerpo es la condición que determina si el cuerpo es apto para transmitir calor a otros o para recibir el calor transmitido por éstos.

1.3.1.2 Medida de la temperatura del aire.⁽²⁾

Un termómetro (o un termógrafo) indica la temperatura de su propio elemento sensible, la cual puede ser distinta de la temperatura del aire a medir. Así, el calor que se propaga en la atmósfera no afecta casi nada a la temperatura del aire, mientras que por el contrario es absorbida por el elemento sensible del termómetro.

También es importante asegurarse de que el aire en contacto con el termómetro es una muestra representativa de aquel cuya temperatura se vaya a medir. En efecto, el aire puede sufrir un recalentamiento poco antes de entrar en contacto con el termómetro y entonces la medida es errónea.

1.3.1.3 Temperatura del aire en superficie.

En meteorología, se entiende por temperatura del aire en superficie, la temperatura del aire libre a una altura comprendida entre 1,25 y 2 metros sobre el nivel del suelo.

Generalmente se admite que esta temperatura es representativa de las condiciones a que están sometidos los seres vivos en la superficie de la Tierra.

Esta temperatura del aire así definida puede, sin embargo, ser diferente de la temperatura del suelo. En un día cálido y soleado, la temperatura del suelo puede ser mayor que la temperatura del aire en superficie; mientras que por el contrario puede ser netamente menor durante las noches frías.

(2) es.wikipedia.org/wiki/Temperatura_ambiente

1.3.1.4 Exposición de los termómetros.

Para que los termómetros den una lectura representativa de la temperatura del aire deben estar protegidos de la radiación solar, y de la de todos los cuerpos que les rodean; pero al mismo tiempo, deben estar convenientemente ventiladas para que indiquen la temperatura del aire libre que circula en las proximidades.

Los dos métodos de protección que se emplean generalmente son:

- 1.- El abrigo meteorológico de persianas.
- 2.- Las pantallas de metal pulido con ventilación artificial del termómetro.

En cualquier caso, el equipo debe estar instalado de tal manera que garantice que las medidas son representativas del aire que circula en el exterior y que no están influenciadas por condiciones artificiales tales como grandes edificios, extensas superficies de cemento u hormigón.

Cuando sea posible, el suelo debajo del instrumento deberá estar cubierto de hierba corta y en los lugares en que la hierba no crezca, basta con la superficie natural del suelo y la región.

La figura 1.1 muestra una estructura típica de las estaciones meteorológicas manuales, dentro de ésta se coloca los termómetros para medir la temperatura del aire.

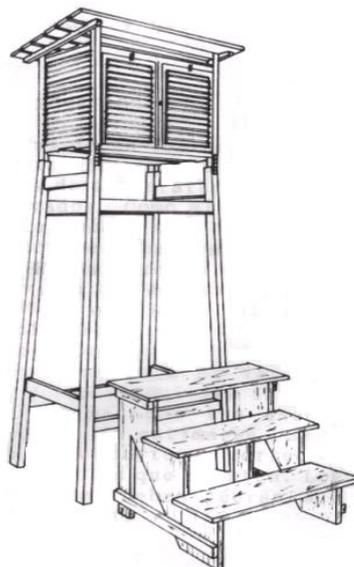


Figura 1.1 Caseta de abrigo meteorológico

1.3.2 Humedad relativa. ⁽³⁾

En la atmósfera hay siempre vapor de agua; la cantidad varía para cada lugar y para cada momento, por ello es necesario conocer en que proporción está presente en la mezcla de gases que constituye el aire.

1.3.2.1 Índices de humedad.

Se utilizan diferentes índices para definir la humedad; para el observador será familiar el siguiente:

Humedad Relativa.- Es la relación entre la masa de vapor de agua contenida realmente en un volumen dado de aire y la que podría contener un mismo volumen si estuviese saturado a la misma temperatura. Generalmente se expresa en tanto por ciento (%).

1.3.2.2 Metodos de medida.

Los métodos de medida de la humedad del aire, utilizados generalmente en meteorología, se pueden clasificar en los cuatro grupos siguientes:

a.- **Método termodinámico (psicrómetros).**-La diferencia de temperatura de los dos termómetros definen los índices de humedad con ayuda de TABLAS o ABACOS.

b.- **Método del cambio de volumen.**- Utiliza el cambio de dimensiones de sustancias higroscópicas (higrómetros de cabellos)

c.- **Método del cambio de resistencia.**- Utiliza el cambio de resistencia eléctrica debido a la absorción o adsorción.

d.- **Método de variación de la capacitancia.**-Consiste en obtener a la salida de un sensor una variación de capacitancia en función de la variación de la humedad la misma que hay que acondicionar a través de un timer 555 para obtener frecuencia en función de la humedad relativa.

e.- **Transductores de Humedad relativa.**- Son elementos electrónicos capaces de devolver valores en voltaje o corriente normalizados de (0 a 5V) o (4 a 20 mA) los cuales son directamente proporcionales al porcentaje de humedad relativa.

Un ejemplo de éstos es el HIH 4000 de Honeywell. (Ver capítulo II)

(3) Arguello J y Guachamin B, GUIA DE OBSERVACIONES METEOROLOGICAS, INAMHI, Quito 1993, Pág. 50.

Los cuatro últimos métodos son ampliamente utilizados en las medidas en altitud y además están siendo aplicados cada vez más en las estaciones automáticas.

1.3.3 Precipitación. ⁽⁴⁾

1.3.3.1 Definición.

Se define la precipitación como el producto líquido o sólido de la condensación del vapor de agua que cae de las nubes y se deposita en el terreno procedente del aire. Dicho término comprende la lluvia, llovizna, el granizo, la nieve, el rocío, la escarcha y la precipitación de la neblina.

1.3.3.2 Medida de la precipitación.

Cualquier método de medida de la precipitación debe tratar de obtener una muestra representativa de la verdadera cantidad que ha caído sobre un área que la medida pretende representar; por lo tanto la elección del lugar, así como el error sistemático de medida, son importantes.

1.3.3.3 Unidades.

Las unidades de precipitación son las medidas lineales, las cantidades de precipitación diarias deben leerse en milímetros, y las lecturas deben hacerse con una aproximación de 0.1 mm.

Las cantidades semanales o mensuales deben leerse con la precisión de 1 mm; (al menos). Las medidas diarias de la precipitación deben efectuarse a horas fijas. Puede estar expresado en mm. ó en litros/m²

1.3.3.4 Pluviómetros.

El método más sencillo y el más comúnmente utilizado para medir la cantidad de lluvia se basa en el uso del pluviómetro. El mismo que es un aparato constituido por un cilindro terminado en su parte superior en una boca circular de 200cm de superficie, perfectamente limitada por un anillo de bronce que termina en un borde biselado.

(4) Arguello J y Guachamin B, GUIA DE OBSERVACIONES METEOROLOGICAS, INAMHI, Quito 1993, Pág. 68.

En la figura 1.2 se muestra un pluviómetro de balancín el mismo que proporciona una frecuencia proporcional a la cantidad de precipitación existente.



Figura 1.2 Pluviómetro de balancín.

En la figura 1.3 se puede apreciar la estructura de un pluviómetro tipo Hellman. La parte superior, que ocupa aproximadamente la mitad del cilindro se llama receptor, el agua recogida en él, va por un embudo a un recipiente colector y para evitar evaporación por calentamiento está aislada del cilindro exterior.

1.3.4 Presión atmosférica. ⁽⁵⁾

1.3.4.1 Definición.

La presión atmosférica sobre una superficie dada, es la fuerza que la atmósfera ejerce, en razón de su peso, por unidad de superficie. Por consiguiente, es igual al peso de una columna vertical de aire de base igual a la unidad de superficie que se extiende desde la superficie considerada hasta el límite superior de la atmósfera. Para fines meteorológicos la presión atmosférica se mide generalmente con barómetros de mercurio y barómetros aneroides.

1.3.4.2 Unidades de la presión atmosférica.

La unidad de presión en el SI es el pascal (Newton /m²) la misma que resulta pequeña para fines meteorológicos. Por lo tanto, la unidad utilizada para este fin es el hectoPascal (hPa).

(5) Arguello J y Guachamin B, GUIA DE OBSERVACIONES METEOROLOGICAS, INAMHI, Quito 1993, Pág. 75.

1 hectoPascal = 1 milibar = 100 Pascales.

Muchos barómetros están graduados en milímetros o pulgadas de mercurio bajo condiciones normales.

Cuando es evidente que las medidas se hacen en condiciones normales se pueden utilizar abreviadas las expresiones "milímetro de mercurio " o "pulgada de mercurio".

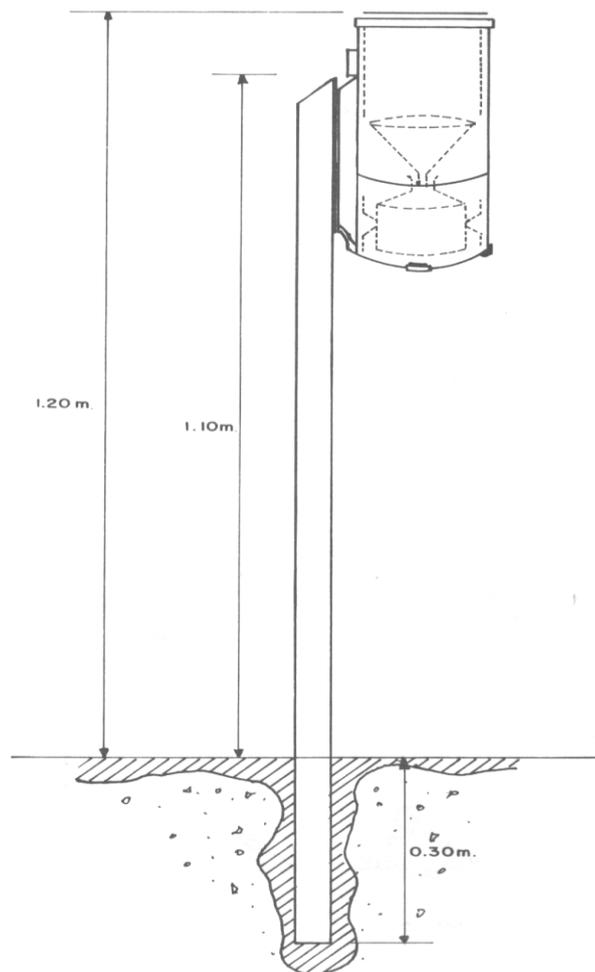


Figura 1.3 Pluviómetro tipo Hellman

En condiciones normales una columna de mercurio de 760 milímetros de altura ejerce una presión de 1013,250 hPa. Por lo tanto, se pueden aplicar los factores de conversión siguientes:

- 1 hPa = 0,750062 milímetros de mercurio normal (mm Hg.).
- 1 (mm Hg.) = 1,333224 hPa.

- Un hPa = 0,0295300 Pulgadas de mercurio normal.
- 1 (in Hg) = 33, 8639 hPa.
- 1 (mm Hg) = 0, 03937008 (in Hg).

Los datos barométricos deberán ser expresados con preferencia en hectopascales.

1.3.5 El viento ⁽⁶⁾

El viento es el movimiento natural del aire atmosférico. En meteorología, esta palabra se refiere, en general, a un movimiento del conjunto del aire cerca de la superficie terrestre o en altitud.

El movimiento del aire raramente es regular. Generalmente es turbulento con torbellinos de forma y dimensiones variadas, que se desarrollan en el aire y perturban su flujo.

1.3.5.1 Principios generales de la medida del viento.

El viento puede ser considerado como un vector definido por una magnitud; intensidad y dirección.

El viento tiene generalmente fluctuaciones rápidas. El grado de perturbación aportado por estas fluctuaciones se denomina turbulencia.

La intensidad y la dirección del viento se miden preferentemente con la ayuda de instrumentos; pero, cuando es imposible se las puede evaluar a estima. Esto es lo que ocurre cuando la intensidad del viento es de 2 nudos, pues con intensidades débiles los instrumentos son poco sensibles; es decir, que los sensores no miden velocidades menores a 2 nudos, ni tampoco la veleta muestra la dirección de la que proviene el viento, por lo que el meteorólogo se ve obligado a realizar aproximaciones o adoptar valores a priori.

1.3.5.2 Exposición de instrumentos para medir el viento en superficie.

A veces es difícil medir la intensidad y la dirección del viento en superficie con exactitud suficiente; el movimiento es perturbado por numerosos factores como: La rugosidad del suelo, la naturaleza de la superficie, las fuentes de calor, etc.

(6) www.senamhi.gov.bo/meteorologia/elviento.php

Además, por regla general, la intensidad del viento aumenta con la altura sobre la superficie terrestre; en consecuencia, para obtener medidas comparables en lugares diferentes, es preciso adoptar una altura tipo para la medida del viento en superficie.

La altura normalizada de los instrumentos de medida del viento en superficie es de 10 metros sobre el suelo, en terreno llano y descubierto; se define como terreno descubierto aquel en que la distancia entre los instrumentos y todo obstáculo es, al menos, igual a 10 veces la altura de este instrumento.

1.3.5.3 La medida de la dirección del viento en superficie.

En general, la dirección del viento se mide con una VELETA. Para que funcione correctamente una veleta, debe girar sobre su eje con un mínimo de fricción. Debe estar equilibrada con relación a este eje.

Es necesario vigilar con especial cuidado que el eje de la veleta este perfectamente vertical y que la orientación de ésta con respecto al norte verdadero sea precisa. En la figura 1.4 se muestra una veleta común en las estaciones meteorológicas; en la figura 1.5 se ve una rosa de los vientos, ésta también es una herramienta para poder determinar la dirección del viento.

Para las observaciones sinópticas, hay que determinar la dirección promedio del viento durante el intervalo de los diez minutos anteriores a la hora de la observación.

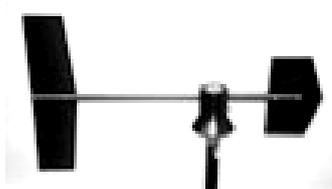


Figura 1.4 Veleta para medir la dirección del viento.

En la tabla 1.1 se muestra las denominaciones estándar para los diferentes ángulos en los que se posiciona la veleta respecto al Norte.

Así por ejemplo para un ángulo de cuarenta y cinco grados la simbología es NE y se lee Noreste.

N	Norte	0
NE	noreste	45
E	Este	90
SE	Sureste	135
S	Sur	180
SW	Suroeste	225
W	Oeste	270
NW	Noroeste	315
N	Norte	360

TABLA 1.1 Denominaciones estándar de la dirección del viento.

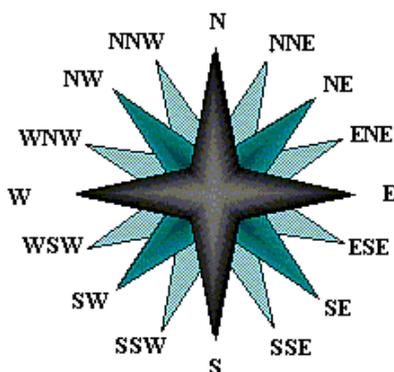


Figura 1.5. Rosa de los vientos

1.3.5.4 Intensidad del viento en superficie - unidades de medida.

Las unidades que se utilizan para medir la intensidad del viento son: el Km./h; nudo (milla náutica por hora) y m/s.

La intensidad de viento en superficie es raramente constante durante un intervalo de tiempo, por corto que sea; en general, varía rápida y continuamente. La turbulencia del viento produce variaciones que son irregulares en período y amplitud.

En la mayoría de los casos se necesita conocer la intensidad promedio del viento. Se ha convenido que hay calma cuando la intensidad del viento es menor que un nudo ó 0,5 m/s.

La intensidad del viento se puede medir de distintas maneras. La más sencilla es la observación directa del efecto del viento en la superficie terrestre sin utilizar instrumentos. Los instrumentos de medida y de registro de viento han reducido considerablemente la utilización de la escala Beaufort ⁽⁷⁾, particularmente para las estaciones terrestres. Sin embargo constituye un medio cómodo para estimar la intensidad del viento a falta de otros procedimientos.

1.3.5.5 Medida de la intensidad del viento en superficie.

Se llaman Anemómetros los instrumentos que se utilizan para medir la intensidad del viento en superficie.

Existen varios tipos de anemómetros a continuación se da un resumen de los más utilizados para el monitoreo ambiental

1.3.5.6 Anemómetros de cazoletas.

Lleva cazoletas de forma apropiada montadas en las extremidades de tres o cuatro brazos equidistantes, perpendiculares a un eje vertical.

La velocidad de rotación de este anemómetro depende de la intensidad del viento sin importar su dirección.

A veces, el molinete de cazoletas mueve un cuenta vueltas y la intensidad del viento se calcula por diferencias; un dispositivo más cómodo consiste en acoplar al molinete un pequeño generador eléctrico; la corriente producida se mide o registra por un amperímetro graduado directamente en intensidad del viento. En la figura 1.6 se muestra un anemómetro de cazoletas, las mismas están separadas 120 grados entre sí.

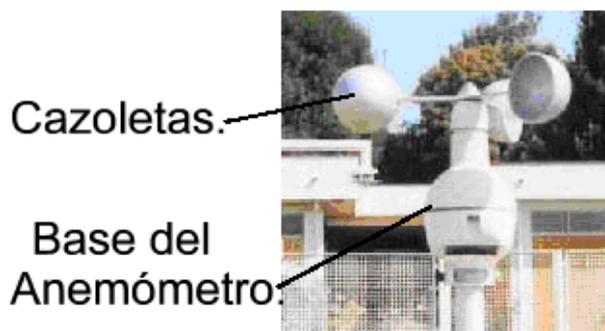


Figura 1.6 Anemómetro de cazoletas.

(7) Escala Beaufort.-Escala de 0 a 12 utilizada para medir la velocidad del viento a priori.

1.3.5.7 Anemómetros de tubo de Pitot.

Este instrumento consiste en dos tubos concéntricos muy delgados, de diámetro entre 2.5 mm y 10 mm y normalmente de acero inoxidable, pudiendo ser de otros materiales. Uno de los tubos mide la presión total de la corriente de aire en la que es insertado y el otro mide únicamente la presión estática, mediante conexión a sendos manómetros con una de las ramas abierta a la atmósfera.

Si se conecta un manómetro con una rama en cada salida de ambos tubos la lectura muestra directamente la diferencia entre ambas presiones, que no es más que la presión dinámica.

$$P_D = P_T - P_E \quad (\text{Ec. 1.1})$$

Donde:

P_D : presión dinámica, en milímetros de columna de agua (mm cda)

P_E : presión estática, mm cda

P_T : presión total, mm cda

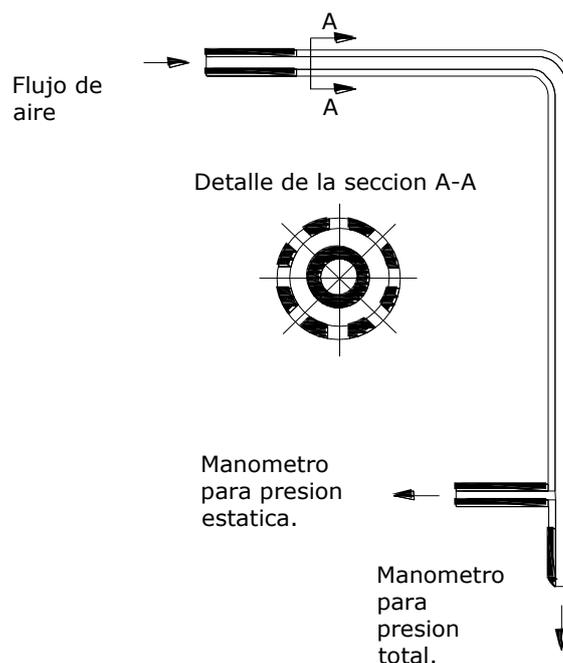


Figura 1.7 Anemómetro Tubo Pitot.

La presión dinámica se relaciona con la velocidad del fluido según la ecuación:

$$v = 4.43 (P_D/d)^{1/2} \quad (\text{Ec 1.2})$$

Donde:

v: velocidad del fluido, m/s

P_D : presión dinámica en el conducto, mm cda

d: densidad del fluido, Kg. /m³

Si el fluido es aire en condiciones estándar (20 °C y 1 atm), la densidad del aire es 1.2 Kg. /m³. Entonces la ecuación anterior puede expresarse como:

$$v = 4.04 (P_D)^{1/2} \quad \text{(Ec. 1.3)}$$

En la figura 1.7 se muestra el principio bajo el cual opera un anemómetro basado en un tubo de Pitot.

1.3.5.8. Anemómetro de Hilo caliente.

Consiste en dos sensores de temperatura uno debe estar aislado y el otro en contacto con el fluido del cual se desea medir la velocidad, el siguiente paso es medir la diferencia de corriente existente entre el sensor de referencia (sensor aislado) y el sensor que hace contacto con el fluido, esta diferencia es proporcional a la velocidad del fluido. En la figura 1.8 se muestra un anemómetro de hilo caliente.

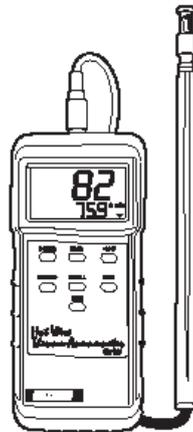


Figura 1.8 Anemómetro de hilo caliente.

1.3.5.9. Anemómetro Láser y sónico.

Este tipo de anemómetros consisten en el lanzamiento de ondas electromagnéticas ya sean auditivas (Doppler) o de luz visible (Láser), dependiendo de las capacidades de refracción del fluido. De modo, que se realiza un ajuste por el tiempo de recepción del rebote de la onda, de modo que se puede

determinar por el movimiento relativo la velocidad de flujo del fluido. En la figura 1.9 se muestra el principio de funcionamiento del anemómetro láser.

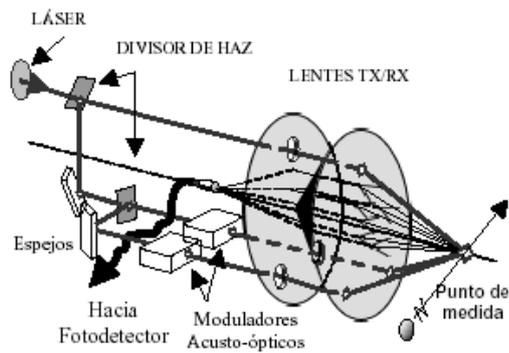


Figura 1.9 Anemómetro Láser.

En la figura 1.10 se muestra un anemómetro sónico.



Figura 1.10 Anemómetro Sónico.

En la tabla 1.2 se muestra un resumen de las diferentes variables climáticas existentes.

Dirección del viento (DIR)	El valor obtenido es el promedio de 10 minutos de la dirección del viento. La dirección indica de donde proviene el viento, su unidad de medición es en grados donde 0° es norte verdadero.
Dirección del viento de ráfaga (WSMDIR)	La dirección del viento de ráfaga es la dirección de donde proviene la ráfaga más intensa en un lapso de 10 minutos, su unidad de medición es en grados.
Velocidad	La velocidad del viento es el promedio aritmético de las

del viento (WSK)	velocidades medidas en un lapso de 10 minutos, su unidad de medición es en Km./h.
Velocidad del viento de ráfaga (WSMK)	La velocidad del viento de ráfaga, es la máxima velocidad medida en un intervalo de 10 minutos (se toman muestras cada 5 seg.), su unidad de medición es en Km./h.
Temperatura promedio (AvgTemp)	Es la temperatura promedio de las mediciones realizadas en un lapso de 10 minutos (se toman muestras cada minuto), su unidad de medición es en °C.
Humedad relativa (AvgRH)	La humedad relativa es el promedio de las mediciones realizadas en un intervalo de 10 minutos (se toman muestras cada minuto), su unidad de medición es en %.
Presión Barométrica (AvgBP)	La presión barométrica es el promedio de las mediciones realizadas en un lapso de 10 minutos (se toman muestras cada minuto), su unidad de medición es el mb (milibar).
Precipitación (Rain)	Es la lámina de precipitación acumulada en un lapso de 10 minutos, su unidad de medición es el mm (milímetro).

TABLA 1.2 Resumen de variables climáticas.

1.4.- FENÓMENOS METEOROLÓGICOS.⁽⁸⁾

Dentro de la meteorología se define varios tipos de fenómenos los cuales se los cataloga de acuerdo a su naturaleza, por ejemplo todos aquellos fenómenos que tienen su origen en la cantidad de vapor de agua contenida en la atmósfera se denominan Hidrometeoros. Los litometeoros tienen su origen de acuerdo a la concentración de partículas sólidas (polvo, hollín, etc.) en el medio ambiente. Los electrometeoros son una manifestación de la electricidad presente en la atmósfera. Y los fotometeoros son fenómenos originados por la reflexión, refracción de la luz solar o lunar.

(8) Arguello J y Guachamin B, GUIA DE OBSERVACIONES METEOROLOGICAS, INAMHI, Quito 1993, Págs. 37-44.

A continuación se presenta una clasificación de los fenómenos meteorológicos presentes en la naturaleza.

Hidrometeoros

1. *Llovizna*

Débil

Moderada

Fuerte.

2. *Lluvia*

Débil

Moderada

Fuerte

3. *Granizo*

Débil

Moderada

Fuerte

4. *La niebla*

5. *La nevada*

6. *Aguanieve*

7. *Chubascos*

8. *La neblina*

9. *El rocío.*

10. *La escarcha.*

Litometeoros.

1. *Bruma o Calima*

2. *El humo*

3. *Polvareda*

4. *Tormenta de polvo y arena.*

5. *Torbellino de polvo y arena.*

Electrometeoros.

1. *Tormenta Eléctrica.*

2. *Tormenta próxima*

3. *Relámpago*

4. *Trueno*

Fotometeoros.

1. *Arco iris.*
2. *Corona*
3. *Fenómeno de Halo*

1.4.1. Definición de los fenómenos

1.4.1.1 Hidrometeoros.

Un gran número de fenómenos meteorológicos son debidos a las modificaciones en las condiciones del contenido de vapor de agua en la atmósfera.

Estos fenómenos han recibido el nombre de hidrometeoros, los cuales se presentan en las siguientes formas:

- 1.- Precipitación (Llovizna, Lluvia, nieve, granizo).
2. - Partículas más o menos en suspensión en la atmósfera (niebla, neblina).
- 3.- Depósitos (rocío, escarcha, cencellada y hielo liso)

1.4.1.2 Llovizna

Precipitación bastante uniforme formada exclusivamente por gotas de agua muy pequeña, extraordinariamente numerosa, que parecen flotar en el aire, haciendo visibles sus movimientos más débiles.

La precipitación procedente de lloviznas puede a veces ser apreciable, sobre todo en las costas y montañas, pero sin pasar de un milímetro por hora.

Se clasifica en:

Llovizna débil.- Se percibe su contacto en la piel o sobre el parabrisas de los automóviles. Algunas veces puede originar un ligero escurrimiento sobre las superficies de las carreteras y los tejados.

Llovizna moderada.- El agua corre ligeramente sobre las superficies de las ventanas y de las carreteras.

Llovizna fuerte.- El agua se acumula en el pluviómetro a una velocidad que puede alcanzar 1 mm por hora.

1.4.1.3 Lluvia.

Es la precipitación de gotas de agua (en estado líquido), en la cual la mayor parte de las gotas son más grandes o al menos más dispersas que las gotas de llovizna. La mayoría tienen un diámetro de más de medio milímetro.

Puede presentarse una lluvia débil, moderada o fuerte.

Lluvia débil.- Presenta las siguientes características:

- Precipitación poco intensa.
- La velocidad de acumulación del agua en el suelo o en un pluviómetro es muy lenta.
- Menor que 0,5 mm por hora, aproximadamente.
- Gotas grandes dispersas, o más numerosas pero pequeñas.

Lluvia moderada.- Se caracteriza por:

- Las gotas caen con rapidez suficiente para formar charcos de agua.
- La velocidad de acumulación de la lluvia en un pluviómetro es de 0,5 mm a 4 mm por hora

Lluvia fuerte.- Se define por:

- Los aguaceros producen un ruido sordo y continuo en los tejados y salpicaduras en los caminos.
- La velocidad de acumulación de la lluvia en los pluviómetros es mayor a 4 mm por hora.
- Este término se utiliza para caracterizar no solamente las lluvias torrenciales acompañadas de tormentas eléctricas, sino también las violentas caídas de lluvia sin truenos

1.4.1.4 Nevada

Precipitación atmosférica de hielo cristalizado, generalmente en estrellas hexagonales, ramificadas y mezcladas.

Si la temperatura del aire no es baja, los cristales se sueldan entre sí formando copos, en virtud de una película de agua o de gotitas líquidas que los recubren

1.4.1.5 Aguanieve.

Precipitación simultánea de agua en forma de lluvia y nieve.

1.4.1.6 Chubascos.

Las precipitaciones en forma de chubascos están caracterizadas por su comienzo y fin brusco, por las variaciones violentas y rápidas de su intensidad y, especialmente, por el aspecto del cielo en que alternan rápidamente nubes amenazadoras con claros de corta duración, en que el azul del cielo luce con gran intensidad. Puede suceder a veces que entre dos chubascos no se vea el azul del cielo y aún también la precipitación no termine del todo; en este caso el carácter de los chubascos es denunciado por el cambio brusco entre nubes oscuras y nubes claras.

A continuación en la tabla 1.3 se resume las características que diferencian las tres formas de precipitación acuosa.

HIDROMETEORO.	No. GOTAS	TAMAÑO	VELOCIDAD DE CAIDA	CAPACIDAD TOTAL	GENERO NUBES.
Llovizna Lluvia Chubasco	Enorme Grande Moderado	Pequeño Mediano Grande	Muy lenta Moderada Grande	Escasa Variable Grande	Estrato (St). o Estrato cúmulo (Sc). Nimbostratos (Ns) o Altostratos (As.) y Cumulonimbos (Cb).

TABLA 1.3. Características de los hidrometeoros.

1.4.1.7 Granizo

Granos de hielo translúcidos, esféricos o raras veces cónicos, de dos a cinco milímetros aproximadamente de diámetro; están constituidos generalmente por un núcleo de granizo blando envuelto por una fina capa de hielo que les da aspecto cristalino; es difícil romperlos o aplastarlos, y cuando caen en el suelo duro lo cubren sin romperse. Su caída va acompañada con mucha frecuencia de lluvia.

1.4.1.8 Niebla.

Gotas de agua excesivamente pequeñas, casi microscópicas que parecen flotar en el aire reduciendo la visibilidad horizontal (según acuerdo internacional) a menos de un kilómetro. En su conjunto es blanquecina, salvo en las regiones

industriales, que puede tener un tinte grisáceo o amarillento por la presencia de humo o polvo.

1.4.1.9 Neblina.

Gotas de agua o partículas muy higroscópicas que flotan en el aire, pero conservando éste una visibilidad generalmente superior a 1 Km., porque las gotitas de agua en suspensión son en este caso mucho más pequeñas y están más dispersas que en la niebla. La neblina tiene siempre un color más o menos grisáceo.

Rocío.- Gotas de agua que se forman con preferencia sobre las superficies horizontales enfriadas por radiación nocturna y que son debidas a la condensación directa del vapor de agua contenido en el aire claro adyacente.

Escarcha.- Cristales pequeños de hielo en forma de escamas, agujas, plumas o abanicos, que se forman por condensación del vapor en estado sólido de manera análoga a la formación del rocío.

1.4.2 Litometeoros.

Se llaman así a los fenómenos meteorológicos formados por partículas en su mayoría sólidas y no acuosas. Se pueden presentar en las siguientes formas:

- 1.- Partículas más o menos suspendidas en la atmósfera (calima, calima de polvo, humo).
- 2.- Partículas levantadas del suelo por el viento (ventisca de polvo, ventisca arena, tempestad de polvo, tempestad de arena, remolino de polvo y remolino de arena).

1.4.2.1 Bruma o calima.

Son partículas secas extremadamente pequeñas que se encuentran en suspensión en la atmósfera y son invisibles a simple vista. La calima comunica un tinte amarillento o rojizo a los objetos lejanos y brillantes o a las luces ante las que se interpone, mientras que los objetos oscuros toman un tinte azulado.

1.4.3 Electrometeoros.

Un electrometeoro es una manifestación visible o audible de la electricidad atmosférica. Pueden producirse de las siguientes formas:

- 1.- En forma de descargas discontinuas de electricidad (relámpago y trueno)
- 2.- En forma de fenómenos más o menos continuos (fuego de San Telmo o aurora polar)

1.4.3.1 Tormenta eléctrica.

Es una combinación de truenos y relámpagos con o sin precipitación; se observan en la atmósfera el relámpago y su trueno con intervalo inferior a 10 segundos.

1.4.3.2 Tormenta próxima.

Se oye el trueno sin verse el relámpago o el intervalo entre uno y otro es superior a 10 segundos.

1.4.3.3 Relámpago.

Es una manifestación luminosa que resulta de una descarga brusca entre dos nubes cargadas de electricidad o entre una nube o el suelo, pero no se oyen truenos.

1.4.3.4 Trueno.

Es el ruido provocado por el relámpago y puede oírse hasta 20 Km. aproximadamente. Las tormentas eléctricas van asociadas a las nubes conectivas. Durante el día, los relámpagos no son visibles pero es necesario siempre cifrar tormenta eléctrica cuando se oye el trueno.

1.4.3.5 Fotometeoros.

Es un fenómeno luminoso producido por reflexión, refracción, difracción o interferencia de la luz solar o lunar.

Los fotometeoros pueden ser observados en:

- Una atmósfera más o menos clara (espejismo, vibración, centelleo, rayo verde y tintes crepusculares).

- La superficie o en el seno de las nubes (fenómenos de halo, corona etc.)
- La superficie o en el seno de ciertos hidrometeoros o litometeoros (arco iris, arco iris blanco).

1.4.3.6 Arco iris.

Es un arco de 42 grados de radio con todos los colores del espectro que van del violeta al rojo producidos por la luz solar o lunar sobre una "pantalla" de gotas de agua en la atmósfera (gotas de lluvia, gotitas de llovizna o niebla).

Este fenómeno se debe, principalmente, a la refracción y a la reflexión de la luz. Cuando se trata de la luz solar, los colores del arco iris, en general, son bastante vivos; y en el caso de la luz lunar sus colores son más atenuados incluso, algunas veces inexistentes.

1.4.3.7 Corona.

La corona consiste en una o varias series coloreadas, con centro en el sol o en la luna y su diámetro relativamente pequeño, En cada serie de anillos el interior es violeta o azul y el exterior rojo. Otros colores pueden observarse entre estos anillos.

1.4.3.8 Fenómeno de Halo.

Constituyen un grupo de fenómenos ópticos que tienen la forma de anillos, arcos, columnas o focos luminosos debido a la refracción o la reflexión de la luz a través de cristales de hielo en suspensión en la atmósfera. Cuando son debidos a la refracción de la luz solar, estos fenómenos pueden presentar ciertas coloraciones mientras que son siempre blancos cuando están producidos por la iluminación de la luna. El fenómeno de halo más común es el anillo luminoso que se ve alrededor del sol o de la luna.

Una CORONA se distingue de un HALO por la siguiente forma:

1.- La sucesión de colores que es inversa.

El tinte rojo de la corona aparece en la parte exterior de la primera serie de anillos; el anillo rojo parduzco de la aureola está rodeado por el anillo violeta, azul, etc., de la serie siguiente. El anillo más próximo al astro es rojo y está rodeado de los anillos naranja, amarillo, verde etc.

2.- El tamaño.

En general las coronas son más pequeñas que los halos y sus radios son variables.

1.5 TÉCNICAS PARA EL PRONÓSTICO DEL CLIMA. ⁽⁹⁾

1.5.1 Métodos de pronóstico.

Actualmente existen diferentes métodos para realizar un pronóstico. El método que un pronosticador utilice depende básicamente de su experiencia, la cantidad de información disponible, del nivel de dificultad que presenta la situación y del grado de exactitud o confianza necesaria en el pronóstico.

1.5.1.1 El Método de la persistencia (Hoy es igual a mañana).

Es la manera más simple de hacer un pronóstico, este método asume que las condiciones atmosféricas no cambiarán en el tiempo. Por ejemplo, si hoy es un día soleado con 20° C, por éste método se asume que mañana será soleado y con 20°C, también. Si 2 mm de precipitación cayeron hoy, se asume que 2 mm. caerán mañana.

Este método trabaja bien cuando los patrones atmosféricos cambian poco y los sistemas en los mapas del tiempo se mueven muy lentamente.

1.5.1.2 El Método de la tendencia (Usando matemáticas).

Este método involucra el cálculo de la velocidad de centros de altas y bajas presiones, frentes y áreas de nubes y precipitación.

Usando esta información el pronosticador puede predecir donde se espera estas características en un tiempo futuro.

Por ejemplo, si se observa un sistema de tormentas a 1000 Km., moviéndose a una velocidad de 250 Km. por día, usando el método de tendencia se puede predecir que este sistema llegará en 4 días.

El uso de este método para predecir dentro de un lapso de tiempo corto es conocido como “**Nowcasting**” y es frecuentemente usado para predecir precipitación. Por ejemplo, si hay un línea de tormentas a 60 km. al oeste de una

(9) www.nimbus.com.uy/weather/pdf/cap13.pdf#search=%22como%20se%20realizan%20los%20pronosticos%20del%20clima%3f%22

cierta posición y moviéndose con dirección sureste a 30 km. por hora, se podría predecir que esta llegará en 2 horas. El método de la tendencia trabaja bien con sistemas que se mueven en la misma dirección y a la misma velocidad por un largo tiempo.

Si los sistemas aceleran, desaceleran, cambian de intensidad o dirección, este método no trabajará bien.

1.5.1.3 El Método climatológico.

El método climatológico es otra forma simple de realizar un pronóstico. Este método involucra el uso de promedios estadísticos de las variables atmosféricas, acumulados de muchos años. Por ejemplo, si se quiere predecir cómo estará el tiempo para un 28 de julio, se podrían usar los datos promediados de los registros de todos los 28 de julio de varios años, conocidos como "Normales" (diarias), y usar esta información para pronosticar este día.

Si esos promedios computaron 19° C y 0,0 mm de lluvia, entonces por este método se pronosticaría 19° C y 0,0 mm de lluvia para ese día.

El método climatológico trabajará bien mientras que los patrones climatológicos sean similares para la fecha escogida, pero si los patrones son diferentes (se tiene un comportamiento anómalo en la fecha escogida) este método fallará.

1.5.1.4 El Método Análogo

El Método Análogo es un método algo complicado. Supone examinar el escenario del pronóstico actual y recordar un día en el pasado en el cual el escenario meteorológico fue muy similar (un análogo). El pronosticador podría predecir que el tiempo en este pronóstico será muy similar al ocurrido en el pasado.

Por ejemplo, se observa que hoy es un día caluroso y un frente frío se está aproximando. Entonces se trata de buscar en los registros históricos de la estación meteorológica condiciones similares de temperatura, presión, humedad relativa, Velocidad del viento, etc. Para una vez encontrados los datos análogos, tener una referencia para realizar un pronóstico. Si se recuerda que la semana anterior tuvo un día caluroso y un frente frío ⁽¹⁰⁾ aproximándose, arrojó unas

(10) Frente frío.- Los frentes se asocian con ciclones o zonas de baja presión y se producen cuando una masa de aire frío entra en contacto con otra de aire cálido

fuertes tormentas que se desarrollaron en la tarde. Por lo tanto se podría predecir que el actual frente arrojará unas fuertes tormentas en la tarde de hoy.

Este método es muy difícil debido a que es virtualmente imposible encontrar un análogo perfecto, varias características del tiempo raramente se repiten en el mismo lugar, donde ellos fueron anteriormente observados, aún más, pequeñas diferencias entre el tiempo actual y el análogo, pueden conducir a resultados muy diferentes al esperado. Aunque, si se archivan muchas condiciones meteorológicas, existen mejores posibilidades de encontrar un análogo, por lo que las condiciones de pronosticar con este método mejoraría.

1.5.1.5 Predicción numérica del tiempo (Numerical Weather Prediction NWP).

La predicción numérica del tiempo, usa complejos programas de cómputo, conocidos como modelos numéricos de pronóstico, que procesan (“corren”) datos en supercomputadoras y proporcionan predicciones de las variables meteorológicas, tales como la temperatura, presión atmosférica, viento, humedad y precipitación.

Un modelo numérico es un conjunto de ecuaciones matemáticas cuya solución requiere de métodos numéricos. Las ecuaciones básicas de un modelo numérico del tiempo son aquellas que rigen el movimiento del aire (horizontal y vertical), conservación de la masa y la energía, las transformaciones termodinámicas, los procesos de formación y desarrollo de las nubes, etc. Los métodos numéricos más comunes usados para resolver el sistema de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales (modelo numérico del tiempo) son: diferencias finitas, métodos espectrales y elementos finitos.

Así mismo se debe tener en cuenta que tenemos dos clases de modelos, el barotrópico y baroclínico.

1.5.1.6 El Modelo Barotrópico

Una atmósfera es barotrópica si no existen vientos térmicos; en este modelo no se tiene en cuenta el tipo de desarrollo de ciclones ⁽¹¹⁾ o anticiclones y tiene otras restricciones como:

(11) Ciclones.- Sistema de vientos que giran en sentido contrario a las manecillas del reloj en el hemisferio norte.

Después del tiempo $t = 0$, el movimiento del aire viene gobernado tan sólo por la inercia que posee en el instante $t = 0$, lo que equivale decir que no se tiene en cuenta cualquier aportación de nueva energía.

El movimiento se supone que es totalmente horizontal y no divergente, de modo que cada partícula conserva su vorticidad absoluta inicial durante su movimiento; la vorticidad viene medida a través de los vientos geostrofos.⁽¹²⁾

1.5.1.7 El Modelo Baroclínico

Los modelos posteriores se encaminaron a eliminar las múltiples restricciones que tenía el modelo barotrópico y en particular, han sido utilizados diversos modelos baroclínicos, en los que se tienen en cuenta las condiciones existentes a dos o tres niveles; de esta forma se toman en consideración los desarrollos sinópticos asociados a los vientos térmicos. En la actualidad se han hecho esfuerzos en el sentido de incluir en el modelo influencias tales como la topografía, calentamiento superficial, rozamiento, e intercambios de calor latente.

1.5.2 Parametrizaciones físicas de los modelos.

Hay muchos procesos que ocurren en la atmósfera tales como evaporación de la humedad de la superficie terrestre, formación de nubosidad y precipitaciones, o por ejemplo el recorrido del flujo del aire a través de las montañas. La representación de aquellos procesos en la atmósfera es conocida como parametrizaciones físicas, algunas de las cuales se realizan en los modelos numéricos.

1.5.2.1 La Nubosidad y precipitación a gran escala

Los modelos sostienen valores fraccionales de cobertura nubosa conjuntamente con valores separados de vapor de agua en las nubes y hielo, esto es kilos de agua y hielo en las nubes, por kilos de aire húmedo dentro de la nube.

La evaporación y la condensación del vapor de agua desde las capas más bajas permitirán, el enfriamiento o calentamiento del medio ambiente a través del intercambio de calor latente. A temperatura de -9° C y por debajo de ésta, todo el

(12) Vientos Geostrofos.- Viento teórico que resulta del equilibrio entre la fuerza horizontal de presión y la componente horizontal de la fuerza desviadora debido a la rotación de la tierra, bajo la hipótesis de que sean las dos únicas fuerzas que actúen sobre el aire.

contenido de las nubes es hielo; con una mezcla de agua y hielo entre -9° y 0° C, la proporción de hielo disminuye con temperatura más alta. El ascenso dinámico es el proceso más importante que conduce a la formación de nubes en el modelo, pero las nubes pueden asimismo formarse a través del enfriamiento radiactivo y el transporte turbulento.

1.5.2.2 La Convección y precipitación convectiva

Un modelo de nubosidad es utilizado para representar la convección de cúmulus y cumulonimbus, en el cual se considera corrientes ascendentes y una precipitación inducida por corrientes descendentes. En la figura 1.11 se muestra la forma de una nube que en meteorología se la conoce con el nombre de cumulonimbus.



Figura 1.11 Forma de un Cumulonimbus.

Se realiza una prueba para la inestabilidad convectiva, si la temperatura potencial de cualquier nivel es más alta que el nivel superior, la convección se inicia.

La convección continuará mientras el aire dentro de la nube continúe siendo caliente. Antes que la nube se deforme completamente en el nivel donde parte del aire cesa de ser caliente, la masa restante, calor, vapor de agua y nube con agua/hielo se mezclan completamente dentro del ambiente en la parte superior de la nube. Se utiliza un simple modelo de nubes para representar plumas convectivas dentro de la cuadrícula, y se diagnostica precipitación dentro de ese cuadrado si:

- (i) El líquido de la nube y el contenido del hielo excede una cantidad importante.
- (ii) La profundidad de la nube excede un valor crítico.

(iii) Todo este esquema varía dependiendo del tipo de modelo.

Este valor está determinado en 1.5 Km. sobre el mar y 4 Km. sobre la tierra.

Sin embargo, si la temperatura en el tope de la nube es menor que -10° C, la profundidad crítica se reduce a 1 Km. sobre la tierra o el mar. Así como la precipitación a gran escala, el esquema de convección permite la evaporación y la conversión a líquido de la precipitación.

1.5.3 Confiabilidad de un pronóstico numérico del tiempo

Las ecuaciones matemáticas de un modelo numérico del tiempo pueden ser resueltas en una región limitada o en el globo entero. Cuando es en una región limitada se llama MODELO REGIONAL, cuando es en el globo entero se le llama MODELO GLOBAL.

La capacidad del hombre para predecir el tiempo con anticipación de 24, 48, 72 horas o más, es muy limitada. Se podría decir que es casi imposible de predecir el tiempo con varios días de anticipación. Sin embargo a través de un MODELO GLOBAL se puede tener pronósticos confiables hasta con una semana de anticipación. La confiabilidad es mayor para periodos de tiempo menor que 5 días, y en regiones de latitudes medias, tales como Estados Unidos, Argentina, Sur de Brasil, Europa, Rusia, etc.

La habilidad (skill) de un Modelo Global para hacer buenas predicciones del tiempo depende de varios factores, como las condiciones iniciales; condiciones de superficie; tipos de parametrizaciones de los procesos de superficie, radiación y la convección; la resolución del modelo; el tipo de método numérico usado; etc. En general un modelo Global complejo que incluye todos los procesos físicos solamente puede ser corrido en una supercomputadora como la CRAY, IBM, SX-3 o SX-4. De esta forma, en las latitudes medias se puede tener pronósticos confiables hasta con una semana de anticipación. En las regiones tropicales como Perú, Colombia, parte Norte y Central de Brasil, Cuba, India, etc., la confiabilidad de estos modelos disminuye.

Un modelo numérico regional es muy útil para el pronóstico del tiempo con alta resolución (desde 500-600 m hasta 60-100 Km.) y con antecendencia de 48 horas. Estos modelos son más confiables que los modelos globales, y no necesariamente requieren de un supercomputador.

La confiabilidad de un modelo numérico depende también de la cantidad y calidad de datos que son proporcionados al modelo como condición inicial.

1.6 CONSECUENCIAS DE LOS FENÓMENOS CLIMÁTICOS ADVERSOS. ⁽¹³⁾

Algunos fenómenos climáticos pueden causar problemas a los habitantes de una determinada zona al presentarse de forma inesperada e inoportuna, algunos de ellos pueden causar perjuicios económicos ya que pueden destruir grandes extensiones de sembríos, las heladas por ejemplo son un fenómeno que al presentarse súbitamente durante la noche ocasionan muchos daños.

1.6.1 Las heladas

Se considera la ocurrencia de heladas **cuando la temperatura del aire**, registrada en el abrigo meteorológico (es decir a 1,50 metros sobre el nivel del suelo), **es de 0°C**. Esta forma de definir el fenómeno fue acordada por los meteorólogos y climatólogos, si bien muchas veces, la temperatura de la superficie del suelo puede llegar a ser 3 a 4°C menor que la registrada en el abrigo meteorológico.

Desde el punto de vista de la climatología agrícola, no se puede considerar helada a la ocurrencia de una determinada temperatura, ya que existen vegetales que sufren las consecuencias de las bajas temperaturas sin que ésta llegue a cero grados (por ejemplo: el café, el cacao y otros vegetales tropicales).

Existen diferentes tipos de heladas y de acuerdo a su origen se clasifican en:

1.6.1.1 Heladas de advección.- Se presentan en una región cuando ésta es "invadida" por una masa de aire frío cuya temperatura es inferior a 0°C. Este tipo de heladas se caracteriza por la presencia de vientos con velocidades iguales o superiores a los 15 Km./h y el gradiente de temperatura (variación de la temperatura con la altura) es negativo, sin inversión térmica.

Las áreas afectadas son extensas y la nubosidad no influye sobre la temperatura, que experimenta variaciones con la marcha horaria. Las plantas se enfrían por contacto.

(13) www.tutiempo.net/silvia_jarocca/Temas/heladas.htm; www.jardinactual.com/articuloshtm2.php?articulo=115

1.6.1.2 Heladas de radiación.- Se producen por el enfriamiento de las capas bajas de la atmósfera y de los cuerpos que en ellas se encuentran debido a la pérdida de calor terrestre por irradiación durante la noche. Se produce una estratificación del aire en donde las capas más bajas son más frías y las capas más altas son más cálidas (inversión térmica). Este tipo de heladas se produce en condiciones de viento calmo o escaso, ya que la ausencia de viento impide mezclar estas capas, y además, con cielo despejado que permite una mayor pérdida de calor desde la superficie terrestre. La pérdida de calor es mayor cuando las noches comienzan a ser más largas y el contenido de humedad del aire es menor. En los suelos cubiertos de vegetación y en el fondo de los valles es más probable que se den este tipo de heladas. En el caso de la cubierta vegetal, ésta actúa como aislante entre el suelo y la atmósfera, evitando que el calor del suelo se transmita con rapidez al aire.

Además disminuye la acumulación de calor en el suelo al impedir el ingreso de la radiación solar. El relieve del suelo, por sus diversos accidentes, determina la dirección e intensidad del flujo de aire frío nocturno. Si el suelo tiene pendiente, el aire frío (más denso) buscará niveles más bajos, donde se estacionará y continuará enfriándose. Es por ello que el fondo de los valles es un lugar propicio para la formación de heladas.

1.6.1.3 Heladas de evaporación.- Debidas a la evaporación de agua líquida desde la superficie vegetal. Suele ocurrir cuando, debido a la disminución de la humedad relativa atmosférica, el rocío formado sobre las plantas se evapora. El paso de agua líquida a su estado gaseoso requiere calor. Ese calor lo aporta la planta con su consiguiente enfriamiento.

1.6.1.4 Heladas mixtas.- Se denominan de este modo a aquellas heladas que se producen simultáneamente por el vuelco de aire frío y la pérdida de calor del suelo por irradiación. De acuerdo a los efectos visuales que este fenómeno se tiene:

Heladas blancas.- Se produce cuando la temperatura desciende por debajo de 0 °C y se forma hielo sobre la superficie de las plantas. Este tipo de heladas se produce con masas de aire húmedo. Además el viento calmo y los cielos despejados favorecen su formación.

Heladas negras.- En la helada negra el descenso por debajo de 0 °C no va acompañado de formación de hielo. Su designación responde a la visualización de la coloración que adquieren algunos órganos vegetales debido a la destrucción causada por el frío. Este tipo de heladas se produce cuando la masa de aire es seca. El cielo cubierto o semicubierto o la turbulencia en capas bajas de la atmósfera favorecen la formación de este tipo de heladas.

Las heladas son frecuentes en el invierno, pero ocurren también en otoño y primavera, conociéndose a las otoñales como heladas tempranas y a las primaverales como heladas tardías. En estas dos estaciones las plantas tienen una gran sensibilidad a los descensos bruscos de temperatura.

1.6.1.5 Consecuencias de las temperaturas bajas en los vegetales.

Como consecuencia de las temperaturas bajas, en la planta se suceden los siguientes pasos:

- Se produce un debilitamiento de la actividad funcional reduciéndose entre otras cosas las acciones enzimáticas, la intensidad respiratoria, la actividad fotosintética y la velocidad de absorción del agua.
- Existe un desplazamiento de los equilibrios biológicos frenándose la respiración, fotosíntesis, transpiración, absorción de agua y circulación ascendente.
- Finalmente se produce la muerte celular y la destrucción de los tejidos.

Hay que tener en cuenta que la sensibilidad que un vegetal tiene al frío depende de su estado de desarrollo. Los estados fenológicos más vulnerables al frío son la floración y el cuajado de frutos.

Muchos vegetales han creado resistencia natural al frío:

- Mediante concentración de los jugos celulares. De esta manera desciende el punto de congelación.

- Mediante el endurecimiento: cuando el descenso de las temperaturas se realiza progresivamente el vegetal va adaptándose a la nueva situación mediante cambios fisiológicos celulares.

CAPITULO II.

ACONDICIONAMIENTO Y ADQUISICIÓN DE DATOS.

2. ESTACIÓN METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA (E.M.A).

Una **Estación Meteorológica Automática** (E.M.A), es una herramienta por la cual se obtienen datos de los parámetros meteorológicos como: *temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento, presión atmosférica, nivel de lluvia, radiación solar* y otros, leídos por medio de sensores electrónicos. Las lecturas son acondicionadas para luego ser procesadas mediante la tecnología de microcontroladores o microprocesadores, y transmitidas a través de un sistema de comunicación (radio, satélites, teléfono, etc.) en forma automática. La estación automática funciona en forma autónoma, las 24 horas, con un sistema de alimentación a través de energía solar (paneles solares), o mediante el uso de baterías de larga duración.

La implementación de una estación de esta naturaleza tiene varias ventajas como:

- Adquisición de datos en tiempo variable de acuerdo a la necesidad del meteorólogo (durante eventos atmosféricos severos, se requiere mayor cantidad de datos).
- Necesidad de colocar estaciones automáticas en lugares hostiles de difícil acceso, ya que resulta difícil que a alturas elevadas se tenga una estación convencional y un observador que recopile la información.
- Mayor confiabilidad en los datos meteorológicos.
- Rapidez en realizar tareas estadísticas.

El presente proyecto describe el montaje de una estación meteorológica automática, que permite la medición de diferentes parámetros ambientales, al tiempo que muestra en tiempo real los valores y los presenta en una pantalla LCD. Cabe añadir que estos parámetros pueden ser registrados o enviados a distancia para su posterior tratamiento.

La estación está controlada por un PIC 16F877A, cuyo programa se encarga de adaptar y procesar todas las medidas tomadas por los sensores, representarlas en una pantalla LCD y al mismo tiempo enviar los datos vía radio frecuencia a un computador que a través del puerto serial importa los datos en formato serie con protocolo RS-232.

2.1. SENSORES.

Un sensor es cualquier dispositivo que detecta una determinada acción externa. Los sensores existen desde siempre, porque el hombre los tiene incluidos en su cuerpo y de diferentes tipos.

El hombre experimenta sensaciones como calor o frío, duro o blando, fuerte o débil, agradable o desagradable, pesado o no. Y poco a poco le ha ido añadiendo adjetivos a estas sensaciones para cuantificarlas como frígido, fresco, tibio, templado, caliente, tórrido.

Es decir, que día a día ha ido necesitando el empleo de magnitudes medibles más exactas.

2.1.1. Sensores electrónicos.

Los sensores electrónicos han ayudado no solo a medir con mayor exactitud las magnitudes, sino a poder operar con dichas medidas.

Pero no se puede hablar de los sensores sin sus acondicionadores de señal, ya que normalmente los sensores ofrecen una variación de señal muy pequeña y es muy importante equilibrar las características del sensor con las del circuito que le permite medir, acondicionar, procesar y actuar con dichas señales.

2.1.2. Tipos de sensores.

Existe una gran cantidad de sensores en el mercado, para poder medir magnitudes físicas, de los que se pueden enumerar los siguientes:

- Temperatura, Humedad, Presión, Posición, Movimiento, Caudal, Luz, Imagen, Corriente, Conductividad, Resistividad, Biométricos, Acústicos, Aceleración, Velocidad, Inclinación, Químicos y más.

2.1.3. Terminología.

En general se habla de sensores, pero se pueden distinguir las siguientes definiciones:

Sensor: Es un dispositivo que recibe una señal o estímulo físico y responde con una variación eléctrica, resistiva, capacitiva, etc. Además los sensores pueden ser *activos* o *pasivos*.

- **Sensor activo:** Es un sensor que requiere una fuente externa de excitación, como las RTD o células de carga para su funcionamiento.
- **Sensor pasivo:** Es un sensor que no requiere una fuente externa de excitación como los termopares o fotodiodos.

Transductor: Es un convertidor de un tipo de energía a otra y cuya señal de salida esta normalizada en corriente (4-20 mA) o voltaje (0-5V)

2.2. SENSORES CLIMÁTICOS.

La normalización del instrumental es una cuestión muy importante dado que para la medida de una misma variable meteorológica pueden encontrarse en el mercado diferentes tipos de instrumentos que pueden diferenciarse en sus constantes de tiempo y en su precisión.

El instrumental de las estaciones debe estar aprobado y normalizado por los Servicios Meteorológicos y, en general, son estas entidades las que suministran los instrumentos de observación, con lo que se garantiza la uniformidad.

2.2.1. Descripción y selección de los sensores.

2.2.2. Sensores de temperatura.

Probablemente sea la temperatura el parámetro físico más común que se mide en una aplicación electrónica; incluso en muchos casos el parámetro de interés no es la temperatura, pero ésta se ha de medir para incluir indirectamente su efecto en la medida deseada. Lo que permite realizar una compensación en el sistema de acuerdo a la variación de esta magnitud.

La diversidad de sus aplicaciones ha condicionado igualmente una gran proliferación de dispositivos sensores y transductores, desde la sencilla unión bimetalica de los termostatos, hasta los dispositivos semiconductores más complejos.

2.2.2.1. Tipos de sensores de temperatura.

Existen infinidad de procesos industriales en los que resulta imprescindible monitorear y controlar la temperatura, e incluso en el ámbito doméstico es una de las magnitudes de mayor interés.

En general la mayor dificultad consiste en seleccionar que sensor se va a utilizar para determinada aplicación, por lo cual a continuación se describe los tipos de sensores de temperatura existentes y su principio de funcionamiento.

Termistores. Un termistor es un resistor cuyo valor varía en función de la temperatura.

Existen dos clases de termistores: NTC (Negative Temperature Coefficient, Coeficiente de Temperatura Negativo), que es una resistencia variable cuyo valor se decrementa a medida que aumenta la temperatura; y PTC (Positive Temperature Coefficient, Coeficiente de Temperatura Positivo), cuyo valor de

resistencia eléctrica aumenta cuando se incrementa la temperatura. En la figura 2.1 se muestran varios tipos de termistores existentes en el mercado.



Figura 2.1. Termistores.

RTD (Termorresistencias). Los sensores RTD (Resistance Temperature Detector), basados en un conductor de platino y otros metales, se utilizan para medir temperaturas por contacto o inmersión, y en especial para un rango de temperaturas elevadas, donde no se pueden utilizar semiconductores u otros materiales sensibles. Su funcionamiento está basado en el hecho que en un metal, cuando sube la temperatura, aumenta la resistencia eléctrica. En la figura 2.2 se pueden apreciar varias termoresistencias.



Figura 2.2. Termorresistencias.

Termocuplas. El sensor de una termocupla está formado por la unión de dos piezas de metales diferentes. La unión de los metales genera un voltaje muy pequeño, que varía con la temperatura. Su valor está en el orden de los milivoltios, y aumenta en proporción con la temperatura. Este tipo de sensores

cubre un amplio rango de temperaturas: -180 a 1370 °C. En la figura 2.3 se puede observar dos tipos de termocuplas.



Figura 2.3. Termocuplas.

Diodos para medir Temperatura. Se puede usar un diodo semiconductor ordinario como sensor de temperatura. Un diodo es el sensor de temperatura de menor costo que se puede hallar, y a pesar de ser tan barato es capaz de producir resultados más que satisfactorios. Sólo es necesario hacer una buena calibración y mantener una corriente de excitación bien estable. El voltaje sobre un diodo conduciendo corriente en directo tiene un coeficiente de temperatura de alrededor de 2,3 mV/°C y la variación, dentro de un rango, es razonablemente lineal. Se debe establecer una corriente básica de excitación, y lo mejor es utilizar una fuente de corriente constante, o a su vez un resistor conectado a una fuente estable de voltaje.

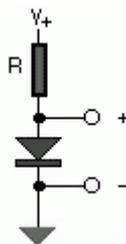


Figura 2.4. Diodos para medir temperatura.

En la figura 2.4 se muestra la conexión de un diodo de señal y desde que puntos se debe tomar la señal de voltaje, para poder medir la temperatura.

Circuitos integrados para medir temperatura. Existe una amplia variedad de circuitos integrados sensores de temperatura. Estos sensores se agrupan en cuatro categorías principales: salida de voltaje, salida de corriente, salida de resistencia y salida digital. Con salida de voltaje podemos encontrar los muy comunes **LM35** (°C) y **LM34 ó LM335** (°K) de National Semiconductor. Con salida de corriente uno de los más conocidos es el **AD590**, de Analog Devices. Con salida digital son conocidos el **LM56** y **LM75** (también de National Semiconductor). Los de salida de resistencia son menos comunes, fabricados por Phillips y Siemens. La figura 2.5 muestra tres tipos de circuitos integrados para medir la temperatura.



Figura 2.5. Circuitos integrados para medir temperatura

2.2.2.2. El sensor LM335.

Trabaja como un diodo zener cuyo voltaje de ruptura es directamente proporcional a la temperatura que llegue a la superficie. Por cada grado de temperatura, el LM335 varía su voltaje en mV, presentando teóricamente una lectura de 0V. a 0 °K. (-273°C). En la estación automática este circuito trabajará entre -5 y +60°C. Para conseguir 10 mV con este circuito, se debe tener en cuenta que el sensor por sí solo, en su estado básico, nos proporciona 10mV/°K.



Figura 2.6. Sensor de temperatura LM335.

La figura 2.6 presenta la forma del sensor de temperatura LM335

Cabe aclarar que la conversión de grados kelvin a grados centígrados se realiza mediante software, utilizando la expresión:

$$^{\circ}\text{C} = ^{\circ}\text{K} - 273.$$

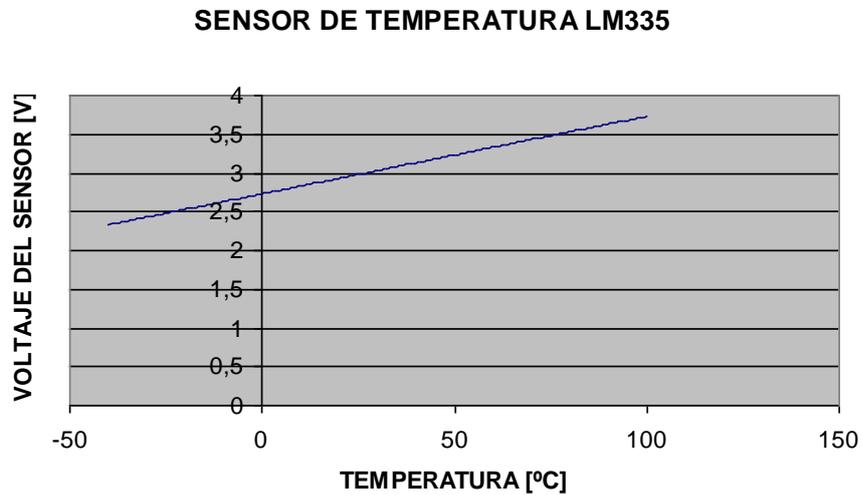


Figura 2.7. Temperatura Vs. Voltaje.

El integrado LM335 tiene como característica que su valor estándar para 0°C es 2.73V y va incrementando 10mV/°C, según se muestra en la figura 2.7 obtenida en la página Web⁽¹⁴⁾. De acuerdo a la gráfica de salida del sensor, de Voltaje [Voltios] Vs. Temperatura [°C] se obtiene la ecuación de salida del sensor tomando dos puntos y aplicando la ecuación de la recta de la siguiente forma:

$$P(T, V) : P_1(10^{\circ}\text{C}, 2.83\text{V}) \text{ y } P_2(40^{\circ}\text{C}, 3.14\text{V}).$$

$$V - V_1 = m (T - T_1)$$

$$V - 2.83 = \frac{3.14 - 2.83}{40 - 10} * (T - 10)$$

$$V - 2.83 = 0.01 (T - 10)$$

$$0.01T = V - 2.73$$

(14) <http://proyectosfie.webcindario.com>

Para más detalles técnicos del sensor consulte el ANEXO A.

$$T = 100V - 273 \quad \text{Ec. (2.1)}$$

Donde: T=Temperatura (°C) y V =Voltaje (Voltios).

La conversión análoga - digital se realiza por medio de un microcontrolador 16F877A cuyo voltaje de referencia es $V_{ref} = 5V$, a 10 bits, por lo tanto:

$$V = (5 * Bits)/1023 \text{ [Voltios]}.$$

Entonces reemplazando V en (2.1) se obtiene:

$$T \text{ (}^\circ\text{C)} = \left(\frac{500}{1023} \right) * Bits - 273 \quad \text{Ec. (2.2)}$$

Ecuación que se ingreso mediante software en el PIC y con la cual se obtiene el valor de la temperatura ambiental.

2.2.3. Sensores de presión.

Los sensores de presión se encargan de medir la fuerza aplicada sobre una superficie cualquiera. Se aplica la ecuación siguiente:

$$PRESION = \frac{FUERZA}{AREA} \quad \text{Ec.(2.3)}$$

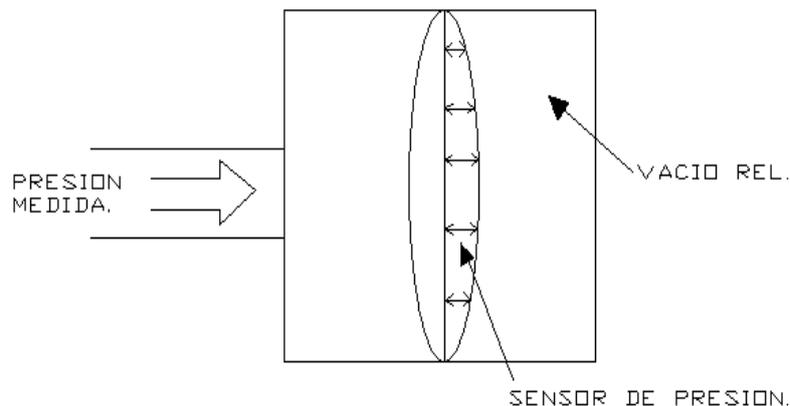


Figura 2.8. Definición de Presión.

La figura 2.8 muestra como el sensor mide la presión de un fluido.

2.2.4. Tipos de sensores de presión.

2.2.4.1. Sensores de presión resistivos.

La presión ejercida sobre una membrana, hace variar el valor de las resistencias montadas en un puente de Wheatstone. Las Células de Carga y las Galgas Extensiométricas son elementos metálicos que cuando se someten a un esfuerzo sufren una deformación del material, y por lo tanto una variación de su resistencia interna.

En la figura 2.9 se muestra un circuito para un sensor de presión resistivo.

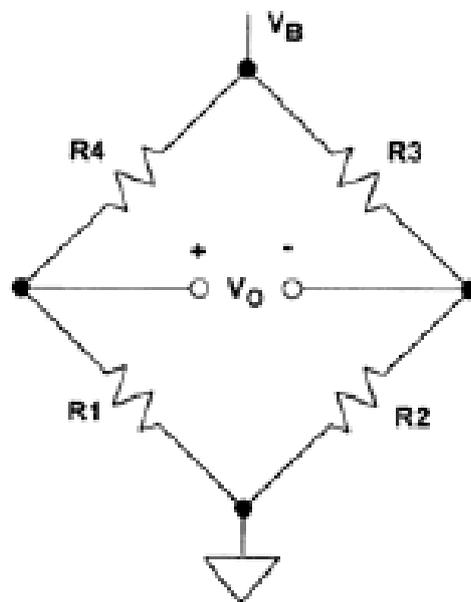


Figura 2.9. Sensor de presión resistivo.

2.2.4.2. Sensores de presión piezo-cerámicos/multicapa.

La combinación de la tecnología piezo-cerámica y multicapa se utiliza para producir una señal eléctrica, cuando se aplica una fuerza mecánica en el sensor. En la figura 2.10 se esquematiza el funcionamiento de un sensor de presión piezo-cerámico.

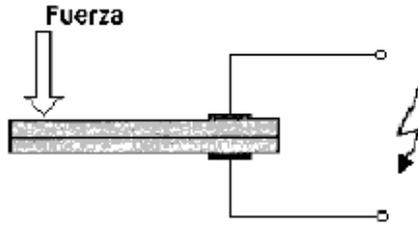


Figura 2.10. Sensor de presión piezo-cerámico.

2.2.4.3. Sensores de presión con semiconductores.

Una variación de presión sobre una membrana, hace actuar un único elemento piezo-resistivo semiconductor. *Motorola* fabrica sensores de presión con su familia MPX. En la figura 2.11 presenta la forma de un sensor de presión encapsulado.



Figura 2.11. Sensor de presión con semiconductores.

2.2.4.4. El sensor de presión atmosférica MPX4115.

Motorola fabrica una serie de sensores de presión con semiconductores, cuyas prestaciones y su bajo precio son parte de la tecnología asociada. Un diseño único dotado de un ajuste con láser controlado por ordenador, hace que estos dispositivos sean altamente competitivos. En la figura 2.12 se muestra el sensor de presión atmosférica MPX 4115A



Figura 2.12. Sensor de presión atmosférica MPX4115.

El sensor utilizado en la estación automática es el MPX4115 de *Motorola* cuya alimentación es de 4.85 a 5.35 Vdc. y el rango de presión es de 15 a 115 KPa

cabe recalcar que la presión atmosférica en el lugar de ubicación de la estación es de 72KPa por lo cual el sensor seleccionado satisface la presión del lugar.

La salida de este sensor es de voltaje de 0.2V (15KPa) a 4.8V (115KPa) y es directamente proporcional al incremento de presión atmosférica, el detalle completo de las características eléctricas del sensor se detalla en el datasheet del mismo (ANEXO B).

La figura 2.13 muestra la gráfica Voltaje Vs. Presión, obtenida a la salida del sensor a partir de la cual se inicia los cálculos para determinar la expresión final a ingresar en el PIC.

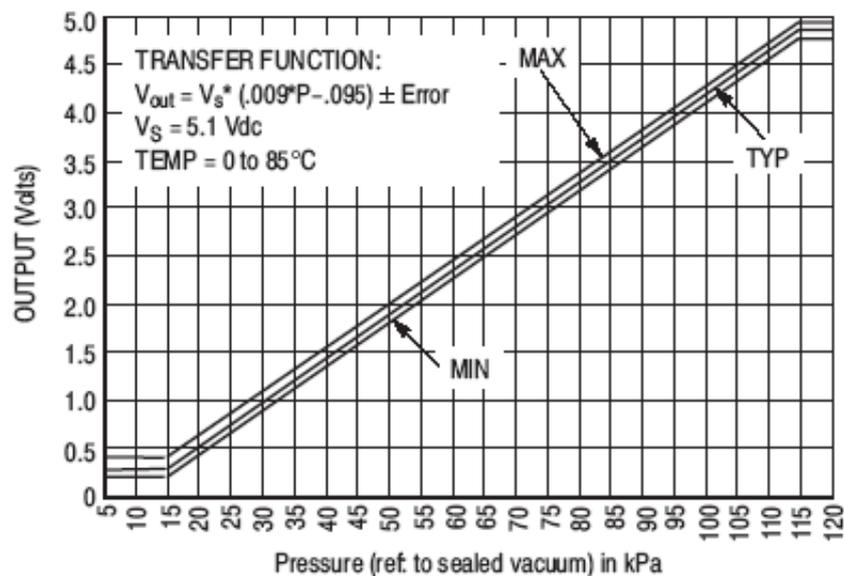


Figura 2.13. Presión Vs. Voltaje.

Para realizar la adquisición de datos de este sensor se debe hacer la conversión analógica – digital a 10 bits, luego se determina las ecuaciones que se detallan a continuación para ingresarlas en el microcontrolador.

P1(15KPa, 0.2V) y P2 (115KPa , 4.8V).

$$V - \frac{1}{5} = \frac{23}{500} (P - 15) \quad \text{Ec.(2.4)}$$

Como: $V = (5 * \text{Bits})/1023$ [Voltios].

Entonces reemplazando V en (2.4) finalmente tenemos:

$$P = \frac{500}{23} \left(\frac{5}{1023} \text{Bits} \right) + \frac{245}{23} \quad \text{Ec.(2.5).}$$

Donde:

P = Presión atmosférica en KPa.

Bits = Son los valores resultantes de la conversión, los cuales variarán de 0 a 1023 bits.

Finalmente la ecuación. (2.5) es la que se ingresa en el programa del microcontrolador.

El funcionamiento de los sensores de presión de la serie MPX de *Motorola* está basado en el diseño patentado del calibrador de fuerza. A diferencia de los sensores de presión más convencionales que utilizan las cuatro resistencias exactamente apareadas en una configuración de puente de Wheatstone, la serie MPX utiliza solamente un único elemento piezoresistivo implantado en un diafragma de silicio que sensa la tensión mecánica inducida en el diafragma por una presión externa. La salida es un voltaje analógico proporcional a la presión de entrada y al voltaje de alimentación radiométrico. La alta sensibilidad y una excelente repetibilidad a largo plazo hacen que sean las unidades más apropiadas para la mayoría de aplicaciones.

La precisión es muy buena debido al ajuste de las resistencias de calibración y compensación con láser controlado por ordenador, dando la medición de presión muy exacta sobre un rango amplio de temperatura. El efecto de la temperatura es típicamente $\pm 0.5\%$ del fondo de escala sobre un rango de temperatura de 0 a 85 °C, mientras que el efecto sobre la tensión de offset, sobre un rango de temperatura similar, es de ± 1 mV como máximo.

Al aplicar presión al diafragma, se produce un cambio de resistencia en la galga extensiométrica, que causa a su vez un cambio en el voltaje de salida en proporción directa a la presión aplicada.

La galga extensiométrica es una parte integral del diafragma de silicio, y por lo tanto no se introducen los errores típicos debidos a diferencias de expansiones térmicas. No obstante, los parámetros de salida de la galga extensiométrica dependen de la temperatura; sin embargo, se requiere que el dispositivo esté compensado si se utiliza sobre un rango de temperatura extensa. Una red simple de resistencias se puede utilizar para un rango estrecho de temperatura, por ejemplo de 0 °C a 85 °C. Para rangos de temperatura de -40 °C a + 125 °C, son necesarias redes compensadoras más complejas.

Los sensores de presión de *Motorola* están disponibles en tres diferentes configuraciones que permiten una medición de presión **absoluta**, **diferencial** y **manométrica**.

Debido a que la presión medida es la atmosférica o absoluta sólo se realiza una descripción de la misma.

Los **sensores de presión absoluta** miden la diferencia entre la presión externa aplicada a un lado del diafragma, y a una presión de referencia cero (vacío), aplicada al otro lado.

Estos sensores se aplican en Barómetros, Detección de fugas, Altimetros.

La figura 2.14 muestra el sensor de presión absoluta.

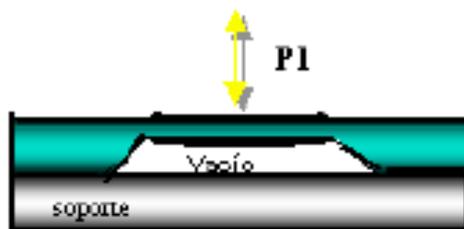


Figura 2.14. Sensor de presión absoluta.

2.2.5. Sensores de humedad relativa.

2.2.5.1. Tipos de sensores de humedad relativa.

La detección de la humedad relativa es muy importante en una estación automática, ya que a partir de ésta se puede determinar el punto de rocío, que junto con la temperatura permiten determinar si pueden o no presentarse lluvias. Por esta razón se debe tener en cuenta una variedad de sensores de humedad disponibles, entre ellos los capacitivos y resistivos, y algunos integrados con diferentes niveles de complejidad y prestaciones.

1. **Sensores de Humedad Capacitivos.** El sensor lo forma un condensador de dos láminas de oro como placas y como dieléctrico una lámina no conductora que varía su constante dieléctrica, en función de la humedad relativa de la atmósfera ambiente. El valor de la capacidad se mide como humedad relativa. *Honeywell* fabrica este tipo de sensores.

2. **Sensores de Humedad Resistivos.** Un electrodo polímero montado en tandem, sensa la humedad en el material. Además un circuito acondicionador y linealizador dan una salida estándar.

2.2.5.2. EL SENSOR DE HUMEDAD RELATIVA HIH-4000.

El sensor de humedad relativa utilizado en la estación automática es el HIH-4000 de Honeywell cuyo principio de funcionamiento es el de un sensor de humedad capacitivo detallado anteriormente. A continuación se describe algunas de las características de este sensor extraídas del datasheet del mismo (ANEXO C).



Figura 2.15. Sensor de Humedad relativa HIH-4000.

En la figura 2.15 se muestra la apariencia del sensor de humedad relativa.

- Encapsulado SIP de 3 pines de 2.5mm de separación
- Rango de medición: 0 a 100% de HR (Humedad relativa).
- Temperatura de operación: -40 a 85°C
- Linealidad: $\pm 0.5\%$ de HR
- Salida: 0.8 - 3.9VDC (0-100% HR) @ $V_{cc}=5VDC$
- Tensión de alimentación: 4 a 5.8 VDC
- Monolíticos
- Aplicaciones: Refrigeración, secadores, instrumentación, controles industriales, meteorología, etc.
- Resistentes a vapores contaminantes, solventes orgánicos, cloro, amoniaco.
- No es afectado por la condensación del agua.

La figura 2.16 muestra la variación de la humedad relativa respecto al voltaje de salida.

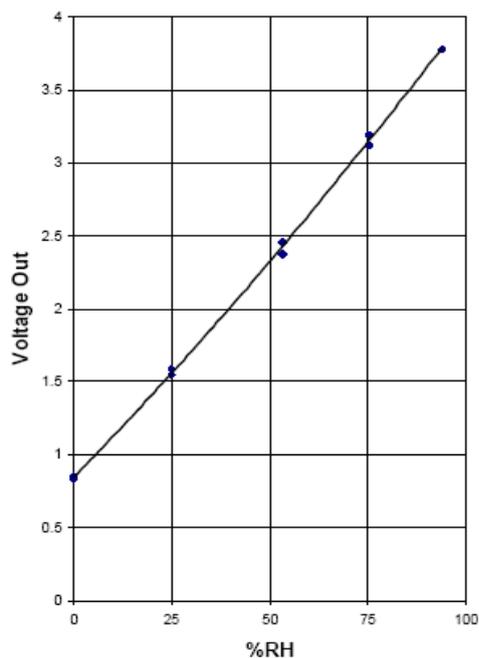


Figura 2.16. Humedad relativa Vs. Voltaje de salida.

De la gráfica de la respuesta de salida Humedad Vs. Voltaje se toma dos puntos y se obtiene la ecuación pertinente para ingresarla en el programa del PIC.

P1 (0%, 0.8V) ó P1 (0%, 4/5 V) y P2 (100%, 3.9V) ó P2 (100%, 39/10 V).

Aplicando la ecuación de la recta se tiene:

$$V - \frac{4}{5} = \frac{31}{1000} (RH - 0) \quad \text{Ec.(2.6)}$$

Como: $V = (5 * \text{Bits})/1023$ [Voltios].

Entonces reemplazando V en (2.6) finalmente tenemos:

$$RH = \frac{200}{31} \left(\frac{25}{1023} \text{BITS} - 4 \right) \quad \text{Ec.(2.7)}$$

Donde:

RH = % Humedad Relativa.

Bits = Son los valores resultantes de la conversión los cuales variarán de 0 a 1023 bits.

Finalmente la ecuación (2.7) se ingresará en el programa del microcontrolador.

2.2.6. Sensores de posición.

2.2.6.1. Tipos de sensores de posición.

Los sensores de posición pueden dar según su construcción o montaje, una posición lineal o angular. A continuación se describe los diferentes tipos de sensores de posición.

Electromecánicos: Lo forman los Finales de Carrera o Microinterruptores. Se sitúan en puntos estratégicos a detectar, en sistemas industriales y máquinas en general. Conmutan directamente cualquier señal eléctrica.

Tienen una vida limitada. Solo pueden detectar posiciones determinadas, debido a su tamaño.

Magnéticos.- Lo forman los Detectores de Proximidad Magnéticos, que pueden ser de Efecto Hall y Resistivos, típicos en aplicaciones industriales.

Inductivos.- Constituyen los Detectores de Proximidad Inductivos, los Sincros y Resolvers, los RVDT (Rotatory Variable Differential Transformer) y LVDT (Lineal Variable Differential Transformer).

Potenciométricos.- Lo forman los Potenciómetros lineales o circulares.

Ópticos.- Constituyen las Células fotoeléctricas y los Encoders.

2.2.6.2. Sensor de dirección del viento WE570.

El sensor de dirección del viento utilizado es el WE570 de Global Water el mismo que fue diseñado para medir con precisión la dirección del viento en los entornos más ásperos. La salida del sensor de dirección del viento es de 4-20 mA. La electrónica del transmisor de dirección del viento es completamente encapsulada dentro de un manguito de goma. A continuación se detalla algunas de las características de este sensor. La figura 2.17 ilustra este sensor. Detalles del mismo en el ANEXO D.

Principio de funcionamiento: Potenciométrico.

Salida: 4 – 20 mA.

Rango: 0 – 360° (352° eléctricos, 8° abiertos)

Precisión: 1%.

Voltaje de alimentación: 10 -36 Vcc.

Tiempo de respuesta: 3 Segundos.

Temperatura de Operación: -40 a 55°C.

Peso : 1 lb.



Figura 2.17. Sensor de velocidad del viento WE570

2.2.6.3. Funcionamiento.

Los potenciómetros se utilizan también como sensores de posición. Mediante una tensión DC de referencia muy estable, el cursor entrega una salida proporcional al ángulo del eje.

Las consideraciones a tener en cuenta son el número de maniobras que va a realizar para calcular la vida del mismo, ya que existe un contacto mecánico entre la resistencia y el terminal del cursor. **Global Water** fabrica una serie de potenciómetros especializados para este trabajo, utilizan como elemento resistivo el *bobinado* que es muy lineal, y también el *plástico conductor* que a parte de la linealidad, ofrece una vida muy larga.

Existe en el mercado una variedad de elementos resistivos que se utilizan en los potenciómetros, el elemento más popular es el carbón, su mejor característica es el precio, pero como inconvenientes tiene las variaciones de temperatura y su vida; el *cermet* es una combinación de un material CERámico y METal que mejora muchísimo las características del carbón. Después se encuentra el bobinado, que sus principales ventajas son el bajo coeficiente de temperatura, su vida mecánica, bajo ruido, alta disipación, y estabilidad con el tiempo. Otro elemento utilizado es el plástico conductor que mejora en todas las características respecto a los demás elementos, pero tiene un precio superior. En la figura 2.18 se muestra la variación de la corriente con respecto al ángulo.

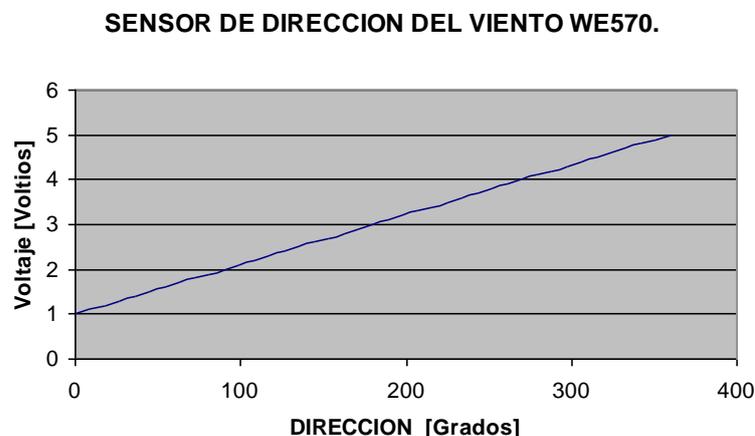


Figura 2.18. Dirección del viento Vs. Voltaje de salida.

Debido que la salida del sensor es de 4 a 20 mA, para realizar la conversión analógica-digital se debe ingresar un voltaje de 5Vcc al pin 5 (puerto A.3) de entrada del PIC; por lo tanto, se coloca a la salida del sensor una resistencia de 250 ohmios de tal forma que se obtendrá por la ley de Ohm un rango de voltaje de 1 a 5Vcc.

A partir del gráfico anterior se realizará los cálculos correspondientes para determinar la ecuación ingresada en el software del microcontrolador.

P1 (0°, 1V) y P2 (360°, 5V).

Aplicando la ecuación de la recta:

$$V - 1 = \frac{5 - 1}{360} (\text{Grados} - 0) \quad \text{Ec.(2.8)}$$

Como: $V = (5 * \text{Bits})/1023$ [Voltios].

Entonces reemplazando V en (2.8), se tiene finalmente:

$$\text{Grados} = \frac{150}{341} \text{Bits} - 90 \quad \text{Ec(2.9).}$$

2.2.7. Sensor de velocidad angular.

La velocidad angular mide la rapidez en que gira un objeto alrededor de un eje. Integrando la velocidad angular se miden los cambios de inclinación o cambios de dirección.

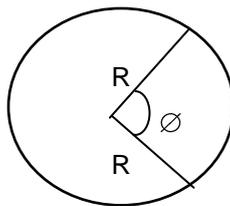


Figura 2.19. Velocidad angular.

$$\omega = \frac{\theta}{t} \quad \text{Ec.(2.10)}$$

Donde:

ω = Velocidad angular en rad/s.

θ = Ángulo de giro en radianes.

t = tiempo en segundos.

Cuando el ángulo de giro es igual a 2π , el tiempo empleado es un período, pudiéndose escribir que:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad \text{Ec.(2.11)}$$

Como $f = \frac{1}{T}$ reemplazando en (2.11), se tiene finalmente que:

$$\omega = 2 \pi f \quad \text{Ec.(2.12)}$$

Donde:

f = Frecuencia.

Finalmente para determinar la velocidad lineal a partir de la velocidad angular se aplica la siguiente expresión:

$$V = \omega * R \quad \text{Ec.(2.13)}$$

Donde:

V= Velocidad lineal.

R= Radio de giro.

El sensor de velocidad angular utilizado en la estación automática fue construido por los autores del proyecto, utilizando el principio de funcionamiento de un codificador óptico.

2.2.7.1. Funcionamiento del sensor de velocidad angular.

El sensor construido está compuesto de un disco ranurado que gira solidariamente con respecto a un eje y cuya fricción es mínima de tal forma que es muy sensible al viento, el paso de un agujero se detecta mediante un LED y un fotodetector enfrentados y situados a ambos lados del disco (figura 2.20).

Los diodos emisor y receptor están colocados a los extremos del disco de tal forma que cada vez que la señal del diodo emisor atraviesa un agujero, el receptor se polariza y envía una señal en alto (5 V) hacia el microcontrolador, y este último se encarga de contar el número de veces, en un segundo que la señal le llega en alto. De esta forma se obtiene la frecuencia la misma que es tomada en cuenta para calcular la velocidad angular del anemómetro.

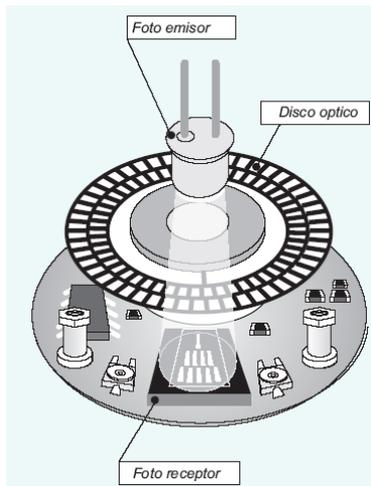


Figura 2.20. Codificador óptico formado por: disco ranurado, led y fotodetector.

Los pulsos obtenidos se presentan en la figura 2.21

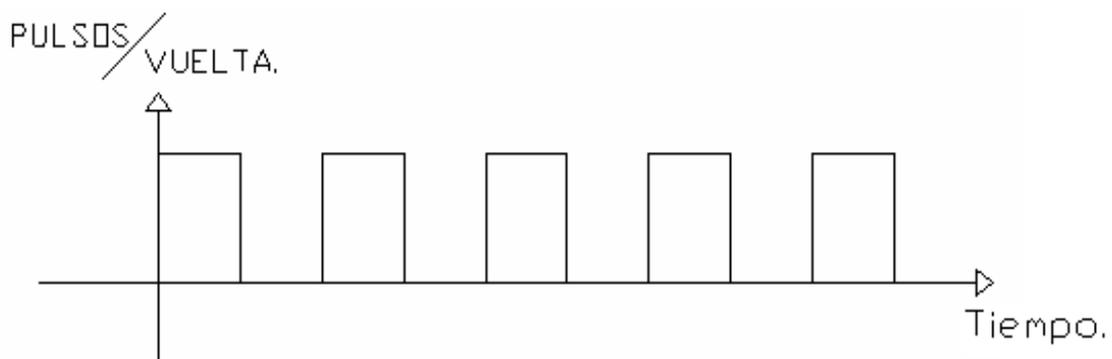


Figura 2.21. Señal de salida del sensor de velocidad.

La medida de la velocidad fue determinada a partir de la medida de la frecuencia de la señal recibida en el fotodetector, aplicando las ecuaciones (2.12) y (2.13) detalladas anteriormente. La resolución viene determinada por el número de ranuras o líneas del disco y es de 5 pulsos /vuelta, la frecuencia generada es leída por el PIC 16F872; que mediante software envía un PWM (Modulación por ancho de pulso) que varía de acuerdo a la frecuencia de entrada al PIC, a través de un pin del microcontrolador se recoge la señal de PWM y mediante un filtro RC se transforma esta señal a un voltaje de 0 a 5Vcc proporcional a la velocidad del viento de 0 a 50 Km/h. Para más detalles del diseño consulte el ANEXO E

A continuación en la figura 2.22 se detalla gráficamente lo explicado.

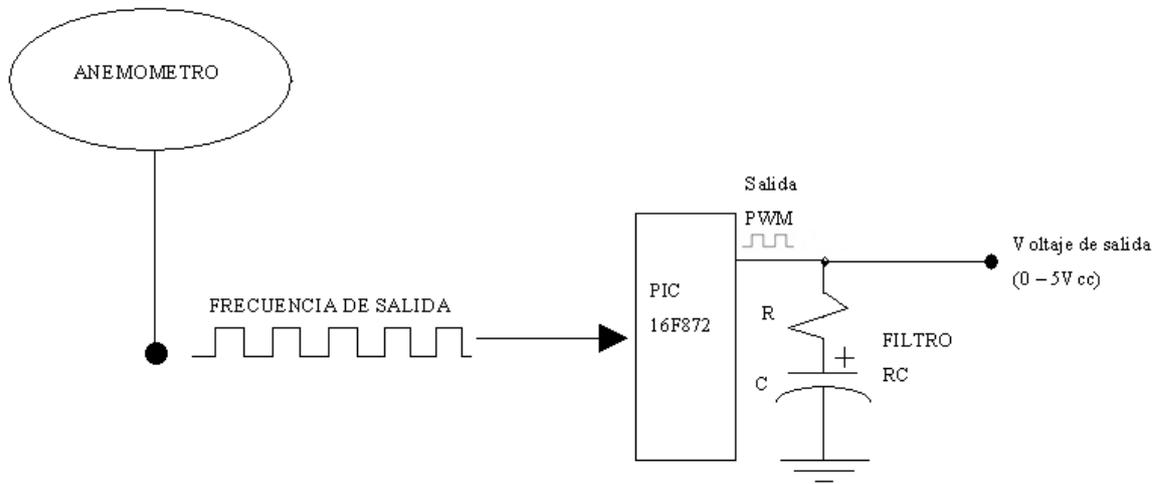


Figura 2.22. Conversión de frecuencia a voltaje del anemómetro.

A continuación se presenta la variación de la Velocidad [Km/h] Vs. Voltaje [Voltios]

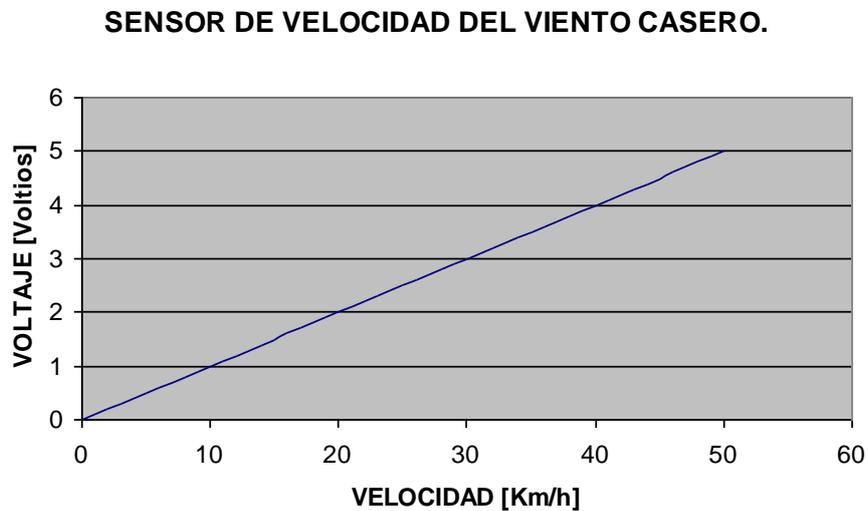


Figura 2.23. Velocidad del viento Vs. Voltaje de salida.

P1 (0Km/h, 0V) y P2 (50Km/h, 5V).

Aplicando la ecuación de la recta:

$$\text{Voltaje} - 0 = \frac{5}{50} (\text{Velocidad} - 0) \quad \text{Ec.(2.14)}$$

Como: Voltaje = (5 * Bits)/1023 [Voltios].

Entonces reemplazando Voltaje en (2.14) se obtiene:

$$\text{Velocidad} = \frac{50}{1023} \text{Bits} \quad \text{Ec(2.15).}$$

2.2.8. Sensor de luz.

Un sensor de luz detecta la iluminancia medida en Watts/m². Miden la cantidad de luz que llega a una célula foto-eléctrica (básicamente una resistencia). La resistencia es baja con luz y alta con oscuridad.

Los sensores de luz pueden dividirse en dos grandes grupos: los conformados por elementos sensibles y los módulos integrados, los cuales se diferencian por sus aplicaciones y rango de medida. A continuación se observa su clasificación y el detalle de algunos de ellos:

- | | | |
|---------------------------------|---|--|
| Elementos
Sensibles. | } | <p>RESISTIVOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> - LDR's o Fotorresistores - Fotoceldas o celdas fotovoltaicas <p>OPTOELECTRONICOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fotodiodos - Fototransistores <p>TERMICOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sensores piroeléctricos <p>SENSORES DE IMAGEN.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dispositivo acoplado por carga (CCD). - Cámaras de vídeo. |
|---------------------------------|---|--|

Módulos {
Integrados { - Reflectivos.
- De ranura.

LDR (Light-Dependent Resistor, resistor dependiente de la luz).

Un LDR es un resistor que varía su valor de resistencia eléctrica dependiendo de la cantidad de luz que incide sobre él. Se le llama, también, fotorresistor o fotorresistencia. El valor de resistencia eléctrica de un LDR (figura 2.24) es bajo cuando hay luz incidiendo en él (en algunos casos puede descender a tan bajo como 50 ohms) y muy alto cuando está a oscuras (puede ser de varios megaohms).



Figura 2.24. Sensor resistivo LDR.

Fotoceldas o celdas fotovoltaicas.

La conversión directa de luz en electricidad a nivel atómico se llama **generación fotovoltaica**. Algunos materiales presentan una propiedad conocida como **efecto fotoeléctrico**, que hace que absorban fotones de luz y emitan electrones. Cuando se captura a estos electrones libres emitidos, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como energía para alimentar circuitos. Esta misma energía se puede utilizar, obviamente, para producir la detección y medición de la luz. Una fotocelda puede observarse en la figura 2.25.



Figura 2.25. Celda Fotovoltaica.

Fotodiodos.

El fotodiodo (figura 2.26) es un diodo semiconductor, construido con una unión PN, como muchos otros diodos que se utilizan en diversas aplicaciones, pero en este caso el semiconductor está expuesto a la luz a través de una cobertura cristalina y a veces en forma de lente, y por su diseño y construcción será especialmente sensible a la incidencia de la luz visible o infrarroja. Todos los semiconductores tienen esta sensibilidad a la luz, aunque en el caso de los fotodiodos, diseñados específicamente para esto, la construcción está orientada a lograr que esta sensibilidad sea máxima.



Figura. 2.26. Fotodiodos.

Fototransistores.

Los fototransistores (Figura 2.27) no son muy diferentes de un transistor normal, es decir, están compuestos por el mismo material semiconductor, tienen dos junturas y las mismas tres conexiones externas: colector, base y emisor. Por supuesto, siendo un elemento sensible a la luz, la primera diferencia evidente es su cápsula, que posee una ventana o es totalmente transparente, para dejar que la luz ingrese hasta las junturas de la pastilla semiconductor y produzca el efecto fotoeléctrico.



Figura. 2.27. Fototransistores.

CCD y cámaras de vídeo.

La abreviatura **CCD** viene del inglés **Charge-Coupled Device**, Dispositivo Acoplado por Carga. El CCD (Figura 2.28) es un circuito integrado. La característica principal de este circuito es que posee una matriz de celdas con sensibilidad a la luz alineadas en una disposición físico-eléctrica que permite "empaquetar" en una superficie pequeña un enorme número de elementos sensibles y manejar esa gran cantidad de información de imagen (para llevarla al exterior del microcircuito) de una manera relativamente sencilla, sin necesidad de grandes recursos de conexiones y de circuitos de control.

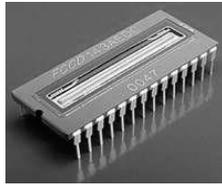


Figura. 2.28. Dispositivo Acoplado por Carga (CCD).

Sensores reflectivos y por intercepción (de ranura).

Los sensores de objetos por reflexión están basados en el empleo de una fuente de señal luminosa (lámparas, diodos LED, diodos láser, etc.) y una célula receptora del reflejo de esta señal, que puede ser un fotodiodo, un fototransistor, LDR, incluso chips especializados, como los receptores de control remoto. Con elementos ópticos similares, es decir emisor-receptor, existen los sensores "de ranura", donde se establece un haz directo entre el emisor y el receptor, con un espacio entre ellos que puede ser ocupado por un objeto. (Figura 2.29)



Figura. 2.29. Sensores reflectivos y por intercepción.

2.2.8.1. Sensores piroeléctricos.

Los sensores piroeléctricos son detectores de radiación térmica y se usan fundamentalmente como sensores de radiación en el infrarrojo (IR). Presentan una respuesta espectral bastante uniforme en un margen amplio de longitudes de onda (desde el ultravioleta (UV) hasta el microondas). El efecto piroeléctrico está relacionado con el efecto piezoeléctrico; la diferencia estriba en que ahora las cargas son inducidas fundamentalmente por efecto térmico y no mecánico. Un sensor piroeléctrico está formado por un condensador, constituido por una pastilla muy fina de material cerámico ferroeléctrico con dos electrodos en su superficie sobre los cuales se induce una carga eléctrica por efecto térmico (figura 2.30).

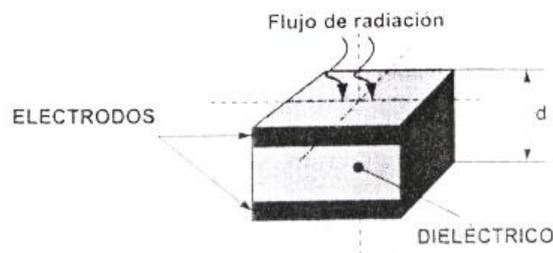


Figura 2.30. Estructura básica de un detector piroeléctrico.

En la tabla 2.1. Se muestra una lista de materiales piroeléctricos:

Material	Coefficiente piroeléctrico $\text{nC}/\text{cm}^2 \text{ K}$	Permitividad relativa	Calor específico $\text{J}/\text{cm}^3 \text{ K}$
Sulfato de triglicina TGS	40	35	2,50
Tantalato de litio $\text{Ta O}_3 \text{ Li}$	19	46	3,19
Niobato de estroncio y bario SBN	60	400	2,34
PVDF	3	11	2,40

Tabla 2.1. Algunos parámetros de materiales piroeléctricos comunes.

El material cerámico que actúa como dieléctrico está compuesto de diminutos cristales que se comportan como pequeños dipolos eléctricos. Entre los materiales que más se utilizan se encuentran: el sulfato de triglicina (TGS) y el tantalato de litio (LiTaO_3), aunque existen otros materiales como los típicos piezoeléctricos. Estos materiales presentan una propiedad interesante: tienen un momento bipolar intrínseco que depende de la temperatura y decrece con esta

de una forma no lineal. El **efecto piroeléctrico** se produce cuando la radiación incidente hace que se incremente la temperatura del material cerámico, provocando que cambie su polarización interna debido a la agitación térmica. Esta reducción en la polarización ocasiona un decremento de la carga superficial del material y un exceso de carga inducida en los electrodos. A este mecanismo de generación se denomina piroelectricidad primaria.

2.2.8.2. El sensor de radiación solar CM3.

El sensor piroeléctrico CM3 es un instrumento para medir la radiación solar. En su construcción el sensor posee un vidrio de 180° de visión, la salida esta expresada en unidades de Watts/m^2 .

A continuación se presenta algunas características de este sensor obtenidas del datasheet del mismo para mayor información consulte el ANEXO F. En la figura 2.31. Se muestra el sensor de radiación solar CM3 de Kipp&Zonenn.



Figura 2.31. Sensor de radiación solar CM3.

Espectro de detección: $\pm 5\%$ (350- 1500nm)

Sensibilidad: 10 – 35 microVolts/ Wm^2 .

Impedancia: 60 – 200 Ohm.

Longitud de cable: 5 m.

Rango de voltaje de salida: 0 – 50mV.

Salida: 16.83 micro Voltios / W.m^{-2} .

Cabe aclarar que debido a la salida pequeña de voltaje que este sensor suministra, se construyó un circuito amplificador con ganancia de 100, para que al máximo valor de voltaje que entrega el sensor (50mV), con la ganancia proporcione 5V a fondo de escala obteniendo así el rango de voltaje adecuado para que el PIC pueda realizar la conversión análoga – digital.

La gráfica de salida de este sensor después de ser amplificada se muestra en la figura 2.32.

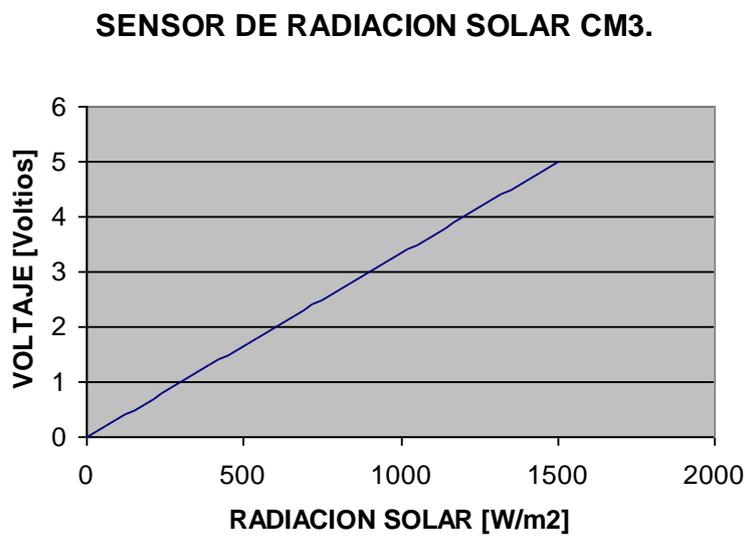


Figura 2.32. Radiación solar Vs. Voltaje de salida.

P1 (1500W/m²; 5V) y P2 (1W/m² ; 1.683x10⁻³V).

Aplicando la ecuación de la recta:

$$\text{Voltaje} - 5 = \frac{(1.683 \times 10^{-3}) \cdot 5}{1 - 1500} (\text{Radiación} - 1500)$$

$$\text{Radiación} = 300 * \text{Voltios} \tag{Ec.(2.16)}$$

Como: Voltaje = (5 * Bits)/1023 [Voltios].

Entonces reemplazando Voltaje en (2.16) se tiene:

$$Radiación = \frac{500}{341} * Bits$$

Ec(2.17).

2.2.9. Sensor de lluvia.

Su misión es detectar la caída de las primeras gotas de lluvia. Se encuentra situado en el embudo del pluviómetro. El elemento sensor es una placa de circuito impreso con dos pistas entrelazadas muy próximas que forma parte de un divisor de tensión de alta impedancia. Cuando una gota de agua une las dos pistas, la caída de tensión en el divisor cambia.

2.2.9.1. Funcionamiento.

El sensor de nivel de lluvia utilizado en la estación automática es el pluviómetro RG200 de Global Water que permite medir las precipitaciones. Consta de una doble cazoleta basculante con un sensor para detectar su movimiento. (Figura 2.33) Para calibrar el punto en que bascula en cada posición se ajustan dos tornillos que hay debajo. Para detectar el movimiento de la cazoleta se puede usar un sensor óptico o un relé reed.

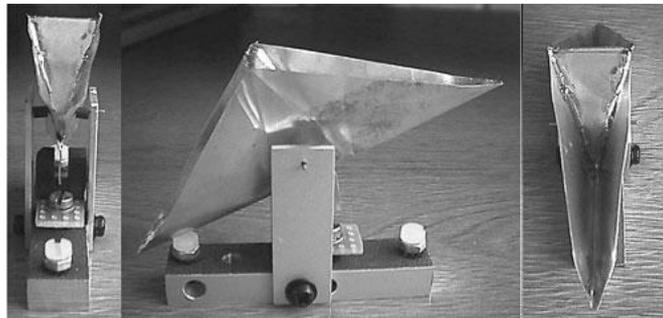


Figura 2.33. Cazoleta del pluviómetro.

2.2.8.1. El sensor de precipitación RG200.

El medidor de agua lluvia RG200 es un instrumento de tiempo durable este supervisa la tasa de lluvia y la lluvia total. Con el cuidado mínimo, el medidor de lluvia proporcionará muchos años de servicio.

La simplicidad de su diseño asegura la operación sin preocupaciones, proporcionando las medidas de lluvia exactas. El RG200 mide 6" de orificio receptor de agua. El medidor de lluvia posee un mecanismo que activa un conmutador que produce un cierre del contacto para cada **0.01" o 0.25 mm** de lluvia. Más detalles del sensor en el ANEXO G.

En la figura 2.34 se muestra el pluviómetro de Global Water RG200.



Figura 2.34. Medidor de nivel de lluvia RG200.

A continuación se presentan algunas de las características del sensor:

- Construcción robusta de plástico UV-protegido con alta resistencia al impacto de la lluvia.
- Confiable, muy exacto, y simple de operar.
- Durable y económico.
- Capacidad: Ilimitada.
- Exactitud: 3% sobre las 4"/h.
- Dimensiones: 6" x 15"
- Peso: 3lbs.
- Salida: En frecuencia hasta 32 pulsos/minuto.
- Alimentación: 12Vcc.

2.2.9.2. El Módulo conversor de frecuencia a corriente RG700.

El módulo RG700 de Global Water (figura 2.35) es un convertidor de frecuencia a corriente con una equivalencia de 32 pulsos/minuto a 20mA.



Figura 2.35. Módulo convertidor RG700.

De tal forma que al conectar la salida del sensor de lluvia RG200 al módulo RG700 se obtendrá una salida normalizada de 4 a 20mA; para ingresar un voltaje en el PIC con esta corriente se ubica una resistencia de 250 ohmios en paralelo a la salida del RG700 y se toma la caída de tensión en la resistencia para ingresarla al microcontrolador. Mas detalles del sensor se presentan en el ANEXO H.

La gráfica de salida del módulo RG700 se muestra en la figura 2.36.

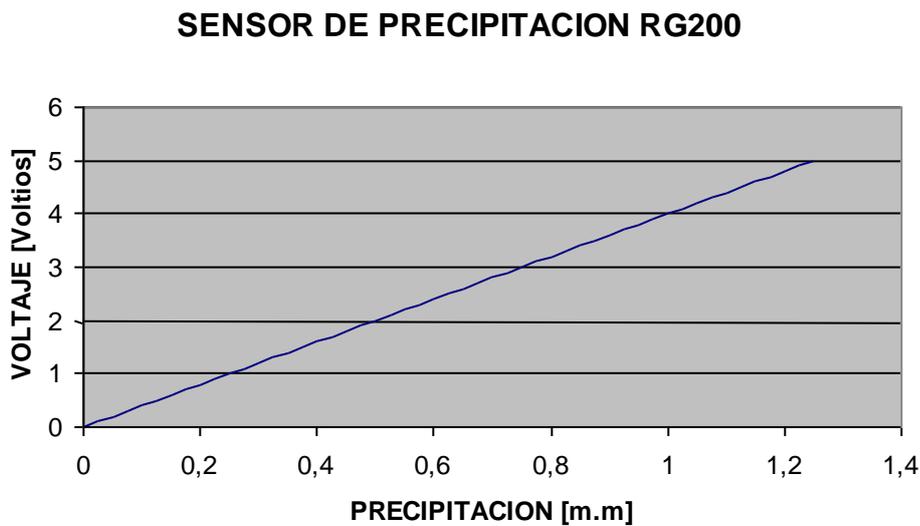


Figura 2.36. Precipitación Vs. Voltaje de salida.

P1 (0.25mm, 1V) y P2 (1.25mm, 5V).

Aplicando la ecuación de la recta:

$$\text{Voltaje} - 1 = \frac{5 - 1}{1.25 - 0.25} (\text{Precipitación} - 0.25)$$

$$\text{Precipitación} = \frac{1}{4} * \text{Voltaje} \quad \text{Ec.(2.18)}$$

Como: $V = (5 * \text{Bits})/1023$ [Voltios].

Entonces reemplazando V en (2.18) se obtiene la ecuación final:

$$\text{Precipitación} = \frac{5}{4092} \text{ Bits} \quad \text{Ec(2.19).}$$

2.3. FILTRADO DE SEÑALES.

2.3.1. Filtros.

En general un filtro eléctrico puede definirse como un cuadripolo capaz de atenuar determinadas frecuencias del espectro de la señal y permitir el paso sin atenuar de las demás. La figura 2.37 muestra este concepto : la componente del espectro no deseada de frecuencia f_2 , al pasar por el filtro se ve atenuada, mientras que la frecuencia deseada f_1 mantiene su amplitud.

Como el cuadripolo, un filtro se caracteriza por una función de transferencia $H(s)$ de la forma:

$$H(s) = \frac{v_o(s)}{v_i(s)} \quad \text{Ec. (2.20).}$$

Donde $s = \sigma + j\omega$, es una variable compleja. En régimen permanente armónico, $s = j\omega$. En la figura 2.37 se presenta el concepto básico de un filtro de una forma grafica para una mejor comprensión.

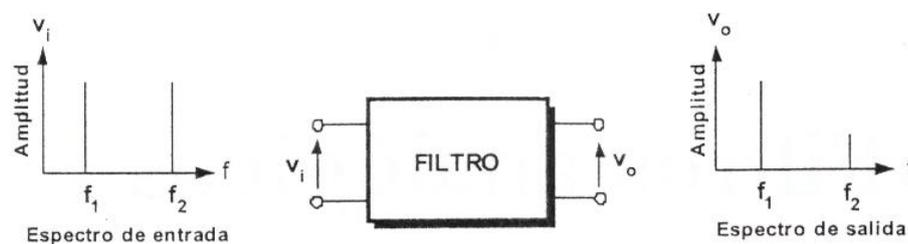


Figura 2.37. Concepto de filtro eléctrico.

2.3.2. Diseño de filtros.

El diseño de filtros se ocupa de construir sistemas (que en este contexto se llaman filtros) que tienen unas propiedades bien definidas.

La descripción del problema puede ser escrita como sigue: dada algunas propiedades deseadas para un sistema, diseñar o encontrar la función de transferencia que cumpla con estas características.

Normalmente estas especificaciones se dan en el dominio frecuencial: se diseña un sistema que suprime una banda de frecuencia específica pero deja otra banda inalterada. Así, el espectro de frecuencia es "filtrado" para obtener el espectro requerido.

2.3.2.1. Aplicaciones de los filtros.

Una aplicación posible es tratar de eliminar la señal de 60Hz que se superpone en las señales eléctricas por acoplamiento con las líneas de potencia (filtro de banda eliminadora "bandstop"). Otra aplicación es filtrar las señales con ruido eliminando las altas frecuencias (filtro paso bajo "lowpass")

También se utiliza en comunicaciones, filtrando del espectro, banda de frecuencias pequeñas donde está situado un canal de radio (filtro de banda de paso "bandpass").

Un acoplador AC no es más que un filtro paso alto, porque éste impide la circulación de corriente DC.

En las técnicas electrónicas análogas hay una larga tradición en el diseño de filtros, eso explica porque el diseño de filtros digitales se ha desarrollado en el sentido de tratar de aproximarse a los filtros análogos. Sin embargo, se ha encontrado que las técnicas digitales ofrecen algunas ventajas especiales, así que es posible diseñar filtros digitales directamente. No obstante, estas técnicas de aproximación todavía tienen gran importancia. El incremento de los computadores ha hecho que el diseño de estos filtros digitales sea muy simple, y

como se dijo anteriormente, la mayoría de estos diseños son llevados a cabo en términos de la frecuencia normalizada.

2.3.3. Tipos de filtros.

Los criterios que más se suelen utilizar a la hora de intentar clasificar los distintos tipos de filtros son tres:

1). Según el tipo de señal procesada:

- **Filtros analógicos.** Procesan señales analógicas. Según la tecnología empleada en su realización pueden ser:

- **Filtros pasivos.** Diseñados exclusivamente con elementos pasivos R, L, C. Si bien pueden emplearse en cualquier tipo de aplicación, su empleo se restringe a señales de frecuencias elevadas (generalmente superiores a 1 MHz) de forma que la bobina —un componente costoso— resulte pequeña. En potencia se usan en muchas ocasiones; un ejemplo son los filtros que incorporan los altavoces. Por otro lado, no hay que olvidar el filtro RC, de aplicación muy frecuente en electrónica. En la figura 2.38 se muestran los tipos de filtros.

- **Filtros activos.** Diseñados exclusivamente con resistencias, condensadores y amplificadores operacionales. El empleo de amplificadores operacionales, si bien permite tener una buena adaptación de impedancias entre etapas, condiciona su funcionamiento dinámico al tener limitaciones de ancho de banda.

- **Filtros de capacidad conmutada.** A diferencia de los filtros activos anteriores, la señal de entrada es muestreada y procesada en un tiempo discreto.

Las resistencias se reemplazan por interruptores MOS y condensadores integrados en el propio chip. La frecuencia de corte está determinada y es proporcional a la frecuencia de un reloj externo.

- **Filtros digitales.** Procesan una señal digital. La señal analógica es cuantificada previamente mediante un convertidor analógico-digital y posteriormente procesada mediante algoritmos software. Al ser programable por software es posible cambiar tanto la ganancia como la fase del filtro sin necesidad de cambiar el hardware.

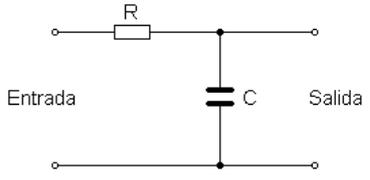
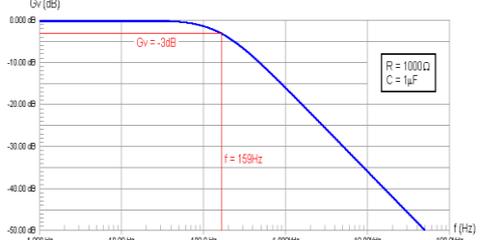
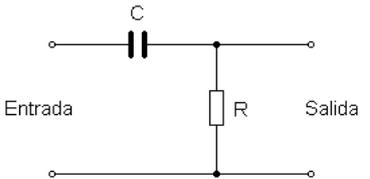
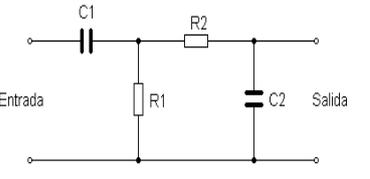
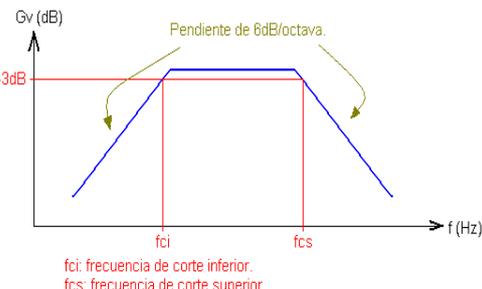
Tipo de filtro.	Respuesta frecuencial.	Ecuación.
<p>Paso bajo.</p>  <p>Entrada Salida</p>		$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$
<p>Paso alto.</p>  <p>Entrada Salida</p>		$f_c = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot L}$
<p>Paso banda.</p>  <p>Entrada Salida</p>		$C2 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{cs} \cdot X_{C1}}$

Tabla 2.2. Ejemplos de filtros pasivos RC.

2) Según la función que lleven a cabo:

- Filtros paso bajo.** Dejan pasar todas las frecuencias por debajo de una determinada frecuencia de corte, f_c , atenuando las frecuencias por encima de dicha frecuencia de corte. La figura (2.38.a), muestra la curva de la ganancia de esta función en función de la frecuencia. Para $f=f_c$, la ganancia cae 3 dB, con respecto a la ganancia máxima, que por comodidad se ha supuesto unidad (es decir, 0 dB). La frecuencia f_c se denomina frecuencia de corte y su definición es válida para los cuatro tipos de filtros.
- Filtros paso alto.** Atenúan las frecuencias bajas y dejan pasar aquellas que estén por encima de la frecuencia de corte f_c , figura (2.38.b).

- **Filtros paso banda.** Dejan pasar aquellas frecuencias comprendidas entre la frecuencia de corte inferior f_{c1} , y la frecuencia de corte superior, f_{c2} , atenuando las demás, figura (2.38.c). La frecuencia f_0 se denomina frecuencia central.
- **Filtros de rechazo de banda.** Atenúan las frecuencias comprendidas entre las frecuencias de corte inferior (f_{c1}) y superior (f_{c2}), dejando pasar las otras (figura 2.38.d).

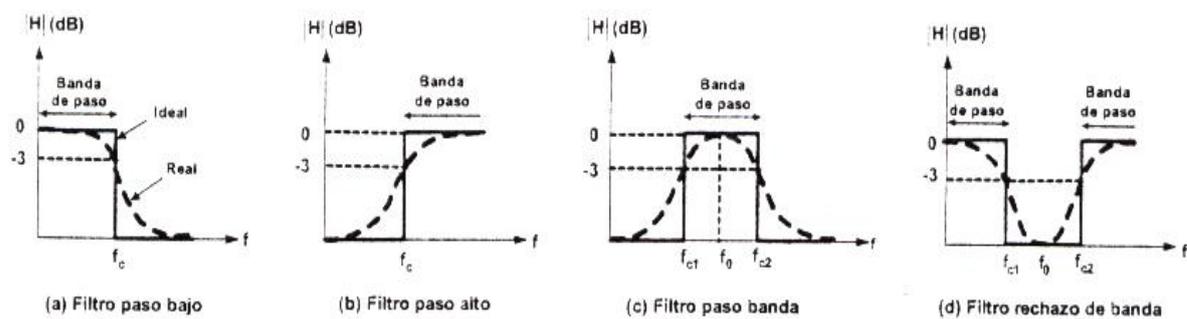


Figura 2.38. Funciones de transferencia ideales y reales de los filtros.

3). Según la aproximación matemática empleada:

Existen diversas funciones matemáticas empleadas para aproximar la respuesta real del filtro a la ideal. Cada una de estas aproximaciones busca optimizar una determinada característica del filtro. Se tienen diversas aproximaciones, que dan nombre a los filtros que las emplean, las más comunes son:

- **Filtros de Butterworth.** El objetivo de la aproximación de Butterworth es obtener una respuesta de ganancia plana en la banda de paso. Esto se consigue a costa de una región de transición de caída lenta y una respuesta de fase no lineal alrededor de la frecuencia de corte.
- **Filtros de Chebyshev.** El objetivo de la aproximación de Chebyshev es maximizar la pendiente de la característica de ganancia en la región de transición. Por el contrario, presenta un cierto rizado en la banda de paso, que se incrementa al aumentar el orden del filtro.

- **Filtros de Bessel.** El objetivo de la aproximación de Bessel es lograr una respuesta de fase lineal en un margen de frecuencias amplio en torno a la frecuencia de corte. La ganancia de la banda de paso no es tan plana como en un filtro de Butterworth ni la pendiente en la banda de transición tan acentuada como en un filtro de Chebyshev.

La figura 2.39. Muestra una representación gráfica de la función que realiza el filtro. Así, por ejemplo, para un filtro paso bajo o paso alto, la onda senoidal superior que aparece dentro del rectángulo representa la banda de frecuencias por encima de la frecuencia de corte y la inferior la banda por debajo de la frecuencia de corte. Si la onda aparece cortada, indicará que dicha banda de frecuencias estará atenuada.

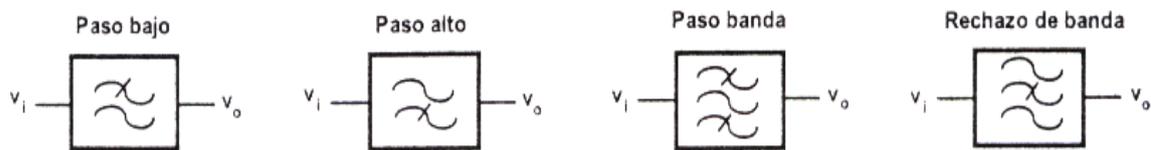


Figura 2.39. Representación gráfica de un filtro según la función que realice.

2.4. ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES.

2.4.1. Introducción.

Cuando se desea realizar una medida, es necesario un transductor que transforme la medida física en una medida eléctrica. Esa medida eléctrica es necesario acondicionarla para que sea una magnitud “tratable”. En términos generales, acondicionar una señal significa realizar las siguientes etapas: Convertir la señal; modificar el nivel de la señal; linealizar la respuesta; y filtrar la señal.

Para analizar el funcionamiento de estos sistemas, es necesario manejar correctamente los conceptos que describen el funcionamiento de los circuitos de corriente continua y el empleo de amplificadores para la aplicación final de la medida de tensiones eléctricas.

En la figura 2.40 se muestra las etapas para el acondicionamiento de las señales.

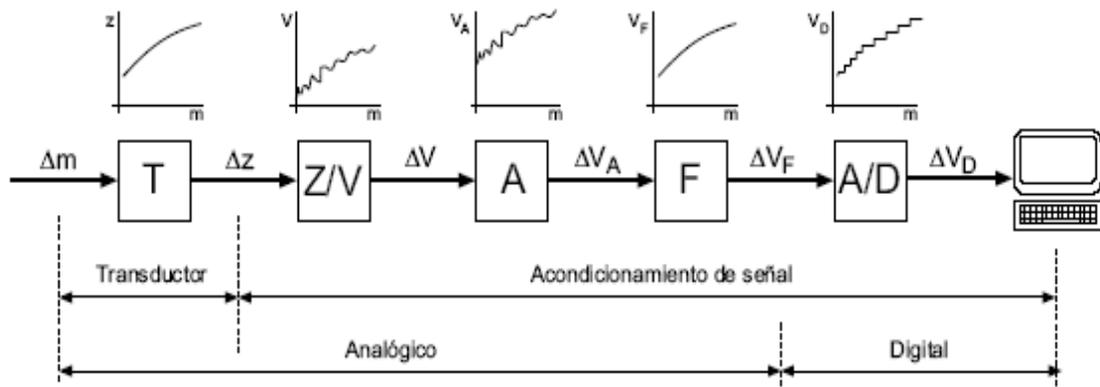


Figura.2.40. Etapas de acondicionamiento de señales.

De acuerdo a la figura 2.40 en el primer bloque está la señal eléctrica procedente del transductor (T), que puede ser de resistencia o corriente, esta señal es convertida a voltaje (V); en el segundo bloque partiendo de la impedancia (Z), seguidamente esta señal es amplificada (A) y filtrada (F), para finalmente realizar la conversión análoga-digital (A/D) de la señal y adquirirla por computador o por medio de microcontrolador.

2.4.2 Circuitos de corriente continua.

En el diseño y empleo de sistemas de instrumentación suelen aparecer con frecuencia circuitos eléctricos. Estos circuitos no suelen ser excesivamente complejos, sin embargo es importante entender su funcionamiento.

Los componentes básicos de los circuitos de corriente continua son las fuentes de alimentación y las resistencias. Adicionalmente pueden presentarse los componentes semiconductores que constituyen los amplificadores, como son los transistores.

En circuitos de corriente alterna aparecen otros componentes como los inductivos y capacitivos.

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

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

Estos adaptadores, como acondicionadores de señal, son los amplificadores operacionales en sus diferentes estructuras de montaje, pasando por filtros o por procesadores analógicos, convirtiendo estas señales de analógico a digital para posteriormente ser procesados los datos con un Microcontrolador y actuando por medio de las salidas lógicas del procesador o por medio de un convertidor digital a analógico.

En la figura 2.41 se esquematiza un proceso de adquisición de datos utilizando un microcontrolador PIC.

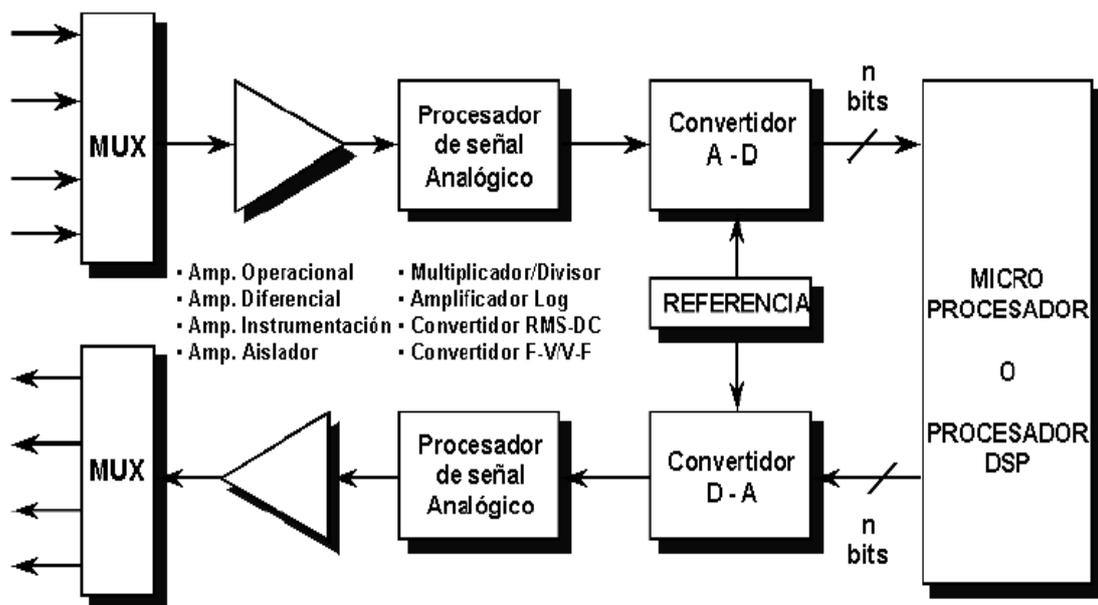


Figura.2.41. Proceso de adquisición de datos utilizando PIC's.

2.4.3. El amplificador operacional.

Existen muchos circuitos electrónicos capaces de amplificar una señal de tensión o de corriente y desarrollar más potencia sobre una carga, que la que podría producir la señal original; en el campo de la instrumentación electrónica el dispositivo amplificador por excelencia es el amplificador operacional o, como se le suele conocer, el operacional.

No cabe duda que el amplificador operacional está constituido por etapas, formadas, a su vez, por diversos transistores.

2.4.3.1. El amplificador operacional ideal.

Las excelentes prestaciones del amplificador operacional le han proporcionado un inmenso campo de aplicación dentro del mundo de la electrónica analógica constituyendo el bloque básico de la mayoría de los amplificadores.

Estas características se acercan mucho a las que se podrían pedir de cualquier amplificador ideal, de tal manera que en gran número de aplicaciones puede ser considerado como ideal sin introducir demasiados errores en el cálculo y, en cualquier caso, siempre será la primera aproximación dentro de un proceso de diseño.

Las consideraciones de idealidad permiten un estudio simplificado del operacional y de los circuitos construidos en torno a él, obteniendo algunas aplicaciones muy interesantes en los circuitos de tratamiento de señal.

En la tabla 2.3. se presenta un resumen de las principales aplicaciones analógicas del operacional ideal constituyendo algunos de los circuitos más habituales para tratamiento de señal.

Las aplicaciones incluidas en la tabla 2.3 se han obtenido tomando en cuenta la idealidad del amplificador operacional que implica que cuando está realimentado negativamente y no saturado, la tensión diferencial de entrada es nula.

Al considerar que el operacional no es ideal sino real, aparecen una serie de efectos secundarios que pueden llevar a graves errores si se usan los circuitos tal y como están presentados en la tabla 2.3.

Los efectos secundarios en los amplificadores operacionales debidos a su no idealidad conducen a la aparición de términos adicionales no deseados que constituyen un error permanente en la salida del circuito o en la introducción de distorsión armónica o de fase no deseada de la señal.

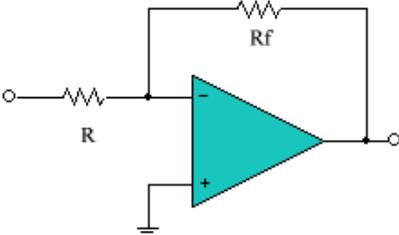
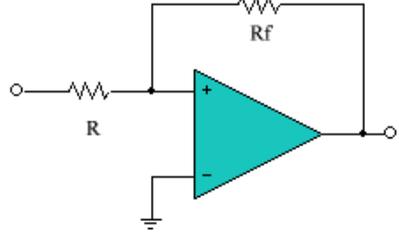
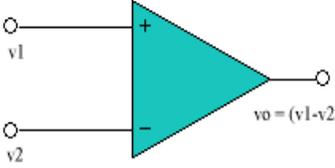
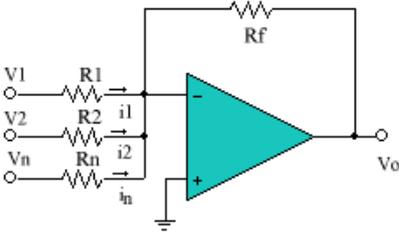
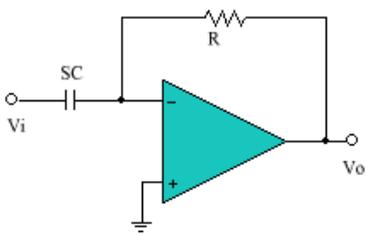
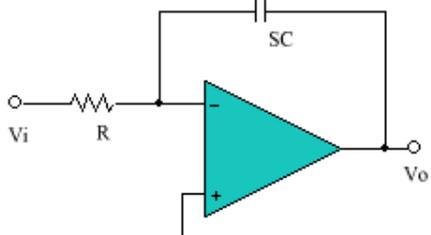
Nombre	Circuito	Aplicaciones.
Amplificador inversor $v_o = -\frac{R_f}{R} v_i$		Ganancia negativa con cualquier valor absoluto.
Amplificador No inversor $v_o = \left(1 + \frac{R_f}{R}\right) v_i$		Ganancia positiva siempre mayor que uno.
Modo diferencial. $V_s = V_1 - V_2$		Restador de voltajes.
Modo sumador $v_o = -R_f \sum_{k=1}^n \frac{v_k}{R_k}$		Restador de voltajes con ganancia.
Como derivador $v_o(t) = -RC \frac{d}{dt} v_i(t)$		Calcula la derivada de una señal de tensión.
Como integrador $v_o(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^t v_i(\tau) d\tau$		Calcula la integral de una señal de tensión.

Tabla 2.3. Circuitos analógicos con amplificadores operacionales y función que realizan.

2.5. ALMACENAMIENTO DE DATOS EN MEMORIAS EEPROM.

2.5.1. Introducción a las memorias programables.

Las computadoras y otros tipos de sistemas requieren el almacenamiento permanente o semipermanente de un gran número de datos binarios. Los sistemas basados en microprocesadores necesitan de la memoria para almacenar los programas y datos generados durante el procesamiento y disponer de ellos cuando sea necesario.

Las modernas técnicas de circuitos integrados permiten combinar miles e incluso millones de puertas dentro de un solo encapsulado. Esto ha llevado a la fabricación de diseños más complejos como los dispositivos lógicos programables, memorias y microprocesadores, que proporcionan dentro de un solo chip circuitos que requieren gran cantidad de componentes discretos.

Las memorias son dispositivos de almacenamiento de datos binarios de largo o corto plazo. La memoria de acceso aleatorio (RAM, Random Access Memory) almacena datos temporalmente; la memoria de sólo lectura (ROM, Read Only Memory) los guarda de manera permanente. La ROM forma parte del grupo de componentes llamados dispositivos lógicos programables (PLD, Programmable Logic Devices), que emplean la información almacenada para definir circuitos lógicos.

Estos dispositivos son capaces de proveer el medio físico para almacenar información, y aunque ésta es su tarea fundamental (más del 90 % de las memorias se dedican a este fin) también se pueden utilizar para la implementación de circuitos combinatoriales y pueden sustituir la mayor parte de la lógica de un sistema.

Los chips LSI (Large scale integration) pueden programarse para realizar funciones específicas. Un dispositivo lógico programable (PLD) es un chip LSI que contiene una estructura de circuito "regular", pero que permite al diseñador adecuarlo para una aplicación específica. Cuando un PLD típico deja la fábrica de IC, aún no está listo para una función específica, sino que debe ser programado por el usuario para que realice la función requerida en una aplicación particular.

En una primera clasificación, se puede distinguir entre memorias de almacenamiento masivo, caracterizadas por ser memorias baratas y lentas, y memorias semiconductoras o memorias de estado sólido, más caras y rápidas. En las primeras, la prioridad es disponer de una gran capacidad de almacenamiento, como ocurre en los discos duros, en tanto que en las segundas, la prioridad es disponer de velocidades de acceso rápidas compatibles con la mayor capacidad de almacenamiento posible, éstas son habitualmente utilizadas como memorias de almacenamiento de programa y de datos en la mayoría de las aplicaciones que ofrece cada tipo de memoria así como las tecnologías de fabricación, que han permitido un espectacular avance en las velocidades y escalas de integración en los últimos años.

Se puede considerar una memoria como un conjunto de M registros de N bits, cada uno de ellos. Estos registros ocupan las posiciones desde el valor 0 hasta $M-1$. Para acceder a cada registro es necesaria una lógica de selección. En general, para cada registro se pueden realizar procesos de lectura y de escritura. Para realizar todas estas operaciones son necesarios los siguientes:

- Terminales de datos (de entrada y de salida), normalmente son necesarios N terminales.
- Terminales de direcciones, son necesarios m , de tal forma que $2^m=M$.
- Terminales de control, son los que permiten especificar si se desea realizar una operación de escritura o de lectura, seleccionar el dispositivo.
- CS (Chip Select), es el terminal de selección de chip (habitualmente es activo con nivel bajo).
- R/W (Read/Write), selecciona el modo de operación (lectura o escritura) sobre la memoria. Habitualmente con valor bajo es activo el modo de escritura.
- OE (Output Enable), controla el estado de alta impedancia de los terminales de salida del dispositivo.

2.5.2. Memoria EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory).

La memoria *EEPROM* es programable y borrable eléctricamente y su nombre proviene de la sigla en inglés *Electrical Erasable Programmable Read Only Memory*. Actualmente estas memorias se construyen con transistores de tecnología *MOS (Metal Oxide Silice)* y *MNOS (Metal Nitride-Oxide Silicon)*.

Las celdas de memoria en las *EEPROM* son similares a las celdas *EPROM* y la diferencia básica se encuentra en la capa aislante alrededor de cada compuerta flotante, la cual es más delgada y no es fotosensible. Las memorias *EEPROM* son memorias no volátiles y eléctricamente borrables a nivel de bytes. La posibilidad de programar y borrar las memorias a nivel de bytes supone una gran flexibilidad, pero también una celda de memoria más compleja. Además del transistor de puerta flotante, es preciso un segundo transistor de selección. El tener 2 transistores por celda hace que las memorias *EEPROM* sean de baja densidad y mayor coste. La programación requiere de tiempos que oscilan entre $157 \mu s$ y $625 \mu s$ por byte. Frente a las memorias *EPROM*, presenta la ventaja de permitir su borrado y programación en placa, aunque tienen mayor coste debido a sus dos transistores por celda.

Una ventaja adicional de este tipo de memorias radica en que no necesitan de una alta tensión de grabado, sirven los 5 voltios de la tensión de alimentación habitual.

En la figura 2.42 se muestra el esquema de descripción de pines de la memoria *EEPROM*.

Donde:

CE = CHIP ENABLE: Permite Activar el Circuito Integrado

OE = OUTPUT ENABLE: Permite Activar la Salida del Bus De Datos.

WE = WRITE ENABLE: Permite Activar la escritura del Bus De Datos.

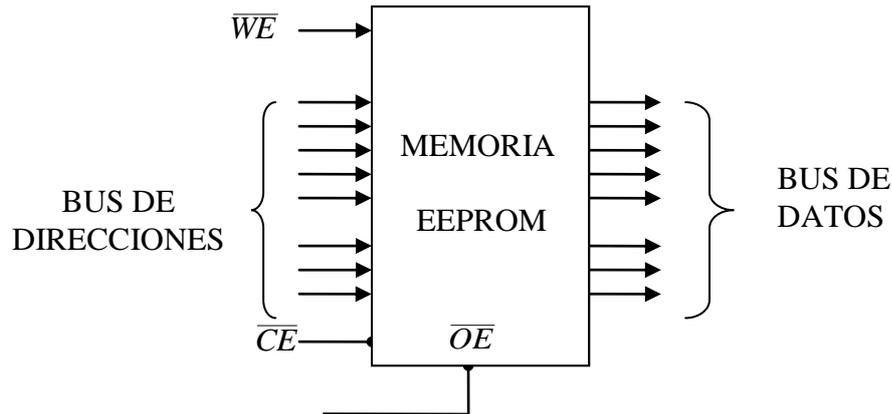


Figura 2.42. Descripción de pines de la EEPROM.

2.5.2.1. Ventajas y aplicaciones de la EEPROM.

La programación y el borrado pueden realizarse sin la necesidad de una fuente de luz UV y unidad programadora de PROM, además de poder hacerse en el mismo circuito gracias a que el mecanismo de transporte de cargas mencionado en el ítem anterior requiere corrientes muy bajas.

Las palabras almacenadas en memoria se pueden borrar de forma individual, para borrar la información no se requiere luz ultravioleta, y no requieren programador. De manera individual se puede borrar y reprogramar eléctricamente grupos de caracteres o palabras en el arreglo de la memoria.

El tiempo de borrado total se reduce a 10ms en circuito, donde su antepasado inmediato requería media hora bajo luz ultravioleta externa. El tiempo de programación depende de un pulso por cada palabra de datos de 10 ms, versus los 50 ms empleados por una ROM programable y borrrable.

Se pueden reescribir aproximadamente unas 1000 veces sin que se observen problemas para almacenar la información, para reescribir no se necesita hacer un borrado previo.

Se encuentra este tipo de memorias en aquellas aplicaciones en las que el usuario necesita almacenar de forma permanente algún tipo de información; por ejemplo, en los receptores de TV o magnetoscopios para memorizar los ajustes o los canales de recepción.

2.5.3. Bus de datos I²C.

2.5.3.1. Introducción.

El **bus I²C**, es un estándar que facilita la comunicación entre microcontroladores, memorias y otros dispositivos con cierto nivel de "inteligencia", sólo requiere de dos líneas de señal y un común o masa. Fue diseñado a este efecto por Philips y permite el intercambio de información entre muchos dispositivos a una velocidad aceptable, de unos 100 Kbits por segundo, aunque hay casos especiales en los que el reloj llega hasta los 3,4 MHz.

Una característica del bus I²C es que con las mismas dos líneas (SDA y SCL) se puede comunicar con varios dispositivos, sin la necesidad de utilizar otros pines del microcontrolador que permiten ahorrar entradas.

La metodología de comunicación de datos del bus I²C es en serie y sincrónica. Una de las señales del bus marca el tiempo (pulsos de reloj) y la otra se utiliza para intercambiar datos.

2.5.3.2. DESCRIPCIÓN DE LAS SEÑALES

- **SCL** (System Clock) es la línea de los pulsos de reloj que sincronizan el sistema.
- **SDA** (System Data) es la línea por la que se mueven los datos entre los dispositivos.
- **GND** (Masa) común de la interconexión entre todos los dispositivos "enganchados" al bus.

Las líneas **SDA** y **SCL** son del tipo drenaje abierto, es decir, un estado similar al de colector abierto, pero asociadas a un transistor de efecto de campo (FET).

Se deben polarizar en estado alto (conectando a la alimentación por medio de resistores "pull-up") lo que define una estructura de bus que permite conectar en paralelo múltiples entradas y salidas como se muestra en la figura 2.43.

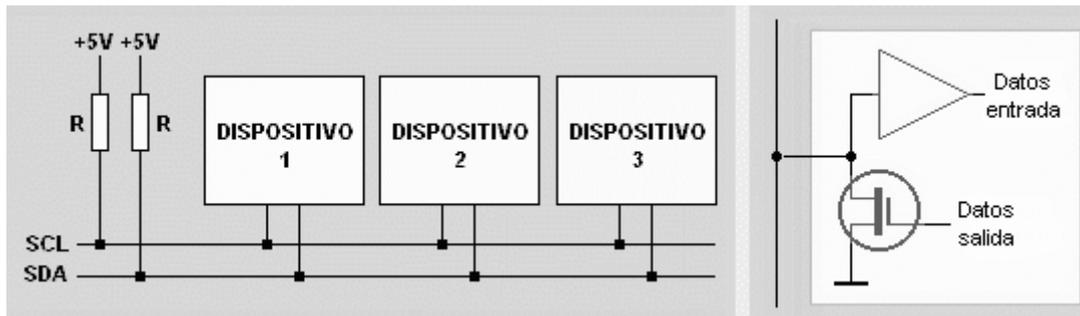


Figura 2.43. Bus I²C

En el diagrama anterior las dos líneas del bus están en un nivel lógico alto cuando están inactivas. En principio, el número de dispositivos que se puede conectar al bus no tiene límites, aunque hay que observar que la capacidad máxima sumada de todos los dispositivos no supere los 400 pF. El valor de los resistores de polarización no es muy crítico, y puede ir desde 1K8 (1.800 ohms) a 47K. Un valor menor de resistencia incrementa el consumo de los integrados pero disminuye la sensibilidad al ruido y mejora el tiempo de los flancos de subida y bajada de las señales. Los valores más comunes en uso son entre 1K8 y 10K.

2.5.3.3. Protocolo de comunicación del bus I²C.

Como se dijo anteriormente el bus I²C permite la comunicación entre dispositivos como: microcontroladores, memorias EEPROM, RTC's (Reloj en Tiempo Real), utilizando una comunicación **serial síncrona** por medio de dos líneas una de datos (SDA) y una de reloj (SCL).

Habiendo varios dispositivos conectados sobre el bus, es lógico que para establecer una comunicación a través de él se deba respetar un protocolo. Existen dispositivos **maestros** y dispositivos **esclavos**. Sólo los dispositivos maestros pueden iniciar una comunicación.

Lo primero que ocurre en un bus I²C es que el dispositivo maestro (Microcontrolador) envía una secuencia de inicio. Esto alerta a los dispositivos esclavos (Memoria EEPROM, Reloj en tiempo real, Sensores de temperatura, etc.), poniéndolos a la espera de una transacción. Éstos quedan atentos para ver si se trata de una solicitud para ellos.

La condición inicial, de **bus libre**, es cuando ambas señales están en estado lógico alto. En este estado cualquier dispositivo maestro puede ocuparlo, estableciendo la condición de **inicio** (start). Esta condición se presenta cuando un dispositivo maestro pone en estado bajo la línea de datos (SDA), pero dejando en alto la línea de reloj (SCL). En la figura 2.44 se muestra el estado de las señales cuando se inicia la comunicación.

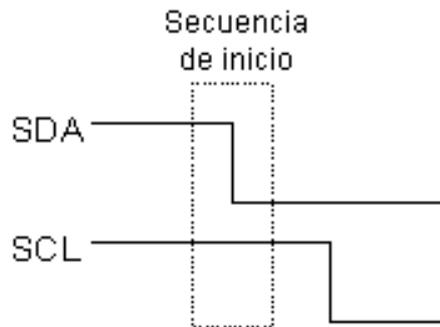


Figura 2.44. Inicio de la comunicación I²C

El primer byte que se transmite luego de la condición de inicio contiene siete bits que componen la dirección del dispositivo que se desea seleccionar, y un octavo bit que corresponde a la operación que se quiere realizar con él (lectura o escritura), en bajo (0 lógico) escritura y en alto (1 lógico) lectura.

Si el dispositivo cuya dirección corresponde a la que se indica en los siete bits (A0-A6) está presente en el bus, éste contesta con un bit en bajo, ubicado inmediatamente luego del octavo bit que ha enviado el dispositivo maestro.

Este bit de **reconocimiento** (ACK del inglés Acknowledge), en bajo le indica al dispositivo maestro que el esclavo **reconoce** la solicitud y está en condiciones de comunicarse.

Aquí la comunicación se establece en firme y comienza el intercambio de información entre los dispositivos.

En la figura 2.45 ilustramos con un ejemplo lo explicado anteriormente utilizando una memoria EEPROM.

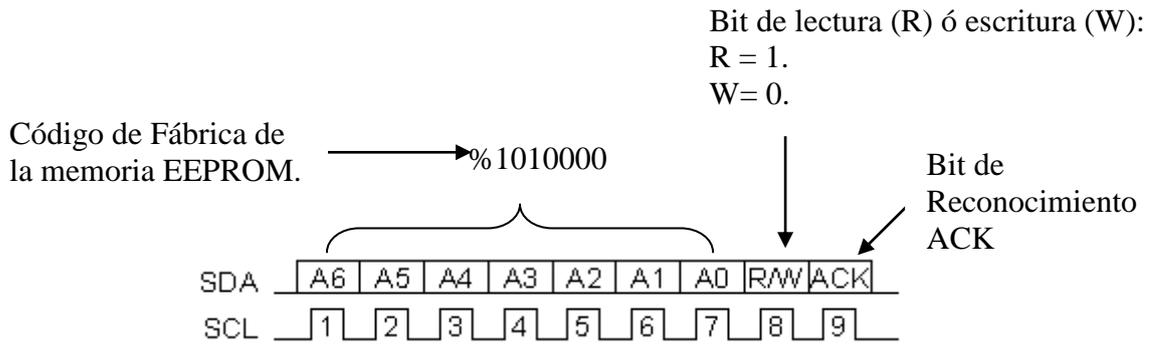


Figura 2.45. La escritura datos en la memoria EEPROM.

Si el bit de **lectura/escritura** (R/W) fue puesto en esta comunicación a nivel lógico bajo (escritura), el dispositivo maestro envía datos al dispositivo esclavo. Esto se mantiene mientras continúe recibiendo señales de reconocimiento, y el contacto concluye cuando se hayan transmitido todos los datos. En la figura 2.46 se muestra el estado de las señales al finalizar la comunicación.

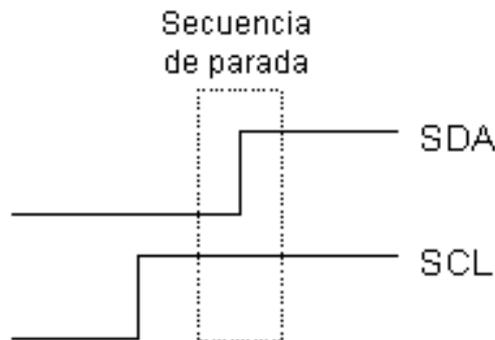


Figura 2.46. Fin de la comunicación I²C.

En el caso contrario, cuando el bit de lectura/escritura estaba a nivel lógico alto (lectura), el dispositivo maestro genera pulsos de reloj para que el dispositivo esclavo pueda enviar los datos. Luego de cada byte recibido el dispositivo maestro (quien está recibiendo los datos) genera un pulso de **reconocimiento**.

El dispositivo maestro puede dejar libre el bus generando una condición de **parada**.

Si se desea seguir transmitiendo, el dispositivo maestro puede generar otra condición de inicio en lugar de una condición de parada. Esta nueva condición de inicio se denomina "inicio reiterado" y se puede emplear para direccionar un dispositivo esclavo diferente o para alterar el estado del bit de lectura/escritura.

2.5.3.4. Definición de términos.

- **Maestro** (Master): Dispositivo que determina los tiempos y la dirección del tráfico en el bus. Es el único que aplica los pulsos de reloj en la línea SCL. Cuando se conectan varios dispositivos maestros a un mismo bus la configuración obtenida se denomina "multi-maestro".
- **Esclavo** (Slave): Todo dispositivo conectado al bus que no tiene la capacidad de generar pulsos de reloj. Los dispositivos esclavos reciben señales de comando y de reloj generados desde el maestro.
- **Bus libre** (Bus Free): Estado en el que ambas líneas (SDA y SCL) están inactivas, presentando un estado lógico alto. Es el único momento en que un dispositivo maestro puede comenzar a hacer uso del bus.
- **Inicio** (Start): Se produce cuando un dispositivo maestro ocupa el bus, generando la condición. La línea de datos (SDA) toma un estado bajo mientras que la línea de reloj (SCL) permanece alta.
- **Parada** (Stop): Un dispositivo maestro puede generar esta condición, dejando libre el bus. La línea de datos y la de reloj toman un estado lógico alto.
- **Dato válido** (Valid Data): Situación presente cuando un dato presente en la línea SDA es estable al tiempo que la línea SCL está a nivel lógico alto.
- **Formato de Datos** (Data Format): La transmisión de un dato a través de este bus consiste de 8 bits de dato (1 byte). A cada byte transmitido al bus le sigue un noveno pulso de reloj durante el cual el dispositivo receptor del byte debe generar un pulso de reconocimiento.
- **Reconocimiento** (Acknowledge): El pulso de reconocimiento, conocido como ACK (del inglés Acknowledge), se logra colocando la línea de datos a un nivel lógico bajo durante el transcurso del noveno pulso de reloj.
- **Dirección** (Address): Todo dispositivo diseñado para funcionar en este bus posee su propia y única dirección de acceso, preestablecida por el

fabricante. Hay dispositivos que permiten definir externamente parte de la dirección de acceso, lo que habilita que se pueda conectar en un mismo bus un conjunto de dispositivos del mismo tipo, sin problemas de identificación. La dirección 00 es la denominada "de acceso general"; a ésta responden todos los dispositivos conectados al bus.

- **Lectura/Escritura** (Bit R/W): Cada dispositivo tiene una dirección de 7 bits. El octavo bit (el menos significativo) que se envía durante la operación de direccionamiento, completando el byte, indica el tipo de operación a realizar. Si este bit es alto el dispositivo maestro lee información proveniente de un dispositivo esclavo. Si este bit es bajo, el dispositivo maestro escribe información en un dispositivo esclavo.

2.5.3.5. La comunicación.

Cuando el dispositivo maestro quiere comunicarse con un esclavo, produce una secuencia de inicio en el bus. La secuencia de inicio es una de las dos secuencias especiales que se han definido en el bus I²C; la otra es la secuencia de parada. Las secuencias de inicio y la de parada son especiales porque son los dos únicos casos en que se permite que la línea de datos (SDA) cambie cuando la línea de reloj (SCL) está alta. Cuando se están transmitiendo datos, la línea SDA debe permanecer estable, y jamás cambiar, mientras la línea SCL está alta. Las secuencias de inicio y de parada señalan el comienzo y el final de una transacción con los dispositivos esclavos.

Los datos se transfieren en secuencias de 8 bits. Estos bits se colocan en la línea SDA comenzando por el bit más significativo. Una vez puesto un bit en SDA, se lleva la línea SCL a alto. Debemos recordar que el chip no puede llevar la línea a un estado alto, en realidad, lo que hace es "soltarla", y el que la pone en nivel lógico alto es el resistor de polarización. Por cada 8 bits que se transfieren, el dispositivo que recibe el dato envía de regreso un bit de reconocimiento, de modo que en realidad por cada byte de dato se producen 9 pulsos sobre la línea SCL (es decir, 9 pulsos de reloj por cada 8 bits de dato). Si el dispositivo que recibe envía un bit de reconocimiento bajo, indica que ha recibido el dato y que está listo para aceptar otro byte. Si retorna un alto, indica que no puede recibir más datos y

el dispositivo maestro debería terminar la transferencia enviando una secuencia de parada.

2.5.3.6. Lectura y escritura en un esclavo.

2.5.3.6.1. Escritura en una memoria EEPROM.

Como se ha mencionado en los ítems anteriores, todo dispositivo conectado al bus que no tiene la capacidad de generar pulsos de reloj es un esclavo, dentro de ello se puede mencionar las memorias EEPROM, los RTC's (Reloj en Tiempo Real), etc. Los esclavos reciben la señal de reloj y de datos provenientes del dispositivo maestro para el inicio de la comunicación, a continuación se describen los pasos para escribir datos en un esclavo.

- 1. Enviar una secuencia de inicio desde el master.
- 2. Enviar desde el master 7 bits pertenecientes al código de fábrica del chip esclavo, junto con el bit de lectura ó escritura en bajo.
- 3. Enviar el número de registro interno en el que se desea escribir.
- 4. Enviar el byte de dato.
- 5. Opcionalmente, enviar más bytes de dato.
- 6. Enviar la secuencia de parada.

2.5.3.6.2. Lectura desde una memoria EEPROM.

Antes de leer datos desde el dispositivo esclavo, primero se le debe informar desde cuál de sus direcciones internas se va a leer. De manera que una lectura desde un dispositivo esclavo en realidad comienza con una operación de escritura.

Se envía la secuencia de inicio, la dirección de dispositivo con el bit de lectura/escritura en bajo y el registro interno desde el que se desea leer.

A continuación se envía otra secuencia de inicio nuevamente con la dirección de dispositivo, pero esta vez con el bit de lectura/escritura en alto.

Luego se leen todos los bytes necesarios y se termina la transacción con una secuencia de parada. A continuación se describen los pasos para leer datos de un esclavo.

- 1. Enviar una secuencia de inicio
- 2. Enviar la dirección de dispositivo esclavo seguido del bit de lectura/escritura en bajo.
- 3. Enviar la dirección interna del registro a leer.
- 4. Enviar una secuencia de inicio (inicio reiterado)
- 5. Leer un byte de dato.
- 6. Enviar la secuencia de parada

2.5.4. Memoria EEPROM 24C16A (ATMEL).

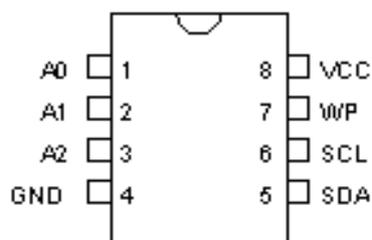


Figura 2.47. La memoria ATMEEL 24C16A.

La memoria utilizada en la estación automática para guardar los datos es una memoria ATMEEL 24C16A (Figura 2.47) cuya descripción es la siguiente:

- Operación de baja tensión y estándar de voltaje: $V_{cc} = 2.7V$ a $5.5V$.
- Memoria de 2048 filas x 8 bits cada una, internamente organizadas (Figura 2.48).
- Disparador de Schmitt, entradas filtradas para la supresión del ruido.
- Protocolo bidireccional de la transferencia de datos.
- 100 kilociclos ($1.8V$) y 400 kilociclos ($2.7V$, $5V$) de compatibilidad.
- Alta confiabilidad en la lectura y escritura de datos.
- Resistencia: 1 millón de ciclos de escritura de datos.
- Retención de los datos: 100 años.
- Facilidad de manejo y confiabilidad en los datos.

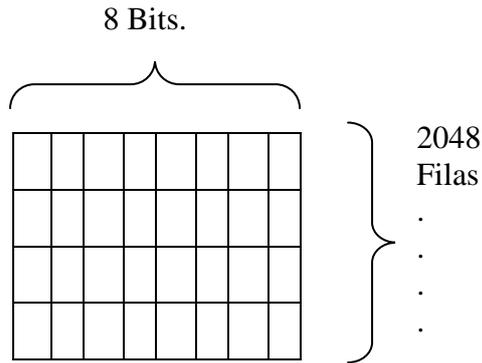


Figura 2.48. Organización interna de la memoria 24C16A.

En la tabla 2.4 se detalla la descripción de pines de la memoria EEPROM fabricada por ATMEL:

<i>NOMBRE DEL PIN.</i>	<i>FUNCION.</i>
A0 – A2	Entradas de la dirección.
SDA	Datos seriales.
SCL	Entrada serial de reloj.
WP	Escribir- proteger
GND	Tierra del circuito.
VCC	Alimentación.

Tabla 2.4. Descripción de pines de la memoria 24C16A.

2.6. VARIABLES Y SEÑALES.

Se entiende por variable a la magnitud física detectada por un sensor, esta magnitud puede ser de cualquier índole como: presión, temperatura, humedad, caudal, etc.

En tanto que una señal eléctrica se define como el resultado de la transformación de una variable física en un valor eléctrico de voltaje, corriente o resistencia.

En cualquiera de los casos, variables y señales pueden clasificarse siguiendo varios criterios, pero se fijó en aquellos que resultan interesantes desde el punto de vista de la instrumentación electrónica.

De esta forma, se tiene:

a). Señales analógicas, cuando los datos constituyen matemáticamente un conjunto denso; es decir, que puede tener cualquier valor dentro de un intervalo determinado según se indica en la figura 2.49.a., lo que implica que el número total de valores es infinito.

b). Señales digitales, cuando los datos constituyen un conjunto finito de valores; un caso particular de este tipo de variables es el sistema binario que permite dos valores diferentes, denotados normalmente por "0" y "1" (figura 2.49.b.).

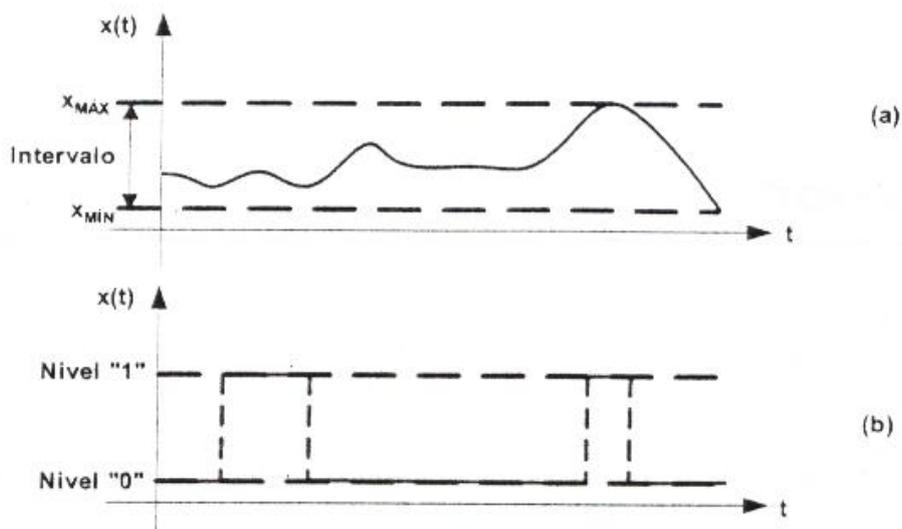


Figura 2.49. (a) Una variable analógica y (b) Una variable digital binaria.

2.6.1. La conversión análoga-digital.

Debido a la gran importancia que ha tenido la conversión análoga-digital en la consecución de la estación automática, se detalla a continuación una breve explicación de la misma.

La conversión análoga-digital es un procedimiento a través del cual una señal analógica de tensión o de corriente, unipolar o bipolar, es transformada en un código digital N , obtenido a partir del cociente entre la magnitud de la señal analógica de entrada y la de una referencia de tensión o de corriente.

El código N correspondiente a una señal de entrada V_i puede obtenerse por:

$$N = \frac{V_i}{V_{ref}} = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{b_i}{2^i}, \text{ donde } b_i \in [0,1] \quad \text{Ec. (2.21).}$$

Este cociente se realiza en binario y el resultado exacto de la conversión se lograría luego de un número infinito de bits.

En los sistemas reales que realizan este procedimiento, llamados **convertidores analógicos-digitales (CAD)**, se limita el número de bits a **n** por lo que se realiza la **cuantificación** de la señal analógica en 2^n niveles. Estos niveles se expresan en un código binario, por lo que el convertidor A/D realiza la **codificación** de la señal.

Un chip conversor analógico-digital (figura 2.50.) es un dispositivo electrónico capaz de convertir una señal analógica en un valor binario, en otras palabras, este se encarga de transformar señales analógicas a digitales (0's y 1's).

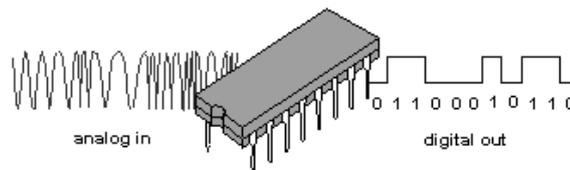


Figura. 2.50. Chip Conversor Análogo-Digital.

2.6.2. Características de la conversión A/D.

2.6.2.1. Características estáticas.

La figura 2.51. presenta la característica de transferencia estática de un sistema que realiza la conversión analógica-digital de una señal unipolar, su error de cuantificación y el esquema simplificado de un convertidor A/D con entrada y fuente de referencia de tensión, las señales digitales de control inicio de conversión (*Star Conversion*, SC) y fin de conversión (*End Of Conversion*, EOC).

La línea continua en la figura 2.51.a. representa la función de transferencia correspondiente a un conversor de infinitos bits, mientras que la escalonada representa la de un conversor (cuantificador) ideal uniforme que ofrece la salida en un código unipolar binario de 3 bits (8 códigos) y la entrada se presenta

normalizada respecto de su valor máximo (que en los conversores reales de tensión suele hacerse coincidir con V_{ref}). Puede observarse que:

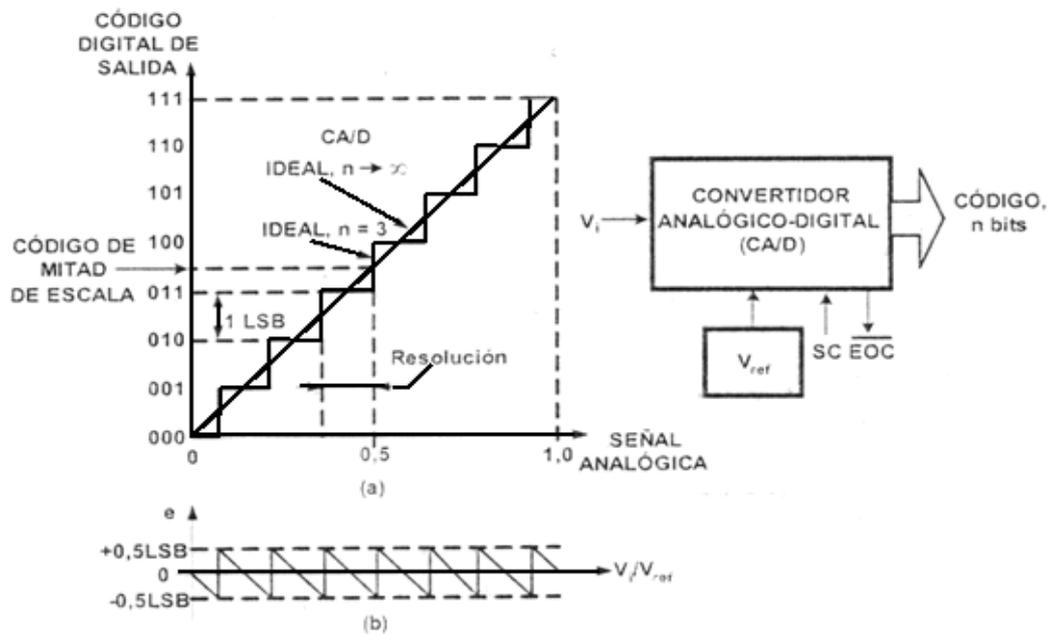


Figura 2.51. Característica de transferencia estática de una CAD.

- Mientras que para el conversor de 3 bits existe un margen de valores de la entrada para los que la salida se mantiene en un mismo código (cuya magnitud es el peso en términos de la entrada de 1 LSB) en el convertidor de infinitos bits existe un código distinto para cada posible valor de la entrada.

- Para la tensión correspondiente a la media escala existe igual probabilidad de que la salida sea 011 o 100 en el convertidor de 3 bits.

- El inevitable error de cuantificación ($e_{m\acute{a}x}$), figura 2.51.b, es uniforme, de amplitud 0,5 LSB, valor máximo dado por la expresión $e_{m\acute{a}x} = \pm V_{ref}/2^{n+1}$, en la medida que n (bits del conversor) aumenta, estos parámetros caracterizadores del error de cuantificación se reducen; para n tendiendo a infinito, la amplitud del error tiende a cero.

Los parámetros fundamentales que caracterizan estáticamente a un conversor A/D son su **resolución, margen de entrada, ganancia y exactitud**.

Resolución (*resolution*). Variación necesaria en la tensión de entrada para provocar el cambio entre códigos adyacentes en el código de la salida. La resolución determina la precisión con la que se reproduce la señal original.

Esta resolución se puede saber, siempre y cuando conozcamos el valor máximo de la entrada a convertir y la cantidad máxima de la salida en dígitos binarios.

$$\text{Resolución} = \frac{V_{ref}}{2^n} \quad \text{Ec. (2.22.)}$$

Donde:

V_{ref} = Valor máximo de voltaje a convertir.

n = Número de bits del conversor.

La conversión análoga-digital, de las señales provenientes de los sensores de la estación automática se realizó por medio de un PIC 16F877A, el cual posee 2 conversores internos de 8 y 10 bits respectivamente.

Para obtener una buena resolución se habilitó el conversor a 10 bits, mientras que el voltaje de referencia es de $V_{ref} = 5 V_{cc}$, por tanto la resolución es:

$$\text{Resolución} = \frac{V_{ref}}{2^n} = \frac{5 \text{ Voltios}}{2^{10}} = 0.001955 \text{ Voltios.} \quad \text{Ec. (2.23.)}$$

Lo que indica que el conversor mapeará los valores de voltaje de entrada, entre 0 y $5V_{cc}$, a valores enteros comprendidos entre 0 y 1023, en otras palabras, esto quiere decir que los sensores analógicos de la estación automática están caracterizados con un valor comprendido entre 0 y 1023 bits.

Margen de entrada (*input range*). Se refiere al conjunto de valores de entrada para los que el convertidor ofrece sus códigos de salida. Por ejemplo: 0 / 10 V (unipolar), ± 5 V (bipolar).

Ganancia (*gain*). Es la pendiente de la recta que une los puntos medios de los peldaños primero y último de la característica transferencial estática del conversor. En un conversor ideal la ganancia es la unidad.

Exactitud absoluta (*absolute accuracy*). La exactitud absoluta o error total de un convertidor A/D se refiere a la diferencia entre el código que se obtiene en la salida para una determinada tensión de entrada y el código esperado. Se expresa en LSB o en tanto por ciento del valor de plena escala de la entrada e incluye todos los errores estáticos del conversor. Por ejemplo, en un conversor de 16 bits la exactitud absoluta es ± 4 LSB equivalente a $\pm 0,006104\%$. Los fabricantes suelen especificar el valor máximo de este parámetro.

Exactitud relativa (*relative accuracy*). Es la diferencia entre el código que se obtiene en la salida para una determinada tensión de entrada y el código esperado luego de quitar los errores de cero y de ganancia. Por ejemplo, en un conversor de 16 bits, la exactitud relativa es ± 3 LSB o $\pm 0,004578\%$. Cuando se expresa el valor máximo de este parámetro, coincide con la no-linealidad integral (INL).

2.7. COMUNICACIÓN POR RADIO-FRECUENCIA.

2.7.1. Ondas de radio.

La transmisión de señales mediante ondas de radio se realiza mediante un equipo transmisor que deposita la potencia sobre una antena capaz de ponerla en el medio y cuyas dimensiones son comparables a la longitud de onda de la señal que se propaga (ésta es una de las razones por las que se tiende a utilizar frecuencia elevada). El receptor, mediante otra antena, recogerá la señal del medio recuperando una señal eléctrica copia de la original como se ve en la figura 2.52. En principio, la propagación de la señal desde la antena emisora hasta la receptora se realiza en línea recta, aunque una buena parte de la energía radiante de salida se perderá y no alcanzará su destino; sin embargo es posible emplear caminos no rectos entre emisor y receptor mediante la reflexión de las señales de radiofrecuencia.

A la hora de utilizar un enlace de radio, para la transmisión de cualquier tipo de señales hay que tener en cuenta factores adicionales; tales como, el ancho de banda que es mayor en la medida que lo sea la frecuencia de la señal que se

transmite y las limitaciones impuestas sobre el espacio radioeléctrico que no permiten un uso indiscriminado del mismo.

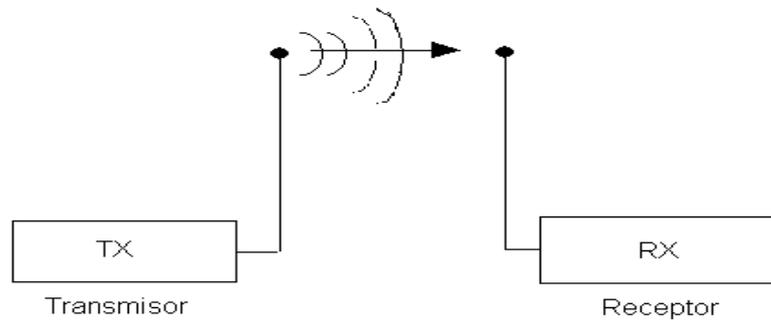


Figura 2.52. Esquema básico de un sistema de transmisión de información por radio.

En efecto, el espacio radioeléctrico es común para todos los posibles emisores por lo que debe regularse de alguna forma para evitar que unas señales se solapen con otras convirtiéndolo en una especie de "jaula de grillos" en el que sólo se oye al que más grita.

Para evitar que esto ocurra y que sea imposible utilizarlo, los organismos oficiales controlan el uso de las diversas *bandas* de frecuencia ya sea mediante la concesión de licencias, mediante la limitación de la máxima potencia permitida para las señales o evitando la utilización de determinadas zonas del espectro.

Cuando se pretenda emplear un enlace de radio con el fin que sea es conveniente consultar con la administración correspondiente, la disponibilidad de una banda y conocer los requisitos necesarios para poder utilizarla.

2.7.2. Módulos de comunicación por RF.

Los radios emisor y receptor utilizados en la estación automática, son de la serie RMX y TMX de la empresa LINX, a continuación se detalla algunas de las características y distribución de pines de los mismos. La información detallada de los radios se encuentra en el datasheet de cada uno, adjuntado en los anexos I y J.

2.7.2.1. Radio receptor RXM-418-LR-S.

El RXM-418-LR-S es ideal para la recepción inalámbrica de datos en serie, a una frecuencia que varía entre 260-470MHz .El transmisor de LINX, es capaz de transferir los datos a una velocidad de 10.000bps, distancias sobre los 3.000 pies.

En la figura 2.53 se presenta el módulo receptor de RF.

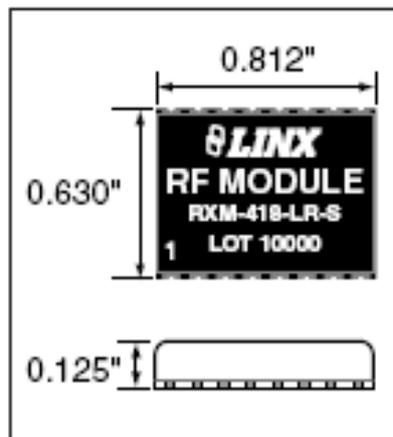


Figura 2.53. Módulo receptor de RF.

Algunas de las características principales del módulo receptor se detallan a continuación.

- Bajo costo.
- Arquitectura PLL-sintetizada
- Interfaz serie directo
- Velocidad de transmisión de datos 10,000bps
- Salida de datos calificada
- No necesita ningún componente externo para su funcionamiento.
- Bajo consumo de energía.
- Rango de alimentación ancho (2.7 a 5.2VDC).

La figura 2.54 esquematiza la distribución de pines del radio receptor **RXM-418-LR-S** fabricado por **LINX**.

En la tabla 2.5 se detalla el nombre y la función de cada uno de los pines del receptor.

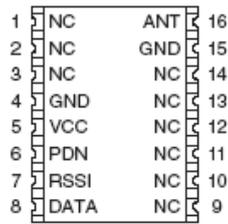


Figura 2.54. Pines del receptor de RF.

# PIN	NOMBRE.	DESCRIPCION
1	NC	No conexión
2	NC	No conexión.
3	NC	No conexión.
4	GND	Tierra analógica.
5	Vcc	Voltaje de alimentación.
6	PDN	A tierra el módulo no será capaz de recibir una señal en este estado.
7	RSSI	Indicador de señal recibida.
8	DATOS	Salida digital de datos.
9	NC	No conexión
10	NC	No conexión
11	NC	No conexión
12	NC	No conexión
13	NC	No conexión
14	NC	No conexión
15	GND	Tierra analógica.
16	RF IN	50 ohm entrada RF.

Tabla 2.5. Descripción de pines del receptor.

2.7.2.2. Radio transmisor TXM-418-LR.

El TXM-418-LR ideal para la transferencia inalámbrica de datos en serie, cuyo rango de frecuencias de envío de datos, velocidad de transmisión, alcance en resumen sus características son las mismas que el módulo receptor. En la figura 2.55 se muestran las dimensiones del módulo emisor de RF.

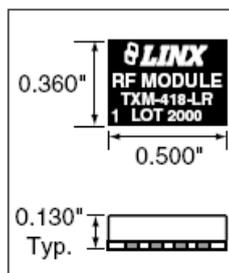


Figura 2.55. Módulo emisor de RF.

La figura 2.56 esquematiza la distribución de pines del radio emisor **TXM-418-LR** fabricado por **LINX**.

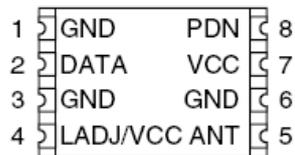


Figura 2.56. Pines del emisor de RF.

En la tabla 2.6 se detalla el nombre y la función de cada uno de los pines del transmisor.

# PIN	NOMBRE.	DESCRIPCION
1	GND	Tierra analógica.
2	DATOS	Salida digital de datos.
3	GND	Tierra analógica.
4	LADJ/Vcc	El nivel Ajusta. Esta línea puede usarse para ajustar la salida de la potencia del transmisor. Conectando a VCC darán la salida más alta, mientras que poniendo una resistencia a VCC bajará el nivel de la salida.
5	ANT	50 ohm salida RF.
6	GND	Tierra analógica..
7	Vcc	Voltaje de alimentación
8	PDN	A tierra el módulo no será capaz de recibir una señal en este estado.

Tabla 2.6. Descripción de pines del transmisor.

2.8. COMUNICACIÓN SERIAL.

2.8.1. Introducción.

Los sistemas microprogramables basados en CPU, internamente están diseñados para la transferencia de datos en buses o líneas de 8 bits o múltiplos de 8. Así el bus de datos está optimizado para el tratamiento de datos en paralelo lo cual es mucho más rápido que el tratamiento serie.

Si la velocidad de transferencia de datos en paralelo es mucho más rápida, ¿por qué se utiliza la transmisión de datos serie? Algunas explicaciones a continuación:

1. Para realizar la comunicación de datos en paralelo se requiere gran cantidad de hilos conductores, ya que se necesita un hilo para cada bit de

datos, además de las señales de control. Esto encarece notablemente la comunicación en función de la distancia. La comunicación serie requiere 2, 3 ó 4 hilos.

2. Una entrada salida/serie puede ser transmitida a través de pares de cobre, cable coaxial, fibra óptica, vía radio o vía satélite, lo que proporciona comunicación con equipos remotos (redes locales) o muy remotos (Internet a través de las redes telefónicas y de datos).
3. La comunicación paralela no posee el alto grado de estandarización que ha alcanzado la comunicación serie, lo que permite la intercomunicación entre equipos, por ejemplo mediante RS232, USB.

2.8.2. Consideraciones en la comunicación serie.

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

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

2.8.3. Velocidad de transmisión.

La velocidad de transmisión de datos es expresada en bits por segundo o baudios. El baudio es un concepto más general que bit por segundo. El primero queda definido como el número de estados de la señal por segundo, si sólo existe dos estados (que pueden ser representados por un bit), entonces baudio es equivalente a bit por segundo. Baudio y bit por segundo se diferencian cuando es necesario más de un bit para representar más de dos estados de la señal.

La velocidad de transmisión queda limitada por el ancho de banda, potencia de señal y ruido en el conductor de señal. La velocidad de transmisión queda básicamente establecida por el reloj. Su misión es examinar o muestrear continuamente la línea para detectar la presencia o ausencia de los niveles de señal ya predefinidos. El reloj sincroniza además todos los componentes internos.

2.8.4. Modos de transmisión.

Existen dos modos básicos para realizar la transmisión de datos y son:

- Modo asíncrono.
- Modo síncrono.

Las transmisiones asíncronas son aquellas en que los bits que constituyen el código de un carácter se emiten con la ayuda de impulsos suplementarios que permiten mantener en sincronismo los dos extremos.

En las transmisiones síncronas los caracteres se transmiten consecutivamente, no existiendo ni bit de inicio ni bit de parada entre los caracteres, estando dividida la secuencia de caracteres en bloques, enviándose una secuencia de sincronización al inicio de cada bloque.

2.8.5. La transmisión asíncrona.

Debido a que se utilizó este tipo de transmisión a continuación se realiza un estudio más detallado.

Cuando se opera en modo asíncrono no existe una línea de reloj común que establezca la duración de un bit y el carácter puede ser enviado en cualquier momento. Esto conlleva que cada dispositivo tiene su propio reloj y que previamente se ha acordado que ambos dispositivos transmitirán datos a la misma velocidad.

No obstante, en un sistema digital, un reloj es normalmente utilizado para sincronizar la transferencia de datos entre las diferentes partes del sistema. El reloj definirá el inicio y fin de cada unidad de información así como la velocidad de

transmisión. Si no existe reloj común, algún modo debe ser utilizado para sincronizar el mensaje.

En realidad, la frecuencia con que el reloj muestrea la línea de comunicación es mucho mayor que la cadencia con que llegan los datos.

Por ejemplo, si los datos están llegando a una cadencia de 2400 bps, el reloj examinará la línea unas 19200 veces por segundo, es decir, ocho veces la cadencia binaria. La gran rapidez con que el reloj muestrea la línea, permite al dispositivo receptor detectar una transmisión de 1 a 0 o de 0 a 1 muy rápidamente, y mantener así la mejor sincronización entre los dispositivos emisor y receptor.

El tiempo por bit en una línea en que se transfiere la información a 2400 bps es de unos 416 microsegundos ($1 \text{ seg}/2400$). Una frecuencia de muestreo de 2400 veces por segundo nos permitirá muestrear el principio o el final del bit.

En ambos casos se detectará el bit, sin embargo, no es extraño que la señal cambie ligeramente, y permanezca la línea con una duración un poco más larga o más corta de lo normal. Por todo ello, una frecuencia de muestreo lenta no sería capaz de detectar el cambio de estado de la señal a su debido tiempo, y esto daría lugar a que la estación terminal no recibiera los bits correctamente.

2.8.6. BIT de inicio y BIT de parada.

En la transmisión asíncrona un carácter a transmitir es encuadrado con un indicador de inicio y fin de carácter, de la misma forma que se separa una palabra con una letra mayúscula y un espacio en una oración. La forma estándar de encuadrar un carácter es a través de un bit de inicio y un bit de parada.

Durante el intervalo de tiempo en que no son transferidos caracteres, el canal debe poseer un "1" lógico. Al bit de parada se le asigna también un "1". Al bit de inicio del carácter a transmitir se le asigna un "0".

Por todo lo anterior, un cambio de nivel de "1" a "0" lógico le indicará al receptor que un nuevo carácter será transmitido, como se ve en la figura 2.57.

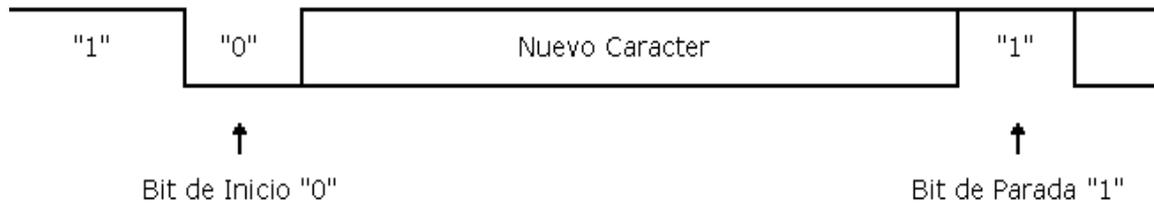


Figura 2.57. Formato de transmisión asíncrona.

2.8.7. Reglas de transmisión asíncrona.

La transmisión asíncrona es definida por la norma RS232, se basa en las siguientes reglas:

- a. Cuando no se envían datos por la línea, ésta se mantiene en estado alto (1).
- b. Cuando se desea transmitir un caracter, se envía primero un bit de inicio que pone la línea a estado bajo (0) durante el tiempo de un bit.
- c. Durante la transmisión, si la línea está a nivel bajo, se envía un 0 y si está a nivel alto se envía un 1.
- d. A continuación se envían todos los bits del mensaje a transmitir con los intervalos que marca el reloj de transmisión. Por convenio se transmiten entre 5 y 8 bits.
- e. Se envía primero el bit menos significativo, siendo el más significativo el último en enviarse.
- f. A continuación del último bit del mensaje, se envía el bit (o bits) del final que hace que la línea se ponga a 1 por lo menos durante el tiempo mínimo de un bit. Estos bits pueden ser un bit de paridad para detectar errores y el bit o bits de stop, que indican el fin de la transmisión de un caracter.

Los datos codificados por esta regla, pueden ser recibidos siguiendo los pasos siguientes:

- a. Esperar la transición 1 a 0 en la señal recibida.
- b. Activar el reloj con una frecuencia igual a la del transmisor.
- c. Muestrear la señal recibida al ritmo de ese reloj para formar el mensaje.
- d. Leer un bit más de la línea y comprobar si es 1 para confirmar que no ha habido error en la sincronización.

2.8.8. La transmisión y recepción de datos por el puerto serial.

A modo de ejemplo en la siguiente figura se presenta un diagrama de bloques realizado para la comunicación serie, en el que se muestra la utilización de un microcontrolador PIC, donde RA0 se utilizará como salida (transmisor) y RA1 como entrada (receptor).

El modo de transmisión será asíncrono ya que es el más utilizado. En la figura 2.58 se muestra un diagrama de bloques de la comunicación serie.

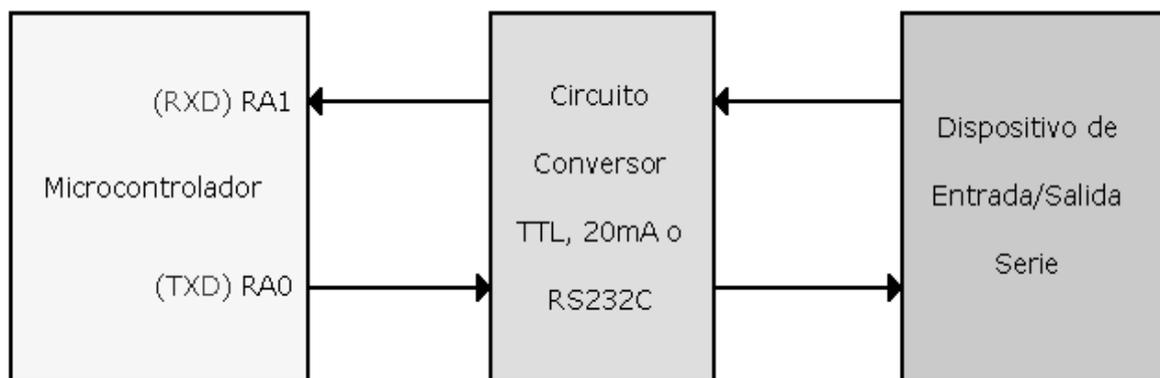


Figura 2.58. La transmisión y recepción de datos por el puerto serial.

2.8.8.1. La transmisión de datos.

Debe realizarse una rutina que permita la transmisión de datos por el pin RA0 del microcontrolador. La rutina de transmisión puede ser llamada por interrupción, cada vez que un dato serie quiera ser transmitido o por que se establezca en una o varias partes del flujo del programa que ejecuta el microcontrolador.

Se asumirá que serán transmitidos 11 bits. Un bit de inicio, 8 bits de datos y 2 bits de parada. Se asumirá que los 8 bits a transmitir estarán en el registro de trabajo o acumulador y que la frecuencia de transmisión será de 300 baudios.

La rutina debe en primer lugar colocar la línea a cero (que debe previamente estar en "1") durante el tiempo de un bit para establecer el bit de inicio, posteriormente el acumulador será enviado a puerto RA0, lo que transmitirá el bit menos significativo de datos a través de RA0.

Después de un tiempo equivalente a la duración de 1 bit, un contador debe ser establecido para controlar el número de veces que el acumulador debe ser rotado a la derecha para transmitir cada bit, el acumulador es entonces rotado a la derecha y se envía a RA0 su contenido para transmitir el segundo bit de dato. El bit a ser transmitido estará siempre en el bit menos significativo del acumulador. El procedimiento de rotación y demora será repetido hasta que los 8 bits de datos sean transmitidos, finalmente la línea (RA0) será colocada a 1 lógico durante el tiempo de dos bits.

2.8.8.2. La recepción de datos.

Una rutina de recepción por software puede ser llamada cada un milisegundo para detectar la presencia de un bit de inicio, o por interrupción. La rutina lee la entrada RA1 y monitoriza su estado. Si el valor en RA1 es "1", se debe retornar al programa principal, si es "0", es indicador de la presencia de un bit de inicio y se deberá comenzar el ensamblaje del carácter que está transmitiendo el periférico remoto.

Cuando el bit de inicio es detectado, se espera el intervalo de tiempo equivalente a la duración de 1/2 bit para comprobar nuevamente la entrada RA1, esto se realiza para asegurar el muestreo del bit de inicio en el centro de su intervalo y evitar iniciar la recepción cuando el "0" haya sido provocado por ruidos en la línea. Para obtener el tiempo de 1/2 bit se tiene en consideración la frecuencia de transmisión. La duración de un símbolo a transmitir a 300 bauds será 1/300 de segundo, o lo que es lo mismo 3,33 mseg; por ello la duración de 1/2 bit será de 1,667 mseg.

Después de haberse asegurado la presencia del bit de inicio, se espera el tiempo de duración de 1 bit para encuestar la primera unidad de información del dato a recibir en la mitad de su intervalo. Posteriormente, un contador es establecido con el número de bits de datos que serán recibidos, el cual decrementará con cada bit recibido. El bit leído en PA1 pasa al acumulador y se rota a la izquierda a través del acarreo, posteriormente se realiza una rotación a la derecha con el acarreo al registro donde debe almacenarse el resultado de la recepción. Esta operación de

doble rotación permite que un bit sea recibido sin que el bit previo sea destruido. El acarreo actúa como almacenador intermedio entre el acumulador y el registro.

Después que el primer bit de dato es recibido, el contador será decrementado después de una demora de un bit, que permitirá comprobar el próximo bit de dato a recibir en la mitad del intervalo. Este proceso continúa hasta que los 8 bits de datos queden almacenados en el registro. Cuando el proceso se ha completado, el primer bit recibido estará almacenado en el bit menos significativo del registro y el último dato en el bit más significativo del registro.

Después de que los bits de datos han sido recibidos, el programa debe chequear los bits de parada. Para ello, el valor presente en RA1 será rotado dos veces a la izquierda con acarreo, si en algún momento el acarreo no vale "1", habrá existido un error de encuadre (framing) y deberá ser abortada la recepción. Si los dos bits están presentes, el dato presente en el registro debe ser salvado por el microcontrolador y retornar al programa principal.

A rutina se le puede añadir una sección que compruebe un bit de paridad. Después de aceptar los 8 datos, se puede tomar un noveno (con información de paridad) y comprobar su estado de manera tal que si es detectada una paridad incorrecta, sea generado un mensaje de error y el dato se ignore.

La ventaja de la conversión por software es la simplicidad en el hardware. La desventaja radica en que existe una pérdida en la eficiencia del trabajo del sistema por el tiempo que se debe tomar en la ejecución de estas rutinas. También la velocidad de transmisión puede quedar comprometida.

Por todo ello, en la mayoría de los sistemas la conversión serie/paralelo es implementada en términos de hardware.

2.8.9. La norma RS232.

La norma RS232 es una de las más populares que se utilizan en la comunicación serie, y es la que se utiliza en los PC's, si bien hoy día está ampliamente superada por la transmisión a través de USB, de manera que está remitiendo su uso. Se desarrolló en la década de los 60 para gobernar la interconexión de

terminales y MODEM. La norma RS232 resuelve tres aspectos en la comunicación que se establece entre el **DTE**, Equipo Terminal de Datos, por ejemplo un PC y el **DCE**, Equipo para la comunicación de datos, por ejemplo un ratón:

1. **Características eléctricas de la señal:** Se establece que la longitud máxima entre el DTE y el DCE no debe ser superior a los 15 metros y la velocidad máxima de transmisión es de 20.000 bps. Los niveles lógicos no son compatibles TTL, considerando:
 - a. 1 lógico entre -3V y -15V
 - b. 0 lógico entre +3V y +15V
2. **Características mecánicas de los conectores:** Se utiliza un conector 25 pines, DB25, o de 9 pines, DB9, donde el conector macho identifica al DTE y el conector hembra al DCE.
3. **Descripción funcional de las señales usadas:** Las señales están básicamente divididas en dos grupos:
 - a. Señales primarias, que son normalmente utilizadas para la transferencia de datos.
 - b. Señales secundarias, utilizadas para el control de la información que será transferida.

La norma RS232 está definida tanto para la transmisión síncrona como para la asíncrona, pero cuando se utiliza esta última, sólo un conjunto de terminales (de los 25), es utilizado.

2.8.10. Velocidad de transmisión de datos.

La velocidad está estandarizada según la norma RS 232C en baudios:

- a. 75
- b. 110
- c. 150
- d. 300
- e. 600
- f. 1200
- g. 2400
- h. 4800
- i. 9600

j. 19200.

2.8.11. Conectores.

Existen dos tipos de conectores para la transmisión serial y se muestran en las figuras 2.59 y 2.60.

- DB25 pines macho y hembra

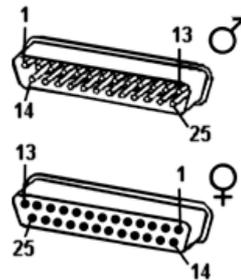


Figura 2.59. Conectores DB25 macho y hembra.

- DB9 pines macho y hembra

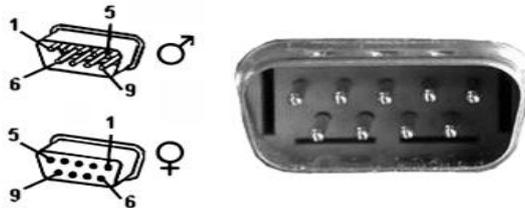


Figura 2.60. Conectores DB9 macho y hembra.

Ambos conectores son totalmente compatibles entre sí y existen adaptadores para pasar de un conector a otro.

2.8.12. Distribución de pines del conector DB9.

Como ya se mencionó la comunicación serial que ocupa el computador es del tipo RS232, utilizando lógica inversa para transmisión y recepción de datos. Ciertas computadoras utilizan este conector para colocar periféricos de entrada como el mouse, PLC's, entre otros. Cada uno de los pines del puerto serial está dedicado a un propósito específico, que fue determinado cuando se elaboró el estándar RS232. A continuación se presenta la tabla 2.7 con cada una de las funciones que realiza este puerto.

Propósito de cada uno de los pines del Conector DB9.	
#	
1	Tierra de chasis.
2	Recibe los Datos (RD)
3	Transmite los Datos (TD)
4	Terminal de Datos esta Listo (DTR)
5	Tierra de señal
6	Conjunto de Datos esta Listo (DSR)
7	Solicita Permiso para Enviar Datos (RTS)
8	Pista Libre para Enviar Datos (CTS)
9	Timbre Telefónico (RI)

Tabla 2.7. Descripción de pines del conector DB9.

2.8.13. El MAX232.

El MAX232 dispone internamente de 4 convertidores de niveles TTL al estándar RS232 y viceversa, para comunicación serie como los usados en los ordenadores, el COM1 y el COM2. En la figura 2.61 se aprecia el circuito MAX232.

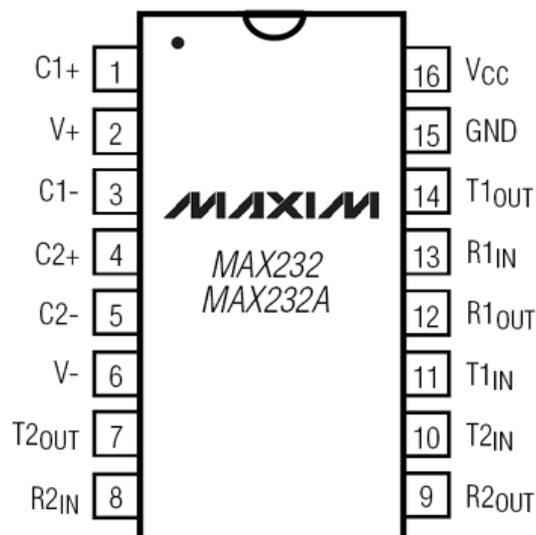


Figura 2.61. El MAX 232.

2.8.14. Funcionamiento.

El circuito integrado lleva internamente 2 convertidores de nivel de TTL a RS232 y otros 2 de RS232 a TTL; con lo que en total se puede manejar 4 señales del puerto serie del PC, por lo general las más usadas son: TXD, RXD, RTS, CTS; estas dos últimas son las usadas para el protocolo handshaking pero no es imprescindible su uso. Para que el MAX232 funcione correctamente se debe insertar unos condensadores externos. Todo esto se puede observar en la siguiente figura en la que solo se han cableado las líneas TXD y RXD que son las más usualmente usadas para casi cualquier aplicación. En la figura 2.62 se puede ver la estructura interna del MAX232.

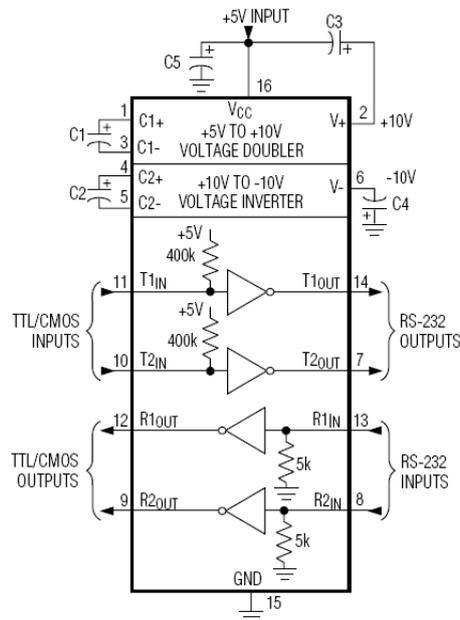


Figura 2.62. Diagrama interno del MAX 232.

En el MAX232 todos los condensadores deben ser de 1 microfaradio para llegar hasta 120 Kbps o de 100 nanofaradios para llegar hasta 64 Kbps. Para el MAX232A los condensadores han de ser de 100 nanofaradios y se consiguen hasta 200 Kbps. En la practica para transmitir a 2400 bps los condensadores pueden ser de 10 microfaradios, 1 microfaradio o 0.1 microfaradios dan buenos resultados.

Usos: Este integrado es usado para comunicar un microcontrolador o sistema digital con un PC o sistema basado en el estándar RS232.

Características a +5v, condensadores de 100 nF:

- Vcc: de 4,5v a 5,5v.
- Consumo: 4 mA (15 mA con carga a la salida de 3 Kohm).
- Tensión de entrada máxima RS232: +/- 30v.
- Tensión de Salida RS232: +/- 15v.
- Tensión de salida típica de +/-8v con carga nominal de 5 Kohm en RS232.
- Resistencia entrada RS232: 5 Kohm (a masa).
- Resistencia entrada TTL/CMOS: 400 Kohm (a positivo).
- Las entradas se pueden dejar al aire.
 - Entrada TTL al aire, se considera un "0" al invertirse en la salida.
 - Entrada RS232 al aire, se considera un "1" al invertirse en la salida.
- Salidas cortocircuitables continuamente:
 - Salida RS232: +/- 22 mA.
 - Salida TTL/CMOS: a masa -10 mA, a positivo +30 mA.

2.8.15. Conexión de un microcontrolador al puerto serie del PC.

Para conectar el PC a un microcontrolador por el puerto serie se utilizan las señales TXD, RXD y GND. El PC utiliza la norma RS232, por lo que los niveles de tensión sus pines están comprendidos entre +15 y -15 voltios. Los microcontroladores normalmente trabajan con niveles TTL (0-5v). Es necesario por tanto intercalar un circuito que adapte los niveles.

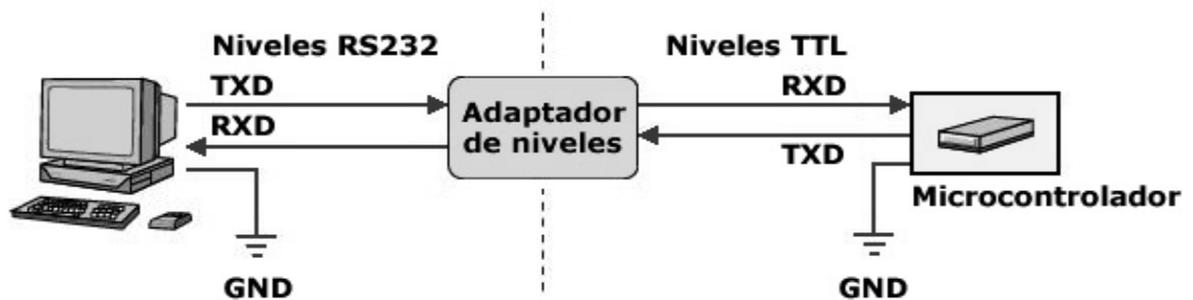


Figura 2.63. Conexión de un microcontrolador al puerto serie del PC.

En la figura 2.63 se muestra un diagrama de bloques de la conexión de un microcontrolador al PC

En la figura 2.64 se presenta el circuito de polarización del MAX232.

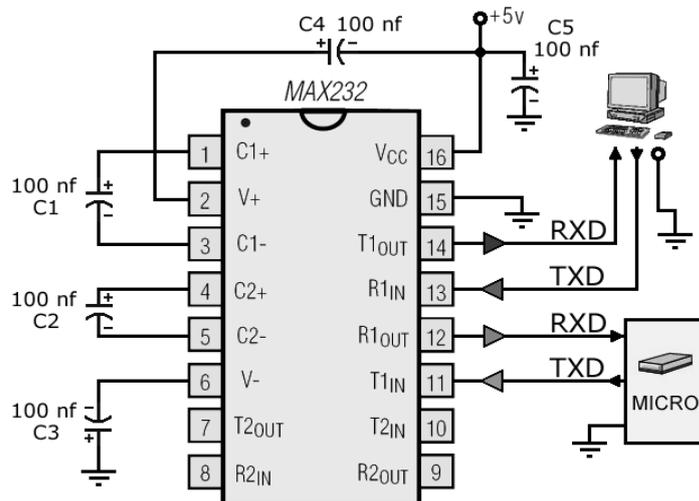


Figura 2.64. Circuito de polarización del MAX 232.

Conexión de un microcontrolador con un PC mediante MAX232. Con los condensadores de 100nF se puede llegar hasta los 64Kbps, si se colocan condensadores de 1µF se puede llegar hasta 120Kbps.

2.9. EL RELOJ EN TIEMPO REAL (RTC).

En la transmisión de datos meteorológicos, para poder disponer de la hora y fecha en la que se han tomado los datos, es necesario transmitir la información horaria dentro de la cadena que forma parte de los valores tomados. El formato adoptado es *día/mes/año/hora*.

Debido a esta necesidad se ha utilizado el RTC DS1307, a fin de implementarlo junto con la estación meteorológica automática, cabe recalcar que el RTC maneja el protocolo de comunicación I²C (detallado anteriormente) para comunicarse con el PIC, donde el DS1307 es el esclavo y el microcontrolador 16F877A es el maestro.

Los datos proporcionados por el RTC, son volcados al microcontrolador 16F877A y éste se encarga de su tratamiento y su posterior salida a través del puerto serie. Consulte mas detalles del reloj en el ANEXO K.

2.9.1. El RTC DS-1307.

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. El DS1307 es un dispositivo de 8 pines al que se le conecta un cristal de cuarzo estándar, de bajo costo, a 32.768kHz 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 esté desconectada la fuente de tensión del circuito principal. La figura 2.65 muestra la distribución de pines del RTC.

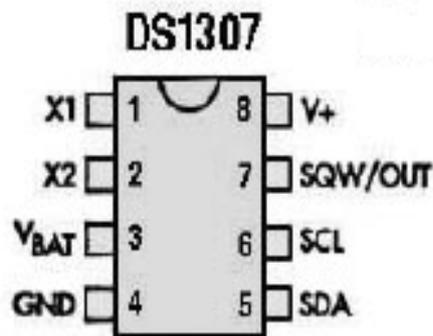


Figura 2.65. Reloj en tiempo Real.

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.

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 1Hz. 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 si es requerido.

2.9.2. Comunicación I²C con el reloj calendario DS1307.

Se había mencionado anteriormente el bus I²C, permite la comunicación con algunos dispositivos como las memorias 24CXX, los procesadores de señal, codificadores de video, sensores de temperatura, RTC (reloj en tiempo real), etc. Se debe aclarar que el byte de control del RTC es %11010000, (propio del fabricante), y su modo de grabación de datos es en sistema hexadecimal.

Además los datos a ser almacenados inicialmente deben ser igualados a la hora, mes, día, y año que se le vaya a energizar la memoria por primera vez, pudiendo ser cambiados fácilmente en el software del PIC.

CAPITULO III.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTACIÓN.

3.1 ETAPAS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.

La recolección de datos en campo consta de lo siguiente.

- a) Módulo de Visualización, recolección de datos en campo y transmisor de radio frecuencia.
- b) Interface de radio frecuencia a RS232

3.1.1 Módulo de Visualización.

Se usan siete canales análogos de un microcontrolador PIC de la familia 16F87XA con una resolución a diez bits, la lectura de los canales análogos se la realiza continuamente, estos valores son enviados serialmente en cadenas constantes de cuatro caracteres a través de un módulo de radio frecuencia hacia la interface de radio frecuencia a RS232.

Posteriormente lee el valor contenido en un RTC (Real time Clock), que no es más que un chip de ocho pines que realiza la función de un reloj calendario, usando un protocolo denominado I²C el microcontrolador PIC, se encarga de leer desde el reloj en tiempo real datos como día, mes, año, horas, segundos; las horas y segundos son usadas para comparar con valores constantes dentro del PIC, estos valores son:

- a) 07:00:01
- b) 10:00:01
- c) 13:00:01

- d) 16:00:01
- e) 19:00:01

Cada vez que esta comparación es verdadera el PIC envía el día, mes, año, hora y los valores leídos de los siete canales análogos hacia una memoria EEPROM de la familia 24CXXX usando el mismo protocolo I²C y una vez terminada la tarea, continúa en su modo normal de envío de datos. Diariamente se toman cinco mediciones de las variables climatológicas: temperatura, presión, humedad, Dirección y velocidad del viento, Radiación Solar y Nivel de lluvia.

La parte de la visualización de datos en una pantalla LCD se la controla con dos pulsadores, el primero incrementa un contador el cual a su vez va desplegando las diferentes variables, por defecto se muestra una leyenda y la hora. Esta leyenda es “ESTACION METEOR.”, en la primera fila ocupando los primeros 16 caracteres, en la segunda fila se muestra “Hora:” seguida de los datos leídos del RTC correspondientes a Horas, minutos, segundos. La figura 3.1 muestra el mensaje en la LCD.



Figura 3.1 Mensaje de entrada en el módulo de visualización.

El primer pulsador denominado “subir” se incrementa de 1 a 8 y la LCD muestra desde la presentación hasta el Nivel de Lluvia, el segundo pulsador denominado “bajar” decrementa el contador de 8 a 1 y la LCD muestra desde Nivel de precipitaciones a la presentación. En las figuras mostradas a continuación se presenta cada una de las variables visualizadas con ayuda de los pulsadores.

La figura 3.2 muestra la visualización de la temperatura ambiente.



Figura 3.2 Visualización de la temperatura Ambiente.

La figura 3.3 muestra la visualización de la Presión atmosférica.



Figura 3.3 Visualización de la Presión atmosférica.

La figura 3.4 muestra la visualización de la Humedad Relativa.

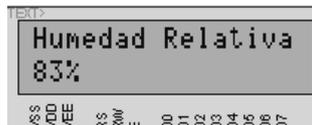


Figura 3.4 Visualización de la Humedad relativa.

La figura 3.5 muestra la visualización de la Dirección del Viento.

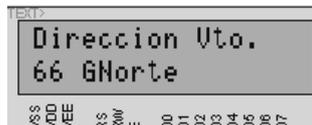


Figura 3.5 Visualización de la dirección del viento.

La figura 3.6 muestra la visualización de la Velocidad del Viento.

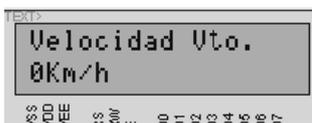


Figura 3.6 Visualización de la velocidad del viento.

La figura 3.7 muestra la visualización de la Radiación Solar.

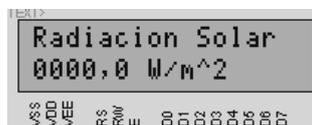


Figura 3.7 Visualización de la radiación solar.

La figura 3.8 muestra la visualización del Nivel de precipitaciones.



Figura 3.8 Visualización del nivel de precipitaciones.

En la figura 3.9 se indica un diagrama de flujo del módulo de Visualización.

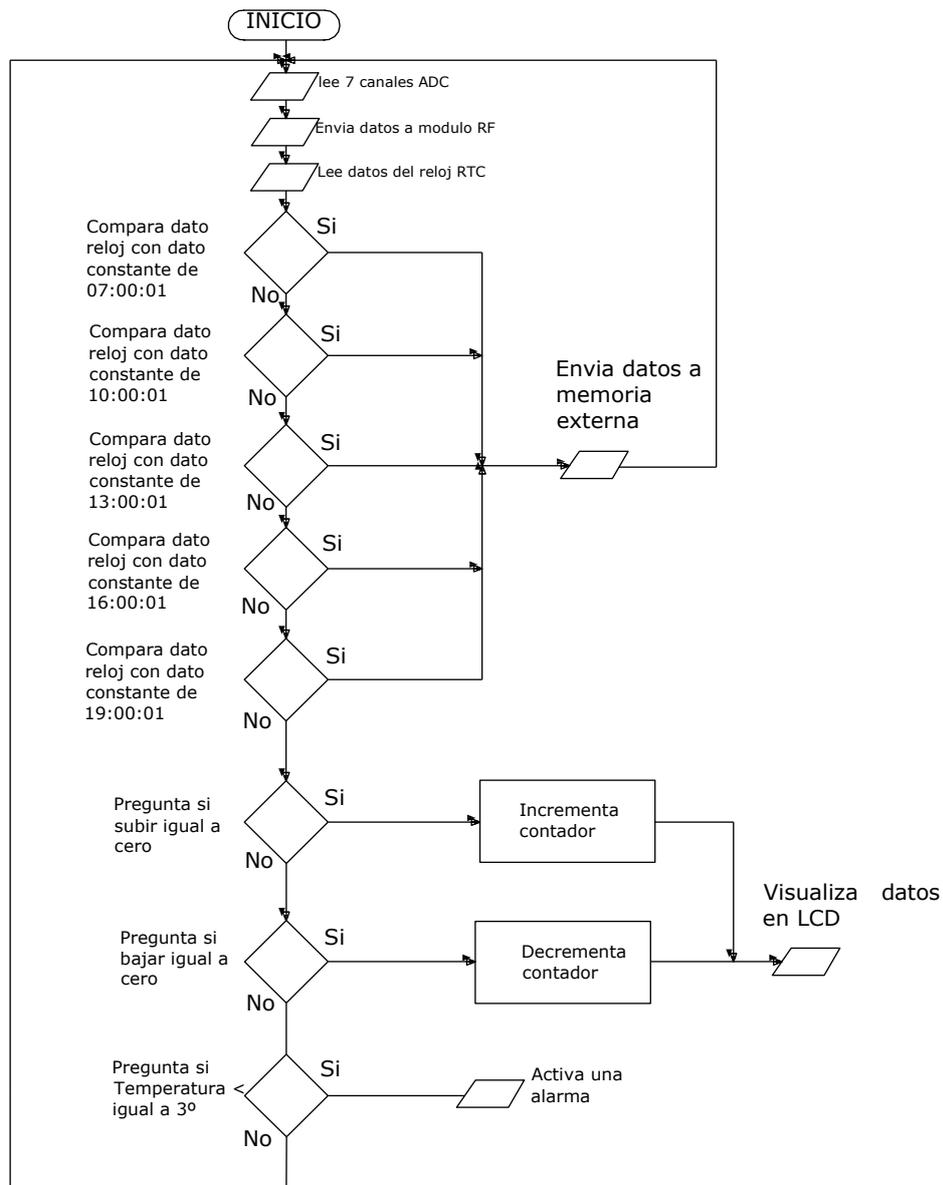


Figura 3.9 Diagrama de bloques del módulo de Visualización y envío de datos.

3.1.1.1. Reloj en Tiempo real RTC DS1307

Es un integrado de 8 pines fabricado por Dallas Semiconductor denominado también “64X8 serial real time Clock”, a continuación se detallan las características:

- El reloj en tiempo real cuenta segundos, minutos, horas, día del mes, día de la semana, mes, año compensados hasta el 2100.

- Posee protocolo de comunicación serial síncrono o BUS I²C.
- Consume menos de 500 micro amperios.
- Opera correctamente en un rango de -40 hasta 85 grados centígrados.
- Disponible en encapsulado tipo DIP de 8 pines.

En la figura 3.10 se indica un diagrama del reloj en tiempo real

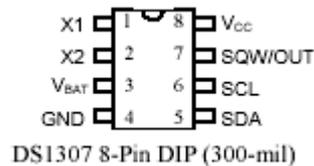


Figura 3.10 reloj en tiempo real (RTC DS1307)

En la tabla 3.1 se muestra una descripción de los pines necesarios.

PINES	DENOMINACION	FUNCION
1	X1	Oscilador 32768 Hz
2	X2	Oscilador 32768 Hz
3	V _{BAT}	Batería 3 Voltios
4	GND	Tierra
5	SDA	Serial datos
6	SCL	Serial señal de reloj
7	SQW/OUT	Salida de pulsos
8	V _{CC}	Batería 5 Voltios

Tabla 3.1 Distribución de pines del DS1307

3.1.2. Interface de radio frecuencia a RS232.

La interface contiene en su estructura un receptor de radio frecuencia, el cual envía las cadenas de datos recibidas a un CI MAX 232 el cual se encarga de convertir los niveles TTL a RS232 es decir de (0 o 5 V) a (-12 o 12V) y a través de un conector DB 9 se conecta al computador; en la figura 3.11 se indica un diagrama de bloques de la interface.

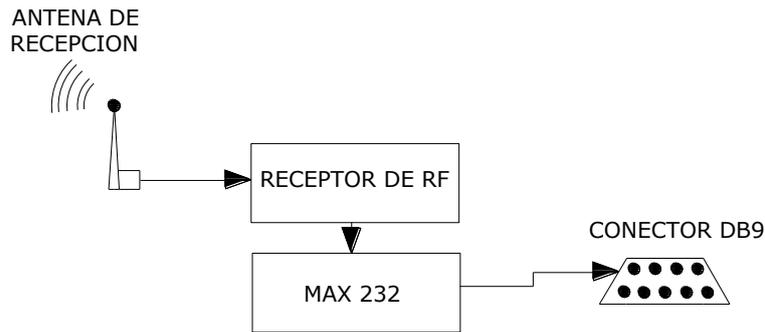


Figura 3.11 Interface entre Radio frecuencia y RS232

3.2 SELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR.

Desde un inicio se optó por usar un PIC de la familia 16F87XA existiendo cuatro posibilidades 16F873A, 16F874A, 16F876A, 16F877A, para realizar una adecuada selección se decidió realizar una tabla comparativa entre estos dispositivos (Tabla 3.2).

Dispositivo	Memoria de programa		Data SRAM (Bytes)	EEPROM (Bytes)	I/O	10 (bit) ADC	CCP	I2C	USART
	Bytes	#Instrucciones							
16F873A	7.2K	4096	192	128	22	5	2	Si	Si
16F874A	7.2K	4096	192	128	33	8	2	Si	Si
16F876A	14.3K	8192	256	256	22	5	2	Si	Si
16F877A	14.3K	8192	256	256	33	8	2	Si	Si

Tabla 3.2 Tabla comparativa de la Familia 16F87XA

Con los datos de la tabla y siguiendo los requerimientos de la estación se decidió optar por el microcontrolador PIC 16F877A, por las siguientes razones:

- Memoria de Programa Extensa
- Dispone de ocho canales análogos a 10 bits de los cuales son necesarios siete
- Dispone de comunicación mediante protocolo I²C
- Dispone de comunicación serie
- Dispone de 33 I/O
- Se lo encuentra en el mercado local.

Es necesaria una memoria extensa en el microcontrolador, ya que el programa debe realizar muchas tareas secuenciales las cuales se traducen en muchas líneas de programa, se necesitan siete conversores ADC ya que se dispone de siete sensores análogos, el protocolo I²C es necesario para comunicarse y leer datos del reloj en tiempo real y grabar los datos en la memoria EEPROM externa y el puerto USART se lo usa para enviar datos al transmisor de RF

3.3 SELECCIÓN DE LA MEMORIA EEPROM

Para seleccionar la memoria EEPROM externa, se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

- a) El tiempo de recolección de datos
- b) El número de lecturas a realizar en un día
- c) El número de celdas de 8 bits a ocupar diariamente
- d) El costo.

El tiempo de recolección de datos es de 90 días, el número de lecturas a realizar en un día son cinco, en cada lectura se necesitan 32 celdas de 8 bits, cuatro para el día, mes, año, hora y 28 para los datos medidos.

Es decir que son necesarias 160 posiciones de la memoria para guardar los datos de un día. Y por noventa días se calculan 14400 posiciones de una memoria EEPROM para almacenar los datos, en la tabla 3.3 se indica las capacidades de las diferentes memorias de la serie 24XCXXX

Dispositivo	Capacidad	Control	Tamaño dirección
24LC01B	128 bytes	%1010xxx0	1 byte
24LC02B	256 bytes	%1010xxx0	1 byte
24LC04B	512 bytes	%1010xxb0	1 byte
24LC08B	1 Kbytes	%1010xbb0	1 byte
24LC16B	2 Kbytes	%1010bbb0	1 byte
24LC32B	4 Kbytes	%1010ddd0	2 bytes
24LC65	8 Kbytes	%1010ddd0	2 bytes
24C16A	16Kbits	%1010ddd0	2 bytes

Tabla 3.3 Tipos de memorias I²C

3.4 INTERFACE DE DESCARGA DE DATOS

La interface cuenta con un microcontrolador 16F877A el mismo que mediante un lazo se encarga de leer cada una de las posiciones de la memoria EEPROM y las envía al computador a través del puerto serial; mediante un

programa de LabView recibe toda la cadena de datos y posteriormente los separa y guarda en archivo en Excel. En la figura 3.12 se presenta un diagrama de flujo del programa de lectura y transmisión de datos cargado en el PIC.

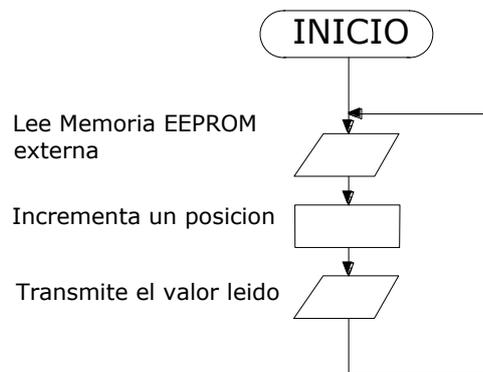


Figura 3.12 Diagrama de flujo de la Interface.

3.5 PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR PIC.

Para programar el PIC se decidió utilizar el lenguaje Basic, a través del programa de computador MicroCode Studio por su versatilidad y sencillez, además del programa Proteus como una herramienta muy útil para realizar simulaciones de la programación del microcontrolador. En la tabla 3.4 se detallan las más importantes instrucciones utilizadas para estructurar el programa del módulo de visualización y captura de datos en campo e interface de descarga de datos.

Instrucción	Función
ADCIN canal, variable	Activa un canal análogo digital
Serout pin, velocidad, [variable]	Envía serialmente el valor de la variable
LCDOUT \$fe, 1, variable	Presenta en la LCD en valor de variable
I2CREAD <i>DataPin, ClockPin, Control, 0, [Var]</i>	Lee el valor de la posición o de un chip EEPROM el valor y lo guarda en Var
I2CWRITE <i>datapin, clockpin, control, 0, [var]</i>	Escribe en la posición 0 de un chip EEPROM el valor de var

Tabla 3.4 Instrucciones de PIC Basic

3.5.1 Programa para adquisición y envío de datos.

Enseguida se detalla la estructura del programa cargado en el PIC para ejecutar la adquisición, almacenamiento y envío de datos en campo.

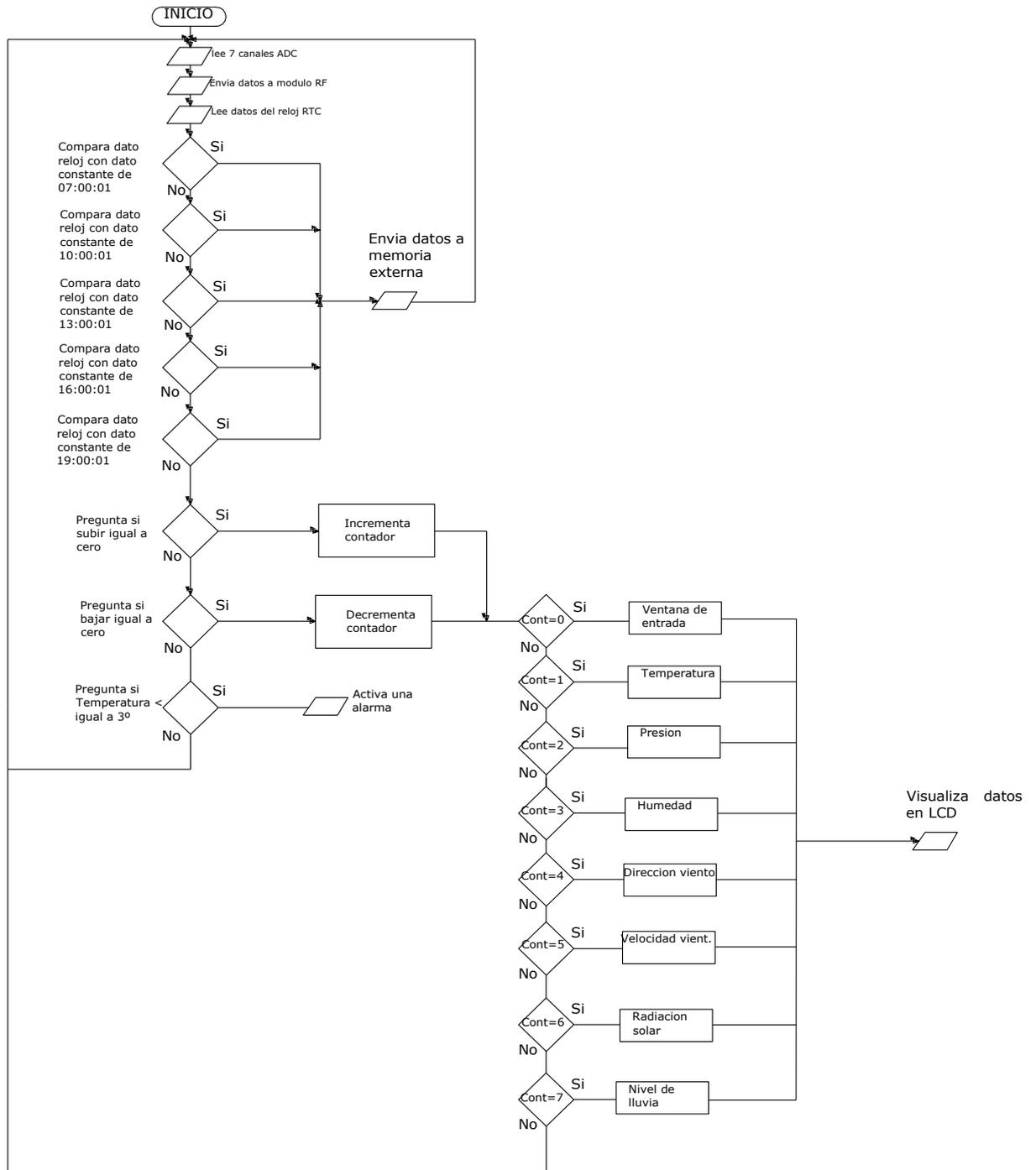


Figura 3.13 Diagrama de bloques del módulo de adquisición, almacenamiento y envío de datos

En la figura 3.13 se puede observar el diagrama de bloques completo del módulo, el código editado en microcode se presenta en el (Anexo L).

3.5.2 Programa para descargar datos desde una memoria EEPROM

En la figura 3.14 se presenta un diagrama de bloques completo de las etapas seguidas para realizar la lectura de la memoria EEPROM.

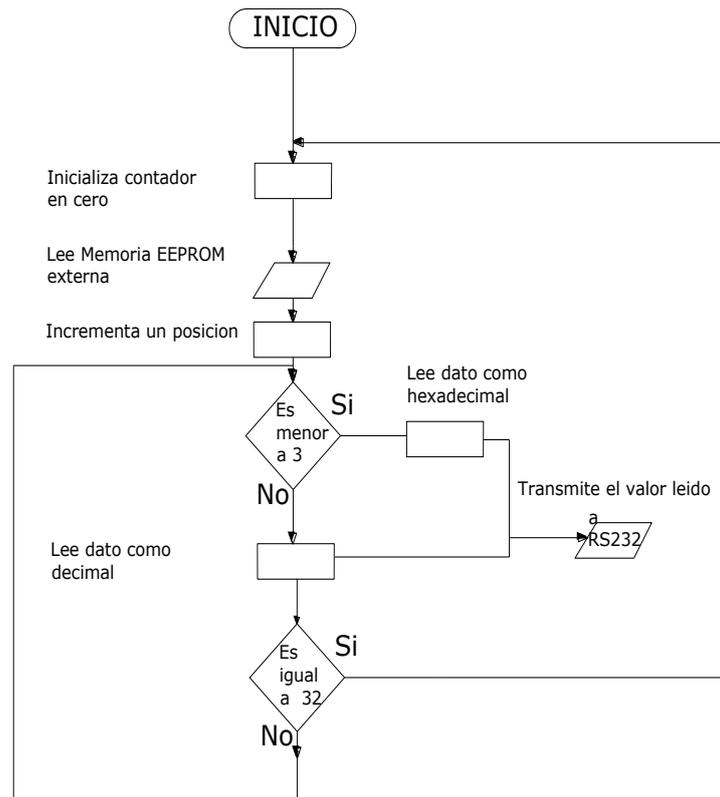


Figura 3.14 Diagrama de bloques

3.6 IMPLEMENTACIÓN DE LOS CIRCUITOS.

A continuación se detallan los circuitos de los tres módulos necesarios para la estación meteorológica automática.

3.6.1 Módulo de captura, recolección y envío de datos

Los valores y numeraciones estándar de los componentes electrónicos se indican en la Tabla 3.5.

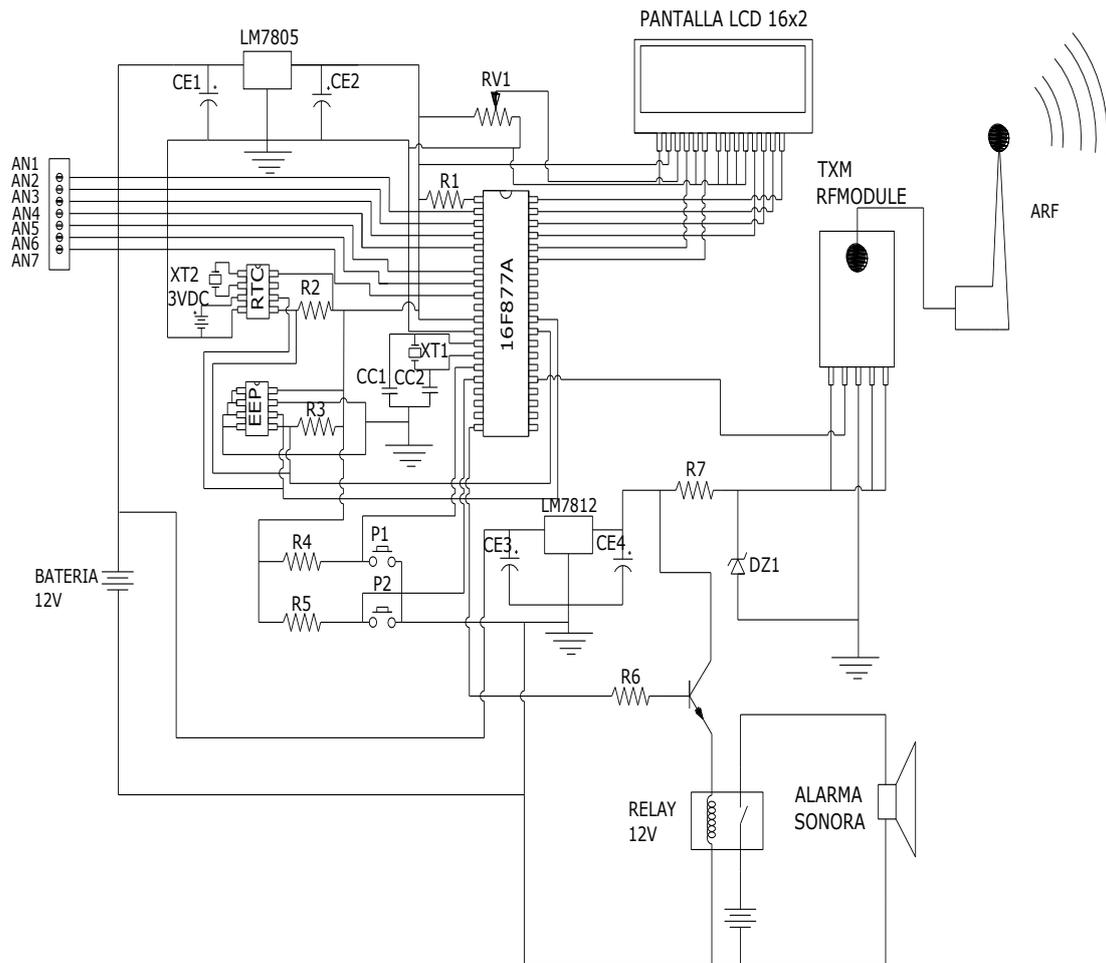


Figura 3.15 Módulo de Visualización, recolección de datos en campo y transmisor de radio frecuencia

En la figura 3.15 se muestra un diagrama de las conexiones electrónicas entre los diferentes dispositivos necesarios para implementar el módulo de recolección de datos en campo y transmisor de radio frecuencia.

3.6.2 Interface de radio frecuencia a RS232

En la figura 3.16 se muestra todas las conexiones electrónicas para implementar la interface requerida, con el fin de adaptar los datos, de radio frecuencia al protocolo de comunicación serial RS232.

En el diagrama se puede apreciar claramente las conexiones entre los elementos, al contar con transmisores y receptores RF que transmiten los datos de forma

serial, el circuito es sencillo debido a esta ventaja, ya que no es necesario utilizar otro PIC para enviar los datos al computador.

En la tabla 3.6 se enlista los componentes electrónicos usados para implementar la interface, para adaptar los datos recibidos por radio frecuencia al protocolo RS232.

Denominación	Tipo	Valor o numeración.
CE1	Condensador electrolítico	100 uF
CE2	Condensador electrolítico	100 uF
RV1	Potenciómetro	10 K ohmios
R1	Resistencia	10 K ohmios
R2	Resistencia	4.7 K ohmios
R3	Resistencia	4.7 K ohmios
R4	Resistencia	4.7 K ohmios
R5	Resistencia	4.7 K ohmios
R6	Resistencia	10 K ohmios
R7	Resistencia	220 ohmios
XT1	Cristal oscilador	4 Mhz
XT2	Cristal oscilador	32Khz
RTC	Reloj Calendario	DS1307
EEP	Memoria EEPROM externa	24C16A
CC1	Condensador cerámico	33 uF
CC2	Condensador cerámico	33 uF
CE3	Condensador electrolítico	10 uF
CE4	Condensador electrolítico	10 uF
DZ1	Diodo Zener	3.1 V
TXM	Transmisor radio frecuencia	TXM 433-LR-S
P1	Pulsador	-
P2	Pulsador	-
ARF	Antena radio frecuencia.	-
DISPLAY	LCD	16x2
PIC	Microcontrolador	16F877A
BATERIA	Batería Química.	Duncan R-1240
Reguladores	Reguladores de tensión	LM7805, LM7812

Tabla 3.5 Valores de los componentes electrónicos del circuito.

Denominación	Tipo	Valor o numeración.
CE1	Condensador electrolítico	100 uF
CE2	Condensador electrolítico	1 uF
CE3	Condensador electrolítico	1 uF
CE4	Condensador electrolítico	1 uF
CE5	Condensador electrolítico	1 uF
R1	Resistencia	220 ohmios
ARF	Antena de radio frecuencia	-
DZ1	Diodo Zener	3.1 V
RXM	Receptor de radio frecuencia	RXM-433-LR-S
Regulador	Regulador de tensión	LM7805
Max 232	Adaptador de niveles de tensión	Max 232

Tabla 3.6 Lista de componentes de la interface de radio frecuencia a RS232.

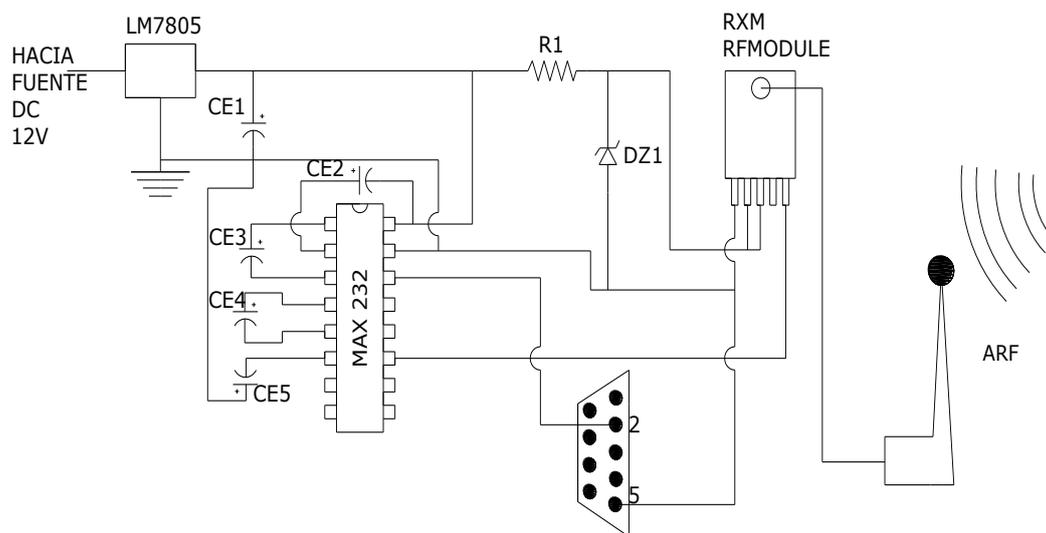


Figura 3.16 Conexiones de la Interface de radio frecuencia a RS232

3.6.3 Interface de descarga de datos

En la figura 3.17 se muestra las conexiones necesarias para realizar la lectura de los datos guardados en la memoria EEPROM externa y descargarlos hacia el computador mediante el uso del protocolo RS232. La interface consta de un PIC 16F877A, una memoria EEPROM, un MAX232 y un pulsador de inicio. En la tabla 3.7 se enlista los valores de los componentes electrónicos.

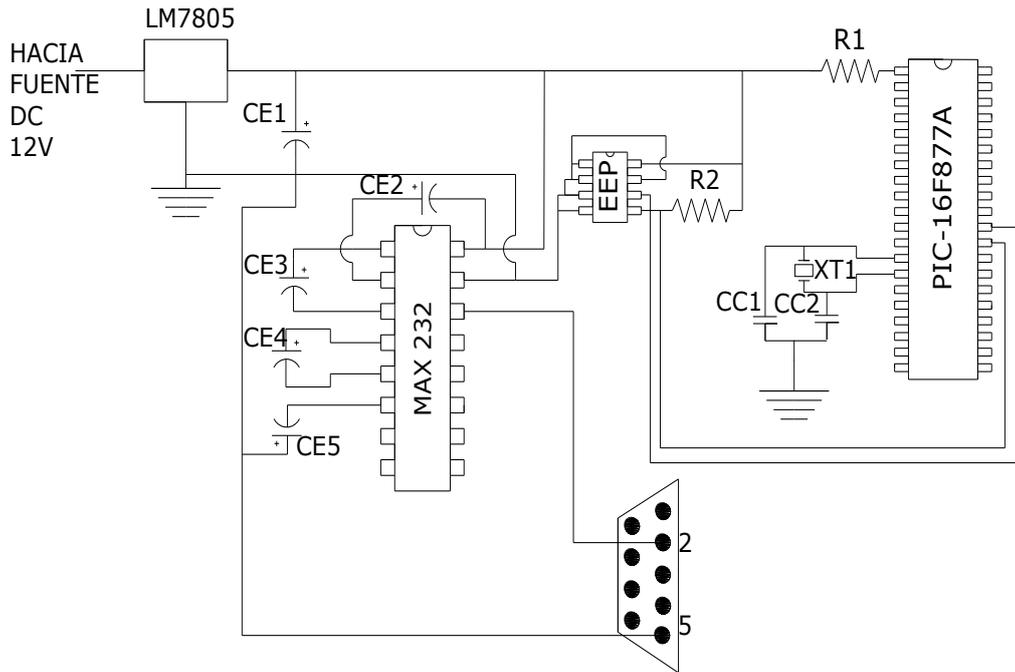


Figura 3.17 Interface de descarga de datos.

Denominación	Tipo	Valor o numeración.
CE1	Condensador electrolítico	100 uF
CE2	Condensador electrolítico	100 uF
RV1	Potenciómetro	10 K ohmios
R1	Resistencia	10 K ohmios
R2	Resistencia	4.7 K ohmios
XT1	Cristal oscilador	4 Mhz
EEP	Memoria EEPROM externa	24C16A
CC1	Condensador cerámico	33 uF
CC2	Condensador cerámico	33 uF
CE1	Condensador electrolítico	100 uF
CE2	Condensador electrolítico	1 uF
CE3	Condensador electrolítico	1 uF
CE4	Condensador electrolítico	1 uF
CE5	Condensador electrolítico	1 uF
PIC	Microcontrolador	16F877A
Regulador	Regulador de tensión	LM7805
Max 232	Adaptador de niveles de tensión	Max 232

Tabla 3.7 Lista de componentes de interface de descarga.

3.7 IMPLEMENTACIÓN DE LA ALARMA DE BAJA TEMPERATURA

Dentro del microcontrolador se ha colocado una condición mediante una estructura IF THEN ---ENDIF la misma que a sido usada para hacer una pregunta, si la respuesta es afirmativa el PIC envía un pulso a un PIN que polariza un transistor NPN y éste a su vez hace la misma acción con un relé de 12 voltios y el cual activa una bocina.

La condición que debe cumplir es, *si la temperatura es menor que 3 grados entonces envíe el pulso.*

En la figura 3.18 se puede apreciar un detalle del circuito electrónico requerido para la alarma. En la tabla 3.8 se enlista los componentes electrónicos y sus valores.

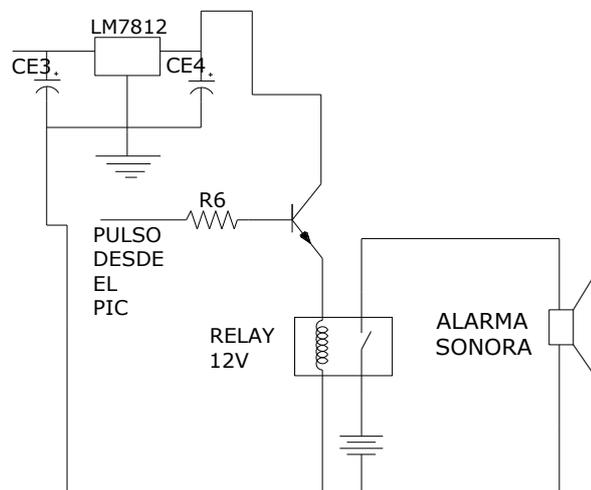


Figura 3.18 Detalle del circuito de la alarma.

Denominación	Tipo	Valor o numeración.
CE3	Condensador electrolítico	100 uF
CE4	Condensador electrolítico	100 uF
R6	Potenciómetro	10 K ohmios
Sumbador	-	-
Rele de 12 voltios	-	-
Regulador a 12 voltios	-	-

Tabla 3.8 Lista de componentes de la alarma de baja temperatura.

3.8 DISEÑO DEL SOFTWARE EN LABVIEW.

Para realizar los programas requeridos para el manejo de los datos enviados desde el módulo de campo, se ha utilizado LabView versión 7.0. Para recibir los datos se ha usado las librerías de VISA; en la figura 3.19 se muestra una conexión típica de estas herramientas.

El software contará con una pantalla de presentación inicial y vinculada a ésta se encuentra la ventana en donde se podrá apreciar continuamente la variación de los siete parámetros sensados. Además, aquí se recolectarán muestras de cada una de las variables cada tres horas.

En las páginas posteriores se presenta un detalle de como se realizó la programación para las tareas requeridas dividiéndose en dos programas.

- a) Software de monitoreo y recolección de datos.
- b) Software de captación de datos desde la memoria EEPROM externa.

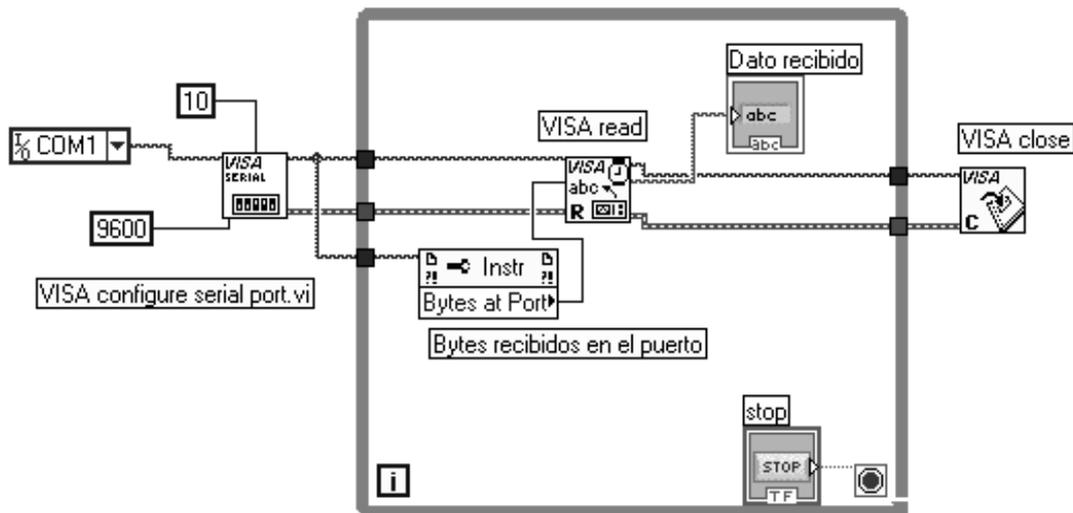


Figura 3.19 Conexiones para habilitar el puerto serial.

El puerto serial recibe un dato de 8 bits a la vez, a diferentes velocidades de transmisión como se puede observar en la tabla 3.9

El baudio se expresa como el número de bits recibidos en el puerto por cada segundo; el módulo de transmisión y recepción trabajan a 2400 baudios

	Velocidad en baudios (BPS)
1	75
2	110
3	150
4	300
5	600
6	1200
7	2400
8	4800
9	9600
10	19200

Tabla 3.9 Velocidades de transmisión serial en BPS según el estándar RS232C

3.8.1 Software de monitoreo y recolección de datos.

Este software realiza las siguientes funciones:

- Recibe cadenas de 28 caracteres en el puerto serial.
- Separa la cadena original en subgrupos de cuatro.
- Transforma de formato string a número y mediante ecuaciones despliega los valores de cada una de las siete variables en indicadores y graficadores.
- Toma cinco lecturas de las variables y las almacena en una base de datos en Excel y Access.

A continuación se detalla las herramientas utilizadas para realizar cada una de estas funciones, para realizar la separación de los datos en grupos de cuatro dígitos, se utiliza los iconos denominados String Subset propios de LabView; en la figura 3.20 se indica esta herramienta y sus conexiones.

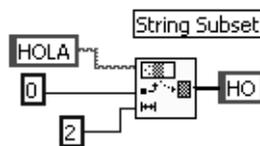


Figura 3.20 Herramienta para dividir cadenas.

Este icono necesita se ingrese la cadena de strings; en el presente caso veinte y ocho caracteres correspondientes a siete variables, además de un número de inicio; es decir, desde donde comienza a realizar la separación y otro valor que determina cuántos caracteres va a separar, estos valores son llamados offset y

length, respectivamente. Se necesitó siete string subsets, cada uno conectados a la misma cadena, los valores de los offsets correspondieron a 0, 4, 8, 12, 16, 20, y 24, con un valor length constante de cuatro. En la figura 3.21 se puede observar un esquema detallado.



Figura 3.21 Detalle del programa para separar datos

Una vez separada la cadena de veinte y ocho caracteres en siete subgrupos de cuatro, es necesario convertir estos datos a números para poder ingresar en las ecuaciones y presentar los valores correspondientes de Temperatura, Presión, etc.

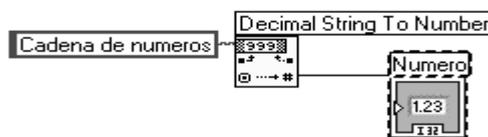


Figura 3.22 Icono para transformar de string a número.

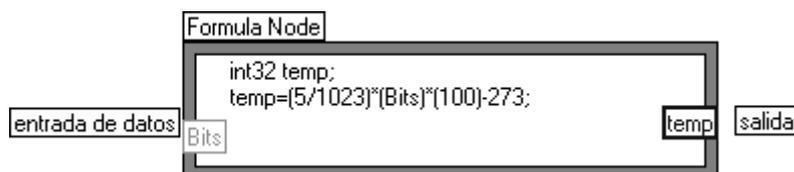


Figura 3.23 Nodo de Fórmula

En la figura 3.22 y 3.23 se muestran el icono para transformar de String decimal a número y la herramienta para ingresar las ecuaciones de los diferentes sensores respectivamente.

En la figura 3.24 se presenta el diagrama de la transformación de los datos.

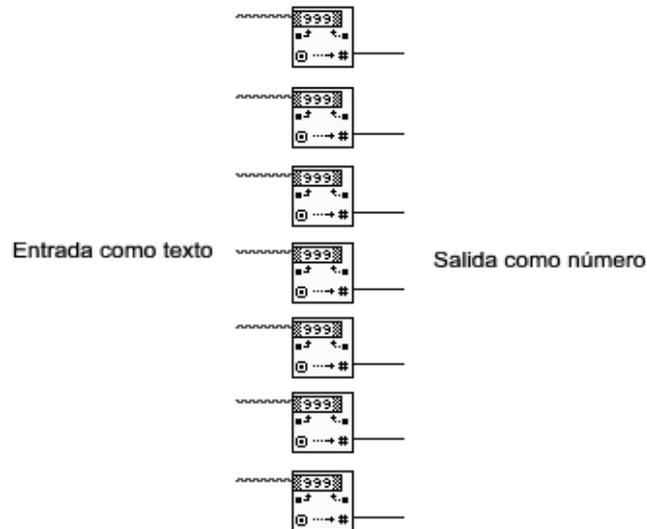


Figura 3.24 Transformación de los datos.

Los datos enviados desde el PIC hasta LabView, son valores numéricos entre 0 y 1023 bits (correspondiente a $2^{10}-1$), para obtener cadenas constantes se optó por sumar 1000 a cada valor leído desde los sensores, por lo que dentro de los nodos de Fórmula (Fórmula Node dentro de LabView) hay que restar el valor sumado para obtener el valor real y posteriormente realizar la transformación de bits a grados centígrados en el caso de la temperatura, utilizando las ecuaciones proporcionadas por los fabricantes de los sensores. Los nodos de fórmula son herramientas bastante útiles, ya que permiten ingresar ecuaciones o líneas de código o programación de forma similar a como se lo haría en Visual Basic o C++

Otra ventaja del nodo de Fórmula es que ahorra espacio dentro del diagrama de bloques. En la figura 3.25 se presenta una ecuación hecha con las herramientas matemáticas de LabView y usando el nodo de fórmula, si se compara entre los dos métodos, se observa que la segunda opción es la más fácil y rápida y el ahorro de espacio es significativo.

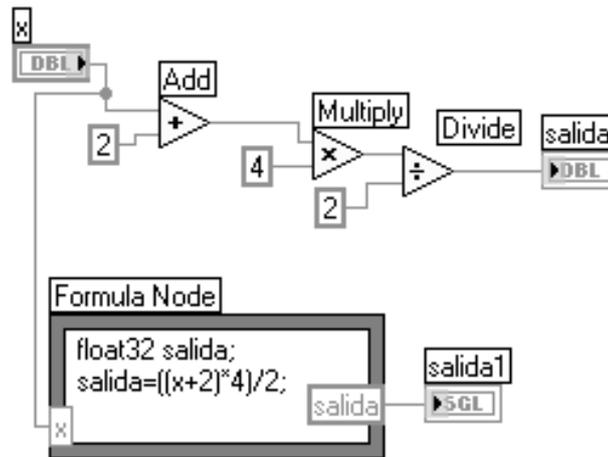


Figura 3.25 Uso del nodo de Fórmula.

En las siguientes figuras se presenta cada una de las ecuaciones ingresadas en LabView. En la figura 3.26 se muestra la ecuación para obtener grados centígrados a partir de la entrada de Bits. Donde se observa una entrada denominada “a” la cual varía de 1000-2023 y una salida “TV” la cual contiene el valor de la temperatura la misma que varía de -5 a 40 grados centígrados.

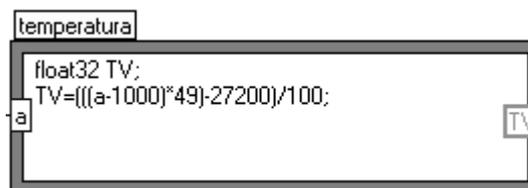


Figura 3.26 Ecuación del sensor de temperatura.

En la figura 3.27 se muestra la ecuación para obtener hectopascales a partir de la entrada de Bits. Donde se observa una entrada denominada “b” la cual varía de 1000-2023 y una salida “PA” la cual contiene el valor de la presión atmosférica.

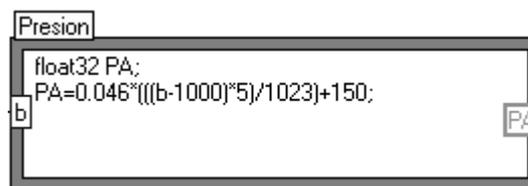


Figura 3.27 Ecuación del sensor de presión.

En la figura 3.28 se muestra la ecuación para obtener el porcentaje de humedad a partir de la entrada de Bits. Donde se observa una entrada denominada “c” la cual

varía de 1000-2023 y una salida “HR” la cual contiene el valor de la Humedad Relativa.

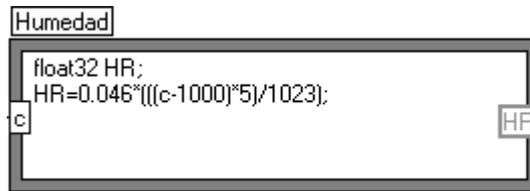


Figura 3.28 Ecuación del sensor de Humedad.

En la figura 3.29 se muestra la ecuación para obtener la dirección del viento a partir de la entrada de Bits. Donde se observa una entrada denominada “d” la cual varía de 1000-2023 y una salida “DV” la cual contiene el valor de la Dirección del viento.

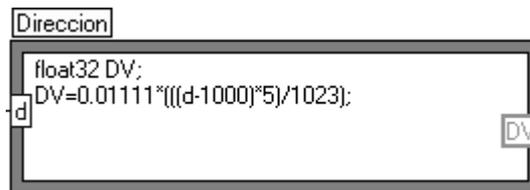


Figura 3.29 Ecuación del sensor de Dirección del Viento.

En la figura 3.30 se muestra la ecuación para obtener la velocidad del viento a partir de la entrada de Bits. Donde se observa una entrada denominada “e” la cual varía de 1000-2023 y una salida “VV” la cual contiene el valor de la Velocidad del viento.

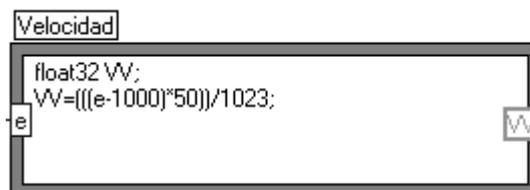


Figura 3.30 Ecuación del sensor de Velocidad del Viento.

En la figura 3.31 se muestra la ecuación para obtener la radiación solar. Donde se observa una entrada denominada “f” la cual varía de 1000-2023 y una salida “RS” la cual contiene el valor de la Radiación solar.

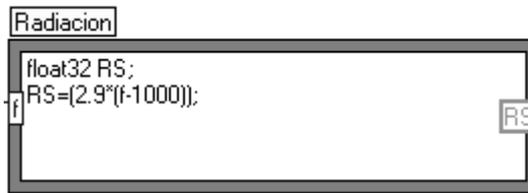


Figura 3.31 Ecuación del sensor de Radiación Solar.

En la figura 3.32 se muestra la ecuación para obtener el nivel de precipitaciones. Donde se observa una entrada denominada “g” la cual varía de 1000-2023 y una salida “NP” la cual contiene el valor del nivel de lluvia.

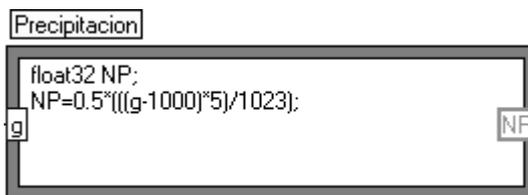


Figura 3.32 Ecuación del sensor de Nivel de Precipitaciones.

Para agrupar los indicadores y graficadores se utilizó un contenedor denominado Tab control, éste permite que dentro de un mismo espacio del panel de control se coloquen varios controles e indicadores, permitiendo ahorrar espacio en el panel frontal. Esta útil herramienta se puede observar en la figura 3.33.

El tab control permite ir añadiendo ventanas una detrás de otra; por ejemplo, si se cuenta con dos paginas y se coloca en la primera de ellas un control numérico, en la segunda un control de texto, el primero solo será visible mientras la primera página esté activa y el segundo de igual forma se lo podrá manipular solo cuando la segunda página haya sido seleccionada.

En el presente proyecto se utiliza un tab control con nueve paginas, las cuales han sido denominadas “TEMP”, “PRES”, “HUMED”, “DIREC”, “VELO”, “RADIA”, “PRECC”, “MEDIDAS TOMADAS”, “CONSULTE ACCESS”. En cada página se cuenta con los respectivos indicadores numéricos y gráficos para cada variable.

La ventaja que ofrece esta herramienta es que permite distribuir de mejor manera los espacios y de esta forma obtener una mejor visualización de los indicadores.

Otra etapa dentro del programa de monitoreo es guardar los datos recibidos en un archivo de Excel y de Access, para crear una base de datos de las medidas tomadas se utilizaron los iconos indicados en las figuras 3.34 y 3.35.



Figura 3.33 Tab control dentro del programa de monitoreo.

Cabe aclarar que se debe crear la base de datos primero y posteriormente realizar la conexión con LabView.

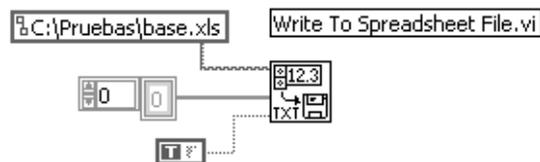


Figura 3.34 Icono para guardar datos en archivo de Excel.

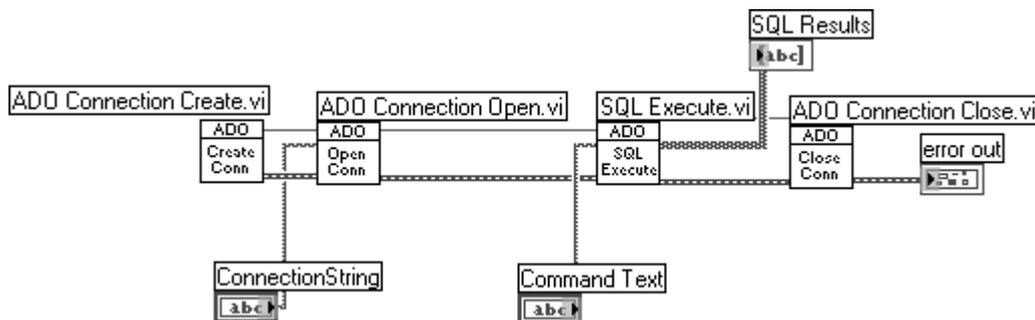


Figura 3.35 Herramientas ADO para guardar datos en Access.

Para tomar las mediciones se usó como base el icono denominado Get date, con el fin de obtener la hora y comparar con constantes dentro del programa, estas constantes son:

- 07:00:01
- 10:00:01
- 13:00:01
- 16:00:01
- 19:00:01

En la figura 3.36 se muestra este icono con sus conexiones típicas.

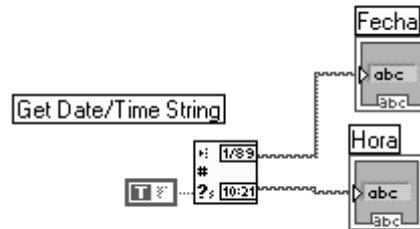


Figura 3.36 Get date/time string (reloj calendario de LabView)

La parte de la comparación se esquematiza en la figura 3.37 presentado a continuación.

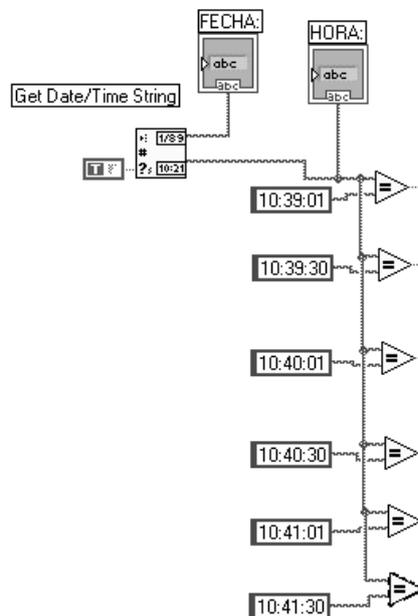


Figura 3.37 Bloque de Comparaciones.

Cada vez que una comparación es verdadera, los datos se agrupan en una matriz de una fila por siete columnas, el diagrama se presenta en la figura 3.38.

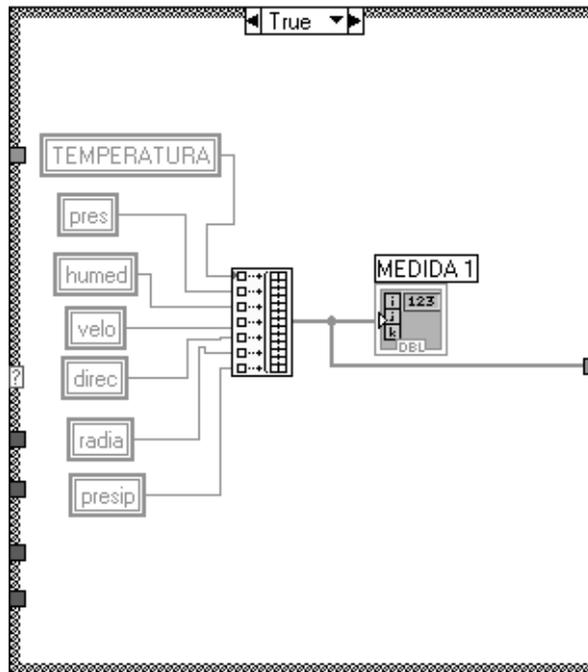


Figura 3.38 Conversión de las mediciones a una matriz

La figura 3.38 muestra el código utilizado para agrupar los datos en una matriz de 1 X 7, el programa consta de una estructura CASE además de la herramienta llamada Build Array, esta última es la que crea la matriz.

Se crea esta matriz con el fin de usar el icono denominado Write to Spreadsheet el mismo que necesita que los datos estén en forma de Array.

En la figura 3.39 y 3.40 se muestran el código para cargar los datos en Excel

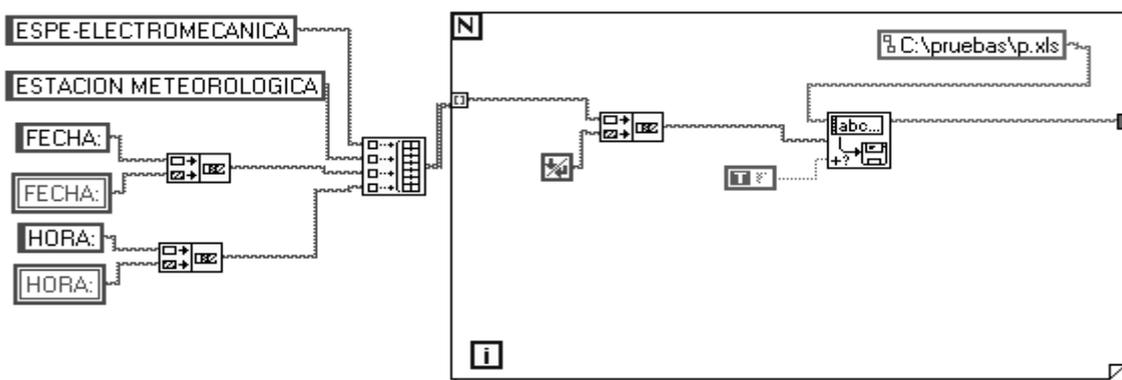


Figura 3.39 Código para guardar el título

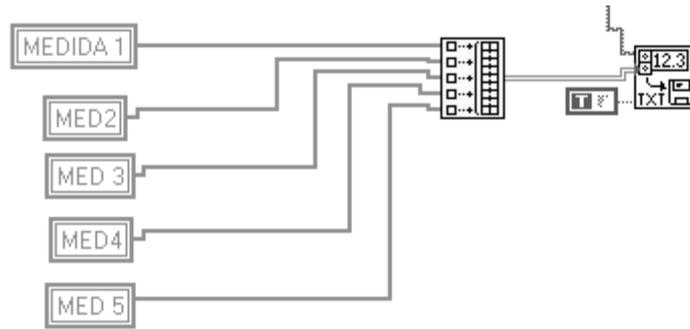


Figura 3.40 Código para guardar los datos de las cinco matrices

Para guardar los datos en Access se desarrolló un sub VI denominado “access prog” en la figura 3.41 se presenta el código aplicado para este fin.

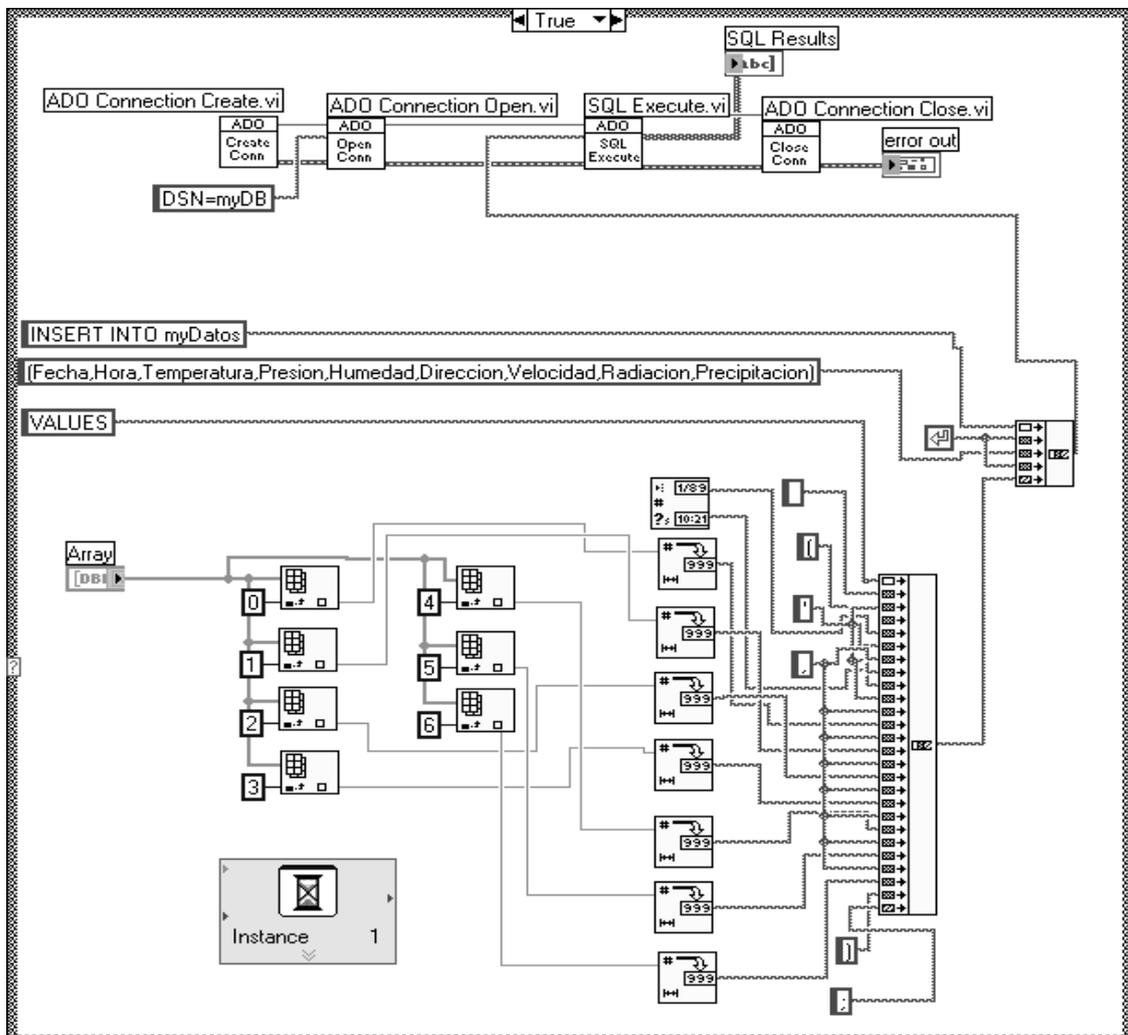


Figura 3.41 Programa del Sub VI “access prog”.

Como se puede observar en la figura 3.41, una vez conectados los Sub VIs para crear el enlace con Microsoft Access se debe ingresar dos datos; el primero es el nombre de la base de datos, la misma que debió ser debidamente configurada, los pasos para la configuración se tratarán en el Ítem 3.8.1.1, a este parámetro se lo conoce como DSN por sus siglas en ingles (Data Source Name) éste debe ser conectado al Sub VI “ADO Connection Open” al terminal denominado “Connection String”.El siguiente parámetro se denomina “Command Text”, éste debe estar conectado al Sub VI “SQL Execute” y determina la acción que va a realizar sobre la base de datos, entre estas acciones está guardar datos, leer, buscar elementos de la base, etc.

En la tabla 3.10 se muestran algunos comandos propios de SQL.

Los Comandos SQL son las órdenes estándar para el acceso a todo tipo de bases de datos. **IMPORTANTE:** Todos los comandos SQL deben terminar mediante un punto y coma “;”.

Comando	Descripción y ejemplo
CREATE TABLE	Crea una nueva tabla en una base de datos existente. CREATE TABLE Tabla (Nombre CHAR(50), Numero INTEGER, Valor DOUBLE);
SELECT	Devuelve datos de una o más tablas. SELECT * FROM Tabla; SELECT Nombre, Numero FROM Tabla;
INSERT	Añade una o más filas a una tabla especificada. INSERT INTO Tabla (Nombre, Numero, Valor) VALUES ('Jose', 18, 0.234);
UPDATE	Cambia los datos en toda o parte de una fila existente de una tabla. UPDATE Tabla SET Valor = Valor * 1.03 WHERE Nombre= 'Jose';
DROP TABLE	Elimina una tabla de una base de datos. DROP TABLE Tabla;
MAX	Devuelve el valor máximo entre los valores de una columna especificada. Idem para AVG, MIN, SUM, etc. SELECT SUM (Valor), AVG (Valor), MIN (Valor), MAX (Valor) FROM Tabla WHERE Numero > 0;

Tabla 3.10 Comandos SQL

3.8.1.1 Configuración de la base de datos.

Para configurar correctamente una base de datos, para enlazar con LabView se deben seguir los siguientes pasos:

- Abrir panel de control
- Abrir herramientas administrativas
- Abrir orígenes de datos (ODBC), aparecerá una ventana como la figura 3.42.



Figura 3.42 Ventana del administrador de orígenes de datos

d) A continuación pulsar el botón **Agregar** y seleccionar "Microsoft Access Driver" de la lista de controladores o drivers. En la ventana de diálogo siguiente, teclear "myDB" para Data Source Name, como puede verse en la figura 3.43.

e) Dentro de la misma pantalla, se selecciona la base de datos con la que se desea trabajar, pulsando la opción **Seleccionar**, y localizando el fichero (Nombre de la base de datos creada) "Estacion.mdb" Una vez hecho esto, clic en **Aceptar** y se cierra el Panel de Control ODBC como se muestra en la figura 3.44.

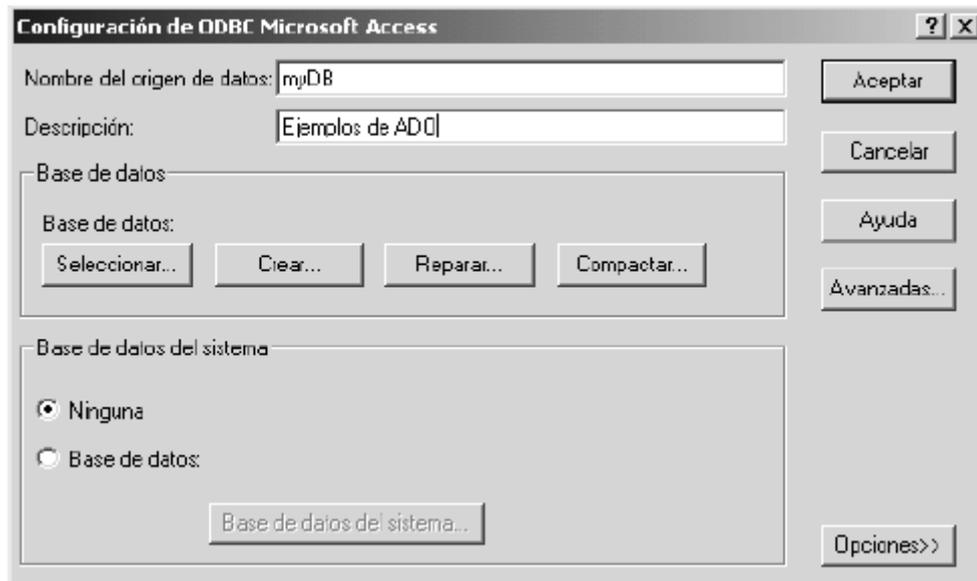


Figura 3.43 Ventana de configuración.

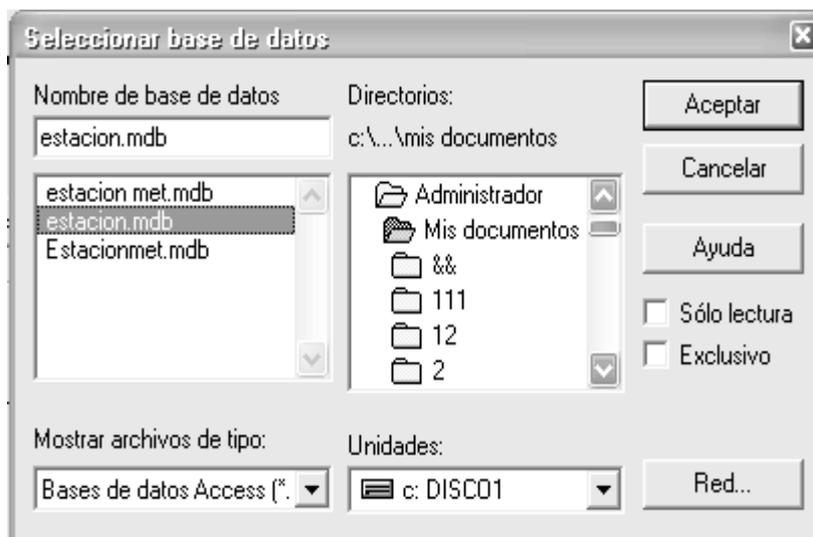


Figura 3.44 Ventana de selección de la base.

Terminados estos pasos y poniendo en modo de ejecución el programa en LabView esta establecida la conexión entre éste y la base de datos en Access.

3.8.1.2 Presentación de las ventanas del programa de monitoreo.

Se presenta en las siguientes páginas cada una de las ventanas que componen el software desarrollado, para monitorear las variables climáticas. En cada una de las ventanas desarrolladas se dispone de un indicador numérico, y uno gráfico el cual permite ver el comportamiento de las variables en función del tiempo.

En la figura 3.45 se presenta la ventana de la variable Temperatura.

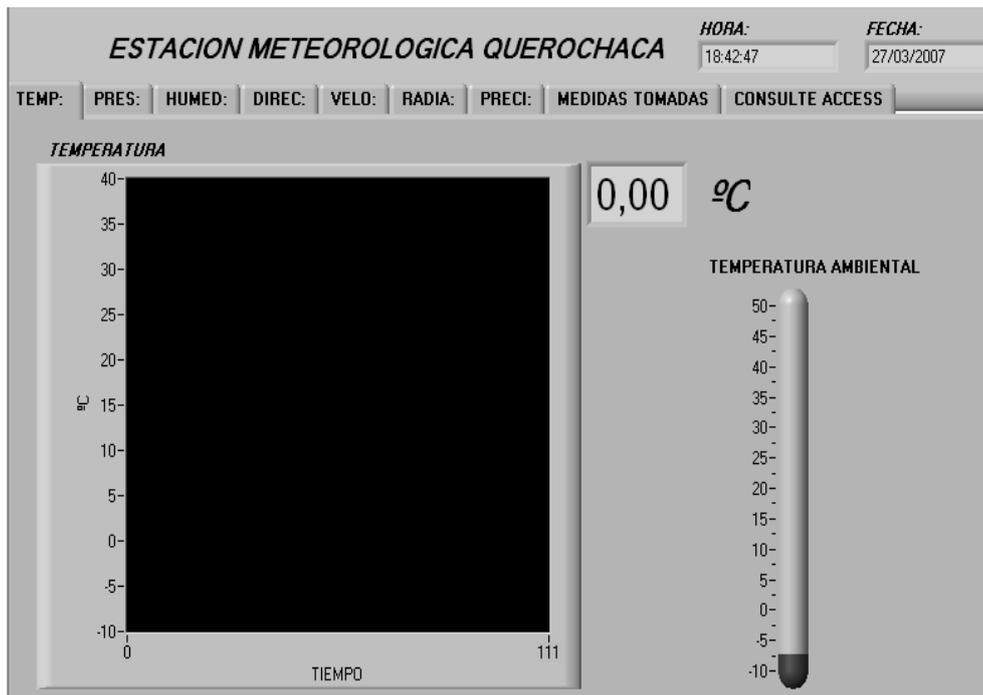


Figura 3.45 Ventana de la temperatura.

En la figura 3.46 se presenta la ventana correspondiente a la presión.



Figura 3.46 Visualización de la presión.

En la figura 3.47 se presenta la ventana correspondiente a la humedad.

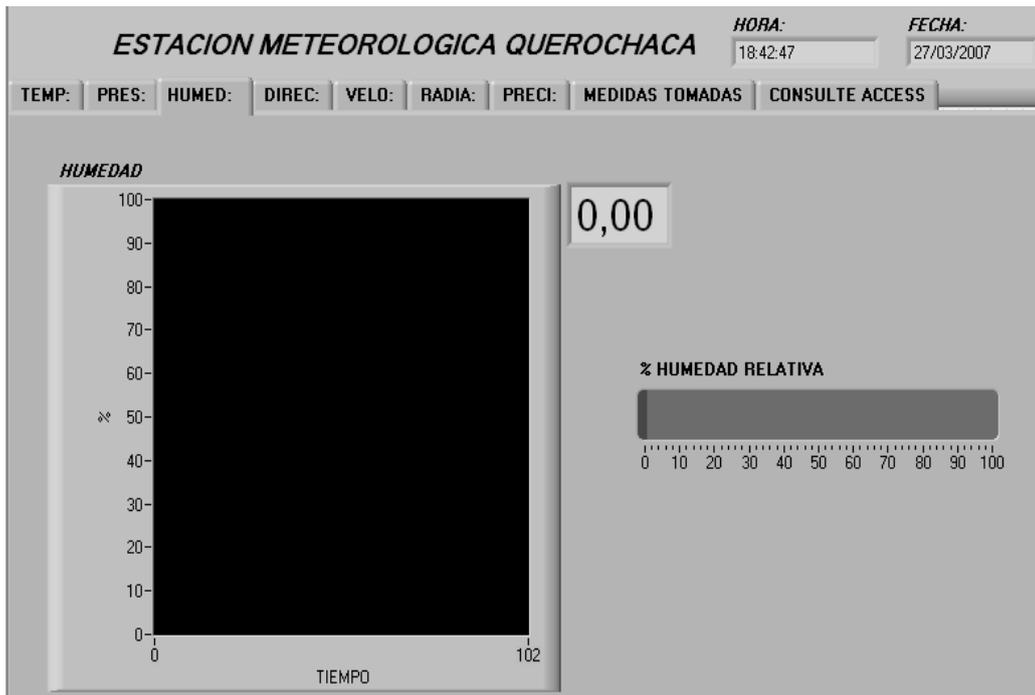


Figura 3.47 Visualización de la humedad relativa.

En la figura 3.48 se presenta la figura correspondiente a la dirección del viento.



Figura 3.48 Visualización de la dirección del viento

En la figura 3.49 se presenta la ventana correspondiente a la velocidad del viento.



Figura 3.49 Visualización de la velocidad del viento.

En la figura 3.50 se presenta la ventana correspondiente a radiación solar.

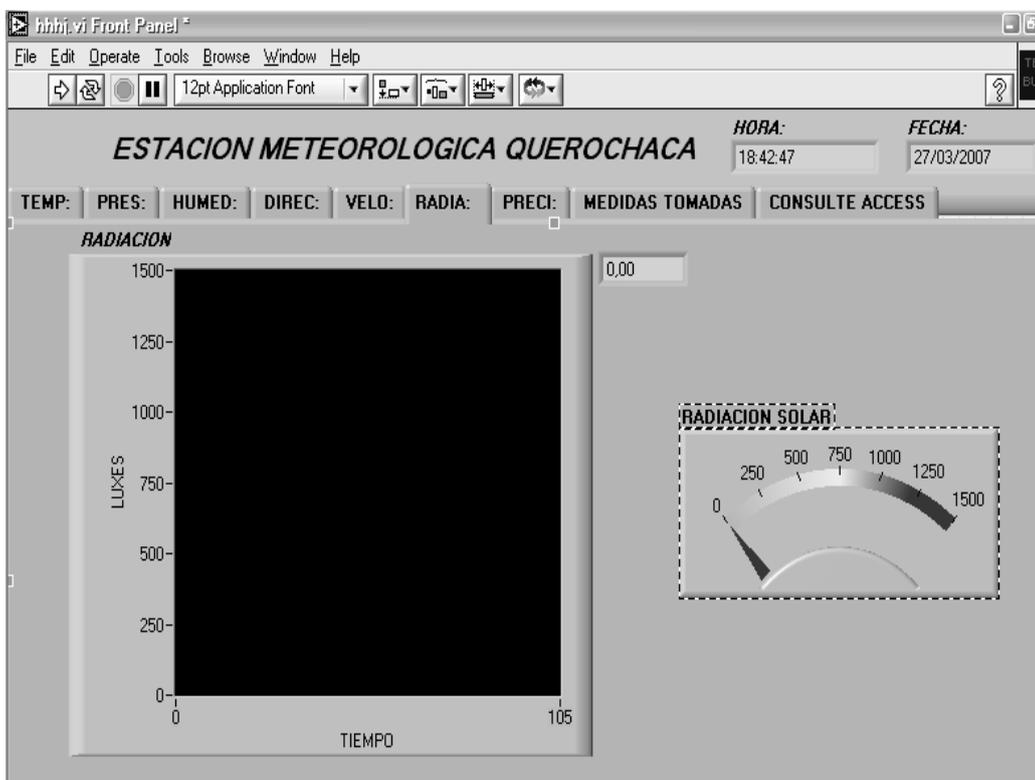


Figura 3.50 Visualización de la Radiación solar.

En la figura 3.51 se indica la ventana correspondiente al nivel de precipitación.



Figura 3.51 Visualización del nivel de lluvia.

En la figura 3.52 se puede observar la ventana correspondiente a visualización de las medidas tomadas en el día.

VARIABLE	Temperatura	Presion	Humedad	Direccion	Velocidad	Radiacion	Precipitacion
7AM	0	0	0	0	0	0	0
10AM	0	0	0	0	0	0	0
1PM	0	0	0	0	0	0	0
4PM	0	0	0	0	0	0	0
7PM	0	0	0	0	0	0	0

Figura 3.52 Visualización de las medidas del día

va situando uno detrás de otro los datos recibidos, de tal forma que al final se tiene toda la cadena de datos pero al revés. El Reversed String se encarga de volver la cadena a su forma original.

En resumen esta secuencia se encarga de recibir todos los caracteres leídos desde la memoria EEPROM en forma de cadena.

La secuencia “uno” se muestra en la figura 3.55, esta secuencia se encarga de generar el archivo en Excel, que después será ocupado por los datos leídos desde la memoria EEPROM.

La secuencia “dos” se muestra en la figura 3.56, esta secuencia se encarga de separar los datos en grupos de dos o de cuatro según sea el caso, de dos si los datos corresponde a día, mes, año, hora y de cuatro si son valores de los sensores; esto lo hace mediante un registro de desplazamiento y una herramienta String subset, una vez separados los datos son añadidos al archivo antes creado.

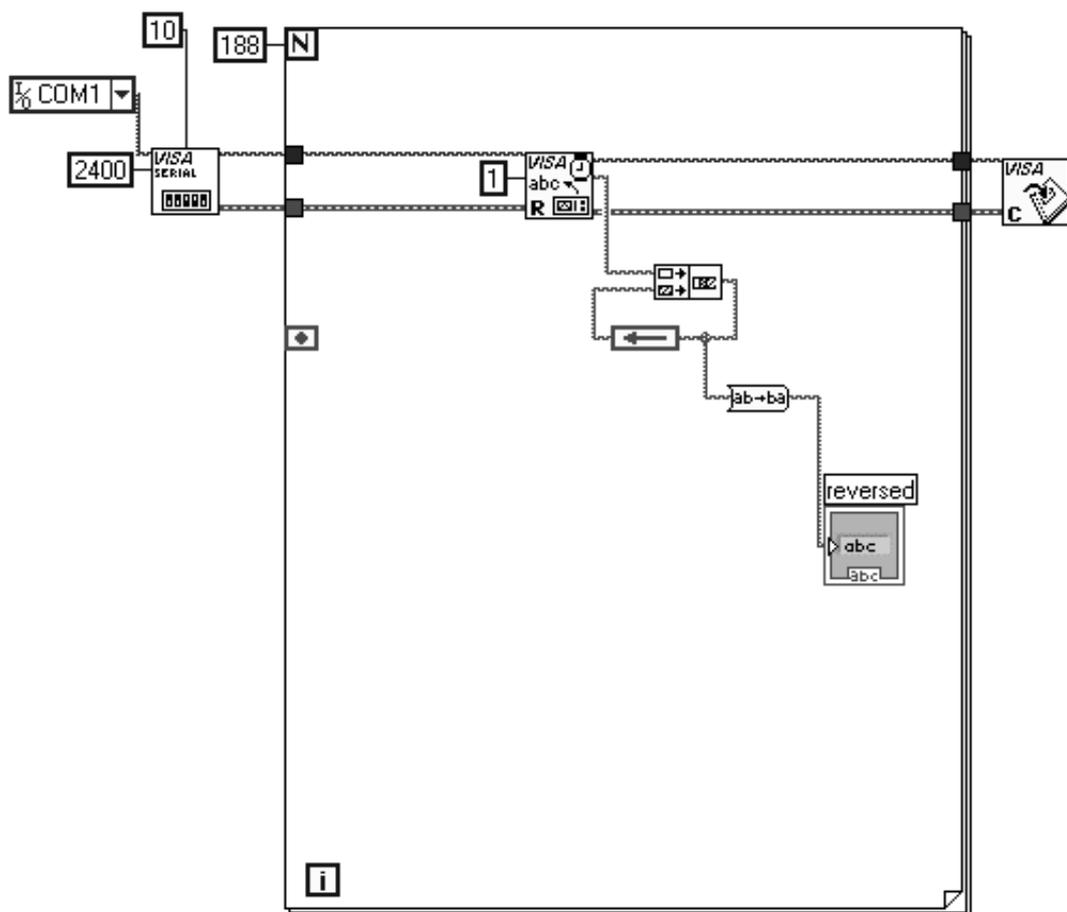


Figura 3.54 Código de la secuencia cero.

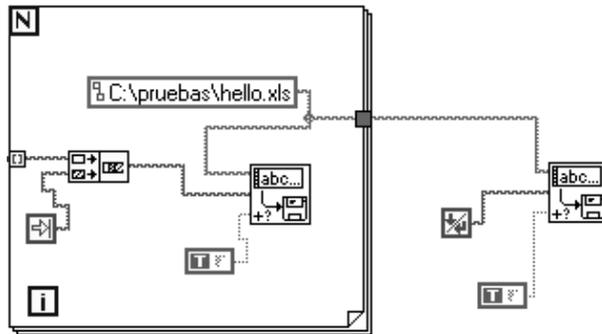


Figura 3.55 Código de la secuencia uno.

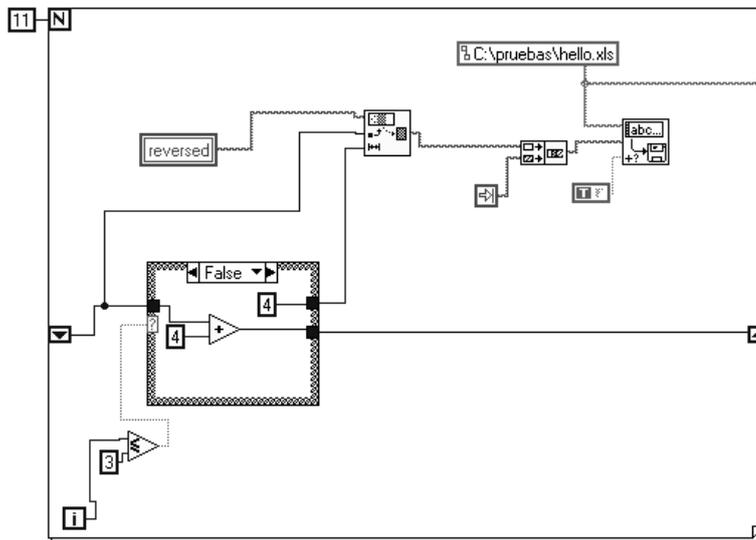


Figura 3.56 Código de la secuencia dos

CAPITULO IV.

PRUEBAS Y RESULTADOS.

4.1. PRUEBAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS CON EL PIC 16F877A

El presente capítulo tiene como objetivo comprobar el óptimo funcionamiento de la adquisición, envío, recepción y descarga de datos.

4.1.1. Pruebas de los conversores análogo digitales.

Como se mencionó en capítulos anteriores, para implementar la estación meteorológica automática se utilizó siete conversores análogo-digitales de los ocho disponibles en el microcontrolador. Cada uno de ellos se configuró a 10 bits de resolución con el fin de tener una mayor sensibilidad a los cambios de voltaje de los sensores, lo que permite realizar mediciones de las variables en el orden de las décimas de grado, en el caso de la temperatura.

Para comprobar que el dato recibido en el PIC es realmente proporcional al voltaje aplicado al conversor análogo-digital se realizó lo siguiente:

Se conoce que el microcontrolador necesita dos voltajes de referencia para realizar la conversión, en el presente proyecto este voltaje es el mismo aplicado al microcontrolador, (5V) el voltaje referencial positivo y (0V) el voltaje referencial negativo; es decir, que cuando el voltaje aplicado al conversor sea cero, se tendrá 0 bits y cuando el voltaje sea cinco se tendrá 1023 ($2^{10}-1$)

El voltaje de referencia es muy importante, y debe mantenerse constante ya que la variación del mismo acarreará un error que puede traducirse en mediciones erradas, esto se lo puede comprobar con la ecuación 4.1

$$\text{Nivel de Bits} = (V_{\text{sensor}} * 1023) / V_{\text{ref}}$$

EC (4.1)

Como demostración se realizó lo siguiente, si se tiene un voltaje en el sensor de 2.78 V con un V_{ref} de 5 V, los bits serán aproximadamente 569, pero si por alguna razón el voltaje aplicado al microcontrolador variara a 4.5 V el valor en bits sería 632 lo cual es incorrecto.

Para comprobar los valores, se procedió a medir el voltaje a la salida del sensor con ayuda de un voltímetro y se realizó un programa sencillo en el PIC para leer y mostrar el valor de los bits en un LCD

En la tabla 4.1 se muestran los valores calculados versus valores obtenidos en la LCD.

Voltaje medido en el sensor.	Nivel de Bits calculados mediante la ecuación 4.1	Nivel de Bits mostrados en la LCD	Error absoluto.
0.1	20.46	20	0.46
0.6	122.76	123	0.24
1.1	225.06	225	0.06
1.5	306.9	307	0.1
2.2	450.12	450	0.12
2.8	572.88	572	0.88
3.3	675.18	675	0.18
3.6	736.56	737	0.44
4.1	838.86	838	0.86
4.7	961.62	962	0.38
5	1023	1023	0

Tabla 4.1 Datos para comprobar el óptimo funcionamiento de los conversores.

Si se observa los datos obtenidos de la LCD y los datos calculados se puede ver que el error entre ellos no es significativo, por lo que se puede concluir que los conversores funcionan correctamente.

Algunas dificultades presentadas al trabajar con los conversores ADC pueden ser la excesiva variación o inestabilidad de los datos debido a la presencia de ruido en la señal proveniente del sensor, si la variable tiene tendencia a cambios bruscos como es el caso de la temperatura, humedad, dirección del viento, entre otras; si éste es el caso la forma de estabilizar la señal es conectar en paralelo con la salida del sensor un capacitor electrolítico el cual atenúa el rizado presente en la señal. De múltiples pruebas que se realizaron se pudo determinar que, el capacitor que más rizado atenúa es de 10 μF .

También se puede disminuir esta inestabilidad de la señal por software mediante una pausa dentro del programa, pero en el presente caso no es muy recomendable ya que la transmisión de datos no sería en tiempo real.

Se debe tener cuidado de no ingresar un voltaje superior a 5 voltios a los pines correspondientes a los conversores ADC ya que provocaría que éstos se averíen.

Se puede anotar otra consideración para el manejo de los conversores ADC, para trabajar a diez bits de resolución es necesario configurar el registro ADCON1 el mismo que consiste de siete bits, concretamente se debe considerar los bits correspondientes que justifican los datos a la derecha o izquierda, generalmente se trabaja justificándolos a la derecha; en la figura 4.1 se puede observar la estructura del registro ADCON1.

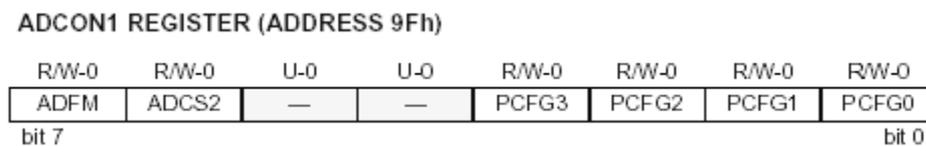


Figura 4.1 Estructura del registro ADCON1

Donde:

BIT 7 (=0 justificado a la izquierda) o (=1 justificado a la derecha).

BIT 6 Frecuencia de conversión, en la figura 4.2 se presenta las posibilidades de configuración.

ADCON1 <ADCS2>	ADCON0 <ADCS1:ADCS0>	Clock Conversion
0	00	FOSC/2
0	01	FOSC/8
0	10	FOSC/32
0	11	FRC (clock derived from the internal A/D RC oscillator)
1	00	FOSC/4
1	01	FOSC/16
1	10	FOSC/64
1	11	FRC (clock derived from the internal A/D RC oscillator)

Figura 4.2 Combinaciones para la frecuencia de conversión.

BITS 5 y 4 (No son importantes, se los define como cero).

BITS 3-0 Configuración de los canales análogos, en la figura 4.3 se dispone de las combinaciones para configurar los canales análogos.

bit 3-0 PCFG3:PCFG0: A/D Port Configuration Control bits

PCFG <3:0>	AN7	AN6	AN5	AN4	AN3	AN2	AN1	AN0	VREF+	VREF-	C / R
0000	A	A	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	8 / 0
0001	A	A	A	A	VREF+	A	A	A	AN3	VSS	7 / 1
0010	D	D	D	A	A	A	A	A	VDD	VSS	5 / 0
0011	D	D	D	A	VREF+	A	A	A	AN3	VSS	4 / 1
0100	D	D	D	D	A	D	A	A	VDD	VSS	3 / 0
0101	D	D	D	D	VREF+	D	A	A	AN3	VSS	2 / 1
011x	D	D	D	D	D	D	D	D	—	—	0 / 0
1000	A	A	A	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	6 / 2
1001	D	D	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	6 / 0
1010	D	D	A	A	VREF+	A	A	A	AN3	VSS	5 / 1
1011	D	D	A	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	4 / 2
1100	D	D	D	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	3 / 2
1101	D	D	D	D	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	2 / 2
1110	D	D	D	D	D	D	D	A	VDD	VSS	1 / 0
1111	D	D	D	D	VREF+	VREF-	D	A	AN3	AN2	1 / 2

A = Analog input D = Digital I/O

C / R = # of analog input channels / # of A/D voltage references

Figura 4.3. Combinaciones para configurar los bits 3-0 del registro ADCON1.

Una vez configurados todos los bits del registro ADCON1 se puede asegurar el óptimo funcionamiento de los conversores.

4.1.2. Pruebas de la transmisión serial.

En el presente proyecto la transmisión serial es un punto muy importante dentro del sistema, ya que del correcto funcionamiento de la transmisión de datos, depende la veracidad de las variables presentadas en LabView; con este fin se decidió seguir los siguientes pasos:

Se colocó en las entradas análogas del microcontrolador siete potenciómetros y fueron fijados a un valor de voltaje de 2V , el microcontrolador fue cargado con un programa que lee los siete canales análogos y los envía serialmente uno detrás de otro a una velocidad de 2400 baudios, y con la ayuda del programa serialCom incluido en la carpeta de microcode Studio se recibió una cadena de 21 caracteres una y otra vez (409409409409409409409), con lo que se pudo comprobar el correcto funcionamiento de la interfaz serial; en el programa definitivo del microcontrolador se decidió empaquetar los datos en bloques constantes de cuatro caracteres para cada canal análogo y se añadió un dato más que corresponde al estado de la memoria (llena o en proceso de llenado); es decir, en total son 29 caracteres; en la figura 4.4 se muestra la llegada de datos al serialCom.

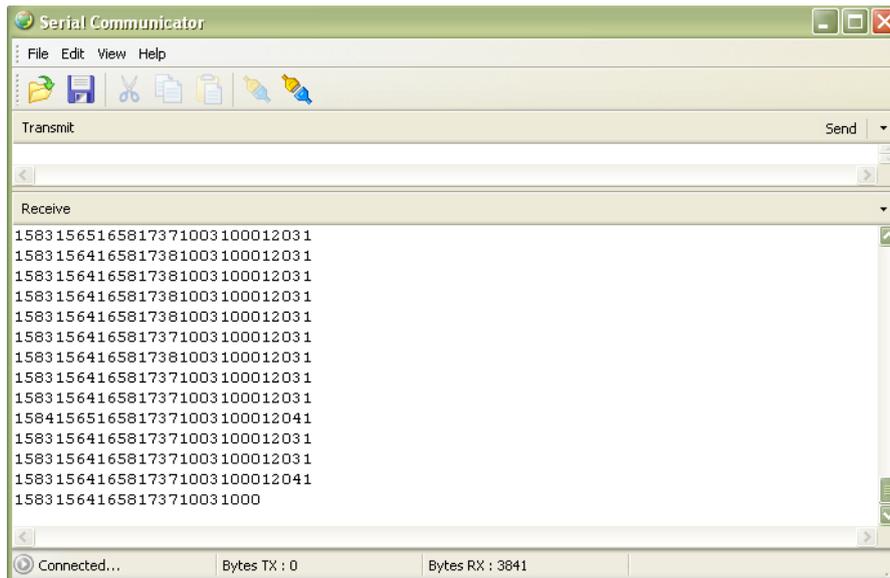


Figura 4.4 Cadenas de datos recibidas en “serialCom”

Cada una de las cadenas correspondientes a los sensores varía de 1000 a 2023 ya que se optó por sumar 1000 al valor leído por el convertidor ADC, esto se puede observar en la tabla 4.2

VOLTAJE (Voltios)	VALOR DIGITAL REAL (Bits)	VALOR EMPAQUETADO (Bits)
0	0	1000
0.5	102	1102
1	204	1204
1.5	306	1306
2	408	1408
2.5	510	1510
3	612	1612
3.5	714	1714
4	816	1816
4.5	918	1918
5	1023	2023

Tabla 4.2 Proceso seguido en el empaquetado de datos.

La utilidad del empaquetado de los datos en cadenas de longitud constante se la examinará en el ítem correspondiente a las pruebas del software.

4.2. PRUEBAS DE LA INTERFACE DE DESCARGA.

La interface de descarga tiene el objetivo de recuperar los datos guardados en la memoria I²C y enviarlos hacia un programa hecho en LabView, el mismo que

manipula convenientemente estos datos. El módulo de descarga se divide en dos partes Hardware y software.

4.2.1. Hardware

Esta parte del módulo se compone de un PIC 16F877A, un MAX 232 y la tarjeta de memoria. Las funciones que cumple son las siguientes:

- a) Lee todas las posiciones de la memoria I²C.
- b) Envía serialmente al PC los datos a 2400 baudios.
- c) Adapta niveles lógicos de voltaje de TTL (+5V/0V) a RS232 (+/-12V).

El hardware necesita de un pulso de activación, para esto tiene un pulsador que al ser activado le ordena al microcontrolador entrar en un lazo de lectura y transmisión.

4.2.2. Software.

El software en LabView realiza los siguientes pasos secuenciales.

- a) Recibe toda la cadena de datos a 2400 baudios.
- b) Crea una página de Excel
- c) Guarda los títulos correspondientes a cada columna.
- d) Separa la cadena de datos en bloques de dos dígitos o de cuatro, dos para los datos de fecha y hora y cuatro para los datos de los conversores.
- e) Los datos de fecha y hora los guarda directamente en la página creada.
- f) Los datos de los conversores, primero son transformados de bits a valores decimales de presión, temperatura, humedad, dirección del viento,..etc.
- g) Guarda los valores de las siete variables.

4.2.3. Prueba del Hardware

Esta prueba fue realizada con el fin de comprobar que el módulo esté enviando los datos y consistió en lo siguiente:

- a) Abrir el programa SerialCom o Hyperterminal.
- b) Pulsar el botón de inicio de transmisión.
- c) Revisar que la cadena de datos no presente símbolos extraños.
- d) Si la cadena de datos de principio a fin es numérica, se podrá concluir que el hardware esta funcionando correctamente. En la figura 4.5 se puede observar la cadena de datos recibida.

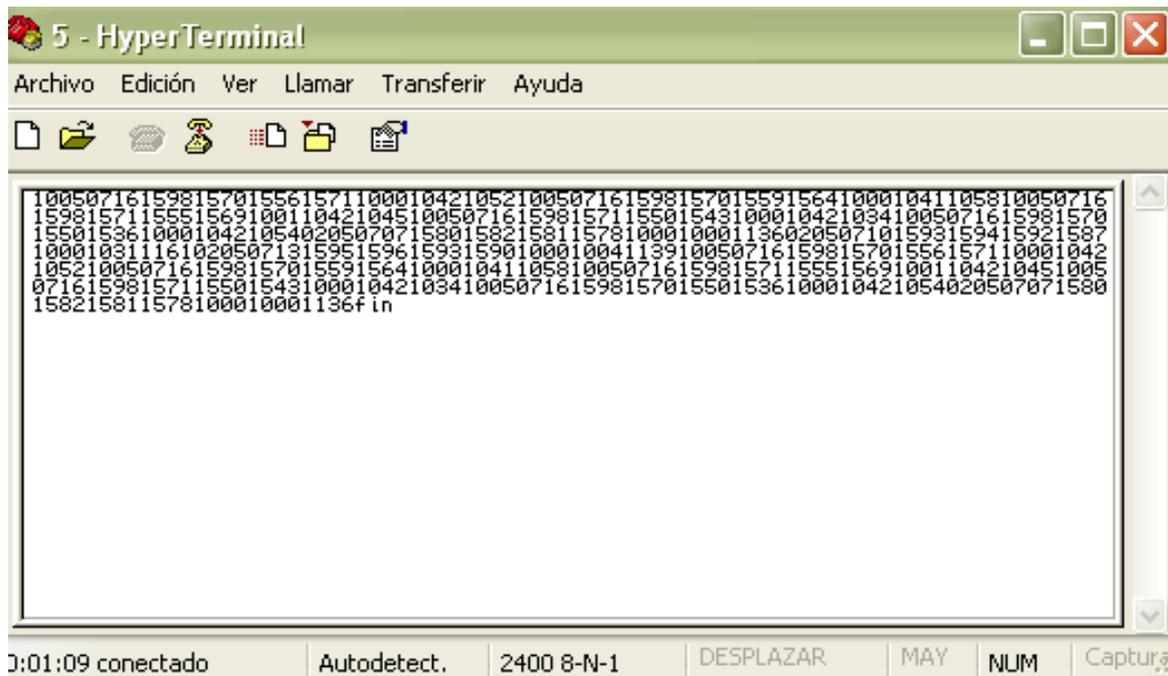


Figura 4.5 Cadena de datos recibida en Hyperterminal.

En la figura 4.5 se observa que la cadena de datos no presenta errores, en su estructura en la parte inferior de la misma se puede ver la configuración del puerto para la recepción de datos (2400-8-N-1), lo cual significa 2400 bps de velocidad, cada dígito a ocho bits, sin paridad, un BIT de parada.

Se puede concluir que el hardware funciona correctamente.

4.2.4. Prueba del software.

Para comprobar el correcto funcionamiento del software se decidió seguir los siguientes pasos.

- a) Abrir el programa en LabView y ponerlo en modo de ejecución.
- b) Pulsar el botón de inicio de la descarga.
- c) Comprobar que la cadena de datos recibida en LabView sea la misma que se recibió en el programa Hyperterminal.
- d) Abrir el archivo creado y comprobar que los datos estén separados correctamente.

En la figura 4.6 se muestra la cadena de datos recibida en LabView y la figura 4.7 contiene la cadena recibida en Hyperterminal.

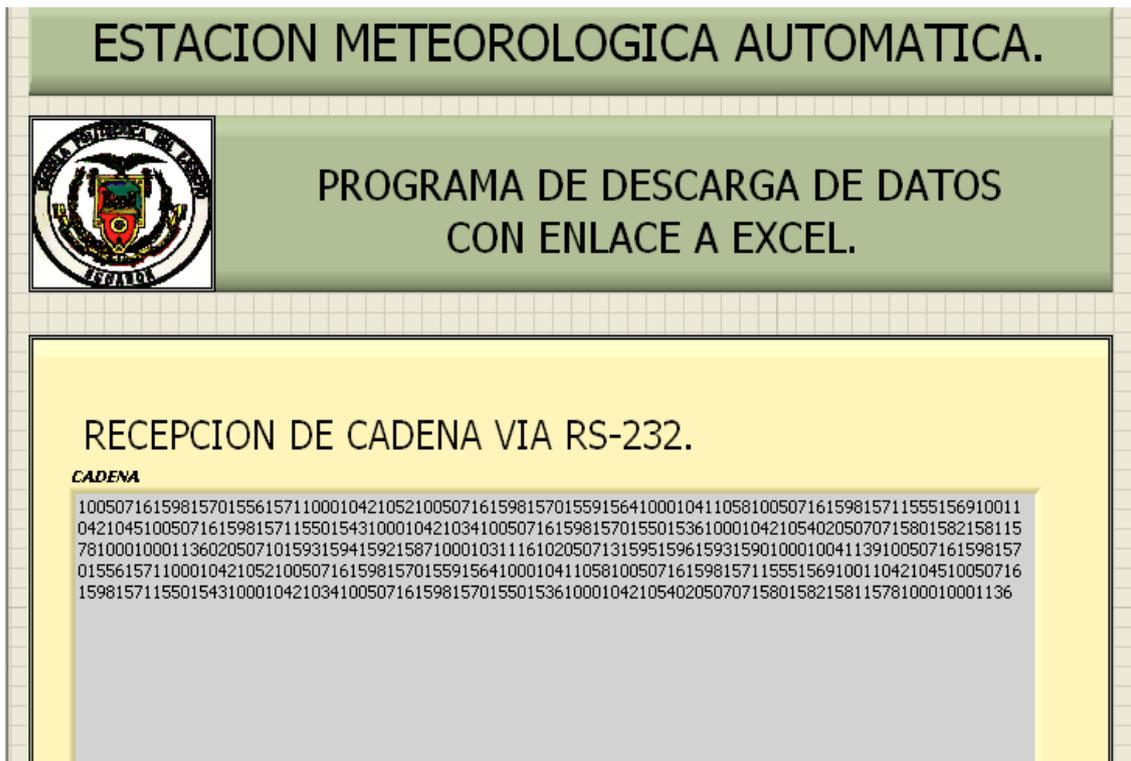


Figura 4.6 Cadena de datos recibida en LabView.



Figura 4.7 Cadena de datos en Hyperterminal

Si se compara las cadenas recibidas en estos dos programas, se observa que son iguales, por lo que se puede concluir que el software recibe correctamente los datos desde el puerto serie.

En la figura 4.8 se observa como fueron separados y guardados los datos en la página de Excel llamado “Eledescarg”

Se puede apreciar en la figura 4.8 como los datos que anteriormente en la figura 4.6 se recibió en forma continua, ahora se los tiene por separado, se observa claramente que los primeros ocho dígitos son separados en longitudes de dos. Estos datos corresponden al día, mes, año, y hora.

Para comprobar la veracidad de los datos se tomó los primeros ocho números de la figura 4.6 (10050716); separados, deberán observarse en Excel desde la primera fila y columna de la siguiente manera: día (=10), mes (=05 ó 5), año (=07 ó 7) y hora (=16); los siguientes son tratados de diferente forma ya que se trata de un valor en bits y lo que se necesita almacenar en el archivo son valores en grados centígrados, Hectopascales, Porcentaje, Grados norte, Kilómetros / hora, vatios/ metro cuadrado y milímetros, por lo que se decidió hacer lo siguiente:

- a) Separar los datos en subcadenas de 4 caracteres.

- b) Transformar a número decimal
- c) Desempaquetar los datos (restar 1000)
- d) Ingresar dentro de la ecuación correspondiente.

Para comprobar que el dato guardado de temperatura es el correcto se tomó de la figura 4.6 los caracteres del nueve al doce (1598 bits) este valor se ingresó en la ecuación de la temperatura.

$$^{\circ}\text{C} = (49 \cdot (\text{bits} - 1000) - 27200) / 100 \quad \text{EC (4.2)}$$

$$^{\circ}\text{C} = (49(1598 - 1000) - 27200) / 100$$

$$^{\circ}\text{C} = 21.02$$

De esta forma queda demostrado que los datos almacenados en el documento en Excel son correctos, ya que este valor corresponde perfectamente al que fue almacenado en la hoja de Excel en la posición E2.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Día	Mes	Año	Hora	Temperatura	Presion	Humedad	Direccion	Velocidad	Radiacion	Precipitacion	
2	10	5	7	16	21,02	712,155579	61,854759	0,031006	0	121,800003	0,127077	
3	10	5	7	16	21,02	712,155579	62,327751	0,030626	0	118,900002	0,14174	
4	10	5	7	16	21,02	713,21814	61,697094	0,030897	0,048876	121,800003	0,109971	
5	10	5	7	16	21,02	713,21814	60,908775	0,029485	0	121,800003	0,083089	
6	10	5	7	16	21,02	712,155579	60,908775	0,029105	0	121,800003	0,131965	
7	2	5	7	7	12,2	724,905823	65,796364	0,031386	0	0	0,332356	
8	2	5	7	10	18,57	737,656067	67,530663	0,031875	0	89,900002	0,393451	
9	2	5	7	13	19,549999	739,781067	67,688332	0,032038	0	11,6	0,339687	
10	10	5	7	16	21,02	712,155579	61,854759	0,031006	0	121,800003	0,127077	
11	10	5	7	16	21,02	712,155579	62,327751	0,030626	0	118,900002	0,14174	
12	10	5	7	16	21,02	713,21814	61,697094	0,030897	0,048876	121,800003	0,109971	
13	10	5	7	16	21,02	713,21814	60,908775	0,029485	0	121,800003	0,083089	
14	10	5	7	16	21,02	712,155579	60,908775	0,029105	0	121,800003	0,131965	
15	2	5	7	7	12,2	724,905823	65,796364	0,031386	0	0	0,332356	
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												

Figura 4.8 Página de datos archivo “Eledescarg”

Una vez realizadas todas las pruebas se puede concluir que el módulo de descarga en su totalidad funciona correctamente.

4.3. PRUEBAS DEL SOFTWARE DE MONITOREO

El software de monitoreo fue puesto a prueba comparando los datos mostrados en la LCD y los valores visualizados en LabView.

En general las pruebas del software de monitoreo fueron divididas en:

1. Comparación de los datos visualizados en LabView versus valores de la LCD.
2. Prueba de la recolección de datos.
3. Prueba de la recolección de datos en Access.

4.3.1. Comparación de datos (LabView vs. LCD)

En las siguientes figuras se muestran los valores presentados en la LCD y en LabView.

En la figura 4.9 se muestra la ventana de Temperatura del programa de monitoreo de LabView.

En la figura 4.10 se presenta la ventana de presión atmosférica.

En la figura 4.11 se muestra la ventana de Humedad relativa.

En la figura 4.12 se presenta la ventana de dirección del viento.

En la figura 4.13 se muestra la ventana de velocidad del viento.

En la figura 4.14 se observa la ventana de radiación solar.

En la figura 4.15 se puede ver la ventana de nivel de precipitaciones.

Como se ha visto todas las ventanas del programa de monitoreo en LabView presentan datos coherentes de las variables atmosféricas que se han medido, por lo que se concluye que el software funciona correctamente, tanto en la parte de lectura y troceado de las cadenas, como la parte de visualización de los datos.

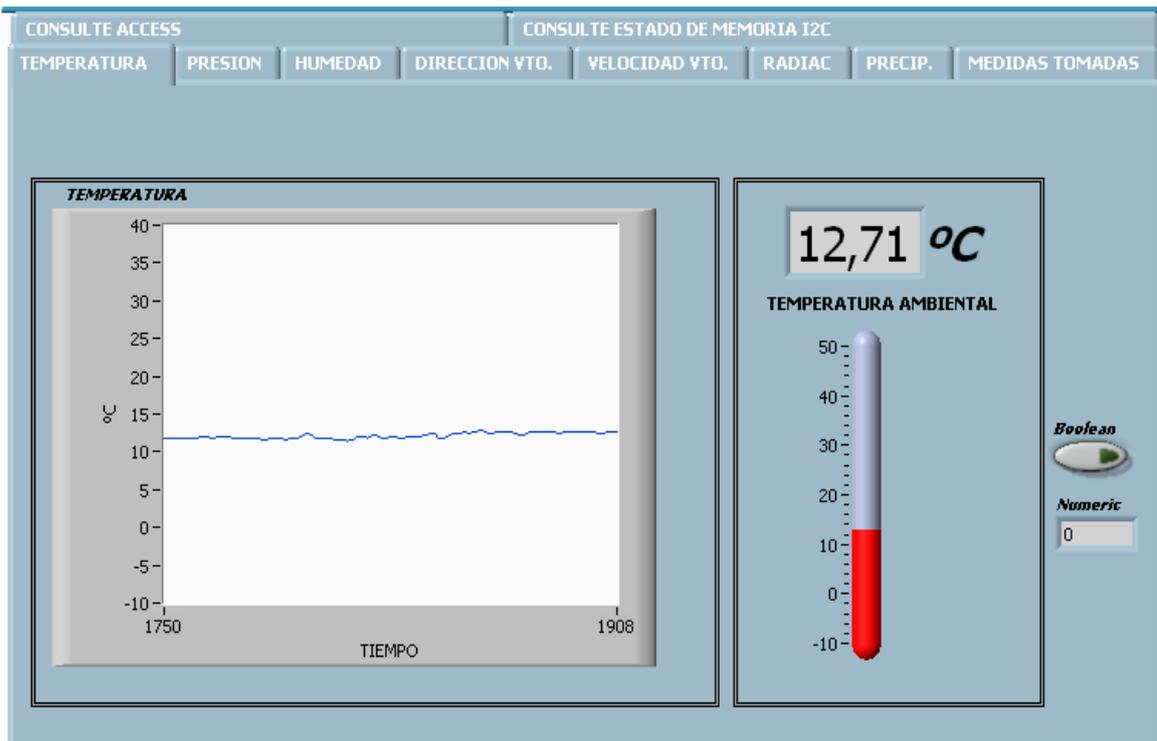


Figura 4.9 Ventana de monitoreo de temperatura.

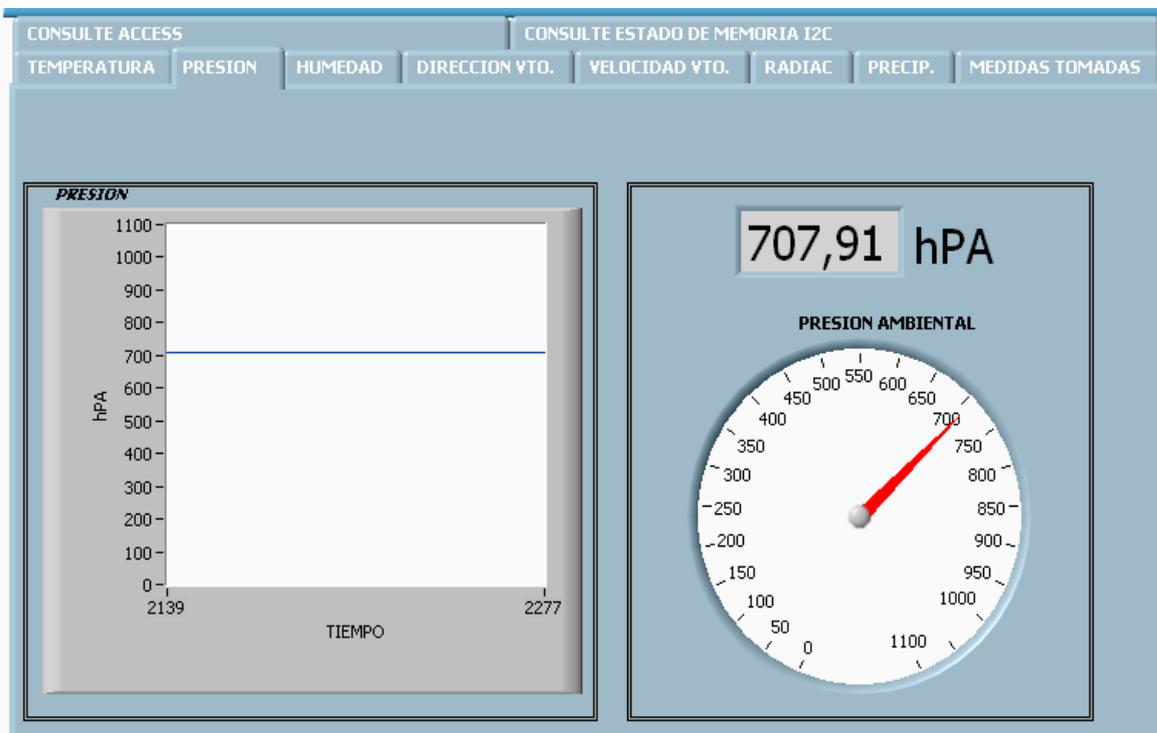


Figura 4.10 Ventana de monitoreo de presión atmosférica.

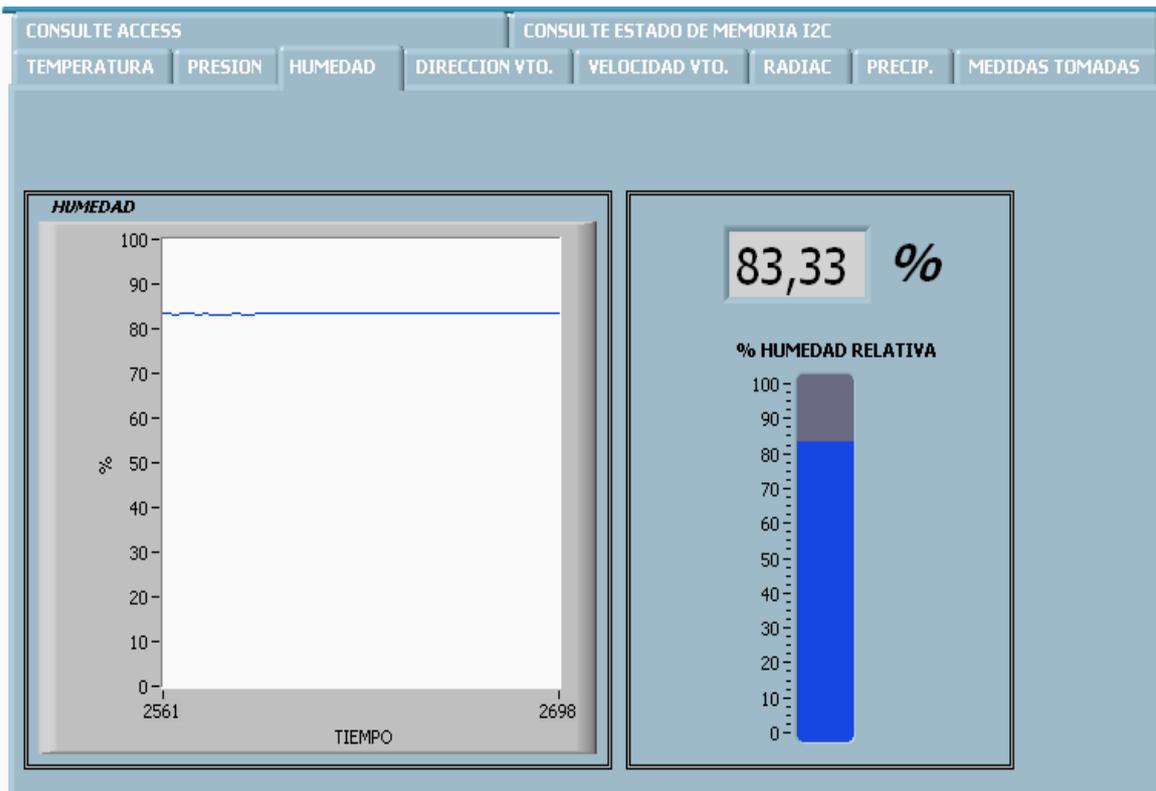


Figura 4.11. Ventana de monitoreo de humedad relativa.

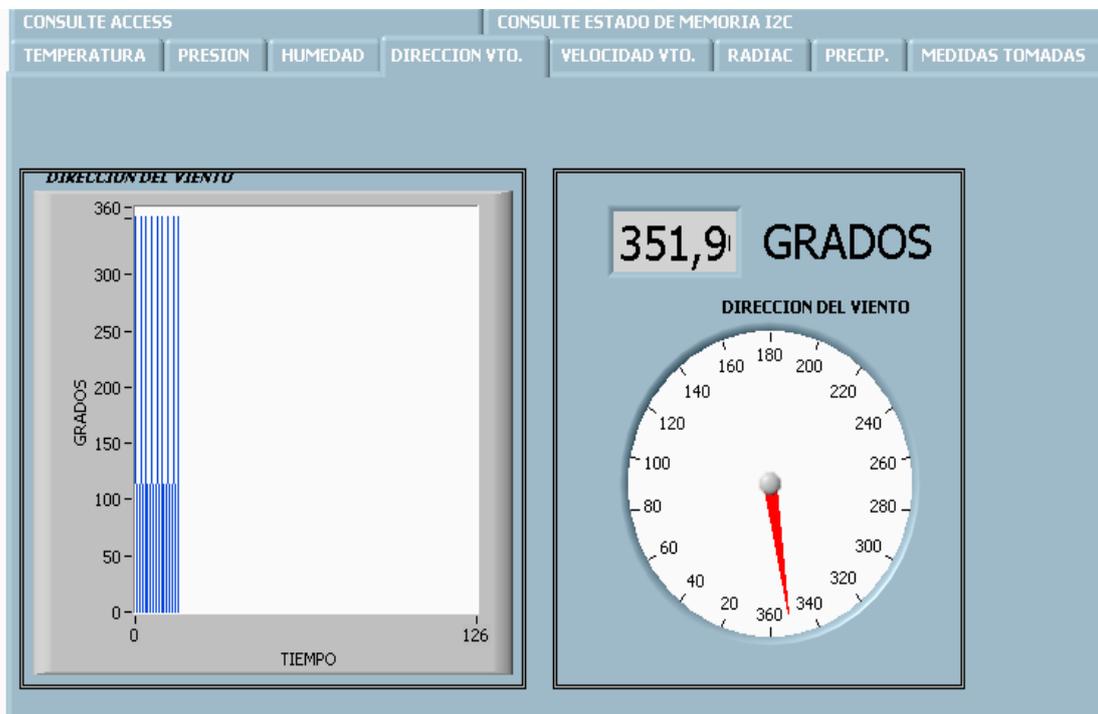


Figura 4.12. Ventana de monitoreo de la dirección del viento.

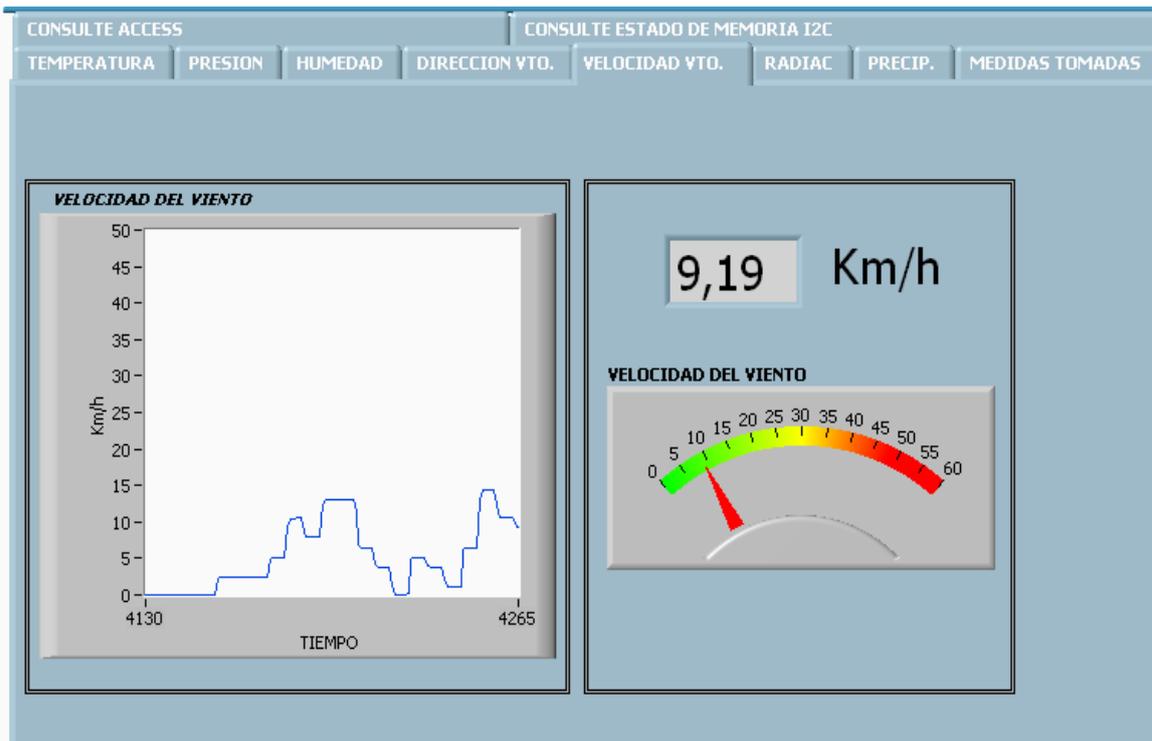


Figura 4.13. Ventana de monitoreo de la velocidad del viento.

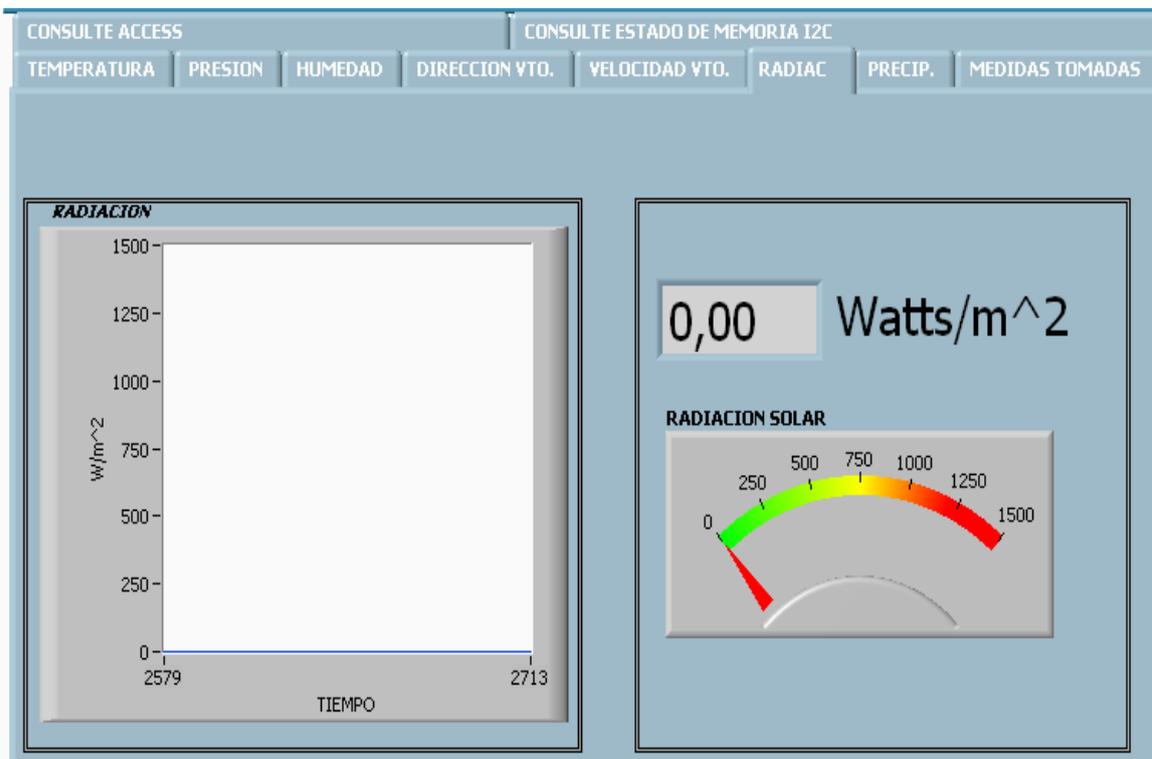


Figura 4.14. Ventana de monitoreo de la radiación solar.

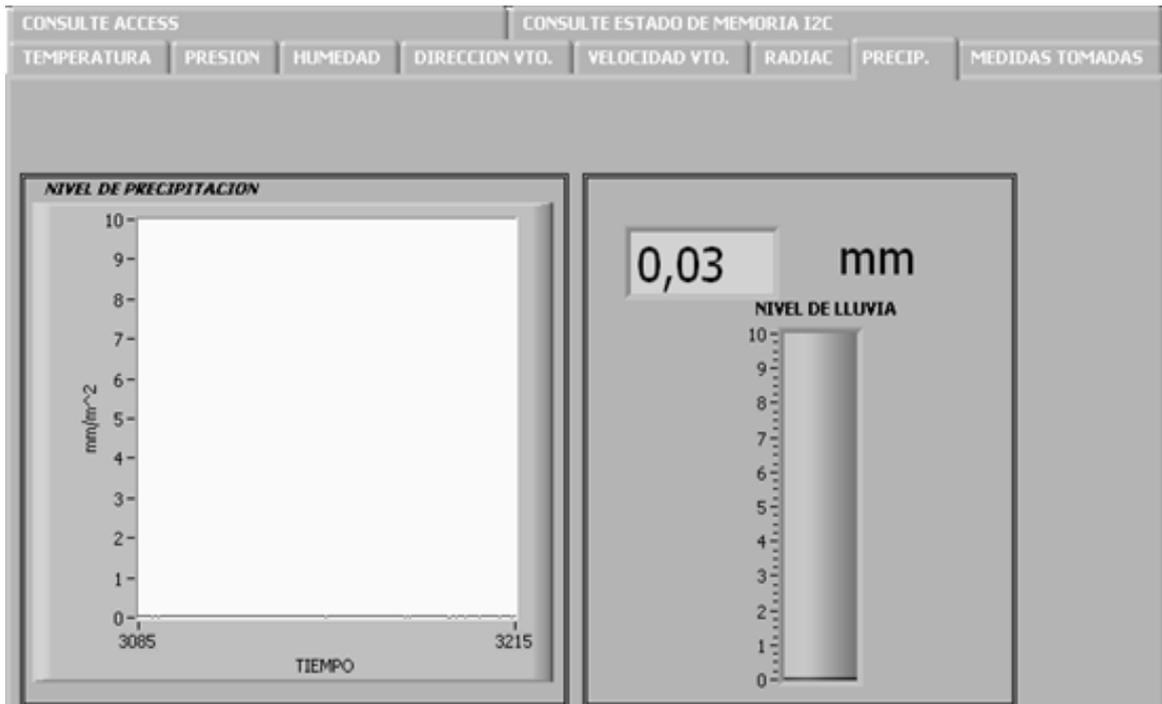


Figura 4.15. Ventana de monitoreo de la precipitación.

En las siguientes figuras se muestran los valores mostrados en la LCD de 16x2

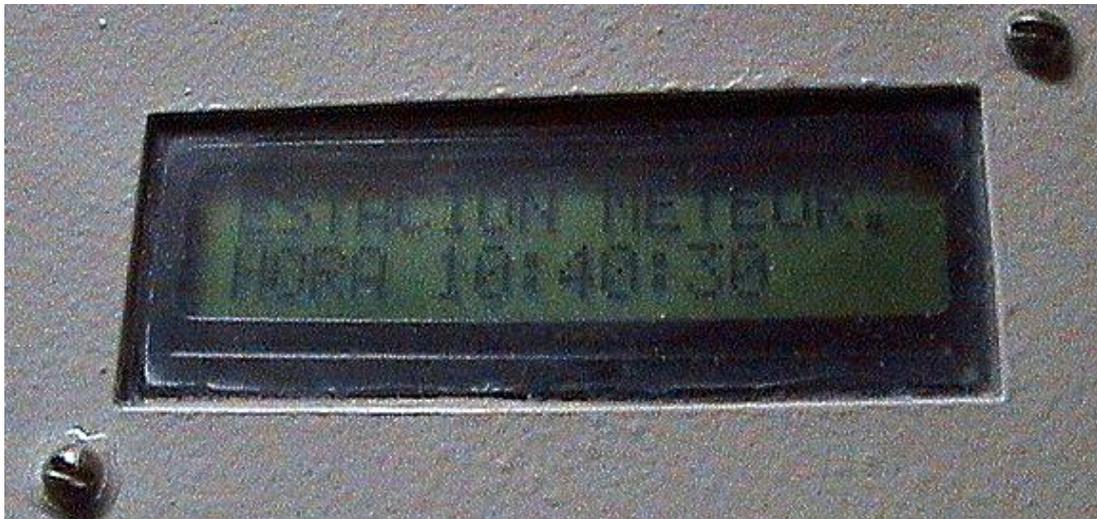


Figura 4.16. Mensaje de inicio en la LCD.

En la figura 4.16 se puede observar el mensaje de inicio en el módulo de campo.

En la figura 4.17 se muestra el despliegue de la temperatura en la LCD.

En la figura 4.18 se observa como se despliega el valor de la presión atmosférica en la LCD.

En la figura 4.19 se puede ver el valor de la humedad relativa.

En la figura 4.20 se muestra el valor de la dirección del viento.

En la figura 4.21 se observa la velocidad del viento.

En la figura 4.22 podemos ver la radiación solar.

En la figura 4.23 se muestra el valor del nivel de precipitaciones.

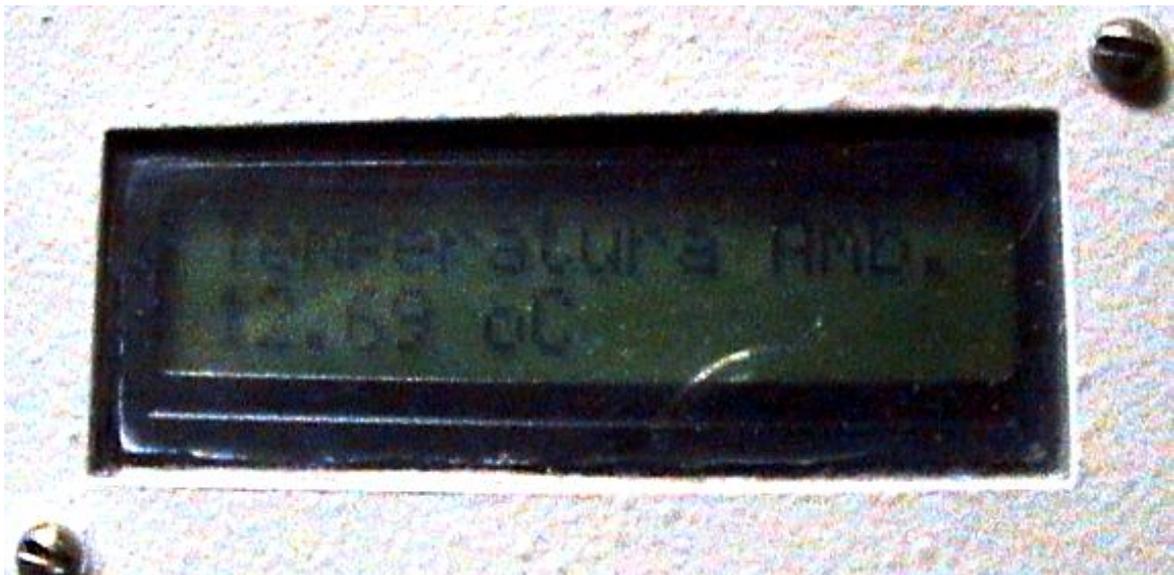


Figura 4.17. Visualización de la temperatura en el módulo de campo

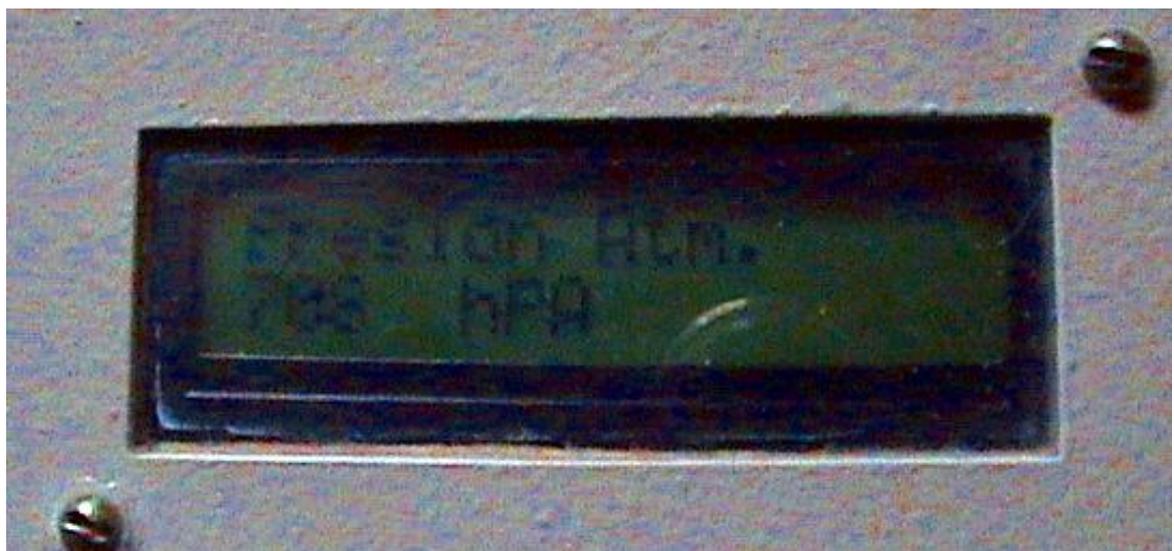


Figura 4.18. Visualización de la presión en el módulo de campo

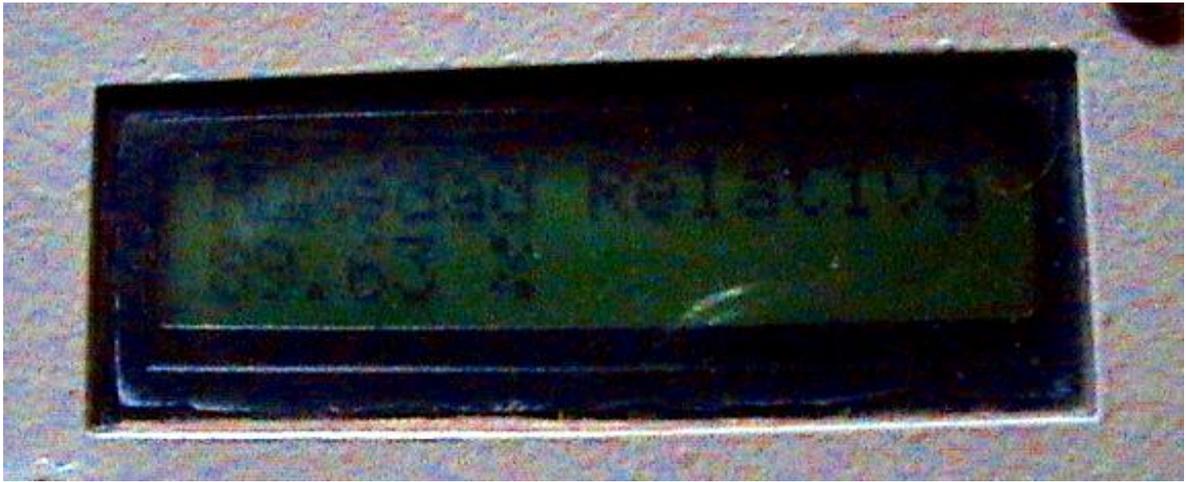


Figura 4.19. Visualización de la humedad relativa en el módulo de campo.



Figura 4.20. Visualización de la dirección del viento en campo



Figura 4.21. Visualización de la velocidad del viento en campo.



Figura 4.22. Visualización de la radiación solar en el campo.



Figura 4.23. Visualización del nivel de precipitaciones en campo.

Como se puede observar los datos mostrados tanto en la LCD como en el software de monitoreo de LabView corresponden entre sí. De esta forma se asegura que el sistema en sí, funciona correctamente.

Variable	Dato en LabView	Dato en LCD	Error absoluto.
Temperatura. [°C]	12.71	12.69	0.02
Presión. [hPa]	707.91	708	0.09
Humedad. [%]	83.33	83.63	0.3
Dirección del viento. [GN]	351.9	352	0.1
Velocidad del viento. [Km./h]	9.19	9	0.19
Radiación solar. [W/m ²]	0	0	0
Nivel de precipitaciones. [mm]	0.03	0.03	0

Tabla 4.3 Comparación de datos (Módulo de Campo vs. Datos LabView)

Algunos datos presentan variaciones en los decimales, debido a que LabView puede trabajar con variables de tipo Double y el microcontrolador PIC trabaja con una precisión menor. Al medir el ángulo de procedencia del viento (Dirección del viento) el error que se muestra (0.1), entre las medidas no es significativo ya que las medidas de dirección del viento se toman con incrementos de 45 grados, es decir, Son ocho las posibles direcciones (Norte, Sur, Este, Oeste, Noreste, Sureste, Suroeste, Noroeste).

4.3.2. Prueba de la recolección de datos (Excel).

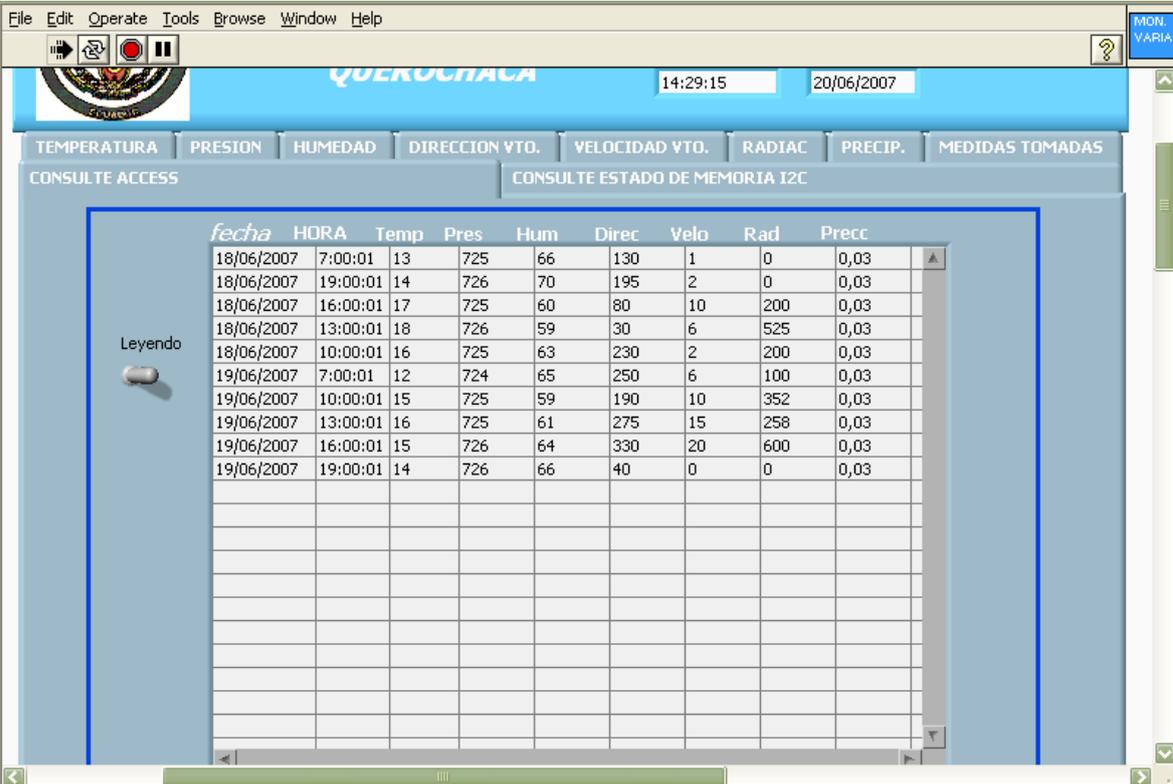
Para realizar esta prueba, el sistema permaneció funcionando por 48 horas, los días 18 y 19 de junio del año en curso. El software de monitoreo de forma automática debe crear un archivo denominado “p”, en la siguiente dirección de memoria del disco duro “C:\pruebas\p.xls” el mismo debe presentar un formato adecuado para ser abierto en Excel, en la figura 4.23 se muestra el resultado obtenido.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	ESPE-ELECTROMECHANICA								
2	ESTACION METEOROLOGICA								
3	FECHA:	18/06/2007							
4	HORA:	7:00:01							
5	FECHA:	HORA:	TEMPERATU	PRESION:	HUMEDAD:	DIRECCION:	VELOCIDAD:	RADIACION:	PRECIPITACION:
6	18/06/2007	7:00:01	13,25	725,1	66,2	129,5	1,3	0	0,03
7	18/06/2007	10:00:01	16,25	725,8	63,2	230,5	2,1	200,2	0,03
8	18/06/2007	13:00:01	18,5	726,6	59,6	30,3	6,2	525,6	0,03
9	18/06/2007	16:00:01	17,1	725,5	60,2	80,1	10,1	200,2	0,03
10	18/06/2007	19:00:01	14,2	726,5	70,5	194,6	1,9	0	0,03
11	ESPE-ELECTROMECHANICA								
12	ESTACION METEOROLOGICA								
13	FECHA:	19/06/2007							
14	HORA:	7:00:01							
15	FECHA:	HORA:	TEMPERATU	PRESION:	HUMEDAD:	DIRECCION:	VELOCIDAD:	RADIACION:	PRECIPITACION:
16	18/06/2007	7:00:01	12,2	724,2	65,1	250,1	6,2	100,2	0,03
17	18/06/2007	10:00:01	15,3	724,9	59,2	190,2	10,4	352,2	0,03
18	18/06/2007	13:00:01	16,4	725,5	64,2	330,1	20,1	258,3	0,03
19	18/06/2007	16:00:01	15,2	725,5	64,2	330,1	20,1	600,3	0,03
20	18/06/2007	19:00:01	14,1	726,3	66,3	40,3	0,3	0,2	0,03
21									
22									
23									
24									
25									

Figura 4.24. Datos recolectados en Excel.

4.3.3. Prueba de la recolección de datos en (Access)

Al igual que en la prueba anterior, ésta consistió en dejar funcionando el sistema por 48 horas y los datos recolectados son los que se pueden apreciar en la figura 4.24.



The screenshot shows a software application window titled 'QUEROCHACA'. The interface includes a menu bar (File, Edit, Operate, Tools, Browse, Window, Help), a toolbar with icons for home, refresh, stop, and play, and a status bar showing the time '14:29:15' and date '20/06/2007'. Below the status bar are several tabs: 'TEMPERATURA', 'PRESION', 'HUMEDAD', 'DIRECCION VTO.', 'VELOCIDAD VTO.', 'RADIAC', 'PRECIP.', and 'MEDIDAS TOMADAS'. The main area displays a table with the following data:

fecha	HORA	Temp	Pres	Hum	Direc	Velo	Rad	Precc
18/06/2007	7:00:01	13	725	66	130	1	0	0,03
18/06/2007	19:00:01	14	726	70	195	2	0	0,03
18/06/2007	16:00:01	17	725	60	80	10	200	0,03
18/06/2007	13:00:01	18	726	59	30	6	525	0,03
18/06/2007	10:00:01	16	725	63	230	2	200	0,03
19/06/2007	7:00:01	12	724	65	250	6	100	0,03
19/06/2007	10:00:01	15	725	59	190	10	352	0,03
19/06/2007	13:00:01	16	725	61	275	15	258	0,03
19/06/2007	16:00:01	15	726	64	330	20	600	0,03
19/06/2007	19:00:01	14	726	66	40	0	0	0,03

Figura 4.25. Datos recolectados en Access.

La figura muestra de una forma clara como se van almacenando las lecturas en la base de datos.

4.4. PRUEBAS DE RECEPCIÓN DE DATOS VIA RF.

Para comprobar que los datos, lleguen en forma correcta se puso en funcionamiento el módulo de campo y se movió el receptor a diferentes posiciones. En el computador se puede observar la llegada de las cadenas de datos por medio del programa Hyperterminal; de las pruebas realizadas se pudo extraer la información presentada en la tabla 4.4, estos valores pueden variar en otro lugar dependiendo de la contaminación por RF presente en el lugar. Se entiende por contaminación RF a la cantidad de emisiones de radio frecuencia presentes en el sitio, esto debido a plantas industriales cercanas (motores), líneas

de alta tensión, Antenas de operadoras móviles, emisoras de radio, televisoras,.. etc. Pueden causar interferencia en el flujo normal de datos.

Distancia [m]	Recepción de datos.	Estado del medio
20	Excelente.	No influye en esta distancia.
40	Excelente.	No influyen.
100	Excelente.	Soleado y despejado.
300	Excelente. Buena.	Soleado y despejado Nublado y con presencia de llovizna.
400	Buena. Regular.	Soleado y despejado. Presencia de lluvia o de vapor de agua
500	Buena. Pésima.	Soleado y despejado. Presencia de lluvia.
600	Regular.	Soleado y despejado.
>700	Pésima.	Empeora con la lluvia.

Tabla 4.4. Resultados de la prueba de distancia.

Excelente= Cadenas de caracteres libres de símbolos no numéricos (Datos 100 por ciento confiables).

Ejemplo: 10021245136412581247136512481

Buena = Ocasionalmente presenta un carácter no numérico (No influye en la veracidad de los datos, ya que el sistema recupera rápidamente la estabilidad).

Ejemplo: 1002124513#412581247136512481

Regular = Presenta más frecuentemente caracteres no numéricos en la cadena de datos (Influye en la visualización de los datos).

Ejemplo: 10021\$45136/125812&7136512481

Pésima = Los caracteres no numéricos sobrepasan el 50% del total de elementos de la cadena (Datos poco confiables).

Ejemplo: "0@2/24(13\$41\$58!24|1^6,1ñ481

Con la información de la tabla 4.4 ya se puede concluir que la distancia más aconsejable para transmitir información, con el tipo de radios usados en el presente proyecto es de 300 m.

La disposición del transmisor de RF respecto al receptor en el presente proyecto esta dentro de este rango, por esta razón se puede decir que los datos disponibles son veraces.

4.4. COMPROBACIÓN DE LAS LECTURAS CON PATRONES.

Para comprobar que los datos mostrados en la pantalla de cristal líquido LCD como en los patrones son similares, se decidió realizar una tabla comparativa de ellos (tabla 4.5). Merece aclaración que los datos de la columna referidas a la medida del patrón fueron tomadas de los instrumentos presentes en la estación manual a cargo del meteorólogo Carlos Gómez.

Variable.	Valor mostrado en LCD	Medida del patrón.	Error absoluto.
Temperatura.	16.12 °C	16.1	0.02
Presión.	727 hPa	726,5	0.5
Humedad.	66.6 %	66	0.6
Dirección.	130 GN	Dirección SURESTE	-----
Velocidad.	12 Km./h	---	-----
Radiación.	800 W/m ²	----	-----
Precipitaciones.	0.03 mm.	0	0.03

Tabla 4.5. Comparación de datos con instrumentos patrón.

Las medidas de los instrumentos patrones y los del presente proyecto evidencian variaciones, dentro de un rango aceptable; si se toma en cuenta que la precisión del sistema de sensores frente a los instrumentos manuales es mejor; del mismo modo la velocidad de respuesta de los instrumentos de la estación manual es menor, a la velocidad de respuesta del sistema implementado. La tabla 4.6 muestra lecturas tomadas con intervalos de 1 hora.

Hora	Variable.	Valor mostrado en LCD	Medida del patrón.	Error calculado
10:00	Temperatura.	14.51 °C	14.5	0.01
	Presión.	726 hPa	726,5	0.5
	Humedad.	40 %	39	1
	Dirección.	82 GN	Dirección Noreste	-----
	Velocidad.	10 Km./h	---	-----
	Radiación.	50 W/m ²	----	-----
	Precipitaciones.	0.03 mm.	0	0.03
11:00	Temperatura.	16.12 °C	16.1	0.02
	Presión.	726 hPa	726	0
	Humedad.	38 %	39	1
	Dirección.	170 GN	Dirección Sureste	-----
	Velocidad.	2 Km./h	-----	-----
	Radiación.	200 W/m ²	-----	-----
	Precipitaciones.	0.03 mm.	0	0.03
12:00	Temperatura.	17.52 °C	17.5	0.02

	Presión.	726 hPa	725.5	0.5
	Humedad.	35 %	36	1
	Dirección.	220 GN	Dirección Suroeste	-----
	Velocidad.	5 Km./h	-----	-----
	Radiación.	400 W/m ²	-----	-----
	Precipitaciones.	0.03 mm.	0	0
13:00	Temperatura.	15,42 °C	15.3	0.12
	Presión.	725 hPa	725,5	0.5
	Humedad.	60 %	61	1
	Dirección.	352 GN	Noroeste	-----
	Velocidad.	2 Km./h	-----	-----
	Radiación.	300 W/m ²	-----	-----
	Precipitaciones.	0.03 mm.	0	0.03

Tabla 4.6. Recolección de datos.

Mirando los datos del presente proyecto, respecto a los instrumentos de la estación meteorológica manual se puede afirmar que el sistema implementado funciona correctamente y satisface las expectativas.

CAPITULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. CONCLUSIONES.

- ✓ Al finalizar el proyecto de “Diseño e implementación de una estación meteorológica automática” y una vez comprobada su operación, se puede afirmar que se ha cumplido con los objetivos generales y específicos, planteados al inicio.
- ✓ Se ha obtenido información meteorológica en tiempo real a través de los sensores implementados en la estación automática, con el fin de contribuir a que el técnico del INAMHI pronostique los fenómenos climáticos con mayor precisión.
- ✓ Se ha analizado los principios de funcionamiento de los sensores de temperatura ambiente, humedad, presión, velocidad del viento, dirección del viento, radiación solar y precipitación de lluvia, así como también sus ventajas y desventajas en la utilización para estaciones meteorológicas.
- ✓ Se ha diseñado e implementado el equipo para la recolección de datos mediante una memoria EEPROM y un reloj en tiempo real RTC así como el envío de la información vía radio frecuencia.
- ✓ Se implementó el software para analizar los datos recibidos así como también se generó una base de datos enlazando LABVIEW con EXCEL y ACCESS con el fin de llevar un registro de datos históricos que sirvan de ayuda para el técnico del INAMHI.

- ✓ Finalmente se implementó una Estación Meteorológica Automática (E.M.A) cuyas variables puedan ser observadas a distancia y en tiempo real.
- ✓ Los transmisores RF tienen una distancia óptima para realizar transmisión de datos, además la señal puede sufrir distorsiones dependiendo de las condiciones físicas del medio ambiente (lluvia, neblina, ceniza volcánica, polvo.)

5.2. RECOMENDACIONES.

- ✓ Partiendo de la estación ya implementada se recomienda en futuros proyectos realizar la publicación en Internet de los datos obtenidos, mediante la creación de una página WEB.
- ✓ En las diferentes zonas agrícolas de nuestro país, el INAMHI debería tener redes de estaciones meteorológicas automáticas para facilitar a los agricultores las fechas más idóneas para sembrar, cosechar,...etc.
- ✓ Se recomienda a la ESPE la implementación de una estación automática, principalmente en la sede del IASA ya que resulta de vital importancia para los cultivos que realizan los estudiantes de agronomía, conocer el estado del clima con el fin de pronosticar fenómenos que podrían arruinar los cultivos.
- ✓ Se debería implementar una red de estaciones meteorológicas automáticas en las provincias de la zona central del país ya que el registro de datos obtenidos puede impulsar la consecución de proyectos como embalses, centrales hidroeléctricas, etc.
- ✓ Es recomendable sobredimensionar el alcance de los transmisores de RF, con el fin de evitar que los datos sean más propensos a interferencias presentes en el medio ambiente.

- ✓ Es recomendable que las antenas estén ubicadas perpendicularmente al terreno; es decir, que estas no presenten inclinación alguna que pueda distorsionar los datos transmitidos.

- ✓ Una vez que el presente proyecto a sido sometido a pruebas con resultados satisfactorios, recomendamos usar el presente proyecto, para realizar monitoreo del medio ambiente.

BIBLIOGRAFIA:

- ✓ José Angulo e Ignacio Angulo, Microcontroladores PIC, 1^{era} Edición, McGraw Hill, España, 1997.
- ✓ Carlos Reyes, Microcontroladores PIC, 2^{da} Edición, RISPGRAF, Quito, 2006.
- ✓ José Angulo, Microcontroladores PIC 2^{da} Parte, 2^{da} Edición, McGraw Hill, España, 2006.
- ✓ Douglas K. Lindner, Introducción a las señales y sistemas, 1^{era} Edición, McGraw Hill, Colombia, 2002.
- ✓ Angel Aznar, Antenas, 1^{era} Edición, Alfaomega, México, 2000.
- ✓ Tapan Sarkar, History of Wireless, 1^{era} Edición, Kai Chang, New Jersey, 2006.
- ✓ Arguello J. y Guachamin B, GUIA DE OBSERVACIONES METEOROLOGICAS, INAMHI, Quito, 1993.
- ✓ Alan Oppenheim, Señales y sistemas, 1^{era} Edición, Prentice Hall, México, 1983.

Internet.

- ✓ www.meteorologia.com.uy/caract_climat.htm
- ✓ es.wikipedia.org/wiki/Temperatura_ambiente
- ✓ www.senamhi.gov.bo/meteorologia/elviento.php
- ✓ www.nimbus.com.uy/weather/pdf/cap13.pdf#search=%22como%20se%20realizan%20los%20pronosticos%20del%20clima%3f%22

ANEXOS

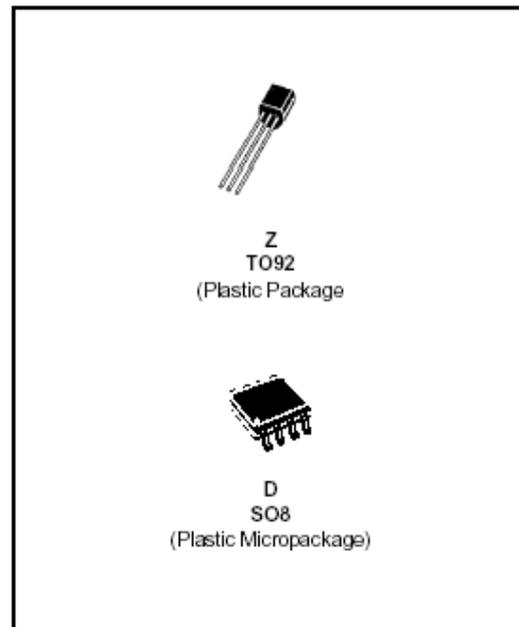

LM135
LM235-LM335,A

PRECISION TEMPERATURE SENSORS

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

DESCRIPTION

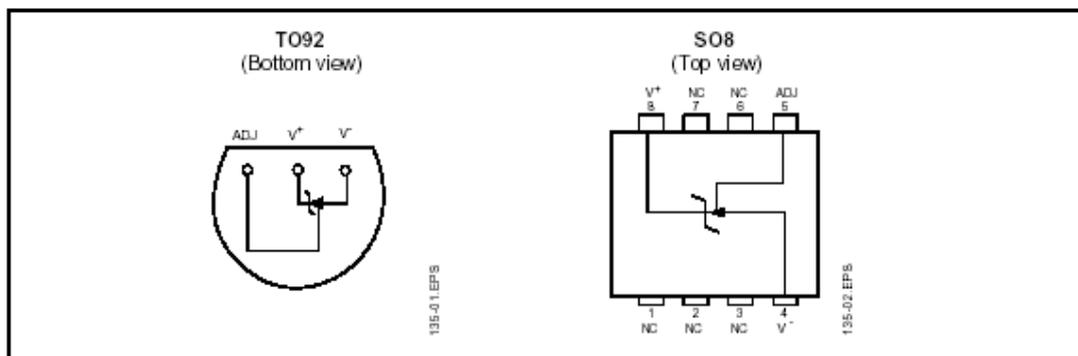
The LM135, LM235, LM335 are precision temperature sensors which can be easily calibrated. They operate as a 2-terminal Zener and the breakdown voltage is directly proportional to the absolute temperature at 10mV/°K. The circuit has a dynamic impedance of less than 1Ω and operates within a range of current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



ORDER CODES

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

PIN CONNECTIONS



TEMPERATURE ACCURACY

Parameter	LM135 - LM235 LM335A			LM335			Unit
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Operating Output Voltage $T_{case} = +25^{\circ}C, I_R = 1mA$	2.95	2.98	3.01	2.92	2.98	3.04	V
Uncalibrated Temperature Error ($I_R = 1mA$) $T_{case} = +25^{\circ}C$ $T_{min.} \leq T_{case} \leq T_{max.}$		1 2	3 5		2 4	6 9	$^{\circ}C$
Temperature Error with $25^{\circ}C$ Calibration $T_{min.} \leq T_{case} \leq T_{max.}, I_R = 1mA$		0.5	1.5		1	2	$^{\circ}C$
		0.5	1				
Calibrated Error at Extended Temperature $T_{case} = T_{max.}$ (intermittent)		2			2		$^{\circ}C$
Non-linearity ($I_R = 1mA$)		0.3	1		0.3	1.5	$^{\circ}C$
	LM135 - LM235 LM335 LM335A	0.3	1.5				

ELECTRICAL CHARACTERISTICS - (note 1)

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

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

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

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

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

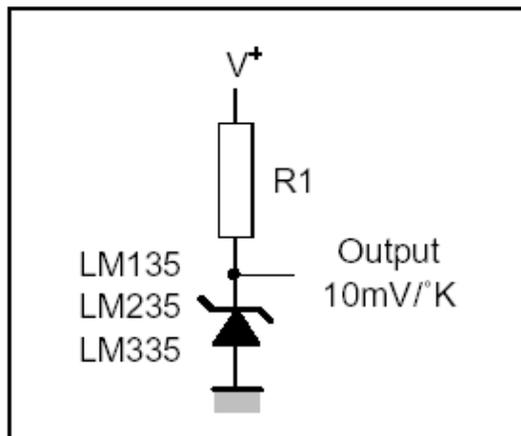
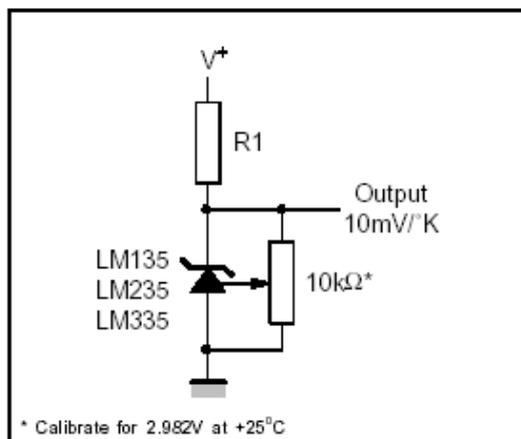
LM135-LM235-LM335,A**APPLICATION HINTS**

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

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

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

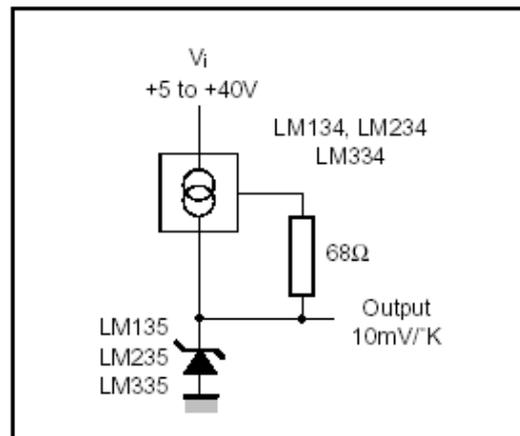
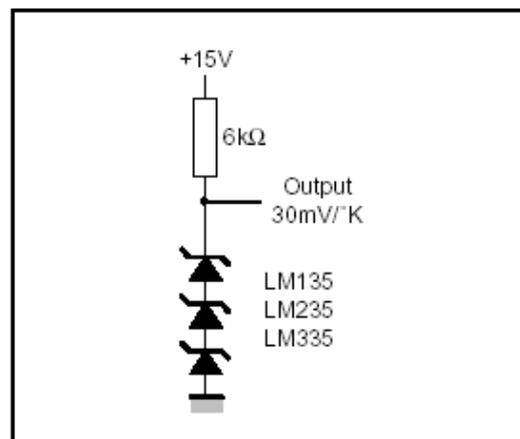
where T is the unknown temperature and T₀ is the reference temperature (in °K).

TYPICAL APPLICATIONS**BASIC TEMPERATURE SENSOR****CALIBRATED SENSOR**

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

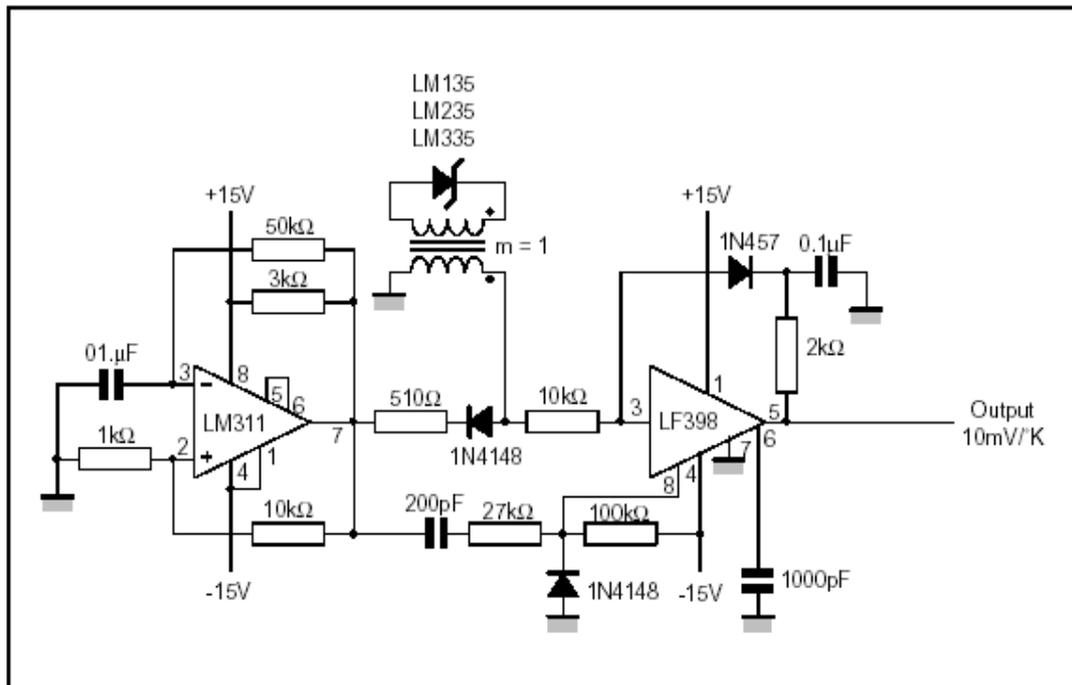
Precautions should be taken to ensure good sensing accuracy. As in the case of all temperatures sensors, self heating can decrease accuracy. The LM135, LM235, LM335 should operate with a low current, but sufficient to drive the sensor and its calibration circuit to their maximum operating temperature.

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

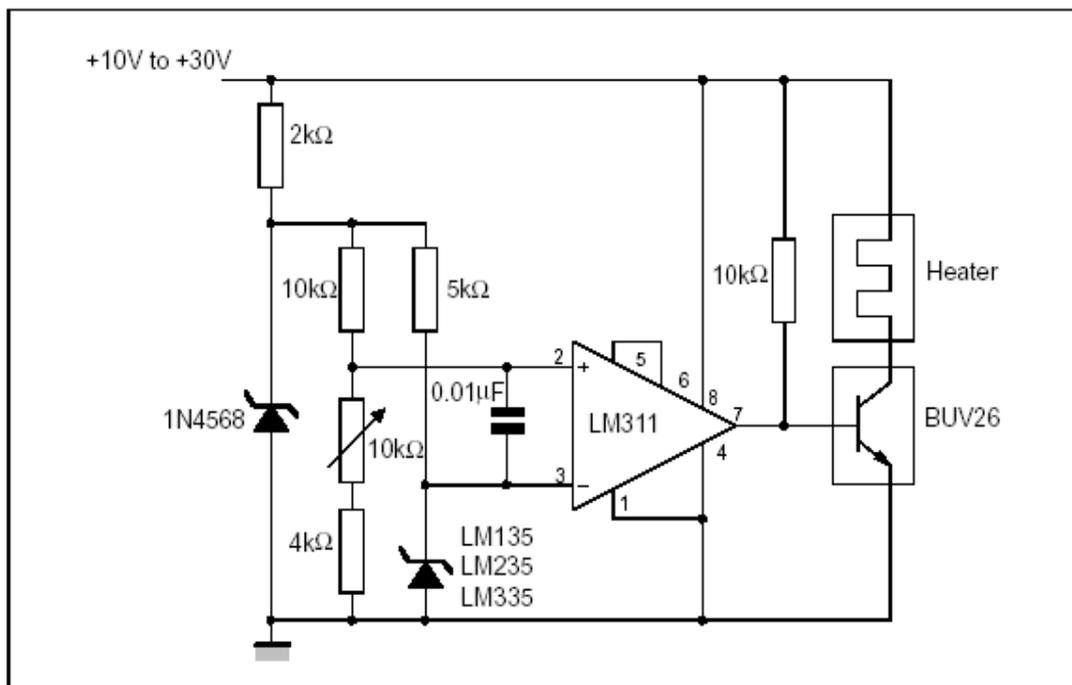
WIDE OPERATING SUPPLY**AVERAGE TEMPERATURE SENSING**

LM135-LM235-LM335,A

ISOLATED TEMPERATURE SENSOR



SIMPLE TEMPERATURE CONTROLLER



MOTOROLA
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATAOrder this document
by MPX4115A/D**Integrated Silicon Pressure Sensor
for Manifold Absolute Pressure,
Altimeter or Barometer Applications
On-Chip Signal Conditioned,
Temperature Compensated
and Calibrated****MPX4115A
MPXA4115A
SERIES**INTEGRATED
PRESSURE SENSOR
15 to 115 kPa (2.2 to 16.7 psi)
0.2 to 4.8 Volts Output

Motorola's MPX4115A/MPXA4115A series sensor integrates on-chip, bipolar op amp circuitry and thin film resistor networks to provide a high output signal and temperature compensation. The small form factor and high reliability of on-chip integration make the Motorola pressure sensor a logical and economical choice for the system designer.

The MPX4115A/MPXA4115A series piezoresistive transducer is a state-of-the-art, monolithic, signal conditioned, silicon pressure sensor. This sensor combines advanced micromachining techniques, thin film metallization, and bipolar semiconductor processing to provide an accurate, high level analog output signal that is proportional to applied pressure.

Figure 1 shows a block diagram of the internal circuitry integrated on a pressure sensor chip.

Features

- 1.5% Maximum Error over 0° to 85°C
- Ideally suited for Microprocessor or Microcontroller-Based Systems
- Temperature Compensated from -40° to +125°C
- Durable Epoxy Unibody Element or Thermoplastic (PPS) Surface Mount Package

Application Examples

- Aviation Altimeters
- Industrial Controls
- Engine Control
- Weather Stations and Weather Reporting Devices

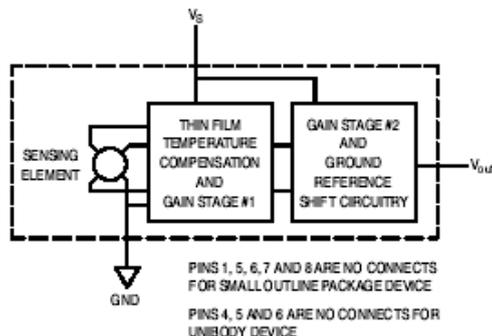
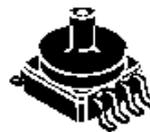


Figure 1. Fully Integrated Pressure Sensor Schematic

SMALL OUTLINE PACKAGE

MPXA4115A6U
CASE 482



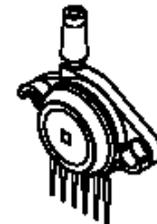
MPX4115A6U
CASE 482A

PIN NUMBER			
1	N/C	5	N/C
2	V _S	6	N/C
3	Gnd	7	N/C
4	V _{out}	8	N/C

NOTE: Pins 1, 5, 6, 7, and 8 are internal device connections. Do not connect to external circuitry or ground. Pin 1 is noted by the notch in the lead.

UNIBODY PACKAGE

MPX4115A
CASE 867



MPX4115AP
CASE 867B



MPX4115AS
CASE 867E

PIN NUMBER			
1	V _{out}	4	N/C
2	Gnd	5	N/C
3	V _S	6	N/C

NOTE: Pins 4, 5, and 6 are internal device connections. Do not connect to external circuitry or ground. Pin 1 is noted by the notch in the lead.

REV 4

© Motorola, Inc. 2001

**MOTOROLA**

MPX4115A MPXA4115A SERIES

MAXIMUM RATINGS(NOTE)

Parametrics	Symbol	Value	Units
Maximum Pressure (P1 > P2)	P_{max}	400	kPa
Storage Temperature	T_{stg}	-40° to +125°	°C
Operating Temperature	T_A	-40° to +125°	°C

NOTE: Exposure beyond the specified limits may cause permanent damage or degradation to the device.

OPERATING CHARACTERISTICS ($V_S = 5.1$ Vdc, $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted, P1 > P2. Decoupling circuit shown in Figure 3 required to meet Electrical Specifications.)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Pressure Range	P_{OP}	15	—	115	kPa
Supply Voltage ⁽¹⁾	V_S	4.85	5.1	5.35	Vdc
Supply Current	I_o	—	7.0	10	mAdc
Minimum Pressure Offset ⁽²⁾ @ $V_S = 5.1$ Volts	V_{off}	0.135	0.204	0.273	Vdc
Full Scale Output ⁽³⁾ @ $V_S = 5.1$ Volts	V_{FSO}	4.725	4.794	4.863	Vdc
Full Scale Span ⁽⁴⁾ @ $V_S = 5.1$ Volts	V_{FSS}	4.521	4.590	4.659	Vdc
Accuracy ⁽⁵⁾	—	—	—	±1.5	% V_{FSS}
Sensitivity	V/P	—	45.9	—	mV/kPa
Response Time ⁽⁶⁾	t_R	—	1.0	—	ms
Output Source Current at Full Scale Output	I_{o+}	—	0.1	—	mAdc
Warm-Up Time ⁽⁷⁾	—	—	20	—	ms
Offset Stability ⁽⁸⁾	—	—	±0.5	—	% V_{FSS}

NOTES:

- Device is ratiometric within this specified excitation range.
- Offset (V_{off}) is defined as the output voltage at the minimum rated pressure.
- Full Scale Output (V_{FSO}) is defined as the output voltage at the maximum or full rated pressure.
- Full Scale Span (V_{FSS}) is defined as the algebraic difference between the output voltage at full rated pressure and the output voltage at the minimum rated pressure.
- Accuracy is the deviation in actual output from nominal output over the entire pressure range and temperature range as a percent of span at 25°C due to all sources of error including the following:
 - Linearity: Output deviation from a straight line relationship with pressure over the specified pressure range.
 - Temperature Hysteresis: Output deviation at any temperature within the operating temperature range, after the temperature is cycled to and from the minimum or maximum operating temperature points, with zero differential pressure applied.
 - Pressure Hysteresis: Output deviation at any pressure within the specified range, when this pressure is cycled to and from minimum or maximum rated pressure at 25°C.
 - TcSpan: Output deviation over the temperature range of 0° to 85°C, relative to 25°C.
 - TcOffset: Output deviation with minimum pressure applied, over the temperature range of 0° to 85°C, relative to 25°C.
- Response Time is defined as the time for the incremental change in the output to go from 10% to 90% of its final value when subjected to a specified step change in pressure.
- Warm-up Time is defined as the time required for the product to meet the specified output voltage after the pressure has been stabilized.
- Offset Stability is the product's output deviation when subjected to 1000 cycles of Pulsed Pressure, Temperature Cycling with Bias Test.

MECHANICAL CHARACTERISTICS

Characteristics	Typ	Unit
Weight, Basic Element (Case 867)	4.0	grams
Weight, Small Outline Package (Case 482)	1.5	grams

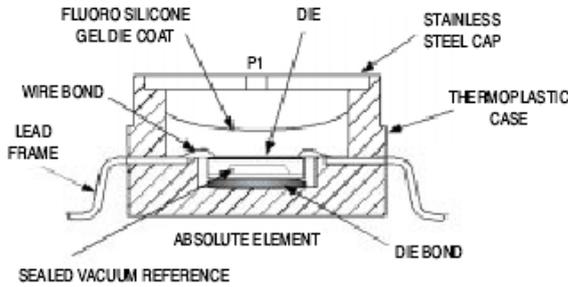


Figure 2. Cross Sectional Diagram SOP (not to scale)

Figure 2 illustrates the absolute sensing chip in the basic chip carrier (Case 482).

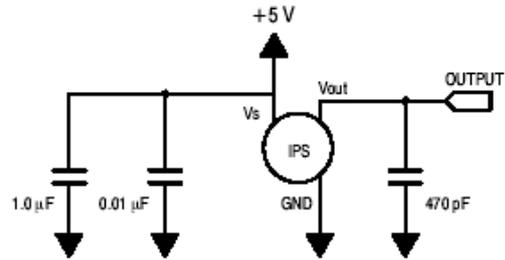


Figure 3. Recommended power supply decoupling and output filtering. For additional output filtering, please refer to Application Note AN1646.

Figure 3 shows the recommended decoupling circuit for interfacing the output of the integrated sensor to the A/D input of a microprocessor or microcontroller. Proper decoupling of the power supply is recommended.

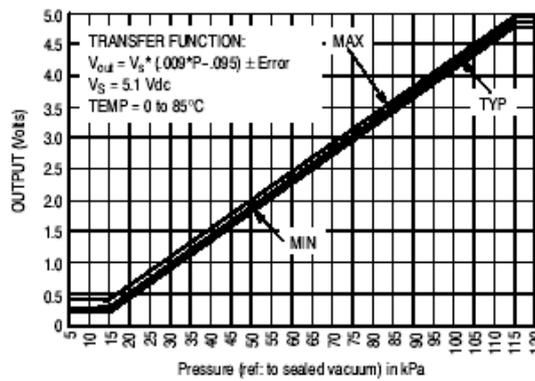


Figure 4. Output versus Absolute Pressure

Figure 4 shows the sensor output signal relative to pressure input. Typical minimum and maximum output curves are shown for operation over 0 to 85°C temperature range. The output will saturate outside of the rated pressure range.

A fluorosilicone gel isolates the die surface and wire bonds from the environment, while allowing the pressure signal to be transmitted to the silicon diaphragm. The

MPX4115A/MPXA4115A series pressure sensor operating characteristics, internal reliability and qualification tests are based on use of dry air as the pressure media. Media other than dry air may have adverse effects on sensor performance and long-term reliability. Contact the factory for information regarding media compatibility in your application.



Representative photograph, actual product appearance may vary.

Due to regional agency approval requirements, some products may not be available in your area. Please contact your regional Honeywell office regarding your product of choice.

HIH-4000-001

HIH-4000 Series Integrated Circuitry Humidity Sensor, 2,54 mm (0.100 in) Lead Pitch SIP

Features

- Molded thermoset plastic housing with cover
- Linear voltage output vs %RH
- Laser trimmed interchangeability
- Low power design
- High accuracy
- Fast response time
- Stable, low drift performance
- Chemically resistant

Typical Applications

- Refrigeration
- Drying
- Meteorology
- Battery-powered systems
- OEM assemblies

Description

The HIH-4000 Series Humidity Sensors are designed specifically for high volume OEM (Original Equipment Manufacturer) users. Direct input to a controller or other device is made possible by this sensor's linear voltage output. With a typical current draw of only 200 μ A, the HIH-4000 Series is ideally suited for low drain, battery operated systems. Tight sensor interchangeability reduces or eliminates OEM production calibration costs. Individual sensor calibration data is available.

The HIH-4000 Series delivers instrumentation-quality RH (Relative Humidity) sensing performance in a low cost, solderable SIP (Single In-line Package). Available in two lead spacing configurations, the RH sensor is a laser trimmed, thermoset polymer capacitive sensing element with on-chip integrated signal conditioning. The sensing element's multilayer construction provides excellent resistance to most application hazards such as wetting, dust, dirt, oils and common environmental chemicals.

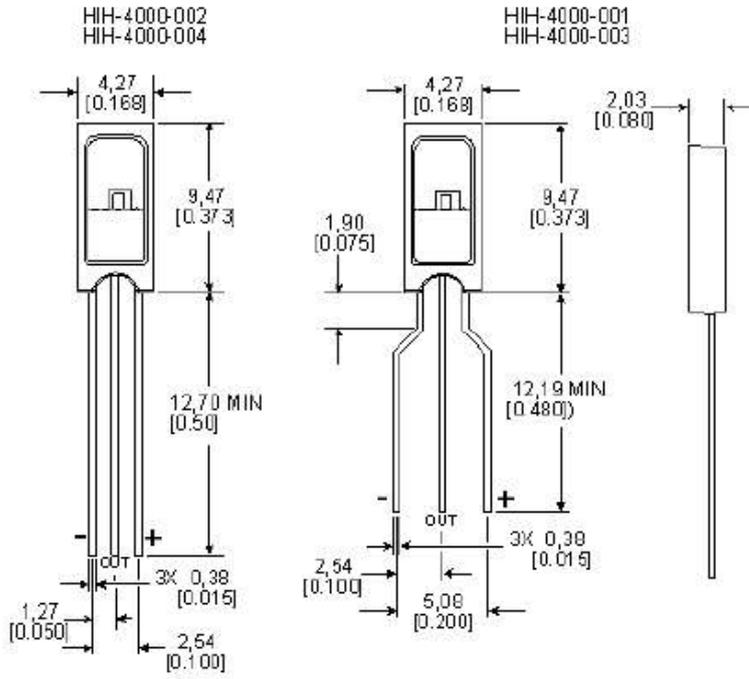
ANEXO C**Sensor de Humedad
relativa HIH 4000****C-2****HIH-4000 Series Integrated Circuitry Humidity Sensor, 2,54 mm (0.100 in) Lead Pitch SIP**

Product Specifications	
Package Style	Solderable SIP
Termination Details	2,54 mm [0.100 in] Lead Pitch
Series Name	HIH-4000 Series
RH Accuracy	± 3.5% RH, 0-100 % RH non-condensing, 25 °C, 5 Vdc supply
RH Interchangeability	± 5% RH, 0-60% RH; ± 8% @ 60-100% RH Typical
RH Hysteresis	± 3% of RH Span Maximum
RH Repeatability	± 0.5% RH
RH response time, 1/e	15 s in slowly moving air @ 25 °C
RH Stability	± 0.2% RH Typical at 50% RH in 1 Year
Supply Voltage	4.0 Vdc to 5.8 Vdc
Supply Current	500 µA Max.
Operating Humidity Range	0 to 100% RH, non-condensing
Operating Temperature Range	-40 °C to 85 °C (-40 °F to 185 °F)
Temperature Compensation	True RH = Sensor RH/(1.0305+0.000044T-0.0000011T ²) T in °C (True RH = Sensor RH/(0.9237-0.0041T+0.000040T ²) T in °C)
Availability	Global
Comment	Light sensitive, shield from bright light.
UNSPSC Code	411121
UNSPSC Commodity	411121 Transducers

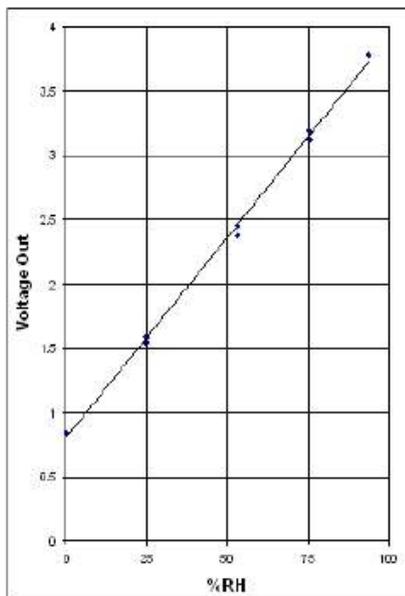
Honeywell

Distribución de pines y dimensiones.

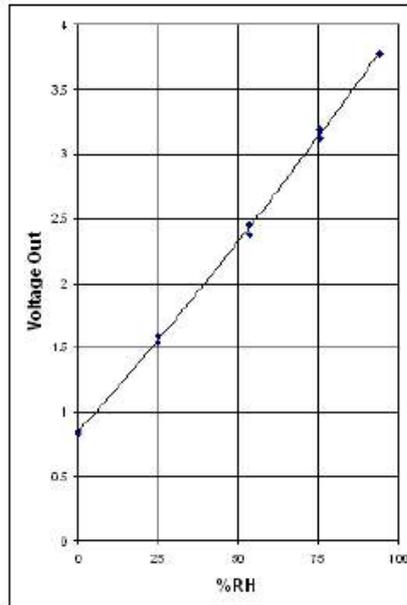
Mounting Dimensions
For Reference Only [mm/in]



TYPICAL BEST FIT STRAIGHT LINE



TYPICAL 2nd ORDER CURVE FIT



WE570 Wind Direction Sensor



- Fully encapsulated electronics
- 4-20 mA output
- Marine grade cable with strain relief
- 1" mounting elbow

Description

The Global Water Wind Direction Sensor is designed to accurately measure wind direction even in the harshest environments. The sensor is mounted on 25' of marine grade cable, with lengths up to 500' available upon request. The sensor output is 4-20 mA with a two wire configuration. The electronics are completely encapsulated in marine grade epoxy within a rubber sleeve.

Specifications

Type: Wind Vane with potentiometer
 Output: 4-20 mA
 Range: 0-360° (352° electrical, 8° open)
 Accuracy: 1% of full scale
 Operating Voltage: 10-36 VDC
 Current Draw: Same as sensor output
 Warm Up Time: 3 seconds minimum
 Operating Temp: -40° to +55°C
 Sensor Size: 8 1/2" diameter x 10 1/2"
 Weight: 1lb.

Price List

WE570

Wind Direction Sensor.....\$455

WQEXC Extra Cable

Cable length is measured from end of cable to bottom of sensor.
 After 25', up to 500'.....\$1.10/ft



Global Water
The Leader in Water Instrumentation

In the U.S. call toll free
 at 1-800-876-1172
 International: 916-638-3429
 Fax: 916-638-3270
 Email: globalw@globalw.com

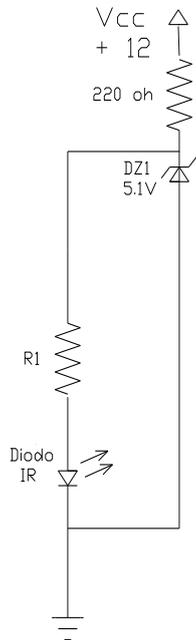
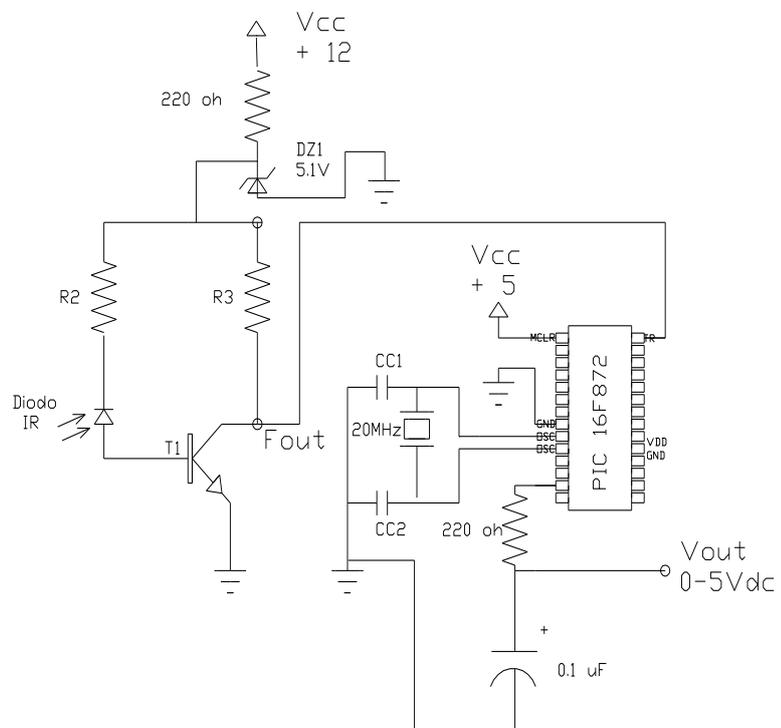
Visit our online catalog at:
www.globalw.com
 Our Address:
 11390 Amalgam Way
 Gold River, CA 95670

ANEXO E	Sensor de Velocidad del viento (Casero)	E-1				
<p>Diseño matemático.</p> <p>Datos:</p> <p>Resolución del sensor 5 pulsos/ vuelta.</p> <p>Radio desde el eje hacia las cazoletas 50 mm</p> <p>Velocidad mínima a sensar 0 Km./h</p> <p>Velocidad máxima a sensar 50 km./h</p> <p>1 rev=1 vuelta= 2*pi*rad</p> <p>$V = \omega \times r$ Nos interesa la velocidad lineal V</p> <p>N = variable dentro del microcontrolador contiene el numero de pulsos por segundo (frecuencia).</p> <p>Si al numero de pulsos lo dividimos por la resolución del sensor obtenemos como resultado la velocidad angular en vueltas/ segundo, luego hay que multiplicar por el radio y cambiar las unidades a Km. /h.</p> $V = \frac{2 \times N \times \pi}{5} \times 0.05 \frac{m}{s}$ $V = 0.226 \times N \frac{km}{h}$ <p>Esta última ecuación hay que ingresar en el PIC.</p> <p>Del PIC se necesita que por un pin envíe una señal PWM, proporcional a la velocidad calculada con la ecuación anterior por lo que se necesita hacer una regla de tres simple.</p> <table data-bbox="271 1411 758 1512"> <tr> <td>50</td> <td>255</td> </tr> <tr> <td>V</td> <td>Ciclo útil del PWM.</td> </tr> </table> <p>Ciclo útil del PWM = (Vx255)/50.</p> <p>Esta es la segunda ecuación a ingresar en el PIC.</p>			50	255	V	Ciclo útil del PWM.
50	255					
V	Ciclo útil del PWM.					

Diseño Electrónico.

ESQUEMA ELECTRICO
ANEMOMETRO CASERO PARA SENSOR VELOCIDAD DEL VIENTO.

CIRCUITO EMISOR

CIRCUITO RECEPTOR Y
CONVERSION F/V.

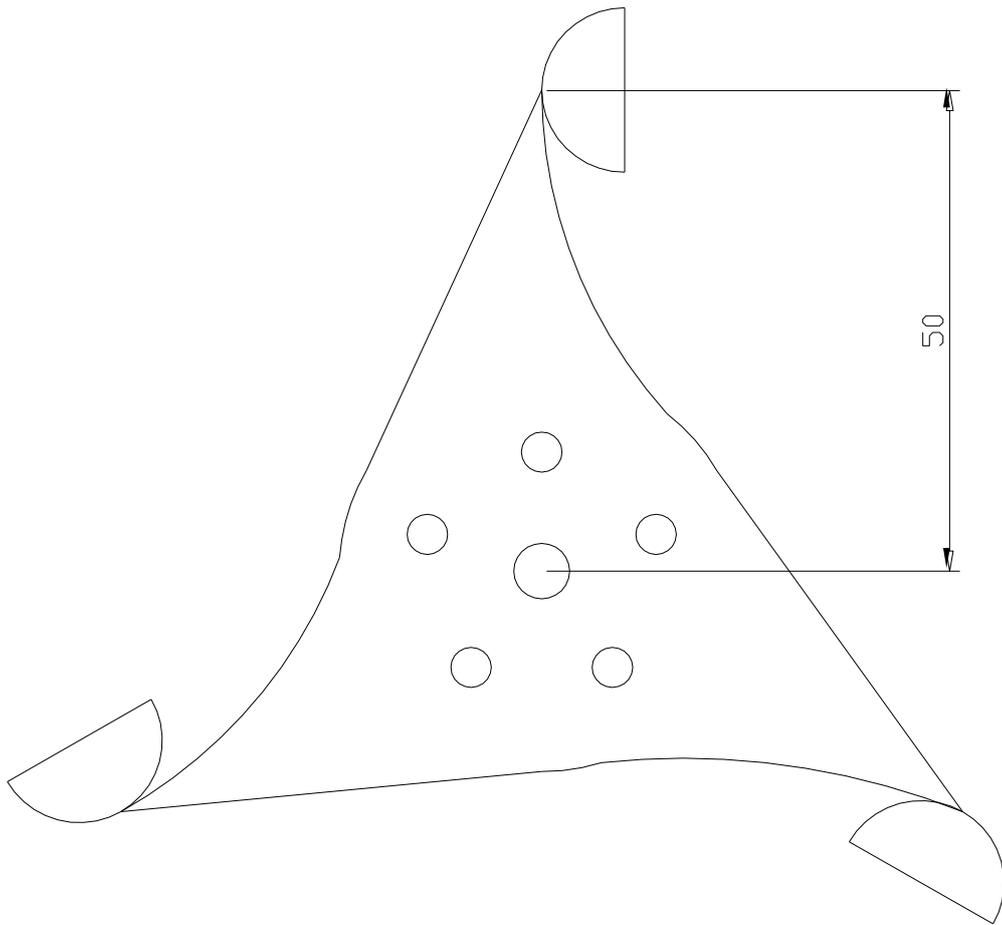
R1 = 1Kohm.

R2 = 100Kohm.

R3 = 4.7Kohm.

CC1 = CC2 = 22pF.

Diseño de las cazoletas.



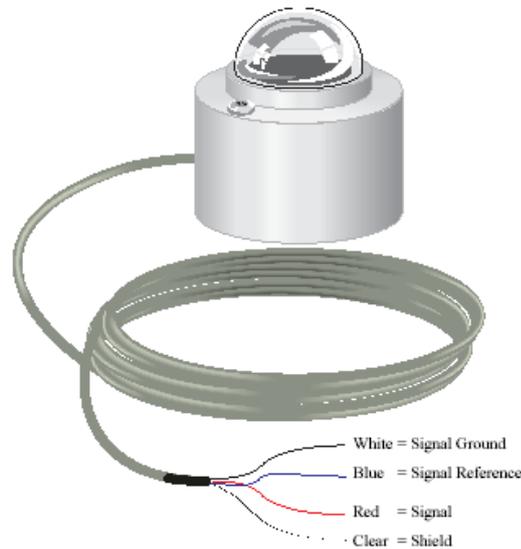


FIGURE 4-1. CM3 Wiring

1. General Description

This manual provides information for interfacing Kipp & Zonen's CM3 Pyranometer to a CR10(X), CR510, CR23X, CR7 or 21X datalogger.

The CM3 is shipped with an instruction manual provided by Kipp & Zonen that contains information concerning the CM3's construction, spectral sensitivity, cosine response, and a simple sensor check out procedure. Included with the sensor and manual is a calibration certificate with the sensor calibration constant and serial number. Cross check this serial number against the serial number on your CM3 to ensure that the given calibration constant corresponds to your sensor.

The CM3 pyranometer is designed for continuous outdoor use. Due to its flat spectral sensitivity from 300 to 3000 nm, it can be used in natural sunlight, under plant canopies, in green houses or buildings, and inverted to measure reflected solar radiation. Two CM3s can be used in combination with an albedometer fixture (K&Z's CAF 1) to measure albedos. The CM3 can also be used to measure most types of artificial light (Xenon lamps, Halogen lamps, etc.).

The CM3 pyranometer consists of a thermopile sensor, a housing, a dome, and a cable. The thermopile is coated with a black absorbent coating. The paint absorbs the radiation and converts it to heat. The resultant temperature difference is converted to a voltage by the copper-constantin thermopile. The thermopile is encapsulated in the housing in such a way that it has a field of view of 180 degrees and the angular characteristics needed to fulfill the cosine response requirements.

2. Specifications

The CM3 is an ISO Second Class pyranometer. While the worst case accuracy for daily sums given by Kipp & Zonen is $\pm 10\%$, the typical accuracy is $\pm 5\%$. Tests at Campbell Scientific on one CM3 indicated an accuracy of $\pm 2\%$ when compared to a recently calibrated Eppley PSP.

ISO SPECIFICATIONS:

Response Time 95%:	18 seconds
Zero offset due to 200 W/m ² thermal radiation:	< 15 Wm ⁻²
Zero offset due to temperature change of 5°K / hr:	< ± 4 Wm ⁻²
Non stability (% change/year):	< $\pm 1\%$
Non linearity (at 1000 W/m ²):	< $\pm 2.5\%$
Directional error (at 1000 W/m ²):	< ± 25 Wm ⁻²

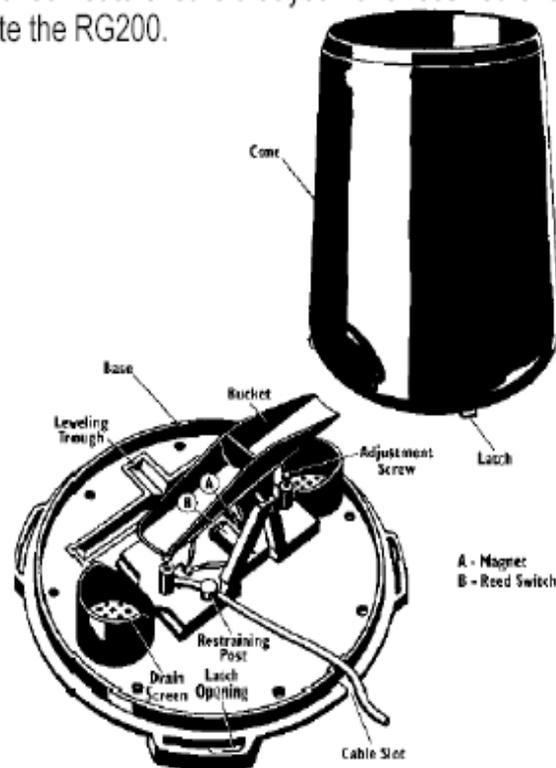
I. RG200 Checklist

- a. 6" Tipping Bucket
- b. RG200 Manual
- c. Mounting Screws, strainer, metric conversion weight

II. Inspection

- a. Your RG200 unit was carefully inspected and certified by our Quality Assurance Team before shipping. If any damage has occurred during shipping, please notify Global Water Instrumentation, Inc. and file a claim with the carrier involved.

Use the checklist to ensure that you have received everything needed to operate the RG200.



Rain Gauge Internal Components

Tipping Bucket Specifications

Resolution:	0.01 inches
Accuracy:	3% up to 4"/hr
Average Switch Closure Time:	135 ms
Maximum Bounce Settling Time:	0.75 ms
Maximum Switch Rating:	30 VDC @ 2A, 115 VAC @ 1 A
Operating Temperature:	0° to +51°C
Size of Probe:	6"x15"
Weight:	2.0 lb.

Maintenance

The funnel and tipping bucket mechanism should be cleaned periodically. An accumulation of dirt, bugs, etc. on the tipping bucket will adversely affect the readings.

1. Separate the cone from the base.
2. Use warm soapy water and a soft cloth to clean pollen, dirt, and other debris from the cone, cone screens, and bucket.
3. Use a pipe cleaner to clear the funnel hole in the cone and the drain screens in the base.
4. When all parts are clean, rinse with clear water.
5. Reattach the cone and replace the screen.
6. Reconnect the rain collector cable to the junction box.

RG700 Checklist

- a. 4-20 mA Output Module
- b. RG700 Manual

Inspection

- a. Your RG700 unit was carefully inspected and certified by our Quality Assurance Team before shipping. If any significant damage has occurred during shipping, please notify Global Water Instrumentation, Inc. and file a claim with the carrier involved. Use the checklist to ensure that you have received everything needed to operate the RG700.

Description

- a. The Global 4-20 mA Output Module, RG700, is a rugged, reliable, and accurate instrument for converting input pulses into a 4-20mA analog output signal.

Installing the 4-20 mA Output Module

- a. Place the module in an area that is protected from direct rainfall and immersion in water. The module is water resistant, not water proof.
- b. The pulse device is connected to terminals 1 and 2. Polarity is not an issue. Please refer to Appendix A: RG700 terminal diagram.
- c. Terminals 3-5 are output ports which are not used. Terminal 4 is the 4-20mA current output.
- d. Terminals 6-8 are the module's power terminals. Terminal 6 is the positive voltage input switch to the attached sensor. Positive voltage goes into terminal 7. Terminal 8 is for the ground signal.
- e. If the unit is intended to operate indefinitely, connect terminals 6 and 7 together.

Specifications

Range:	4-20mA
Operating Temperature:	0° to +51°C
Size of unit:	3.25"x1.5"x2"
Weight:	.5 lb.

Maintenance

- a. The unit should be cleaned periodically using a damp clean cloth. Do not use Acetone.



RXM-315-LR
RXM-418-LR
RXM-433-LR



LR SERIES RECEIVER MODULE DATA GUIDE

DESCRIPTION

The LR Receiver is ideal for the wireless transfer of serial data, control, or command information in the favorable 260-470MHz band. The receiver's advanced synthesized architecture achieves an outstanding typical sensitivity of -112dBm, which provides a 5 to 10 times improvement in range over previous solutions. When paired with a compatible Linx transmitter, a reliable wireless link is formed capable of transferring data at rates of up to 10,000bps at distances of up to 3,000 feet. Applications operating over shorter distances or at lower data rates will also benefit from increased link reliability and superior noise immunity. Housed in a

tiny reflow-compatible SMD package, the LR Receiver module is footprint-compatible with the popular LC-S Receiver, allowing existing users an instant path to improved range and lower cost. No external components are required (except an antenna), allowing for easy integration, even for engineers without previous RF experience.

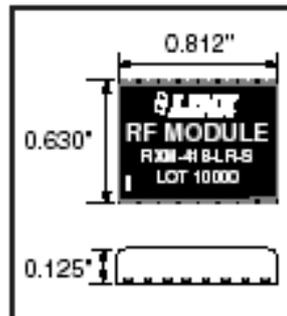


Figure 1: Package Dimensions

FEATURES

- Long range
- Low cost
- PLL-synthesized architecture
- Direct serial interface
- Data rates to 10,000bps
- Qualified data output
- No external components needed
- Low power consumption
- Wide supply range (2.7 to 5.2VDC)
- Compact surface-mount package
- Wide temperature range
- RSSI and Power-down functions
- No production tuning

APPLICATIONS INCLUDE

- Remote Control
- Keyless Entry
- Garage / Gate Openers
- Lighting Control
- Medical Monitoring / Call Systems
- Remote Industrial Monitoring
- Periodic Data Transfer
- Home / Industrial Automation
- Fire / Security Alarms
- Remote Status / Position Sensing
- Long-Range RFID
- Wire Elimination

ORDERING INFORMATION

PART #	DESCRIPTION
TXM-315-LR	Transmitter 315MHz
TXM-418-LR	Transmitter 418MHz
TXM-433-LR	Transmitter 433MHz
RXM-315-LR	Receiver 315MHz
RXM-418-LR	Receiver 418MHz
RXM-433-LR	Receiver 433MHz
EVAL- ^{***} -LR	Basic Evaluation Kit
^{***} = Frequency	
Receivers are supplied in tubes of 25 pcs.	

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Parameter	Designation	Min.	Typical	Max.	Units	Notes
POWER SUPPLY						
Operating Voltage	V _{CC}	2.7	3.0	3.6	VDC	-
With Dropping Resistor		4.3	5.0	5.2	VDC	1,5
Supply Current	I _{CC}	4.0	5.2	7.0	mA	-
Power-Down Current	I _{PDN}	20.0	28.0	35.0	µA	5
RECEIVER SECTION						
Receive Frequency Range:	F ₀					
RXM-315-LR		-	315	-	MHz	-
RXM-418-LR		-	418	-	MHz	-
RXM-433-LR		-	433.92	-	MHz	-
Center Frequency Accuracy		-50		+50	kHz	-
LO Feedthrough		-	-80	-	dBm	2,5
IF Frequency	F _{IF}	-	10.7	-	MHz	5
Noise Bandwidth	N _{NOISE}	-	280	-	kHz	-
Data Rate		-	100	-	10,000	bps
Data Output:						
Logic Low	V _{OL}	-	0.0	-	VDC	3
Logic High	V _{OH}	-	3.0	-	VDC	3
Power-Down Input:						
Logic Low	V _{IL}	-	-	0.4	VDC	-
Logic High	V _{IH}	V _{CC} -0.4	-	-	VDC	-
Receiver Sensitivity		-106	-112	-118	dBm	4
RSBI / Analog:						
Dynamic Range		-	80	-	dB	5
Analog Bandwidth		-	50	-	5,000	Hz
Gain		-	16	-	mV / dB	5
Voltage With No Carrier		-	1.5	-	V	5
ANTENNA PORT						
RF Input Impedance	R _{IN}	-	50	-	Ω	5
TIMING						
Receiver Turn-On Time:						
Via V _{CC}		3.0	7.0	10.0	mSec	5,6
Via PDN		0.04	0.25	0.50	mSec	5,6
Max. Time Between Transitions		-	10.0	-	mSec	5
ENVIRONMENTAL						
Operating Temperature Range		-40		+70	°C	5

Table 1: LR Series Receiver Specifications

Notes

- The LR can utilize a 4.3 to 5.2VDC supply provided a 330-ohm resistor is placed in series with VCC.
- Into a 50-ohm load.
- When operating from a 5V source, it is important to consider that the output will swing to well less than 5 volts as a result of the required dropping resistor. Please verify that the minimum voltage will meet the high threshold requirement of the device to which data is being sent.
- For BER of 10⁻⁵ at 1,200bps.
- Characterized, but not tested.
- Time to valid data output.

CAUTION

This product incorporates numerous static-sensitive components. Always wear an ESD wrist strap and observe proper ESD handling procedures when working with this device. Failure to observe this precaution may result in module damage or failure.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage V _{CC}	-0.3	to	+3.6	VDC
Supply Voltage V _{CC} , Using Resistor	-0.3	to	+5.2	VDC
Any Input or Output Pin	-0.3	to	+3.6	VDC
RF Input	0			dBm
Operating Temperature	-40	to	+70	°C
Storage Temperature	-45	to	+85	°C
Soldering Temperature	+225°C for 10 seconds			

NOTE Exceeding any of the limits of this section may lead to permanent damage to the device. Furthermore, extended operation at those maximum ratings may reduce the life of this device.

PERFORMANCE DATA

These performance parameters are based on module operation at 25°C from a 3.0VDC supply unless otherwise noted. Figure 2 illustrates the connections necessary for testing and operation. It is recommended all ground pins be connected to the ground plane. The pins marked NC have no electrical connection.

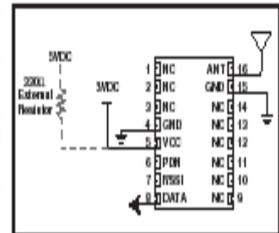


Figure 2: Test / Base Application Circuit

TYPICAL PERFORMANCE GRAPHS

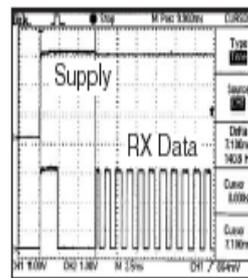


Figure 3: Turn-On Time from V_{CC}

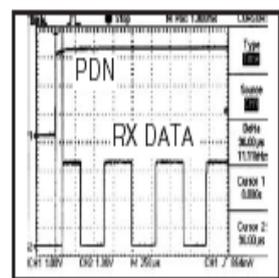


Figure 4: Turn-On Time from PDN

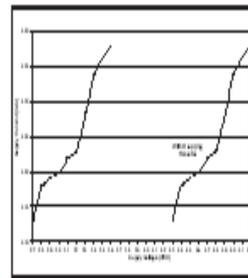


Figure 5: Consumption vs. Supply

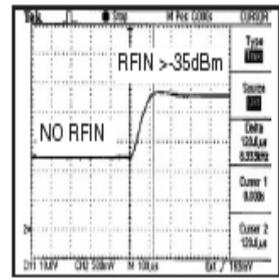


Figure 6: RSSI Response Time

PIN ASSIGNMENTS

1	NC	ANT	16
2	NC	GND	15
3	NC	NC	14
4	GND	NC	13
5	V _{CC}	NC	12
6	PDN	NC	11
7	RSSI	NC	10
8	DATA	NC	9

Figure 7: LR Series Receiver Pinout (Top View)

PIN DESCRIPTIONS

Pin #	Name	Description
1	NC	No Connection
2	NC	No Connection
3	NC	No Connection
4	GND	Analog Ground
5	V _{CC}	Supply Voltage
6	PDN	Power Down. Pulling this line low will place the receiver into a low-current state. The module will not be able to receive a signal in this state.
7	RSSI	Received Signal Strength Indicator. This line will supply an analog voltage that is proportional to the strength of the received signal.
8	DATA	Digital Data Output. This line will output the demodulated digital data.
9	NC	No Connection
10	NC	No Connection
11	NC	No Connection
12	NC	No Connection
13	NC	No Connection
14	NC	No Connection
15	GND	Analog Ground
16	RF IN	50-ohm RF Input

MODULE DESCRIPTION

The LR receiver is a low-cost, high-performance synthesized AM / OOK receiver, capable of receiving serial data at up to 10,000bps. Its exceptional sensitivity results in outstanding range performance. The LR's compact surface-mount package is friendly to automated or hand production. LR Series modules are capable of meeting the regulatory requirements of many domestic and international applications.

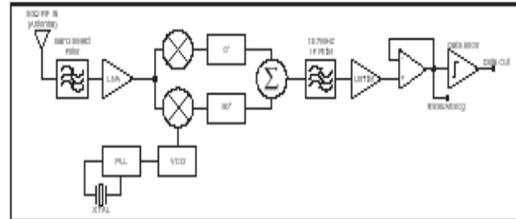


Figure 8: LR Series Receiver Block Diagram

THEORY OF OPERATION

The LR receiver is designed to recover data sent by an AM or Carrier-Present Carrier-Absent (CPCA) transmitter, also referred to as CW or On-Off Keying (OOK). This type of modulation represents a logic low '0' by the absence of a carrier and a logic high '1' by the presence of a carrier. This modulation method affords numerous benefits. The two most important are: 1) cost-effectiveness due to design simplicity and 2) higher allowable output power and thus greater range in countries (such as the U.S.) that average output power measurements over time. Please refer to Linx Application Note AN-00130 for a further discussion of modulation techniques.

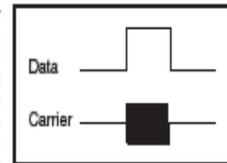


Figure 9: CPCA (AM) Modulation

The LR receiver utilizes an advanced single-conversion superheterodyne architecture. Transmitted signals enter the module through a 50-ohm RF port intended for single-ended connection to an external antenna. RF signals entering the antenna are filtered and then amplified by an NMOS cascode Low Noise Amplifier (LNA). The filtered, amplified signal is then down-converted to a 10.7MHz Intermediate Frequency (IF) by mixing it with a low-side Local Oscillator (LO). The LO frequency is generated by a Voltage Controlled Oscillator (VCO) locked by a Phase-Locked Loop (PLL) frequency synthesizer that utilizes a precision crystal reference. The mixer stage incorporates a pair of double-balanced mixers and a unique image rejection circuit. This circuit, along with the high IF frequency and ceramic IF filters, reduces susceptibility to interference. The IF frequency is further amplified, filtered, and demodulated to recover the baseband signal originally transmitted. The baseband signal is squared by a data slicer and output to the DATA pin. The architecture and quality of the components utilized in the LR module enable it to outperform many far more expensive receiver products.



TXM-315-LR
TXM-418-LR
TXM-433-LR



LR SERIES TRANSMITTER MODULE DATA GUIDE

DESCRIPTION

The LR Series transmitter is ideal for the cost-effective wireless transfer of serial data, control, or command information in the favorable 260-470MHz band. When paired with a compatible Linx receiver, a reliable wireless link is formed, capable of transferring data at rates of up to 10,000bps at distances of up to 3,000 feet. Applications operating over shorter distances or at lower data rates will also benefit from increased link reliability and superior noise immunity. The transmitter's synthesized architecture delivers outstanding stability and frequency accuracy and minimizes the affects of antenna pulling. Housed in a tiny reflow-compatible SMD package, the transmitter requires no external components (except an antenna), which greatly simplifies integration and lowers assembly costs.

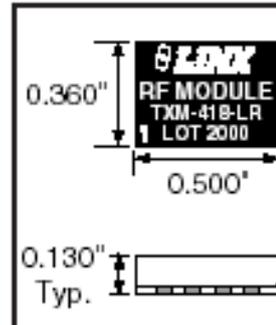


Figure 1: Package Dimensions

FEATURES

- Long range
- Low cost
- PLL-synthesized architecture
- Direct serial interface
- Data rates to 10,000bps
- No external RF components needed
- Low power consumption
- Low voltage (2.1 to 3.6VDC)
- Compact surface mount package
- Wide temperature range
- Power-down function
- No production tuning

APPLICATIONS INCLUDE

- Remote Control
- Keyless Entry
- Garage / Gate Openers
- Lighting Control
- Medical Monitoring / Call Systems
- Remote Industrial Monitoring
- Periodic Data Transfer
- Home / Industrial Automation
- Fire / Security Alarms
- Remote Status / Position Sensing
- Long-Range RFID
- Wire Elimination

ORDERING INFORMATION

PART #	DESCRIPTION
TXM-315-LR	Transmitter 315MHz
TXM-418-LR	Transmitter 418MHz
TXM-433-LR	Transmitter 433MHz
RXM-315-LR	Receiver 315MHz
RXM-418-LR	Receiver 418MHz
RXM-433-LR	Receiver 433MHz
EVAL- ^{***} -LR	Basic Evaluation Kit
^{***} = Frequency	
Transmitters are supplied in tubes of 50 pcs.	

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Parameter	Designation	Min.	Typical	Max.	Units	Notes
POWER SUPPLY						
Operating Voltage	V_{CC}	2.1	3.0	3.6	VDC	-
Supply Current:	I_{CC}	-	3.4	-	mA	1,2
Logic High	-	-	5.1	-	mA	2
Logic Low	-	-	1.8	-	mA	-
Power-Down Current	I_{PDN}	-	5.0	-	nA	-
TRANSMITTER SECTION						
Transmit Frequency Range:	F_{0}	-	-	-	-	-
TXM-315-LR	-	-	315	-	MHz	-
TXM-418-LR	-	-	418	-	MHz	-
TXM-483-LR	-	-	433.52	-	MHz	-
Center Frequency Accuracy	-	-50	-	+50	kHz	-
Output Power	P_{0}	-4	0.0	+4	dBm	2
Output Power Control Range	-	-80	-	+10	dB	3
Harmonic Emissions	P_{H}	-40	-	-	dBc	-
Data Rate	-	DC	-	10,000	bps	-
Data Input:	-	-	-	-	-	-
Logic Low	V_{L}	-	-	0.25	VDC	-
Logic High	V_{H}	$V_{CC}-0.25$	-	-	VDC	-
Power Down Input:	-	-	-	-	-	-
Logic Low	V_{L}	-	-	0.25	VDC	-
Logic High	V_{H}	$V_{CC}-0.25$	-	-	VDC	-
ANTENNA PORT						
RF Output Impedance	Z_{OUT}	-	50	-	Ω	4
TIMING						
Transmitter Turn-On Time:	-	-	1.0	-	mSec	4
Via V_{CC} or PDN	-	-	-	30.0	nS	4
Modulation Delay	-	-	-	-	-	-
ENVIRONMENTAL						
Operating Temperature Range	-	-40	-	+85	$^{\circ}C$	4

Table 1: LR Series Transmitter Electrical Specifications

Notes

1. With a 50% duty cycle.
2. With a 750 Ω resistor on LADJ.
3. See graph on Page 3.
4. Characterized, but not tested.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage V_{CC}	-0.3	to	+3.6	VDC
Any Input or Output Pin	-0.3	to	$V_{CC} + 0.3$	VDC
Operating Temperature	-40	to	+85	$^{\circ}C$
Storage Temperature	-40	to	+90	$^{\circ}C$
Soldering Temperature	+225 $^{\circ}C$ for 10 seconds			

NOTE Exceeding any of the limits of this section may lead to permanent damage to the device. Furthermore, extended operation at these maximum ratings may reduce the life of the device.

PERFORMANCE DATA

These performance parameters are based on module operation at 25 $^{\circ}C$ from a 3.0VDC supply unless otherwise noted. Figure 2 illustrates the connections necessary for testing and operation. It is recommended all ground pins be connected to the ground plane.

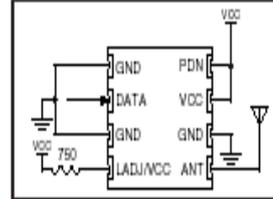


Figure 2: Test / Basic Application Circuit

TYPICAL PERFORMANCE GRAPHS

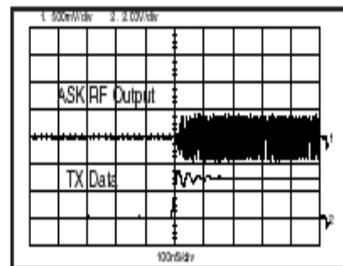


Figure 3: Modulation Delay

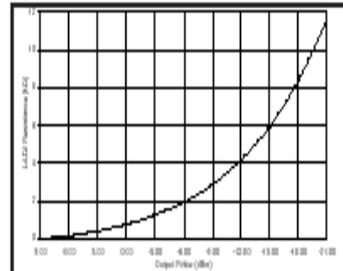


Figure 4: Output Power vs. LADJ Resistance

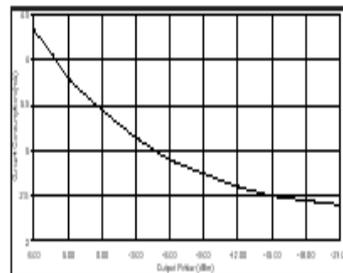


Figure 5: Current Consumption vs. Output Power (50% Duty Cycle)

PIN ASSIGNMENTS

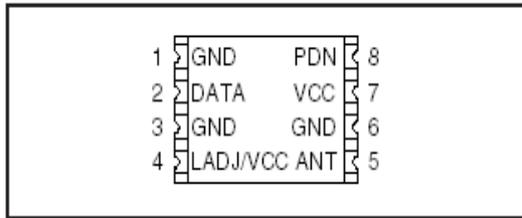


Figure 5: LR Series Transmitter Pinout (Top View)

PIN DESCRIPTIONS

Pin #	Name	Description
1	GND	Analog Ground
2	DATA	Digital Data Input
3	GND	Analog Ground
4	LADJ/V _{CC}	Level Adjust. This line can be used to adjust the output power level of the transmitter. Connecting to V _{CC} will give the highest output, while placing a resistor to V _{CC} will lower the output level (see Figure 4 on Page 3).
5	ANT	50-ohm RF Output
6	GND	Analog Ground
7	V _{CC}	Supply Voltage
8	PDN	Power Down. Pulling this line low will place the transmitter into a low-current state. The module will not be able to transmit a signal in this state.

***CAUTION***

This product incorporates numerous static-sensitive components. Always wear an ESD wrist strap and observe proper ESD handling procedures when working with this device. Failure to observe this precaution may result in module damage or failure.

MODULE DESCRIPTION

The LR transmitter is a low-cost, high-performance synthesized ASK / OOK transmitter, capable of sending serial data at up to 10,000bps. Because the transmitter is completely self-contained, requiring an antenna as the only additional RF component, application is extremely straightforward and assembly and testing costs are reduced. When combined with an LR Series receiver, a reliable serial link is formed capable of transferring data over line-of-site distances of up to 3,000 feet. The LR is housed in a compact surface-mount package that integrates easily into existing designs and is equally friendly to prototyping and volume production. The module's low power consumption makes it ideal for battery-powered products. The transmitter is compatible with many other Linx receiver products, including the LC, LR, KH, and OEM product families. For applications where range is critical, the LR receiver is the best choice due to its outstanding sensitivity. LR Series modules are capable of meeting the regulatory requirements of domestic and international applications.

THEORY OF OPERATION

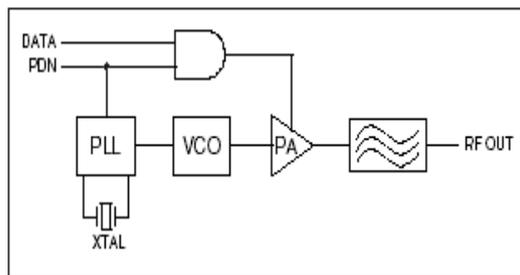


Figure 6: LR Series Transmitter Block Diagram

The LR Series transmitter is designed to generate 1mW of output power into a 50-ohm single-ended antenna while suppressing harmonics and spurious emissions to within legal limits. The transmitter is comprised of a VCO locked by a frequency synthesizer that is referenced to a high precision crystal. The output of the VCO is amplified and buffered by an internal power amplifier. The amplifier is switched by the incoming data to produce a modulated carrier. The carrier is filtered to attenuate harmonics and then output to free space via the 50-ohm antenna port.

The synthesized topology makes the module highly immune to the effects of antenna port loading and mismatch. This reduces or eliminates frequency pulling, bit contraction, and other negative effects common to low-cost transmitter architectures. It also allows for reliable performance over a wide operating temperature range. Like its companion LR Series receiver, the LR Series transmitter delivers a significantly higher level of performance and reliability than the LC Series or other SAW-based devices, yet remains very small and cost-effective.



DS1307 64 x 8 Serial Real-Time Clock

www.maxim-lc.com

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, nonvolatile (NV) RAM for data storage
- Two-wire serial interface
- Programmable squarewave 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 DIP or SOIC
- Underwriters Laboratory (UL) recognized

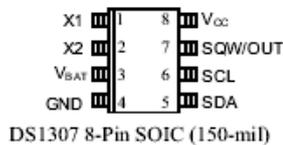
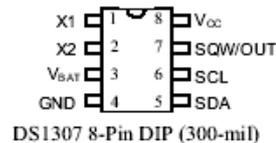
ORDERING INFORMATION

DS1307	8-Pin DIP (300-mil)
DS1307Z	8-Pin SOIC (150-mil)
DS1307N	8-Pin DIP (Industrial)
DS1307ZN	8-Pin SOIC (Industrial)

DESCRIPTION

The DS1307 Serial Real-Time Clock is a low-power, full binary-coded decimal (BCD) clock/calendar plus 56 bytes of NV SRAM. Address and data are transferred serially via a 2-wire, bi-directional 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 battery supply.

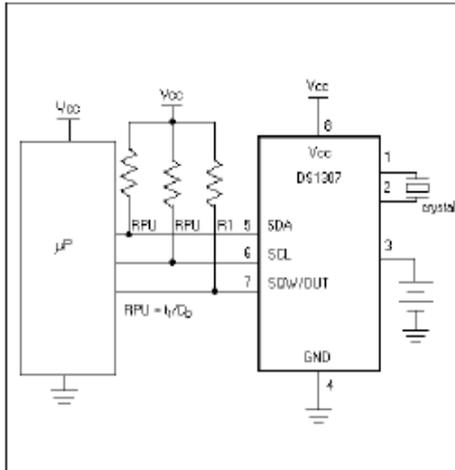
PIN ASSIGNMENT



PIN DESCRIPTION

V _{CC}	- Primary Power Supply
X1, X2	- 32.768kHz Crystal Connection
V _{BAT}	- +3V Battery Input
GND	- Ground
SDA	- Serial Data
SCL	- Serial Clock
SQW/OUT	- Square Wave/Output Driver

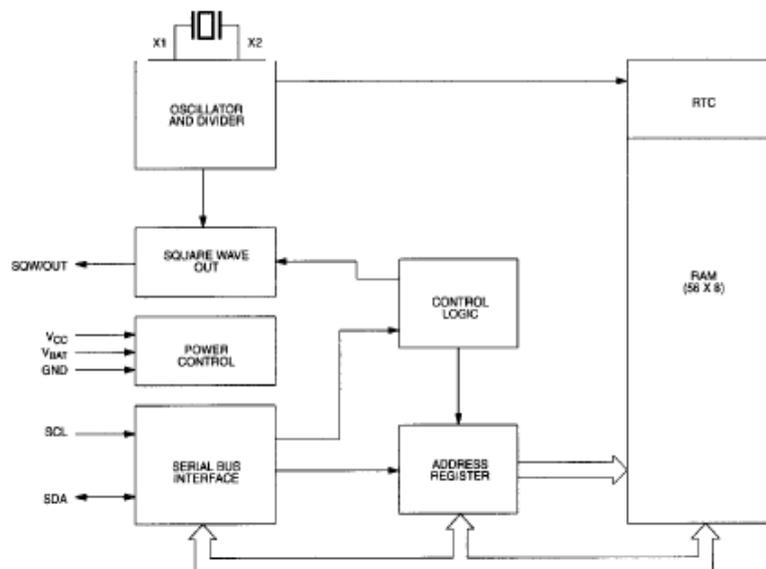
TYPICAL OPERATING CIRCUIT



OPERATION

The DS1307 operates as a slave device on the serial bus. Access is obtained by implementing a START condition and providing a device identification code followed by a register address. Subsequent registers can be accessed sequentially until a STOP condition is executed. When V_{CC} falls below $1.25 \times V_{BAT}$ the device terminates an access in progress and resets the device address counter. Inputs to the device will not be recognized at this time to prevent erroneous data from being written to the device from an out of tolerance system. When V_{CC} falls below V_{BAT} the device switches into a low-current battery backup mode. Upon power-up, the device switches from battery to V_{CC} when V_{CC} is greater than $V_{BAT} + 0.2V$ and recognizes inputs when V_{CC} is greater than $1.25 \times V_{BAT}$. The block diagram in Figure 1 shows the main elements of the serial RTC.

DS1307 BLOCK DIAGRAM Figure 1



Range	Temperature	V _{CC}
Commercial	0°C to +70°C	4.5V to 5.5V V _{CCI}
Industrial	-40°C to +85°C	4.5V to 5.5V V _{CCI}

RECOMMENDED DC OPERATING CONDITIONS

(Over the operating range*)

PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Supply Voltage	V _{CC}	4.5	5.0	5.5	V	
Logic 1	V _{IH}	2.2		V _{CC} + 0.3	V	
Logic 0	V _{IL}	-0.5		+0.8	V	
V _{BAT} Battery Voltage	V _{BAT}	2.0		3.5	V	

*Unless otherwise specified.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(Over the operating range*)

PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Input Leakage (SCL)	I _{LI}			1	μA	
I/O Leakage (SDA & SQW/OUT)	I _{LO}			1	μA	
Logic 0 Output (I _{OL} = 5mA)	V _{OL}			0.4	V	
Active Supply Current	I _{CCA}			1.5	mA	7
Standby Current	I _{CCS}			200	μA	1
Battery Current (OSC ON); SQW/OUT OFF	I _{BAT1}		300	500	nA	2
Battery Current (OSC ON); SQW/OUT ON (32kHz)	I _{BAT2}		480	800	nA	
Power-Fail Voltage	V _{PF}	1.216 x V _{BAT}	1.25 x V _{BAT}	1.284 x V _{BAT}	V	8

*Unless otherwise specified.

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(Over the operating range*)

PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
SCL Clock Frequency	f_{SCL}	0		100	kHz	
Bus Free Time Between a STOP and START Condition	t_{BUF}	4.7			μ s	
Hold Time (Repeated) START Condition	$t_{HD:STA}$	4.0			μ s	3
LOW Period of SCL Clock	t_{LOW}	4.7			μ s	
HIGH Period of SCL Clock	t_{HIGH}	4.0			μ s	
Set-up Time for a Repeated START Condition	$t_{SU:STA}$	4.7			μ s	
Data Hold Time	$t_{HD:DAT}$	0			μ s	4,5
Data Set-up Time	$t_{SU:DAT}$	250			ns	
Rise Time of Both SDA and SCL Signals	t_R			1000	ns	
Fall Time of Both SDA and SCL Signals	t_F			300	ns	
Set-up Time for STOP Condition	$t_{SU:STO}$	4.7			μ s	
Capacitive Load for each Bus Line	C_B			400	pF	6
I/O Capacitance ($T_A = 25^\circ\text{C}$)	$C_{I/O}$		10		pF	
Crystal Specified Load Capacitance ($T_A = 25^\circ\text{C}$)			12.5		pF	

*Unless otherwise specified.

NOTES:

1. I_{CCS} specified with $V_{CC} = 5.0\text{V}$ and $SDA, SCL = 5.0\text{V}$.
2. $V_{CC} = 0\text{V}$, $V_{BAT} = 3\text{V}$.
3. After this period, the first clock pulse is generated.
4. A device must internally provide a hold time of at least 300ns for the SDA signal (referred to the V_{IHMIN} of the SCL signal) in order to bridge the undefined region of the falling edge of SCL.
5. The maximum $t_{HD:DAT}$ has only to be met if the device does not stretch the LOW period (t_{LOW}) of the SCL signal.
6. C_B – Total capacitance of one bus line in pF.
7. I_{CCA} – SCL clocking at max frequency = 100kHz.
8. V_{PF} measured at $V_{BAT} = 3.0\text{V}$.

ANEXO L	Programación PIC 16F877A	L-1
<p style="text-align: center;">PROGRAMA PIC</p> <pre> ***** !* Name : UNTITLED.BAS * !* Author : [select VIEW...EDITOR OPTIONS] * !* Notice : Copyright (c) 2007 [select VIEW...EDITOR OPTIONS] * !* : All Rights Reserved * !* Date : 23/02/2007 * ***** DEFINE OSC 4 define lcd_dreg portb define lcd_dbit 4 define lcd_rsreg portb define lcd_rsbit 2 define lcd_ereg portb define lcd_ebit 3 segu var byte minu var byte hora var byte diaS var byte diaF var byte mes var byte anio var byte diaB var byte mesB var byte anioB var byte horaB var byte ent1 var byte ent2 var byte ent3 var byte ent4 var byte deci var byte </pre>		

```
men var byte
INCLUDE "MODEDEFS.BAS"
DEFINE BUTTON_PAUSE 50
define adc_bits 10
define adc_clock 3
define adc_sampleus 50
CONTRO CON %10100000
PinSCL var portd.7
PinSDA var portd.6
dato var byte
variable var word [7]
i var byte
x var byte
j var byte
TEMP var word
PRES VAR WORD
HUM VAR WORD
grados var word
D1 var byte
D2 var byte
E2 var byte
E1 var byte
F1 VAR BYTE
F2 VAR BYTE
G1 VAR BYTE
G2 VAR BYTE
G3 VAR BYTE
H1 var byte
H2 var byte
H3 var byte
```

ANEXO L	Programación PIC 16F877A	L-3
<p>H4 var byte</p> <p>H5 var byte</p> <p>Vd var byte</p> <p>VU var byte</p> <p>VR var byte</p> <p>Gra1 var byte</p> <p>Gra2 var byte</p> <p>Gra3 var byte</p> <p>Gra4 var byte</p> <p>rad var word</p> <p>rad1 var word</p> <p>precip var word</p> <p>pre1 var byte</p> <p>pre2 var byte</p> <p>pre3 var byte</p> <p>digito1 var byte</p> <p>digito2 var byte</p> <p>digito3 var byte</p> <p>digito4 var byte</p> <p>contador var byte</p> <p>POSICION0 VAR BYTE</p> <p>POSICION1 VAR BYTE</p> <p>POSICION2 VAR BYTE</p> <p>POSICION3 VAR BYTE</p> <p>GUARDAR VAR BIT</p> <p>trisA=%11111111</p> <p>adcon1=%10000010</p> <p>input portc.0</p> <p>INPUT PORTC.1</p> <p>contador=0</p>		

x=0

inicio:

if portc.0=0 then contador=contador+1:goto check

if portc.1=0 then contador=contador-1:goto check

i2cread PinSDA,PinSCL,%11010000,0,[segu]

i2cread PinSDA,PinSCL,%11010000,1,[minu]

i2cread PinSDA,PinSCL,%11010000,2,[hora]

i2cread PinSDA,PinSCL,%11010000,3,[diaS]

i2cread PinSDA,PinSCL,%11010000,4,[diaF]

i2cread PinSDA,PinSCL,%11010000,5,[mes]

i2cread PinSDA,PinSCL,%11010000,6,[anio]

if x<16000 then

men=1

else

if x=16000 then

men=2

endif

endif

for i=0 to 6

adcin i, variable [i]

next i

IF hora=\$07 and minu=\$00 and segu=\$01 THEN goto guardando

if hora=\$10 and minu=\$00 and segu=\$01 then goto guardando

if hora=\$13 and minu=\$00 and segu=\$01 then goto guardando

if hora=\$16 and minu=\$00 and segu=\$01 then goto guardando

if hora=\$19 and minu=\$00 and segu=\$01 then goto guardando

if portc.0=0 then contador=contador+1:goto check

if portc.1=0 then contador=contador-1:goto check

for i=0 to 6

variable [i]=variable [i]+1000

```

next i
SEROUT PORTC.6,T2400,[#variable[0],#variable[1],#variable[2],#variable[3],
#variable[4],#variable[5],#variable[6],#men,10]
if portc.0=0 then contador=contador+1:goto check
if portc.1=0 then contador=contador-1:goto check
check:
If PORTc.0 = 0 Then check
If PORTc.1 = 0 Then check
if contador = 8 then contador = 7
if contador <= 0 then contador = 0
if contador=0 then goto caratula
if contador=1 then goto uno
if contador=2 then goto dos
if contador=3 then goto tres
if contador=4 then goto cuatro
if contador=5 then goto cinco
if contador=6 then goto seis
if contador=7 then goto siete
caratula:
if portc.0=0 then contador=contador+1:goto check
if portc.1=0 then contador=contador-1:goto check
lcdout $fe,1,"ESTACION METEOR."
LCDOUT $fe,$c0,"HORA", " ",hex2 hora,":",hex2 minu,":",hex2 segu
goto inicio
uno:
if portc.0=0 then contador=contador+1:goto check
if portc.1=0 then contador=contador-1:goto check
TEMP=abs ((49*(variable[0]-1000))-27200)
D2=TEMP DIG 0

```

ANEXO L	Programación PIC 16F877A	L-6
<pre> D1=TEMP DIG 1 E2=TEMP DIG 2 E1=TEMP DIG 3 LCDOUT \$FE,1,"Temperatura Amb." 'if variable[0]<1596 then 'high portd.1 'pause 200 'low portd.1 'pause 50 'endif if variable[0]<1555 then LCDOUT \$FE,\$C0,"-",dec E1,DEC E2,".",DEC D1,DEC D2," oC" else LCDOUT \$FE,\$C0,dec E1,DEC E2,".",DEC D1,DEC D2," oC" endif goto inicio dos: if portc.0=0 then contador=contador+1:goto check if portc.1=0 then contador=contador-1:goto check PRES=abs ((1*(variable[1]-1000)+10)+132) F1=PRES DIG 0 F2=PRES DIG 1 G1=PRES DIG 2 G2=PRES DIG 3 G3=PRES DIG 4 LCDOUT \$FE,1,"Presion Atm." LCDOUT \$FE,\$C0,DEC PRES," ", " hPA" goto inicio tres: </pre>		

ANEXO L	Programación PIC 16F877A	L-7
<pre> if portc.0=0 then contador=contador+1:goto check if portc.1=0 then contador=contador-1:goto check LCDOUT \$FE,1,"Humedad Relativa" HUM=((16*(variable[2]-1000))-2583)-150 if HUM <= 0 then HUM=0 else if HUM >= 9992 then HUM=9999 endif endif H1=HUM DIG 0 H2=HUM DIG 1 H3=HUM DIG 2 H4=HUM DIG 3 LCDOUT \$FE,\$C0,dec H4,DEC H3,".",DEC H2,DEC H1," ", "%" goto inicio cuatro: if portc.0=0 then contador=contador+1:goto check if portc.1=0 then contador=contador-1:goto check LCDOUT \$FE,1,"Direccion Vto." grados=((variable[3]-1000)*5-970) if grados<=0 then grados=0 else if grados>=3400 then grados=3520 endif endif endif </pre>		

ANEXO L	Programación PIC 16F877A	L-8
<pre> Gra1=grados dig 0 Gra2=grados dig 1 Gra3=grados dig 2 Gra4=grados dig 3 LCDOUT \$FE,\$C0,dec Gra4,dec Gra3,dec Gra2,".",dec Gra1," GNorte" goto inicio cinco: if portc.0=0 then contador=contador+1:goto check if portc.1=0 then contador=contador-1:goto check variable[4]=((50*(variable[4]-1000))/1023) LCDOUT \$FE,1,"Velocidad Vto." LCDOUT \$FE,\$C0,dec variable[4],"Km/h" goto inicio seis: if portc.0=0 then contador=contador+1:goto check if portc.1=0 then contador=contador-1:goto check LCDOUT \$FE,1,"Radiacion Solar" rad=(29*(variable[5]-1000)) rad=abs(rad) deci=rad dig 0 ent4=rad dig 1 ent3=rad dig 2 ent2=rad dig 3 ent1=rad dig 4 LCDOUT \$FE,\$C0,dec ent1,dec ent2,dec ent3,dec ent4,".",dec deci," W/m^2" goto inicio siete: if portc.0=0 then contador=contador+1:goto check </pre>		

```
if portc.1=0 then contador=contador-1:goto check
LCDOUT $FE,1,"Nivel Precc."
precip=((variable[6]-1000)-200)
pre1=precip dig 0
pre2=precip dig 1
pre3=precip dig 2
LCDOUT $FE,$C0,dec pre3,".",dec pre2,dec pre1," mm/m^2"
goto inicio

guardando:

LCDOUT $FE,1,"GUARDANDO"
PAUSE 1000
i2cwrite PinSDA,PinSCL,contro,x,[diaF]
pause 10
x=x+1
i2cwrite PinSDA,PinSCL,contro,x,[mes]
pause 10
x=x+1
i2cwrite PinSDA,PinSCL,contro,x,[anio]
pause 10
x=x+1
i2cwrite PinSDA,PinSCL,contro,x,[hora]
pause 10
for i=0 to 6
  adcin I, variable [i]
  variable [i]=variable [i]+1000
  digito1= variable [i] dig 3
  digito2= variable [i] dig 2
  digito3= variable [i] dig 1
```

ANEXO L	Programación PIC 16F877A	L-10
<pre> digito4= variable [i] dig 0 POSICION0 =x+1 POSICION1 =POSICION0+1 POSICION2 =POSICION1+1 POSICION3 =POSICION2+1 IF x=16000 then lcdout \$fe,1,"MEMORIA" LCDOUT \$fe,\$c0,"LLENA" ENDIF PAUSE 10 i2cwrite PinSDA,PinSCL,contro,POSICION0,[digito1] pause 10 i2cwrite PinSDA,PinSCL,contro,POSICION1,[digito2] pause 10 i2cwrite PinSDA,PinSCL,contro,POSICION2,[digito3] pause 10 i2cwrite PinSDA,PinSCL,contro,POSICION3,[digito4] pause 10 x=POSICION3 next i x=x+1 goto inicio </pre>		

Latacunga 2007

Realizado por:

Sr. Lasluisa Montaluisa Juan Pablo.

Sr. Gómez Cevallos Juan Carlos.

Ing. Washington Freire.

**COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA
ELECTROMECAÁNICA.**

Dr. Eduardo Vásquez.

SECRETARIO ACADÉMICO.