

74
203
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESTACION METEOROLOGICA
AUTOMATICA Y AUTONOMA BASADA EN
UN MICROCONTROLADOR

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
PRESENTA:
ALFONSO GARRIDO GONZALEZ

DIRECTOR DE TESIS
FIS. LEONEL GUTIERREZ ALBORES

MEXICO D.F.

1994

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mis padres:

Alfonso y María Teresa

Gracias a su apoyo incondicional que ustedes me han brindado en todo momento, permitiéndome culminar una más de mis metas.

Todos los momentos difíciles se han superado con su cariño y paciencia, gracias por los momentos que aún nos faltan.

A mis hermanos:

Sergio y María del Carmen

Por toda la paciencia y apoyo que han tenido en los momentos difíciles que superamos juntos .

AGRADECIMIENTOS:

Quiero agradecer al Físico: Leonel Gutiérrez A. por los consejos, amistad y apoyo brindado a lo largo de mi estancia en el Instituto de Astronomía.

Al Instituto de Astronomía, por las facilidades proporcionadas en el uso de sus instalaciones y apoyo.

A los integrantes del grupo de instrumentación Pablo S. Abel B. Silvio T. Irene C. así como a Don Lalo, Juan V. Sonia L. por todas las facilidades y valiosa amistad.

Especialmente quiero agradecer a mis amigos tesisistas ya ingenieros, Javier G. Rafael P. Anibal A. y Físicos Rubén V. y Salvador A. por todo su apoyo, consejos y lo mejor, su amistad.

A todos mis amigos que durante 5 años trabajamos juntos. Con ustedes seguiré creciendo.

Finalmente, a todos aquellos que de alguna manera estuvieron apoyándome a lo largo de mis estudios, gracias por aguantarme todo este tiempo.

Gracias

INDICE

Agradecimientos

| | |
|--|-----|
| Indice | I |
| Introducción | III |
| Capítulo 1. Antecedentes | 1 |
| Capítulo 2. Estación meteorológica | 8 |
| Medición de temperatura | 8 |
| Medición de humedad | 15 |
| Medición de la presión | 27 |
| Medición del viento | 42 |
| Medición de la precipitación | 49 |
| Capítulo 3. Caracterización, linealización y calibración | 57 |
| Temperatura | 59 |
| Humedad | 61 |
| Presión | 62 |
| Viento | 67 |
| Precipitación | 68 |
| Capítulo 4. Suministro de energía | 69 |
| Capítulo 5. Sistema básico | 84 |
| Capítulo 6. Adquisición de datos | 100 |
| Capítulo 7. Interfaz-Microcontrolador-PC | 108 |

| | |
|---|-----|
| Capítulo 8. Integración del sistema | 119 |
| Capítulo 9. Pruebas y resultados | 126 |
| Capítulo 10. Conclusiones | 130 |
| Apéndice 1. programación | 132 |
| Programación del 80C31 | 133 |
| Comandos del sistema | 144 |
| Programación de la comunicación serie | 146 |
| Programación para el formato de datos | 150 |
| Apéndice 2. Circuitos impresos | 154 |
| Apéndice 3. Fotografías | 170 |
| Apéndice 4. Gráficas | 175 |
| Bibliografía | 181 |

INTRODUCCIÓN

Una de las primeras observaciones que el hombre hizo en el mundo que lo rodeaba fue para comprender el estado del clima. Esto lo llevó a progresar y a desarrollarse utilizando primero los recursos que la naturaleza le podría brindar hasta llegar a construir herramientas para modificar el entorno que habitaba.

Al llegar la era de la electrónica, se produjo el desarrollo de nuevos sistemas que pudieran controlar procesos y mejorar la forma de vivir del hombre. Los nuevos sensores y la llegada de las computadoras permiten manejar miles de datos que se obtienen a nivel mundial y procesar la información en poco tiempo, ayudando al hombre a modificar de acuerdo a sus necesidades, la irrigación de cultivos, construcción de grandes obras hidráulicas, obtención de energía, prevención de incendios, tormentas y nevadas, etc.

Con la automatización se han podido monitorear muchos procesos difíciles de observar a distancia o en períodos determinados de tiempo, como la incubación de embriones animales o germinación de plantas, procesos industriales en general, etc.

El presente trabajo, "Estación meteorológica automática y autónoma basada en un microcontrolador", pretende ayudar a tomar datos climatológicos locales como temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, dirección y

velocidad del viento, y precipitación pluvial en el Observatorio Astronómico Nacional de San Pedro Mártir (SPM) de la UNAM, en el estado de Baja California Norte. La estación es un sistema de adquisición de datos modular; cada uno de los módulos del sistema se podrá separar y obtener un sistema en el que, dependiendo de las necesidades, se puedan acoplar nuevos diseños, anexando sólo el hardware y software necesarios.

En los siguientes capítulos, se presentan los conocimientos necesarios, propuestas de selección y el diseño final, tratando de dar la solución adecuada en base a los medios disponibles.

Al tener un sistema de control y adquisición de datos, la información recibida tendrá que digitalizarse, almacenarse y transmitirse y se deberán, desplegar los datos recibidos. En el presente trabajo se resuelven los problemas para reunir cada uno de los requisitos establecidos en la estación meteorológica.

El capítulo uno tratará de explicar dónde operará el sistema y bajo que circunstancias, mostrando las características que deberá tener el proyecto; en los capítulos 2 y 3 se analizan las variables que se tomarán en cuenta, estableciendo el diseño electrónico para la medición de cada una de ellas. El capítulo 4 "suministro de energía", plantea la solución que se consideró más práctica en términos de mantenimiento.

Por lo que respecta al microcontrolador, se trata de uno muy usado en este tipo de sistemas. En este sistema sólo se hará la adquisición de los datos; la visualización y el manejo de los mismos será a través de una computadora personal (PC). En los capítulos finales se explicará la integración del sistema, así como las pruebas y resultados.

Capítulo 1

El presente capítulo presenta de una forma muy general la forma en que se desarrolla el clima en nuestro planeta, estableciendo el punto de partida para entender los requerimientos de una estación meteorológica.

ANTECEDENTES.

El globo terrestre está envuelto por una masa de gases y vapores denominados *atmósfera*. A la mezcla gaseosa de que está formada la llamamos aire. Bajo la acción simultánea de la atracción terrestre, que lo retiene apoyado contra los continentes y los océanos, y de su propia fuerza, que tiende a expandirlo por el espacio, el aire posee una densidad relativamente grande en las capas más bajas, comprimidas por el peso de las que se hallan encima, y una densidad cada vez menor al aumentar la altitud.

La atmósfera (del griego *atmos*=vapor y *sphaira*=esfera) es la envoltura gaseosa de nuestro planeta. La materia constitutiva de la misma, el aire, no es un

elemento químico simple, sino una mezcla de elementos y combinaciones químicas que no reaccionan entre sí, los cuales, además, contienen en suspensión gran variedad de productos sólidos y líquidos en finísimas gotas o partículas, desde materias orgánicas (polen, productos de combustión, etc.) hasta iones y material radiactivo, pasando por la abundante gama de agentes que contaminan las ciudades y las zonas industriales. La composición del aire de la tropósfera, que permanece casi constante, se recoge en la tabla 1.1.

| composición aproximada del aire seco | | |
|--------------------------------------|------------|----------|
| Componente | en volumen | en peso |
| Nitrógeno | 78.03 | 75.58 |
| Oxígeno | 20.99 | 23.08 |
| Dióxido de carbono | 0.035 | 0.053 |
| Argón | 0.94 | 1.28 |
| Otros gases inertes | 0.0024 | 0.0017 |
| Hidrógeno | 0.00005 | 0.000004 |

tabla 1.1

De acuerdo con sus propiedades térmicas, en la atmósfera se distinguen varias regiones, como lo muestra la figura 1.1. Desde el suelo al espacio son las siguientes:

TROPOSFERA. Se caracteriza porque a través de ella, y en sentido vertical, la temperatura del aire desciende constantemente a razón de unos 6.5° C por cada 1000 m de altura. Alcanza los 16 km sobre las regiones ecuatoriales y de 7 a 8 km en los polos. En la zona templada oscila con las estaciones, teniendo un espesor medio de 13 km. En esta primera capa de la atmósfera tiene lugar el conjunto de fenómenos que determinan el clima, ya que en ella se encuentran prácticamente todo el vapor de agua del aire, los núcleos de condensación y las mayores variaciones de su temperatura. Estos contrastes de temperatura son, precisamente, los que permiten y

determinan el funcionamiento de la máquina térmica que es la atmósfera.

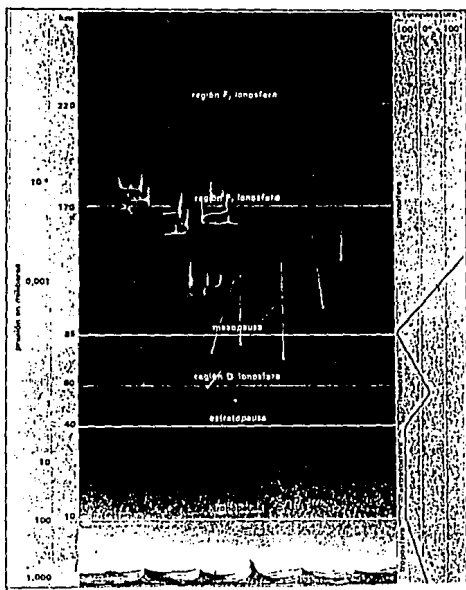


figura 1.1

El límite superior de la troposfera lo constituye la llamada "frontera o techo del clima" o, técnicamente, la tropopausa, zona en la que cesa la disminución de la temperatura.

ESTRATOSFERA. Su característica térmica consiste en que la temperatura del aire se mantiene casi constante o, incluso, aumenta ligeramente con la altura. En su seno ya no hay meteoros y la agitación del aire disminuye notablemente. Su superficie limitante superior, a unos 25 km de altitud, constituye la estratopausa.

MESOSFERA. Esta región atmosférica, que se extiende hasta los 80 km de altura, se reconoce por un pronunciado máximo de temperatura. Donde se alcanza este máximo se denomina "capa caliente" y parece ser originada por la energía desprendida en la constante producción y destrucción de ozono (gas formado por tres átomos de oxígeno) que tiene lugar en esta zona, denominada también ozonósfera. Termina en la llamada mesopausa.

TERMOSFERA. En ella, la temperatura aumenta sin interrupción, hasta llegar a los 500° C a unos 500 km de altitud. Finaliza en la termopausa, donde da comienzo la exosfera, zona exterior, ilimitada, de la atmósfera. Está formada por moléculas sueltas cuya concentración va disminuyendo progresivamente hasta que se convierte en espacio interestelar. Convencionalmente, se fija el límite externo de la atmósfera en los 2000 km.

Los cambios que ocurren en la atmósfera, en los cuales varían de una forma evidente la temperatura, la fuerza y dirección del viento, el estado del cielo y el del agua contenida en el aire, son los que comúnmente se entienden por "cambios del clima". En el lenguaje vulgar, a las diversas propiedades físicas del aire libre susceptibles de ser diferenciadas mediante un análisis somero o bien medidas con instrumentos adecuados, se les suele llamar **elementos meteorológicos**. Más particularmente, se aplica este nombre a aquellas propiedades que, como la presión, la temperatura, el viento y la humedad con sus diferentes manifestaciones (nubes, niebla, lluvia, etc.), caracterizan el estado de la atmósfera en cada instante.

Esta división del estado atmosférico en "elementos", que en un principio pudo responder a un criterio simplista, subsiste aún en el lenguaje científico. Hay que tener presente, sin embargo, que todas las propiedades físicas y mecánicas del aire atmosférico coexisten de un modo indisoluble, que están ligadas unas con otras por leyes que establecen su dependencia mutua.

Gracias a la colaboración de ciencias afines y de las tecnologías de nuestro

tiempo, se ha reunido mucha información acerca del estado del clima a nivel mundial. Ahora, el campo de la medición electrónica nos auxilia en el pronóstico de la evolución lógica de los distintos parámetros que intervienen en los procesos termodinámicos. Los nuevos sistemas de adquisición de datos y la mejor calidad, exactitud y bajo costo de los sensores han propiciado que se tenga una mejor idea del estado del tiempo que la que se tenía hace 50 años.

Se ha logrado una exactitud del 85 % en los pronósticos del clima y, hoy en día, se pueden prevenir los desastres de un huracán con varias horas de anticipación gracias a los observatorios en tierra, mar y espacio. El hombre, actualmente, tiene que tomar las precauciones convenientes sobre el impacto de los pequeños cambios climatológicos y generar sus respectivas soluciones.

En Astronomía, estos cambios repentinos del clima pueden causar severos daños; una mala planeación en la observación sería desafortunada. Por ejemplo, con una humedad mayor al 90%, la condensación del vapor sobre los espejos de un telescopio causaría un empañamiento y el deterioro de la fina superficie de aluminio generalmente depositada en ellos. Además, los mecanismos se oxidarían y los circuitos electrónicos tendrían problemas de funcionamiento, comprendiéndose que si existe precipitación sólida o líquida la observación astronómica es nula. Si existe mucho viento, la estructura del edificio, así como el telescopio, pueden entrar en resonancia, aparte de que provoca que se flexione la estructura del telescopio, propiciando que éste no apunte de manera precisa los objetos de estudio.

Por otra parte, debido a que el índice de refracción del aire es diferente de 1, hace que la luz procedente del cielo sufra una desviación en su trayectoria. Esta desviación es más pronunciada conforme se apunte más hacia el horizonte. Este efecto hace que las coordenadas de los objetos celestes sufran una alteración y que no pueda apuntarse de manera precisa el telescopio. Pero existen ya modelos matemáticos que permiten corregir este error con gran precisión, los

energía y mantenimiento mínimo. Por otra parte, es capaz de obtener datos en diferentes intervalos de tiempo y/o almacenarlos para luego entregarlos para su posterior procesamiento en un sistema de cómputo más sofisticado.

La estación climatológica está pensada para operar bajo condiciones extremas en el Observatorio Astronómico de San Pedro Mártir, en Baja California (a una altitud de casi 3000 m sobre el nivel del mar). Las condiciones de SPM limitan la obtención de energía, además de que se encuentra sujeto a vientos fuertes, nevadas intensas, etc.

El desarrollo de las soluciones a estos problemas se plantea en los capítulos siguientes y se presentan las soluciones que finalmente se lograron realizar.

Capítulo 2

En este capítulo analizaremos los elementos necesarios para la medición de cada una de las variables climatológicas, haciendo énfasis en las alternativas de selección y diseño.

ESTACIÓN METEOROLÓGICA.

2.1.-Medición de temperatura.

De todos los elementos meteorológicos, la temperatura del aire es tal vez la que más hondamente afecta a los seres vivos. Esta se debe exclusivamente al calor irradiado por el sol, siendo casi nula la influencia del calor interno de la tierra y en ella intervienen varias circunstancias como la inclinación del eje terrestre, altitud, latitud, etc.

La temperatura se mide generalmente en grados centígrados (escala Celsius). Esta escala se basa en la especificación del número de incrementos

temperatura de operación dependen de los metales empleados.

A través de los años han surgido varios tipos de termopares estándar. En las publicaciones se reconocen ocho tipos identificados por letras. Cinco tipos (J, K, T, E y N) están hechos con una mezcla de metales y cubren varios intervalos de temperatura y aplicaciones. Los otros tres tipos, R, S, y B, se forman con aleaciones de platino.

Obviamente caros, éstos son los más estables de los termopares y los más frecuentemente usados para altas temperaturas de trabajo, pero sus sensibilidades son bajas.

Algunas compañías producen termopares especiales para altas temperaturas, criogénicas y otras aplicaciones especiales. Los más comunes se fabrican a base de mezclas de tungsteno que permiten mediciones altas.

Los termómetros de resistencia, comúnmente llamados dispositivos de temperatura de resistencia (DTR), consisten de una espiral de alambre de fino calibre o un velo de metal. Muchos metales cambian de resistencia con la temperatura, pero en este tipo de termómetros el platino y el níquel son los más ampliamente usados. Los DTR son generalmente más estables, exactos y sensitivos que los termopares, pero están limitados a bajas temperaturas. Los DTR de platino son los más estables y exactos y cubren el intervalo más alto de temperatura.

Los sensores de níquel tienen bajo costo y son atractivos para temperaturas moderadas en aplicaciones industriales; sin embargo, algunos avances recientes en el arte de la manufactura de finos elementos de platino (similar al principio del velo de metal de los resistores) eliminan la ventaja del bajo costo del níquel. También se utilizan otros metales de esta forma, principalmente cobre y una mezcla llamada Balco.

| Dispositivos | | Esc.tempe- ratura ° C | Exactitu d | R.trans- itoria | Costo |
|---------------------------------------|-------------|--------------------------|---------------|--------------------|-------|
| Termómetro de líquido en vidrio | Alcohol | -70 a 65 | ± 0.5 | Mala | Bajo |
| | Mercurio | -40 a 300 | ± 0.25 | Mala | Var. |
| | Hg con gas | -40 a 550 | ± 0.25 | Mala | Var. |
| Resistencia eléctrica | | -180 a 1000 | ± 0.002 | Regular | Bajo |
| Termistores | | -70 a 250 | ± 0.01 | Bueno | Bajo |
| Efectos termoelectricos | | | ± 0.5 | Bueno | Bajo |
| Cristal de cuarzo | | -40 a 230 | ± 0.001 | Mala | Reg. |
| Cristal líquido | | 650 a --- | ± 10 | Mala | Reg. |
| Med. por radiación | | -15 a --- | ± 0.5 | Buena | Alto |
| Termom. de gas ideal | Mecánicos | --- | --- | Mala | Bajo |
| | Eléctricos | --- | --- | Mala | Bajo |
| expansión fluidos | Líqu. o gas | -100 a 550 | ± 1.0 | Mala | Bajo |
| | P.de vapor | -6 a 200 | ± 1.0 | Mala | Bajo |
| Cinta bimetalica | | -100 a 1000 | ± 0.25 | Mala | Bajo |

Tabla 2.1.1

Los termistores, son probablemente, los más familiares. A diferencia de los termopares y de los DTR, son altamente sensitivos, no lineales y cubren un intervalo limitado de temperaturas. Los termistores ofrecen una variedad de tamaños, formas, exactitudes y precios más amplia que cualquier otro sensor de temperatura comercial.

Los circuitos integrados sensores de temperatura son nuevos y fáciles de usar en aplicaciones experimentales. Son sensitivos y lineales y fácil su interfase

| TIPO DE SENSOR | Sensiti- vidad | R.Tempe- ratura | R. Medio exact. | No linea- lidad |
|---|--|---------------------------------|--------------------------------|--------------------|
| Termopares base metal tipo j, k, t, e, n. | 40 a 70 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ | -270 a 1372 $^\circ\text{C}$ | 1.1 a 2.2 $^\circ\text{C}$ | 1 a 5 % |
| Termopares mezcla de platino | 7 a 12 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ | -50 a 1820 $^\circ\text{C}$ | 0.6 a 1.5 $^\circ\text{C}$ | 1 a 5 % |
| Termopares mezcla de tungsteno | 10 a 21 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ | -17 a 2315 $^\circ\text{C}$ | 4.5 $^\circ\text{C}$ | 2 a 7 % |
| Termómetro resistencia de platino (100 Ω) | 0.4 $\Omega/^\circ\text{C}$ | -200 a 650 $^\circ\text{C}$ | 0.1 a 0.25 $^\circ\text{C}$ | 1 a 3 % |
| Termómetro resistencia de níquel (100 Ω) | 0.7 $\Omega/^\circ\text{C}$ | -60 a 180 $^\circ\text{C}$ | 0.4 $^\circ\text{C}$ | 1 a 5 % |
| Termistor de disco de precisión | -3 a -5 $\%/^\circ\text{C}$ | -80 a 150 $^\circ\text{C}$ | 0.1 a 0.2 $^\circ\text{C}$ | |
| Termistor-gota de cristal | -3 a -5 $\%/^\circ\text{C}$ | -60 a 300 $^\circ\text{C}$ | | |
| Sensor en circuito integrado | 1 $\mu\text{A}/^\circ\text{C}$ ó 1 a 10 mV/ $^\circ\text{C}$ | -50 a 150 $^\circ\text{C}$ | 0.5 a 5 $^\circ\text{C}$ | 0.3 a 3 % |

Tabla 2.1.2

con amplificadores operacionales y convertidores A/D. Los CI's no se han popularizado como otros sensores, pues, calibrados con precisión, gradualmente llegan a ser caros. Sus intervalos de temperatura son casi los mismos que los de algunos termistores con funda epóxica.

El mejor sensor depende de la aplicación, de la temperatura de operación y de la exactitud deseada. Con temperaturas altas los termopares pueden ser la única opción. La mejor exactitud generalmente la dan los sensores de temperatura de resistencia (STR) de platino, aunque algunos termistores de precisión pueden incluso superarlos. Los termistores y los CI's ambos cumplen para mediciones de

moderada exactitud y en aplicaciones de compensación de temperatura.

Los CI's, menos extendidos, y los DTR ofrecen un limitado paquete de selección para tamaños pequeños y respuesta rápida. En la tabla 2.1.3 se muestran las características de algunos circuitos integrados.

| Tipo de Referencia | Descripción | Rangos del dispositivo | Exactitudes (@ 25 ° C) |
|------------------------------------|---|---|------------------------------|
| AD590 Dispositivo Analógico Harris | 2 term. fuente de I 1 $\mu\text{A}/^\circ\text{K}$ | -55 a 150 ° C | 1.7 a 10 ° C (0.5 a 5° C) |
| AD592 Dispositivo Analógico Harris | 2 term. fuente de I 1 $\mu\text{A}/^\circ\text{K}$ | -25 a 105 ° C | 1 a 3.5 ° C 0.5 a 2.5° C) |
| LM35 National | 3 term. fuente de I 10 mV/° C | -55 a 150 ° C | 1.5a 2 ° C (0.5 a 1° C) |
| LM135/235/335 National | 3 term. Reg. de Volt. 10 mV/° K | -40 a 100 -40 a 125 -55 a 150 ° C | 2.7 a 9 ° C (1 a 6 ° C) |

Tabla 2.1.3

En el caso del presente trabajo, se utilizó el sensor LM335 de National. Sus características son las siguientes:

Directamente calibrado en ° K

Error típico de 1° C sobre 100 ° C

Opera desde 400 μA a 5 mA

Impedancia dinámica de 1 Ω

Fácil calibración

Amplio intervalo de temperatura: desde -40 ° C a 100 ° C

200° C de sobrerango

Bajo costo

El sistema funcionará de -30 a 50 ° C, por lo que el sensor cumple con los intervalos mencionados. El que sea fácil de calibrar evita el uso de muchos elementos adicionales y la salida directamente calibrada en ° K permite al microprocesador la conversión a la escala centígrada mediante una simple adición.

La salida del dispositivo está dada por:

$$V_{sal T} = V_{sal T_0} \times \frac{T}{T_0}$$

donde T es una temperatura no conocida y T0 es la temperatura de referencia, ambas expresadas en ° K.

El voltaje de salida se calibra a 2.982 V @ 25 ° C con el potenciómetro de 10 K Ω que se muestra en la figura 2.1.2.

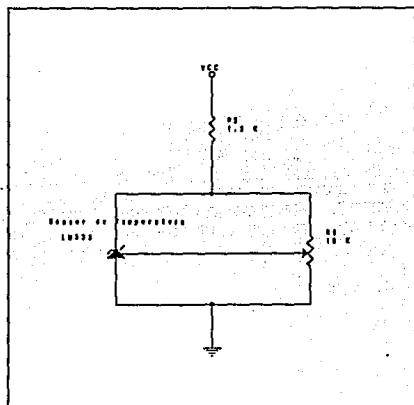


figura 2.1.2

La salida del sensor alimenta directamente a la entrada del convertidor, con una variación de $10 \text{ mV/}^\circ \text{C}$, teniéndose los siguientes voltajes típicos de incertidumbre:

| | | |
|-------|-------|----------|
| 373°K | 100°C | 3.732 V. |
| 273°K | 0°C | 2.732 V. |
| 233°K | -40°C | 2.332 V. |

El sistema operará entonces en los siguientes intervalos:

| | | |
|-------|-------|----------|
| 323°K | 50°C | 3.232 V. |
| 253°K | -40°C | 2.532 V. |

En el capítulo 3 se explicará más detalladamente su caracterización, linealización y calibración.

2.2.-Medición de la humedad.

El peso de vapor de agua que puede estar contenido en un volumen dado de aire depende esencialmente de la temperatura: a cada temperatura corresponde una cantidad máxima de vapor con la cual el aire queda saturado. Ordinariamente, la cantidad de vapor presente en el aire es inferior a la saturación; entonces, el vapor es invisible y mientras continúa en ese estado se comporta como los gases permanentes. Pero tan pronto como su cuantía excede del valor de saturación, la porción excedente no puede permanecer en forma gaseosa y se condensa en gotitas líquidas o en cristales de hielo, y entonces constituye, según las

circunstancias, una niebla o una nube, cuando no cae al suelo en forma de lluvia, nieve o granizo.

Las cantidades de vapor de agua con las cuales el aire queda aproximadamente saturado son las mostradas en la siguiente tabla.

| Temperatura | Gramos por m ³ | Temperatura | Gramos por m ³ |
|-------------|---------------------------|-------------|---------------------------|
| -20° | 0.9 | 10° | 9.4 |
| -10° | 2.3 | 20° | 17.2 |
| 0° | 4.9 | 30° | 30.1 |

La humedad relativa ϕ se define como la razón de la masa de vapor existente a la masa de vapor requerida a fin de producir una mezcla saturada a la misma temperatura. El método fundamental para medir la humedad es un procedimiento gravimétrico, el cual usa el National Bureau of Standards para propósitos de calibración: se expone una muestra de la mezcla de aire y vapor de agua a productos químicos adecuados hasta que el agua se absorbe. Los productos químicos se pesan entonces a fin de establecer la cantidad de vapor absorbida. Con este método pueden obtenerse incertidumbres tan bajas como 0.01 %.

Existen en el mercado varias formas de medir la humedad, las cuales se muestran en la tabla 2.2.1.

A continuación examinaremos y compararemos varios sensores comerciales de humedad: higrómetros, psicrómetros, medidores de punto de rocío y medidores de humedad a distancia.

El higrómetro es un transductor eléctrico de humedad que mide un cambio en las dimensiones de un elemento higróscopico. En el mercado existe gran variedad de higrómetros algunos de los cuales son el higrómetro capacitivo, el resistivo, el de óxido de aluminio (funciona midiendo la diferencia de impedancia capacitiva y resistiva), el de cristal, el electrolítico y el mecánico.

El psicrómetro es un dispositivo que permite medir la humedad del aire o gas leyendo dos termómetros, en donde uno de ellos se coloca directamente en el ambiente a medir. El otro se colocado al lado, se cubre con una tela fina como la muselina, que se mantiene húmeda, y se registra la temperatura producida por la evaporación del agua almacenada en la tela al circular el aire o el gas, la cual es menor que la temperatura ambiente. La humedad se determina por las dos lecturas de temperatura con ayuda de una carta sicrométrica. Hay en el mercado diferentes tipos de psicrómetros como el de bulbo seco, el oscilante o el aspirado.

El medidor de punto de rocío de una mezcla mide la temperatura a la cual el vapor se condensa cuando se enfría (las fases líquidas y gaseosas se encuentran en equilibrio) a una presión constante. En este punto, existe un único valor de presión para la saturación del vapor; con este valor y el de la temperatura es posible determinar la humedad absoluta y relativa con la ayuda de tablas de presión de vapor saturado. Los diferentes métodos que existen son los siguientes: fotoeléctrico, resistivo, nucleónico, de balance de energía y el manual.

Los medidores de humedad a distancia se basan en la absorción parcial y selectiva de algunas frecuencias del espectro electromagnético en materiales que presentan cierto grado de humedad. De acuerdo con la cantidad de moléculas de agua que contiene un material (humedad), se presenta cierta atenuación en la señal recibida por el sensor. Las frecuencias utilizadas cubren una buena parte del espectro electromagnético, desde radiofrecuencia hasta el infrarojo. Algunos de estos medidores utilizan absorción de radiofrecuencia (inferior a los 10 MHz), absorción de microondas (arriba de los 1000 MHz como la banda S a 2.45 GHz, X entre 8.9 y 10.6 GHz, K entre 20.3 y 22.3 GHz, etc.) o absorción infraroja.

De acuerdo con la tabla 2.2.1, el psicrómetro no es adecuado para registros automáticos continuos por su respuesta lenta. El medidor de punto de rocío utiliza tablas de presión, lo que lo hace un método no continuo. El medidor de humedad a distancia es bueno pero su aplicación se orienta más bien a mediciones desde

| Dispositivos | Tipo de señal | Tiempo de resp. | Exactitud | Costo | Rango de temp. |
|--|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|
| Higrometros Capacitivos Resistivos Oxido de Al Cristal Electrolítico Mecánico | H R u e m l e a d t a i d va | C o r t o | B u e ñ o | M e d i o | G r a n d e |
| Psicrómetros Bulbo seco Oscilante Aspirado | cartas sícromet ricas | L a r g o | B u e n o | B a j o | G r a n d e |
| Med. de punto de rocío Fotoeléctrico Resistivo Nucleónico Balance de energía Manual | Tablas de presión | C o r t o | B u e n o | A l t o | G r a n d e |
| Humedad a distancia Abs. Radiofrec. Abs. microondas Abs infraroja | Ajustars e H.R. | Ra pi da | B u e n o | A l t o | Gran de |

tabla 2.2.1

un satélite. El higrómetro es un medidor más adecuado para usos normales y, además, dan una respuesta en porcentaje de humedad relativa.

En nuestro caso, para medir la humedad, se utilizó un higrómetro resistivo (o elemento Dunmore debido a que fué F.W.Dunmore quien lo desarrolló en la National Bureau of Standars), consistente en una capa delgada de material higroscópico (polvo de carbón) colocada sobre una base aislada, construidos con embobinados de elementos dobles de metal noble en una forma plástica con un

espaciamiento cuidadosamente controlado entre ellos ó colocando dos placas en zigzag como electrodos como se observa en la figura 2.2.1.

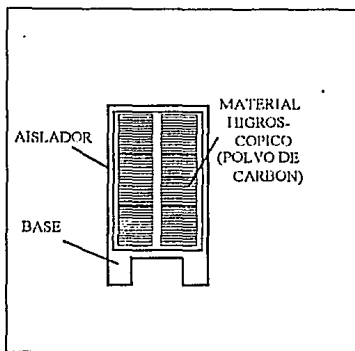


figura 2.2.1

Los embobinados se revisten con una solución acuosa del 2 al 5 % de cloruro de litio (LiCl), el cual forma una trayectoria de conducción entre los alambres. Al cambiar la humedad el elemento higroscópico sufre un cambio de resistencia, variando en forma proporcional a la cantidad de vapor de agua almacenada.

Para calibrar el sensor sin dañarlo, se somete a estándares de cloruro de litio (LiCl) para el punto seco (12.7%) y cloruro de sodio (NaCl) para el punto húmedo (75.5%). Las soluciones (que no afectan su % de HR con la temperatura) se preparan en una relación de 1/3 de cloruro y 2/3 de agua destilada para introducir el sensor y ajustar el circuito electrónico.

Existen en el mercado varios tipos de higrómetros resistivos, pero el sensor utilizado es el PCRC-11H fabricado por Phis-Chemical Scientific Corp. Sus características son las siguientes:

Rango de operación 0 al 100% de humedad relativa.

Impedancia de salida de 1 K Ω a 10.2 K Ω .

Histéresis error máximo \pm 2.5% H.R..

Tolerancia de 1% de H.R. a la curva de calibración (figura 3.6.)

Opera de los -28 ° C a los 170 ° C.

Tiempo de respuesta de 30 s. para un 63% de cambio de Humedad.

Funciona con alimentación de AC con frecuencias superiores a los 20 Hz y con cero componentes de DC.

Máxima corriente permitida de 1mA.

No debe ser expuesto a solventes orgánicos o cualquier compuesto químico que ataque el poliestireno.

La presencia de polvo sobre la superficie del sensor solo afecta ligeramente la velocidad en su respuesta.

Para procesar la señal de salida del sensor se empleó el circuito de la figura 2.2.2. El circuito propuesto es proporcionado por la tesis de licenciatura "Medición de humedad relativa con sensor tipo resistivo".[29].

Debido a que se presentan algunas restricciones por parte de este sensor, es necesario acondicionarlo con la circuitería necesaria, así como convertir la impedancia de salida (resistencia) que proporciona el sensor a una señal de voltaje, como se observa en la figura 2.2.2.

Debido a que el sensor sólo permite señales de AC con frecuencia mínima de 20 Hz y cero componentes de DC, se implementa un puente de switches analógicos, que se controlan con las salidas complementadas Q y \bar{Q} del circuito CD4047BC, que es utilizado como un multivibrador astable que entrega una señal cuadrada con un ciclo de trabajo del 50% en sus salidas Q y \bar{Q} , como se muestra

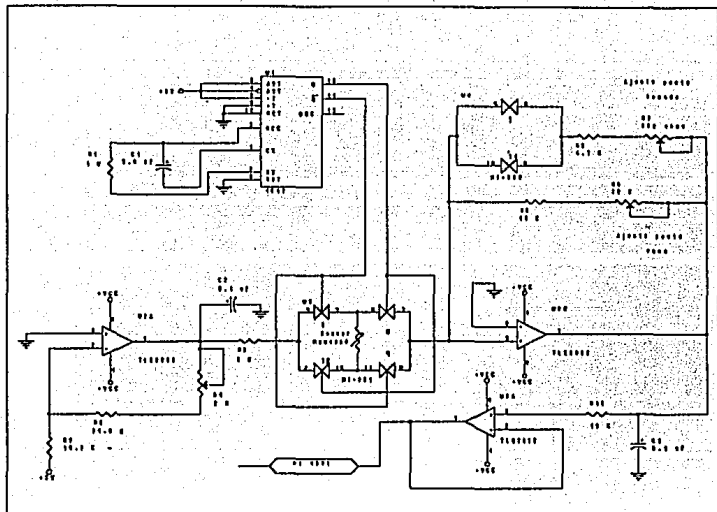


figura 2.2.2

en la figura 2.2.3.

Al lograr una señal cuadrada con 50% en su ciclo de trabajo se garantiza que la componente de DC en ella sea cero.

La frecuencia de la señal, debe ser mayor a 20 Hz, por lo que para obtener los valores del circuito se tiene:

$$f_0 = \frac{1}{T_0}$$

Donde $T_0 = 4.40 R_x C_x$

por lo que:

$R_x = 1 \text{ M}\Omega$, $C_x = 3.9 \text{ nF}$.

Finalmente:

$$T_0 = 4.40 \times 1 \text{ M} \times 3.9 \text{ nF} = 17.16 \text{ ms.}$$

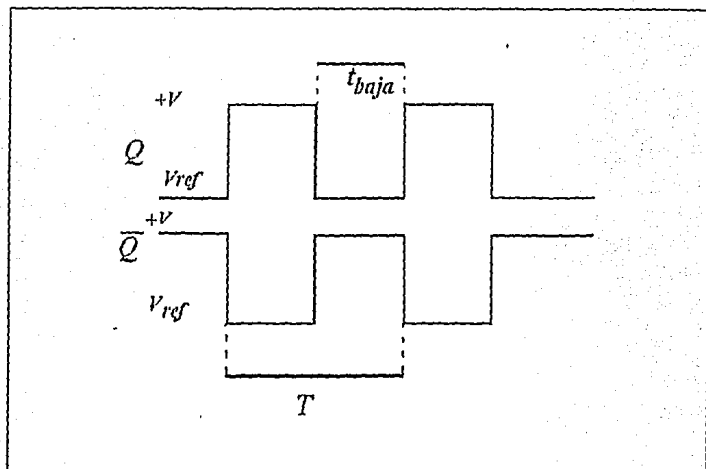


figura 2.2.3

Entonces $f_0 = 58.27 \text{ Hz}$.

Con cero señal de DC y la frecuencia superior a los 20 Hz, se descartan las restricciones del sensor utilizado.

El funcionamiento del circuito CD4047 es el siguiente:

Si en la figura 2.2.4a las salidas del multivibrador se encuentra en los estados $Q = "1"$ y $\bar{Q} = "0"$ lógicos, se provoca que los switches s_2 y s_3 se enciendan y los switches s_1 y s_4 se apaguen. En el otro semiciclo, cuando $Q = "0"$

y $Q = "1"$ lógicos se tiene que $s1$ y $s4$ está encendidos y $s2$ y $s3$ apagados, como en la figura 2.2.4b.

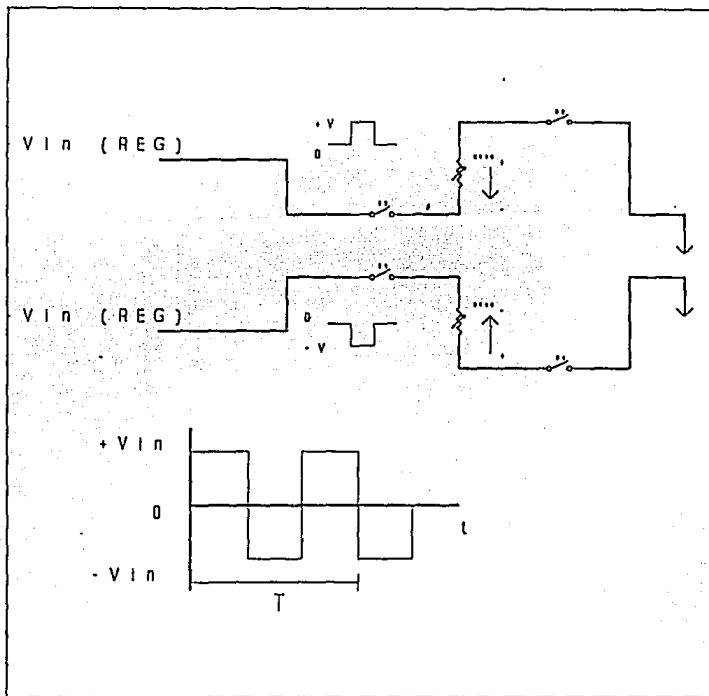


Figura 2.2.4

De las figuras 2.2.4a y b se observa que por la acción del puente, la corriente que pasa por el sensor de H.R. se alterne de un semiciclo a otro.

Para disminuir errores por variaciones en la alimentación al sensor, es necesario que el voltaje V_{in} se encuentre perfectamente regulado, con lo que

finalmente el sensor recibirá una señal de AC con cero componentes de DC como se muestra en la figura 2.2.4c.

Para la alimentación al canal analógico de los switches, como debe de permanecer constante, se utilizó el mismo voltaje de entrada de toda la tarjeta; como se mencionará más adelante, este voltaje regulado de +5 Volts llega a un amplificador operacional TLE2022 en configuración inversora, cuya función es convertir voltaje regulado de +5 a -7 Volts para alimentar al sensor.

Para la configuración inversora se tiene:

$$V_{out} = - \frac{R_f}{R_i} * V_i \dots (1)$$

Donde

R_f = Resistencia de realimentación.

R_i = Resistencia de entrada.

V_i = voltaje de entrada.

A esta parte del circuito, se agrega un potenciómetro de 2 K Ω que permite una modificación en la ganancia para asegurar el voltaje deseado.

$$V_{out} = - \frac{25.48 K\Omega}{18.20 K\Omega} (+5V) = -7.00 \text{ Volts}$$

Finalmente se coloca una resistencia de 6 K Ω cuya función es limitar la corriente que circula por el sensor a un valor menor a 1 mA, como lo especifica el fabricante.

Para procesar la señal de salida, el circuito de conversión se basa en la aplicación de un amplificador operacional TLE2022 en configuración inversora; la corriente que circula por el sensor llega a la terminal inversora del operacional y es convertida a voltaje por medio de la resistencia de realimentación del arreglo.

Del análisis hecho en la tesis de la referencia anterior, una característica importante de los switches analógicos, que es necesario tomar en cuenta para el análisis, es la resistencia que presenta el canal.

Se utilizaron los circuitos HI-201-5 de Harris Semiconductor que contiene 4 switches asegurando que la resistencia de canal sea la misma para los 4.

$$V_{out} = - \frac{R_f}{R_i} * V_i \quad I_{SEN} = \frac{V_i}{R_i}$$

Donde

$$R_i = 6 \text{ K}\Omega + R_{CANAL S1} + R_{SEN} + R_{CANAL S4}$$

Sustituyendo:

$$V_{out} = (R_f) \frac{7 \text{ Volts}}{6 \text{ K}\Omega + 2 (R_{CANAL}) + R_{SEN}}$$

Haciendo los cálculos para las condiciones de 100% y 4% de H. R. a @25 C. se tienen los valores de la siguiente tabla:

| H.R. (%) | R _{SEN} (K) | R _i (K) | V _{OUT} (Volts) |
|----------|----------------------|--------------------|--------------------------|
| 100 | 1 | 100 | 98.4 |
| 4 | 100 | 100 | 0.098 |
| 100 | 1 | 4.787 | 4.7128 |
| 4 | 100 | 4.787 | 0.0047 |

tabla 2.2.2

De estos resultados, se tiene que es necesario modificar la realimentación del circuito de conversión de resistencia a voltaje para tener una lectura adecuada en todo el rango de resistencia del sensor y evitar la saturación en el amplificador operacional.

El circuito HI-200-5 contiene 2 switches analógicos, con el control de los

switches colocados en paralelo para reducir la resistencia de canal El punto en que se hace la transición de un valor de realimentación a otro es el 30 % de H. R. [29].

En el circuito se utilizaron los potenciómetros de 500Ω y $20\text{ K}\Omega$ en el circuito; el primero permite hacer un ajuste cuando se calibra el sensor para el punto húmedo y el segundo para el punto seco.

Finalmente, un filtro paso bajas eliminan los picos de voltaje, donde además se utiliza un amplificador operacional en configuración seguidora.

En el capítulo 3 se explicará más detalladamente su caracterización, linealización y calibración.

2.3.-Medición de la presión.

Los gases, por efecto de la gran movilidad de sus moléculas, tienden a difundirse y ocupar un espacio cada vez mayor. Como consecuencia de esta expansividad, ejercen un esfuerzo sobre los obstáculos que se oponen a ella; este esfuerzo es la presión, que actúa sobre la superficie de tales obstáculos y puede medirse en gramos o kilogramos por centímetro cuadrado. Además, una porción cualquiera de la masa gaseosa es retenida por las porciones vecinas, que se comportan como verdaderos obstáculos en relación con la primera; se tiene así que en el seno del gas existe también una presión, al igual que en su periferia y, según el principio de Pascal, esta misma presión se ejerce en todos los puntos de la masa, cualquiera que sea la superficie que la limite o que en el interior de ella podamos suponer.

El enunciado del principio de Pascal supone que no actúan sobre las moléculas otras fuerzas tales como la gravedad, la fuerza centrífuga y otras que en la mecánica se suelen llamar acciones de masa para distinguirlas de la presión, que es una acción de superficie.

En los experimentos de laboratorio, y dada la pequeñez de la masa gaseosa con que en ellos se opera, esas fuerzas exteriores son en general insignificantes, de manera que el principio de Pascal para los gases se suele dar como cierto, sin reservas. Pero tratándose de la atmósfera, en la cual sobre una porción cualquiera de aire gravitan todas las que se encuentran encima, hay que tener en cuenta que la presión aumenta desde las partes más externas, donde es prácticamente nula, hasta la superficie terrestre, donde equivale al peso de toda la atmósfera. Según esto, la presión del aire varía desde un valor cero en las regiones superiores hasta un valor máximo al nivel del suelo.

Se ha encontrado preferible medir la presión directamente en unidades de fuerza por centímetro cuadrado, adoptándose para ello como unidad el milibar

(mb), que es la presión de 1000 dinas por cm^2 . En la tabla 2.3.1 se muestran las equivalencias en el SI.

La manera como varía la presión con la altitud es muy diferente en los gases que en los líquidos. Los gases son cuerpos muy compresibles, la densidad crece con la presión y un cm^3 de aire, por consiguiente, es bastante más denso al nivel del mar que en la cumbre de una montaña, de manera que la rapidez con que aumenta la presión con la profundidad es mucho mayor en las capas bajas de la atmósfera que en las capas superiores. Así, en promedio, se tiene la tabla 2.3.2. Otra forma de visualizar esta tabla la tenemos de la figura 2.3.1, de donde tenemos que lo que disminuye proporcionalmente con la altitud es el logaritmo de la presión.

En la figura 2.3.2 se muestran diferentes tipos de instrumentos para medir la presión, donde se comparan los límites de aplicación de tales instrumentos.

| | PSI | InH ₂ O | InHg | kPA | mbar | cm H ₂ O | mm Hg |
|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------|--------|---------------------|-------|
| PSI | 1.000 | 27.680 | 2.036 | 6.8947 | 68.947 | 70.308 | 51.71 |
| InH ₂ O | 3.61 | 1.000 | 7.35 ² | 0.2491 | 2.491 | 2.5400 | 1.868 |
| In Hg | 0.4912 | 13.596 | 1.000 | 3.3864 | 33.864 | 34.532 | 25.40 |
| kPa | 0.1450 | 4.0147 | 0.295 | 1.000 | 20.000 | 20.297 | 7.500 |
| mbar | 0.0145 | 0.4014 | 0.029 | 0.100 | 1.000 | 1.0197 | 0.750 |
| cmH ₂ O | 1.422 ² | 0.3937 | 2.89 ² | 0.0980 | 0.9806 | 1.000 | 0.735 |
| mm Hg | 1.933 ² | 0.5352 | 3.93 ² | 0.1333 | 1.3332 | 1.3595 | 1.000 |

Tabla 2.3.1

| Altitud SNM [m] | Presión [mm Hg] | Diferencia de altitud por 1[mm de Hg] en Presión[m] |
|--------------------|---------------------|--|
| 0 | 760 | 10.5 |
| 1000 | 674 | 12 |
| 2000 | 596 | 13 |
| 5000 | 405 | 19 |
| 10000 | 198 | 33 |

Tabla 2.3.2

Los dispositivos mecánicos ofrecen los medios más sencillos para medir presiones. Otros arreglos importantes son los siguientes:

El manómetro en u y el manómetro de tipo de pozo, son dispositivos usados para la medición de presiones de fluidos en condiciones de estado estacionario. A los manómetros de tipo de pozo también se les conoce como barómetros.

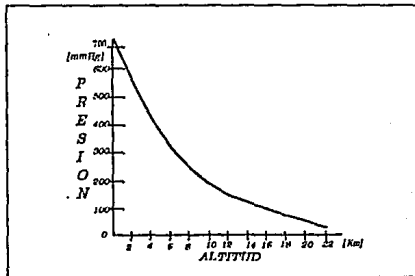


figura 2.3.1

Los manómetros con tubo de Bourdon tienen una amplia gama de aplicaciones en mediciones de presión estática baratas y consistentes. Se fabrican en muchos tamaños y exactitudes y su funcionamiento consiste en una deformación elástica que, idealmente, es proporcional a la presión.

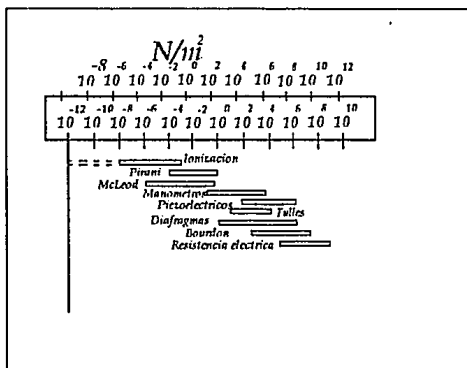


figura 2.3.2

Los manómetros de diafragma y fuelle representan tipos similares de dispositivos con deformación elástica útiles en la medición de precisión.

El manómetro de Bridgman utiliza resistencias de alambres delgados que cambian con la presión, con el se pueden medir hasta 100,000 atm.

El manómetro de MacLeod utiliza un depósito de mercurio móvil.

El manómetro de Pirani es un dispositivo que mide la presión mediante el cambio de conductividad térmica de un gas.

Los manómetros de ionización son utilizados para mediciones pequeñas del orden de 0.13 a 1.3 Pa.

En en la tabla 2.3.3 se muestran varios tipos de sensores que se encuentran en el mercado, de entre los cuales elegimos uno para nuestra aplicación.

El tipo compensado viene precalibrado, mientras que el no compensado debe ajustarse de acuerdo con las necesidades individuales.

Se sabe que la resistencia de los alambres delgados cambia con la presión de acuerdo con la relación lineal

$$R=R_1 (1 + b\Delta p)$$

donde R_1 es la resistencia a 1 atm, b el coeficiente de presión de la resistencia y Δp la presión del manómetro. El efecto puede usarse para medir presiones hasta de 100,000 atm. Un transductor de presión basado en este principio se denomina manómetro Bridgman.

Por lo general, los manómetros emplean un alambre fino de manganina (84% Cu, 12% Mn, 4% Ni) devanado en una bobina y encerrado en un recipiente de presión adecuado. El coeficiente de presión de este material es de 1.7×10^{-7} . La resistencia total del alambre es cercana a 100Ω y se emplean circuitos puente convencionales para medir el cambio de resistencia. Dichos manómetros están sujetos al envejecimiento en un período determinado, de modo que requieren calibración frecuente; sin embargo, cuando se calibra en forma apropiada, el manómetro puede usarse para mediciones de alta precisión con una exactitud del 0.1%.

Para medir la presión, en nuestro caso, se utilizó el sensor SX15AN de Sensym, cuyas características son las siguientes:

- Voltaje de salida proporcional a la presión,
- Encapsulado tipo N, que permite mejor manejo,
- Presenta una alta impedancia en el puente,
- Ideal para operar con sistemas de baterías por su bajo consumo,

| Tipo | Fabricante | Interv bar | Sensib mV/VBar | ErrorZ | Res K Ω | Compen sado |
|----------------|--------------|---------------|-------------------|--------------------|-------------------|----------------|
| TSP410A | TI | 0 a 2 | 20 | \pm 8mV/V | 3 | no |
| TSP411A | TI | 0 a 2 | 20 | \pm 8mV/V | 3 | si |
| KP100AL | VALVO | 0 a 2 | 13 | \pm 5mV/V | 1.8 | |
| KPY10 | SIEMENS | 0 a 2 | 10 | | 6 | no |
| KPY12 | SIEMENS | \pm 2 | 10 | | 6 | no |
| KPY31r | SIEMENS | \pm 0.02 | 250 | | 6 | no |
| MPX2100GV P | MOTOROL A | 0 a 1 | 4 | \pm .1mV/V | 1.8 | si |
| MPX3001 | MOTOROL A | 0 a 1 | 2.5V/Bar | \pm 50mV | | si |
| 136PC15 | HONEYW EL | 0 a 1 | 10 | 0.1mV/V | 6.8 | si |
| 142PC15A | HONEYW EL | 0 a 1 | 5 V/Bar | \pm 25mV | | si |
| EPG-01016 | ENTRAN | 0a1.5 | 80 | \pm 10mV | | si |
| PX137 | OMEGA | 0 a 1 | 100 | \pm 2mV | 5 | si |
| PX81 | OMEGA | 0 a 1 | 100 | 2mV | 4.4 | si |
| SCC15 | SENSYM | 0 a 1 | 55 | -10mV | 5 | si |
| SCX15AN | SENSYM | 0 a 1 | 7.5 | \pm 25 μ V/V | 4 | si |
| SX15AN | SENSYM | 0 a 1 | 22 | \pm 3mV/V | 4.7 | no |

Tabla 2.3.3

Bajo ruido,

Opera de -40 a 85 ° C,

Presión máxima de 30 psi¹,

¹ libras por pulgada cuadrada

Opera desde 0 a 15 psia²,

Bajo costo.

La familia SX de sensores de presión funciona con un puente de Wheatstone. Cuando se aplica la presión al dispositivo (como se muestra en la figura 2.3.3) el resistor, en una de las ramas del puente, cambia por un incremento Δ .

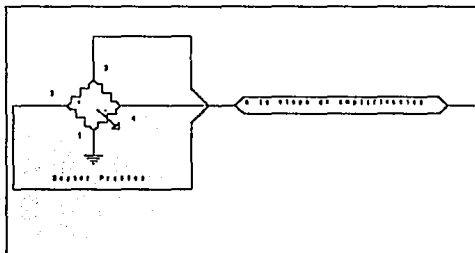


figura 2.3.3

Este voltaje de salida diferencial V_0 puede expresarse fácilmente como $V_0 = V_B \times \Delta$, donde el cambio en la resistencia es directamente proporcional a la presión. V_0 tiene que ser escrito así:

$$V_0 = SPV_B \pm V_{os}$$

donde:

V_0 es la salida de voltaje en mV

S es la sensibilidad en mV/Vxpsi

P es la presión en psi

V_B es el voltaje del puente en Volts

² libras por pulgada cuadrada absoluta

V_{os} es el error de offset (el voltaje diferencial de salida cuando la presión aplicada es cero). El voltaje de offset presenta un pequeño problema en algunas aplicaciones, pero puede ser corregido fácilmente usando amplificadores en la circuitería o digitalmente con microprocesadores si el sistema lo permite.

Los resistores de silicio dopado que se encuentra en los transductores de presión son altamente dependientes de la temperatura. La curva de resistencia típica se muestra en la figura 2.3.4. A temperatura ambiente, el coeficiente de temperatura del resistor es:

$$TC_R = \frac{\Delta R}{R} \Delta T \quad \text{aprox } 1350 \text{ ppm/K} = 0.135\% / K$$

En un arreglo tipo puente, como el empleado en sensores de presión, la variación de resistencia inducida por la variación en temperatura no tiene un efecto adverso pues existe esta misma variación en todos los resistores. Sin embargo, el problema aumenta debido al hecho de que la sensibilidad de presión del sensor es también altamente dependiente de la temperatura. Su coeficiente de temperatura es:

$$TC_S = \frac{\Delta S}{S_X} \Delta T \quad \text{aprox } -2350 \text{ ppm/K} = -0.2350\% / K$$

Como el sensor no está compensado, existen 2 métodos para compensarlo: el método analógico y el digital. Para compensar al circuito propuesto para medir la presión, se tiene la opción de compensarlo digitalmente con el microprocesador, no sólo eliminando la necesidad de utilizar un circuito analógico, sino que además permite que la calibración se realice fácilmente mejorando su exactitud y estabilidad. El circuito analógico propuesto se muestra en la figura 2.3.5.

Para el sistema del presente trabajo se especificó un intervalo de 2200 m

En el dispositivo SX, cambios en el voltaje de entrada pueden causar cambios proporcionales en el voltaje de offset y en la escala completa del SPAN, como se observa en la figura 2.3.6.

Definamos estos puntos:

SPAN: Es la diferencia aritmética entre las señales medidas a la mínima y a la máxima presión de operación. Estos valores como se indico, son 790 mB a los 550 mB, por lo que el Span es de 240 mB.

Voltaje de offset: Es la señal de salida del transductor a presión cero.

Escala completa de salida: Es el voltaje actual leído y obtenido en el punto final del rango de presión.

Sensibilidad: Es la razon de cambio de voltaje de salida al correspondiente cambio de la presión de entrada a un voltaje de alimentacion dado. La sensibilidad se determina calculando el cociente del SPAN entre el intervalo de presión de entrada.

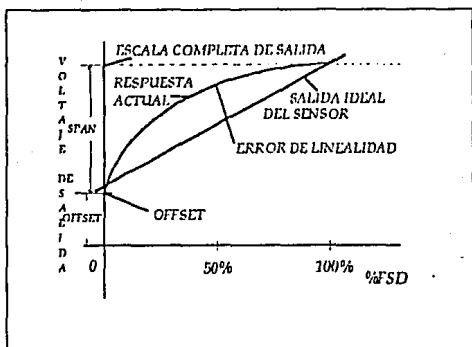


figura 2.3.6

Partiendo de este punto, el voltaje de salida del sensor depende de:

$$V_o = f(V_{cc}, \text{zero}, \text{sensibilidad})$$

Sin embargo también depende de varios coeficientes de temperatura que representan adicionalmente un error:

- Coeficiente de temperatura del voltaje de offset: $+4\mu\text{ V/V}^\circ\text{ C}$.
- Coeficiente de temperatura de la resistencia: $630\text{ ppm}^\circ\text{ C}$.
- Coeficiente de temperatura del SPAN: aproximadamente $2150\text{ ppm}^\circ\text{ C}$.

Idealmente, la salida de un sensor de presión en circuito integrado debe ser independiente de la temperatura. Desafortunadamente, para todos los sensores de presión integrados, como la temperatura ambiental se incrementa, la sensibilidad en realidad decrece. En términos simples resulta que el diafragma en el sensor integrado en realidad se vuelve rígido cuando aumenta la temperatura. Por lo tanto, la sensibilidad en el diafragma del sensor de presión decrece con incrementos de temperatura, tal como se observa en la figura 2.3.7. Para compensar estos cambios de sensibilidad, el voltaje en el puente debe cambiar para mantener la salida independiente de la temperatura. Históricamente, esto no tiene que ser un problema fácil de resolver con termistores u otros esquemas para lograr una tolerancia razonable sobre rangos de temperatura comerciales.

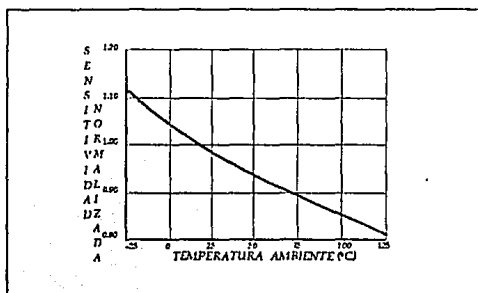


figura 2.3.7

partes por millón.

El actual SPAN en el sensor descrito en la ecuación 1, es igual al producto de la sensibilidad (S), el voltaje del transductor (V_B) y el cambio de presión tomando como referencia una cierta presión (P-P0).

$$SPAN = S \times V_B (P - P_0) \dots \dots \dots (1)$$

De cualquier modo, a causa de que la sensibilidad en realidad disminuye con un incremento en la temperatura, el voltaje en el puente debe aumentar o cambiar en la dirección opuesta para mantener el rango de voltaje de salida independiente de la temperatura.

Un método viejo y muy comúnmente usado para prever la compensación del SPAN para sensores de presión involucra el uso de termistores. Sin embargo, una nueva solución es usar el circuito integrado LM334, donde uno puede compensar fácilmente los sensores de presión integrados, y se trata de un dispositivo muy barato. El LM334 es una fuente de corriente programable de 3 terminales cuya principal característica es una corriente de salida que se eleva linealmente con la temperatura a razón de +0.336%/° C. Tomando el típico coeficiente de temperatura para la serie SX de la hoja de datos, uno puede notar que poniendo el LM334 directamente en serie con el sensor, resultará una sobrecompensación. Esto se debe a que el factor de sensibilidad del puente cambia a -2350 ppm/° C mientras que el LM334 y la resistencia de cambio del sensor se combinan para causar un cambio en el voltaje a través del sensor a razón de +4710 ppm/° C. El resistor R2 del circuito, que permite la sobrecompensación del SPAN a +2150ppm/C, compensa la caída de sensibilidad del puente.

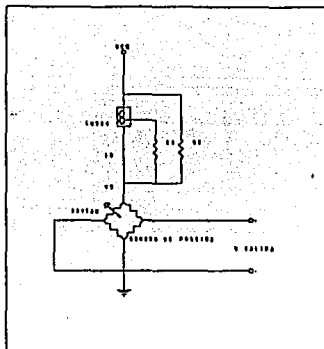


figura 2.3.8

Este método de compensación del SPAN permite seleccionar el voltaje del puente en lugar de que lo determine la caída de voltaje en el circuito de compensación.

La principal ventaja de esto es que uno puede seleccionar el voltaje del puente para que sea tan alto como 1 volt abajo del voltaje suministrado. Este voltaje más alto a través del puente minimiza la ganancia en las posteriores redes de amplificación.

Errores menores del 1% para el SPAN pueden obtenerse entre 0 y 75 ° C usando este circuito. Uno puede notar de cualquier modo que mas allá de ese intervalo de temperatura, los termistores o esquemas de compensación pueden ser necesarios de nuevo para obtener errores del orden del 1%.

Con el fin de obtener la compensación deseada del SPAN, los mejores valores para los resistores R1 y R2 deben calcularse mediante la ecuación nodal para el voltaje del puente. Las ecuaciones son las siguientes [27]:

$$V_B = \alpha (V_S + I_0 R_2) \dots \dots \dots (2)$$

Tomando la derivada con respecto a la temperatura y normalizando con respecto al voltaje del puente a 25° C se obtiene:

$$\frac{V_B}{V_D} = \frac{i_0}{i_0} \left(1 - \alpha \frac{V_S}{V_B}\right) + \frac{R_D}{R_B} (1 - \alpha) \dots \dots \dots (3)$$

Donde:

$$\frac{V_B}{V_D} = \text{Coef. de temp. d el voltaje del puente (ppm/° C)}$$

$$\frac{i_0}{i_0} = \text{Coef. temp. LM334 (ppm/° C)}$$

$$V_S = \text{fuente de voltaje (Volts)}$$

$$V_D = \text{Voltaje inicial del puente (Volts)}$$

$$\frac{R_D}{R_B} = \text{Coef. temp. resistencia del puente (ppm/° C)}$$

$$R_B = \text{Resistencia inicial del puente a 25° C (Ω)}$$

$$\alpha = \frac{R_D}{R_2 + R_B}$$

Resolviendo la ecuación para R2:

$$R2 = \frac{R_B \left[\frac{i_0}{i_0} \left(\frac{V_S}{V_B} - 1 \right) + \frac{V_B}{V_B} \right]}{\frac{R_B}{R_B} + \frac{i_0}{i_0} - \frac{V_B}{V_B}} \dots \dots \dots (4)$$

Una vez encontrado R2, R1 puede encontrarse con la ecuación:

$$R1 = 67.7 \text{ mV} \frac{(R2\alpha)}{V_B - \alpha V_S} \dots \dots (5)$$

y finalmente:

$$i_0 = \frac{67.7 \text{ mV}}{R1} \dots \dots \dots (6)$$

Donde los valores tomados de las tablas son:

$$\frac{V_B}{V_B} = +2150 \text{ ppm}/^\circ \text{C}; \quad \frac{i_0}{i_0} = 3355 \text{ ppm}/^\circ \text{C}; \quad V_S = 5 \text{ V}; \quad V_B = 3.5 \text{ V}$$

$$\frac{R_B}{R_B} = +630 \text{ ppm}/^\circ \text{C}$$

$$R_B = 4650 \Omega$$

sustituyendo finalmente los valores en 4,5 y 6 se tiene:

$$R2 = 9.09 \text{ K}\Omega, \quad \alpha = 0.338, \quad R1 = 115.19 \text{ K}\Omega \quad i_0 = 0.587 \text{ mA.}$$

2.4.-Medición del viento.

Salvo en casos raros, el aire está dotado de movimiento. A este movimiento del aire se le llama viento. El viento es aire que se mueve en todas direcciones y se origina por la desigual presión atmosférica provocada por las variaciones de temperatura. Cuando el aire está en reposo, es decir, cuando no hay viento, se establecen las llamadas calmas.

En la atmósfera libre, las corrientes del aire pueden tener una dirección cualquiera que, para su estudio, se descompone en una componente vertical (de ascenso y descenso) y otra horizontal, que generalmente es la más importante. Al nivel del suelo, sólo son posibles los movimientos paralelos al terreno, pero ya a poca altura, sobre todo en días cálidos y en lugares soleados, se encuentran corrientes de direcciones más o menos inclinadas.

El viento horizontal, tal como se observa en una estación meteorológica ordinaria, se define por dos características: la dirección y la velocidad.

La dirección se designa por el rumbo del cual viene el viento y no por aquél al cual se dirige. Los rumbos se refieren a la rosa náutica, reducida generalmente a ocho de sus direcciones: N, NE, E, SE, S, SW, W y NW, contando desde el norte geográfico o verdadero (no el magnético). Existen, además, otras notaciones de la dirección del viento en las rosas de 16, 32 y 36 direcciones como se ilustra en la figura 2.4.1.

La velocidad, llamada también fuerza del viento, se mide en metros por segundo. La transformación de unidades se muestra en la tabla 2.4.1.

Existen tres leyes de los vientos, las cuales se mencionan a continuación:

| | Km/h | m/s | Cm/s |
|------|----------------------|--------|-------|
| Km/h | 1 | 0.2778 | 27.78 |
| m/s | 3.6 | 1 | 100 |
| Cm/s | 3.6×10^{-2} | 0.01 | 1 |

Tabla 2.4.1

Primera ley: Los vientos soplan de las áreas que tienen alta presión atmosférica a las que registra baja presión.

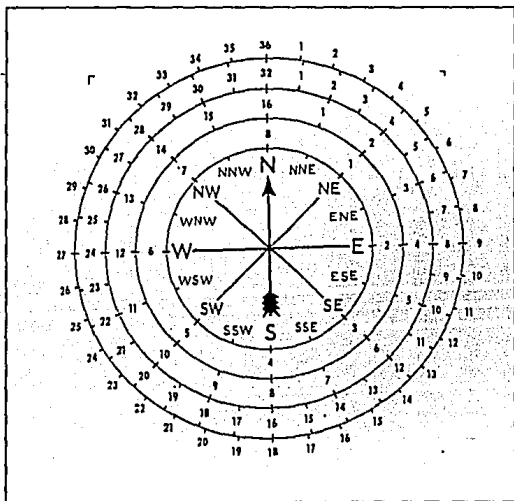


figura 2.4.1

Segunda ley: La tierra gira de oeste a este, por lo que el viento y todos los objetos que están en movimiento en el hemisferio norte tienden a desviarse de su punto

de origen hacia la derecha y en el hemisferio sur hacia la izquierda.

Tercera ley: La velocidad del viento depende de las variaciones de la presión atmosférica: cuanto mayor sea la diferencia entre las presiones, mayor será su velocidad, que va desde metros hasta kilómetros por hora.

Existen varios dispositivos para medir la dirección y velocidad del viento, los cuales se muestran en la tabla 2.4.2. Comúnmente, los dos tipos de sensores existen comercialmente en un solo paquete

| <u>Dispositivo</u> | <u>Variable</u> |
|--------------------|-----------------|
| Anemoscopio | Dirección |
| Cono de Viento | Dirección |
| Anemógrafo | Velocidad |
| Anemómetro | Velocidad |

Tabla 2.4.2

La veleta o anemoscopio indica la dirección del viento, indicando las direcciones, generalmente, con 32 puntos. El cono de viento, que es una especie de embudo, también determina la dirección del viento pero en forma visual; se usa en la mayoría de los aeropuertos y tiene ventajas de bajo costo, fácil instalación y mantenimiento.

La velocidad del viento también se determina por observación directa con el anemómetro, comúnmente el de cazoletas, cuya rotación crece a medida que la velocidad aumenta. Si la velocidad queda registrada sobre una gráfica, se denomina anemógrafo.

En el mercado existen diferentes dispositivos, algunos de los cuales se

muestran en la tabla 2.4.3.

| Dispositivo | Fabricante | Costo |
|-------------|--------------------------|---------|
| ID-1890 | Digital Weather Computer | Regular |
| ID-4001 | Digital Weather computer | Alto |
| WM-II | Davis Instruments Corp. | Bajo |

Tabla 2.4.3

En nuestro sistema, el diseño del circuito del anemoscopio se basó en un resistor variable o potenciómetro sin tope, el cual regresa a su mínimo valor de 0Ω con ayuda del viento después de pasar por su valor máximo de $102 \text{ k}\Omega$. El valor del voltaje de salida del circuito de la figura 2.4.2 se divide en 8 intervalos. Nuestro dispositivo se muestra en la figura 2.4.3.

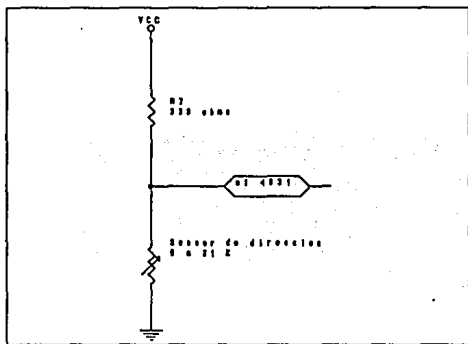


figura 2.4.2

El circuito se polariza con 5 volts y su salida pasa directamente al convertidor. En el capítulo 3 se explicará con detalle su caracterización y calibración.

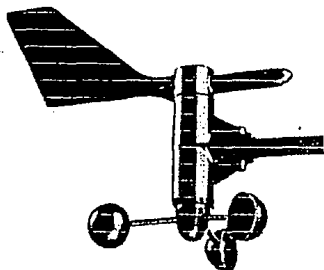


figura 2.4.3

La velocidad del viento se leerá digitalmente como lo ilustra la figura 2.4.4.

El circuito utiliza dos contadores 74HC191, capaces de contar juntos hasta 256 cuentas, cuya salida entra a un latch 74HC373 que manda la señal al microcontrolador. Allí, por programa, se hace la calibración.

Los pulsos que llegan a los contadores 74HC191 se obtienen con el circuito de la figura 2.4.5, donde el sensor es un transductor de efecto Hall, que manda un pulso al pasar un pequeño imán cerca del transductor.

Los pulsos entran al circuito LM 339 que sólo compara el pulso que se obtiene del sensor, con un voltaje que se fija en 1 Volt, posteriormente, la señal entra a el circuito 74HC121, que retarda la señal para que entre un pulso y el siguiente no se interfiera el conteo. Finalmente la señal entra a un inversor para obtener una salida segura en TTL.

Para obtener la salida de datos de la velocidad del viento, se tiene la siguiente relación que el fabricante nos proporciona.[31].

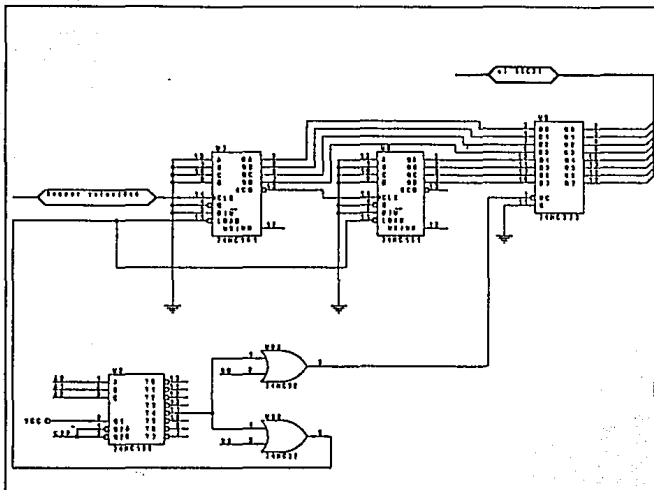


figura 2.4.4

$$V_v = n \frac{1600}{cal}$$

donde:

V_v =velocidad del viento

n =número de revoluciones

$cal=1600$ para mph

= 995 para kmh

=1843 para nudos

=3578 para m/s

El circuito tiene, además, un decodificador 74HC138 y unas compuertas OR 74HC32. El primero recibe las señales A0, A1, A2 y CSP de un microcontrolador 80C31 y su salida, que decodifica la dirección 5, se conecta a un par de

2.5.-Medición de la precipitación.

El aire se conserva transparente mientras la cantidad de vapor acuoso no llegue a la saturación. Rebasada ésta, es decir, superado el 100% de humedad relativa, el aire todavía puede estar en el mismo estado a pesar de un pequeño exceso de vapor y, entonces, se encuentra sobresaturado. Pero, en la atmósfera, estas condiciones subsisten muy poco tiempo y de ordinario no tardan en formarse gotas líquidas; si la temperatura es muy baja, en lugar de gotas líquidas se forman cristales de hielo.

El pluviómetro es el más elemental de los aparatos de una estación meteorológica. En esencia, se reduce a un vaso de boca ancha en el cual se reciben el agua de lluvia, la nieve o el granizo que caen directamente del cielo; conociendo el área de la boca y midiendo la cantidad de agua recogida en cierto tiempo, se tiene, mediante una sencilla proporción, la cantidad de agua caída por metro cuadrado o el espesor de la misma uniformemente repartida sobre el suelo.

Existen varias maneras de recolectar el agua de lluvia, las cuales se muestran en la tabla 2.5.1. Los pluviógrafos marcan de una manera continua la cantidad de lluvia que va cayendo. Los diferentes pluviógrafos se adaptan a las necesidades del lugar, algunos de ellos no son costosos y son fáciles de maniobrar.

El pluviométrómetro es un pluviómetro de montaña, para lugares alejados y deshabitados a donde no es posible trasladarse con frecuencia. Este instrumento es de gran cabida, en cuyo interior se vierte una cantidad medida de una solución incongelable (cloruro de manganeso o de calcio) y, para evitar la evaporación, se cubre la solución salina con una capa de aceite mineral de bajo punto de congelación, para posteriormente medir con una probeta el agua almacenada en varios días.

| Dispositivo | Uso |
|-----------------|-----------|
| Pluvionivómetro | Montaña |
| P. de Hellmann | Normal |
| Pluviógrafo | Aguaceros |
| P. de Jardí | Aguaceros |
| P. de sifón | Aguaceros |

Tabla 2.5.1

En nuestro caso, se usó un pluviómetro convencional, que almacena la precipitación en un recipiente cilíndrico, el cual, al llenarse hasta cierto nivel, vierte el contenido a otro recipiente mediante una manguera que se descarga como un sifón, activando un pequeño imán que, a su vez, cierra un interruptor magnético (figura 2.5.1). Al cerrarse el circuito, se activa el circuito multivibrador monoestable 74HC121, el cual genera un pulso eliminando posibles rebotes del imán. La circuitería externa del 74HC121 se diseñó para un tiempo T_w como sigue:

$$T_w = KR_x C_x$$

donde R_x está en $K\Omega$, C_x en pF , T_w en nS y $K = 0.7$.

El segundo recipiente cilíndrico se descarga por un pequeño orificio, bajando nuevamente el imán contenido en una goma que le permite flotar.

El pulso generado por el 74HC121 activa a un contador 74HC191, el cual, con otro conectado en cascada, puede contar hasta 256 pulsos. El dato se manda

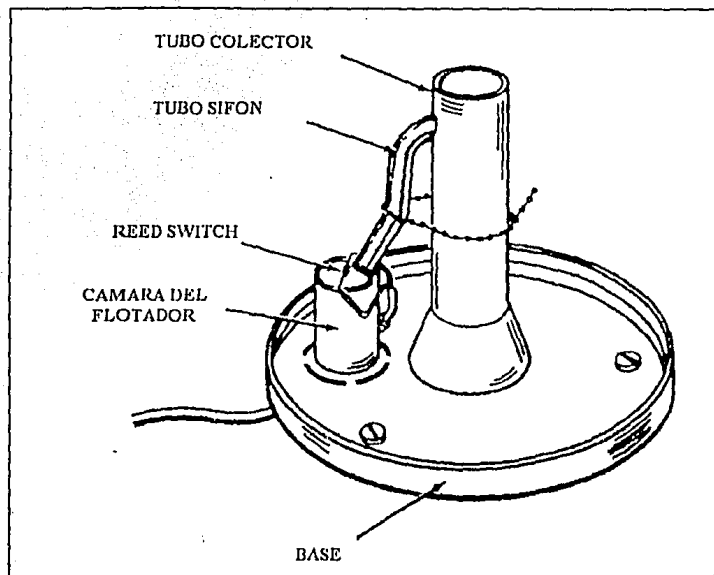


figura 2.5.1

a un último circuito 74HC373 que permite leer la cuenta por el puerto 1 del microcontrolador, accediéndolo con la dirección 4. Esto se ilustra en la figura 2.5.2.

El circuito del interruptor magnético (reed switch) se muestra en la figura 2.5.3.

Calculemos con qué precipitación se produce un pulso.

Dado que el diámetro de la circunferencia exterior del cono recolector mide 7.05 cm, su área es de 39.04 cm². Entonces, si se obtiene un pulso cuando del cilindro se descargan 10 ml, se tiene:

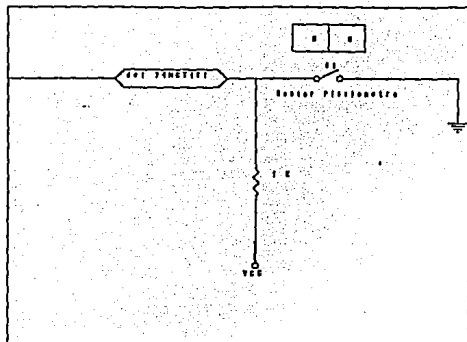


figura 2.5.3

$$P_r = \text{numPulsos} \times 2.56$$

El circuito implementado se ilustra en la figura 2.5.2 y es similar al de la figura 2.4.4 con la diferencia de la dirección de acceso, que ahora es 4, y de que los contadores no necesariamente se inicializan en cada lectura, dada la baja frecuencia de los pulsos.

Finalmente, en la figura 2.5.4 se muestra la circuitería que polariza la tarjeta sólo cuando es accesada por medio del microcontrolador. En la figura 2.5.5 se muestra toda la circuitería de la etapa de sensores y en la figura 2.5.6 la tarjeta adicional de los sensores externos y conexiones.

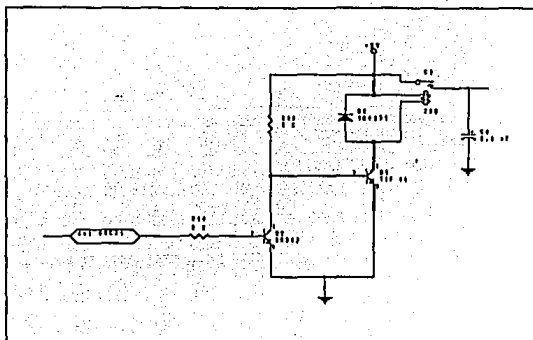
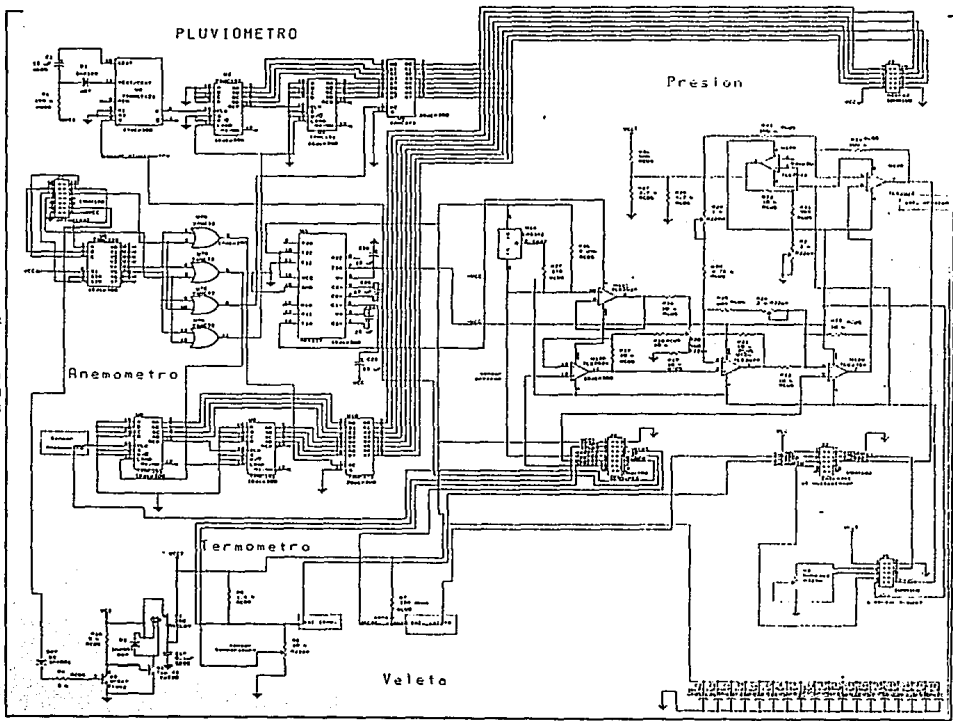


figura 2.5.4

figura 2.5.5



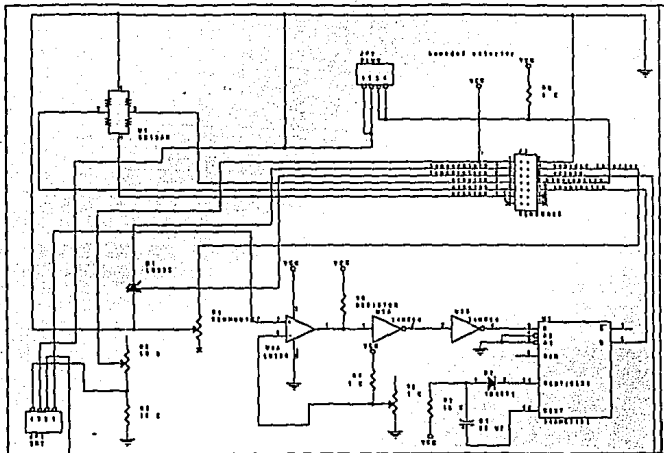


figura 2.5.6

CARACTERIZACIÓN, LINEALIZACIÓN Y CALIBRACIÓN.

La facilidad de lectura de un instrumento es objeto de frecuente interés.

Si un sensor se fabrica con materiales ideales, utilizando procesos y manufactura ideal se tendría un instrumento que siempre daría el valor verdadero de la variable cuantificada (lectura libre de error) y cuya relación teórica salida-medición se cumple en todo el rango de diseño. Sin embargo, el comportamiento no ideal del sensor produce errores en la medición y la relación teórica representada por una tabla, gráfica o ecuación matemática no se satisface por completo.

La linealidad en un sensor o transductor responde a una relación entre la salida que proporciona y la medición realizada.

Cuando en la curva del comportamiento de un sensor se observa que para un cambio en la entrada (variable sujeta a medición) se produce un cambio proporcionalmente similar en su respuesta (señal de salida) formando una línea recta, se dice que el sensor tiene un comportamiento lineal.

A pesar del esfuerzo de fabricantes y diseñadores para ofrecer un transductor con

un comportamiento lineal, existen elementos cuya linealidad se reduce a un cierto rango de medición o sugieren algunos métodos o módulos para linealizar su respuesta.

Una característica estática importante en los sensores, relacionada con este comportamiento, es la linealidad la cual se define como la máxima desviación de un punto de la curva de calibración del transductor con respecto a una línea recta específica y se expresa generalmente en porcentaje de la escala completa de salida (%FOS). Se puede decir que es una medida de la no linealidad del transductor.

Los fabricantes especifican la linealidad de acuerdo con los puntos de referencia utilizados para ubicar la línea recta y la forma en que se comporta el transductor, por lo que es posible encontrar en las especificaciones los términos: Linealidad independiente, Linealidad de puntos límite, Linealidad independiente forzada a cero, entre otras.

La calibración de todo instrumento es importante, porque permite verificar el instrumento contra un patrón (o estándar) conocido y reducir, por lo tanto, los errores de exactitud. Los procedimientos de calibración implican una comparación particular con:

- 1) un patrón primario,
- 2) un patrón secundario con una mayor exactitud que la del instrumento que se calibra,
- 3) con una fuente de entrada conocida.

La importancia de la calibración no puede dejar de recalcarse ya que establece la exactitud de los instrumentos. Mejor que aceptar la lectura de un instrumento, es preferible efectuar cuando menos una calibración de verificación para asegurarse de la validez de las mediciones. Aun las especificaciones o calibraciones de los fabricantes no siempre pueden tomarse como idóneas. La mayoría de los fabricantes de instrumentos son confiables, pero algunos no.

Temperatura:

Recordando del capítulo anterior las características del sensor empleado para la medición de temperatura y mostrando las nuevas características eléctricas y los parámetros respecto a la exactitud del IC LM335 se tiene en la tabla 3.1:

| Parámetros | Condiciones | LM335 | | | Unid. |
|---|---|-------|------|------|--------------------|
| | | min | tip | Max | |
| Operación V_o | $T_c=25^\circ \text{ C}$, $I_R=1 \text{ mA}$ | 2.92 | 2.98 | 3.04 | V |
| Error Temp no calibrado | $T_c=25^\circ \text{ C}$, $I_R=1 \text{ mA}$ | | 2 | 6 | $^\circ \text{ C}$ |
| Error Temp no calibrado | $T_{\text{min}} \leq T_c \leq T_{\text{max}}$ $I_R=1 \text{ mA}$ | | 4 | 9 | $^\circ \text{ C}$ |
| Error Temp cal. a 25° C | $T_{\text{min}} \leq T_c \leq T_{\text{max}}$ $I_R=1 \text{ mA}$ | | 1 | 2 | $^\circ \text{ C}$ |
| Error cal. con $> \text{Temp.}$ | T_c o T_{max} intermitente | | 2 | | $^\circ \text{ C}$ |
| No linealidad | $I_R=1 \text{ mA}$ | | 0.3 | 1.5 | $^\circ \text{ C}$ |

tabla 3.1

Considerando además que el LM335 opera con:

Corriente inversa de 15 mA,

corriente de 10 mA,

Temperatura de almacenamiento de -60° C a 150° C

Rango de temperatura especificado en -40° C a 100° C .

| Parámetros | Condiciones | LM335 | | | Unid |
|--------------------------|------------------------------------|-------|---------------|-----|-------------------|
| | | min | tip | max | |
| Operación Vo IR var | 400 μ A \leq IR \leq 5 m A | | 3 | 14 | mV |
| Impedancia dinámica | IR= 1 mA | | 0.6 | . | Ω |
| Vo coef. Temp. | | | +10 | | mV/ $^{\circ}$ C |
| Constante de tiempo | | | 80 10 1 | | seg seg seg |
| Estabilidad en tiempo | Tc=125 $^{\circ}$ C | | 0.2 | | $^{\circ}$ C/Kh |

tabla 3.2

Al tomar en cuenta estas características se puede pensar que no es tan necesaria la calibración del sensor.

Sin embargo, para calibrar el sensor, tanto de la temperatura interior como exterior se ajusta el resistor de 10 K Ω para obtener un voltaje de salida de 2,982 volts a 25 $^{\circ}$ C.

El rango de voltaje de salida se encuentra entre 0 y 5 volts, sin llegar a ninguno de los puntos lmites.

Observando que el sensor presenta una linealidad aceptable dada una exactitud disponible de 1 $^{\circ}$ C de error sobre 100 $^{\circ}$ C, no se considero necesario utilizar un método de linealización además de que su calibración es sencilla.

Humedad:

Para el caso de el sensor de la humedad relativa, se debe de realizar una tabulación para determinar el comportamiento de el circuito electrónico.

La curva de calibración del sensor que proporciona el fabricante se muestra en la gráfica de la figura 3.1, en la que representa una tolerancia del 1% de HR a 25°C y 60 Hz.

Sin embargo debido a la falta del sensor, se mantiene pendiente para su posterior linealización y calibración.

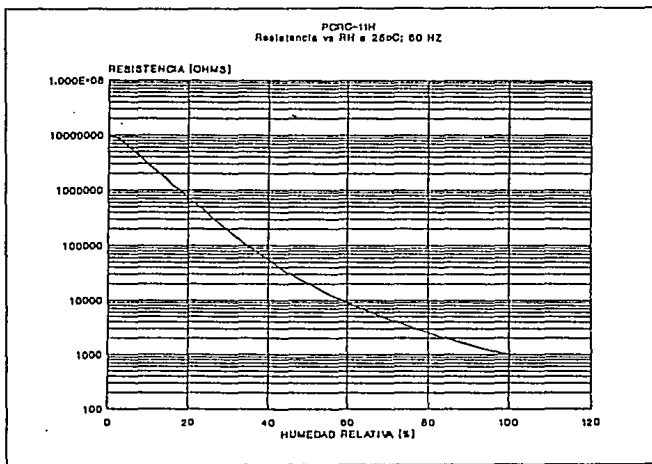


figura 3.1

Presión:

Algunas de las características restantes del sensor de presión SX15AN se muestran abajo, sus características de funcionamiento se muestran en la tabla 3.3.

Fuente de voltaje

$$V_S \dots \dots \dots +12 V_{DC}$$

Rango de temperatura

Operación.....-40 a 85 ° C

Almacenamiento.....-55 a 125 ° C

Modo común de presión..... 50 psig

Máxima presión..... 30 psi

Para la calibración del sensor de presión tomando como referencia la figura 2.3.5, hay que realizar el siguiente procedimiento de ajuste de los amplificadores.

Sin aplicar presión:

1- Poner en corto los punto A y B, ajustando el potenciómetro R27 de 1 K Ω hasta que el voltaje de prueba del punto ((Tp) V_x) sea igual al voltaje del punto ((Tp) V_R).

2- Removiendo el corto, ajustar el potenciómetro R18 de 2 K Ω , realizando el mismo procedimiento que el punto anterior.

3- Ajustar el potenciómetro R 29 de 2 K Ω , hasta que la salida de voltaje V_0 sea igual a 1.0 V.

4- Aplicar la escala completa de presión y ajustar el SPAN con el potenciómetro R 22 de 2 K Ω Hasta que el voltaje de salida V_0 sea el deseado.

De la figura 3.6, se muestran los dos puntos de referencia, los cuales se tomaron en C.U. a 25° C y 2280 m snm (P_B, V_B) y en el Ajusco D.F. a 21° C y 3000 m snm (P_A, V_A).

| Características | Mínimo | Típico | Máximo | Unidades |
|---|--------|--------|--------|----------|
| Rango de operación de presión | - | - | 15 | PSI |
| Sensibilidad @25°C | 1.0 | 1.5 | 2 | mV/psi |
| Escala completa SPAN @25°C | 75 | 110 | 150 | mV |
| Coefficiente temperatura SPAN | -2400 | -2150 | -1900 | ppm/°C |
| Presión offset @25°C | -35 | -20 | 0 | mV |
| Coefficiente temperatura OFFSET | - | +4 | - | μ V/V/°C |
| Linealidad e histéresis | - | 0.2 | - | % FS |
| Estabilidad offset, sensibilidad | - | 0.1 | - | % FS |
| Respuesta en tiempo (10-90%) | - | 0.1 | - | ms |
| Resistencia de entrada @25°C | - | 4.65 | - | KΩ |
| Coefficiente de temperatura resistencia | + 590 | +630 | + 670 | ppm/°C |
| Impedancia de salida | - | 4.5 | - | KΩ |
| Repetibilidad | - | 0.50 | - | % FS |

Tabla 3.3

La sensibilidad del sensor es : $S=7\text{mV/PSI}$ @ $5 V_{DC}$.

La salida de voltaje del sensor de presión de la figura 3.2 es:

$$V_o = 4 \left[1 + 10 \frac{K}{R_G} \right] V_i + V_R$$

De donde :

$$V_R = 1 \text{ volt} \quad R_G = 604 + 2 \text{ K}\Omega \text{ var} \quad V_i = \text{Voltaje en A,B.}$$

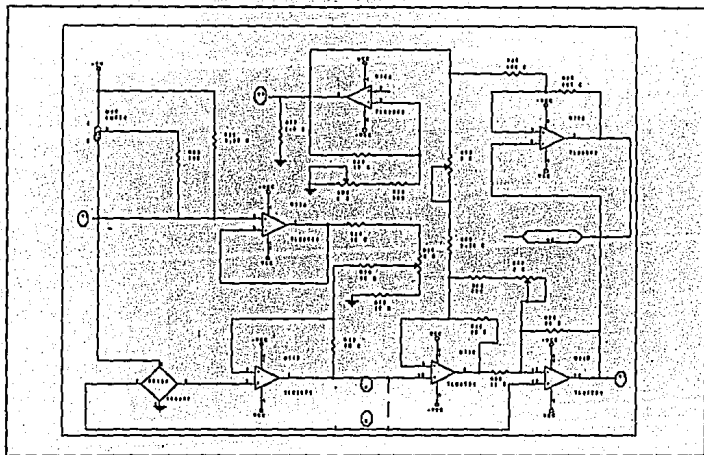


figura 3.2

En la figura 3.3 se muestran dos puntos A y B. Los datos son basados en el rango de 650 a 777 mBars donde se tomaron con el dispositivo SX15AN en su voltaje de salida sin ninguna etapa de amplificación, de donde se obtuvieron el voltaje en mV y la presión en psi, el Instituto de Astronomía C.U. (punto B) y su respectivo voltaje y presión en la cerro del Ajusco (punto A). Los datos de presión

se tomaron con una estación comercial calibrada en el Centro de Ciencias de la Atmósfera UNAM.

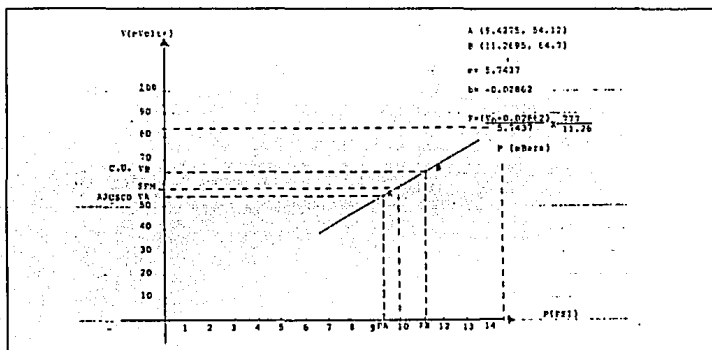


figura 3.3

El equivalente binario generado se puede obtener por medio de la siguiente relación:

$$\frac{5 \text{ Volts}}{4096} = \frac{V_{out}}{X}$$

donde el número binario obtenido (X) con el valor de salida (V_{out}) queda determinado por el voltaje máximo de conversión (5 Volts) y la resolución del convertidor ($2^{12} = 4096$ divisiones). Posteriormente, estos datos son interpretados en el programa que da formato a los datos por medio de una ecuación.

$$Y = mV_x + b$$

Donde tomando los valores de la grafica para los puntos en C.U. y la cerro del Ajusco:

A (9.4275 psi, 54.12mV).....Ajusco B (11.2695psi,64.7mV).....C.U.
tenemos de la ecuación de la recta:

$$m = \frac{(y_1 - y)}{(x_1 - x)} \quad b = m(x)_1 + Y_1$$

Por lo que $m=5.7437\text{mV/psi}$, $b=-0.02862\text{mV}$, expresada la presión en PSI.
Para convertir a mBars, multiplíquese por (777/11.2695).

La ecuación que se utilizara en el programa estara expresada en función del voltaje de salida de presión:

$$X = \frac{(Y-b)}{m} \left(\frac{777}{11.2695} \right)$$

Sustituyendo valores:

$$P[\text{mBars}] = \frac{(V_0 + 0.02862)}{5.7437} \left(\frac{777}{11.2695} \right)$$

Finalmente, en la calibración del sensor de presión se han considerado los efectos de compensación en ganancia y por desajuste de cero. Este circuito se emplea frecuentemente cuando no se tiene necesidad de gran exactitud; en nuestro caso, por la naturaleza de las mediciones, no se tiene un gran error debido a los pequeños rangos de medición.

Sin embargo, cuando los rangos son mayores y las necesidades de precisión y exactitud lo requieren, deben considerarse otros factores como lo son los coeficientes de temperatura de los parámetros asociados: sensibilidad y cero. Estos coeficientes representan un error aún en sensores compensados. Una forma de solucionar este problema es emplear algún método que permita manejar los diferentes parámetros que definen el comportamiento real del sensor.

Viento:

Dirección:

Al igual que con los demás sensores, se realizó una tabla con los valores del voltaje de salida y la dirección del viento. Un programa externo, como el que se muestra en el apéndice 1,1.4, se encarga de interpretar cada voltaje en la dirección correspondiente a la rosa náutica. En la tabla 3.4 se muestra la forma en que se tomaron los intervalos para obtener la dirección del viento.

La calibración de la veleta es sencilla y solo se requiere una brújula para calibrar el sensor.

| Dirección | | Resistencia (Ω) | V_0 (Volts) |
|---------------|-----|--------------------------|---------------|
| Norte | N | 20.88K - 672 | 2.485 - 0.075 |
| Nornordeste | NNE | 673 - 1837 | 0.076 - 0.239 |
| Noreste | NE | 1838 - 2999 | 0.240 - 0.395 |
| Estenoreste | ENE | 3 K - 4.24 K | 0.396 - 0.559 |
| Este | E | 4.24 K - 5.50 K | 0.560 - 0.717 |
| Estesureste | ESE | 5.50 K - 6.86 K | 0.718 - 0.880 |
| Sureste | SE | 6.86 K - 8.15 K | 0.881 - 1.037 |
| Sursoreste | SSE | 8.15 K - 9.56 K | 1.038 - 1.201 |
| Sur | S | 9.56 K - 10.92K | 1.202 - 1.358 |
| Sursuroeste | SSW | 10.92K - 12.40K | 1.359 - 1.523 |
| Suroeste | SW | 12.40K - 13.80K | 1.524 - 1.680 |
| Oestesuroeste | WSW | 13.80K - 15.25K | 1.681 - 1.843 |
| Oeste | W | 15.25K - 16.65K | 1.844 - 1.999 |
| Oestenoroeste | WNW | 16.65K - 18.12K | 2.000 - 2.165 |
| Noroeste | NW | 18.12K - 19.47K | 2.166 - 2.321 |
| Nortenoroeste | NNW | 19.47K - 20.88K | 2.322 - 2.484 |

tabla 3.5

Velocidad:

El conteo que da la velocidad del viento al salir de los contadores 74HC191, son interpretados por un programa en lenguaje C (que se muestra en el apéndice 1,1.4), el cual los convierte a unidades convencionales de velocidad (kilómetros por hora (kph), millas por hora (mph), etc.) .

Precipitación:

Los conteos que da el sensor de precipitación al salir de los contadores 74HC191, son interpretados por un programa en lenguaje C (que se muestra en el apéndice 1,1.4) el cual los convierte a unidades convencionales de precipitación (mm de agua de lluvia.).

Haciendo pruebas de la cantidad de agua almacenada en el tubo colector, se encontro que cada descarga o conteo desaloja 2.5 ± 0.06 mm de agua que entra en el rango de error que define el fabricante.

SUMINISTRO DE ENERGÍA.

Para suministrar energía a un sistema se puede optar por alguno de los diferentes medios de generación; sin embargo, éstos pueden depender del ambiente y de condiciones económicas que limiten su uso. Existen diferentes medios de obtener energía eléctrica: hidráulicos, eólicos, solares, mecánicos, químicos, geotérmicos, etc. Pero las limitantes económicas y ambientales son decisivas para poder obtener mejores resultados en el diseño de todo un sistema.

Estas dificultades pueden no permitir muchas de las posibles soluciones, ya que, por ejemplo el tener una estación remota operando en lugares alejados crea la necesidad de utilizar medios más baratos o más cercanos para suministrarse de energía eléctrica.

Debido a que se quiere que la estación pueda operar en cualquier lugar remoto, aún cuando no se disponga de líneas eléctricas convencionales, se decidió dotarla de sus propios medios de generación de energía eléctrica usando energía solar y química.

En años recientes ha habido un creciente interés por la energía solar

como una fuente alternativa de suministro de energía eléctrica.

La construcción básica de una celda solar de unión p-n de silicio se muestra en la figura 4.1. Como se observa en la parte superior, la capa metálica conectada al material tipo p y el grosor de este mismo son tales que aseguran que un número máximo de fotones alcancen la unión. Un fotón en esta región puede chocar con un electrón de valencia e impartirle suficiente energía para que abandone al átomo padre. El resultado es una generación de electrones libres y huecos. Este fenómeno ocurrirá a cada lado de la unión. En el material tipo p los nuevos electrones generados son portadores minoritarios y se moverán con bastante libertad a través de la unión, como en el caso de la unión p-n básica sin polarización aplicada. El resultado es un aumento en el flujo de portadores minoritarios, cuya dirección es opuesta a la de la corriente directa convencional de una unión p-n.

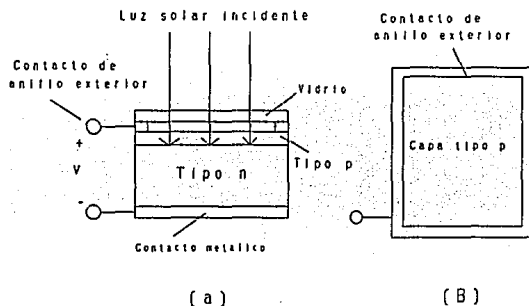


figura 4.1

Un sistema sencillo de aprovechamiento de energía solar es aquél que utiliza la energía del módulo tal y como se está generando, sin almacenarse y sin cambiarle forma (corriente directa).

Algunos de los diferentes tipos de paneles que existen en el mercado, para los requerimientos del sistema, aparecen en la tabla 4.1.

De los diferentes módulos para obtener la energía se optó por el panel solar de la empresa Solarex, el módulo MSX-10.

El módulo consta de 36 celdas de silicio semicristalino, eléctricamente arreglado en dos series de 18 celdas conectadas entre sí. Tiene una cubierta antireflejante de dióxido de titanio, para un óptimo igualamiento óptico; los módulos son resistentes e impermeables y las conexiones de las celdas son laminadas entre hojas de acetato vinil etileno.

| Fabricante | Modulo | Vnom V | Vca V | Inom A | Icc A | Pnom W |
|------------|----------|--------|-------|--------|-------|--------|
| Solarex | MSX-10 | 17.1 | 20.6 | 0.58 | 0.60 | 10 |
| | 1270H | 13.5 | 18 | 0.65 | | 9 |
| Arcosolar | M25 | 14 | 18 | 1.5 | 1.68 | 22 |
| Siemens | M5 | 15 | 19.5 | 0.34 | 0.39 | 5 |
| | M10 | 16.3 | 19.9 | 0.61 | | 10 |
| Condumex | M25 | 14.6 | 18.2 | 1.51 | 1.65 | 22 |
| Photocomm | LE361C11 | 16.5 | | 0.65 | | 10.8 |
| | DV12 | 17.1 | | 0.73 | | 11.8 |

tabla 4.1

Los módulos se pueden utilizar entre los intervalos de -40 a los 85 ° C, a un 85 % HR, con vientos superiores a los 200 Km/h.

Las características eléctricas del módulo solar MSX-10 se muestran a continuación y, en la figura 4.2, se muestran las curvas de V-I:

| | |
|--|------------------------------------|
| Potencia máxima típica (Pp) | 10 W |
| Voltaje a potencia máxima (Vpp) | 17.5 V |
| Corriente a potencia máxima (Ipp) | 0.75 A |
| Potencia mínima garantizada | 9 W |
| Corriente de corto circuito (Isc) | 0.6 A |
| Voltaje en circuito abierto (Voc) | 21.4 V |
| Coeficiente de temperatura para la corriente | $0.7 \text{ mA}/^\circ \text{C}$ |
| Coeficiente de temperatura para el voltaje | $-72 \text{ mV}/^\circ \text{C}$ |
| Efecto aprox. de temp. sobre la pot. | $-0.37 \text{ mW}/^\circ \text{C}$ |

Para obtener la energía necesaria a suministrar, se tienen que tomar las siguientes precauciones:

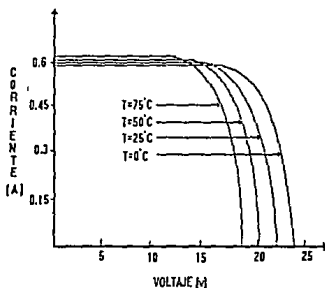


figura 4.2

Para que un módulo solar pueda producir la mayor cantidad de energía, es necesario que esté expuesto a los rayos solares en forma directa durante el mayor tiempo posible. La orientación del módulo depende de la latitud geográfica en; el hemisferio norte, el módulo debe estar orientado al sur, mientras que en el

hemisferio sur debe estar orientado al norte, procurando que la luz solar esté lo más perpendicularmente posible.

El ángulo de inclinación entre el plano del módulo y la línea del horizonte (figura 4,3), depende de la latitud geográfica: a menor latitud, menor ángulo de inclinación. Una forma aproximada de calcularlo (considerando un panel fijo) se muestra en la tabla 4.2.¹

| Inclinación (°) | Angulo (°) |
|------------------|-------------|
| >0 a 15 | 15 |
| 15 a 25 | = latitud |
| 25 a 30 | latitud +5 |
| 30 a 35 | latitud +10 |
| 35 a 40 | latitud +15 |
| + de 40 | latitud +20 |

Tabla 4.2

Con esta tabla, y la latitud de San Pedro Mártir ($31^{\circ} 01'45''$), se tiene que el ángulo de inclinación es de $41^{\circ} 01'45''$ orientado al sur.

Debido al movimiento de traslación de la tierra, optimizar la colocación de un módulo solar en una estación del año hace que no reciba la misma cantidad de luz en otras estaciones, por lo que hay que tomar la precaución de colocarlo en una posición que le permita captar la luz solar en la peor estación; reorientarlo en cada estación mejora la eficiencia del módulo.

Para obtener una mayor eficiencia del sistema, una opción es tener una estructura móvil que siga el movimiento del sol, permitiendo así que se obtenga

¹ [20]

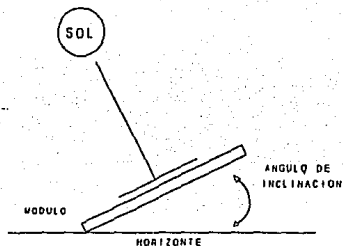


figura 4.3

un 50 % más en climas cálidos y un 30 % más en los climas templados.

Un factor importante es colocar el panel solar fuera de obstrucciones que existan a su alrededor, ya que por ejemplo, la sombra de una línea eléctrica reduce en un 20 % la eficiencia del módulo.

Por otra parte, la energía química mediante el uso de baterías nos auxiliará en el momento en que no exista luz solar.

Por su forma de trabajo, las baterías se dividen principalmente en dos grupos: **primarias** y **secundarias**. Las baterías primarias no pueden ser recargadas, mientras que las secundarias sí.

Las baterías **primarias** son creadas a partir de reacciones químicas que, en términos prácticos, no pueden ser reversibles. Consecuentemente, cuando su carga se ha terminado, deben ser reemplazadas. Las baterías más comunes de este tipo son las siguientes:

Carbón -Zinc.

Este tipo de baterías tienen de uno a tres años de vida en almacenamiento (vida útil) y están disponibles con 1.5 volts/celda, por lo que es necesario poner cuatro en serie para obtener 6 volts. Tienen una limitada capacidad por tamaño

(baja densidad de energía), presentan una "curva" de descarga en pendiente (el voltaje de salida disminuye continuamente con el tiempo de descarga), aunque tienen un bajo costo y se presentan en una gran cantidad de tamaños y capacidades.

Alcalino-Manganesas.

Son similares a las de Carbón-Zinc. Estas baterías tienen de dos a cinco años de vida útil y se presentan con 1.5 volts/celda. Tienen una mejor densidad de energía pero su costo es mayor. Presentan una curva de descarga "plana" (el voltaje de salida se mantiene constante aún si la batería se encuentra descargada) y también se ofrecen en una gran cantidad de tamaños y capacidades.

Oxido de Plata.

Estas baterías tienen de 2 a 5 años de vida útil, tienen una alta densidad de energía con 1.5 volts/celda (se requieren 4 en serie para poder dar 6 volts), una curva de descarga plana y un costo mayor que las anteriores. No son presentadas con gran variedad de tamaños y capacidades.

Oxido de Mercurio.

Similares a las de óxido de plata, las baterías de óxido de mercurio vienen con 1.5 volts/celda, tienen una curva de descarga plana y su costo es el más alto de todas. Presentan el problema ecológico de tener que controlar su almacenamiento una vez utilizadas, ya que, de lo contrario, contaminan el medio ambiente.

Litio-Manganesas.

Este tipo de baterías presentan de 8 a 10 años de vida útil, 3 volts/celda y una alta densidad de energía. Presentan el peligro de explosión si se ponen en

cortocircuito sus terminales y no pueden dar grandes corrientes.

Las baterías **secundarias** usan reacciones químicas reversibles. Algunos ejemplos de este tipo de baterías son las de ácido-plomo (batería automotriz) y las de níquel-cadmio (NiCad) que son utilizadas en gran cantidad de aparatos eléctricos, herramientas de mano y equipo de fotografía.

Acido-Plomo.

Este tipo de baterías tienen una baja densidad de energía y generalmente se empaquetan en tres o seis celdas en serie para obtener seis o doce volts y gran capacidad de carga (hasta 400 Amperes-hora). Contienen una fuerte solución de ácido sulfúrico y poner en corto sus terminales puede causar una explosión. Este tipo de baterías puede entregar grandes corrientes y su curva de descarga es una pendiente (el voltaje disminuye con el tiempo de descarga), lo cual hace fácil determinar si la batería está baja. Normalmente, se cargan con voltaje constante, aunque pueden ser cargadas con corriente constante si se toma el cuidado de evitar una sobrecarga. Tienen menor ciclo de vida que las de Níquel-Cadmio pero su costo es menor.

Níquel-Cadmio.

Estas baterías tienen una mejor densidad de energía que las de ácido-plomo y dan 1.2 volts/celda. Con este tipo de baterías se debe tener el cuidado de controlar la razón de descarga, ya que una descarga rápida puede destruirla. Estas baterías generalmente son cargadas con corriente constante a una razón del 10 % de su capacidad por 14 a 16 horas (celdas estándar), o a 30 % de su capacidad de 3 a 5 horas para carga rápida. Si se cargan a voltaje constante, debe tenerse el cuidado de limitar la corriente de carga durante la parte final para evitar que la temperatura destruya las celdas. Si se cargan las celdas a una razón por debajo del 10 %, la capacidad de carga de la batería puede fallar sobre la

primera descarga. Otro fenómeno parecido ocurre cuando la batería se encuentra parcialmente descargada al mismo nivel varias veces y entonces se recarga; esto desarrolla un efecto de "memoria" en el cual, cuando se le demanda carga a la batería, ésta responde no al nivel después de haber sido recargada, sino al nivel anterior. Su costo es mayor que las de ácido-plomo pero tienen mejor retención de carga y su ciclo de vida es mayor. Su curva de descarga es llana, lo cual no hace tan inmediato detectar si está baja o no.

Para determinar el uso adecuado de cada uno de los diferentes tipos de batería, es necesario saber, además de sus características eléctricas, su costo de adquisición y mantenimiento. En nuestro caso al evaluar los diferentes tipos de baterías que en el mercado se ofrecen, se optó por utilizar la batería de ácido-plomo utilizando su propiedad de recarga y su gran capacidad de almacenamiento de carga.

Algunos modelos de baterías selladas se muestran en la tabla 4.III. De ellas se utilizó el modelo PS-6100F2, de Power Sonic.

| Modelo | Capacidad | Dimensiones cm | Peso Kg |
|-----------|------------|------------------|---------|
| GB640-21 | 6.0V/4Ah | 6.68x6.68x9,60 | 0.91 |
| GB665 | 6.0V/6.5Ah | 15.14x3.38x9.45 | 1.13 |
| GB682 | 6.0V/8Ah | 9.80x5.61x11.08 | 1.54 |
| GB695 | 6.0V/9.5Ah | 10.82x6.99x14.07 | 2.22 |
| GB611 | 6.0V/10Ah | 15.14x5.0x9.45 | 1.77 |
| GB6120 | 6.0V/12Ah | 10.8x6.99x14.07 | 2.99 |
| PS-6100F2 | 6.0V/10Ah | 15.0x4.90x9.80 | 2.50 |

tabla 4.3

Ya determinada la forma en que se proporcionará la alimentación al sistema, el suministro de energía quedará como se ilustra en el diagrama a

bloques de la figura 4.4.

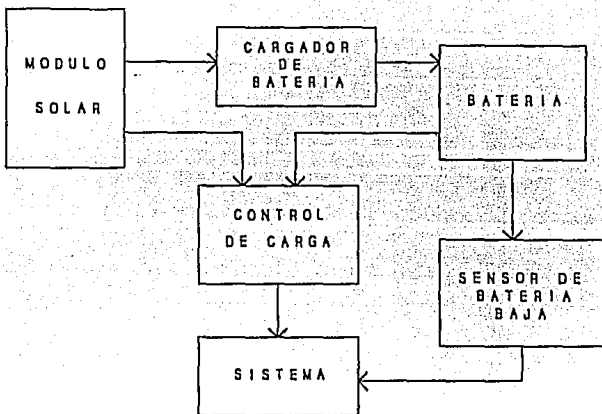


figura 4.4

Es necesario incorporar de la tarjeta de potencia un buen regulador de voltaje a 5 Volts que alimente a toda la circuitería del sistema. El regulador utilizado es el LM2931 de National Semiconductor Corporation. Este es un regulador de voltaje fijo positivo de 5V y cuenta entre sus características con una baja corriente de polarización (1 mA o menor cuando suministra una corriente de carga de 10 mA). Esta característica hace que el LM2931 sea un regulador ideal para sistemas de potencia en standby. Sus aplicaciones incluyen memorias CMOS en standby, procesadores de bajo consumo de potencia y sistemas alimentados por baterías.

El LM2931 y, por lo tanto toda la circuitería asociada, está protegida contra la instalación de baterías en reversa con voltajes de hasta 2 veces el valor del voltaje nominal de operación. Durante los transitorios en la línea, cuando la

entrada de voltaje al regulador es momentáneamente mayor que el máximo voltaje de operación especificado, el regulador puede bloquearse automáticamente y proteger el circuito interno y la carga.

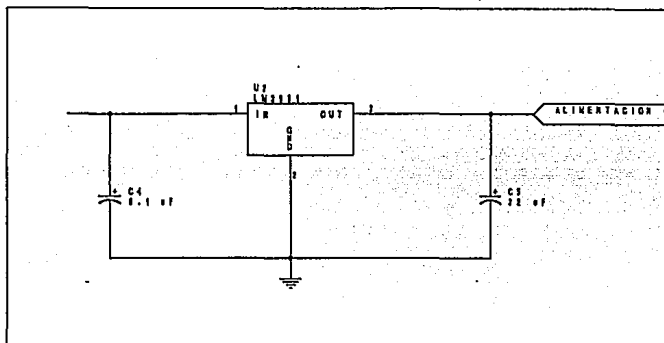


figura 4.5

La conexión del circuito se muestra en la figura 4.5 donde el capacitor C5 nos ayuda a limitar los transitorios.

Las características del LM2931 se muestran en el apéndice A.

Para acoplar el sistema al panel solar y la batería de ácido-plomo, es necesario intercalar cada uno de ellos en el momento adecuado. Este problema se soluciona con un SCR y el circuito empleado se muestra en la figura 4.6.

Hay que hacer notar que al utilizar una batería recargable es necesario contar con un cargador de baterías, pero el circuito de la figura 4.6 también hace el papel de cargador.

En el circuito, en el caso de que el voltaje del panel solar suba lo suficiente, el capacitor C3 se carga hasta un voltaje ligeramente menor que la diferencia

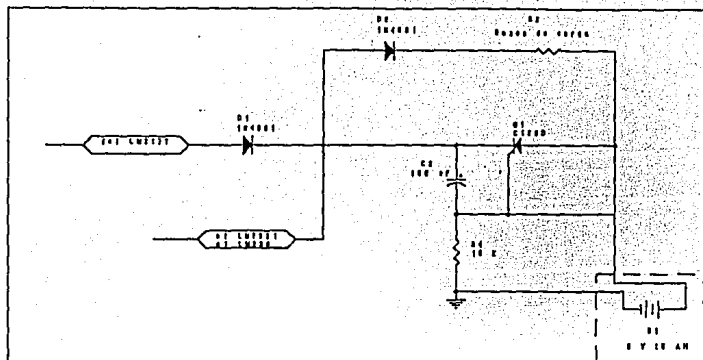


figura 4.6

entre el valor de la señal a la salida de D1 y el voltaje CD en el resistor R4 establecido por la batería de 6V. En todo caso, el voltaje en el cátodo del SCR es mayor que del ánodo y el voltaje de compuerta a cátodo es negativo, asegurando que el SCR no conduzca. La batería se carga a través de D2 y R3 a una razón determinada por R3, donde la carga de la batería sólo ocurre cuando el ánodo de D2 es más positivo que su cátodo. Cuando el sol ya no permite que el panel suministre el suficiente voltaje, el capacitor C3 se descargará a través de D2, R3 y R5 hasta que el cátodo del SCR sea menos positivo que el ánodo. Al mismo tiempo, la unión de R4 y R5 se volverá positiva y establecerá suficiente voltaje de compuerta a cátodo para disparar al SCR. Una vez disparado, la batería de 6 volts se descargara a través del SCR y energizará al regulador LM2931, y a su vez a todo el sistema, en lugar del panel solar. Después de que se restablezca la energía en el panel solar, el capacitor C3 se recargará y restablecerá el estado no conductor del SCR.

El SCR utilizado es el C106D y sus características de operación se

muestran en el apéndice A.

Para poder regular la carga de la batería fue necesario controlar la salida de voltaje del panel solar, es por eso que se utilizó el regulador LM317 de National Semiconductor Corp. La salida de este regulador variable se fija en 7.7

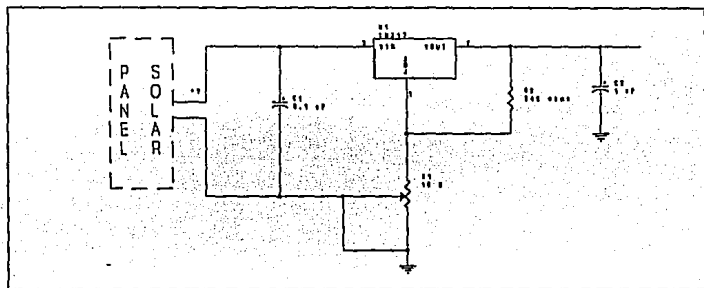


figura 4.7

volts (figura 4.7).

Al fijar el voltaje en 7.7 volts, con la caída de voltaje de 0.7 en cada diodo D1 y D2 y en el resistor R3, el voltaje de carga queda poco mayor de 6 Volts mientras se tenga energía en el panel solar.

El último circuito en esta tarjeta es un comparador de voltaje, el cual se muestra en la figura 4.8. Aquí, el LM339AN, un comparador de voltaje típico, recibe un voltaje de referencia de 6 Volts en la entrada inversora, procedente del resistor variable R6 y el diodo zener 1N4733A. Esto establece un punto crítico para que se mande una señal de alerta al microprocesador para poner a todo el sistema en standby. Esta señal de alerta puede darse si durante varios días no existe suficiente sol como para cargar la batería. El otro voltaje que entra a la pata no inversora del LM339AN sale de la batería, el cual si es inferior al voltaje de

referencia mandará un cero lógico al microcontrolador.

Finalmente, todo el circuito se ilustra en la figura 4.9.

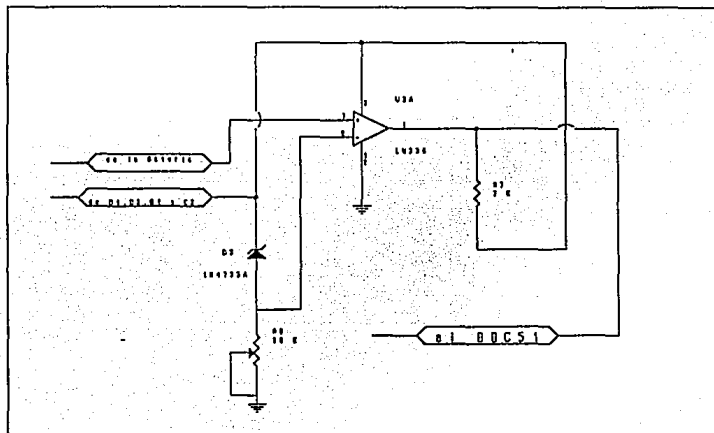


figura 4.8

Capítulo 5

SISTEMA BASICO.

Para coordinar el funcionamiento de la estación meteorológica, se desarrolló un sistema basado en un dispositivo electrónico digital.

La razón para pensar en utilizar un dispositivo electrónico digital surge de sus propias características, ya que pueden conformar por sí solos un sistema mínimo, lo que permite realizar diseños de reducidas dimensiones. Sin embargo, existen otros elementos que se pueden utilizar para este fin.

A continuación vamos a examinar y comparar algunos dispositivos que existen comercialmente, analizando sus características, para mostrar cuál de estos elementos es el más conveniente en el sistema .

Los dispositivos analizados son los microprocesadores y los microcontroladores.

Un microprocesador es un circuito combinacional y secuencial que interactúa con otros dispositivos para formar en conjunto un sistema digital. Este dispositivo, viéndose a bloques, está compuesto por una unidad de control (se encarga de coordinar el funcionamiento del dispositivo), una unidad aritmética-lógica (su función es efectuar todas las operaciones requeridas), una unidad de memoria (memoria RAM para los registros de trabajo y memoria ROM

para las microinstrucciones) y una unidad de entrada-salida (se encarga de efectuar la comunicación con los dispositivos externos al microprocesador). Su uso se da principalmente en sistemas de propósito general, ya que sólo contiene los elementos básicos para procesar información; para realizar alguna función en particular se le deben conectar aquellos dispositivos que realicen las funciones necesarias, como pueden ser contadores, temporizadores, puertos de entrada/salida en serie o paralelo, control de interrupciones, etc., además de que son capaces de direccionar una gran cantidad de memoria y puertos de entrada/salida y su conjunto de instrucciones es muy variado. Existen microprocesadores de 4, 8, 16 y 32 bits, lo cual representa el tamaño de la palabra de datos que puede procesar en paralelo (Figura 5.1).

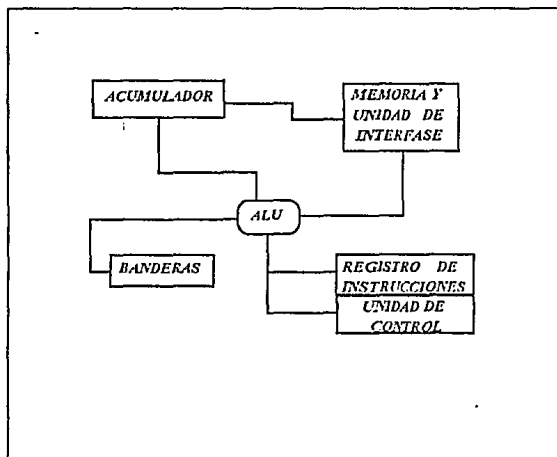


figura 5.1

Un microcontrolador es un dispositivo que contiene, dentro de su arquitectura interna, una unidad de proceso central (compuesta básicamente por

un microprocesador, que puede ser de 4, 8, 16 o 32 bits), así como una serie de periféricos integrados dentro del dispositivo mismo, como pueden ser puertos paralelos de entrada/salida, temporizadores, contadores, memoria RAM, memoria ROM, puerto serie, convertidores A/D, convertidores D/A, etc. Este tipo de dispositivos están orientados para ser utilizados en aplicaciones de uso específico, donde no se prevean cambios importantes ni frecuentes al sistema. Su conjunto de instrucciones suele ser menor que el de un microprocesador, aunque sus instrucciones están orientadas a operaciones de entrada/salida y para interactuar con su entorno en tareas de detección y control; es relevante su capacidad de ser direccionable por bit, es decir, tiene instrucciones que permiten manejar de manera individual cada bit de sus registros y/o puertos. También es importante mencionar su capacidad para manejar interrupciones, lo que permite tener control absoluto sobre la interacción entre los diferentes elementos con que se relacione.

En la figura 5.2 se ilustra la arquitectura de un microcontrolador.

Para poder seleccionar el dispositivo más adecuado para el sistema, hay que partir de los requerimientos del mismo y estos son los siguientes:

- El dispositivo a utilizar debe poder enviar al exterior las señales necesarias para informar al operador sobre el estado del sistema. Además, debe recibir las señales que le indiquen el estado de los diferentes subsistemas con los que interactúa.
- Del exterior debe recibir las lecturas de los sensores de temperatura, humedad, presión, dirección del viento y voltaje, las cuales son señales analógicas que deben ser digitalizadas y almacenadas, además de la velocidad del viento y precipitación, que son señales digitales.
- La información que almacene el sistema debe poder ser descargada a una computadora personal para que pueda ser aprovechada y a través de la cual también se podrá obtener

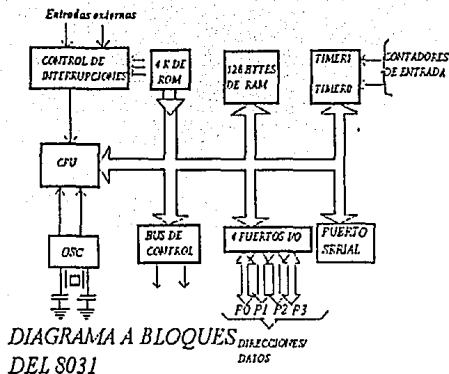


figura 5.2

información del estado del sistema y controlar su funcionamiento.

- El sistema debe tener una autonomía mínima de funcionamiento de una semana, por lo que debe poder almacenar cuando menos la información adquirida durante este período. Esta comprende, para cada ciclo de lectura, el voltaje de alimentación, la temperatura interna y externa, la humedad interna y externa, la presión, la velocidad y dirección del viento, la precipitación y la fecha y hora en que se realizaron estas lecturas.

De estas necesidades se desprende que el sistema debe manejar operaciones de entrada/salida en paralelo para manejar las señales de control, contar con un convertidor Analógico/Digital de varios bits (12 bits) para tener una resolución aceptable, contar con un medio de comunicación serie para el enlace con una computadora y poder direccionar cuando menos 15 Kbytes de memoria

para almacenar los datos adquiridos. Esto último se debe a que en cada ciclo de lectura se deben guardar:

2 bytes con la hora

2 bytes con la fecha

2 bytes con la temperatura interior

2 bytes con la temperatura exterior

2 bytes con la humedad interior

2 bytes con la humedad exterior

2 bytes con la presión

2 bytes con la dirección del viento

1 byte con la velocidad del viento

1 bytes con la precipitación

1 byte de separación

1 byte con el estado del sistema

= 20 bytes.

Como se realizará un ciclo de lectura cada cuarto de hora, en una semana serán 672 ciclos, por lo que se necesitan 13456 bytes, aproximadamente 15 kbytes, quedando 2944 bytes para uso del sistema.

Es importante mencionar que para asegurar la autonomía del sistema, cuando menos durante una semana, se debe considerar que los dispositivos a utilizar permitan, en la medida de lo posible, un ahorro de energía.

Contemplados los requerimientos del sistema, si se usara un microprocesador, se observa que se necesitan circuitos adicionales que complementen las funciones del mismo, como son los controladores de puerto paralelo, controladores de puerto serie, contadores programables, controladores de interrupciones, etc., con lo que el diseño se incrementa considerablemente en

tamaño y consumo de energía. Consecuentemente, el uso de un microcontrolador queda como la opción más apropiada para esta aplicación.

En el estudio que se hizo para elegir al microcontrolador más adecuado, se revisaron las características de diferentes opciones que existen comercialmente. Para este fin, se consideraron tres familias de microcontroladores, los MCS-48 de Intel, los MCS-51 de Intel y los MC68HC11 de Motorola.

Los MCS-48 son una familia de microcontroladores de 8 bits, que está formada por una serie de dispositivos con características comunes que se diferencian por la cantidad de memoria RAM interna y por la cantidad y tipo de ROM. El elemento representativo de esta familia es el 8048AH, que tiene las siguientes características:

Tres puertos de ocho bits bidireccionales y direccionables por bit, maneja una interrupción externa más dos terminales de prueba y tiene un temporizador/contador de 8 bits. En cuanto a la cantidad de memoria ROM que tienen, hay dispositivos con 1, 2 y 4 KB de ROM programable en fábrica, dispositivos con 1 y 2 KB de EPROM y dispositivos que carecen de memoria ROM; para el caso de memoria RAM los hay con 64, 128 y 256 bytes. Esta familia de microcontroladores es muy limitada en su capacidad de direccionamiento, ya que utiliza el tercer puerto como ducto de datos y direcciones más cuatro bits del segundo puerto para completar un ducto de direcciones de 12 bits, en el que sólo puede acceder directamente 4 KBytes de memoria externa. Sin embargo, puede funcionar con otros dispositivos externos para compensar esta limitante.

Los microcontroladores que integran la familia MCS-51 está basada en el 8051, el cual es un microcontrolador de 8 bits optimizado para aplicaciones de control, con capacidad de direccionar 64 kbytes de memoria para programas y 64 kbytes para memoria de datos, tiene 128 bytes de RAM interna, 4 kbytes de ROM, 32 líneas de entrada/salida direccionables independientemente, agrupadas en 4

puertos de 8 bits, 2 temporizadores/contadores de 16 bits y un puerto serie asíncrono "full duplex". Además, maneja interrupciones provenientes de 6 fuentes diferentes con 5 vectores de interrupción y dos niveles de prioridad. Las principales diferencias con los demás elementos de esta familia están dadas por la cantidad de memoria RAM y ROM, el número de puertos de entrada/salida, el número de temporizadores/contadores y el número de interrupciones con que cuentan, como se muestra en la tabla 5.1.

| Dispositivo | Versión de ROM | Versión EPROM | Bytes ROM | Bytes RAM | Timers 16-bit | tipo |
|-------------|----------------|---------------|-----------|-----------|---------------|-------|
| 8051 | 8031 | 8751 | 4K | 128 | 2 | HMOS |
| 8051AH | 8031AH | 8751H | 4K | 128 | 2 | HMOS |
| 8052AH | 8032AH | 8752BH | 8K | 256 | 3 | HMOS |
| 80C51BH | 80C31BH | 87C51 | 4K | 128 | 2 | CHMOS |
| 83C51FA | 80C51FA | 87C51FA | 8K | 256 | 4 | CHMOS |
| 83C152 | 83C152 | 87C152 | 8K | 256 | 2 | CHMOS |

tabla 5.1

Una característica importante de los dispositivos CHMOS de esta familia es que tienen dos modos de operación con bajo consumo de energía.

La familia de microcontroladores de 8 bits MC68HC11 tiene como elemento representativo el MC68HC11A8, que puede direccionar 64 KB de memoria externa, tiene 8 KB de memoria ROM, 512 bytes de memoria EEPROM, 256 bytes de memoria RAM, 5 puertos de 8 bits, dos puertos de comunicación serie (uno síncrono y otro asíncrono), un convertidor A/D de 8 bits con 8 canales de entrada multiplexados y un temporizador/contador de 16 bits. Por otra parte, puede operar en modo de bajo consumo de energía y maneja un complejo esquema de

interrupciones para todos sus periféricos internos. Los demás miembros de esta familia se diferencian por la cantidad de memoria ROM, EEPROM y RAM con que cuentan cada uno de ellos, según se puede observar en la tabla 5.II.

Por las características mostradas de las tres familias de microcontroladores se puede observar que los MCS-48 no son de mucha utilidad, ya que para cubrir las necesidades planteadas se requeriría circuitería adicional para poder acceder arriba de 4 KB de memoria, para manejar la comunicación serie y para hacer la conversión A/D, lo que incrementaría considerablemente el tamaño del sistema, así como su consumo de energía. En el caso del convertidor A/D, tanto en casi todos los elementos de los MC68HC11 como en uno de los MCS-51 podemos observar que cuentan con un convertidor A/D de 8 bits, lo cual no es de mucha utilidad para este caso por la condición establecida de utilizar 12 bits para la digitalización de los datos, por lo que no tiene caso utilizar un microcontrolador con el convertidor A/D integrado.

| Dispositivo | ROM | EEPROM | RAM | Comentarios |
|-------------|-------|--------|-----|--------------------------|
| MC68HC11A8 | 8 KB | 512 | 256 | |
| MC68HC11A1 | 0 | 512 | 256 | |
| MC68HC11A0 | 0 | 0 | 256 | |
| MC68HC11E9 | 12 KB | 512 | 512 | |
| MC68HC11E1 | 0 | 512 | 512 | |
| MC68HC11E0 | 0 | 0 | 512 | |
| MC68HC811E2 | 0 | 2 KB | 256 | |
| MC68HC11D3 | 4 KB | 0 | 192 | No tiene convertidor A/D |

tabla 5.II

En la familia de los MC68HC11 sólo queda un dispositivo con esta

característica; si se decidiera utilizarlo, se tendrá que utilizar el microcontrolador en modo expandido para poder direccionar los 64 KB de memoria. Estos 64 KB son utilizados para programas y datos, por lo que la capacidad efectiva para guardar datos se reducé ligeramente, lo que no ocurre en el caso de los MCS-51, ya que por tener una arquitectura tipo Harvard se tienen 64 KB de memoria para datos y otro tanto para programas. Aunque si bien esto no es algo crítico en el sistema, el hecho de tener mayor capacidad de memoria disponible le da mayor autonomía al sistema. Por otro lado, en cuanto al costo de los dispositivos, cabe mencionar que el de los MCS-51 es considerablemente menor que el de los MC68HC11.

En base a los argumentos presentados, se decidió trabajar con la familia de los MCS-51 de Intel, del cual se seleccionó al 80C31BH, por ser un elemento simple pero que satisface las necesidades del sistema. Sus características aparecen a continuación:

- CPU de 8 bits optimizado para aplicaciones de control
- Procesamiento booleano (solo un bit lógico)
- 32 líneas bidireccionables e individualmente direccionables para I/O
- 128 bytes de RAM interna para datos
- 2 temporizadores/contadores de 16 bits
- UART full duplex
- 5 fuentes de interrupción estructurados con 2 niveles de prioridad
- Oscilador interno
- 4 Kbytes internos de memoria de programa
- Espacio de direcciones para memoria de datos de 64K
- Versión CHMOS
- Dos modos de operación de bajo consumo

Configuración de un Sistema Básico.

Como uno de los objetivos principales es realizar el diseño del sistema de manera modular para tener como resultado un sistema en el que sea fácil modificar alguno de sus componentes o utilizar alguno de sus módulos para otras aplicaciones, el desarrollo del sistema se irá presentando también de manera modular. En este punto se presentará el diseño del módulo de procesamiento central, el cual resulta ser la parte medular del sistema, ya que en él se encuentran contenidos los elementos que se encargan de coordinar el funcionamiento de todo el sistema.

Al utilizar un dispositivo de la familia del MCS-51, por las características que poseen, se tienen incluidos puertos serie y paralelo para poder comunicarse con los otros subsistemas. Para cumplir con las otras necesidades del sistema, es necesario añadir un convertidor analógico-digital para obtener las lecturas de los sensores de temperatura, humedad, presión, dirección del viento y referencias de voltaje y también se va a necesitar de algún tipo de memoria para conservar las lecturas realizadas durante la operación del sistema y para guardar el programa de control del mismo. Los elementos correspondientes a la adquisición y digitalización de datos, así como de los sensores y las referencias de voltaje están comprendidos en otros módulos del sistema, que son discutidos en otros capítulos. Sin embargo, los dispositivos que servirán como elementos de memoria forman parte del módulo principal, ya que el programa de control y el almacenamiento temporal de datos se realiza en algún tipo de memoria que será direccionada directamente por el microcontrolador, siendo parte fundamental para el funcionamiento de cualquier sistema de propósito general.

Para seleccionar el tipo de memoria en la cual se realizará el almacenamiento temporal de la información, es necesario un análisis de las características que ofrece cada una y ver cuál se adecúa más al sistema.

Los tipos de memoria que consideraremos para esta selección son las memorias SRAM (RAM estáticas), las DRAM (RAM dinámicas) y las EEPROM, ya que con cualquiera de estos tres tipos de memorias se puede tener un medio

de almacenamiento para escribir los datos adquiridos por el sistema, para posteriormente leerlos y finalmente borrar la información almacenando nuevos datos.

Las memorias SRAM (Static Random Access Memory) son memorias de lectura/escritura que basan su principio de almacenamiento en flip-flops, es decir que cada bit almacenado en estas memorias es conservado en un flip-flop. Estas memorias requieren únicamente que sea mantenida de manera constante el voltaje de alimentación del circuito (normalmente 5 V) para que las compuertas que forman los flip-flops mantengan su estado lógico y así conserven la información que tienen almacenada. La organización de los dispositivos que existen comercialmente de este tipo de memorias contienen arreglos de 1, 4, 8, 9, 16 y 18 bits. Considerando memorias con arreglos de 8 bits, el diseño se vuelve muy simple, ya que el microcontrolador maneja la información de esta manera. Las capacidades de almacenamiento de estos circuitos oscila en el rango de los 128 bytes hasta 128 kilobytes. Entre las ventajas más importantes de estas memorias se encuentra su rapidez de operación; el tiempo de respuesta es comparativamente menor que el de cualquier otro tipo de memorias, encontrándose con tiempos de acceso que van desde 10 nS. Sin embargo, como consecuencia de esta característica, el consumo de energía que requieren durante su operación es muy alto. El uso de este tipo de memorias es recomendado en casos donde se requiera una capacidad de almacenamiento relativamente baja (hasta 512 kbytes aproximadamente) y donde se requiera utilizar memorias de alta velocidad.

Las memorias DRAM (Dynamic Random Access Memory) son memorias de lectura/escritura, basan su principio de operación en el almacenamiento de carga en un capacitor, representándose el estado lógico de cada bit por la presencia o ausencia de esta carga. Debido a que no existe un capacitor perfecto, todas las "celdas de memoria" tienen una corriente de fuga que, por pequeña que sea, con el paso del tiempo hacen que la carga de los capacitores que forman la memoria tienda a perderse, representando una pérdida de la información

almacenada. Para conservar la información contenida en las memorias dinámicas es necesario realizar un refresco periódico de la información, lo que implica añadir circuitería adicional en el diseño con este tipo de memorias, para que se encargue de realizar este refresco. Esto pudiera ser una desventaja para el uso de estas memorias; sin embargo, como la celda de almacenamiento es más simple que en las memorias estáticas, sus dimensiones son más reducidas al estar formada por un menor número de componentes, teniendo una densidad de celdas mucho mayor. Además, el costo y el consumo de energía de cada componente se reduce. Comercialmente, existen dispositivos que se encargan de realizar los ciclos de refresco, que se requieren con una periodicidad de entre 2 y 8 ms. La organización en este tipo de memorias se da en arreglos de 1, 2 o 4 bits, por lo que para formar un banco de memoria de 8 bits (1 byte) es necesario utilizar varios elementos. Las capacidades de almacenamiento de estos dispositivos van desde los 16 kilobits hasta los 16 megabits. Este tipo de memorias tienen aplicación en sistemas donde se requieran grandes capacidades de almacenamiento.

Las memorias de tipo EEPROM (Electrically Erasable and Programmable Read Only Memory) pertenecen al conjunto de memorias de sólo lectura, que se caracterizan por el hecho de que la información almacenada en ellas es "permanente", es decir, que aún cuando se les retire el suministro de voltaje, estas memorias no pierden su información. El nombre de Sólo Lectura (ROM) es debido a que originalmente las memorias de este tipo podían ser grabadas una sola vez durante su fabricación y su contenido no podía ser borrado o cambiado por ningún medio, y sólo se podía leer la información. Sin embargo, ahora existen memorias ROM que pueden ser borradas y regrabadas, como las borradas por medio de luz ultravioleta (UV-EPROM) y por medios eléctricos (EEPROM). Para esta aplicación, las memorias borrables por medio de luz ultravioleta no son de utilidad, ya que no pueden ser borradas y vueltas a grabar de manera práctica estando instaladas dentro del circuito. Sin embargo, con las memorias borrables por medios eléctricos, esto sí se puede hacer. La organización de estos dispositivos es muy

variada y va desde las que almacenan 256 bits con acceso secuencial hasta organizaciones de 8 bits en paralelo con una capacidad de 256 kilobytes con acceso aleatorio. Para el borrado de la información, existen las que se pueden borrar byte por byte de manera independiente y en las que el borrado se puede hacer sólo a toda la memoria en conjunto. El consumo de energía de estas memorias durante la operación de lectura, al igual que los tiempos de acceso, son similares a los de una memoria UV-EPROM. Sin embargo, durante la escritura, el consumo de energía se incrementa considerablemente, además de que en muchos casos es necesario aplicar voltajes mayores de 5 volts para realizar el borrado y la escritura, y los tiempos para realizar las operaciones se incrementan enormemente. La ventaja que se obtiene al utilizar este tipo de memoria es la seguridad de que la información contenida en ella no se puede perder por fallas en la alimentación de energía; sin embargo, se tiene el gran inconveniente de la reducida variedad y la escasa disponibilidad en el mercado de estos dispositivos. en la tabla 5.III, se muestran las diferentes características de algunas de las memorias detalladas anteriormente.

| Dispositivo | Tipo | Capac. | Consumo | Cte. | Observaciones |
|----------------|--------|--------|---------|-------------|---------------|
| MT4067-15 | DRAM | 64Kx4 | 55 mA | 5 mA | D. refresco |
| CXK58256PM-10 | SRAM | 32Kx8 | 35 mA | 100 μ A | Vmin 2 V |
| DQ2864-250 | EEPROM | 8Kx8 | 110 mA | 40 mA | T.e. grande |
| 28F512-150P1C4 | EEPROM | 64Kx8 | 30 mA | 100 μ A | Voltaje 12 V |

tabla 5.3

Comparando entre los diferentes tipos de memoria parámetros tales como la factibilidad de su uso dadas sus características, el consumo de energía, el tamaño y complejidad del diseño, etc., se decidió utilizar la memoria RAM estática.

Para el diseño con memoria RAM estática, en particular la CXK58256PM-10, de Sony, que tiene una arquitectura de 32 K X 8 bits, se utilizaron dos de

estos circuitos para completar el banco de memoria de 64 k X 8. Una arquitectura de este tipo sólo requiere de un sistema de decodificación de memoria muy simple para habilitar cada una de las dos memorias según se necesite. Estos dispositivos tienen un consumo típico en operación de 35 mA y de sólo 100 μ A en modo de espera, por lo que podemos considerar un consumo promedio del orden de 1 mA. Una ventaja que tienen estas memorias es que son capaces de conservar los datos almacenados mientras tengan una alimentación mínima de 2.0 V, por lo que no se hace tan crítico el mantener constante el voltaje de alimentación.

Por otra parte, el sistema debe contar con algún tipo de memoria ROM, en la que se encuentre almacenado el programa de control del sistema. Para esto se seleccionó una memoria UV-EPROM 27C64, que tiene una capacidad de almacenamiento de 8 kbytes y un reducido consumo de energía, tanto en estado activo como en estado de espera por utilizar tecnología CMOS, siendo este consumo de 20 mA y 100 μ A, respectivamente.

De esta manera, ya se tienen los elementos necesarios para formar el sistema básico, que estará compuesto por:

- microcontrolador
- un oscilador de 11.0592 Mhz, con dos capacitores de 39 pF (el fabricante recomienda 30 pF \pm 10 pF)
- un latch 74HC373
- circuito de reset formado por el diodo de protección D1, el resistor R1 de 100 k Ω y el capacitor C3 de 10 μ F
- memoria ROM 27C64
- la RAM CXK58256PM-10
- decodificación de memoria y puertos (74HC10 y 74HC133, figura 5.3) y
- un switch (S1) y los conectores necesarios para comunicarse con los demás módulos del sistema.

El módulo que contiene a la Unidad Central de Procesamiento del sistema quedó como se muestra en el diagrama de la figura 5.4.

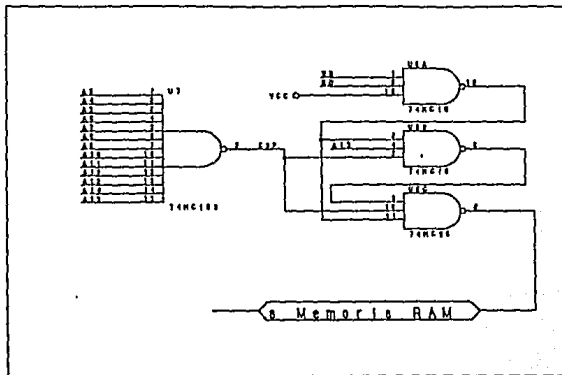


figura 5.3

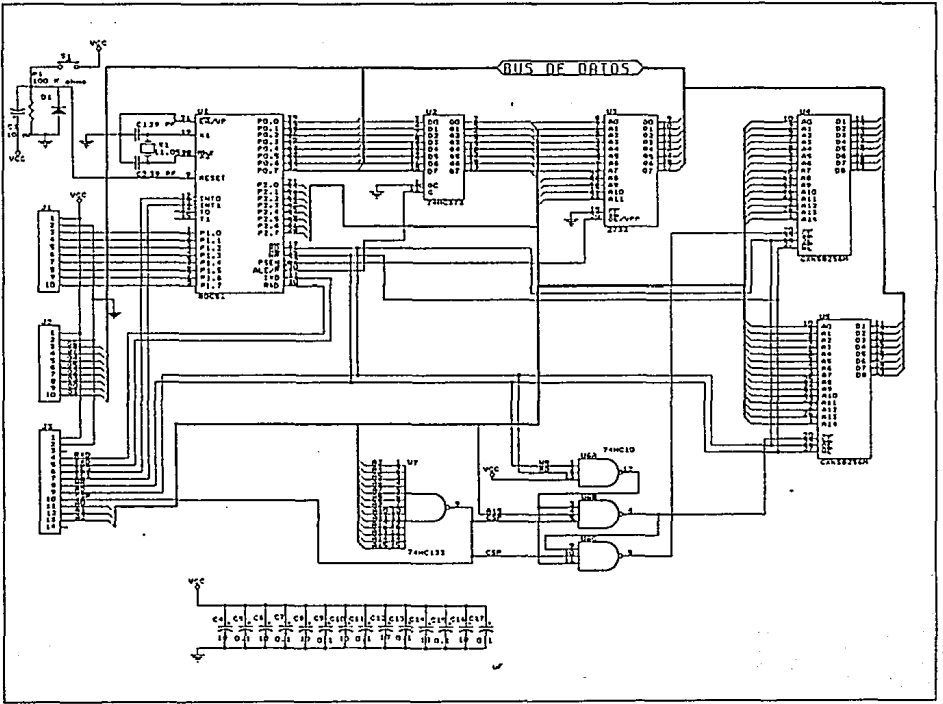


figura 5.4

ADQUISICIÓN DE DATOS.

Los procesos en el mundo real producen señales analógicas que varían constantemente. La velocidad puede ser muy lenta o muy rápida.

Cuando se recurre a la tecnología analógica no es fácil guardar, manipular, comparar, calcular o recuperar información con exactitud. En cambio, las computadoras pueden efectuar estas tareas rápidamente y hacerlo con precisión con una cantidad casi ilimitada de datos empleando técnicas digitales.

Para ello es necesario digitalizar las señales utilizando un convertidor analógico/digital. Los convertidores que se encuentran comercialmente pueden variar en una gran cantidad de parámetros así como en el principio de funcionamiento que utilizan para llevar a cabo la conversión.

Las diferentes señales que entrarán al convertidor son las siguientes:

Sensor de humedad interior

Sensor de humedad exterior

Sensor de temperatura interior

Sensor de temperatura exterior

Sensor de presión

Sensor de dirección de viento

Voltaje de referencia $V_{cc}/2$

Para leer señales con suficiente precisión (del orden de mV en un rango de voltajes de 0 a 5 volts) es necesario utilizar un convertidor con una resolución de al menos 12 bits y con un error no mayor al valor de 1 bit menos significativo (LSB¹).

Como se refirió en el capítulo anterior, el microcontrolador seleccionado utiliza un ducto de datos de 8 bits, por lo que es necesario que el convertidor que se utilice sea compatible con éste para evitar circuitería extra para su lectura.

Ya que se decidió emplear una sola fuente de 5 volts para la alimentación de todo el sistema, era conveniente que el convertidor requiriese también de sólo una fuente de alimentación para trabajar.

En el mercado existen tres tipos estándar, clasificados según sus tiempos de conversión: El **convertidor de Integración lenta** normalmente requiere del orden de 300 ms para efectuar una conversión; es la mejor opción para medir voltajes de CD de variación lenta. El **convertidor por aproximación sucesiva** tiene tiempos de conversión de unos cuantos microsegundos y es adecuado para digitalizar señales de audio. Los más rápidos y costosos de todos son los **convertidores tipo flash** que pueden digitalizar señales de video.

Debido a las razones mencionadas antes, el convertidor a usar necesita una resolución de 12 bits. En la tabla 6.1 se muestran algunos convertidores de este tipo.

La resolución del convertidor analógico-digital determina el número máximo

¹Bit menos significativo

de códigos de salida digital:

$$\text{Resolución} = 2^{12} = 4096$$

La resolución, determinada por el número de bits de salida del convertidor, también se define como el cambio en el valor del voltaje de entrada necesario para cambiar 1 LSB la salida digital, dividido por el voltaje máximo de entrada.

Cuanto más bits de salida tenga un convertidor mayor será su resolución.

| PARTE FABRICANTE | RESOLUCIÓN | PRECISIÓN ABSOLUTA | VOLTAJES DE: a) ENTRADA b) POLARIZACIÓN | COMPATIBLE CON μ P de 8 bits | TIEMPO DE CONVERSIÓN (μ s) |
|---------------------|-----------------|--------------------|---|----------------------------------|---------------------------------|
| ADC1205B NATIONAL | 12 bits + signo | $\pm 1/2$ LSB | a) ± 5 b) $+5, \pm 5$ | Si | 100 |
| ADC1205C NATIONAL | 12 bits + signo | ± 1 LSB | a) ± 5 b) $+5, \pm 5$ | Si | 100 |
| ADC1210 NATIONAL | 12 bits | $\pm -3/4$ LSB | a) 10.2 b) $+5 y \pm 15$ | No | 200 |
| ADC1211 NATIONAL | 12 bits | ± 2 LSB | a) 10.2 b) $+5 a \pm 5$ | No | 200 |
| ADC1225 NATIONAL | 12 bits + signo | $\pm 1/2$ LSB | a) ± 5 b) $+5, \pm 5$ | No | 50 |
| AD572 ANALOG DEV | 12 bits | $\pm 1/2$ LSB | a) $\pm 5, \pm 10$ b) $+5 y \pm 15$ | No serial | 25 |
| AD574AJ ANALOG DEV | 12 bits | ± 1 LSB | a) $-10 a +10$ b) $+5 y \pm 15$ | Si | 25 |
| AD578L ANALOG DEV | 12 bits | $\pm 1/2$ LSB | a) $\pm 5, \pm 15$ b) $+5 y \pm 15$ | No serial | 3 |
| ADC84KG BURR BROWN | 12 bits | $\pm 1/2$ | a) $\pm 5, \pm 10, 5, 10$ b) $5 y \pm 15$ | No serial | 10 |
| ADC10HT BURR BROWN | 12 bits | $\pm 1/2$ LSB | a) $\pm 5, \pm 10$ b) $5 y \pm 15$ | No serial | 50 |
| ADC803BM BURR BROWN | 12 bits | $\pm 1/2$ LSB | A) $\pm 5, \pm 10$ B) $5 y \pm 15$ | No serial | 1.5 |

tabla 6.1

De la tabla 6.1 se puede observar una variedad de convertidores A/D con una resolución de 12 bits. El convertidor que se utilizó en el sistema es el ADC1205C de National Semiconductor Corporation.

El convertidor ADC1205C es un convertidor que realiza la conversión por el método de aproximaciones sucesivas. Este convertidor presenta, además, las siguientes características:

| | |
|----------------------------------|---|
| Resolución | 12 Bits más signo |
| Precisión | 0.012% escala completa o 1/2 LSB |
| Tiempo de conversión | 100 μ s máximo |
| Intervalo de voltajes de entrada | 0 a 5 V con una fuente |
| Temperatura de operación | -40 ° C < TA < 85° C |
| Consumo de potencia | 25 mW |
| Peso del bit menos significativo | 1.22 mV |
| Formato de salida | Dos bytes en paralelo que pueden ser leídos por separado en un ducto de datos 8 bits. |

Para realizar la adquisición completa de un dato se tiene que seguir la siguiente secuencia:

- Para comenzar la conversión, el microcontrolador realiza un ciclo de escritura (WR) a la dirección de memoria donde se encuentra físicamente la habilitación del convertidor (CS), que en nuestro caso fue la dirección FFFF Hex del mapa de memoria.

- Una vez dada la señal de inicio, comienza la conversión por medio del método de aproximaciones sucesivas, al término de la cual la línea de interrupción del convertidor (INT) se habilita (nivel bajo), indicando que la conversión se ha completado.

- La línea INT del convertidor se encuentra conectada a la interrupción externa 1 del microcontrolador (IEXT 1), de tal forma que una vez terminada la conversión, el microcontrolador se entera de que ya puede llevar a cabo la lectura

del dato.

- Para la lectura del convertidor, el microcontrolador realiza dos ciclos de lectura (RD) en la localidad de memoria donde se encuentra el convertidor, es decir, nuevamente FFFF Hex. En el primer ciclo de lectura, el convertidor pone en su ducto de datos la parte alta de la señal digitalizada (A8-AF) y, en el siguiente, pone la parte baja del valor de la conversión (A0-A7).

En la figura 6.1 se muestran los diagramas de tiempo del convertidor y en la figura 6.2 la arquitectura del convertidor.

La señal de reloj de referencia está dada por un oscilador a cristal de 1 Mhz marca Saronix.

Una de las prioridades del sistema es que se consuma la menor cantidad de energía posible y, dado que el acceso a las rutinas de conversión no son muy frecuentes, es conveniente que el módulo de adquisición se desconecte cuando no se encuentre haciendo lecturas.

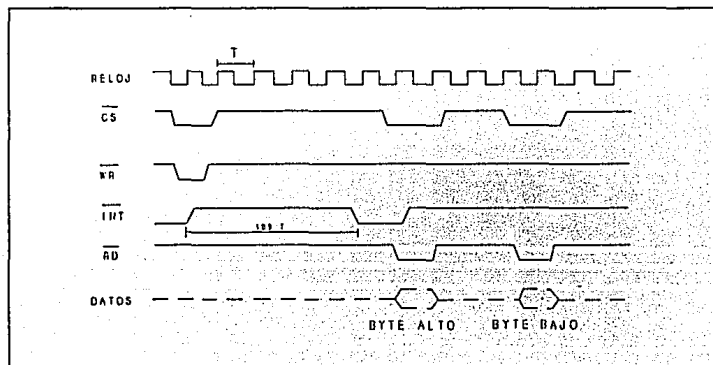


figura 6.1

Para ello se utilizó un relevador que polariza y despolariza la tarjeta donde se encuentra el convertidor y toda su circuitería auxiliar, obedeciendo a una señal enviada por el microcontrolador. De esta forma, cuando se tiene que hacer la lectura de alguna señal, el microcontrolador pone en alto la señal de encendido de la tarjeta (pin P1.7 del microcontrolador), saturando al transistor Q1 (TIP120). En la figura 6.3 se muestra el diagrama correspondiente; los diodos D2 y D4 sólo están como protección y C7 suprime los rebotes del relevador.

Para la lectura de todas las señales, se utilizó el multiplexor analógico CMOS 4051, que conmuta 8 señales diferentes como se muestra en la figura 6.4. Es importante mencionar que fue necesario incorporar un latch 74HC373, alambrado como buffer de tres estados, para que el ducto de datos no mezcle información de los demás dispositivos. El latch se activa por medio de una

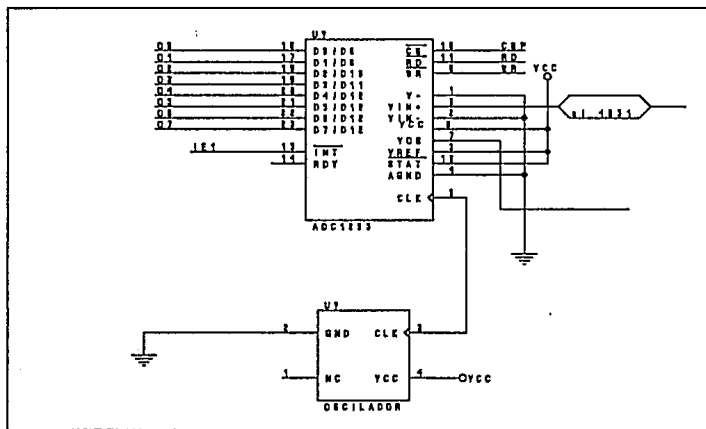


figura 6.2

compuerta OR 74HC32 con la señal RD y una de las salidas del decodificador, leyéndose el 74HC373 con la dirección 7.

Finalmente, en la figura 6.5 se muestra la arquitectura de esta etapa. Esta se seguirá utilizando en el capítulo siguiente.

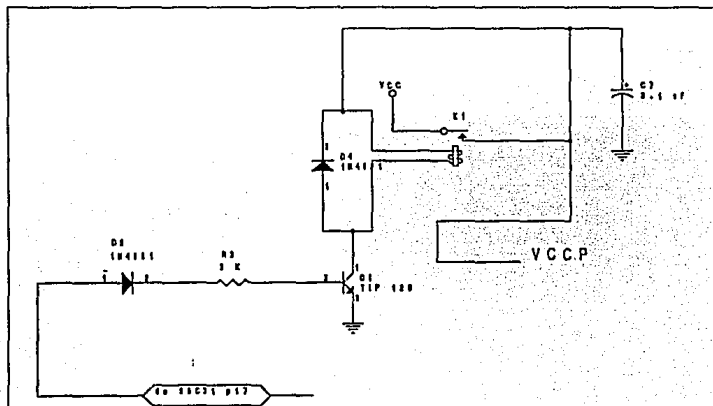


figura 6.3

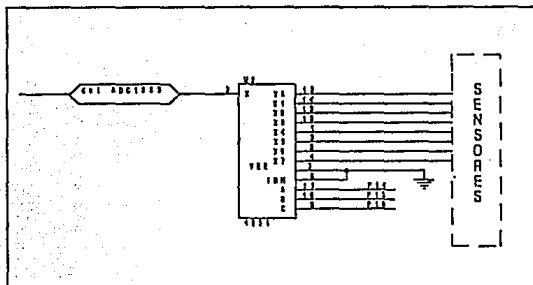


figura 6.4

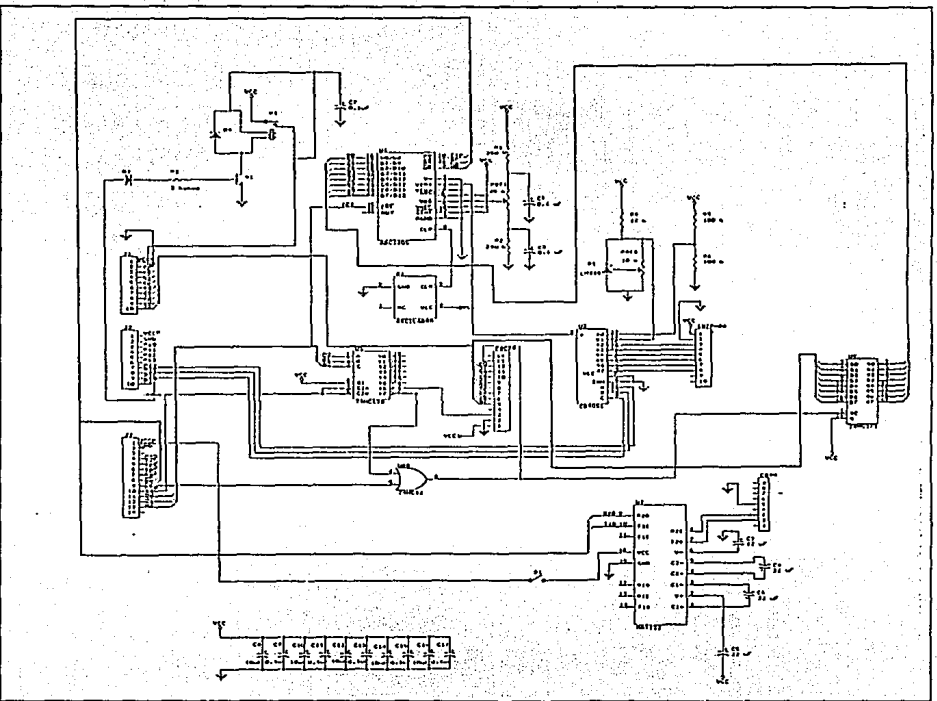


figura 6.5

INTERFAZ-MICROCONTROLADOR-PC.

La comunicación es una de las tareas más importantes en aquellos sistemas que necesiten almacenar datos fuera de su propia memoria para poder borrar los datos y adquirir otros.

Para poner estos datos fuera de la memoria es necesario comunicarse con el exterior. En nuestro caso, el exterior es una computadora personal, que se empleará como herramienta para procesar la información resultante, para la cual se han desarrollado ya muchos periféricos

Es importante mencionar que en nuestro sistema se utilizó el dispositivo MAX-232 de Maxim y el puerto serie de una computadora personal.

El puerto serie PC RS-232, como el estándar RS-232C, es la interfase entre un equipo terminal de datos (DTE, típicamente una computadora o una terminal) y un equipo de comunicación de datos (DCE, típicamente un módem) empleando un intercambio de datos binarios en serie. El término RS-232 es únicamente un estándar, esto es, un conjunto de reglas para el intercambio de datos entre equipos, los cuales pueden ser terminales, impresoras, computadoras u otros

equipos que empleen comunicaciones seriales.

El estándar establece las características mecánicas y eléctricas que deben cumplir las señales y los medios físicos de interconexión para llevar a cabo la comunicación. Por ejemplo, dicho estándar establece cuáles deben ser las dimensiones, el tipo de conectores (DB-25, conector de 25 pines), los niveles lógicos que se manejan (-3 volts o más negativo se considera 1 lógico, +4 volts o más positivo se considera 0 lógico), establece una velocidad máxima de 20 Kbauds para la comunicación y una longitud máxima de los cables de 15 metros.

El controlador del puerto serie se encuentra en una tarjeta de expansión en la IBM PC original, aunque ahora en muchas de las computadoras personales ya se encuentra incluido en la tarjeta principal. Esta tarjeta es completamente programable y soporta sólo comunicaciones asíncronas. Agrega y remueve bits de inicio, de paro y de paridad, utilizando datos de 5, 6, 7 y 8 bits con 1, 1 ½ o 2 bits de paro. Tiene un generador de "baud-rate" (velocidad de transmisión) que permite la operación en velocidades entre 50 y 9600 bps (bits por segundo).

La tarjeta del puerto serie se basa en el controlador 8250 originalmente construido por National Semiconductors. Las ventajas que ofrece este circuito son las siguientes:

- Reloj de recepción independiente
- Señales para control de Modem (CTS, RTS, DSR, DTR, RI, CD)
- Detección de bit de inicio falso
- Detección de "break" en la línea (cuando, por ejemplo, se

desconecta al equipo receptor).

Los diferentes modos de operación se seleccionan programando el 8250. Esto se logra seleccionando sus puertos (0x3F8 a 0x3FF para COM1 y 0x2F8 a 0x2FF para COM2) y escribiendo datos de control en ellos.

Se provee una línea de interrupción al sistema; ésta interrupción es IRQ4 para COM1 e IRQ3 para COM2, la que se activa en alto. Para poder hacer uso de ellas es necesario programar directamente el registro de control del 8250.

Esta tarjeta tiene una interfase EIA RS-232C en un conector DB-25 (DB-9 en AT). Además se provee la opción de "current-loop" para ciertos tipos de periféricos ("current-loop" es un tipo especial de configuración en la cual la presencia o ausencia de corriente determina los niveles lógicos, esto es particularmente importante para distancias grandes donde una señal de voltaje puede sufrir atenuaciones). La operación como RS-232 o como "current-loop" puede seleccionarse por medio de un puente.

La interfase serie RS-232C emplea las señales de datos y control mostradas en la tabla 7.1.

Existen tres formas para establecer comunicación:

- simplex (la comunicación sólo puede ir en un sentido),
- half duplex (la comunicación puede ir en ambos sentidos pero sólo en uno a la vez) y
- full duplex (la comunicación puede ir en ambos sentidos al mismo tiempo).

Para hacer la comunicación más simple utilizando al puerto serie RS-232 para comunicación "Full Duplex", pueden emplearse sólo tres líneas que son:

| DB-25 | DB-9 | DESIGNACIÓN | FUNCIÓN | ABREVIATURA | SENTIDO RS232C ↔ MODEM |
|-------|------|-------------|--------------------------|-------------|---------------------------|
| 1 | | AA | Tierra de protección | -- | NO |
| 2 | 3 | BA | Transmisión de datos | XMIT | → |
| 3 | 2 | BB | Recepción de datos | RCV | ← |
| 4 | 8 | CA | Solicitud de transmisión | RTS | → |
| 5 | 7 | CB | Listo para transmitir | CTS | ← |
| 6 | 6 | CC | Datos listos | | |
| 7 | 5 | AB | Señal de tierra | GND | NO |
| 8 | 1 | CF | Detección de portadora | CD | ← |
| 20 | 4 | CD | Terminal de datos listo | DTR | → |
| 22 | 9 | CE | Indicador de llamada | RI | ← |

tabla 7.1

tierra (GND), transmisión de datos (XMIT) y recepción de datos (RCV).

En nuestro sistema, la programación y manejo del puerto serie de la PC se hace a través de rutinas en lenguaje de programación C. La explicación y el programa mismo se presentan con detalle en el apéndice 1.

El puerto serie de la familia de microcontroladores MCS-51 de Intel es un puerto "Full Duplex", que puede recibir y transmitir datos al mismo tiempo. El receptor contiene un espacio "Buffer" que le permite comenzar a recibir un

segundo dato sin necesidad de que el primero haya sido completamente transmitido (sin embargo, si el primero no ha sido completamente leído hasta el final de la recepción del segundo dato, este se perderá).

El dato de transmisión y recepción se encuentra en el registro SBUF del espacio de registros de funciones especiales. Para transmitir un dato por el puerto serie, basta con mandar a escribir el dato a ese registro mientras que para leer un dato que llegue por el puerto serie, bastará con leer lo que se encuentra nuevamente en el mismo registro.

Para el control del puerto serie, el microcontrolador cuenta con el registro SCON, como se muestra en la tabla 7.2.

| | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|
| SM0 | SM1 | SM2 | REN | TB8 | RB8 | TI | RI |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|

tabla 7.2

Este registro puede ser direccionado por bit y la función de cada uno es:

- SM0 (SCON.7) Especifica el modo de control del puerto serie.
- SM1 (SCON.6) Especifica el modo de control del puerto serie.
- SM2 (SCON.5) Habilita la comunicación del tipo multiprocesador utilizado en los modos 2 y 3. En estos modos, si SM2=1, RI no es activado si el noveno dato recibido (RB8) es cero. En modo 1, RI no se activa si no se recibe un bit de paro. En modo 0, SM2 será cero.
- REN (SCON.4) Establece la recepción serie. Cuando REN=0, se desactiva la recepción por software.
- TB8 (SCON.3) Almacena el noveno bit que será transmitido en los modos 2 y 3.

- RB8 (SCON.2)** Es el noveno bit que será recibido únicamente en los modos 2 y 3.
- TI (SCON.1)** Bandera de interrupción de la transmisión. Activada por hardware al final del octavo bit en modo 0, o al medio tiempo de transmitido el bit de paro en los otros modos. Esta bandera debe ser limpiada por software.
- RI (SCON.0)** Bandera de interrupción de la recepción. Activada por hardware al final del octavo bit en modo 0, o al medio tiempo de transmitido el bit de paro en los otros modos. Debe ser limpiado por software.

| SM0 | SM1 | MOD O | ESPECIFICACIÓN | BAUD RATE |
|-----|-----|----------|-------------------------|-----------------------------|
| 0 | 0 | 0 | Registro de corrimiento | Frecuencia del oscilador/12 |
| 0 | 1 | 1 | UART 8 bits | Variable |
| 1 | 0 | 2 | UART 9 bits | $F_{osc}/32 \text{ ó } /64$ |
| 1 | 1 | 3 | UART 9 bits | Variable |

tabla 7.3

Los cuatro modos en los que puede ser configurado el puerto serie se muestran en la tabla 7.3.

MODO 0: Los datos de recepción y transmisión son enviados mediante 8 corrimientos. La frecuencia a que se transmite o recibe se encuentra fija a 1/12 la frecuencia del oscilador. La frecuencia de transmisión y recepción se conoce como "baud-rate" y se mide en bps (bits por

segundo).

- MODO 1:** En este modo de transmisión se transmiten 10 bits por la línea TXD o se reciben 10 bits por la línea RXD. Un bit de inicio, 8 bits de datos y un bit de paro. En recepción el bit de paro se almacena en RB8 de SCON. El "baud-rate" es variable.
- MODO 2:** En este modo se transmiten 11 bits por la línea TXD o se reciben 11 bits por la línea RXD, un bit de inicio (start=cero lógico), 8 bits de datos, un noveno bit de datos programable, (en la transmisión es TB8, en la recepción es RB8 del registro SCON) y un bit de paro (bit de stop). El "baud-rate" es 1/32 o 1/64 de la frecuencia de oscilación.
- MODO 3:** Este modo funciona de la misma forma que el modo 2, sólo que aquí la frecuencia de transmisión/recepción es variable. Para generar el "baud-rate" se utiliza al Timer 1.

En los modos 2 y 3, el uso del noveno bit de datos resulta importante cuando se llevan a cabo comunicaciones multiprocesador en el cual se quiere mandar información por el puerto serie a un solo proceso sin que los demás reciban también la información.

Dado que no se piensan establecer comunicaciones multiproceso y que se quiere tener un "baud-rate" variable, se programó al puerto serie del microcontrolador en modo 1, es decir, un bit de inicio (0 lógico) 8 bits de datos y un bit de paro (1 lógico) teniendo una velocidad de transmisión variable.

Para generar el "baud-rate" variable en los modos 1 y 3 se utiliza el Timer 1. La velocidad de transmisión/recepción en este caso queda determinada por los sobreflujos en el Timer 1 (overflows) como sigue:

Modos 1 y 3

$$\text{Baud Rate} = \frac{2^{\text{SMOD}}}{32} \times (\text{sobreflujos del Timer 1})$$

donde SMOD es un bit perteneciente al registro PCON (PCON.7).

Para esta aplicación la interrupción del Timer 1 debe estar deshabilitada. El Timer 1 por sí mismo puede estar configurado para trabajar como contador ó como temporizador; pero, para hacerlo trabajar como generador de "baud-rate", debe de funcionar como temporizador (esto se logra colocando 0010 B en la parte alta del registro de control del puerto Timer/Contador TMOD). Con estas condiciones, el "baud-rate" está dado por:

$$\text{Baud Rate} = \frac{2^{\text{SMOD}}}{2} \times \frac{\text{Frecuencia del oscilador}}{12 \times [256 - (\text{TH1})]}$$

Donde TH1 es el valor del byte alto del Timer/contador 1.

En la tabla 7.4 se muestran algunos valores de "baud-rate" comúnmente usados y la forma como pueden obtenerse a partir del Timer 1.

En el sistema se fijó la frecuencia en 2400 bauds. Por la misma razón, el oscilador que físicamente se colocó al 80C31 fue uno de 11.059 MHz. De esta manera se tiene la ventaja de que con un solo cristal se pueden obtener varios de los valores de "baud-rate" que con más frecuencia se encuentran en otros equipos como son: 1200, 2400, 4800, 9600 y 19200 bauds.

De esta forma, la comunicación serie quedó configurada como:

- Frecuencia de transmisión 2400 BPS

| BAUD RATE | FRECUENCIA DEL OSCILADOR | SMOD | TIMER 1 | | |
|-----------|--------------------------|------|---------|------|--------------|
| | | | C/T | Modo | Valor de TH1 |
| 19200 bps | 11.059 MHz | 1 | 0 | 2 | FFH |
| 9600 bps | 11.059 MHz | 0 | 0 | 2 | FDH |
| 4800 bps | 11.059 MHz | 0 | 0 | 2 | FAH |
| 2400 bps | 11.059 MHz | 0 | 0 | 2 | F4H |
| 1200 bps | 11.059 MHz | 0 | 0 | 2 | E8H |
| 137.5 bps | 11.896 MHz | 0 | 0 | 2 | 1DH |
| 110 bps | 6.0 MHz | 0 | 0 | 2 | 72H |

tabla 7.4

- Número de bits por caracter 8 BITS
- Bits de inicio 1 BIT
- Bits de paro 1 BIT
- Sin paridad

La interconexión entre el puerto serie de la PC y el puerto serie del microcontrolador se hizo a través del circuito integrado MAX-232 fabricado por Maxim, el cual es un doble emisor/receptor. Contiene dos emisores que convierten los niveles de entrada TTL/CMOS a niveles de salida RS-232C (\approx 10 volts) y dos receptores que efectúan la operación inversa a niveles TTL/CMOS (0 a 5 volts). La ventaja de este circuito es que para su funcionamiento requiere sólo de una fuente de 0 a 5 volts (ya que internamente contiene dos convertidores de voltaje CD/CD) y cuatro capacitores (marcados como C3, C4, C5 y C6 en la figura 7.1).

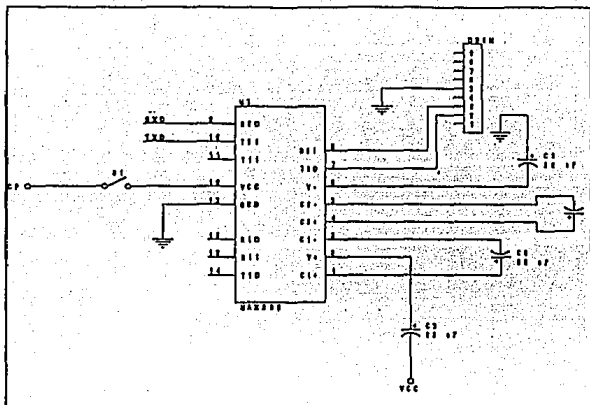


figura 7.1

Dado que el MAX-232 consume una cantidad considerable de corriente (aproximadamente 8 mA) y la comunicación serie entre microcontrolador y computadora sólo se da a intervalos de tiempo muy grandes (semanas), este circuito únicamente permanece encendido cuando se necesita establecer comunicación, cerrando para ello el interruptor S1 (figura 7.1), el cual polariza en ese instante al circuito, teniéndose el cuidado de abrirlo al terminar la comunicación para evitar un consumo innecesario de energía.

El conector que aparece marcado como J3 en la figura 7.2 es un conector que proviene de la tarjeta donde se encuentra el microcontrolador y del cual salen las líneas de polarización (VCC y GND) y las líneas TXD y RXD.

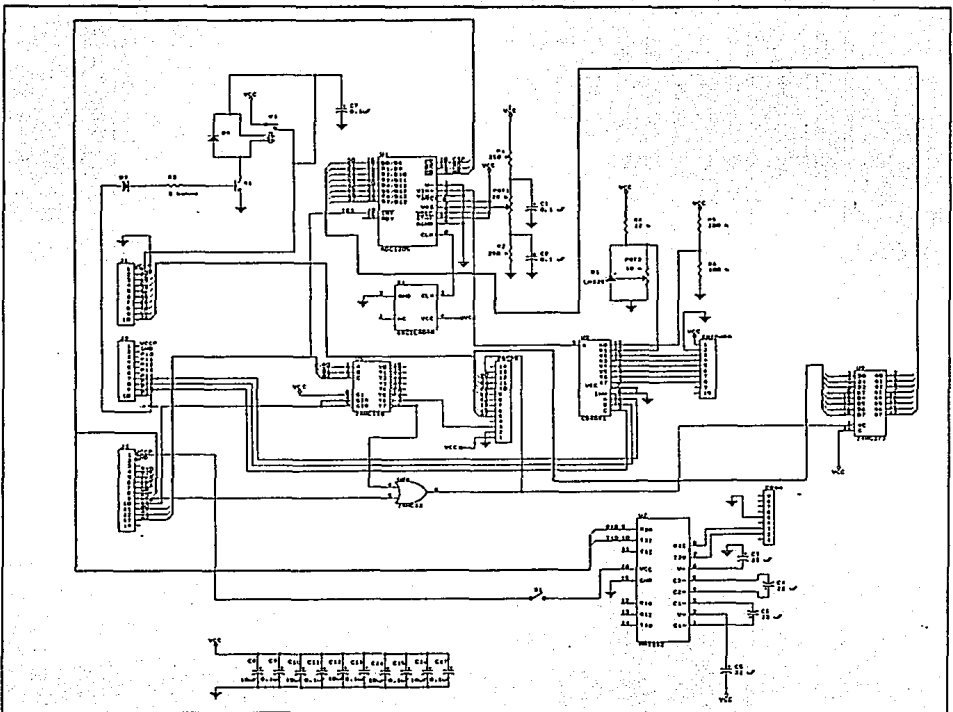


figura 7.2

Capítulo 8

INTEGRACIÓN DEL SISTEMA:

Como se describió anteriormente, el sistema se separó en diferentes módulos, cada uno de ellos desarrollado independientemente para facilitar el manejo de todo el sistema. Sin embargo, para integrar todo el conjunto de que consta la estación meteorológica, es necesario además de interconectar cada uno de los módulos, la coordinación entre sus funciones y el establecimiento de un protocolo de comunicación con el exterior.

Para el diseño de cada uno de los circuitos impresos, se tomó el estándar de MICROMINT, de 4.5 x 6 pulgadas, que serán montadas en un soporte comercial utilizado en este estancar. En el apéndice 3 se muestra la fotografía.

La conexión entre cada una de las tarjetas se realizara con cable plano y conectores IDC. En el apéndice 2 se muestran los diseños de los circuitos impresos de cada uno de los módulos.

Las ilustraciones 1,2 y 3 corresponden a la tarjeta de procesamiento central, que contiene la arquitectura básica del microcontrolador 80C31.

Las ilustraciones 4,5 y 6 corresponden al módulo del convertidor analógico/digital y al puerto serie.

Las ilustraciones 7 y 8 corresponden al módulo de suministro de energía.

Las ilustraciones 9,10, y 11 corresponden a la electrónica de los sensores y las ilustraciones 12 y 13 a la etapa de sensores.

Las últimas 2 ilustraciones 14 y 15, corresponden a un medio de despliegue luminoso que tiene la finalidad de proporcionar una ayuda visual para conocer las condiciones de operación en que se encuentra el sistema. Este despliegue consiste en 8 indicadores luminosos (LEDS) que mostrarán la información proporcionada por el microcontrolador, indicando las condiciones en que se encuentra el sistema:

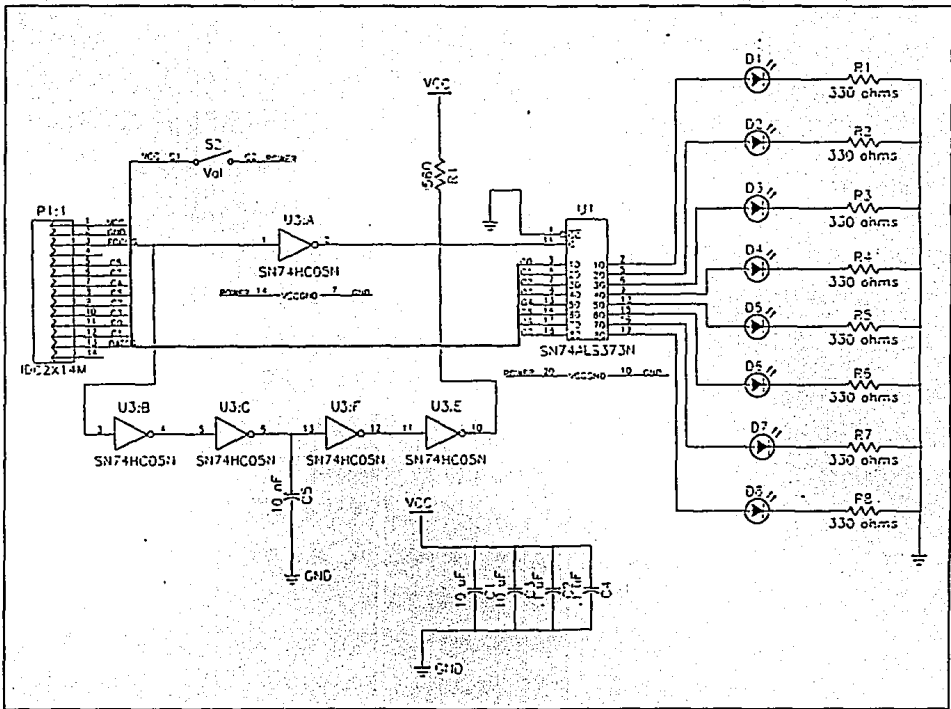
- Encendido,
- Batería baja,
- Conversión automática,
- Memoria llena y
- 4 restantes (libres).

Estas señales son enviadas 15 veces por segundo, cada vez que el sistema actualiza su reloj, por lo que se le puso un "latch" a la entrada para mantener el estado de los indicadores mientras se vuelve a actualizar su información. Como el uso de este despliegue se va a dar esporádicamente, se conectó un switch normalmente abierto para polarizar esta tarjeta. La figura 8.1 muestra la tarjeta del despliegue luminoso.

Ya interconectadas todas las tarjetas, es necesario que estén coordinadas entre sí, lo cual se logra a través del programa de control del sistema.

El programa está escrito en lenguaje ensamblador del microcontrolador. Las funciones que realiza el programa para coordinar el funcionamiento del sistema se pueden agrupar en 5 actividades básicas:

figura 8.1



- Inicialización del sistema,
- Atención de interrupciones,
- Lectura e interpretación de comandos,
- Realización de funciones periódicas,
- Rutinas de funciones específicas.

En la inicialización del sistema se establecen todos los parámetros iniciales de operación del sistema, como lo son la inicialización el reloj, los vectores de interrupción y el modo de atención a éstas, los parámetros de comunicación serie e inicializar banderas, registros y contadores del sistema.

Las interrupciones que se le hacen al sistema pueden provenir de 4 fuentes diferentes: .

2 interrupciones externas,

1 interrupción de los temporizadores (timer),

1 interrupción del puerto serie, tanto en transmisión como en recepción.

Las interrupciones externas fueron utilizadas para detectar el estado de la batería, y para detectar cuándo el convertidor A/D termina de hacer la conversión. La interrupción del temporizador se utilizó para mantener el reloj del sistema. Las rutinas de atención a estas interrupciones son elementos importantes del programa, ya que a través de ellos se van a atender situaciones críticas en la operación del sistema que no necesariamente se presentan con una periodicidad constante, como lo es la comunicación con el exterior, la lectura de los datos del convertidor A/D y la suspensión de las actividades del sistema para conservar energía cuando se presenta la condición de batería baja.

La lectura e interpretación de comandos que llegan a través del puerto serie es importante porque permite el control y monitoreo de todo el conjunto. Para este efecto, el sistema cuenta con un bloque de instrucciones que se pueden agrupar

en 3 partes de acuerdo a la función que realizan:

- Inicialización de parámetros,
- Transmisión de datos y
- Conversión de datos.

En el apéndice 1.1.2 se muestra la relación completa de los comandos que se reconocen.

Para que el sistema ahorre energía, se aprovecha la capacidad del microcontrolador para ponerse en un estado de bajo consumo, el modo de espera (modo IDLE), en el cual el consumo de corriente se reduce a aproximadamente el 15 % del normal. Estando en este modo, toda actividad del microcontrolador se ve suspendida, a excepción de la atención de interrupciones y a los timers/contadores y sólo sale de él hasta que se presenta una interrupción.

Cuando el sistema está funcionando, se encuentra dentro de un ciclo de operación, en el cual realiza las actividades que denominamos periódicas, como enviar el estado del sistema al despliegue luminoso, verificar si hay algún comando para interpretar y verificar si está realizando un ciclo de lectura para llevar a cabo la acción correspondiente . Antes de iniciar el siguiente ciclo de operación, el sistema entra en el modo de espera y se mantiene en él hasta que se presenta una interrupción, la cual normalmente será la que se produce para actualizar el reloj, lo cual ocurre 15 veces por segundo, regresando al siguiente ciclo tras atender esta interrupción.

Finalmente, el programa cuenta con una serie de rutinas para realizar diferentes acciones como consecuencia de algún comando que se envíe o alguna actividad periódica.

El listado completo del programa de control se encuentra en el apéndice 1.

La comunicación con el exterior, en este caso representada por una computadora personal, es el medio apropiado que facilita el envío de instrucciones

al sistema para que realice las funciones deseadas, así como la recuperación de los datos adquiridos por el sistema durante su operación.

Los elementos de hardware necesarios para establecer esta comunicación entre el sistema y una computadora personal, se establecieron ya antes en el capítulo 7. Sin embargo, para establecer la comunicación es necesario tener los elementos de software que permitan que esto se lleve a cabo. En lo relativo al sistema, en el programa de control se incluyen las rutinas que se encargan de enviar los datos adquiridos y la información relativa al sistema, además de recibir, almacenar y procesar comandos provenientes de la computadora personal. Para completar el enlace fue necesario desarrollar en la computadora personal los elementos que complementen lo desarrollado en el sistema.

Para tal efecto, se desarrolló un primer programa en la computadora personal utilizando el lenguaje de programación C, el cual se encarga de establecer la comunicación a través del puerto serie. En términos generales, este programa emula las funciones de una simple terminal, es decir, presenta en pantalla todo lo que recibe por el puerto serie y envía por el mismo medio lo que se recibe por el teclado. Sin embargo, este programa realiza algunas funciones adicionales ya que, al mismo tiempo de que está enviando lo que se recibe del teclado, también lo va almacenando y es capaz de reconocer algunos de los comandos que se le envían, especialmente los que involucran recepción de datos, con el fin de preparar lo necesario para realizar esta recepción. Por ejemplo, al recibir los datos por el puerto serie la computadora abre un archivo para almacenar en él los datos en lugar de mostrarlos en pantalla. El listado completo se muestra en el apéndice 1.

Una vez que se tienen los datos almacenados en la computadora personal, es conveniente contar con los elementos para interpretarlos; el sistema sólo envía los datos contenidos en su memoria, sin ningún tipo de procesamiento, de manera que en la computadora sólo se tiene un conjunto de datos en binario

incomprensibles para el usuario. Para cubrir esta necesidad, se desarrolló un programa, también escrito en lenguaje C, el cual toma del archivo de entrada los datos recibidos del sistema, los interpreta, les da un formato de presentación y almacena el reporte en un archivo de texto, el cual puede ser visto en pantalla o imprimirse directamente, con lo que se logra la obtención de resultados útiles. En el apéndice 1 se puede encontrar el listado completo de este programa y en el capítulo 9 se muestra un ejemplo de los listados obtenidos a partir de las lecturas realizadas por el sistema.

PRUEBAS Y RESULTADOS:

Un sistema modular permite tener un control más preciso de cada etapa en un sistema; por ejemplo, permite detectar una falla más fácilmente y reemplazar sólo la parte afectada. A cada una de estas etapas se le hicieron pruebas y también se hizo tomaron resultados de cada una , así como una prueba general de todo el sistema en conjunto.

Recordando cada una de las etapas:

- Unidad básica de procesamiento,
- Unidad de digitalización de datos,
- Unidad de suministro de energía,
- Unidad de electrónica de sensores,
- Comunicación serie.

En la tabla 9.1 se muestran los resultados de todas las pruebas realizadas.

| | |
|-----------------------------------|---|
| Unidad básica de procesamiento | V _{min} Alim.....3.45 V Consumo de energía Bajo consumo.....2.73 mA Modo activo.....13.79 mA Promedio (Op.normal).....2.88 mA |
| Unidad de digitalización de datos | Consumo de energía Con el convertidor apagado consume:.....0.4 mA Al realizar la comunicación: 3.82 mA Funcionando todo el módulo:..34 mA |
| Unidad de suministro de energía | Consumo de energía Operando normalmente.....2 mA |
| Unidad de electrónica de sensores | Consumo de energía.....60.7mA |
| Comunicación serie | Velocidad de transmisión.....2400 Bauds |

figura 9.1

Para complementando la tabla anterior, hay que hacer notar que:

- El sistema pasa la mayor parte del tiempo en estado de bajo consumo,
- Se determinó la precisión del convertidor A/D tomando lecturas de los sensores, observando que se encontrara en el rango de tolerancia especificado por el fabricante.
- Con el panel solar se determinó que se tienen aproximadamente 13.5 horas de radiación solar diarias en verano, de las que sólo 8 son aprovechadas por la estación, ya que las primeras y últimas horas de la radiación solar, el ángulo de incidencia baja la eficiencia del panel (estas observaciones son tomadas de C.U. en un día sin sin nubosidad.).

Cuando se realiza un ciclo de lectura , el sistema completo tiene un

consumo de 96.9 mA; el resto del tiempo se encuentra en estado de espera (modo IDLE), con un consumo de 65.8 mA. Si el tiempo durante el cual se lleva a cabo un ciclo de lectura es de aproximadamente 10 segundos, y considerando que el tiempo entre lecturas es de 15 minutos, se tiene un consumo promedio de 66.2 mA.

Regresando a la utilidad del panel solar, se manifiesta que es capaz de proporcionar, de sobra, la energía necesaria para la estación. El problema principal que determinará la autonomía del sistema está en la capacidad de almacenamiento de la memoria; ésta se llenará a razón de 80 bytes/hora, siendo capaz de acumular datos durante 819.2 horas, o sean 34.13 días. Después de este período (o antes) habrá que vaciar la información con una laptop o una PC, en discos flexibles, para analizar posteriormente la información. Una vez llena la memoria, no se permite la entrada de nuevos datos sino hasta que la información se vacía a través del puerto serie.

Si condiciones extremas llegaran a afectar la operación normal de la estación, por ejemplo la falta de radiación solar, la batería mantendrá cierto tiempo a la estación. Este tiempo depende del nivel de ajuste del detector de batería baja, y de la cantidad de carga que tenga la batería. Considerando 5.5 V. el voltaje de batería baja, se encontró que se mantuvo operando durante 5 días, antes de entrar en estado de batería baja.

En el apéndice 4, en las tablas y graficas se muestran los resultados obtenidos, en la que se presentan las lecturas realizadas por el sistema una vez procesada la información por el programa que da formato a los resultados. Cabe hacer notar la ausencia del sensor de humedad por carecerse de éste en el momento de las mediciones. En esta se indica:

- La fecha de referencia,
- Numero de día transcurrido a partir de la fecha de referencia,
- Hora en que fue realizada la lectura,

- Estado del sistema al realizar la lectura, Este es un número binario, en el que cada bit representa lo siguiente:

bit 0 : sistema encendido

bit 1 : Batería baja

Bit 2 : Sistema trabajando en conversión automática

Bit 3 : Memoria llena

Bit 4 al 7 disponibles para futuras aplicaciones (los datos son los mismos que se muestran en el despliegue luminoso).

- También contiene la temperatura interior y exterior en grados centígrados (°C), humedad relativa interior y exterior en porcentaje (%), presión atmosférica en mBars (mB), Dirección y la velocidad del viento en kilómetros por hora (K/h), y finalmente la precipitación pluvial en milímetros de agua (mm).

En caso de que los datos correspondientes a un mismo ciclo de lectura por alguna causa no se hayan interpretado correctamente (en base al carácter de separación), ya sea por batería baja, pérdida de información al transferir los datos, etc. se marcarán con asteriscos (****) después de la última columna, indicando que se deberán tomar con precaución.

CONCLUSIONES:

Nuestro objetivo planteado inicialmente era: Desarrollar una estación meteorológica basada en un microcontrolador para la medición automática de temperatura, humedad relativa, presión absoluta, velocidad y dirección del viento y precipitación. La estación almacenará la información obtenida en una memoria residente y estará alimentada mediante celdas solares y baterías de ácido-plomo, lo que le dará autonomía. La estación estará destinada a usarse en el Observatorio Astronómico Nacional de San Pedro Mártir B.C.

Se logró tomar los datos climatológicos mencionados, usando el microcontrolador de INTEL 80C31 que le dió el carácter de un sistema completo, que solucionó el problema enfrentado. El sistema básico de este sistema ofrece la posibilidad de crecer e incluso de cambiar la utilidad de la estación, ya que puede verse simplemente como un sistema que adquiere datos que son guardados en un banco de 64 kBytes y que es capaz de hacerlo de manera

autónoma durante aproximadamente un mes.

La aplicación de las celdas solares y la batería de ácido-plomo permitieron, dar a la estación la autonomía necesaria para que el usuario pueda dejarla operando por un período relativamente grande sin necesidad de mantenimiento, debiendo sólo preocuparse por extraer los datos adquiridos.

La estación meteorológica, al ser diseñada modularmente, permite crecer o cambiar la utilidad, agregando el software y hardware necesario. Esto hace muy práctico al sistema.

Por otra parte, esta misma cualidad permite que el diagnóstico de falla y su corrección sea relativamente simple.

La meta planteada, en consecuencia, fue satisfactoriamente alcanzada. La estación meteorológica cumple con los requisitos establecidos, y aunque las condiciones de SPM son particulares, no son una limitante para su uso confiable.

La estación es capaz de tomar las 8 lecturas requeridas, digitalizarlas, almacenarlas y enviarlas a un sistema periférico por medio del puerto serie RS-232 para su despliegue y tratamiento. El formato que se le dió a la información tiene el propósito de que sea de fácil interpretación para el usuario.

Por otra parte, se planteó que los datos fueran adquiridos cada 15 minutos. Sin embargo, existe la posibilidad de cambiar este tiempo según las necesidades, incrementando o disminuyendo, en consecuencia, la capacidad de almacenamiento.

El virtud de las características de la estación, el operador sólo tiene la misión de iniciar la operación de la estación, y de extraer los datos almacenados. Sólo muy esporádicamente tendrá que revizar el estado de la batería, del panel solar y de las conexiones.

Cabe hacer notar que el uso de sistemas distribuidos de control y la aplicación de tecnologías no contaminantes de celdas solares, permite no poner un límite a los proyectos, dejando límite sólo a la imaginación.

APÉNDICES.

Apéndice 1

Programación:

- 1.1 Programa del 80C31 para el control de la estación
- 1.2 Comandos del sistema
- 1.3 Programa de comunicación serie para la PC
- 1.4 Programa intérprete y para el formato de los datos en la PC

1.1 Programa del 80C31 para el control de la estación.

```
; ESTACION METEOROLOGICA
; Control del funcionamiento del 8051 a través de comandos proporcionados
; por una PC por medio del puerto serie. Realiza las funciones de
; control para la estación meteorológica.
;

org 0000h
ljmp inicio ; Salta a la rutina inicial

org 0003h
ljmp ex0i ; interrupción externa 0 (batería baja)

org 000bh
ljmp t0i ; Interrupción timer 0 (reloj)

org 0013h
ljmp ex1i ; Interrupción externa 1 (convertidor)

org 0023h
jb ri, rint ; Verifica origen de interrupción
sjmp txdi
rint: sjmp rxdi

org 0030h ;Atención de interrup. por transmisión serie
txdi: clr ti ; Borra bandera
clr 7fh ; Borra señal de transmitiendo
reti ; Termina rutina de atención

;Atención de interrup. por recepción serie
rxdi: clr ri ; Borra bandera
mov 31h, a ; Guarda valor de A
mov a, sbuf ; Guarda dato recibido
mov sbuf, a ; Regresa el mismo dato
mov @r0, a ; Envía dato a memoria
cjne a, #08, no_bs
dec r0
sjmp rrxdi

no_bs: inc r0
cjne a, #0dh, rrxdi ; Verifica si es fin de línea
clr ren ; Si : deja de recibir
setb f0 ; indica fin de comando

rrxi: mov a, 31h ; Recupera valor de A
reti ; Termina rutina de atención

;Atención de la interrupción timer 0 (reloj)
t0i: mov th0, #10h ; Valores iniciales del contador
djnz 28h, rt0i ; Inc 1/15 seg, si no va 1 seg, continúa
mov 28h, #15
djnz 29h, rt0i ; Inc seg, si no va 1 min, continúa
mov 29h, #60
jnb 7bh, incm ; Verifica si hay lectura automática
djnz r7, incm ; Inc min de espera, si no termina, continúa
setb 7ah ; Avisa fin tiempo de espera
mov r7, 24h ; Inicializa tiempo de espera
incm: djnz 2ah, rt0i ; Inc min, si no va 1 hr, continúa
mov 2ah, #60
```

```

mov 2bh, #24
push dph
push dpl
mov dph, 20h
mov dpl, 21h
inc dptr
mov 20h, dph
mov 21h, dpl
pop dpl
pop dph
rt0i: reti
; Termina rutina de atención de reloj

; Atención de la interrupción externa 0
ex0i: clr pl.2
clr 78h
setb 29h
clr 7ah
mov 27h, #00
cjne r4, #0ffh, nofull1
setb 2bh
sjmp lowbat
nofull1: mov dpl, r3
mov dph, r4
mov a, #0ffh
movx @dptr, a
inc dptr
mov a, 20h
movx @dptr, a
inc dptr
mov a, 21h
movx @dptr, a
inc dptr
clr c
mov a, #24
subb a, 2bh
movx @dptr, a
inc dptr
mov a, #60
subb a, 2ah
movx @dptr, a
inc dptr
mov a, 25h
movx @dptr, a
inc dptr
mov r3, dpl
mov r4, dph
lowbat: mov pcon, #01
mov dpl, #0feh
mov dph, #0ffh
mov a, 25h
movx @dptr, a
jnb p3.2, lowbat
clr 29h
reti
; Termina rutina de atención de batería baja

; Atención de la interrupción externa 1
ex1i: djnz r2, fuera
inc r2
mov dpl, #0ffh
mov dph, #0ffh
clr ex1
mov 30h, a
movx a, @dptr
mov 2ch, a
movx a, @dptr
mov 2dh, a
cjne r4, #0ffh, nofull2
setb 2bh
; Guarda en DPTR dirección del ADC
; Deshabilita interrupción externa 1
; Guarda valor de A
; Lee byte mas significativo
; Guarda temporal dato
; Lee byte menos significativo
; Guarda temporal dato
; Verifica si está llena la memoria
; Enciende señal de memoria llena

```



```

        jb 7fh,$
        setb 7fh
        mov sbuf,#0dh
        jb 7fh,$
leecmd: mov r0,#40h      ; R0=40h : Inicio area para guardar comandos
        clr f0          ; Indica no hay comando recibido
        setb 7fh       ; Envia prompt
        mov sbuf,#62
        jb 7fh,$
espera: setb zen       ; Permite recepción de comandos
        mov pcon,#01   ; Pone al micro en modo IDLE
        nop            ; Pierde el tiempo :
        nop            ; -> Espacio destinado a la atención
        nop            ; de otras funciones
        nop
        mov dpl,#0feh  ; Transmite banderas de estado
        mov dph,#0ffh  ; al panel de leds
        mov a,25h
        movx @dptr,a
        jb 7ah,ciclec  ; Acabo tiempo de espera
        ljmp contil
ciclec: mov a,27h
        cjne a,#00,nofull
        inc 27h
        mov dpl,r3      ; Guarda en DPTR dirección para guardar
        mov dph,r4      ; datos leídos
        mov a,#0ffh
        movx @dptr,a    ; Guarda caracter de separación
        inc dptr
        mov a,20h
        movx @dptr,a    ; Guarda el número de día (parte alta)
        inc dptr
        mov a,21h
        movx @dptr,a    ; Guarda el número de día (parte baja)
        inc dptr
        mov a,#24
        subb a,2bh      ; Guarda hora de la lectura
        movx @dptr,a
        inc dptr
        mov a,#60
        subb a,2ah
        movx @dptr,a    ; Guarda minuto de la lectura
        inc dptr
        mov a,25h
        movx @dptr,a    ; Guarda estado del sistema
        inc dptr
        mov r3,dpl      ; Guarda dirección para los sig. datos
        mov r4,dph      ; a leer
        cjne r4,#0ffh,nofull3
        setb 2bh        ; Verifica si no está llena la memoria
        ; Enciende señal de memoria llena
        ; Verifica si no está la señal de mem. llena
nofull3: jnb 2bh,nofull ; Apaga bandera de Conversión Automática
        clr 7bh        ; Apaga señal de Conversión Automática
        clr 2ah        ; Da por terminado ciclo de lectura
        ljmp s9
nofull: mov r2,#02
        mov pcon,#01   ; Retardo
        setb pl.4      ; Selecciona entrada T_int
        clr pl.5
        clr pl.6
        mov pcon,#01   ; RETARDO
        acall leeconv  ; lee temperatura interior
        mov pcon,#01
        clr pl.4        ; Selecciona entrada velocidad
        setb pl.5
        clr pl.6
        mov pcon,#01   ; RETARDO
        acall leeconv  ; Lee veleta
        mov pcon,#01

```



```

setb pl.5
clr pl.6
mov pcon,#01
acall leeconv
mov pcon,#01
clr pl.4
clr pl.5
setb pl.6
mov pcon,#01
acall leeconv
mov pcon,#01
setb pl.4
clr pl.5
setb pl.6
mov pcon,#01
acall leeconv
mov pcon,#01
clr pl.4
setb pl.5
setb pl.6
mov pcon,#01
acall leeconv
mov pcon,#01
clr pl.4
setb pl.5
setb pl.6
mov pcon,#01
acall leeconv
mov pcon,#01
mov dpl,#0ffh
mov dph,#0ffh
movx a,@dptr
mov pcon,#01
cjne r4,#0ffh,nofull4
setb 2bh
sjmp full14
nofull4:mov dpl,r3
mov dph,r4
movx @dptr,a
inc dptr
mov r3,dpl
mov r4,dph
full14: jnb 7eh,anemo
mov r6,a
acall trbin
mov pcon,#01
setb 7fh
mov sbuf,#0dh
jb 7fh,$
anemo:  mov dpl,#0fch
mov dph,#0ffh
mov a,#00
movx @dptr,a
mov a,r4
mov r4,#4bh
again:  mov pcon,#01
djnz r4,again
mov r4,a
movx a,@dptr
mov pcon,#01
cjne r4,#0ffh,nofull5
setb 2bh
sjmp full15
nofull5:mov dpl,r3
mov dph,r4
movx @dptr,a
mov pcon,#01
inc dptr
;
; RETARDO
; Lee Hum. Ext
;
; Selecciona entrada temperatura exterior
;
;
; RETARDO
; Lee Temperatura Exterior
;
; Selecciona entrada presion
;
;
; RETARDO
; Lee presion
;
; Selecciona entrada Humedad interior
;
;
; RETARDO
; Lee Humedad interior
;
;
; RETARDO
;
;
;
; Lee Pluviometro
;
;
; Cuenta durante 5 segundos
;
; Lee Anemometro

```

```

full5:  jnb 7eh,s9
        mov r6,a
        acall trbin
        mov pcon,#01
        setb 7fh
        mov sbuf,#0dh
        jb 7fh,$
        mov pcon,#01

s9:     clr 7ah
        mov 27h,#00
        ; Inicia tiempo de espera

contil: nop
        jb f0,interp
        ljmp espera
        ; Si hay comando, lo interpreta
        ; Regresa a esperar

interp: jb 7fh,$
        mov r1,#40h
        inc r1
        ; No es letra C
        ; Pasa a la siguiente letra
        ; No es comando CL
        cjne @r1,#76,no_cl
        acall fincmd
        jnb 7ch,error
        acall leeconv
        ; Salto a rutina Lee Convertidor
        ljmp leecmd

no_cl:  cjne @r1,#65,no_ca
        acall fincmd
        ; No es comando CA
        jnb 7ch,error
        ljmp cnvaut
        ; Salto a la rutina Conversión Automática
        no_ca:  cjne @r1,#68,no_cd
        acall fincmd
        ; No es comando CD
        jnb 7ch,error
        ljmp detca
        ; Salto a la rutina Detiene Conv. Automática
        no_cd:  cjne @r1,#67,error
        acall fincmd
        ; Comando erroneo
        jnb 7ch,error
        setb 7ah
        ; Enciende bandera de ciclo de lectura
        ljmp leecmd
        ; Regresa a leer comando
        no_c:   cjne @r1,#84,no_t
        inc r1
        ; No es letra T
        ; Pasa a la siguiente letra
        ; No es comando TM
        cjne @r1,#77,no_tm
        acall fincmd
        jnb 7ch,error
        ljmp tranmem
        ; Salto a la rutina Transmite Memoria
        no_tm:  cjne @r1,#72,no_th
        acall fincmd
        ; No es comando TH
        jnb 7ch,error
        ljmp tranhr
        ; Salto a la rutina Transmite Hora
        no_th:  cjne @r1,#68,no_td
        acall fincmd
        ; No es comando TD
        jnb 7ch,error
        setb 7eh
        ; Enciende bandera de Transmision Directa
        ljmp leecmd
        ; Regresa a leer comando
        no_td:  cjne @r1,#73,no_ti
        acall fincmd
        ; No es comando TI
        jnb 7ch,error
        clr 7eh
        ; Apaga bandera de Transmision Directa
        ljmp leecmd
        ; Regresa a leer comando
        no_ti:  cjne @r1,#67,no_tc
        acall fincmd
        ; No en comando TC
        jnb 7ch,error
        ljmp trcmem
        ; Salto a la rutina Transm. Cant. de Mem.
        no_tc:  cjne @r1,#69,error
        acall fincmd
        ; Comando erroneo
        jnb 7ch,error
        ljmp trest
        ; Salto a la rutina Transmite Estado

no_m:
error:  setb 7fh

```

```

setb 7fh
mov sbuf, #0dh ; Envía fin de línea
jb 7fh, $
ljmp leecmd ; Regresa a leer comando

no_t:  cjne @r1, #73, no_i ; No es letra I
       inc r1 ; Pasa a la siguiente letra
       cjne @r1, #77, no_im ; No es comando IM
       acall fincmd
       jnb 7ch, error
       ljmp inmem ; Salto a la rutina Inicializa Memoria

no_im: cjne @r1, #72, no_ih ; No es comando IH
       ljmp inihr ; Salto a la rutina Inicializa Hora

no_ih: cjne @r1, #69, no_ie ; No es comando IE
       ljmp iniesp ; Salto a la rutina Inicializa Tiempo Espera

no_ie: cjne @r1, #70, error ; Comando erróneo
       ljmp inifec ; Salto a la rutina Inicializa Fecha de Ref.

no_i:  cjne @r1, #77, no_m ; No es letra M
       inc r1 ; Pasa a la siguiente letra
       cjne @r1, #65, no_ma ; No es comando MA
       acall fincmd
       jnb 7ch, error

no_ma: cjne @r1, #82, no_mr ; No es comando MR
       acall fincmd
       jnb 7ch, error

no_mr: cjne @r1, #68, error ; Comando erróneo
       acall fincmd
       jnb 7ch, error

leeconv: setb 7dh ; Atención de la rutina Lee Convertidor
         setb pl.7 ; Enciende bandera de conversión en progreso
         mov pcon, #01 ; Enciende tarjeta del convertidor
         mov dpl, #0ffh ; Pone al micro en modo IDLE
         mov dph, #0ffh ; Guarda en DPTR dirección de ADC
         setb exl ; Habilita la interrupción externa
         mov a, #00
         movx @dptr, a ; Inicia conversión
         ret

; Atención a la rutina Transmite Memoria

tranmem: setb 7fh
         mov sbuf, r4 ; Envía cantidad de bytes de
         jb 7fh, $ ; datos a transmitir y fin
         setb 7fh ; de línea
         mov sbuf, r3
         jb 7fh, $
         setb 7fh
         mov sbuf, #0dh
         jb 7fh, $
         setb 7fh
         mov sbuf, 34h ; Envía fecha de referencia
         jb 7fh, $
         setb 7fh
         mov sbuf, 35h
         jb 7fh, $
         setb 7fh
         mov sbuf, 36h
         jb 7fh, $
         mov dpl, #00 ; Guarda en DPTR dirección de inicio
         mov dph, #00 ; de datos

sigtm:  mov a, r3 ; Verifica si no ha llegado al fin de los
       cjne a, dpl, conttm ; datos a transmitir
       mov a, r4
       cjne a, dph, conttm
       sjmp fintm

conttm: movx a, @dptr ; Lee byte

```

```

setb 7fh
mov sbuf,a ; Transmite byte
jb 7fh,$ ; DPTR apunta siguiente byte
inc dptr ; Regresa a enviar siguiente dato
fintm: sjmp sigtm
setb 7fh
mov sbuf,#0dh ; Envía fin de línea
jb 7fh,$ ; indicando fin de datos
ljmp leecmd ;Regresa a leer comando

;Atención a la rutina Inicializa Memoria
; Valores iniciales para cargar DPTR

inimem: mov r3,#00
mov r4,#00
clr 2bh ; Apaga señal de Memoria Llena
ljmp leecmd ;Regresa a leer comando

;Subrutina Transmite Binario

trbin: mov r5,#08
mov a,r6
sb: anl a,#80h ; Toma dato a transmitir
; Verifica bit
jnz uno
setb 7fh
mov sbuf,#48 ; Envía "0"
sjmp etb
uno: setb 7fh
mov sbuf,#49 ; Envía "1"
etb: jb 7fh,$
mov a,r6 ; Corre al siguiente bit
rl a
mov r6,a
djnz r5,sb
ret ;Retorno de Subrutina Transmite Binario

;Atención a la rutina Transmite Hora

tranhr: clr c
mov a,#24
subb a,2bh ; Obtiene la hora
mov r6,a ; Transmite la hora
acall trbin
setb 7fh ; Envía ":"
mov sbuf,#58
jb 7fh,$
mov a,#60
subb a,2ah ; Obtiene los minutos
mov r6,a ; Transmite los minutos
acall trbin
setb 7fh ; Envía ":"
mov sbuf,#58
jb 7fh,$
mov a,#60
subb a,29h ; Obtiene los segundos
mov r6,a ; Transmite los segundos
acall trbin
setb 7fh ; Transmite fin de línea
mov sbuf,#0dh
jb 7fh,$
ljmp leecmd ;Regresa a leer comando

;Atención a la rutina Inicializa Hora

inihr: inc r1
inc r1
mov a,@r1 ; Lee decenas de horas
subb a,#30h
mov b,#10
mul ab
mov r5,a
inc r1
mov a,@r1 ; Lee unidades de horas
subb a,#30h

```

```

mov r5,a
mov a,#24
subb a,r5
mov 2bh,a ; Guarda hora
inc r1
inc r1
mov a,@r1 ; Lee decenas de minutos
subb a,#30h
mov b,#10
mul ab
mov r5,a
inc r1
mov a,@r1 ; Lee unidades de minutos
subb a,#30h
add a,r5
mov r5,a
mov a,#60
subb a,r5
mov 2ah,a ; Guarda minutos
inc r1
inc r1
mov a,@r1 ; Lee decenas de segundos
subb a,#30h
mov b,#10
mul ab
mov r5,a
inc r1
mov a,@r1 ; Lee unidades de segundos
subb a,#30h
add a,r5
mov r5,a
mov a,#60
subb a,r5
mov 29h,a ; Guarda segundos
mov 28h,#15
setb 7fh
mov sbuf,#0dh ; Envía fin de línea
jb 7fh,$ ; Regresa a leer comando
ljmp leecmd ; Atención a la subrutina Fin de Comando

fincmd: inc r1 ; Verifica el sig. caracter recibido
clr 7ch ; Si no es fin de comando, regresa
cjne @r1,#0dh,no_fc ; Prende bandera de Fin de Comando
setb 7ch ; Realiza salto de línea
setb 7fh ; Fin de la subrutina
mov sbuf,#0dh
jb 7fh,$

no_fc: ret ; Atención a la subrutina Pausa

pauza: mov 23h,#06 ; Realiza una pausa de
loop2: mov 22h,#0ffh ; aprox. 1/60 seg.
loop1: nop ; (tiempo entre pulsos al motor)
nop
nop
djnz 22h,loop1
djnz 23h,loop2
ret ; Fin de la subrutina

trcmem: mov r6,r4 ; Atención a la rutina Transm. Cant. de Mem.
acall trbin ; Transmite la cantidad de memoria
mov r6,r3 ; ocupada por los datos
acall trbin
setb 7fh
mov sbuf,#0dh ; Transmite fin de línea
jb 7fh,$

```

```

ljmp leecmd ; Regresa a leer comando

iniesp: inc r1 ; Atención a la rutina Inicializa Tiempo Espera
inc r1
mov a,@r1 ; Lee decenas de minutos
subb a,#30h
mov b,#10
mul ab
mov r5,a
inc r1
mov a,@r1 ; Lee unidades de minutos
subb a,#30h
add a,r5
mov 24h,a ; Guarda tiempo de espera
setb 7fh
mov sbuf,#0dh ; Envía fin de línea
jb 7fh,$
ljmp leecmd ; Regresa a leer comando

cnvaut: mov r7,#01 ; Atención a la rutina Conversión Automática
setb 7bh ; Valor inicial de espera
setb 2ah ; Enciende bandera Conversion Automatica
ljmp leecmd ; Enciende señal de Conversion Automatica
; Regresa a leer comando

detca: clr 7bh ; Atención a la rutina Detiene Conv. Automática
clr 2ah ; Borra bandera Conversion Automatica
ljmp leecmd ; Apaga señal de Conversion Automatica
; Regresa a leer comando

trest: mov r6,25h ; Atención a la rutina Transmite Estado
acall trbin ; Transmite las banderas de estado
setb 7fh ; del sistema
mov sbuf,#0dh ; Transmite fin de línea
jb 7fh,$
ljmp leecmd ; Regresa a leer comando

inifec: inc r1 ; Atención a la rutina Inicializa Fecha de Ref.
inc r1
mov a,@r1 ; Lee decenas de días
subb a,#30h
mov b,#10
mul ab
mov r5,a
inc r1
mov a,@r1 ; Lee unidades de días
subb a,#30h
add a,r5
mov 34h,a ; Guarda día
inc r1
inc r1 ; Lee decenas de meses
mov a,@r1
subb a,#30h
mov b,#10
mul ab
mov r5,a
inc r1
mov a,@r1 ; Lee unidades de meses
subb a,#30h
add a,r5
mov 35h,a ; Guarda mes
inc r1
inc r1 ; Lee decenas de años
mov a,@r1
subb a,#30h
mov b,#10

```

```
mul ab
mov r5,a
inc r1
mov a,r1 ; Lee unidades de años
subb a,#30h
add a,r5
mov 36h,a ; Guarda año
mov 20h,#00 ; Inicializa número de días a 0
mov 21h,#00
setb 7fh
mov sbuf,#0dh ; Envía fin de línea
jb 7fh,$
ljmp leecmd ;Regresa a leer comando
```

end

1.2 COMANDOS DEL SISTEMA.

| COMANDO | FUNCION | DESCRIPCION |
|---------|---------|-------------|
|---------|---------|-------------|

CONVERSION DE DATOS.

| | | |
|----|--------------------------------|--|
| CA | Conversión Automática | Pone al sistema en estado de conversión automática, realizando un ciclo de lecturas cada determinado tiempo. |
| CC | Convierte Ciclo de Lectura | Indica al sistema que debe realizar un ciclo de lecturas. |
| CD | Conversión Automática Detenida | Cancela el modo de conversión automática, dejando al sistema en estado de espera. |
| CL | Convierte Lectura | Indica al convertidor A/D que debe realizar una lectura. |

INICIALIZACION DE PARAMETROS.

| | | |
|-------------|--------------------------------|---|
| IE nn | Inicializa Tiempo de Espera | Inicializa el tiempo que habrá entre ciclos de lectura cuando se encuentre en estado de conversión automática en nn minutos (01<nn<99). |
| IF dd/mm/aa | Inicializa Fecha de Referencia | Establece la fecha que servirá de referencia durante la operación del sistema. |
| IH hh:mm:ss | Inicializa Hora | Establece la hora del sistema. |
| IM | Inicializa Memoria | Borra el contenido de la memoria RAM. |

TRANSMISION DE DATOS

| | | |
|----|-------------------------------|---|
| TC | Transmite Cantidad de Memoria | Transmite a pantalla la cantidad de memoria RAM ocupada (en bytes). |
|----|-------------------------------|---|

Ocupada.

| | | |
|----|--------------------------|---|
| TD | Transmisión Directa | Transmite a pantalla la información al tiempo que se va almacenando en memoria RAM. |
| TE | Transmite Estado | Transmite a pantalla en binario en byte que contiene el estado del sistema. |
| TH | Transmite Hora | Transmite a pantalla la hora del sistema. |
| TI | Transmisión Interrumpida | Interrumpe la transmisión directa a pantalla de los datos al momento que se van guardando en memoria. |
| TM | Transmite Memoria | Transmite hacia un archivo en la PC los datos que se encuentran almacenados en memoria RAM, |

1.3 Programa de comunicación serie para la PC.

```
...../
SERIE.C

Programa para comunicación via puerto serie (COM1) entre
la PC y el sistema de control.
...../

# include <stdio.h>
# include <bios.h>
# include <conio.h>
# include <string.h>
# include <dos.h>

# define COM1      0
# define DATA_READY 0x100
# define TRUE      1
# define FALSE     0
# define SETTINGS ( 0xA0 | 0x03 | 0x00 | 0x00)
# define ABORT 0
# define CONT 1

void envia (char [], int);
void tranmem (void);
void tranhr (void);
int bctoi (void);
int cbreak (void);

int main(void)
{
    int in, out, status, DONE = FALSE;
    char cmd[256];
    int p=0;
    ctrlbrk (cbreak);
    bioscom(0, SETTINGS, COM1); /* Configura COM1 a 2400.BPS, 8 bits,
                                1 start, 1 stop, sin paridad */
    while (!DONE)
    {
        status = bioscom(3, 0, COM1);
        if (status & DATA_READY) /* Si hay dato recibido, lo lee */
        {
            out = bioscom(2, 0, COM1) & 0xFF;
            putchar(out);
            if (out == '\x0D')
                putchar ('\x0A');
        }
        if (kbhit()) /* Verifica si se presionó alguna tecla */
        {
            if ((in = getch()) == '\x1B') /* Si fué ESC, termina */
            {
                DONE = TRUE;
                break;
            }
        }
    }
}
```

```

cmd[p++]='\n; /* Guarda caracter */
if (in == '\r') /* Verifica si es fin de línea */
    {
        envia (cmd, p-1); /* Verifica si reconoce comando */
        p=0;
    }
else
    bioscom(1, in, COM1); /* Envía caracter */
}
return 0;
}

/* Procedimiento para verificar si el comando que se envió requiere atención especial */
void envia (char cmd[], int p)
{
    cmd[p]='\0';
    if (!strcmp (cmd, "TH")) /* Verifica si es comando Transmite Memoria */
        tranmem ();
    else if (!strcmp (cmd, "TH")) /* Verifica si es comando Transmite Hora */
        tranhr ();
    else
        bioscom(1, '\x0D', COM1); /* Envía fin de línea */
}

/* Procedimiento que prepara para recibir datos del sistema y almacenarlos en un archivo */
void tranmem ()
{
    int out, status, ok=FALSE, i;
    long int j;
    char c, s[40];
    FILE *datos;
    printf ("\nDa el nombre del archivo de datos : ");
    gets (s);
    if ((datos=fopen (s, "wb"))==NULL) /* Abre el archivo de datos */
        {
            printf ("\n\a Error : No se pudo abrir el archivo.\n\n");
            bioscom(1, '?', COM1);
            bioscom(1, '\x0D', COM1);
            return;
        }
    bioscom(1, '\x0D', COM1); /* Comienza recepción de datos */
    ok=FALSE;
    while (!ok) /* Espera un fin de línea */
        {
            status = bioscom(3, 0, COM1);
            if (status & DATA_READY)
                {
                    out = bioscom(2, 0, COM1) & 0xFF;
                    if (out == '\x0D')
                        ok=TRUE;
                }
        }
    for (i=j=0; i<2;) /* Recibe la cantidad de bytes de información que serán recibidos */
        {
            status = bioscom(3, 0, COM1);
            if (status & DATA_READY)
                {
                    out = bioscom(2, 0, COM1) & 0xFF;
                }
        }
}

```

```
j*=256;
j+=out;
i++;
```

```
ok=FALSE;
j+=3;
while (!ok) /* Espera un fin de línea */
```

```
{
    status = bioscom(3, 0, COM1);
    if (status & DATA_READY)
    {
        out = bioscom(2, 0, COM1) & 0xFF;
        if (out == '\x0D')
            ok=TRUE;
    }
}
```

```
for (i=0;i<j;) /* Recibe datos del sistema */
```

```
{
    status = bioscom(3, 0, COM1);
    if (status & DATA_READY)
    {
        out = bioscom(2, 0, COM1) & 0xFF;
        puts (out,datos);
        i++;
    }
}
```

```
if (kbhit())
    if (getch() == '\x1B') /* Si se presiona ESC, termina */
        break;
```

```
fclose (datos); /* Cierra archivo de datos */
return;
```

```
char *x;
```

```
/* Procedimiento que recibe la hora del sistema en binario, la convierte a decimal y la presenta en pantalla */
```

```
void tranhr ()
```

```
{
    int i=0, hrs, min, seg, out, status, ok=FALSE;
```

```
    char s(40);
```

```
    bioscom(1, '\x0D', COM1);
```

```
    while (!ok)
```

```
{
    status = bioscom(3, 0, COM1);
    if (status & DATA_READY)
    {
        out = bioscom(2, 0, COM1) & 0xFF;
        if (out == '>')
            ok=TRUE;
        else
            s[i++]=out;
    }
}
```

```
s[i]='\0';
```

```
x=s;
```

```
hrs=bctoi ();
```

```
min=bctoi ();
```

```
seg=bctoi ();
```

```
printf ("\t%02d:%02d:%02d\n", hrs, min, seg);
```

```

    putchar (out);
    return;
}

/* Procedimiento que convierte una número en binario a decimal */
int bctoi ()
{
    int n=0, e=128;
    for (; *x != '0' && *x != '1'; x++)
        ;
    while (*x == '0' || *x == '1')
    {
        n+=e*( *x-- '0');
        e/=2;
        x++;
    }
    return n;
}

/* Rutina de atención a la interrupción por el teclado (Ctrl-Break) */
int cbreak (void)
{
    int c;
    printf ("\nQuieres abortar el Programa ? (s/n) ");
    c=getche ();
    return ((c=='s' || c=='S') ? ABORT : CONT );
}

```

1.4 Programa interprete y para el formato de los datos en la PC.

```
/* programa en lenguaje "C", que interpreta los datos en la
memoria de la estacion meteorologica, presentandolos de forma
facil al usuario. */
#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <string.h>

void main ()
{
    int i, c, d, m, a;
    long int pos;
    char s[40];
    FILE *datos, *texto;
    printf ("\n\n\n\n\tDa el nombre del archivo de datos de
    entrada : ");
    gets (s);
    if ((datos=fopen (s,"rb"))==NULL) /*Abre archivo de datos del sistema */
    {
        printf ("\n\n\tError : No se pudo abrir el
        archivo.\n\n");
        return;
    }
    printf ("\n\n\tDa el nombre del archivo de datos de salida :");
    gets (s);
    if ((texto=fopen (s,"w"))==NULL) /* Abre archivo de texto */
    {
        printf ("\n\n\tError:No se pudo abrir el
        archivo.\n\n");
        return;
    }
    d=getc (datos); /* Indica la fecha de referencia */
    m=getc (datos); /* para las lecturas */
    a=getc (datos);
    fprintf (texto, "\n Fecha de Referencia :%02d/%02d/%02d.\n\n",d,m,a);
    if ((c=getc (datos))!=255) /* Verifica que
    exista caracter de inicio de datos */
    {
        fprintf (texto, "\n Nota : No se encontró el Caracter de
        Inicio de Datos.\n\n");
        ungetc (c,datos);
    }
    /* Escribe encabezados */
    fprintf (texto, " Dia \tHora \tEdo. \tVeleta \tHexa \tText
    \t Pres \t Hint \t Tint \tPluv \tAnemo \n\n");
    fprintf (texto, "\t \t \t \t \t \t [°C] \t[mBar] \t \t[°C] \t[mm]
    \t[Km/s] \n\n");
    while ((c=getc (datos))!=EOF)
    {
        int i, nd, hr, min, e, vel1, vel2, hint1, hint2, hext1,
        hext2, tint1, tint2, text1, text2, pres1, pluv1, pres2, anemo1;
        float vr, hint, hext, tint, text, pres, presion, vel,
        pluv, anemo;
        pos=ftell (datos);
```

```

nd=c;
c=getc (datos);
nd=nd*256+c;
fprintf (texto,"%4d\t",nd); /* Día de la lectura */
hr=getc (datos);
min=getc (datos);
fprintf (texto,"%02d:%02d\t",hr,min); /* Hora de la lectura */
e=getc (datos);
fprintf (texto,"%02X\t",e); /* Estado del sistema */
vell=getc (datos); /* Veleta */
vel2=getc (datos);
vel=0.001221*(vell*256+vel2);
while (1)
{
if (vel>2.484||vel<=0.075)
{
fprintf (texto,"N");
break;
}
if (vel>0.075&&vel<=0.239)
{
fprintf (texto,"NNE");
break;
}
if (vel>0.239&&vel<=0.395)
{
fprintf (texto,"NE");
break;
}
if (vel>0.395&&vel<=0.559)
{
fprintf (texto,"ENE");
break;
}
if (vel>0.5590&&vel<=0.717)
{
fprintf (texto,"E");
break;
}
if (vel>0.717&&vel<=0.880)
{
fprintf (texto,"ESE");
break;
}
if (vel>0.880&&vel<1.037)
{
fprintf (texto,"SE");
break;
}
if (vel>1.037&&vel<=1.201)
{
fprintf (texto,"SSE");
break;
}
if (vel>1.201&&vel<=1.358)
{
fprintf (texto,"S");
break;
}
if (vel>1.358&&vel<=1.523)
{

```

```

        fprintf (texto,"SSW ");
        break;
    }
    if (vel>1.523&&vel<=1.680)
    {
        fprintf (texto,"SW");
        break;
    }
    if (vel>1.680&&vel<=1.843)
    {
        fprintf (texto,"WSW");
        break;
    }
    if (vel>1.843&&vel<=1.999)
    {
        fprintf (texto,"W");
        break;
    }
    if (vel>1.999&&vel<=2.165)
    {
        fprintf (texto,"WNW");
        break;
    }
    if (vel>2.165&&vel<=2.321)
    {
        fprintf (texto,"NW");
        break;
    }
    if (vel<2.321&&vel<=2.484)
    {
        fprintf (texto,"NNW");
        break;
    }
    fprintf (texto,"***");
    break;
}
fprintf (texto,"\t");
hext1=getc (datos);
hext2=getc (datos);
hext=0.001221*(hext1*256+hext2);
fprintf (texto,"%5.2f\t",hext);
text1=getc (datos); /* Temperatura exterior */
text2=getc (datos);
text=0.001221*(text1*256+text2);
text=(text-2.73)*100;
fprintf (texto,"%5.2f\t",text);
pres1=getc (datos); /* Presion */
pres2=getc (datos);
pres=0.001221*(pres1*256+pres2);
presion=(pres+0.00061331233)/0.262446*(777/11.2695);
fprintf (texto,"%5.2f\t",presion);
hint1=getc (datos);
hint2=getc (datos);
hint=0.001221*(hint1*256+hint2);
fprintf (texto,"%5.2f\t",hint);
tint1=getc (datos); /* Temperatura interior */
tint2=getc (datos);
tint=0.001221*(tint1*256+tint2);
tint=(tint-2.73)*100;
fprintf (texto,"%5.2f\t",tint);
pluvl=getc (datos); /* Pluviometro */

```



```

pluv=2.56*pluv1;
fprintf (texto,"%5.2f\t",pluv);
anemol=getc (datos); /* Anemometro */
anemo=anemol*0.3216;
fprintf (texto,"%5.2f\t",anemo);
c=getc (datos);
if (c!=255) /* Verifica si no existe caracter de separación */
{
fprintf (texto,"*****"); /* Marca el error */
fseek (datos,pos,SEEK_SET); /* Busca caracter de separación */
while ((c=getc (datos))!=255 && c!=EOF);
}
fprintf (texto,"\n");
if (kbhit ())
if (getch ()=='\x1B') /* Si se presiona ESC, termina */
break;
}
fclose (datos); /* Cierra archivo de datos */
fclose (texto); /* Cierra archivo de texto */
}

```

Apéndice 2

Circuitos impresos:

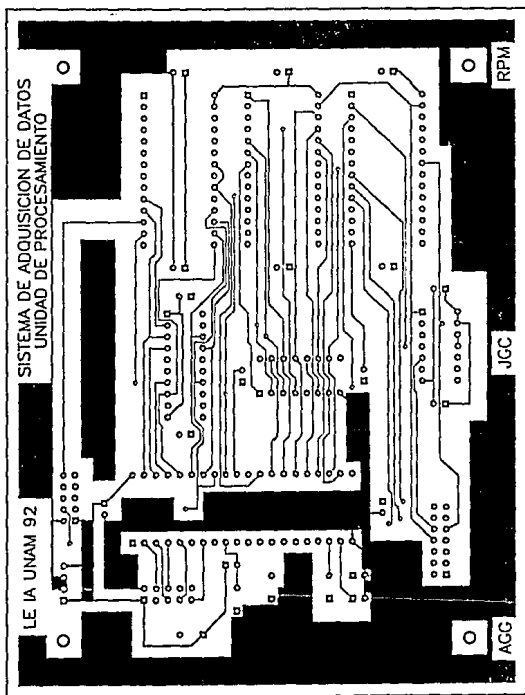


Ilustración 1
 Unidad básica de procesamiento.
 Circuito impreso, mascarilla lado de componentes.

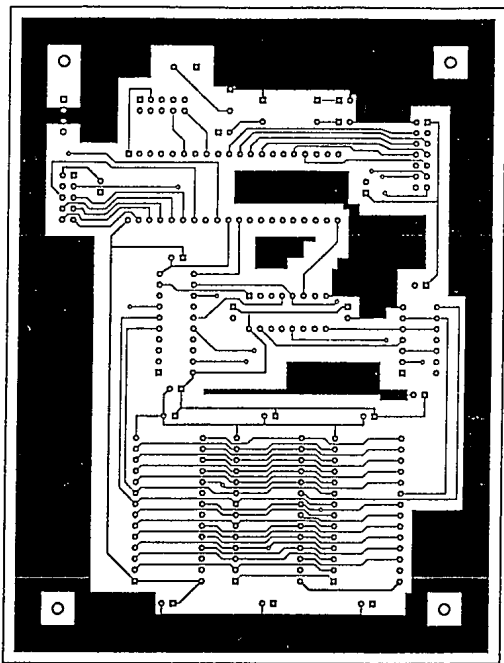


Ilustración 2.
Unidad básica de procesamiento.
Circuito impreso, mascarilla lado de soldadura.

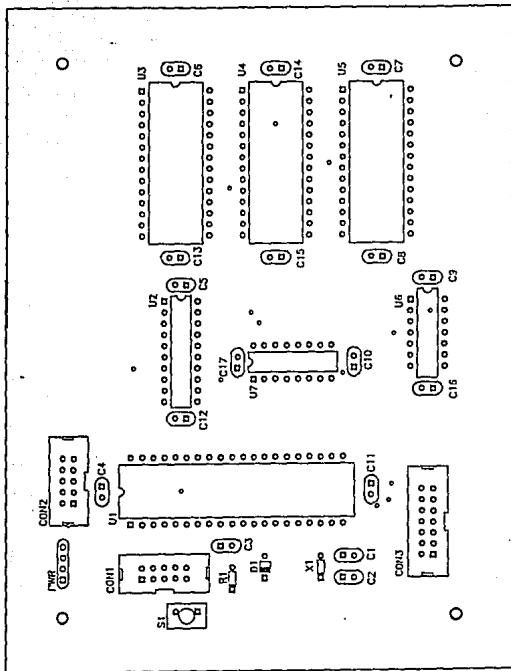


Ilustración 3.
 Unidad básica de procesamiento.
 Circuito impreso, mascarilla de componentes.

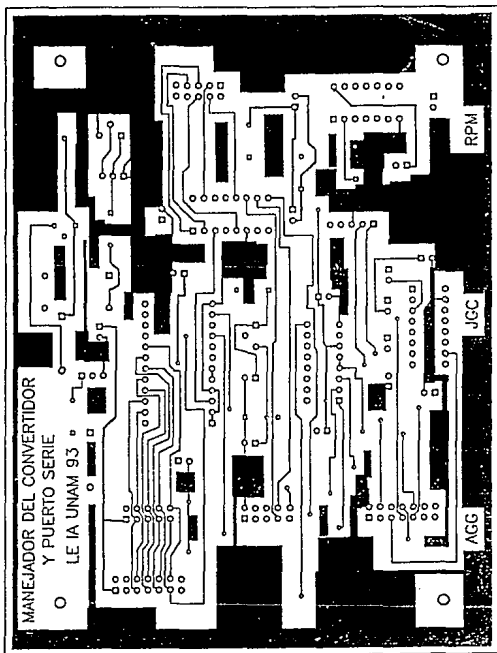


Ilustración 4.
Módulo de digitalización y puerto serie.
Circuito impreso, mascarilla lado de componentes

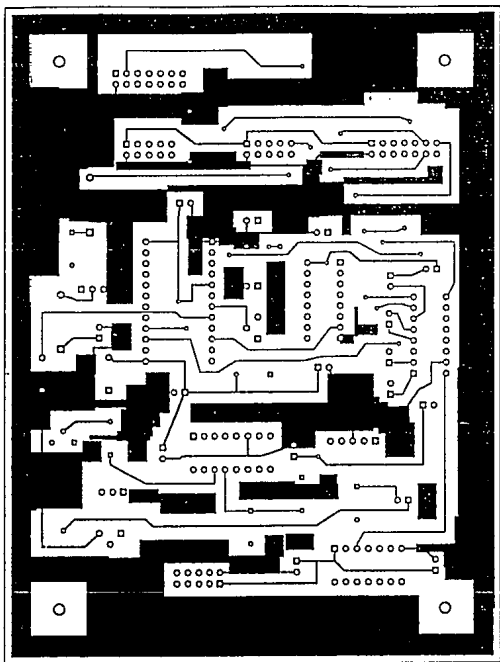


Ilustración 5.
Módulo de digitalización y puerto serie.
Circuito impreso, mascarilla lado de soldadura.

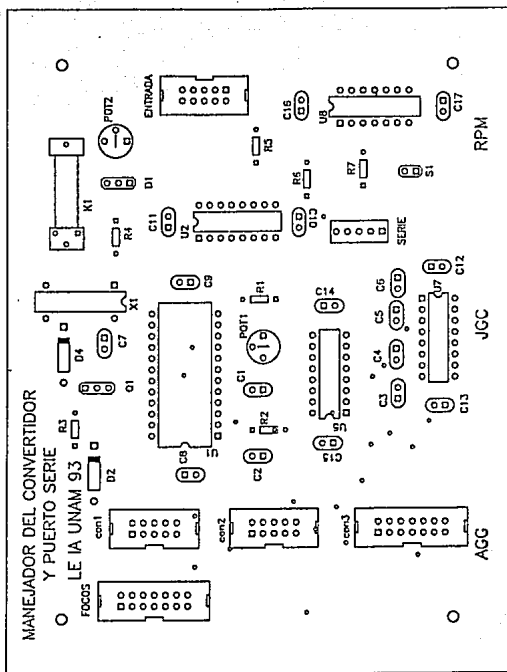


Ilustración 6.
Módulo de digitalización y puerto serie.
Circuito impreso, mascarilla de componentes.

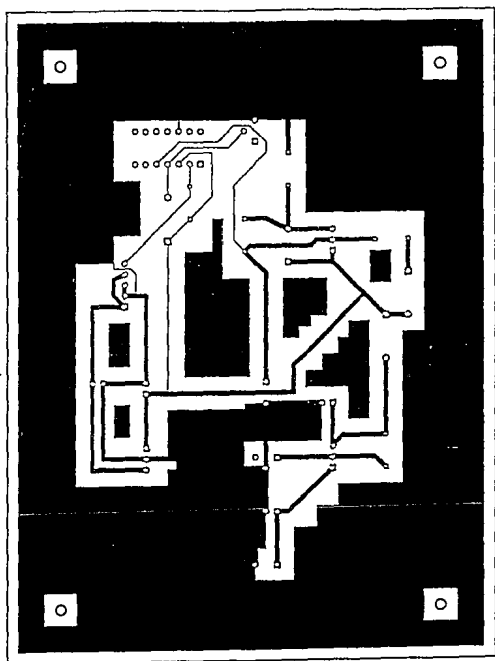


Ilustración 7.
Módulo de suministro de energía.
Circuito impreso, mascarilla lado de soldadura.

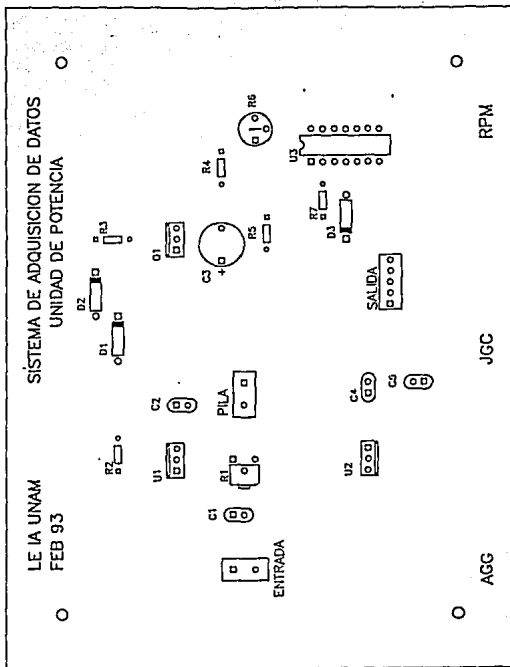


Ilustración 8.
Módulo de suministro de energía.
Circuito impreso, mascarilla de componentes.

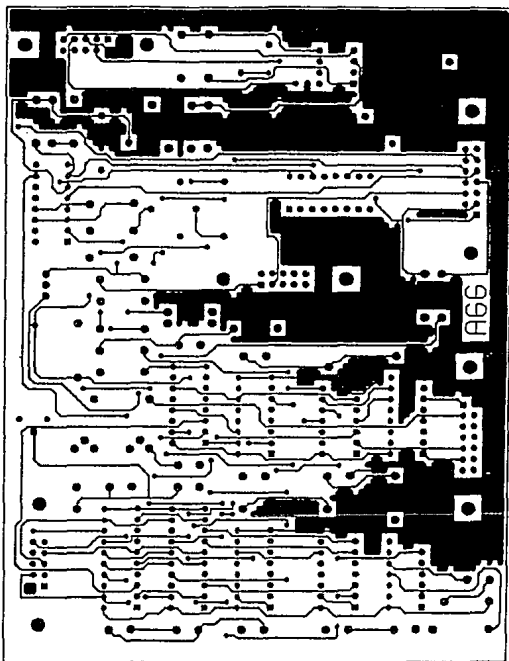


Ilustración 9.
Módulo de electrónica de sensores.
Circuito impreso, mascarilla lado de componentes.

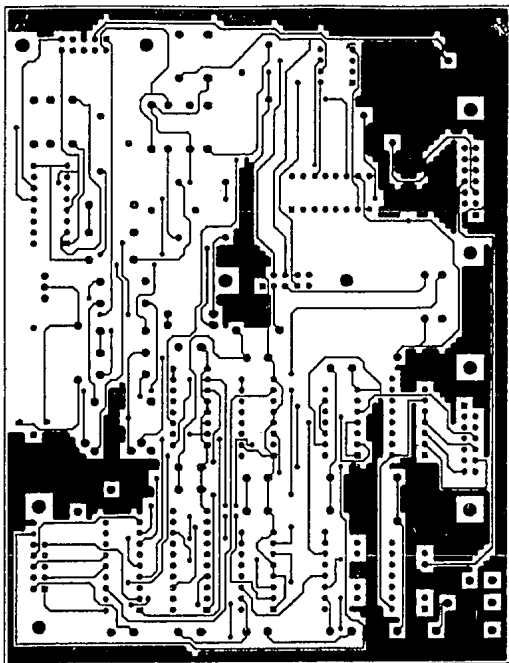


Ilustración 10.
Módulo de electrónica de sensores.
Circuito impreso, mascarilla lado de soldadura.

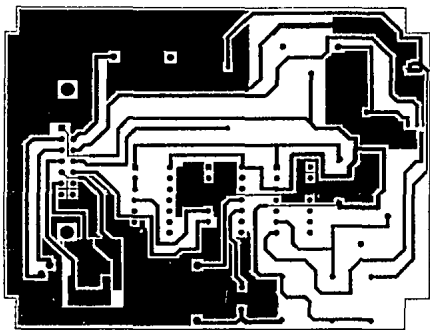


Ilustración 12.
Módulo de sensores.
Circuito impreso, mascarilla lado de soldadura.

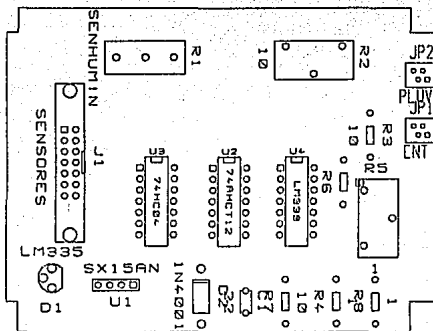


Ilustración 13.
Módulo de sensores.
Circuito impreso, mascarilla de componentes.

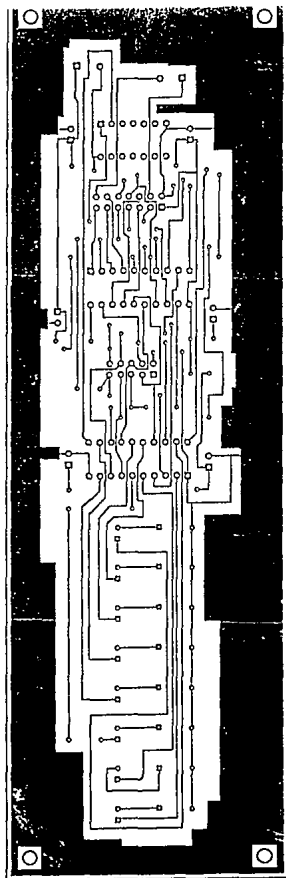


Ilustración 14.
Despliegue luminoso.
Circuito impreso, mascarilla lado de soldadura.

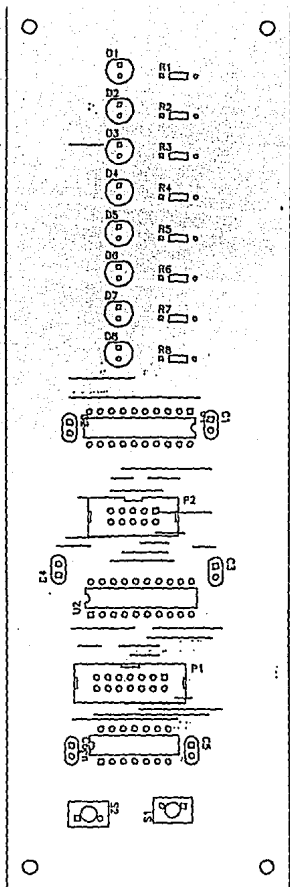
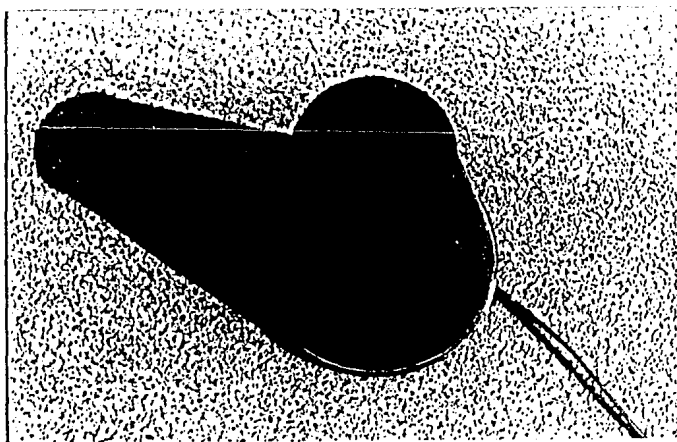
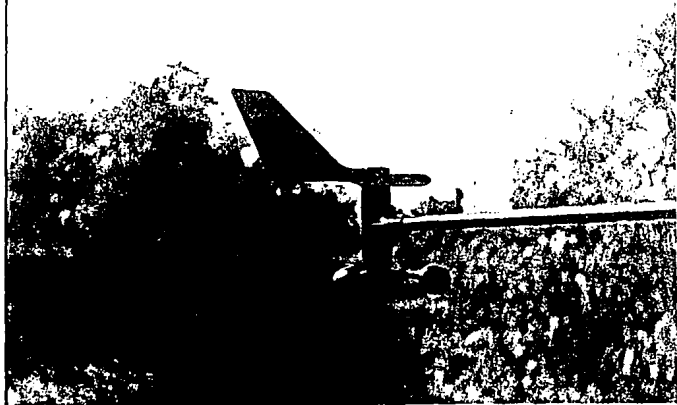
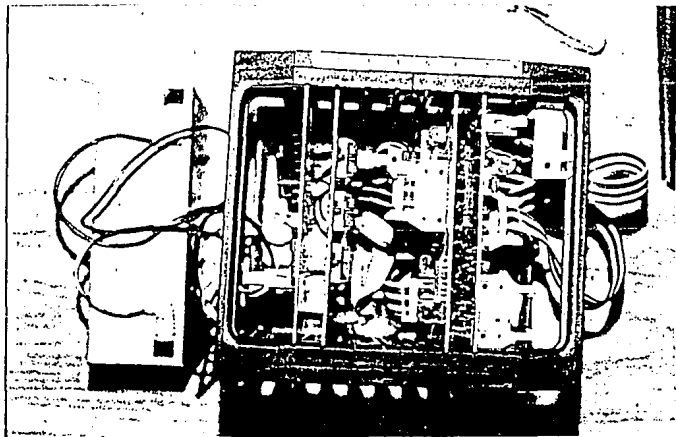
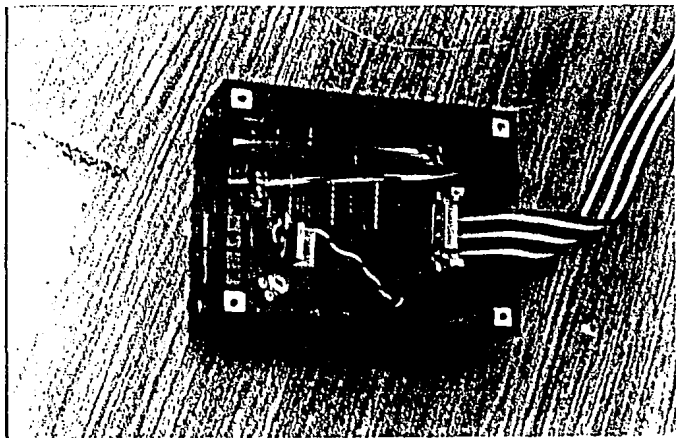


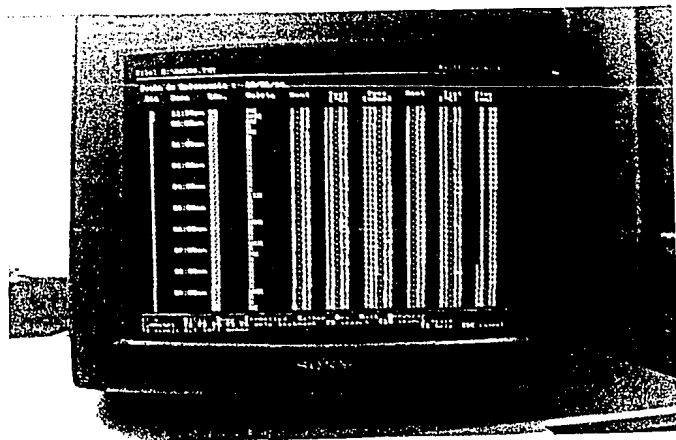
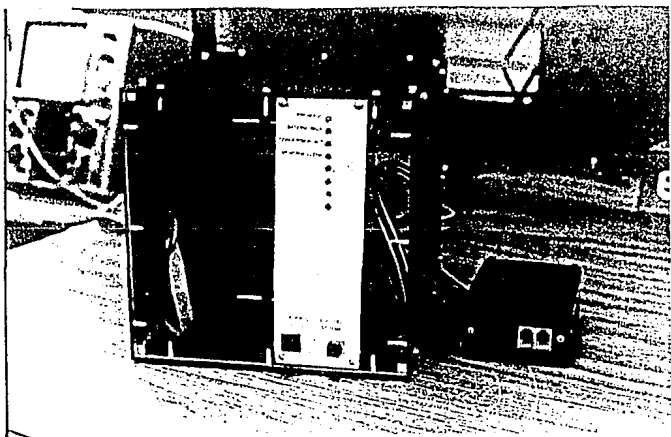
Ilustración 15.
Despliegue luminoso.
Circuito impreso, mascarilla de componentes.

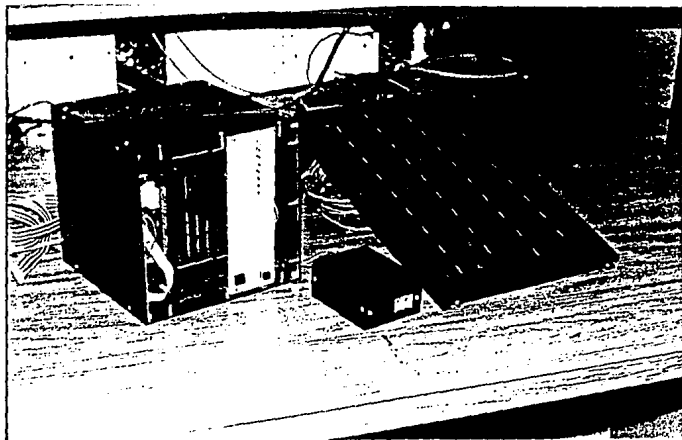
Apéndice 3

Fotografías:





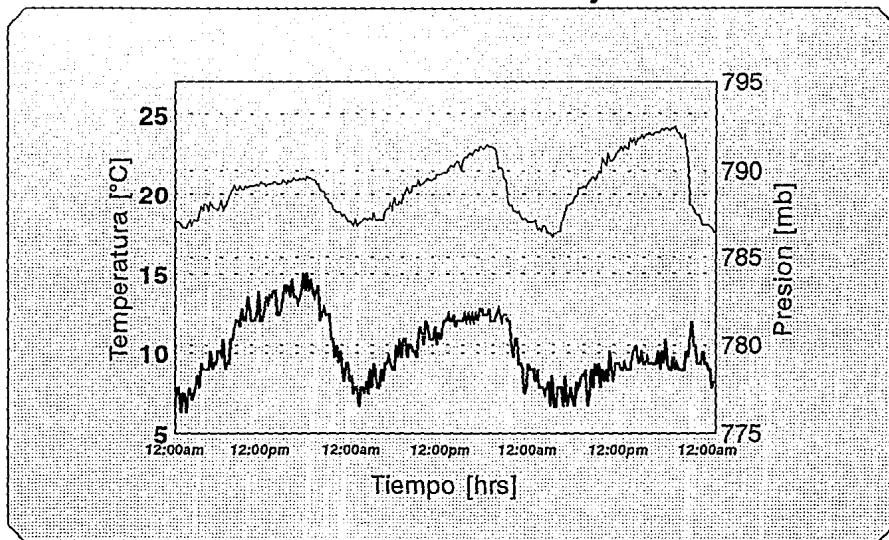




Apéndice 4

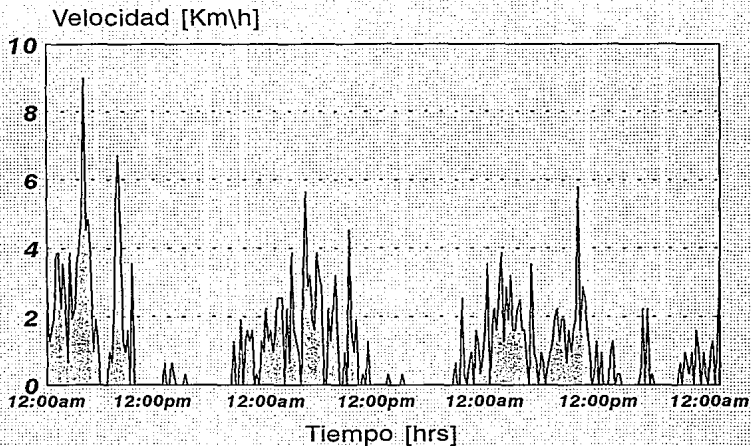
Gráficas:

Gráfica de la Temperatura y Presión en Ciudad Universitaria del 20 al 23 de mayo de 1994

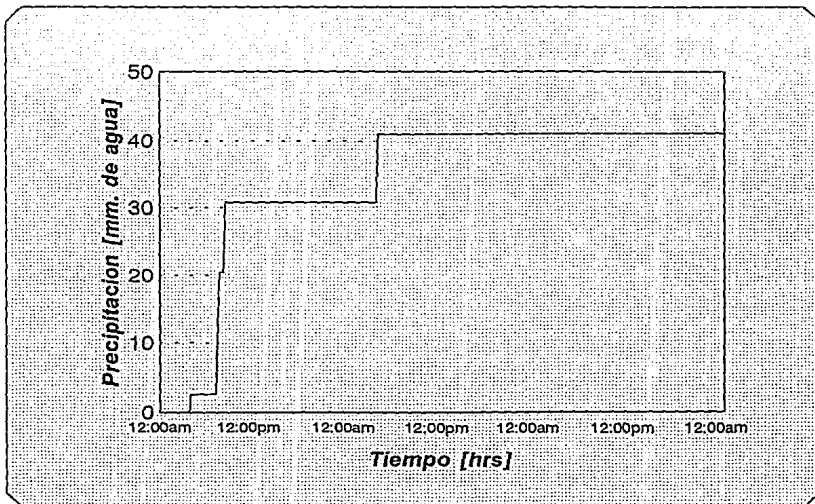


— Temperatura — Presion

Gráfica de la Velocidad del Viento en Ciudad Universitaria del 20 al 23 de mayo de 1994



Gráfica de la precipitación en Ciudad Universitaria del 20 al 23 de mayo de 1994



FALTA PAGINA

No.

180

BIBLIOGRAFÍA.

- [1] *Anuario del Observatorio Astronómico Nacional*, Instituto de Astronomía, UNAM 1992.
- [2] Analog Devices, *Integrated Circuits*, 1986.
- [3] Bauer, Paul, *Batteries for space power system* NASA, 1968.
- [4] Boylestad Robert, Nashelski Louis, *Electrónica, teoría de circuitos*, Prentice Hall, cuarta edición, 1989.
- [5] Burr Brown, *Product Data Book*, 1984.
- [6] CMOS Logic, Databook National Semiconductor Corporation, California 1988.
- [7] Condumex, *Sistemas fotovoltaicos*, Publicación de la empresa, mayo 1986.
- [8] Coughlin Robert, Driscoll Frederick, *Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales*, Prentice Hall 1992.

- [9] Fontseré, Eduardo, *Elementos de Meteorología* (Ed. Gustavo Gili, Barcelona 1943).
- [10] Gribbin, John, *Climatic Change* (Cambridge University Press, Cambridge 1978).
- [11] Hints Kenneth, Tabak Daniel. *Microcontrollers, Architecture, Implementation & Programming*, International Edition, 1992.
- [12] Holman P., Jack, *Métodos Experimentales para Ingenieros* (Mc Graw Hill, México 1984).
- [13] Hordeski H., Michael, *Desing of Microprocessor Sensor & Control Sitems* Prentice -Hall, Virginia EU., 1985.
- [14] Intel, *Memory Componets Handbook*, Intel Corp 1990.
- [15] Intel, *8 Bits Embedded Controllers Handbook*, California USA 1988.
- [16] La Atmósfera y la Predicción del Tiempo (Biblioteca Salvat, Barcelona 1973).
- [17] Linear Databook LS/S/TTL, DataBook National Semiconductor Corporation, California 1988, 1987.
- [18] Linear Databook 1, Databook National Semiconductor Corporation, California 1988.

- [19] Linear Databook 2 ,Databook National Semiconductor Corporation, California 1988.
- [20] Photocomm, Inc,*Gula de diseño de sistemas de energia solar*, Solar Electric Power Systems.
- [21] Pressure Transducer Handbook, National Semiconductor Corporation, California 1977.
- [22] Radio-Electronic's,"Electronic temperature measurement", Marzo 1992, volume 7, No. 3.
- [23] Ruiz Schneider, Ellego, *Hacia el telescopio mexicano de nueva tecnologia*, Instituto de Astronomia, UNAM 1992.
- [24] SEEQ Technology Inc, *Databook*, 1985
- [25] Seyer, Martin D, *RS-232 Made Easy*, Prentice Hall, Nuw Jersey, 1988.
- [26] Solarex, *Photovoltaic Modules*, Solarex Corporation, 1990 USA.
- [27] Solid State Sensor SX15AN (Sensym HandBook, California 1991).
- [28] Trueblood Mark & Genet Russell, *Microcomputer control of telescopes* William-Bell, Inc, Virginia USA. 191985.
- [29] Vázquez Matías, Ricardo, *Medición de Humedad Relativa* (UNAM FI, México 1992).

[30] Vega, Alejandro, *Manual y Aplicaciones del Microcontrolador 8051*, CINVESTAV, IPN 1992.