



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

SISTEMA DE CONTROL Y ADQUISICION DE
DATOS PARA UN RADIOMETRO BASADO
EN UN MICROCONTROLADOR

T E S I S
Que para obtener el Título de
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

p r e s e n t a n :

JAVIER GOMEZ CASTELLANOS
RAFAEL PRIETO MELENDEZ



DIRECTOR DE TESIS
FIS. LEONEL GUTIERREZ ALBORES

MEXICO, D. F.

SEPTIEMBRE 1993

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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.

INDICE

	Pág
<i>Introducción.</i>	1
<i>Capítulo 1.</i> Radiómetro.	7
<i>Capítulo 2.</i> Sistema Básico Basado en un Microcontrolador.	21
<i>Capítulo 3.</i> Módulo de Digitalización de Datos.	41
<i>Capítulo 4.</i> Posicionamiento del Espejo del Radiómetro.	51
<i>Capítulo 5.</i> Interfaz Microcontrolador-PC.	66
<i>Capítulo 6.</i> Suministro de Energía.	79
<i>Capítulo 7.</i> Integración del Sistema.	95
<i>Capítulo 8.</i> Pruebas y Resultados.	104
<i>Capítulo 9.</i> Conclusiones.	115
<i>Apéndice A.</i>	118
<i>Apéndice B.</i>	131
<i>Apéndice C.</i>	151
<i>Bibliografía.</i>	155

INTRODUCCION

Conforme ha pasado el tiempo, el hombre ha llegado a conocer cada vez más el entorno que le rodea; por un lado, se ha incrementado su entendimiento de las leyes y principios que lo gobiernan y, por otro, ha aumentado notablemente su capacidad para medir y registrar los fenómenos que suceden dentro y fuera de su entorno.

Dichos fenómenos pueden explicarse cuantificando en un determinado instante todas las variables que lo gobiernan; sin embargo, la humanidad no se ha conformado simplemente con entender por qué ocurren las cosas, sino que ha buscado la forma de ir más allá, hasta poder llegar a pronosticar su comportamiento.

Uno de estos fenómenos es la radiación que por naturaleza emiten los cuerpos. Cuando un cuerpo emite radiación en alguna de sus manifestaciones, llámese calor, luz etc., esta energía se transmite y se propaga simplemente como una onda electromagnética. Para poder detectar y medir esta energía se debe seleccionar el tipo de detector a utilizar dependiendo del tipo de onda que se trate.

Al instrumento que permite medir la radiación se le conoce como radiómetro. Este instrumento es un aparato muy importante, ya que permite detectar la radiación que se genera a su alrededor en una determinada sección del espectro electromagnético.

Desde tiempos antiguos, en la astronomía clásica, la única radiación procedente del cielo que se estudiaba era la luz visible, al creer que esta era la única que podía ser detectada, y para ello el hombre creó instrumentos cada vez más grandes, con los que poco a poco pudo conocer las características de objetos más lejanos. Pasaron muchos siglos sin que esta idea sufriera variación alguna. Sin embargo, a mediados de este siglo, esta concepción sufrió un cambio notable con el descubrimiento de que los astros también emiten energía en forma de ondas de radio (se había descubierto la radiación fósil que emite el universo); pero las estrellas no sólo emiten luz y ondas de radio, también emiten luz ultravioleta y luz infrarroja. Y no sólo las estrellas lo hacen; de hecho, cualquier objeto es capaz de emitir radiación por sí solo o al ser estimulado.

Esta característica es muy importante para la astronomía, ya que, por ejemplo, permite determinar cuáles son las características de un determinado cuerpo celeste en prácticamente todo el espectro electromagnético. Por otra parte,

para determinar la calidad atmosférica de un lugar y decidir si es candidato o no a albergar instrumentos astronómicos, se puede determinar la cantidad de agua que existe en la atmósfera utilizando un radiómetro que precisamente detecte una componente de la radiación de la molécula del agua en cierta frecuencia característica de ésta. El radiómetro que se utilizó se encuentra dentro de los de este tipo y detecta lo que se conoce como "profundidad óptica atmosférica" midiendo a 215 GHz una línea de emisión centrada en 183.31 GHz, resultado de una transición dipolar entre estados rotacionales de la molécula de agua. En el capítulo 1 se habla de la necesidad, características y operación de los radiómetros, poniendo especial énfasis en el que se utilizó.

Este instrumento, para su operación, necesita de un mecanismo que mueva un espejo de tal forma que el radiómetro mida la radiación del cielo a diferentes ángulos de elevación a partir del horizonte y un sistema que controle la adquisición de los datos de tal forma que se pueda tener un registro de las mediciones a largo plazo. Para que este instrumento opere adecuadamente, es recomendable que la operación del mismo esté controlada por un sistema automático el cual se encargue de adquirir los datos y del posicionamiento del espejo para las lecturas. Existen varios métodos con los cuales se podría lograr la automatización de un sistema, como podría ser a través de utilizar algún dispositivo mecánico, eléctrico o neumático, teniendo un elemento central que se encargue de coordinar el funcionamiento de estos dispositivos. En nuestro caso, dadas las dimensiones de las piezas móviles de los elementos a controlar (un espejo que va a estar girando), no se requiere de un sistema de posicionamiento demasiado grande, por lo que el uso de un dispositivo eléctrico de baja capacidad se ve como la opción más viable. Este puede controlarse por medio de un sistema

electrónico digital de control basado en un microprocesador o en un microcontrolador digital, con lo que se obtiene un sistema altamente flexible y adaptable a las condiciones en que vaya a operar el sistema. En el capítulo 2 se habla de las características de un sistema básico basado en un microcontrolador en base a las características del sistema a desarrollar.

Entonces, el objetivo principal de utilizar un control automático es que el radiómetro pueda realizar sus lecturas periódicamente, pudiendo almacenar la información adquirida por un tiempo indefinido. Para cumplir con este objetivo se destacan dos puntos: la lectura y almacenamiento de la información obtenida por el radiómetro y el posicionamiento del espejo. El uso de un sistema electrónico digital nos va a permitir almacenar la información de forma segura digitalizando los datos. En el capítulo 3 se analiza lo referente a la adquisición y digitalización de la información. Por otra parte, al utilizar un motor de pasos podremos posicionar al espejo de manera precisa y con repetibilidad. En el capítulo 4 se detallan los elementos necesarios para realizar el posicionamiento del espejo a través de un motor de pasos.

Toda la información que recabe el sistema se irá almacenando dentro del mismo, debiendo tener la capacidad suficiente para almacenar los datos de por lo menos una semana. Para la interpretación de los datos es necesario transferirlos a una computadora más grande (una computadora personal, por ejemplo) por lo que el sistema debe ser capaz de comunicarse con este tipo de equipos. En el capítulo 5 se describe una interfaz para comunicación con una computadora personal a través del puerto serie RS-232-C.

El sistema de control y adquisición de datos será utilizado con un radiómetro que será instalado en el Observatorio Astronómico Nacional de San Pedro Mártir, en el estado de Baja California Norte. El observatorio está ubicado a $31^{\circ} 01'45''$ de latitud norte y $115^{\circ} 29' 13''$ de longitud oeste en lo alto de la sierra de San Pedro Mártir, a una altura de 2830 m sobre el nivel del mar, en donde las condiciones climáticas llegan a ser extremas; además, en ocasiones no es tan fácil el acceso al lugar en donde se va a colocar el instrumento. En estas condiciones, el suministro de energía es un punto crítico, ya que para asegurar el adecuado funcionamiento del sistema debemos garantizar un suministro eléctrico constante en donde difícilmente se puede contar con él. En el capítulo 6 se habla de la forma en que se desarrolló el módulo de alimentación del sistema, con la discusión y búsqueda de fuentes alternativas de energía.

Para el desarrollo del sistema, hay que tener en cuenta que el diseño que se haga debe ser flexible para que se pueda adaptar fácilmente a las condiciones del lugar donde va a ser instalado y pueda ser utilizado bajo diferentes condiciones de trabajo. Si el sistema se desarrolla bajo una arquitectura modular, en la que estén perfectamente identificadas y separadas las funciones que se van a realizar, partiendo al sistema en módulos funcionales, se tendrá un sistema que no sólo pueda ser aplicado al control de un radiómetro sino que, con sólo cambiar un módulo, el sistema pueda ser utilizado en muchas otras aplicaciones. Con este fin, el sistema será desarrollado por módulos, cada uno de los cuales realizará una función específica dentro del sistema. En el capítulo 7 se habla de la integración de los módulos que forman al sistema y su operación en conjunto.

Finalmente, en el capítulo 8 se presentan los resultados de pruebas realizadas a los diferentes módulos que integran al sistema y del sistema operando en conjunto.

Capítulo 1

RADIOMETRO

Actualmente, la Astronomía está viviendo una de las revoluciones tecnológicas más importantes que haya tenido en su historia. El uso de nuevas tecnologías, aunado al desarrollo de nuevos materiales, han permitido construir telescopios de mucho mayor tamaño con los cuales es posible estudiar objetos que se encuentran muy alejados de nosotros. A su vez, los instrumentos que detectan la luz captada por los telescopios han mejorado de tal forma su sensibilidad, que ahora son capaces de detectar la luz proveniente de las estrellas fotón por fotón. Sin embargo, algo que todavía sigue siendo imponderable a todo este desarrollo tecnológico, son las condiciones atmosféricas del lugar.

La definición de las imágenes de un telescopio depende de la calidad atmosférica del lugar donde se encuentre. La atmósfera está compuesta por muchas capas de aire que presentan ligeras diferencias en su temperatura y densidad. Cuando la luz viaja a través de una de estas capas, su recorrido sufre

una deflexión que depende de la densidad de aire en la capa, la cual varía con el tiempo. El hecho de que la luz pase por una multitud de estas capas, da como resultado una degradación de la imagen, fenómeno que se conoce como "seeing". En perfectas condiciones de "seeing", la imagen de una estrella aparecería como un punto bien definido, mientras que, en malas condiciones de "seeing", una estrella se observa de manera difusa y es cuando coloquialmente se menciona que una estrella está "titilando". Por lo anterior, para encontrar un lugar adecuado donde colocar un telescopio, es necesario medir y registrar la calidad atmosférica por un largo período de tiempo a fin de encontrar el lugar que, en promedio, presente el mayor número de noches limpias.

Radiometría.

La atmósfera está formada principalmente por oxígeno (O_2 , 20.946 %), nitrógeno (N, 78.084%) y argón (A, 0.934%). Estos tres elementos totalizan el 99.964% del volumen total; el resto se encuentra compuesto principalmente por dióxido de carbono, hidrógeno y otros gases inertes. El principal componente variable en la composición de la atmósfera es el vapor de agua. Algunos factores climatológicos como son el viento, la temperatura, la densidad del aire y algunos geográficos como son la altitud y la localización del lugar, provocan que la distribución y densidad del vapor de agua que se encuentra en la atmósfera no sea uniforme. Precisamente, las principales líneas de absorción atmosférica en la parte milimétrica y centimétrica del espectro electromagnético debidas a gases atmosféricos se deben al vapor de agua y al oxígeno. Si bien al colocar los observatorios en lugares de mayor altitud se logra contrarrestar un poco este efecto, sería conveniente que dicho lugar también posea un bajo contenido de

vapor de agua en la atmósfera.

Los sensores de humedad comunes sólo detectan la humedad que se encuentra a su alrededor y son incapaces de discernir de manera direccional cómo se distribuye dicha humedad. Para poder lograr lo anterior, es necesario medir algo que no sólo es inherente al agua sino a toda la materia y es la radiación que por naturaleza emite cualquier sustancia debido a su propia energía (electrónica, rotacional y vibracional).

La energía de una molécula aislada se encuentra dada por:

$$E_T = E_e + E_v + E_r + E_t$$

Donde la energía total E_T esta dada por la energía electrónica E_e , la energía de vibración E_v , la energía rotacional E_r y la energía de traslación E_t . Estas energías, con la excepción de la energía de traslación, están cuantizadas y especificadas por numeros cuánticos. En estos casos, una radiación con una cierta energía puede ser absorbida o emitida cuando existe una transición de un estado de energía a otro. En este sentido pueden existir transiciones que impliquen cambios simultáneos de energías electrónica, de vibración y rotacional.

Las emisiones de mayor importancia de la molécula de agua son debidas a transiciones entre estados rotacionales. Las líneas espectrales debidas a estas transiciones se encuentran principalmente en las regiones infrarroja y de microondas extremas del espectro electromagnético. Particularmente, el agua tiene líneas de emisión en 22.235 GHz, 183.31 GHz y 325.152 GHz, como se

muestra en la figura I.1.

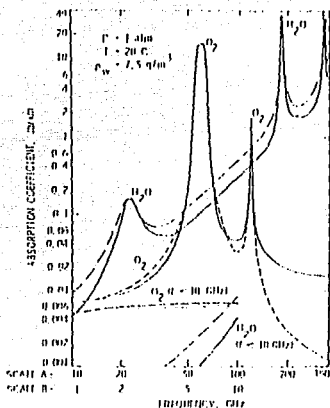


Figura I.1. Absorción Debida a Gases Atmosféricos.

El coeficiente de absorción para cada componente molecular es una función de su abundancia, su temperatura, su presión y su frecuencia.

El análisis de este tipo de fenómenos no sólo es de interés para la astronomía. El estudio y caracterización de este tipo de emisiones es importante también en los sistemas de comunicaciones. A frecuencias entre 1 y 340 GHz la emisión de gases atmosféricos es una significativa fuente de ruido externo (sobre todo en sistemas de recepción de bajo ruido).

Sensibilidad del radiómetro.

Normalmente, las densidades de potencia de ruido que recibe el radiómetro son muy reducidas y, aunque dicha potencia puede incrementarse aumentando el área colectora de la antena receptora, es necesario incluir, aparte de la antena, un sistema de amplificación que le dé a la señal un nivel de potencia adecuado, así como un sistema de acondicionamiento que convierta la señal amplificada a un formato en el cual quede lista para ser procesada.

Todos los dispositivos que componen dichas etapas generan potencia de ruido eléctrico por ellos mismos, lo que contribuye al ruido de salida total del sistema. De esta forma, el voltaje de salida que entrega el radiómetro es proporcional a la suma de la potencia de ruido que recibe la antena más la que se genera en el propio radiómetro.

La sensibilidad en el radiómetro es el cambio más pequeño en la potencia de ruido de entrada que puede ser detectada en la salida del sistema.

Temperatura de ruido en el sistema.

La medición y caracterización de esa potencia de ruido es muy importante, ya que el voltaje de salida y la sensibilidad del radiómetro dependen directamente de su magnitud. Normalmente, dicha potencia es de muy reducida magnitud, por lo cual, para cuantificarla en forma práctica se habla de ella en términos de temperatura de ruido; es decir, se compara la potencia de ruido del radiómetro con la potencia de ruido equivalente de un resistor a una temperatura constante. La

razón de usar resistencias como estándares de ruido es que, mientras una resistencia se mantenga a una temperatura uniforme, la potencia de ruido que genera es constante y se puede calcular como:

$$P_N = KTB \text{ [W]}$$

Donde:

K= Constante de Boltzmann.

$$(K = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K})$$

T= Temperatura absoluta de la resistencia.

B=Ancho de banda en Hertz.

Radiómetro básico en microondas.

La estructura básica de un radiómetro generalmente contiene tres elementos básicos que son:

- 1.- **Filtro pasa banda.** Este filtro determina la parte del espectro de interés y se encuentra determinado por la frecuencia central f y por el ancho de banda B .
- 2.- **Detector.** Contiene los elementos de amplificación y detección del radiómetro. Generalmente incluye un receptor y un amplificador de bajo ruido.
- 3.- **Filtro pasa-baja o Integrador.** Este filtro minimiza la distorsión en amplitud y fase de la señal de salida. El integrador controla el tiempo de observación de la fuente. Si la fuente es muy débil, se necesita un tiempo de integración muy

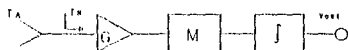
grande.

Tipos de Radiómetros.

Radiómetro Directo (Radiómetro de potencia total). Este tipo de radiómetro es el más sencillo que se puede construir. La señal de salida puede obtenerse como:

$$V_{out} = (T_A + T_N) G$$

Como se puede observar, el voltaje de salida es totalmente dependiente de la temperatura de ruido del sistema T_N y de la ganancia del mismo G . Esta situación presenta una gran desventaja ya que tanto la temperatura de ruido como la ganancia, no pueden ser considerados lo suficientemente estables con respecto al tiempo como para tener certidumbre en las lecturas obtenidas; además, en este tipo de radiómetro normalmente el ruido es más grande que la señal.



Donde G =Amplificador, M =Modulador y J =Integrador.

Figura 1.2. Radiómetro Directo.

Radiómetro de Dicke. El radiómetro de Dicke mejora sustancialmente el problema de la incertidumbre en el voltaje de salida debido a las inestabilidades en T_N y G . Lo anterior se consigue colocando un conmutador en la entrada del amplificador de tal forma que el sistema compare la salida debida a la temperatura de entrada

T_A y la debida a una temperatura de referencia conocida (T_{ref}). La conmutación entre la entrada y la temperatura de referencia se da a una frecuencia mayor que la frecuencia más alta en el espectro asociado con las inestabilidades de G y T_N . Con estas condiciones, el voltaje de salida del radiómetro está dado por:

$$V_{out} = (T_A + T_N) G - (T_{ref} + T_N) G$$

$$V_{out} = (T_A - T_{ref}) G$$

Aquí se puede observar que T_N ha sido eliminada mientras G aún está presente. En el caso especial de que T_A sea igual a T_{ref} , la dependencia de G también se elimina. Sin embargo, T_A siempre es de un valor muy bajo, aproximadamente $100^\circ K$, que es mucho más pequeña que T_{ref} . Aquí se nota que el principal inconveniente de este radiómetro es la disponibilidad de una temperatura de microondas de gran estabilidad. En la práctica, una buena aproximación de una temperatura estabilizada para la temperatura de referencia (T_{ref}), es la temperatura de trabajo.



Donde G =Amplificador, M =Modulador, D =Detector y I =Integrador.

Figura 1.3. Radiómetro de Dicke.

Radiómetro de Dos Referencias. Este radiómetro presenta una salida igual a la de un radiómetro de Dicke pero con la diferencia de que ahora la temperatura de

referencia (T_{ref}) se encuentra dado por:

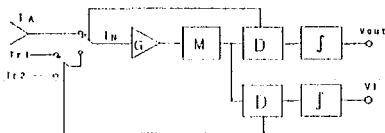
$$Trcf = \frac{T_{R1} + T_{R2}}{2}$$

además de contar con una salida de corrección V_K que está dada como:

$$V_K = (T_{R1} - T_{R2})$$

En este radiómetro, T_{R1} y T_{R2} son conocidas, con lo cual es posible calcular el valor de G para usarlo como factor de corrección en el voltaje de salida V_{out} .

Si bien las dos referencias de temperatura resuelven el problema de la incertidumbre de G , Este tipo de radiómetro tiene el inconveniente de presentar muchas atenuaciones y reflexiones en microondas.



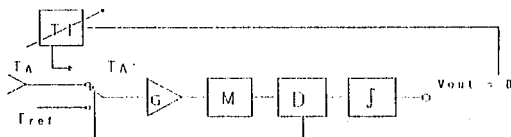
Donde G =Amplificador, M =Modulador, D =Detector y I =Integrador.

Figura 1.4. Radiómetro de Dos Referencias.

Radiómetro con Inyección de Ruido. Como se mencionó anteriormente, tener completa seguridad sobre el voltaje de salida V_{out} implica tener el control de la temperatura de referencia (T_{ref}) para poder igualarla a la temperatura de entrada T_A . T_A es de un valor demasiado pequeño como para generar una T_{ref} estable del

mismo valor, por lo que se escoge mejor definir a T_{ref} en un valor alto y constante, mientras que una temperatura variable T_i se suma a T_A de tal forma que $T_A' = T_A + T_i$ sea igual a T_{ref} .

La parte básica de este sistema es ahora un radiómetro de Dicke que mide $T_A' = T_{ref}$ donde la señal de salida V_{out} es igual cero, independientemente de G . Cuando T_A varíe, T_i debe ser regulado hasta obtener la igualdad con la temperatura de referencia.



Donde G =Amplificador, M =Modulador, D =detector y J =Integrador.

Figura 1.5. Radiómetro con Inyección de Ruido.

T_i es inyectado en la señal entre la antena y la entrada del radiómetro Dicke, esto se logra con un acoplador direccional con un coeficiente de acoplamiento bajo para no influir en la señal de la antena.

Este método de inyección requiere una temperatura muy alta en microondas. Una forma de obtener dicha frecuencia se logra con los diodos hechos a base de material semiconductor con los que se obtienen señales de ruido altas y bien definidas.

Este radiómetro tiene la ventaja de ser independiente de las pérdidas y reflexiones de la señal.

Funcionamiento.

El radiómetro que se piensa utilizar funciona bajo el principio del radiómetro de Dicke, y detecta lo que se conoce como "profundidad óptica atmosférica". Esto se espera utilizar en el Observatorio Astronómico Nacional de San Pedro Mártir para determinar que cantidad de vapor de agua se encuentra en el cielo en una noche de observación, así como para investigar la calidad astronómica de diferentes sitios a fin de determinar si son susceptibles de albergar instrumentos astronómicos. Para lograrlo, el radiómetro detecta la frecuencia de una onda de emisión característica del agua que se encuentra a 183.31 GHz, aunque la medición se realiza a 215 GHz para evitar cualquier problema de saturación.

La construcción de un radiómetro se dificulta por la disponibilidad de las partes, a esta frecuencia comercialmente no existen muchos dispositivos en el mercado; además, para trabajar con ellos es necesario utilizar equipo de microondas que por su costo hace difícil pensar en construir el radiómetro uno mismo (por ahora). Por estas razones, el radiómetro a utilizar será fabricado por una universidad norteamericana, en la que cuentan con una gran experiencia en el diseño y construcción de este tipo de dispositivos.

En la figura 1.6 se muestra el diagrama básico del radiómetro. Un oscilador Gunn de 35.8 GHz produce una señal que subsecuentemente se triplica. La segunda armónica de la señal resultante, que sale a 215 GHz, es introducida en

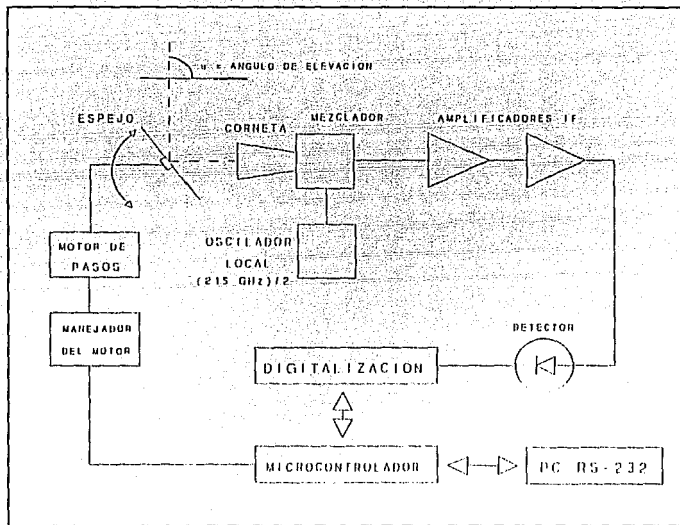


Figura 1.6. Diagrama Esquemático del Radiómetro.

un mezclador el cual combina esta señal con la emisión proveniente del cielo. La señal resultante pasa a través de un amplificador de banda ancha, seguido por un amplificador de frecuencia intermedia de 1.2 GHz con un ancho de banda de 350 MHz. La señal resultante pasa a un cristal detector el cual genera una señal de DC proporcional a la suma de la temperatura de ruido del sistema y la temperatura de la señal que recibe el radiómetro.

Operación.

Para el control y operación del radiómetro, se utilizó un dispositivo electrónico digital (cuya descripción se analizará con detalle en el capítulo dos), el cual se encarga de coordinar su funcionamiento a través de un programa de control. La descripción completa del programa se menciona con detalle más adelante aunque, a grandes rasgos, la secuencia de operación del instrumento se describe a continuación.

El programa de control del sistema inicia un muestreo del cielo desde el horizonte hasta cerca del cenit una vez cada 30 minutos. El muestreo consiste de ocho observaciones que se realizan de 36° a 86.4° con intervalos de 7.2° entre sí, tomando como referencia al horizonte (Figura 1.7). Al principio de cada secuencia de lecturas, el sistema hace una medición de la temperatura ambiente leída en la parte trasera del espejo (que en este caso sería el equivalente a la temperatura de referencia T_{ref} para un radiómetro de Dicke). Antes de cada secuencia de lecturas, el programa registra la fecha y hora en que se iniciaron las mediciones, así como las temperaturas exterior e interior del sistema.

En este sistema de radiómetro la corneta permanece en una posición fija, de ahí que para poder registrar la radiación proveniente de cielo a diferentes inclinaciones, es necesario colocar antes un espejo de tal forma que, variando la posición del mismo, se consiga por reflexión que la radiación proveniente de diferentes partes del cielo sea dirigida hacia la boca de la corneta (Figura 1.7).

La corneta es el segundo elemento en el proceso de recepción del

radiómetro. Este elemento tiene la función de "colectar" la energía electromagnética que se encuentra a su entrada concentrándola en el fondo de la misma donde se localiza la antena. La corneta es el primer elemento que da ganancia a la señal que proviene del cielo. La apertura de la corneta que se utilizara será de 10 grados, de ahí que se halla escogido dar una separación de 7.2° entre lecturas a fin de cubrir prácticamente todo el cielo. Para el movimiento del espejo, se utilizó un motor cuya descripción y análisis se explicarán con detalle más adelante.

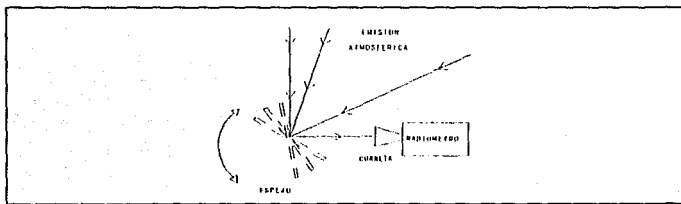


Figura 1.7. Movimiento del Espejo.

Capítulo 2

SISTEMA BASICO BASADO EN UN MICROCONTROLADOR

Para lograr el control del funcionamiento del radiómetro, se desarrolló un sistema basado en un dispositivo electrónico digital, el cuál se encargará de coordinar el funcionamiento del sistema. Para lograr esto se decidió utilizar un microcontrolador. La razón para pensar en utilizar un microcontrolador surgió a partir de las características propias de este tipo de dispositivos, ya que éstos conforman por sí solos un sistema mínimo, lo cual permite realizar diseños de reducidas dimensiones. Sin embargo, hay otro dispositivo que se puede utilizar para este fin, el microprocesador. Para determinar cuál de estos elementos es más conveniente de utilizar en nuestro sistema hay que analizar sus características.

Un microprocesador es un circuito combinacional y secuencial que interactúa con otros dispositivos para formar en conjunto un sistema digital. Este dispositivo, viéndolo a manera de 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 o memoria alambrada para las microinstrucciones) y una unidad de entrada-salida (se encarga de efectuar la comunicación con los dispositivos externos al microprocesador). Su uso es principalmente en sistemas de propósito general, ya que sólo contiene los elementos básicos para procesar información y, 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 amplio. Existen microprocesadores de 4, 8, 16, 32 y 64 bits, lo cual representa el tamaño de la palabra de datos y de sus registros, es decir, el tamaño de los datos que puede procesar en paralelo.

Un microcontrolador es un dispositivo que contiene, dentro de su arquitectura interna, una unidad de proceso central (compuesto básicamente por un microprocesador, el cual 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, puertos serie, convertidores A/D, convertidores D/A, etc. Este tipo de dispositivos están orientados para ser utilizados en aplicaciones de uso específico,

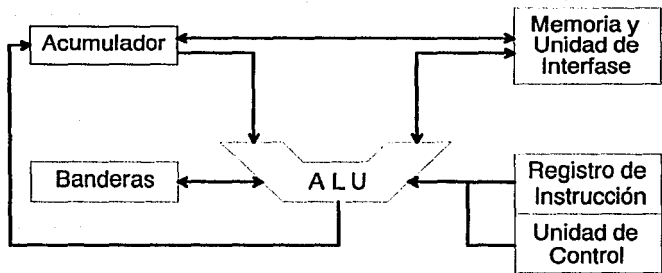


Figura II.1. Arquitectura de un Microprocesador Genérico.

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, para interactuar con su entorno en tareas de detección y control, siendo relevante su capacidad de ser direccionable por bit, es decir, tienen instrucciones que permiten manejar de manera individual cada bit de sus registros y/o puertos. También es importante mencionar su capacidad propia para manejar interrupciones, lo que permite tener control absoluto sobre la interacción entre los diferentes elementos con que se relacione.

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

- 1 - El dispositivo a utilizar debe poder enviar al exterior las señales de control necesarias para realizar el movimiento del espejo del

radiómetro, así como las señales que informen 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.

2 - Del exterior también debe recibir las lecturas del radiómetro y de sensores de temperatura, las cuales son señales analógicas que deben ser digitalizadas y almacenadas.

3 - La información que almacene el sistema debe poder ser descargada a una computadora personal para que pueda ser utilizada y a través de la cual también se podrá obtener información del estado del sistema y controlar su funcionamiento.

4 - 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 la cual comprende, para cada ciclo de lectura, las temperaturas interna y externa, las lecturas del radiómetro, la fecha y hora en que se realizaron estas lecturas y el estado del sistema en este momento.

De estas necesidades se desprende el hecho de que el sistema deberá ser capaz de realizar lo siguiente :

- Manejar operaciones de entrada/salida de transmisión en paralelo para manejar las señales de control.
- Contar con un convertidor Analógico/Digital de 12 bits para tener una

resolución aceptable en las observaciones hechas con el radiómetro.

- Contar con un medio de comunicación serie para el enlace con una computadora.

- Tener capacidad de direccionar cuando menos 9.2 kBytes de memoria para almacenar los datos adquiridos. Esto es debido que en cada ciclo de lectura se debe guardar la siguiente información :

 - 2 bytes con la fecha

 - 2 bytes con la hora

 - 1 byte con el estado del sistema

 - 2 bytes con la temperatura interna

 - 2 bytes con la temperatura externa

 - 18 bytes con las lecturas del radiómetro

 - 1 byte de separación

28 bytes.

Como se tendrá un ciclo de lectura cada media hora, en una semana serán 336 ciclos, por lo que se necesitan 9408 bytes, lo que se puede aproximar a 10 KB quedando 832 bytes para uso del sistema.

También 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.

Si se usara un microprocesador, se observa que se necesitan varios 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 cual 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, la cual está formada por una serie de dispositivos con características comunes y que se diferencian por la cantidad de memoria RAM y la cantidad y tipo de ROM que tengan internamente. El elemento representativo de esta familia es el 8048AH, el cual tiene las siguientes características: tiene 3 puertos de ocho bits bidireccionales y direccionables por bit, maneja una interrupción externa más dos terminales de prueba y tiene un contador/temporizador de 8 bits. En cuanto a la cantidad de memoria ROM que tienen, se tienen dispositivos con 1 KB (8048AH), 2 KB (8049AH) y 4 KB (8050AH) de ROM programable en fábrica, dispositivos con 1 KB (8748H) y 2 KB (8749H) de EPROM y dispositivos que carecen de memoria ROM (8035AHL, 8039AHL y 8040AHL); para el caso de memoria RAM los hay con 64 bytes (8048AH, 8035AHL y 8748H), con 128 bytes (8049AH, 8039AHL y 8749H) y con 256 bytes (8050AH). Esta familia de microcontroladores es muy limitada en su capacidad de direccionamiento, ya que utiliza el tercer puerto como bus de datos y direcciones más cuatro bits del segundo puerto para completar un

bus de direcciones de 12 bits, por lo que sólo puede acceder directamente 4 KB 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 contadores/temporizadores 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 contadores/temporizadores y el número de interrupciones con que cuentan, según podemos ver en la tabla II.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 al MC68HC11A8, el cual 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 contador/temporizador de 16 bits. Por otra parte,

Dispositivo	Versión sin PROM	Versión con EPROM	PROM (Bytes)	RAM (Bytes)	Puertos E/S	Timer / Contadores de 16 bits	UART	Canales DMA	Canales A/D	Fuentes / Vez de Interrup.	Modo de Bajo Consumo
8051	8031	—	4 K	128	4	2	✓			6 / 5	
8051AH	8031AH	8751H 8751BH	4 K	128	4	2	✓			6 / 5	
8052AH	8032AH	8752BH	8 K	256	4	3	✓			8 / 6	
80C51BH	80C31BH	87C51	4 K	128	4	2	✓			6 / 5	✓
80C52	80C32	—	8 K	256	4	3	✓			8 / 6	✓
83C51FA	80C51FA	87C51FA	8 K	256	4	3	✓			14 / 7	✓
83C51FB	80C51FA	87C51FB	16 K	256	4	3	✓			14 / 7	✓
83C51GA	80C51GA	87C51GA	4 K	128	4	2	✓		8	8 / 7	✓
83152JA	80C152JA	—	8 K	256	5	2	✓			19 / 11	✓
—	80C152JB	—	—	256	7	2	✓			10 / 11	✓
83C152JC	80C152JC	—	8 K	256	5	2	✓	2		19 / 11	✓
—	80C152JD	—	—	256	7	2	✓	2		19 / 11	✓
83C451	80C451	—	4 K	128	7	2	✓			6 / 5	✓
83C452	80C452	87C452P	8 K	256	5	2	✓			8 / 6	✓

Tabla II.1. Tabla comparativa entre los elementos de la familia MCS-51.

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 II.2.

Por las características mostradas de las tres familias de microcontroladores se puede observar que los MCS-48 no son de mucha utilidad en esta aplicación, 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

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 II.2. Tabla comparativa entre los elementos de la familia MC68HC11.

no es de 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.

En la familia de los MC68HC11 sólo nos queda un dispositivo con esta característica; si se decidiera utilizarlo, se tendría que utilizar este microcontrolador en modo expandido para poder direccionar los 64 KB de memoria. Estos 64 KB de memoria son utilizados para programas y datos, por lo que la capacidad efectiva para guardar datos se reduce ligeramente, lo cual 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 (aproximadamente un cuarenta por ciento) que el de los

MC68HC11.

En base a los argumentos presentados, se decidió trabajar con la familia de los MCS-51, de la cual se seleccionó al 80C31BH, cuyas características aparecen en la tabla II.1, por ser un elemento simple pero que satisface las necesidades del sistema.

CONFIGURACION DE UN SISTEMA BASICO.

Una vez que se ha decidido basar el diseño en el microcontrolador 80C31 de la familia MCS-51, se analizarán los componentes que son necesarios agregar para que el sistema resultante cumpla con los requerimientos planteados anteriormente. 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 esta familia, por las características que poseen, se tienen incluidos puertos serie y paralelo para poder comunicarnos con los otros subsistemas. Para cumplir con las otras necesidades del sistema, es necesario añadir un convertidor analógico-digital para obtener las lecturas del radiómetro y de los sensores de temperatura 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 los sensores de temperatura están comprendidos en otros módulos del sistema, por lo que su estudio se hará más adelante. Sin embargo, los elementos que servirán como elementos de memoria sí 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 información, hay que revisar las características que ofrece cada uno de estos tipos para ver cuál se adecúa más a lo que se necesita. Los tipos de memorias 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 podemos tener un medio de almacenamiento en el cual podemos escribir los datos adquiridos por el sistema, para posteriormente leerlos y finalmente sea borrada esta información para almacenar en ella nuevos datos.

Las memorias SRAM (Static Random Access Memory) son memorias de lectura/escritura que basan su principio de almacenamiento en flip-flops, lo que quiere decir que cada bit almacenado en estas memorias es conservado en un flip-flop. Estas memorias requieren únicamente que sea mantenida de manera constante la alimentación de voltaje 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. Si consideramos 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 de estas memorias es comparativamente menor que el de cualquier otro tipo de memorias, encontrándose memorias con tiempos de acceso que van desde los 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, las cuales 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, lo que representa 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 cual 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, por lo que se tiene 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, los cuales 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 de estos dispositivos. 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, las cuales 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 en ellas esa información. Sin embargo, ahora existen memorias ROM las cuales pueden ser borradas y regrabadas, como lo son las que pueden ser borradas por medio de luz ultravioleta (UV-EPROM) y las que pueden ser borradas 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 pueden almacenar 256 bits con acceso secuencial hasta las que tienen organizaciones de 8 bits en paralelo con una capacidad hasta de 256 kilobytes con acceso aleatorio. Para el borrado de la información, hay 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 estas 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.

Para decidir cuál es el tipo de memoria más conveniente para esta aplicación, hagamos una comparación entre los mencionados. Los parámetros que se consideran son aquellos que determinan la factibilidad de su uso dadas sus características, como el consumo de energía, el tamaño y complejidad del diseño, etc. Para esto, se considera un diseño utilizando cada tipo de memoria, seleccionando los componentes más adecuados en cada caso de entre los que se encuentran disponibles en el mercado.

Para el caso de utilizar memoria RAM Dinámica, se pueden utilizar 2 circuitos MT4067-15, los cuales tienen una capacidad de 64 K X 4 bits, para poder formar el banco de memoria con los 64 KB que necesitamos. Para realizar la operación del refresco de la memoria, se considera un TMS4500A, el cual es un controlador de RAM Dinámica. Un sistema de este tipo necesita tener una alimentación constante, ya que si se tiene una variación mayor del 10% de su valor nominal (5 V), la información almacenada se perderá, por lo que se requiere de un mecanismo que garantice que el suministro de energía se mantendrá constante ante cualquier circunstancia, como puede ser un sistema de baterías de respaldo que alimente a la memoria en caso de falla de la alimentación principal. En cuanto al consumo de energía, los circuitos de memoria consumen cada uno 55 mA durante su operación y 5 mA en modo de espera, mientras que el controlador tiene un consumo típico de 100 mA. Considerando que el tiempo que estará en operación la memoria es muy pequeño respecto al tiempo que estará en modo de espera, se puede considerar que el consumo promedio del subsistema de memoria es aproximadamente de 110 mA.

Para el diseño con memoria RAM Estática, se pueden utilizar las memorias CXK58256PM-10, las cuales tienen una arquitectura de 32 K X 8 bits, por lo cuál, utilizando dos de estos circuitos completamos nuestro banco de memoria. Una arquitectura de este tipo sólo requiere de un sistema de decodificación de memoria sencillo que habilite cada una de las dos memorias según se necesite; por lo demás, su uso es muy simple. Estos dispositivos tienen un consumo típico en operación de 35 mA y de sólo 100 μ A en modo de espera y, dado que solo van a estar en operación uno de ellos cada 30 minutos para guardar 28 bytes, podemos considerar que el consumo promedio es del orden de aproximadamente 200 μ A. 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.

Para el sistema con memoria EEPROM se tienen dos opciones: el utilizar memorias DQ2864-250, las cuales tienen una organización de 8 K X 8 bits, por lo que se necesitarían 8 dispositivos de este tipo, o se puede utilizar una memoria 28F512-150P1C4, que tiene una capacidad de 64 K x 8 bits. Si se quiere usar la memoria DQ2864-250, se tendrá la ventaja de que esta memoria opera como una memoria SRAM, ya que el borrado de cada byte se hace de manera automática por medios eléctricos al momento de grabar algún dato, sin tener que preocuparse por refrescar los datos periódicamente y, en caso de que se le suspenda la alimentación, la información no se perderá. El consumo de esta memoria durante su operación es de 110 mA y de 40 mA en modo de espera, aunque en este caso se tiene la posibilidad de mejor apagar el dispositivo. Sin embargo, estas memorias tienen la desventaja de que su ciclo de escritura es demasiado largo, de 10 ms, lo cual no implica que durante este tiempo el microcontrolador tenga que estar parado esperando, ya que la memoria tiene a la entrada un "latch" que conserva el dato durante el ciclo de escritura, liberando los buses de datos y direcciones en 150 ns, pero un nuevo acceso a la memoria sólo se podrá dar hasta después de haber transcurrido los 10 ms. Por otra parte, el hecho de necesitar 8 circuitos de 28 terminales para formar el banco de 64 kBytes hace que crezca demasiado el área requerida en el circuito impreso, siendo imposible reducirlo por el hecho de que no existen comercialmente memorias de este tipo de mayor capacidad, e incluso es difícil conseguir estos dispositivos porque han sido descontinuados por sus principales fabricantes.

La otra opción que se tiene en memoria EEPROM, es el uso de una sola memoria

28F512-150P1C4, la cual es una memoria del tipo Flash, que son las EEPROM en las cuales el borrado se puede hacer solamente a nivel de toda la memoria, y en la que el tiempo de escritura de un byte se realiza en cuatro ciclos de 150 ns cada uno. El ciclo de borrado de la memoria sigue siendo de larga duración, el cual es de 0.5 s típico. Esta memoria tiene un consumo en modo activo de 30 mA y de 100 μ A en modo de espera. La gran desventaja que tiene este dispositivo es que para poder escribir algún dato así como para borrarla es necesario aplicar un voltaje de 12 V, lo que obliga a añadir la circuitería necesaria para generar ese voltaje.

Como se observa, dadas las características de los diferentes tipos de memorias consideradas, se puede descartar el uso de las memorias de tipo EEPROM. En un caso, sería necesario manejar un nivel de voltaje adicional, lo cual hace más complejo el diseño, implicando más circuitería y, consecuentemente, mayor consumo de energía, lo cual no es deseable especialmente cuando se pretende que el sistema sea autosuficiente. En el otro caso, las dimensiones del banco de memoria crecería considerablemente, además del incremento en el consumo de energía y del costo de los componentes.

Como el sistema tendrá una capacidad relativamente baja para el almacenamiento de datos, el empleo de memoria DRAM se observa como una posibilidad poco viable, ya que el consumo de energía del controlador es muy alto, a pesar de que esté utilizándose a una pequeña parte de su capacidad, además de que se tiene el inconveniente de tener que mantener una alimentación con una buena regulación. Como lógica consecuencia, la opción de utilizar RAM Estática queda como la más adecuada, especialmente por su capacidad de ponerse en modo de espera cuando no se está accediendo, reduciendo considerablemente su consumo de energía. Además, su capacidad de mantener la información hasta con una alimentación de 2 volts, es de suma importancia cuando se

presenten condiciones críticas de operación.

Por otra parte, el sistema debe contar con algún tipo de memoria ROM, en la cual se encuentre almacenado el programa de control del sistema. Para esto se seleccionó una memoria UV-EPROM 27C64, la cual tiene una capacidad de almacenamiento de 8 kBytes (lo cual es más que suficiente para este proyecto) y tiene 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.

Con las memorias que se van a utilizar, se completan los elementos necesarios para formar el sistema básico, el cual estará compuesto por el microcontrolador con el oscilador y el reset, la memoria ROM, la memoria RAM y la decodificación de memoria y de puertos, así como los conectores necesarios para comunicarse con los demás módulos del sistema. En base a estos elementos, el módulo que contiene a la Unidad de Procesamiento del sistema quedó como se muestra en el diagrama de la figura 11.2.

Esta parte del sistema fue diseñada cuidando que el resultado fuera un módulo que pudiera operar de manera independiente y que su operación no dependiera de elementos ajenos a este módulo (a excepción de la alimentación de voltaje), con el fin de que pueda ser considerado como un módulo de uso general y pueda ser utilizado para otras aplicaciones. La comunicación con otros módulos se realiza a través de tres conectores, los cuales llevan el bus de datos, el bus de control y el puerto 1 del microcontrolador. A través de estos tres canales, este módulo puede enviar y recibir información de otros dispositivos : en paralelo por medio del bus de datos, en serie por medio de dos líneas del bus de control (quedando líneas disponibles para las señales de control para coordinar

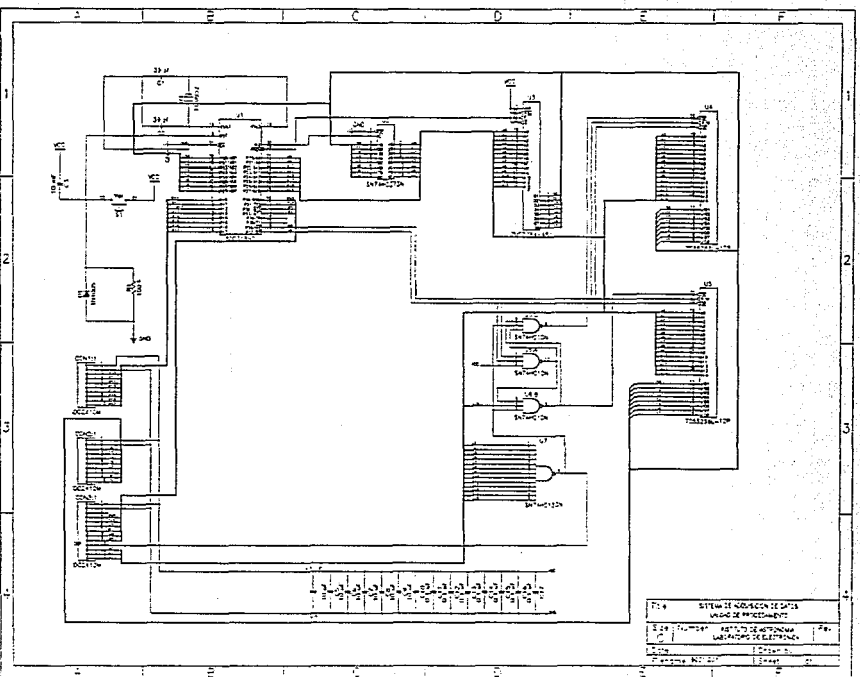


Figura II.2. Diagrama Esquemático de la Unidad de Procesamiento.

las funciones con otros módulos) y por el puerto 1 puede manejar información de manera independiente en cada bit.

Capítulo 3

MODULO DE DIGITALIZACION DE DATOS

El módulo más importante, después del sistema donde se localiza el microcontrolador, es el sistema de adquisición de datos. En este módulo es donde se llevan a cabo las labores de lectura y digitalización de las señales de interés. Dichas señales una vez digitalizadas serán guardadas temporalmente por el microcontrolador en memoria RAM para finalmente ser procesadas en una computadora personal.

Para la digitalización de las señales es necesario utilizar un convertidor analógico/digital. Los convertidores que se encuentran comercialmente pueden diferir en una gran cantidad de parámetros, así como en el principio de funcionamiento que utilizan para llevar a cabo la conversión. Para determinar el tipo de convertidor a utilizar es necesario primero analizar las características que debe cumplir en cuanto a los requerimientos del sistema.

Los aspectos más importantes que se tomaron en cuenta para definir las características del convertidor a utilizar fueron los siguientes:

a) Las señales que se tiene contemplado medir y digitalizar son:

- Lecturas del radiómetro
- Temperatura interior y exterior

De estas señales, la más importante, por sus requerimientos en cuanto a resolución y precisión, es la que proviene del radiómetro. Dado que es deseable detectar diferencias entre señales provenientes del radiómetro hasta del orden de 1 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 (LSB).

b) Dado que el dispositivo que va a leer del convertidor tiene un bus de datos de 8 bits, es necesario que el convertidor que se utilice sea compatible con este tipo de buses, ya que, de lo contrario, se tendría que añadir circuitería para leerlo.

c) Para el funcionamiento de todos los módulos del sistema se contempló el uso de una sola fuente de voltaje de 5 volts. Por lo tanto, es conveniente que el convertidor requiera de sólo una fuente de alimentación para trabajar, ya que, de lo contrario, se tendría que disponer de otra fuente de voltaje o de un convertidor CD-CD de voltaje. Cualquiera de los dos casos repercute en un mayor número de componentes y un mayor consumo de energía. Cabe hacer notar que una ventaja de los convertidores analógico/digitales que usan voltajes de

alimentación bipolares es que pueden digitalizar señales tanto positivas como negativas; sin embargo, en nuestro caso, todas las señales a digitalizar son positivas, de ahí que se busque simplificar el diseño.

d) Un parámetro muy importante en la elección del convertidor es el tiempo de conversión. En este sentido, existen desde convertidores ultrarrápidos que realizan la conversión en menos de $3 \mu s$, hasta los que la realizan en varios cientos de μs . En nuestro caso, dado que el tiempo mínimo entre conversión y conversión es bastante grande (aproximadamente 0.133 segundos), no se requiere de un convertidor demasiado rápido. Por otro lado, durante el tiempo en el que el convertidor hace la conversión, el microcontrolador no permanece inactivo, ya que durante ese tiempo continúan trabajando las rutinas de actualización del tiempo y monitoreo del sistema. Sin embargo, sí sería adecuado que el tiempo de conversión no fuera muy largo, ya que en futuras aplicaciones del sistema, éste podría ser un factor determinante.

En la tabla III.1 se muestran las principales características de algunos convertidores analógico/digitales de 12 bits.

En esta tabla se puede observar que existe una gran variedad de convertidores A/D con una resolución de 12 bits, considerando tan sólo tres fabricantes. Pero como se mencionó antes, aquellos dispositivos incompatibles con un bus de 8 bits así como los que necesiten una fuente de alimentación bipolar para trabajar hacen que su implementación dentro del sistema no sea inmediata. Por lo tanto, los únicos convertidores que se sujetan a los requerimientos arriba mencionados son el ADC1205B y el ADC1205C de National.

PARTE FABRICANTE	RESOLUCION	PRECISION ABSOLUTA	VOLTAJES DE:		COMPATIBLE CON μ P de 8 BITS	TIEMPO DE CONVERSION
			a)ENTRADA	b)POLARIZACION		
ADC1205B NATIONAL	12 bits + signo	$\pm 1/2$ LSB	a) +5.0 \pm 5 b) +5.0 \pm 5		SI	100 μ s
ADC1205C NATIONAL	12 bits + signo	± 1 LSB	a) +5.0 \pm 5 b) +5.0 \pm 5		SI	100 μ s
ADC1210 NATIONAL	12 bits	$\pm 3/4$ LSB	a) 10.2 b) +5.0 \pm 15		No	200 μ s
ADC1211 NATIONAL	12 bits	± 2 LSB	a) 10.2 b) +5.0 \pm 5		No	200 μ s
ADC1225 NATIONAL	12 bits + signo	$\pm 1/2$ LSB	a) ± 5 b) +5.0 \pm 5		No	50 μ s
AD572 ANALOG DEV	12 bits	$\pm 1/2$ LSB	a) $\pm 5.0 \pm 10$ b) +5.0 \pm 15		No serial*	25 μ s
AD574AJ ANALOG DEV	12 bits	± 1 LSB	a) -10.0 \pm 10 b) +5.0 \pm 15		SI	25 μ s
AD578L ANALOG DEV	12 bits	$\pm 1/2$ LSB	a) $\pm 5.0 \pm 15$ b) +5.0 \pm 15		No serial*	3 μ s
ADC84KG BURR BROWN	12 bits	$\pm 1/2$	a) +5.0 $\pm 5.0 \pm 10$ b) 5.0 ± 15		No serial*	10 μ s
ADC10HT BURR BROWN	12 bits	$\pm 1/2$ LSB	a) $\pm 5.0 \pm 10$ b) 5.0 ± 15		No serial*	50 μ s
ADC803BM BURR BROWN	12 bits	$\pm 1/2$ LSB	A) $\pm 5.0 \pm 10$ B) 5.0 ± 15		No serial*	1.5 μ s

* - Incluyen también una salida de datos en serie

Tabla III.1. Convertidores analógicos/digitales de 12 bits.

La única diferencia entre estos dos dispositivos es la precisión absoluta que tienen, siendo para el tipo B de $\pm 1/2$ LSB y para el tipo C de ± 1 LSB. En nuestro caso, dado que aquí es difícil conseguir el tipo B, se decidió utilizar el convertidor ADC1205C de National.

El ADC1205C es un convertidor que realiza la conversión por el método de

aproximaciones sucesivas y presenta, además, las siguientes características:

Características del ADC1205C.

- Resolución	12 Bits más signo
- Precisión	0.012% escala completa o 1 LSB
- Tiempo de conversión	100 μ s máximo
- Intervalo de voltajes de entrada	0 a 5 volts con solo una fuente
- Temperatura de operación	-40 ° C < T _A < 85° C
- Consumo de potencia	25 mW
- Peso del bit menos significativo	1.22 mV
- Formato de salida	Dos bytes en paralelo.

Proceso de conversión y lectura.

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 bus 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).

Señales a procesar.

Una vez que se ha determinado el convertidor analógico/digital que se va a utilizar, es necesario analizar las señales que tiene que procesar el convertidor:

- Radiómetro. Esta señal procede propiamente del instrumento como una señal de voltaje de DC proporcional a la magnitud de la suma de la temperatura de ruido del radiómetro más la temperatura de ruido de la zona del cielo apuntada por el instrumento. La señal del radiómetro llegará al módulo de adquisición a través del conector "ENTRADA" (Figura III.3).

- Medición de temperatura. Dado que el radiómetro es un instrumento en el cual la temperatura a la que se encuentra trabajando es determinante en su

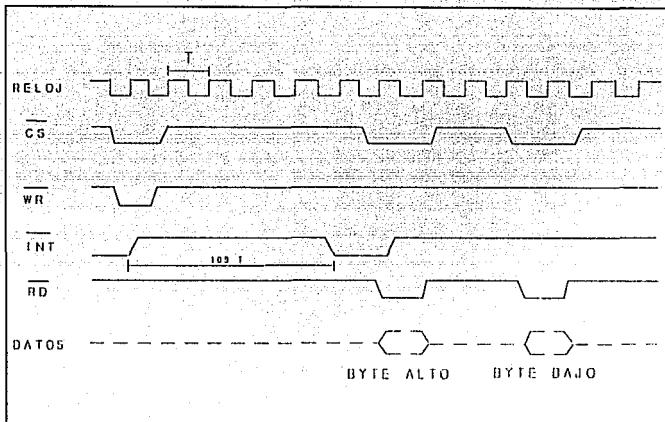


Figura III.1. Diagrama de Tiempos del Convertidor.

funcionamiento, es necesario medirla para determinar que tan confiable fue la lectura y, en su caso, realizar las correcciones necesarias. Para esto, se utilizaron dos sensores de temperatura, uno interior montado en el circuito impreso, y otro exterior para medir la temperatura ambiente.

El sensor de temperatura empleado fue el LM335 de National, el cual está directamente calibrado en la escala Kelvin y cuyas principales características son las siguientes:

Salida	10 mV/° K
Rango de operación	-40° C a +100° C
Calibración	Directamente calibrado en grados Kelvin
Corriente de operación	400 μ A a 5 mA
Error	Menos de 1° C

Este sensor tiene una respuesta muy lineal en todo su intervalo de operación, además de que su calibración resulta muy sencilla, tiene un bajo costo, un bajo consumo y su disponibilidad es inmediata.

Para poder leer todas las señales con un solo convertidor es necesario multiplexarlas, para lo cual se utilizó un multiplexor analógico CMOS 4051. Este es un dispositivo que permite conmutar la entrada entre 8 señales diferentes como se muestra en la figura III.2.

INTEGRACION.

Como una de las prioridades del sistema es que consuma la menor cantidad de energía posible, y dado que el acceso a las rutinas de conversión no son muy frecuentes, es conveniente desconectar el módulo de adquisición cuando no se encuentre haciendo lecturas. Para ello se colocó un relevador, el cual se encarga de energizar la tarjeta donde se encuentra el convertidor y toda su circuitería auxiliar. De esta forma, cuando se tiene que hacer la lectura de alguna señal, el microcontrolador envía primero una señal de encendido de la tarjeta (pin P1.7 del microcontrolador en alto), saturando al transistor Q1 (figura III.3), lo cual hace que se cierre el interruptor K1 energizándose ese módulo del sistema. Para

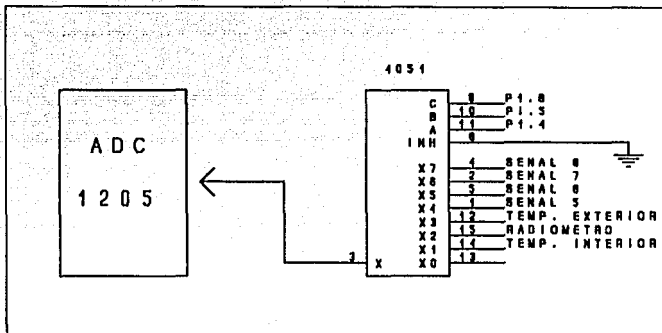


Figura III.2. Conmutación de Señales.

dar la oportunidad de que los voltajes y sobre todo los circuitos se establezcan antes de comenzar cualquier conversión, se dejó un tiempo de espera 1/15 de segundo durante el cual no se realiza ninguna actividad.

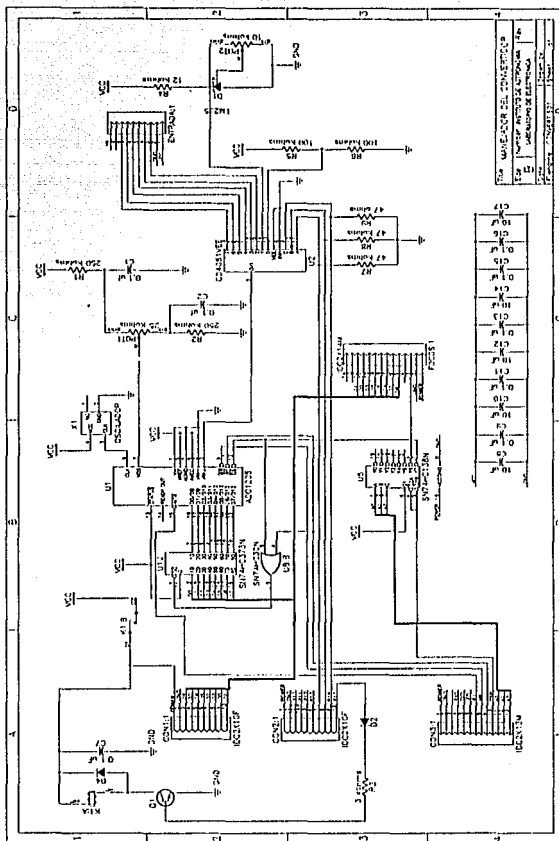


Figura III.3. Módulo de Digitalización de Datos.

Capítulo 4

POSICIONAMIENTO DEL ESPEJO DEL RADIOMETRO

En nuestros días, el posicionamiento de válvulas, engranes, mecanismos y otros dispositivos mecánicos ha tomado gran importancia. El control automático y la robótica, para su aplicación, necesitan forzosamente dispositivos mecánicos que sean capaces de moverse y posicionarse con gran precisión y repetibilidad.

En nuestra aplicación, para lograr que el radiómetro pueda "ver" diferentes partes del cielo (como se refirió en el capítulo 1), es necesario mover un espejo de tal forma que la corneta del radiómetro detecte la radiación del cielo a diferentes inclinaciones (figuras 1.6 y 1.7, cap. 1). Dichos movimientos deben hacerse con gran precisión para que las lecturas obtenidas puedan interpretarse de manera correcta.

El uso de un motor de pasos resuelve esta necesidad, ya que su principio de funcionamiento le permite dar pequeños movimientos (pasos) de manera muy precisa. Un motor de pasos es un motor eléctrico de corriente directa cuyo eje gira un determinado ángulo por cada pulso que recibe, pudiéndose controlar la posición, la velocidad y el sentido de giro.

Principio de funcionamiento

La teoría de operación de un motor de pasos "simplificado" como el que se muestra en la figura IV.1, es fácil de entender. Como se puede observar, el motor cuenta con cuatro bobinas a las que llamaremos fases A, B, C y D, las cuales son colocadas a 90° unas de otras durante la construcción del motor. El rotor de este motor es un imán permanente que cuenta con un polo norte y un polo sur, de manera que puede ser atraído y repelido por los embobinados del motor en cuanto estos son polarizados.

Primeramente, energicemos la fase A, con lo cual la bobina se polarizará, atrayendo al polo contrario del rotor (Figura IV.1-A). Si ahora desconectamos la fase A y polarizamos la fase B (figura IV.1-B), ésta será la que atraiga al rotor haciendo que gire 90° en el sentido de las manecillas del reloj. De esta forma, polarizando y desconectando fases se hace posible que el eje del motor gire 90° a la vez en uno u otro sentido.

Si se polarizan dos fases adyacentes simultáneamente, el rotor puede adoptar otras cuatro posiciones, cada una de ellas intermedia entre las que se obtuvieron al energizar con una sola fase. Por ejemplo, si polarizamos

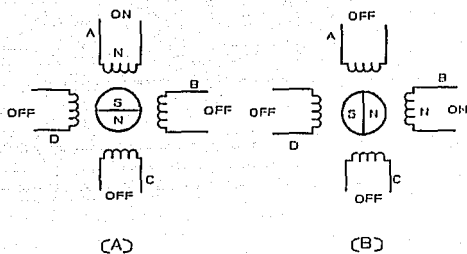


Figura IV.1. Motor de Pasos Simplificado.

positivamente las fases A y B de manera simultánea, el polo negativo del rotor será atraído por ambas, quedando en una posición intermedia (Fig. IV.2-A).

Como se puede ver, polarizar una o dos fases del motor a la vez no representa una marcada diferencia; sin embargo, el par que se obtiene polarizando dos fases a la vez es el doble que el que se tiene al energizar sólo una. Esto marca una gran diferencia, ya que en aplicaciones donde el par del motor no tiene que ser necesariamente muy grande, energizar sólo una bobina a la vez podría ser la solución óptima. Sin embargo, en aquellas aplicaciones donde el par del motor juega un papel importante, energizar dos bobinas a la vez nos permite obtener un par mucho mayor con la misma cantidad de corriente por bobina.

Las formas anteriores de energizar las fases del motor se conocen como "paso completo con una bobina energizada" (figuras IV.1-A y IV.1-B) y "paso

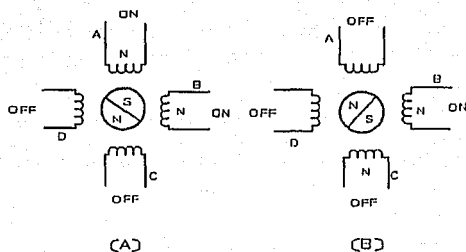


Figura IV.2.

completo con dos bobinas energizadas" (figuras IV.2-A y IV.2-B). Una combinación de ambas hace posible obtener el doble de pasos por vuelta, usando una secuencia de fases como la que se muestra en la figura IV.3-C. Sin embargo, energizar las bobinas del motor de esta forma presenta el inconveniente de que el par varía notoriamente, ya que en la mitad de las posiciones se tienen energizadas dos fases y en la otra mitad sólo una.

Para que el motor gire en un determinado sentido, bastará con que se dé la secuencia de fases adecuada, de tal forma que cada "paso" contribuya a que el motor gire en el sentido deseado. Si lo que se quiere ahora es que el motor gire en sentido contrario, lo único que se tiene que hacer es invertir la secuencia de fases. Por ejemplo, si para girar en el sentido de las manecillas del reloj la secuencia de fases fue A-B-C-D, para girar en sentido contrario la secuencia de fases debe ser inversa, es decir, A-D-C-B. Una ventaja evidente que se observa de lo anterior, es que el sentido de giro no depende de ningún factor externo al

motor (como la polarización en los motores de DC, por ejemplo), sino solamente de la secuencia de fases que se le aplique a sus embobinados.

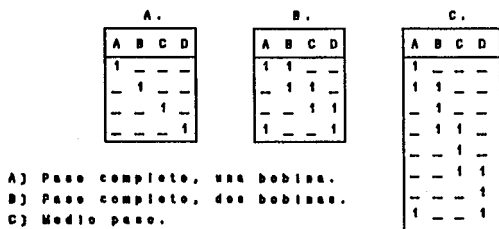


Figura IV.3.

En el ejemplo anterior, por cada pulso que se da al motor, éste gira 90° , por lo que serían necesarios 4 pasos para completar un giro completo. Sin embargo, no todos los motores tienen cuatro embobinados en el estator y un polo en el rotor. El número de pasos por vuelta de un motor está condicionado al número de polos del rotor y al número de bobinas del estator. Por ejemplo, para un motor de 4 bobinas y 100 pasos, se requiere que el rotor cuente con 25 polos.

El número de pasos por vuelta depende de la aplicación que se quiera. Comercialmente existen motores desde 0.1 hasta 120 grados por paso; los valores más comunes son de 0.9, 1.8, 2.0, 2.5, 5.0, 15 y 30 grados que, respectivamente dan 400, 200, 180, 144, 72, 24 y 12 pasos por revolución. Para nuestro sistema,

dado que se quiere posicionar al eje del motor de 36° a 86.4° , en intervalos de 7.2° , se decidió usar un motor de 200 pasos por revolución, lo que da una resolución de 1.8° , polarizándolo mediante el método del paso completo con dos bobinas energizadas.

Manejadores de motores de pasos

Anteriormente se habló varias veces de polarizar bobinas y de mandar la secuencia de fases correcta a los embobinados, para que el motor gire en una dirección o en otra. Precisamente éstas son dos de las labores principales de un manejador, pero no necesariamente las únicas. La velocidad con que gira el motor, por ejemplo, depende directamente de la frecuencia de los pulsos y la torca depende de la cantidad de corriente que el manejador envía a los embobinados del motor.

El tipo de manejador a utilizar depende del motor de pasos que se utilice y de la aplicación que se le quiera dar. Por lo que toca a su funcionamiento, existen principalmente dos tipos de motores de pasos: el motor bipolar, que requiere dos voltajes de alimentación (motor de imán permanente), y el motor unipolar, que sólo requiere uno (motor híbrido).

Para el suministro de energía sólo está contemplado utilizar una fuente de alimentación, por lo que resulta inmediato utilizar un motor unipolar. Además, este tipo de motores presentan la ventaja de que en su mayoría son diseñados para dar pasos de muy pequeño tamaño. En contraparte, los motores de imán permanente generalmente se construyen para dar pasos muy grandes.

En nuestro caso, los comandos de control que requiere el motor para su operación son proporcionados por el microcontrolador, ya que es él quien envía al manejador las señales necesarias para determinar el sentido y velocidad de giro. En tal caso, la función del manejador será, a partir de estos comandos, generar las señales correspondientes que requieren los embobinados del motor para que se mueva en la forma deseada.

Para lograr lo anterior, se implementó un circuito cuyo diagrama a bloques se muestra en la figura IV.4 y consta, básicamente, de 4 partes:

- a) Control del voltaje de alimentación del controlador y del motor de pasos
- b) Circuitería lógica con la que se generan las fases del motor.
- c) Amplificación de corriente para las señales generadas por la etapa anterior.
- d) Dispositivos optoelectrónicos para definir un punto de referencia para el motor.

Encendido del motor

Dado que uno de los principales requerimientos del sistema es que minimice al máximo el consumo de energía, es necesario que cuando no se requiera hacer lecturas del radiómetro se despolarice tanto al motor como a la tarjeta que lo controla. Para lograr lo anterior, antes de comenzar a hacer lecturas el microcontrolador manda una señal (P1.2 alta) que activa un relevador (figura IV.6), el cual polariza toda la tarjeta controladora incluyendo al motor, desactivándolo una vez terminadas las lecturas.

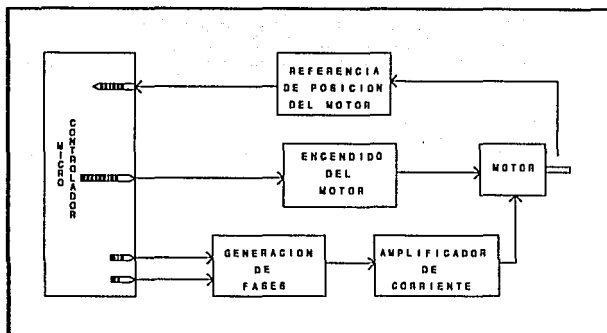


Figura IV.4. Diagrama de Bloques del Manejador.

Generación de fases

La secuencia de fases se podría generar por programación en el microcontrolador, mandando directamente las señales a los transistores que energizan los embobinados del motor. Sin embargo, esto presenta el inconveniente de que se necesitan 4 líneas del microcontrolador del puerto 1 o de uno de los ocho puertos que se tienen en la decodificación; en el primer caso, se tiene el inconveniente de que no se tendrían líneas suficientes del puerto 1 para otras funciones y, en el segundo, se necesitaría circuitería extra para obtener las señales. Por lo anterior, se decidió implementar un diseño que usara solamente 2 líneas del microcontrolador: una señal de sentido de giro "DIR" (línea P1.1 del

microcontrolador) y otra que controle la velocidad "CK" (línea P1.0 del microcontrolador).

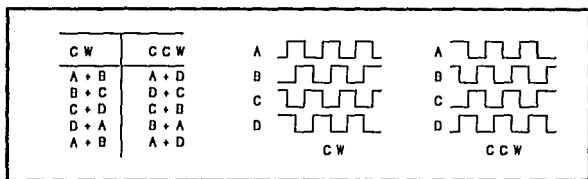


Figura IV.5. Secuencia de Fases.

Estas dos señales llegan a dos compuertas OR-exclusivas y dos flip-flops tipo D respectivamente (figura IV.6). Si se coloca en bajo la señal de dirección al presentarse los pulsos de reloj, la lógica de generación de fases proporcionará una secuencia al motor tal como se muestra en la figura IV.5, haciendo que el eje del motor gire en un sentido. Poniendo en alto la señal de dirección y enviando nuevamente los pulsos del reloj se generará la secuencia de fases en sentido inverso, haciendo que el motor gire en sentido contrario.

Amplificación de corriente

Las señales producidas por la lógica descrita anteriormente deben ser amplificadas en corriente para poder energizar de manera adecuada las bobinas del motor. Para lograr esto, se pueden usar transistores comunes o tipo darlington; mas si se quieren alcanzar velocidades relativamente altas, es necesario utilizar

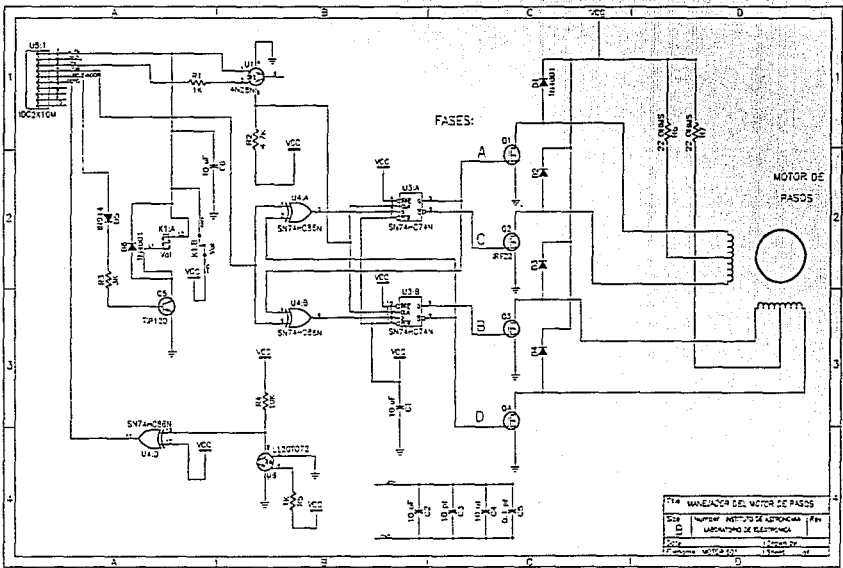


Figura W.6. Manejador del Motor de Pasos.

transistores de conmutación rápida. En nuestro caso, se decidió usar los transistores IRF-Z22 (MOSFET), denominados Q1 a Q4 en la figura IV.6.

La torca que presenta el eje del motor depende directamente de la cantidad de corriente que circule por sus embobinados. Dicha corriente se puede controlar a través de las resistencias R6 y R7 (figura IV.6) y, en el caso de que se requiera mayor torca, dichas resistencias pueden ser cortocircuitadas en el circuito impreso (figura A.7, apéndice A). Los diodos D1 a D4 (figura IV.6) minimizan los transitorios producidos por los embobinados del motor.

Referencia de posición del motor.

Para que el motor de pasos pueda posicionarse en varios lugares con precisión, es necesario que cuente con una referencia para determinar su posición. Para lograr esto, se utilizó un detector óptico que determina cuándo el eje del motor ha cruzado por un ángulo de referencia al que se considerará el origen. El sensor consta de un fotodiodo y un fototransistor acoplados (U6, figura IV.6), en el cual una prolongación del eje del motor bloquea la luz que manda el fotodiodo cuando el eje ha llegado al origen.

Conexión del motor

En el diagrama de la figura A.8 del apéndice A se muestra la forma en que deben ser conectadas las terminales del motor de pasos al conector de la tarjeta. Los colores indicados, corresponden al motor utilizado, por lo que si se utiliza otro motor, se debe tomar la precaución de conectar una bobina a las terminales 1 y

2 del conector (Figura A.8, apéndice A), la otra a las terminales 3 y 4 y los dos comunes a las terminales 5 y 6. Si no se tiene la seguridad de qué cables corresponden a cada bobina, se debe seguir un procedimiento para identificarlos como el que se menciona a continuación.

Identificación de motores de 6 cables.

Generalmente, la mayoría de los motores de este tipo traen agrupadas sus terminales en dos conjuntos de tres cables cada uno. Algunos además presentan un cable del mismo color en cada uno de los conjuntos; esto generalmente es una indicación de que esas son las terminales comunes, siendo las otras dos los extremos de la bobina. (Ver figura IV.7.)

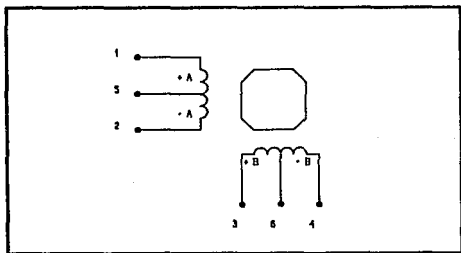


Figura IV.7. Motor de 6 Cables.

Si el motor no viene agrupado en la forma anterior y tampoco presenta la

indicación de cuáles cables puedan ser los dos comunes, se debe seguir el siguiente procedimiento para decodificarlos:

-Con un óhmetro en su escala más baja (la resistencia de los embobinados generalmente oscila entre 5 y 100 ohms), mídase la resistencia entre pares de terminales hasta que el óhmetro marque una lectura en el rango descrito anteriormente y sepárese esas dos terminales de las otras cuatro de manera que no se revuelvan. Vuélvase a medir la resistencia de cualquiera de estas dos terminales con las otras cuatro restantes hasta que el óhmetro vuelva a entregar una lectura medible. Logrado lo anterior, tendremos dos conjuntos de tres cables, uno por cada bobina. Para encontrar cuál en cada grupo de tres cables es el común, sígase la siguiente secuencia:

-Tómese uno de los dos grupos de tres terminales y elijase entre los tres un cable de "prueba". Mídase la resistencia entre el cable de prueba y los otros dos cables; si los valores de resistencia son aproximadamente iguales, nuestro cable de prueba es el común. Si no fuera así, una de las mediciones debe ser aproximadamente la mitad de la otra; el cable correspondiente a la lectura menor es el común. Sígase el mismo procedimiento para identificar las terminales del otro conjunto.

Una vez que el motor está funcionando, debe checarsé el sentido de giro; si el motor gira en un sentido contrario al que se quiere, se deben intercambiar las terminales A y B, o bien las terminales C Y D, pero no ambas al mismo tiempo, porque entonces el motor seguirá girando en el mismo sentido.

Identificación de motores de 5 cables

Este tipo de motores tienen la misma configuración que los descritos anteriormente, con la diferencia que los dos comunes ya vienen unidos dentro del motor y sólo sale un cable al exterior (figura IV.8). Si no vienen agrupados de alguna forma, debe usarse nuevamente el multímetro en su escala más baja y seguir el siguiente procedimiento para decodificarlos.

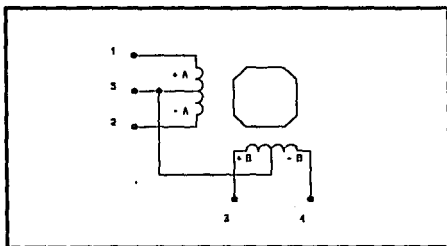


Figura IV.8. Motor de Cinco Cables.

Elijase un cable de prueba y mídase la resistencia entre éste y los otros cuatro cables; si las mediciones son aproximadamente iguales, nuestro cable de prueba es el común, de lo contrario, alguna de las mediciones debe ser aproximadamente la mitad de las demás, siendo el común el cable correspondiente.

Una vez determinado cuál es el común, se debe ahora identificar cuáles

son las bobinas, si tampoco se cuenta con alguna indicación, sígase el siguiente procedimiento.

Conéctense los cuatro cables al azar a las terminales del conector marcadas de 1 a 4 (figura A.8 del apéndice A) y póngase a trabajar al motor. Si el motor únicamente vibra pero no se mueve, intercámbiese los cables B Y C. Si todavía no funciona correctamente intercámbiese ahora los cables B y D. Una de estas combinaciones debe lograr que el motor funcione correctamente. Entonces, debe verificarse que el sentido de giro sea el que se desea; en caso contrario, intercámbiese las terminales A y B.

Capítulo 5

INTERFAZ MICROCONTROLADOR - PC

Una vez que se tienen los datos en la memoria del sistema (memoria RAM), es necesario procesarlos para que al usuario le sea útil la información que contienen. Así mismo, resulta indispensable guardarlos en un medio de almacenamiento permanente para no perder la información al reinicializar al sistema, además de que no es posible mantenerlos por siempre en la memoria pues hay que dejar lugar para nueva información.

Por otro lado, también es necesario tener un medio que permita la comunicación con el sistema para controlarlo y proporcionarle los parámetros con los que debe trabajar y que, además, permita monitorear el correcto funcionamiento del sistema. Para esto, se podría haber generado un programa que, además de cumplir con los requerimientos ya mencionados, se encargara de realizar de alguna manera esas labores, añadiendo el hardware correspondiente

(interfaces, unidades de disco, etc.). Esto, sin duda alguna, es impráctico ya que el costo y el volumen total del sistema se incrementaría.

Un elemento que se ha convertido como estándar en el procesamiento de información y que ha servido como base para el desarrollo de aplicaciones es la computadora personal. De esta forma, surge la conveniencia de establecer un lazo mediante el cual se pueda intercambiar información entre ambos equipos, el que tiene la información y el que nos brinda las herramientas para procesarla de manera más fácil. Gracias a la computadora personal, tenemos acceso inmediato a lenguajes de programación de alto nivel, así como a programas de graficación, de procesamiento de datos, de manejos estadísticos, etc., así como la posibilidad de utilizar periféricos como impresoras, graficadores, monitores, etc. Además, utilizando una computadora personal se tienen medios prácticamente ilimitados para guardar información.

En este capítulo se presenta la forma en la que se estableció la comunicación entre el microcontrolador 80C31 y una computadora personal a través de un puerto RS-232-C. Primeramente, se señalan por separado las características del puerto de comunicaciones en cada dispositivo y luego se presenta la forma en que se interconectaron.

Puerto serie RS-232-C en la PC.

El estándar EIA RS-232-C es una interfaz entre un equipo de terminal de datos (DTE, típicamente una computadora o una terminal) y un equipo de comunicación de datos (DCE, típicamente un Modem) empleando un intercambio

de datos binarios en forma serial. El termino RS-232 es un estándar, el cual establece un conjunto de reglas para el intercambio de datos entre equipos. Estos equipos pueden ser terminales, impresoras, procesadores, computadoras u otros dispositivos que empleen comunicaciones seriales.

Dicho estándar establece las características mecánicas y eléctricas que deben cumplir las señales y los medios físicos de interconexión para establecer una comunicación. Por ejemplo, dicho estándar establece cuáles deben ser las dimensiones y el tipo de los conectores (DB-25, conector de 25 pines o DB-9, conector de 9 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), una velocidad máxima de 20,000 bauds (bits por segundo) 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, pudiéndose utilizar datos de 5, 6, 7 y 8 bits con 1, 1 ½ o 2 bits de paro. Tiene un generador de "baud rate" que permite la operación en velocidades entre 50 y 9600 bps.

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 y
- 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 (3F8 a 3FF para COM1 y 2F8 a 2FF para COM2) y escribiendo los datos de control en ellos.

Se provee una línea de interrupción al sistema (IRQ4 para COM1 e IRQ3 para COM2), la cual se activa alto; para poder hacer uso de ella es necesario programar directamente el registro de control del 8250.

Esta tarjeta tiene una interfase EIA RS-232-C en un conector DB-25 (DB-9 en la AT). Además, se provee una configuración de "lazo de corriente" para ciertos tipos de periféricos (el lazo de corriente o "current loop" es un tipo especial de configuración en la cual los niveles lógicos están determinados por el sentido de la corriente y no por voltaje, lo cual es particularmente importante en algunos medios donde una señal de voltaje puede sufrir atenuaciones). La operación como RS-232 o como lazo de corriente puede seleccionarse por medio de un jumper.

La interfase serie RS-232-C emplea las señales de datos y control que se muestran en la tabla V.1.

Existen tres formas para establecer comunicación: simplex (la comunicación sólo puede ir en un sentido), half duplex (la comunicación puede ir en ambos

DB-25	DB-9	DESIGNACION	FUNCION	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	DSR	→
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 V.1. Señales de la interfase RS-232-C

sentidos pero sólo en uno a la vez) y full duplex (la comunicación puede ir en ambos sentidos al mismo tiempo). Para establecer una comunicación utilizando el puerto serie RS-232-C con comunicación full duplex de la manera más simple se utilizan sólo tres líneas que son: tierra (GND), transmisión de datos (XMIT) y recepción de datos (RCV).

En nuestro caso, la programación y manejo del puerto serie se hizo a través de las librerías que tiene para tal efecto el lenguaje de programación C (lenguaje en el que se hizo la programación de la comunicación entre el microcontrolador y la computadora). Una explicación adicional sobre el programa se presenta en el capítulo 7 y el listado del programa mismo en el apéndice B.3.

Puerto Serie del Microcontrolador 80C31.

El puerto serie de la familia de microcontroladores MCS-51 de Intel es un puerto full duplex, por lo cual puede recibir y transmitir datos al mismo tiempo. El receptor contiene un "buffer" (pequeño espacio de memoria para almacenamiento temporal) 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 al final de la recepción del segundo dato, el primero se perderá).

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

Para el control del puerto serie, el microcontrolador cuenta con el registro SCON, el cual se muestra en la figura V.1.

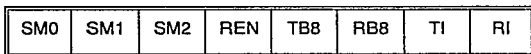


Figura V.1. Registro de Control del Puerto Serie SCON.

Este registro puede ser direccionado por bit; a continuación se explica brevemente la función de cada uno:

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 se recibe 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 lo 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 recibido el bit de paro en los otros modos. Debe ser limpiado por software.

Los cuatro modos en los que puede ser configurado el puerto serie se resumen en la tabla V.2, y son los siguientes :

MODO 0	Los datos de recepción y transmisión son enviados mediante 8 corrimientos. El baud rate (frecuencia de
--------	--

SM0	SM1	MODO	ESPECIFICACION	BAUD RATE
0	0	0	Registro de corrimiento	Frec. del oscilador/12
0	1	1	UART 8 bits	Variable
1	0	2	UART 9 bits	$F_{osc}/32$ ó $/64$
1	1	3	UART 9 bits	Variable

Tabla V.2. Modos de operación del puerto serie.

transmisión-recepción) se encuentra fija a 1/12 de la frecuencia del oscilador.

- 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 (cero lógico), 8 bits de datos y un bit de paro (uno lógico). 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, 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. 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, solo que aquí el baud rate es variable y para generarlo 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 procesador sin que los demás reciban también la información.

En nuestro caso, dado que no se piensan establecer comunicaciones multiprocesador y se quiere tener un baud rate variable, se decidió programar 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 al Timer 1; en este caso, la velocidad de transmisión-recepción queda determinada por los sobreflujos (overflow) en dicho temporizador tal como se muestra :

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

donde: SMOD es un bit localizado en el registro PCON (registro de control de potencia, PCON.7), el cual permite doblar la frecuencia del baud rate.

Para esta aplicación la interrupción del Timer 1 debe estar deshabilitada. El Timer 1 por sí mismo puede estar configurado para trabajar ya sea contador o como temporizador pero, para hacerlo trabajar como generador de baud rate, debe funcionar como temporizador (esto se logra colocando 0010b 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 V.3 se muestran algunos valores de baud rate usados comúnmente y la forma como pueden obtenerse a partir del Timer 1.

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 V.3. Valores comunes de baud rate.

El oscilador que se utilizó para el 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 utilizan en otros equipos como son: 1200, 2400, 4800, 9600 y 19200 bauds. En nuestro caso, inicialmente se pensó utilizar una frecuencia de transmisión-recepción de 9600 bauds; sin

embargo, por seguridad, se fijó finalmente el baud rate en 2400 bauds, ya que al hacer la conexión a computadoras relativamente lentas se perdían bits. (Esto podría haberse resuelto programando las interrupciones en la computadora personal, pero, como no existen limitantes de tiempo para la transmisión, se dejó el valor mencionado.)

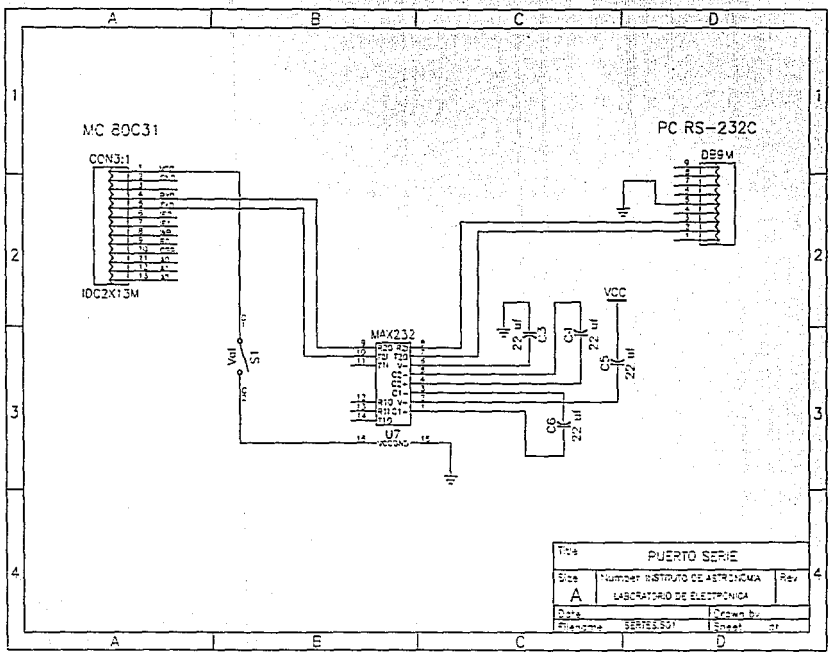
De esta forma nuestra comunicación serie quedó configurada de la siguiente manera :

- Frecuencia de transmisión	2400 BPS
- Número de bits por carácter	8 BITS
- Bits de inicio	1 BIT
- Bits de paro	1 BIT
- Sin paridad	

Interconexión.

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. Este circuito contiene dos emisores que convierten los niveles de entrada TTL/CMOS (0 a 5 volts) a niveles de salida RS-232-C (± 10 volts) y dos receptores que efectúan la operación inversa. La ventaja de este circuito es que para su funcionamiento requiere sólo de una fuente de 5 volts, ya que internamente contiene dos convertidores de voltaje CD/CD que sólo utilizan cuatro capacitores adicionales (marcados como C3, C4, C5 y C6 en la figura V.2).

Dado que el MAX-232 consume una cantidad considerable de corriente (aproximadamente 8 mA) y que la comunicación serie entre microcontrolador y computadora se da a intervalos de tiempo muy grandes (semanas), este circuito únicamente permanecerá encendido cuando se necesite establecer comunicación, lo cual se logra cerrando el switch S1 (figura V.2) para polarizar en ese instante al circuito, debiéndose tener el cuidado de abrirlo al terminar la comunicación para evitar un consumo innecesario de energía. El conector que aparece indicado como CON3:1 en la figura V.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.



Título		
PUERTO SERIE		
Site	Numero	Rev
A	INSTITUTO DE ASTRONOMIA	
	LABORATORIO DE ELECTRONICA	
Date	Dibujado by	
Programa	BERTELSSO	Sheet

Figura V.2. Circuito de Interconexión del Puerto Serie

Capítulo 6

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

SUMINISTRO DE ENERGIA

Las condiciones a las cuales debe sujetarse el suministro de energía de nuestro sistema son las siguientes:

- 1.- Dado que este sistema va a trabajar en lugares apartados del tendido eléctrico, será necesario que cuente con un sistema de suministro de energía autónomo.
- 2.- Dicho sistema de suministro le debe de permitir al sistema trabajar por largos periodos de tiempo (aproximadamente una semana).
- 3.- El suministro de energía debe funcionar sin presentar transitorios en la alimentación del sistema para evitar problemas en el funcionamiento del sistema.

Para que el sistema funcione de manera autónoma, es necesario que cuente con una o varias baterías que le permitan funcionar de manera independiente. Ahora bien, si sólo se ponen baterías, se tendrá el inconveniente de tener que reemplazarlas o recargarlas cada cierto tiempo. Dicho problema se puede solucionar si se tiene un sistema de energía autónomo que recargue las baterías conforme vayan consumiendo su carga sin necesidad de que intervenga un operador.

Hablar de una fuente de energía autónoma eficiente hace apenas algunos años hubiera sido muy difícil, pero, en nuestros días, la creación de nuevos materiales y el desarrollo de nuevas tecnologías han puesto a nuestro alcance la energía del sol, de las mareas, del viento, de los yacimientos geotérmicos, etc. Dados los requerimientos de energía del sistema y las condiciones geográficas del lugar donde se va a instalar, el Observatorio Astronómico Nacional de San Pedro Mártir, que es un lugar donde la mayor parte del año se tiene muy poca humedad y nubosidad, hacen que resulte muy costoso la utilización de la energía solar. Además, el uso de la energía solar es el que se implementa en menor tiempo y que requiere menor infraestructura para su operación.

ENERGIA SOLAR.

La electricidad solar es el resultado de la conversión directa de la luz solar en electricidad. Para esto, la energía solar aprovecha dos de los recursos naturales más abundantes en la tierra: el sol y la arena de la cual se extrae el silicio con el que se fabrican las celdas fotovoltaicas.

Una celda fotovoltaica está compuesta normalmente por una unión p-n de silicio, la cual se representa de manera esquemática en la figura VI.1. En este caso, la conexión metálica al material tipo p y el grosor de la misma región son tales que aseguran que la mayor parte de los fotones de energía luminosa que inciden en la celda alcancen la unión p-n. Un fotón de este tipo en esta región puede chocar con un electrón de valencia en el material tipo n e imprimirle suficiente energía para que abandone al átomo padre. De esta forma se logra la generación de electrones libres que son atraídos por los iones positivos del material tipo p. Estos nuevos electrones pasan al material tipo p donde se mueven con bastante libertad, estableciéndose una diferencia de potencial entre ambos materiales (figura VI.1).

Las celdas fotovoltaicas se unen entre sí para formar paneles o módulos. Los módulos se pueden interconectar unos con otros hasta formar lo que se llama un banco. En un principio, el uso de celdas fotovoltaicas para generar electricidad sólo se aplicaba en los satélites y naves espaciales y, por mucho tiempo, se le consideró como una tecnología muy sofisticada con aplicaciones puramente experimentales y de muy elevado costo. Actualmente, existen en el mundo miles de instalaciones que utilizan como fuente de energía al sol y que suministran millones de watts de electricidad al año. El uso de la energía solar ha cobrado factibilidad económica y sus aplicaciones son prácticamente ilimitadas.

Un sistema sencillo de aprovechamiento de la energía solar es aquél que utiliza la energía del módulo tal y como se está generando, sin almacenarse y sin cambiar de forma (corriente continua). Sin embargo, para que un sistema que utilice la energía solar funcione de manera continua todo el tiempo, es necesario

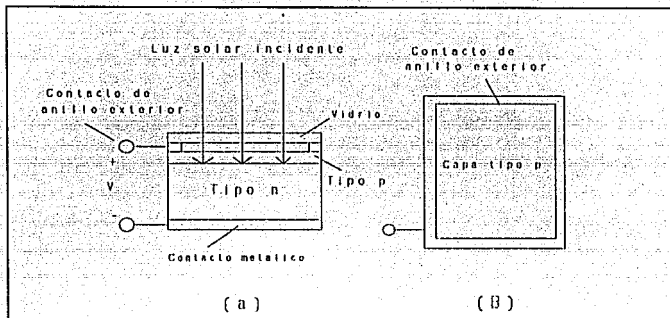


Figura VI.1. Celda Solar. (a) Sección transversal; (b) Vista superior

que, aparte del panel o bancos de paneles, incluya un sistema de control de carga, baterías de almacenamiento y un inversor (si se desea transformar la energía en corriente alterna).

COLOCACION DEL SISTEMA ELECTRICO SOLAR.

Para que el módulo solar pueda producir la mayor cantidad de energía, es necesario que permanezca expuesto a los rayos del sol en forma directa durante el mayor tiempo posible. La orientación del módulo solar depende entonces de la latitud del lugar donde se encuentre (Figura VI.2), por lo que en el hemisferio norte, los módulos deben estar orientados al sur, mientras que en el hemisferio sur lo deben hacer al norte, procurando que la luz del sol incida lo más perpendicularmente posible al módulo.

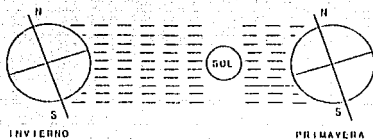


Figura VI.2. Órbita de la tierra.

Angulo de inclinación.

El ángulo de inclinación es el ángulo entre el plano del módulo y la línea del horizonte. La magnitud de dicho ángulo dependerá de la latitud del lugar: a menor latitud se necesitará un ángulo de inclinación menor, mientras que a lugares más separados del ecuador les corresponderá un ángulo de inclinación mayor. En la tabla VI.1 se muestra una manera aproximada pero práctica para determinar el ángulo de inclinación.

De la tabla VI.1, y conociendo que la latitud del Distrito Federal y del Observatorio Astronómico Nacional de San Pedro Mártir son 19° y 31° respectivamente, se encuentra que un módulo solar colocado en estos lugares tendría un ángulo de inclinación aproximado de 19° y 41° .

Debido al movimiento de translación de la tierra, optimizar la colocación del módulo solar en una estación del año hace que no reciba la misma cantidad de luz en otras estaciones, por lo cual se debe de tomar la precaución de colocarlo ya sea en una posición intermedia que le permita captar luz todo el año o bien

Latitud en Grados	Angulo de Inclinación en Grados
0 a 15	15
15 a 25	Angulo igual a latitud
25 a 30	Latitud + 5
30 a 35	Latitud + 10
35 a 40	Latitud + 15
+ 40	Latitud + 20

Tabla VI.1.

optimizarlo para que capte la mayor cantidad de luz en una estación y reorientarlo cada cierto tiempo.

Una alternativa para la colocación del módulo solar es hacerla sobre una estructura móvil que siga el paso del sol durante su recorrido, una especie de "rastreador solar". Los paneles colocados en un rastreador de este tipo obtienen hasta un 50% más de energía en climas cálidos y hasta un 30% más de energía en climas templados, en comparación con los que son colocados sobre una estructura fija. Sin embargo, este tipo de rastreadores sólo resultan económicamente factibles para sistemas grandes, ya que en sistemas pequeños, el costo del módulo solar más el del sistema rastreador resulta mayor que el costo de un módulo solar más grande y que proporcionaría la misma cantidad de energía que un módulo pequeño con rastreador.

Otro factor muy importante en la colocación de los módulos solares es

evitar que a su alrededor existan construcciones, árboles o cables que en algún momento lleguen a obstruir la luz del sol. Por citar un ejemplo, la sombra de un cable puede reducir hasta en un 20 % la eficiencia de un módulo.

Elección del módulo solar.

Los dos factores más importantes en la elección de un módulo solar son el voltaje y corriente nominales de operación. Para determinarlos, debe considerarse a qué voltaje trabajan los componentes que integran el sistema y si se tiene contemplado que el módulo solar recargue o no a una batería. En nuestro caso, la totalidad de los componentes trabajan a un voltaje de 5 volts y se utilizó una batería de 6 volts. La mayoría de los módulos solares comerciales vienen en arreglos de 6 y 12 volts, sin embargo, estos voltajes se obtienen sólo en condiciones óptimas de radiación solar y disminuyen conforme la intensidad de la misma (ver figura VIII.2). Un módulo solar de 6 volts hace muy comprometida una regulación adecuada a 5 volts y prácticamente elimina la posibilidad de recargar a una batería de 6 volts. Por esta razón se optó por uno de 12 volts.

Para nuestro sistema, la corriente que consume el circuito cuando se encuentra en estado de espera es menor de 10 mA, mientras que cuando se encuentre trabajando es de aproximadamente 350 mA. Si se considera que por cada hora el circuito está aproximadamente 58 minutos en estado de espera y 2 trabajando, se tiene un consumo promedio de 21 mA-hora. Un módulo solar de 12 volts a 5 Watts entrega nominalmente una corriente aproximada de 0.3 Amperes, mientras que uno de 10 watts entrega aproximadamente 0.6 Amperes. Se decidió elegir uno de 10 watts para evitar el riesgo de que en días de baja

insolación no se cuente con la energía suficiente para activar el sistema, además de que en un momento dado permitiría agregarle fácilmente elementos extras. Además, entre mayor sea la corriente que el módulo solar sea capaz de entregar, menor es el tiempo que requiere la batería para recargarse.

El módulo solar que se utilizó en nuestro sistema es un MSX-10 de SOLAREX cuyos parámetros eléctricos se muestran a continuación:

CARACTERISTICAS ELECTRICAS.

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
Coefficiente de temperatura de corriente	0.7 mA/° C
Coefficiente de temperatura de voltaje	-72 mV/° C
Efecto aproximado de la temperatura sobre la potencia	-0.37 mW/° C

BATERIAS.

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.

Baterías primarias.

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 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 conforme al período de descarga), tienen un bajo costo y se presentan en una gran cantidad de tamaños y capacidades.

Alcalino-Manganeso.

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 el de las anteriores. De ellas no existe una 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-Manganeso.

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.

Baterías secundarias.

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. Como son este tipo de baterías las que nos ocupan, vamos a hacer una comparación un poco más detallada entre ellas.

Acido-Plomo.

Este tipo de baterías tienen una baja densidad de energía y generalmente

se empaacan en tres o seis celdas en serie para obtener seis o doce volts y para grandes capacidades 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 pueden entregar grandes corrientes y su curva de descarga es en pendiente (el voltaje disminuye conforme su período de descarga), lo cuál 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 un 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 de tenerse el cuidado de limitar la corriente de carga durante la parte final para evitar que la temperatura destruya las celdas. Si se carga a las celdas a una razón por debajo del 10 %, la capacidad de proporcionar corriente 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, esta responde no al nivel después de haber sido recargada, sino al nivel anterior. Su costo es mayor que las de ácido-plomo pero tienen una mejor retención de carga y su ciclo de vida es mayor.

Su curva de descarga es plana, lo cual no hace tan inmediato detectar si está baja o no.

ELECCION DE LA BATERIA.

Dado que no está considerado que el sistema sea portable, el tamaño y peso de la batería no son una restricción. Por otro lado, en comparación con las baterías de ácido-plomo, las de níquel-cadmio requieren más cuidados en el proceso de carga y descarga, necesitan más mantenimiento, son de un costo mayor y además presentan el efecto de "memoria". Por lo anterior se eligió una batería de ácido-plomo.

La mayoría de las baterías recargables de este tipo vienen en voltajes de 1.5, 6 y 12 volts y en una gran variedad de capacidades que van desde sólo algunos miliamperes-hora a varios cientos de amperes-hora. En nuestro caso el modulo solar que se piensa utilizar entrega 12 volts, por lo que elegir una batería de ácido-plomo de 12 volts imposibilita cargarla de manera adecuada; por esto se utilizó una batería de 6 volts. Por lo que respecta a la capacidad de la batería, se debe de tener contemplado cuál es el consumo promedio de corriente del sistema y cuál es la autonomía que se le quiere dar al sistema para que funcione por sus propios medios.

Dado que el consumo promedio se estima en 21 mA-hora y se tiene contemplado dar al sistema una autonomía aproximada de una semana sin que aparezca el sol, hace necesario utilizar una batería con una capacidad cercana a los 10 amperes-hora.

CIRCUITO DE POTENCIA.

El circuito de potencia debe realizar varias tareas al mismo tiempo. Por un lado, debe verificar continuamente el voltaje en el panel solar y en la batería para decidir quién suministra la energía en determinado momento. Cuando haya que hacer un cambio entre una fuente y otra, debe realizarlo lo suficientemente rápido para que el sistema nunca se quede sin energía. Al mismo tiempo, si así lo requiere, el módulo solar debe recargar a la batería sin llegar a sobrecargarla. Para lograr lo anterior, se diseñó un circuito que consta básicamente de tres partes y cuyo diagrama de bloques se presenta en la figura IV.4, cuyos módulos principales son :

- 1.- Control de alimentación del sistema.
- 2.- Cargador de batería
- 3.- Sensor de batería baja

1.- Control de alimentación del sistema.

Cuando es de día y el sol está iluminando al módulo solar, éste suministrará el voltaje y la corriente necesarias para la operación del sistema y la carga de la batería. En estas condiciones, el capacitor C3 (ver figura VI.5), se cargará a un voltaje que será la diferencia de potencial entre el voltaje de salida del regulador programable (LM 317) y el voltaje de CD en R4 establecido por la batería de 6 V, con el fin de evitar que el SCR se dispare en falso por transitorios. El cátodo del SCR tiene un voltaje mayor que el del ánodo y el voltaje de la compuerta al cátodo es negativo, con lo cual se garantiza que el SCR no está en conducción. Cuando al ponerse el sol, por razones atmosféricas o de otra índole el suministro

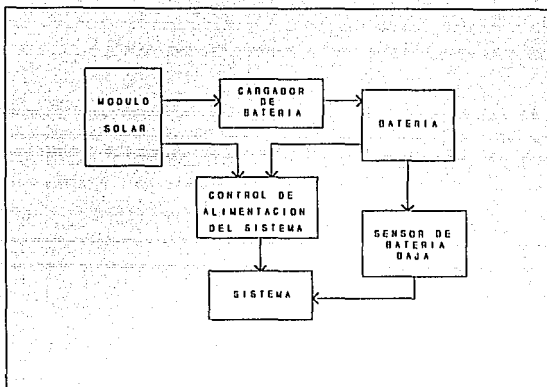


Figura VI.4. Diagrama de Bloques del Circuito de Suministro de Energía.

de energía del módulo falle, el potencial en el cátodo del SCR disminuirá hasta hacerse más negativo que el del ánodo. Al mismo tiempo, el voltaje de la compuerta al cátodo en el SCR se vuelve positivo y suficientemente grande como para encender al SCR. Una vez en conducción, la batería suministrará la energía que requiere el sistema. Restablecida la energía del módulo solar, el capacitor C3 se recargará y volverá a poner en estado de no conducción al SCR como se refirió al principio.

2.- Cargador de batería.

Para recargar la batería, se implementó un circuito que aprovecha una de las principales características de las baterías de ácido-plomo, su curva de descarga, ya que conforme éstas se van descargando, el voltaje de salida también disminuye, permitiendo determinar de manera inmediata su estado. Para determinar si la batería necesita recargarse o no, se utiliza al diodo D2 (figura VI.5), el cual entra en conducción sólo cuando su ánodo es más positivo que su cátodo, esto permite controlar mediante el regulador de voltaje programable (LM 317, U1 de la figura VI.5) que la carga de la batería sólo se dé hasta un voltaje definido por el fabricante evitando una sobrecarga en la misma.

3.-Sensor de batería baja.

Podría llegar a darse el caso de que por las condiciones atmosféricas o por alguna falla el módulo solar no entregara energía durante varios días; en tal situación, el suministro de energía dependería totalmente de la batería, pudiendo ésta descargarse originando que se perdiera la información contenida en la memoria RAM. Para atenuar esta posibilidad, se tiene un comparador de voltaje (LM 339, figura VI.5) entre la batería y un voltaje de referencia, el cual permite al microcontrolador detectar si el voltaje en la batería ha disminuido por debajo de un cierto nivel crítico; en tal caso, el sistema se pone a trabajar en estado de bajo consumo indefinidamente hasta que el módulo solar recargue nuevamente la batería.

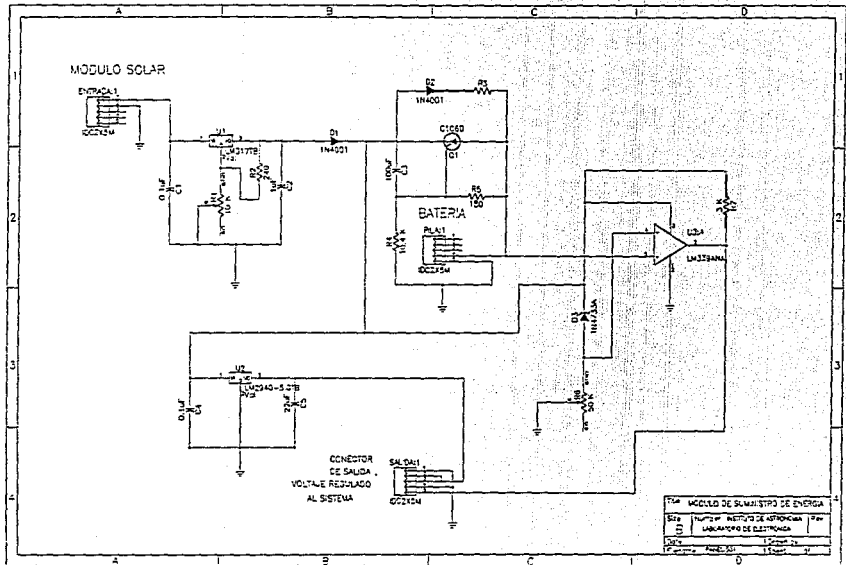


Figura VII.5. Circuito del Módulo de Suministro de Energía.

Capítulo 7

INTEGRACION DEL SISTEMA

Una vez que se tienen todos los componentes del sistema, los cuales fueron desarrollados por separado, la siguiente acción es conjuntar todos estos elementos para conformar al sistema, el cual sea capaz de llevar a cabo todas las actividades para las que fue diseñado. El hecho de integrar al sistema no consiste simplemente en unir las partes e interconectarlas, sino que también se deben realizar todas aquellas actividades que tengan como fin hacer operar al conjunto de partes como un solo elemento. Esto implica que la integración debe constar de tres etapas :

- la interconexión entre tarjetas,
- la coordinación entre sus funciones y
- el establecimiento de un protocolo de comunicación con el mundo exterior.

Para cubrir la primera etapa, se debe considerar que el diseño de cada una

de las tarjetas donde estará cada módulo debe ser uniforme, tanto en dimensiones como en tipo y número de conectores, de tal manera que el hecho de montarlos en un soporte y conectarlos no represente ningún tipo de trabajo adicional. En este sentido, se estableció que las dimensiones de las tarjetas fueran de 4.5 x 6 pulgadas, siguiendo el estándar comercial de MICROMINT, las cuales pueden ser montadas en uno de los soportes utilizados para este estándar comercial. Además, se estableció que las conexiones entre las tarjetas se realizaran a través de cable plano con conectores IDC, para facilitar la conexión y desconexión de las tarjetas, dándole flexibilidad al sistema modular. En el apéndice A se muestran los diseños de los circuitos impresos de las cuatro tarjetas que se desarrollaron para formar al sistema.

Los primeros corresponden a la unidad de procesamiento central (Fig. A.1, A.2 y A.3 del apéndice A), la cual contiene la arquitectura básica constituida por el microcontrolador, las memorias y la decodificación de memoria y puertos.

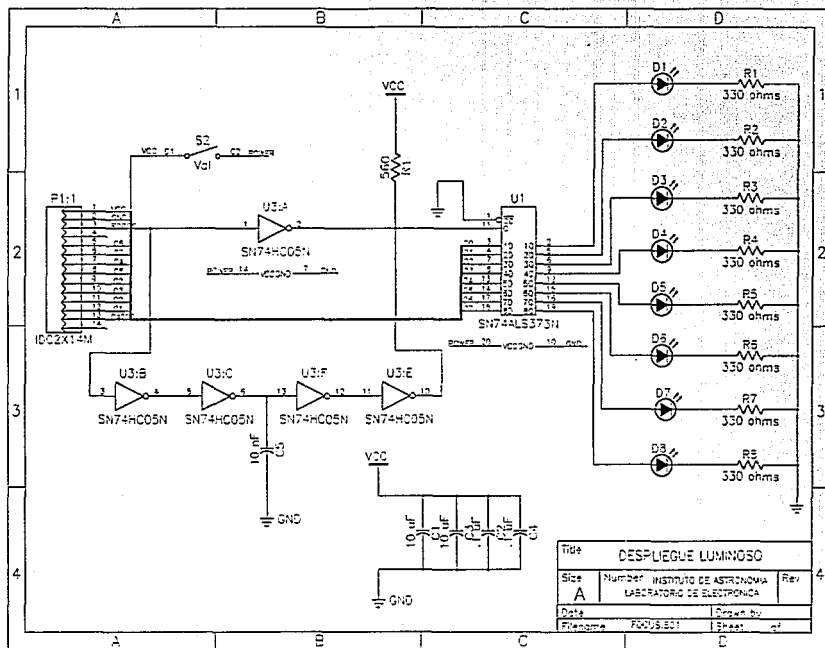
Las siguientes tres ilustraciones (Fig. A.4, A.5 y A.6 del apéndice A) corresponden a la tarjeta que contiene al módulo del convertidor analógico/digital y al del puerto de comunicación serie. En este caso se decidió incluir estos dos módulos en una sola tarjeta debido a que la circuitería que forman a estos dos módulos es de dimensiones reducidas y el hecho de utilizar una tarjeta para cada módulo hubiera representado un gasto innecesario de tiempo, espacio y dinero, especialmente si se considera que estos dos módulos así como el del microcontrolador son básicos y siempre van a estar presentes en el sistema sin importar cuántas modificaciones se le deseen hacer.

La tercer tarjeta que se diseñó fue la correspondiente al módulo de posicionamiento del espejo del radiómetro (Fig. A.7 y A.8 del apéndice A), constituida por los elementos que generan las señales de control para el motor de pasos.

Finalmente, la cuarta tarjeta fue la correspondiente al módulo de suministro de energía al sistema, la cual contiene al recargador de la batería y al conmutador entre el panel solar y la batería (Fig. A.9 y A.10 del apéndice A).

Adicionalmente a las cuatro tarjetas que se realizaron para implantar los diseños de cada módulo funcional, se diseñó una pequeña tarjeta adicional, la que tiene como finalidad proporcionar un medio de despliegue para el operador del sistema por medio del cual pueda conocer fácil y rápidamente las condiciones básicas 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. Esta señal es enviada 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 sólo esporádicamente, no tiene caso que esté consumiendo energía de manera innecesaria, por lo que se le conectó un interruptor normalmente abierto con el cuál se polarizan estos elementos. De esta manera, los indicadores luminosos sólo estarán encendidos cuando se desee conocer el estado del sistema. El diagrama de este circuito se muestra en la figura VII.1 y su circuito impreso en el apéndice A (Fig. A.11 y A.12).

Figura VII.1. Circuito de Despliegue Luminoso



Una vez que se tienen montadas todas las tarjetas que forman al sistema y están interconectadas entre sí, es necesario que todas ellas operen de manera coordinada, lo cual se logra a través del programa de control del sistema.

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

- inicialización del sistema,
- atención de interrupciones,
- lectura e interpretación de comandos,
- realización de funciones periódicas y
- rutinas de funciones específicas.

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

Las interrupciones que se le hacen al sistema pueden provenir de cuatro fuentes diferentes: dos interrupciones externas, una interrupción producida por uno de los temporizadores (timers) y una interrupción producida por el puerto serie, tanto por transmisión como por recepción. Las interrupciones externas fueron utilizadas para detectar el estado de la batería y para detectar cuándo el convertidor A/D termina de hacer una 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 es la que permite el control y monitoreo del sistema. Para este efecto, el sistema cuenta con un conjunto de instrucciones que se pueden agrupar en cuatro bloques de acuerdo a la función que realizan, los cuales son :

- inicialización de parámetros,
- transmisión de datos,
- conversión A/D y
- manejo del motor de pasos.

En el apéndice B.2 se muestra la relación completa de los comandos que reconoce el sistema.

Por otra parte, 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 la cual el consumo de corriente se reduce a aproximadamente el 15% del consumo normal del dispositivo. Estando en este modo, toda actividad del microcontrolador se ve suspendida, a excepción de la atención a interrupciones y a los timers/contadores, y sólo sale de él hasta que se presenta alguna 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 se 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 del sistema, lo cual ocurre 15 veces por segundo, regresando al siguiente ciclo tras atender a esta interrupción.

Finalmente, el programa cuenta con una serie de rutinas que realizan las diferentes acciones que puede ejecutar el sistema como consecuencia de algún comando que se envíe o al realizar alguna actividad periódica.

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

El tercer punto a cuidar en la integración del sistema es lo relativo a la comunicación con el mundo exterior. Este punto es importante debido a que si no hay un enlace adecuado con el exterior, que en este caso está representado por una computadora personal, no se tendría un medio apropiado que facilite 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 ya fueron establecidos en el capítulo 5. 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 los elementos de 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 terminal tonta, 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 envían, especialmente los que involucran recepción de datos, con el fin de preparar lo necesario para realizar esta recepción. Por ejemplo, para recibir en la computadora personal los datos adquiridos por el sistema, se abre un archivo y a él se envían los datos que se reciben por el puerto serie en lugar de mostrarlos en pantalla. El listado completo de este programa se muestra en el apéndice B.3.

Una vez que se tienen los datos de las lecturas almacenados en la computadora personal, es conveniente contar con los elementos para interpretarlos, ya que 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 completa el vínculo entre el funcionamiento del sistema y la obtención de resultados útiles. En el apéndice B.4 se puede encontrar el listado completo de este programa y en el capítulo 8 se muestra un ejemplo de los listados obtenidos a través de este programa a partir de lecturas realizadas por el sistema.

Capítulo 8

PRUEBAS Y RESULTADOS

Conforme se fueron desarrollando cada uno de los módulos funcionales del sistema, cada uno se fue sometiendo a diversas pruebas de funcionamiento, por medio de las cuales se buscaba que cada una de estas partes se apegara a las especificaciones y se comportara adecuadamente bajo condiciones críticas. Para tal efecto se aplicaron las siguientes pruebas a cada uno de los subsistemas.

Unidad de Procesamiento Central. Del sistema básico era necesario conocer en qué intervalo de voltajes podía operar debido a que el suministro de energía podía variar, observándose que el sistema se mantenía hasta con 3.45 V. En el consumo de energía se encontró que el sistema consume 2.73 mA en estado de bajo consumo y 13.97 cuando está en estado activo, obteniéndose que su consumo promedio durante la operación normal es de 2.85 mA, debido a que el sistema pasa la mayor parte del tiempo en estado de bajo consumo.

Unidad de Digitalización de Datos. Para determinar la precisión del convertidor A/D se tomaron lecturas del sensor de temperatura, observando que los datos obtenidos se encontraban dentro del rango de tolerancia especificado por el fabricante, siempre y cuando se tuviera el cuidado de hacer una buena calibración de los dispositivos.

En el multiplexado de las señales se tuvieron problemas en el direccionamiento de la señal de interés, lo cual se solucionó colocando resistencias de "pull-down" en las líneas de control marcadas como A,B y C en el circuito U2 de la figura III.3.

El consumo de energía de éste módulo cuando se encuentra apagado el convertidor y el circuito de interfaz es de 0.4 mA; cuando se conecta el circuito interfaz para realizar una comunicación serial el consumo del módulo es de 3.82 mA y cuando se encuentra encendido todo el módulo el consumo se incrementa a 34 mA.

Módulo de Suministro de Energía. Este módulo por sí solo consume 2 mA cuando el suministro de energía es proporcionado por la batería.

Para determinar la energía que puede proporcionar el panel solar se realizaron dos pruebas, una dejándolo en vacío y otra con una carga de 30 ohms. De la primera prueba observamos que se cuenta aproximadamente con 13.5 horas de radiación solar, como se observa en la gráfica VIII.1; sin embargo, al colocarle una carga al panel durante la segunda prueba, se encontró que solamente se cuenta aproximadamente con 8 horas durante las cuales la energía

suministrada es aprovechable, como se observa en la gráfica VIII.2, debido a que durante las primeras horas del día y las últimas de la tarde la magnitud de la radiación solar así como el ángulo de incidencia de ésta hacen que la eficiencia del panel disminuya considerablemente.

Manejador del Motor de Pasos. Este módulo consume 0.6 mA cuando el manejador y el motor se encuentran apagados y 320 mA cuando se enciende el motor.

Realizando pruebas de posicionamiento del motor se encontró que al encender el manejador el rotor variaba ligeramente su posición, por lo cual se decidió que para tener un buen posicionamiento del motor era necesario buscar la referencia al inicio de cada movimiento.

La velocidad del motor se fijó en 15 pasos por segundo, ya que si se incrementaba la velocidad se corre el riesgo de perder pasos al momento del arranque, y si se disminuye la velocidad, aumenta el tiempo que tarda en llegar a una posición incrementándose el consumo de energía. Otra manera en la que pudo haber sido solucionado este problema es generando una rampa de aceleración para arrancar el motor, sin embargo, el realizarlo habría hecho más compleja la elaboración del programa de control del sistema.

Comunicación Serial. Para determinar la velocidad de transmisión se realizaron pruebas operando a 9600 bauds, pero se observó que ocasionalmente se llegaban a perder datos principalmente en máquinas lentas, por lo cual por seguridad, se fijó una velocidad de transmisión en 2400 bauds.

Conforme se fue comprobando el funcionamiento de cada módulo, se iban integrando para formar poco a poco al sistema, haciéndose pruebas de acoplamiento para que ninguna parte causara problemas, hasta que se logró tener al sistema operando en conjunto. Ya teniendo al sistema funcionando se le sometió a un período de pruebas en el que se simularon las condiciones en las que va operar, considerando las condiciones normales y las extremas, de lo cual se obtuvieron los siguientes resultados :

Condiciones Normales. Cuando el sistema realiza un ciclo de lectura, el cual tiene una duración de 21 segundos, tiene un consumo de corriente de 350 mA, realizando uno de estos ciclos cada media hora, de acuerdo a condiciones de operación planteadas, permaneciendo el resto del tiempo en estado de espera, teniéndose en él un consumo de 5.43 mA. De este modo, se tiene que el consumo promedio del sistema es de 9.45 mA. Por otra parte, en la gráfica VIII.3, donde se muestra la curva del módulo solar operando con el sistema, se observa que el panel es capaz de suministrar energía y recargar la batería durante aproximadamente 10.5 horas al día, con lo que de acuerdo a la capacidad del panel, que es de 600 mA, resulta que la energía que puede proporcionar excede a la demanda del sistema, por lo que es capaz de mantenerlo indefinidamente.

En lo relativo a la capacidad de almacenamiento de datos del sistema, operando con la periodicidad establecida, se irá llenando la memoria a una razón de 56 bytes/hora, por lo que tendremos una capacidad para tomar lecturas durante 1170 horas, lo que representa a poco más de 48.7 días, lo cual rebasa considerablemente a los requerimientos originales.

Condiciones Extremas. Las condiciones extremas que pudieran poner en riesgo la operación del sistema serían consecuencia de una falla en la alimentación del sistema, ya que mientras que haya energía en éste, seguirá operando manteniendo la información recabada. Los problemas que se pueden presentar en este sentido están relacionadas con fallas en el suministro de energía por parte del módulo solar. Uno de estos casos se daría cuando por alguna causa se suspendiera por un período prolongado la insolación al módulo imposibilitándolo para suministrar energía al sistema. En este caso, la batería, estando cargada, mantiene operando normalmente al sistema por cierto tiempo (este tiempo depende del nivel de ajuste en el detector de batería baja) hasta el momento en el que el sistema detecta batería baja y suspende toda actividad, manteniéndose así hasta que se normaliza el nivel de la batería y regresa al estado de operación. Para las pruebas realizadas se consideró a 5.5 V como un voltaje de batería baja. En estas condiciones el sistema se mantuvo operando por 73 horas (poco más de 3 días) antes de entrar al estado de batería baja. Si estas condiciones prevalecen por más tiempo, llega un momento en el que el sistema ya no se puede mantener operando. Para esta prueba el sistema se mantuvo así por 32 horas más (1.25 días) hasta que el voltaje disminuyó por debajo del nivel mínimo de operación. No hay que perder de vista el hecho de que estos tiempos dependen del nivel de ajuste del detector, el cual, si se eleva, disminuye el tiempo de actividad y aumenta el de espera producido por el bajo voltaje de la batería; y sucederá lo contrario si este nivel se disminuye. Para compensar la proporción del tiempo activo respecto al de inactividad habría que aumentar el voltaje de referencia, ya que se observó que al llegar a 5.2 volts en la batería, el voltaje de esta cae abruptamente.

En la tabla VIII.1 se muestra un listado con resultados obtenidos de lecturas realizadas por el sistema una vez que han sido procesadas por el programa que le da formato a los resultados. En este listado se indica cuál fue la fecha que se tomó como referencia en la realización de las lecturas así como 14 columnas con la siguiente información :

- Número de días transcurridos a partir de la fecha de referencia.
- Hora en que fue realizada la lectura.
- Estado del sistema al realizar la lectura. Este se presenta como un número el cual al expresarlo en binario, cada bit representa lo siguiente :

bit 0 : Sistema encendido

bit 1 : Batería baja

bit 2 : Sistema trabajando en conversión automática

bit 4 : Memoria llena

Los cuatro bits restantes están disponibles para futuras aplicaciones. Los datos contenidos en estos bits son los mismos que se muestran en el despliegue luminoso durante la operación del sistema.

- Temperatura interior del sistema.
- Temperatura exterior al sistema (temperatura ambiente).
- Lectura de la referencia del radiómetro.
- Lecturas del radiómetro a diferentes ángulos de inclinación (8 columnas).

Adicionalmente, en el caso en que los datos interpretados que correspondan a un mismo ciclo de lectura por alguna causa no estén completos (lo cuál se determina en base al carácter de separación), ya sea por problemas del sistema (como en el caso de batería baja, por ejemplo) o por pérdida de información al momento de transferir los datos hacia la computadora, se pone una

marca con asteriscos después de la última columna para indicar que los datos presentados en ese renglón pueden ser incorrectos y deben ser tomados con reservas.



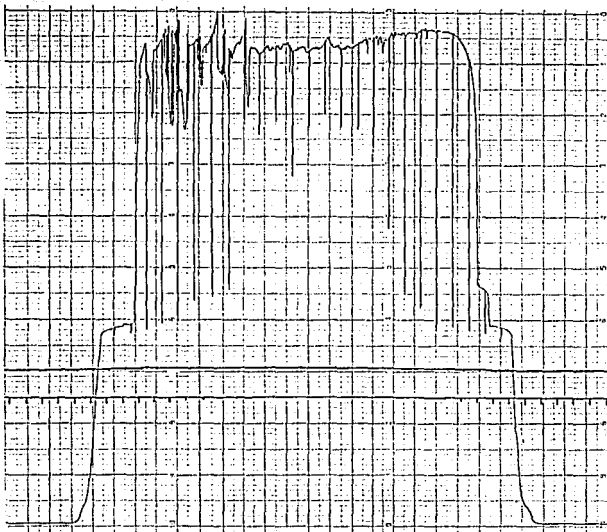
Escala eje vertical, 2 V/cuadro.
Escala eje horizontal, 40 min/cuadro.

Gráfica VIII.1. Panel Solar en Vacío.



Escala eje vertical, 2 V/cuadro.
Escala eje horizontal, 40 min/cuadro.

Gráfica VIII.2. Panel Solar con una Carga de 30Ω .



Escala eje vertical, 2 V/cuadro.
Escala eje horizontal, 40 min/cuadro.

Gráfica VIII.3. Panel Solar (superior), Batería (medio), Voltaje Regulado (inferior).

Capítulo 9

CONCLUSIONES

La meta que se planteó desde un principio era desarrollar un sistema que cumpliera con dos funciones básicas : controlar el posicionamiento del espejo de un radiómetro y tomar lecturas del mismo, digitalizándolas y almacenándolas. Dadas las condiciones del sitio donde se planea colocar al sistema surgieron otras necesidades, siendo relevante el hecho de que el sistema pudiera operar de manera autónoma, especialmente en lo relativo al suministro de energía.

El sistema que se desarrolló cumple con estas funciones satisfactoriamente.

El posicionamiento del espejo del radiómetro, al realizarlo con el motor de pasos, se logró que se pudiera hacer las veces que fuera necesario y con la precisión suficiente que se requiere para esta aplicación. Si para otra aplicación se necesitara mejorar la precisión en el posicionamiento del motor bastaría con

cambiarlo por uno con un mayor número de pasos por vuelta y su velocidad puede ser controlada por software, así como el par del motor se puede ajustar variando el valor de la resistencia que limita la corriente en los embobinados del motor.

El sistema es capaz de tomar lecturas de ocho fuentes distintas, digitalizarlas y almacenarlas, con lo que pudimos ampliar las funciones del sistema, como lo fue el leer temperaturas, superando las expectativas iniciales. Al momento de llevar a cabo las pruebas finales del sistema, el radiómetro que se le piensa conectar no se había recibido, por lo que las lecturas que se realizaron fueron simuladas con una fuente de voltaje variable, lo cual no afecta al funcionamiento del sistema, ya que la salida del radiómetro finalmente se comporta como tal. En cuanto a la capacidad de almacenamiento de información, el requerimiento original de capacidad para una semana fue superado ampliamente.

La autonomía del sistema se logró obtener tanto desde el punto de vista de operación al hacer que el microcontrolador coordine al sistema, sólo siendo necesario indicarle que inicie su operación y extraer los datos periódicamente, como en lo referente al suministro de energía, ya que el sistema puede operar indefinidamente mientras que no deje de haber sol por más de tres días. En caso de ser necesario, el tiempo de autosuficiencia energética sin sol se puede aumentar utilizando una batería de mayor capacidad.

En el aspecto de la división del sistema en módulos funcionales se obtuvieron resultados satisfactorios, ya que al sistema se le puede cambiar

fácilmente la configuración para realizar otras funciones. Por ejemplo, si el sistema se quisiera instalar en un lugar donde se contara fácilmente con suministro eléctrico, se podría sustituir la tarjeta de alimentación por otra que contuviera una fuente regulada de voltaje. Otra aplicación que se le pudiera dar al sistema en astronomía es en el posicionamiento de telescopios, donde se debe tener una buena precisión en el posicionamiento del instrumento, con lo que sólo sería necesario reprogramar al sistema de control, pudiéndose quitar la etapa de adquisición de datos. El sistema en su conjunto puede servir como base para cualquier instrumento de medición en el cual se requiera obtener datos por períodos de tiempo prolongados, como puede ser el monitoreo de la operación de alguna máquina, pudiéndose aprovechar dichos datos para su control a través del mismo sistema.

Apéndice A

CIRCUITOS IMPRESOS

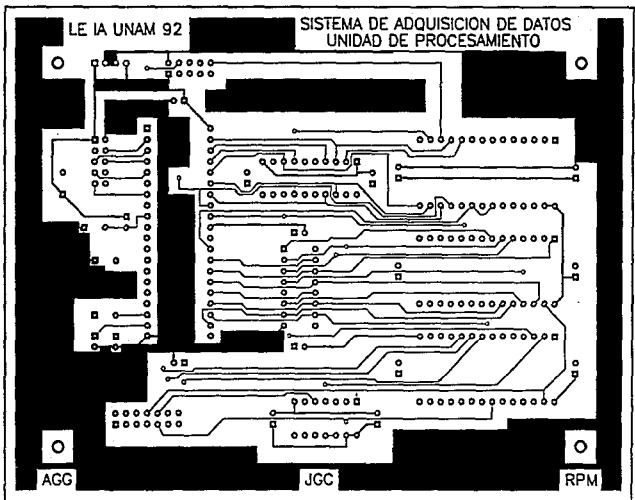
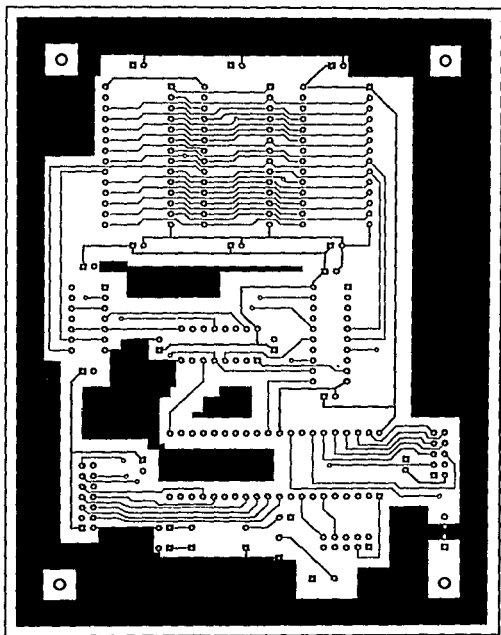


Figura A.1. Unidad de Procesamiento.
Mascarilla circuito impreso, lado de componentes.



**Figura A.2. Unidad de Procesamiento.
Mascarilla circuito impreso, lado de soldadura.**

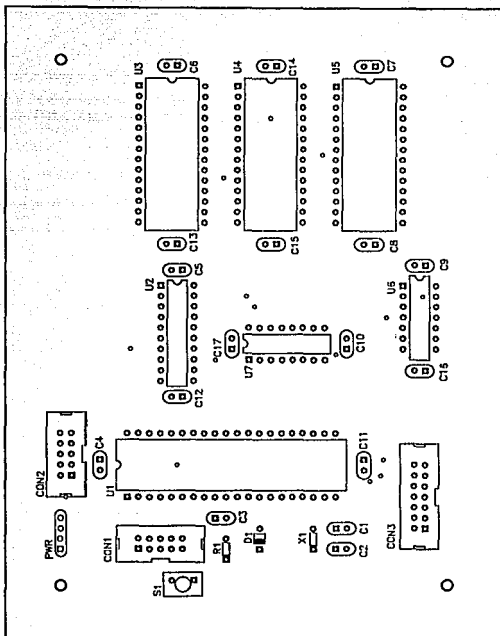


Figura A.3. Unidad de Procesamiento.
Mascarilla de componentes.

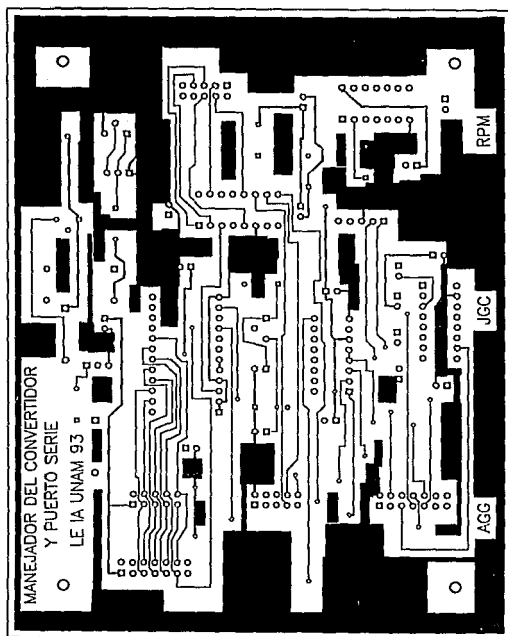


Figura A.4. Módulo de Digitalización de Datos y Puerto Serie.
Mascarilla circuito impreso, lado de componentes.

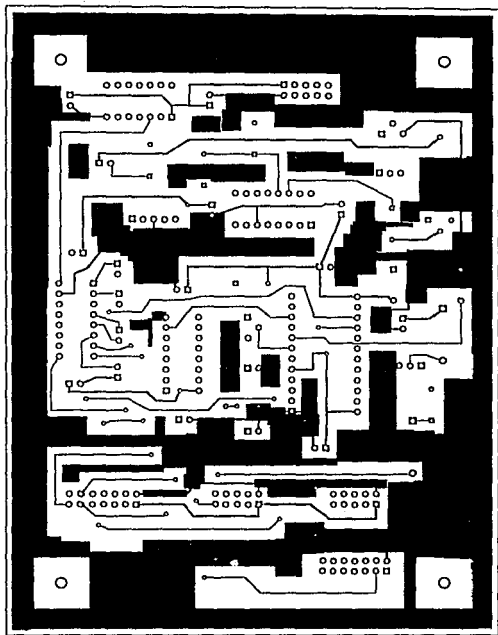


Figura A.5. Módulo de Digitalización de Datos y Puerto Serie.
Mascarilla circuito impreso, lado de soldadura.

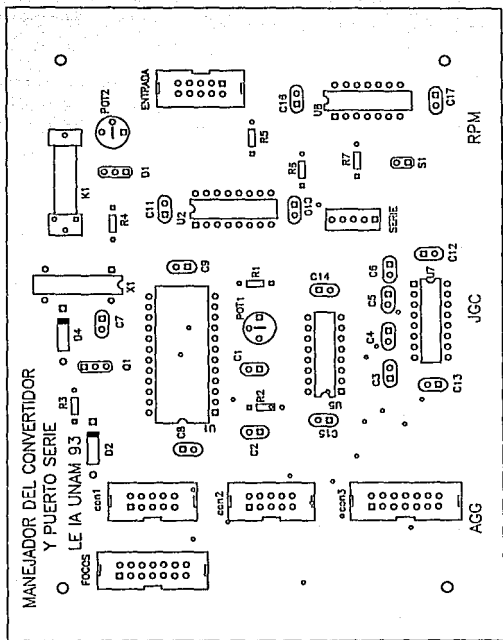


Figura A.6. Módulo de Digitalización de Datos y Puerto Serie.
Mascarilla de componentes.

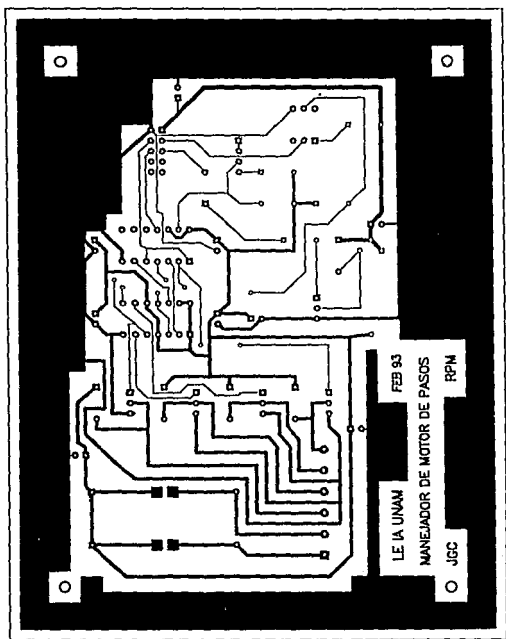


Figura A.7. Manejador del Motor de Pasos.
Mascarilla circuito impreso, lado de soldadura.

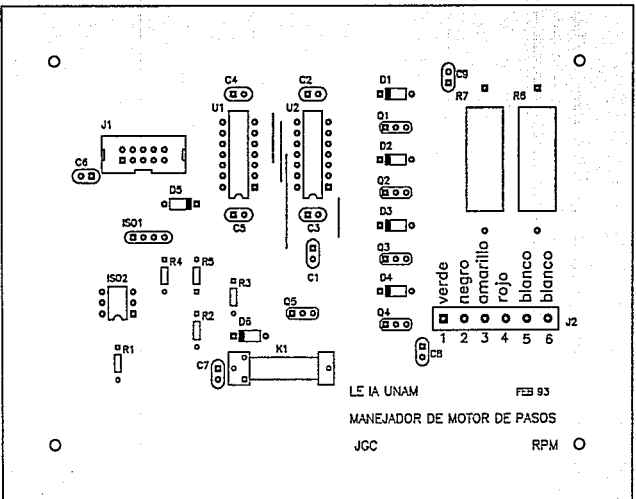
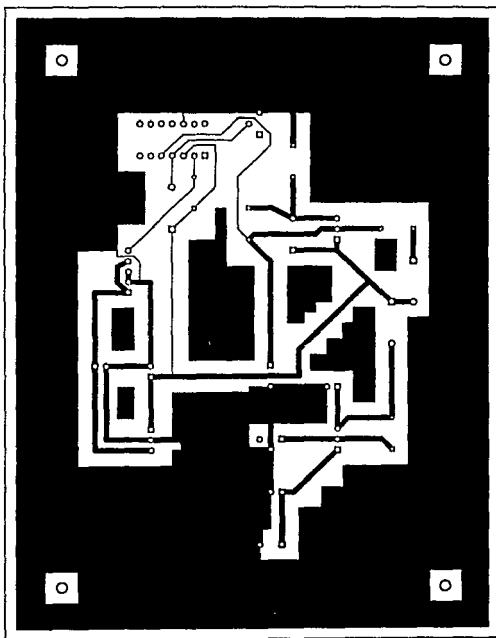


Figura A8. Manejador del Motor de Pasos.
 Mascartilla de componentes.



**Figura A.9. Módulo de Suministro de Energía.
Mascarilla circuito impreso, lado de soldadura.**

LE IA UNAM
FEB 93

SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS
UNIDAD DE POTENCIA

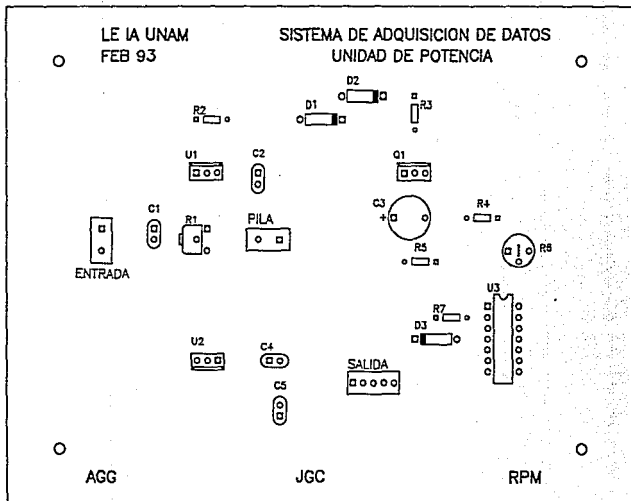


Figura A.10. Módulo de Suministro de Energía.
Mascarilla de componentes.

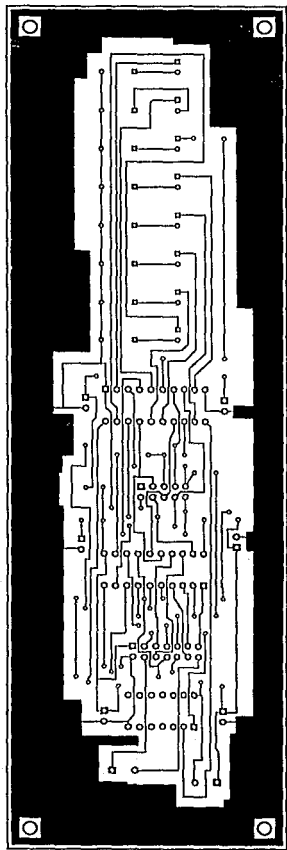


Figura A.11. Despliegue Luminoso del Sistema.
Mascarilla circuito impreso, lado de soldadura.

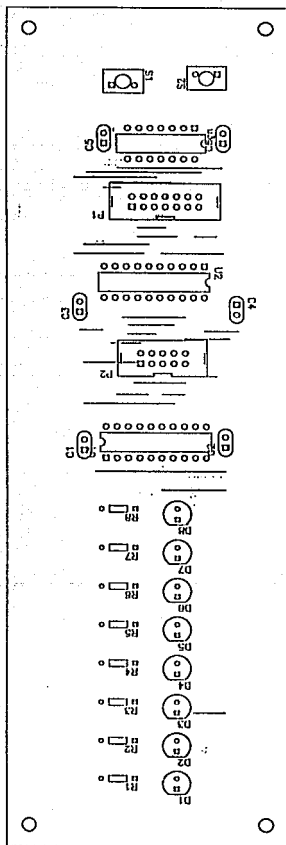


Figura A.12. Despliegue Luminoso del Sistema.
Mascarilla de componentes.

Apéndice B

**B.1 PROGRAMA DEL 8031 PARA EL CONTROL
DEL RADIOMETRO**

B.2 COMANDOS DEL SISTEMA

**B.3 PROGRAMA DE COMUNICACION SERIE
PARA LA PC**

**B.4 PROGRAMA QUE INTERPRETA Y DA
FORMATO A LOS DATOS EN LA PC**

B.1 PROGRAMA DEL 8031 PARA EL CONTROL DEL RADIOMETRO

The Cybernetic Micro Systems 8051 Family Assembler, Version 3.02 Page 1

```

;
; radiom.asm (8051)
;
; Control del funcionamiento del 8051 a través de comandos proporcionados
; por una PC por medio del puerto serie. Realiza las funciones de
; control para el Radiómetro.
;
; * RPM

0000      org 0000h
0000 020115      ljmp inicio          ; Salta a la rutina inicial

0003      org 0003h
0003 020069      ljmp ex01          ; Interrupción externa 0 (batería baja)

0009      org 0009h
0009 02004F      ljmp t01          ; Interrupción timer 0 (reloj)

0013      org 0013h
0013 0200D4      ljmp ex11          ; Interrupción externa 1 (convertidor)

0023      org 0023h
0023 209802      jb  r1, rint        ; Verifica origen de interrupción
0026 8008          sjmp rxd1
0028 8008      rint: sjmp rxd1

0030      org 0030h                          ; Atención de interrup. por transmisión serie
0030 C299      txdi: clr  ti          ; Borra bandera
0032 C27F          clr  r7h         ; Borra señal de transmitiendo
0034 32          xri  r1          ; Termina rutina de atención

;
; Atención de interrup. por recepción serie
0035 0298      rxd1: clr  r1          ; Borra bandera
0037 F531          mov  31h, a        ; Guarda valor de A
0039 E599          mov  a, shuf        ; Guarda dato recibido
003B F599          mov  shuf, a      ; Regresa al mismo dato
003D F6          mov  @r0, a        ; Envía dato a memoria
003E 840803      cjne  a, #08, no_bs
0041 18          dac  r0
0042 8008          sjmp rxd1
0044 08
0045 840D04      no_bs: inc  x0
0048 C29C          cjne  a, #0Dh, rxd1 ; Verifica si es fin de línea
004A D2D5          clr  ren          ; 81 : deja de recibir
004C 8531          rxd1: mov  a, 31h ; indica fin de comando
004E 32          rxi          ; Recupera valor de A
; Termina rutina de atención

;
; Atención de la interrupción timer 0 (reloj)
004F 758C10      t01: mov  r0, #10h ; Valores iniciales del contador
0052 D52033      djnz 20h, r01        ; Inc 1/15 seg, si no va 1 seg, continúa
0055 7520DF      mov 20h, #15
0058 D5292D      djnz 29h, r01        ; Inc seg, si no va 1 min, continúa
005E 75293C      mov 29h, #60
005F 307B06      jnb 7bh, incm        ; Verifica si hay lectura automática
0061 DF04          djnz r7, incm         ; Inc min de espera, si no termina, continúa
0063 D27A          setb 7h                ; Avisa fin tiempo de espera
0065 AF24          mov  r7, 24h       ; Inicializa tiempo de espera
0067 D52A18      incm: djnz 24h, r01        ; Inc min, si no va 1 hr, continúa
006A 752A3C      mov 24h, #60
006D D52B18      djnz 2bh, r01        ; Inc hr, si no va 1 día, continúa
0070 752B18      mov 2bh, #24
0073 C0E3          push dph
0075 C0E2          push dpl
0077 8520E3      mov  dph, 20h

```

```

007A 852182      mov dpl,21h
007D A3          inc dptr
007E 858320      mov 20h,dph      ; Incrementa número de días
0081 858221      mov 21h,dpl
0084 D082      pop dpl
0086 D083      pop dph
0088 32          rti
                                ;Termina rutina de atención de reloj

0089 C292      ex01:  clr pl.2
008B C297      clr pl.7
008D C278      clr 78h
008F D229      setb 29h
0091 C27A      clr 7ah
0093 752700     mov 27h,#00
0096 8CFF04     cjne r4,#0Ffh,notfull1
0099 D228      setb 2bh
009B 8025      sjmp lowbat
009D 8882      notfull1:mov dpl,r3
009F 8C93      mov dph,r4
00A1 74FF      mov a,#0Ffh
00A3 F0          movx @dptr,a
00A4 A3          inc dptr
00A5 8520      mov a,20h
00A7 F0          movx @dptr,a
                                ; Guarda el número de día (parte alta)
00A8 A3          inc dptr
00AA 8521      mov a,21h
00AC F0          movx @dptr,a
                                ; Guarda el número de día (parte baja)
00AD A3          inc dptr
00AE 7418      clr c
00B0 8524      mov a,#24
00B2 F0          subb a,2bh
                                ; Guarda hora de la lectura
00B3 F0          movx @dptr,a
00B5 A3          inc dptr
00B7 743C      mov a,#60
00B9 852A      subb a,2ah
                                ; Guarda minuto de la lectura
00BB F0          movx @dptr,a
00BD A3          inc dptr
00BF 8525      mov a,25h
                                ; Guarda estado del sistema
00C1 F0          movx @dptr,a
00C3 A3          inc dptr
00C5 8A82      mov r3,dpl
00C7 AC83      mov r4,dph
                                ; Guarda dirección para los sig. datos
                                ; a leer
00C9 758701     lowbat: mov pcon,#01
00CB 7582FE     mov dpl,#0Fah
00CD 7583FF     mov dph,#0Ffh
                                ; Pone al micro en modo IDLE
                                ; Transmite bandaras de estado
                                ; al panel de leds
00CF 8525      mov a,25h
00D1 F0          movx @dptr,a
00D3 F0          jnb pl.2,lowbat
                                ; Si sigue batería baja, regresa a dormir
00D5 802F1F     clr 29h
                                ; Apaga señal de Batería Baja
00D7 32          rti
                                ;Termina rutina de atención de batería baja

                                ;Atención de la interrupción externa 0
00D8 852182     ex01:  clr pl.2
                                ; Apaga tarjeta motor de pasos
                                ; Apaga tarjeta convertidor
                                ; Apaga bandera motor de pasos
                                ; Enciende señal de Batería Baja
                                ; Cancela ciclo de lectura

00D9 852182     mov dpl,#0Ffh
00DB 852182     mov dph,#0Ffh
                                ; Verifica si no está llena la memoria
                                ; Enciende señal de memoria llena

00DD 852182     mov dpl,r3
00DF 8C93      mov dph,r4
                                ; Guarda en DPTR dirección para guardar
                                ; datos leídos

00E1 852C      mov a,20h
00E3 8025      sjmp full12
                                ; Recupera dato

00E5 852C      mov a,20h
00E7 8C93      mov r3,dpl
00E9 8C93      mov r4,dph
                                ; Guarda byte mas significativo
                                ; Guarda temporal dato

00EB 852C      mov a,20h
00ED 8C93      mov r3,dpl
00EF 8C93      mov r4,dph
                                ; Lea byte mas significativo
                                ; Lea temporal dato

00F1 852C      mov a,20h
00F3 8C93      mov r3,dpl
00F5 8C93      mov r4,dph
                                ; Verifica si está llena la memoria
                                ; Enciende señal de memoria llena

00F7 852C      mov r3,dpl
                                ; Guarda en DPTR dirección para guardar
                                ; datos leídos
                                ; Recupera dato
                                ; Guarda byte mas significativo
                                ; Guarda temporal dato
                                ; Guarda en DPTR dirección del sig. dato
                                ; Guarda byte menos significativo
                                ; Guarda en DPTR dirección del sig. dato
                                ; Guarda dirección para los sig. datos

```



```

ODF9 AC03      mov r4,dph      ; a leer
ODF0 C297      full2: clr pl.7      ; Apaga tarjeta convertidor
ODF0 C37D      clr 7dh      ; Apaga bandera de conversión en progreso
ODF0 207M10    jnb 7eh,rexii   ; Si no hay transm. discreta, termina int.
O102 AE2C      mov r6,2oh      ; Transmite byte mas significativo
O104 7186      mov r6,2oh      ; en binario
O106 AE2D      mov r6,2dh      ; Transmite byte menos significativo
O108 7186      mov r6,2dh      ; en binario
O10A D27F      setb 7fh      ; Transmite fin de linea
O10C 7599DD    mov sbuf,#0dh    ;
O10F 207FFD    jb 7fh,0        ;
O112 E530      rexi1:  mov a,3dh      ; Recupera valor de A
O114 32        rati      ; Termina rutina de atención

; Rutina Principal
O115 C292      inicio:  clr pl.2      ; Apaga tarjeta motor
O117 C297      clr pl.7      ; Apaga tarjeta convertidor
O119 759221    mov tmod,#21h    ; Programa Timer 1 para generar
O11C 759DF4    mov th1,#024h   ; Daud Rate = 2400
O11F 759DF4    mov t1l,#0F4h   ;
O122 759C10    mov th0,#10h    ; Timer 0 - Reloj
O125 759A00    mov t10,#00h    ;
O128 759850    mov tcon,#50h   ; Inicia generación de baud rate
O129 759860    mov scon,#60h   ; Puerto serie=1start+8bit+5in paridad+1stop
O12B 759109    mov ap,#0Fh     ; StackPoint=0Fh
O131 7800      mov r3,#00      ; Valor inicial para DPL
O133 7C00      mov r4,#00      ; Valor inicial para DPH
O135 D2AF      setb aa        ; Habilita manejo de Interrupciones
O137 D28C      setb pa        ; Otorga prioridad al puerto serie
O139 D2AC      setb sa        ; Habilita interrupción puerto serie
O13B C288      clr bit0        ; Interrupción externa 0 activa por nivel
O13D D2EA      setb it1       ; Interrupción externa 1 activa por flanco
O13F D2B9      setb pt0       ; Otorga prioridad al reloj
O141 75241E    mov 24h,#30      ; Tiempo de espera = 30 min
O144 752B18    mov 2bh,#24      ; Inicializa Reloj
O147 752A3C    mov 2ah,#00     ; an 00:00:00.0/15
O14A 75293C    mov 29h,#00     ;
O14D 75280F    mov 28h,#15     ; Inicializa número de días a 0
O150 752000    mov 20h,#00     ;
O153 752100    mov 21h,#00     ;
O156 753401    mov 34h,#01     ; Inicializa fecha de referencia 1/Ene/00
O159 753501    mov 35h,#01     ;
O15C 753600    mov 36h,#00     ;
O15F 752800    mov 2ah,#00     ; Inicializa banderas
O162 752F00    mov 2fh,#00     ;
O165 752500    mov 25h,#00     ;
O168 752700    mov 27h,#00     ; Inicializa contador para ciclo de lectura
O16B D228      setb 28h        ; Enciende señal de Encendido
O16D D2A9      setb et0        ; Habilita interrupción del reloj
O16F D2A8      setb ea0        ; Habilita interrupción de batería baja
O171 D27F      setb 7fh        ; Indica que esta listo para funcionar
O173 75994F    mov sbuf,#79    ;
O176 207FFD    jb 7fh,0        ;
O179 D27F      setb 7fh        ;
O17B 75996B    mov sbuf,#107   ;
O17E 207FFD    jb 7fh,0        ;
O181 D27F      setb 7fh        ;
O183 7599DD    mov sbuf,#0dh   ;
O186 207FFD    jb 7fh,0        ;
O189 7840      leacmd:  mov r0,#40h ; R0=40h ! Inicio area para guardar comandos
O18B C2D5      clr f0          ; Indica no hay comando recibido
O18D D27F      setb 7fh        ; Muestra prompt
O19F 75993B    mov sbuf,#62    ;
O192 207FFD    jb 7fh,0        ;
O195 D29C      setb xen        ; Permite recepción de comandos
O197 207805    espera:  jb 7eh,no_idle ; Verifica que no funciona motor de pasos
O19A 758701    mov pcon,#01   ; Pone al micro en modo IDLE
O19D 8004      sjmp siglo     ;
O19F 9190      no_idle:acall pausa ; Hace pausa p/motor pasos (#60 pps)
O1A1 A290      opl pl.0      ; Envía pulso al motor de pasos
O1A3 00        siglo:  nop        ; Pierde el tiempo
O1A4 00        nop          ; -> Repaso destinado a la atención
O1A5 00        nop          ; de otras funciones

```

```

01A6 00          nop
01A7 75B2FF     mov dpl,#0Fch      ; Transmite banderas de estado
01AA 75B3FF     mov dph,#0FFh     ; al panel de leds
01AD B525      mov a,#25h
01AF F0        movx @dptr,a

01B0 207A03     jb 7ah,cicloec    ; Acaba tiempo de espera
01B3 020293     ljmp cont11
01B6 B527      mov a,#27h
01B8 B4003B     cjne a,#00,#1
01BA 0527      inc 27h
01BD 8B82      mov dpl,#2
01BF 8C83      mov dph,#4
01C1 74FF      mov a,#0FFh
01C3 F0        movx @dptr,a      ; Guarda caracter de separación
01C4 A3        inc dptr
01C5 B520      mov a,#20h
01C7 F0        movx @dptr,a      ; Guarda el número de día (parte alta)
01C8 A3        inc dptr
01C9 B521      mov a,#21h
01CA F0        movx @dptr,a      ; Guarda el número de día (parte baja)
01CB A3        inc dptr
01CC 741E      mov a,#24
01CF 352B      subb a,#2bh
01D1 F0        movx @dptr,a      ; Guarda hora de la lectura
01D2 A3        inc dptr
01D3 743C      mov a,#60
01D5 352A      subb a,#2ah
01D7 F0        movx @dptr,a      ; Guarda minuto de la lectura
01D8 A3        inc dptr
01D9 B525      mov a,#25h
01DB F0        movx @dptr,a      ; Guarda estado del sistema
01DC A3        inc dptr
01DD AB82      mov #3,dpl
01DF AC93      mov #4,dph
01E1 BCFF02     cjne #4,#0FFh,nofull3
01E4 D22B      setb 2bh
01E6 3C2B07     nofull3:jb 2bh,nofull
01E9 C27B      clr 7bh
01EB C27A      clr 2bh
01ED 02028E     ljmp #9
01F0 C294      nofull:clr pl.4
01F2 C295      clr pl.5
01F4 C296      clr pl.6
01F6 020374     ljmp leaconv      ; Realiza lectura
01F9 B4010B     #1: cjne a,#01,#2
01FC 0527      inc 27h
01FE D294      setb pl.4
0200 C295      clr pl.5
0202 C296      clr pl.6
0204 020374     ljmp leaconv      ; Realiza lectura
0207 B4020B     #2: cjne a,#02,#3
020A 0527      inc 27h
020C C294      clr pl.4
020E D295      setb pl.5
0210 C296      clr pl.6
0212 020374     ljmp leaconv      ; Realiza lectura
0215 B4030B     #3: cjne a,#03,#4
0218 0527      inc 27h
021A D294      setb pl.4
021C D295      setb pl.5
021E C296      clr pl.6
0220 020491     ljmp motad        ; Regresa motor a buscar origen
0223 B4040B     #4: cjne a,#04,#5
0226 20936A     jb pl.3,cont11
0229 0527      inc 27h
022B 752600     mov #6h,#00
022E 0204A9     ljmp motdat       ; Detiene motor para lectura de referencia
0231 B4050B     #5: cjne a,#05,#6
0234 0527      inc 27h
0236 020374     ljmp leaconv      ; Realiza lectura de referencia
0239 B4060B     #6: cjne a,#06,#7
023C 0527      inc 27h

```

```

023E 02049D      ljmp motret
0241 R4076F     #7:  cjne a,#07,#8
0244 30934C      jnb pl.3,contil
0247 0527       inc x2h
0249 782608      mov 26h,#08 ; Número de lecturas a realizar
024C 753378      mov 33h,#120 ; Número de pulsos para primer lectura
024F 7A00        mov x2,#00
0251 8040        sjmp contil
0253 R40636     #8:  cjne a,#08,#9
0256 RA0004     cjne x2,#00,#01
0259 0A         inc x2
025A 020491     ljmp motret ; Regresa motor a buscar origen
025D RA010A     #81: cjne x2,#01,#82
0260 209330     jnb pl.-3,contil ; Si no ha llegado al origen, continúa
0263 0A         inc x2
0264 753200     mov 32h,#00
0267 02049D     ljmp motret ; Avanza motor al punto de lectura
026A RA0211     #82: cjne x2,#02,#83
026D 0532       inc x2h
026F R532       mov a,#32h
0271 R5331F     cjne a,#33h,contil ; Si no ha llegado, continúa
0274 0A         inc x2
0275 R533       mov a,#33h
0277 2404       add a,#04
0279 F533       mov 33h,a ; Número de pasos para alg. punto de lect.
027B 0204A9     ljmp motret ; Detiene motor para hacer lectura
027E RA0304     #83: cjne x2,#03,#84
0281 0A         inc x2
0282 020374     ljmp lesconv ; Lee radiómetro de 36° a 86.4°
0285 7A00        mov x2,#00
0287 D52609     djnz 26h,contil
028A 0527       inc x2h
028C 8005       sjmp contil
028E C27A       #9:  clr 7ah ; Inicia tiempo de espera
0290 752700     mov 27h,#00

0293 00         contil: nop
0294 20D503      jb #0,interp ; Si hay comando, lo interpreta
0297 020197     ljmp espera ; Regresa a esperar
029A 207FFD     interp: jb 7eh,3
029D 7940        mov x1,#40h ; Comienza interpretación de comando
029F R7432F     cjne @rl,#67,no_n ; No es letra C
02A2 09         inc x1 ; Pasa a la siguiente letra
02A3 R74C08     #A:  cjne @rl,#76,no_el ; No es comando CL
02A6 9180       acall fincmd
02A8 307C70     jnb 7eh,error
02AB 020574     ljmp lesconv ; Salto a rutina Lee Convertidor
02AE R74108     no_el: cjne @rl,#65,no_na ; No es comando CA
02B1 9180       acall fincmd
02B3 307C65     jnb 7eh,error
02B6 02049F     cjne @rl,#68,no_cd ; Salto a la rutina Conversión Automática
02B9 R74408     no_cd: cjne @rl,#68,no_cd ; No es comando CD
02BC 9180       acall fincmd
02BE 307C5A     jnb 7eh,error
02C1 0204F6     ljmp detca ; Salto a la rutina Detiene Conv. Automática
02C4 R74354     no_cd: cjne @rl,#67,error ; Comando exónico
02C7 9190       acall fincmd
02C9 307C4F     jnb 7eh,error
02CC D27A       setb 7ah ; Enciende bandera de ciclo de lectura
02CE 020189     ljmp lescmd ; Regresa a leer comando
02D1 R7545A     no_ci: cjne @rl,#64,no_t ; No es letra T
02D4 09         inc x1 ; Pasa a la siguiente letra
02D6 R74D08     cjne @rl,#77,no_tm ; No es comando TM
02D8 9180       acall fincmd
02DA 307C3E     jnb 7eh,error
02DD 020389     ljmp txmemem ; Salto a la rutina Transmite Memoria
02DE R74808     no_tm: cjne @rl,#72,no_th ; No es comando TH
02E3 9180       acall fincmd
02E5 307C33     jnb 7eh,error
02E8 020402     ljmp txhhr ; Salto a la rutina Transmite Hora
02EB R7440A     no_th: cjne @rl,#66,no_td ; No es comando TD
02EE 9180       acall fincmd
02F0 307C26     jnb 7eh,error

```

```

02F3 D27E          setb 7eh          ; Enciende bandera de Transmision Directa
02F5 020189       ljmp leacmd      ; Regresa a leer comando
02F8 W7490A      no_td:          ojne $xl,$73,no_ti ; No es comando TI
02F9 9180         acall fincmd
02FB 307C1B      jnb 7eh,error
0300 C27E          clr 7eh          ; Apaga bandera de Transmision Directa
0302 020189       ljmp leacmd      ; Regresa a leer comando
0305 W74308      no_ti:          ojne $xl,$67,no_to ; No en comando TC
0308 9180         acall fincmd
030A 307C0E      jnb 7eh,error
030D 02040C      ljmp txcmam     ; Salto a la rutina Transm. Cant. de Mem.
0310 W74508      no_to:          ojne $xl,$69,error ; Comando erroneo
0313 9180         acall fincmd
0315 307C03      jnb 7eh,error
0318 0204FF      ljmp txstat     ; Salto a la rutina Transmite Estado

no_m:
031B D27F          error:          setb 7eh
031D 75993F      mov abuf,$63    ; Envia señal de error ("7")
0320 207FFD      jb 7eh,$
0323 D27F          setb 7eh
0325 75990D      mov abuf,$0dh  ; Envia fin de línea
0328 207FFD      jb 7eh,$
032B 020189       ljmp leacmd      ; Regresa a leer comando

032E W7491E      no_t:          ojne $xl,$73,no_i  ; No es letra X
0331 09          inc xl          ; Pasa a la siguiente letra
0332 W74D0B      ojne $xl,$77,no_im ; No es comando IM
0335 9180         acall fincmd
0337 307C81      jnb 7eh,error
033A 0203DD      ljmp inimam     ; Salto a la rutina Inicializa Memoria
033D W74803      no_im:         ojne $xl,$72,no_ih ; No es comando IH
0340 020433      ljmp inihc
0343 W74503      no_ih:         ojne $xl,$69,no_ie ; No es comando IE
0346 020403      ljmp inieap     ; Salto a la rutina Inicializa Tiempo Espera
0349 W746CF      no_ie:         ojne $xl,$70,error ; Comando erroneo
034C 02050E      ljmp inifas:    ; Salto a la rutina Inicializa Fecha de Ref.
034F W74DC9      no_i:          ojne $xl,$77,no_m  ; No es letra M
0352 09          inc xl          ; Pasa a la siguiente letra
0353 W74108      ojne $xl,$65,no_ma ; No es comando MA
0356 9180         acall fincmd
0358 307CC0      jnb 7eh,error
035B 020491      ljmp motad      ; Salto a la rutina Motor Avanza
035E W75208      no_ma:         ojne $xl,$82,no_mr ; No es comando MR
0361 9180         acall fincmd
0363 307C85      jnb 7eh,error
0366 02049D      ljmp motstat
0369 W744AF      no_mr:         ojne $xl,$88,error ; Salto a la rutina Motor Retrocede
036C 9180         acall fincmd    ; Comando erroneo
036E 307CAA      jnb 7eh,error
0371 0204A9      ljmp motdet     ; Salto a la rutina Motor Detiene

;Atención de la rutina Lee Convertidor
0374 D27D          leeconv:setb 7eh ; Enciende bandera de conversión en progreso
0376 D237          setb 7eh
0378 758701      mov pcon,$01   ; Enciende tarjeta del convertidor
037B 7582FF      mov dpl,$02eh ; Pone al micro en modo IDLE
037E 7583FF      mov dph,$02eh ; Guarda en DPTR dirección de ADC
0381 D2AA          setb exl       ; Habilita la interrupción externa
0383 7400          mov a,$00
0385 90          movx @dptr,a
0388 020189       ljmp leacmd      ; Inicia conversión
038B 020189       ; Regresa a leer comando
038E 020189       ; Atención a la rutina Transmite Memoria

0389 D27F          transmem:setb 7eh
038B 0C99          mov abuf,r4    ; Envía cantidad de bytes de
038D 207FFD      jb 7eh,$      ; datos a transmitir y fin
0390 D27F          setb 7eh      ; de línea
0392 0B99          mov abuf,$3
0394 207FFD      jb 7eh,$
0397 D27F          setb 7eh
0399 75990D      mov abuf,$0dh
039C 207FFD      jb 7eh,$

```

```

033F D27F          setb 7fh
0341 853499       mov sbuf,34h          ; Envía fecha de referencia
0344 207FFD       jb 7fh,0
0347 D27F          setb 7fh
0349 853599       mov sbuf,35h
034C 207FFD       jb 7fh,0
034F D27F          setb 7fh
0351 853699       mov sbuf,36h
0354 207FFD       jb 7fh,0
0357 758200       mov dpl,000          ; Guarda en DPTR dirección de inicio
035A 758300       mov dph,000          ; de datos
035D 88           sigtm: mov a,r3         ; Verifica si no ha llegado al fin de los
035E 858206       cjne a,dpl,conttm   ; datos a transmitir
0361 8C           mov a,r4
0362 858302       cjne a,dph,conttm
0365 8008         sjmp fntm
0367 80           conttm: movx a,@dptr   ; Lee byte
0368 D27F          setb 7fh
03CA F599         mov sbuf,a           ; Transmite byte
03CC 207FFD       jb 7fh,0
03CF A3           inc dptr
03D0 80B8         rjmp sigtm          ; DPTR apunta siguiente byte
03D2 D27F          setb 7fh            ; Regresa a enviar siguiente dato
03D4 75990D       mov sbuf,0Dh        ; Envía fin de línea
03D7 207FFD       jb 7fh,0           ; indicando fin de datos
03DA 020189       ljmp laecmd         ;Regresa a leer comando

03DD 7800         inimm: mov r3,000    ;Atención a la rutina Inicializa Memoria
03DF 7C00         mov r4,000          ; Valores iniciales para cargar DPTR
03E1 C228         clr 2bh
03E3 020189       ljmp laecmd         ;Apaga señal de Memoria Llena
                                           ;Regresa a leer comando

03E6 7D08         trbin: mov r5,005    ;Subrutina Transmite Binario
03E8 88         mov a,r5
03E9 5480         sb:  anl a,080h     ; Toma dato a transmitir
03EB 7007         jnc uno            ; Verifica bit
03ED D27F          setb 7fh
03EF 759930       mov sbuf,00         ; Envía "0"
03F2 8005         sjmp etb
03F4 D27F          setb 7fh
03F6 759931       mov sbuf,01         ; Envía "1"
03F9 207FFD       jb 7fh,0
03FC 88         mov a,r6
03FD 23         xl a
03FF F8         mov r6,a           ; Corre al siguiente bit
0401 22         djnz r5,sb
                                ;Retorno de Subrutina Transmite Binario

0402 C3         tranhr: clr 0
0403 7410         mov a,024
0405 952B         subb a,2bh
0407 F8         mov r6,a
0408 7186         acall trbin        ; Transmite la hora
040A D27F          setb 7fh
040C 75993A       mov sbuf,05H       ; Envía ":"
040F 207FFD       jb 7fh,0
0412 743C         mov a,060
0414 952A         subb a,2ah
0416 F8         mov r6,a
0417 7186         acall trbin        ; Transmite los minutos
0419 D27F          setb 7fh
041B 75993A       mov sbuf,05H       ; Envía ":"
041D 207FFD       jb 7fh,0
0421 743C         mov a,060
0423 9529         subb a,29h
0425 F8         mov r6,a
0426 7186         acall trbin        ; Transmite los segundos
0428 D27F          setb 7fh
042A 75990D       mov sbuf,0Dh       ; Transmite fin de línea
042D 207FFD       jb 7fh,0

```

```

0430 020189      ljmp leacmd          ;Regresa a leer comando

0433 09          inihr:  ino x1
0434 09          ino x1
0435 07          mov a,@r1
0436 9430        subb a,#30h
0438 75F00A      mov b,#10
043B A4          mul ab
043C FD          mov x5,a
043D 09          ino x1
043E 07          mov a,@r1
043F 9430        subb a,#30h          ; Lee decenas de horas
0441 2D          add a,x5
0442 FD          mov x5,a
0443 7418        mov a,#24
0445 2D          subb a,x5
0446 F528        mov 2bh,a
0448 09          ino x1
0449 09          ino x1
044A 07          mov a,@r1
044B 9430        subb a,#30h          ; Lee decenas de minutos
044D 75F00A      mov b,#10
044E A4          mul ab
0451 FD          mov x5,a
0452 09          ino x1
0453 07          mov a,@r1
0454 9430        subb a,#30h          ; Lee unidades de minutos
0456 2D          add a,x5
0457 FD          mov x5,a
0458 743C        mov a,#60
045A 2D          subb a,x5
045B F52A        mov 2ah,a
045D 09          ino x1
045E 09          ino x1
045F 07          mov a,@r1
0460 9430        subb a,#30h          ; Lee decenas de segundos
0462 75F00A      mov b,#10
0465 A4          mul ab
0466 FD          mov x5,a
0467 09          ino x1
0468 07          mov a,@r1
0469 9430        subb a,#30h          ; Lee unidades de segundos
046B 2D          add a,x5
046C FD          mov x5,a
046D 743C        mov a,#60
046F 2D          subb a,x5
0470 F529        mov 29h,a
0472 75200F      mov 20h,#15
0475 D27F        setb 7fh
0477 75990D      mov abuf,#0dh
047A 207FFD      jb 7fh,$
047D 020189      ljmp leacmd          ;Regresa a leer comando

                                ;Atención a la subrutina Fin de Comando
0480 09          fincmd: ino x1
0481 C27C        clr 7oh
0483 870D0A      cjne @r1,#0dh,no_fc ; Si no es fin de comando, regresa
0485 D27C        setb 7oh
0488 D27F        setb 7fh
048A 75990D      mov abuf,#0dh
048D 207FFD      jb 7fh,$
0490 22          no_fc:  ret              ;Fin de la subrutina

0491 D292        motad:  setb pl.2
0493 C291        clr pl.1
0495 7587D1      mov pcon,#01
0498 D278        setb 7fh
049A 020189      ljmp leacmd          ;Regresa a leer comando

                                ;Atención a la rutina Motor Retrocede
049D D292        motret: setb pl.2
                                ; Enciende tarjeta de Motor de Fases

```

```

049F D291          setb pl.1          ; Dirección - Atrás
04A1 758701       mov poon,#01      ; Pone al micro en modo IDLE
04A4 D278         setb 78h          ; Enciende señal Motor Funcionando
04A6 D20189       ljmp leacmd       ;Regresa a leer comando

04A9 C292         motdat: clr pl.2          ;Atención a la rutina Motor Detiene
04AB C278         clr 78h           ; Apaga tarjeta de Motor de Pasos
04AD D20189       ljmp leacmd       ;Regresa a leer comando

04B0 752306       pausa: mov 23h,#06 ;Atención a la subrutina Pausa
04B3 7522FF       loop2: mov 22h,#0F2h ; Realiza una pausa de
04B6 00          loop1: nop          ; aprox. 1/60 seg.
04B7 00          nop          ; (tiempo entre pulsos al motor)
04B8 00          nop
04B9 D522FA       djnz 22h,loop1
04BC D523F4       djnz 23h,loop2
04BF 22          xct          ;Fin de la subrutina

04C0 A804         txcem: mov r6,r4   ;Atención a la rutina Transm. Cant. de Mem.
04C2 7186        acall trbin      ; Transmite la cantidad de memoria
04C4 A803        mov r6,r3         ; ocupada por los datos
04C6 7186        acall trbin
04C8 D27F        setb 7fh          ; Transmite fin de línea
04CA 75990D       mov sbuf,#0dh
04CD 207FFD       jb 7fh,S
04D0 D20189       ljmp leacmd       ;Regresa a leer comando

04D3 09          inieap: inc r1     ;Atención a la rutina Inicializa Tiempo Espera
04D4 09          inc r1
04D5 B7          mov a,#r1        ; Lee decenas de minutos
04D6 9430       subb a,#30h
04D8 75F00A      mov b,#10
04DB A4          mul ab
04DC FD          mov r5,a
04DD 09          inc r1
04DE B7          mov a,#r1        ; Lee unidades de minutos
04DF 9430       subb a,#30h
04E1 2D          add a,r5
04E2 F524       mov 24h,a        ; Guarda tiempo de espera
04E4 D27F        setb 7fh          ; Envía fin de línea
04E6 75990D       mov sbuf,#0dh
04E9 207FFD       jb 7fh,S
04EC D20189       ljmp leacmd       ;Regresa a leer comando

04EF 7F01         onvaut: mov r7,#01 ;Atención a la rutina Conversión Automática
04F1 D278         setb 7bh         ; Valor inicial de espera
04F3 D22A        setb 2ah         ; Enciende bandera Conversión Automática
04F5 D20189       ljmp leacmd       ;Regresa a leer comando

04F9 C27B         detoa: clr 7bh    ;Atención a la rutina Detiene Conv. Automática
04FA C22A        clr 2ah          ; Borra bandera Conversión Automática
04FC D20189       ljmp leacmd       ; Regresa a leer comando

04FF A825         trest: mov r6,25h ;Atención a la rutina Transmite Estado
0501 7186        acall trbin      ; Transmite las banderas de estado
0503 D27F        setb 7fh          ; del sistema
0505 75990D       mov sbuf,#0dh
0508 207FFD       jb 7fh,S
050B D20189       ljmp leacmd       ; Transmite fin de línea
                                ;Regresa a leer comando

050E 09          inifeo: inc r1    ;Atención a la rutina Inicializa Fecha de Ref.
050F 09          inc r1
0510 B7          mov a,#r1        ; Lee decenas de días
0511 9430       subb a,#30h
0513 75F00A      mov b,#10

```

```

0516 A4      mol ab
0517 FD      mov x5,a
0518 09      inc x1
0519 B7      mov a,@x1      ; Lee unidades de días
051A 9430    subb a,#30h
051C 2D      add a,x5
051D F534    mov 34h,a      ; Guarda día
051F 09      inc x1
0520 09      inc x1
0521 B7      mov a,@x1      ; Lee decenas de meses
0522 9430    subb a,#30h
0524 75F00A  mov h,#10
0527 A4      mul ab
0528 FD      mov x5,a
0529 09      inc x1
052A B7      mov a,@x1      ; Lee unidades de meses
052B 9430    subb a,#30h
052D 2D      add a,x5
052E F535    mov 35h,a      ; Guarda mes
0530 09      inc x1
0531 09      inc x1
0532 B7      mov a,@x1      ; Lee decenas de años
0533 9430    subb a,#30h
0535 75F00A  mov h,#10
0538 A4      mul ab
0539 FD      mov x5,a
053A 09      inc x1
053B B7      mov a,@x1      ; Lee unidades de años
053C 9430    subb a,#30h
053E 2D      add a,x5
053F F536    mov 36h,a      ; Guarda año
0541 752000  mov 20h,#00    ; Inicializa número de días a 0
0544 752100  mov 21h,#00
0547 027F    subb 7fh
0549 75390D  mov ahf,#0dh  ; Envía fin de línea
054C 207FFD  jb 7fh,$
054F 020189  ljmp laecmd   ;Regresa a leer comando
0000      end

```


B.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.

MANEJO DEL MOTOR DE PASOS

MA	Motor Avanza	Pone a funcionar al motor de pasos hacia adelante.
MD	Motor Detiene	Detiene el funcionamiento del motor de pasos.
MR	M o t o r Retrocede	Pone a funcionar al motor de pasos hacia atrás.

TRANSMISION DE DATOS

TC	T r a n s m i t e Cantidad de Memoria Ocupada.	Transmite a pantalla la cantidad de memoria RAM ocupada. (en bytes).
-----------	---	--

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,

B.3 PROGRAMA DE COMUNICACION SERIE PARA LA PC.

```
/*.....**
** SERIE.C **
** Programa para comunicación via puerto serie (COM1) entre la PC y el **
** sistema de control. * RPM **
**.....*/

# 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;
      putch(out);
      if (out == '\x0D')
        putch ('\x0A');
    }
    if (kbhit()) /* Verifica si se presionó alguna tecla */
    {
      if ((in = getch()) == '\x1B') /* Si fué ESC, termina */
        break;
    }
  }
}
```

```

        DONE = TRUE;
        break;
    }
    cmd[p++] = in; /* 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, "TM")) /* 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;)
    /* Recibo datos del sistema */
    {
        status = bioscom(3, 0, COM1);
        if (status & DATA_READY)
            {
                out = bioscom(2, 0, COM1) & 0xFF;
               putc (out,datos);
                i++;
            }
        if (kbhit())
            if (getch() == '\x1B')
                /* Si se presiona ESC, termina */
                break;
    }
fclose (datos);
return;
/* Cierra archivo de datos */
}

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);
putch (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 );
}

```



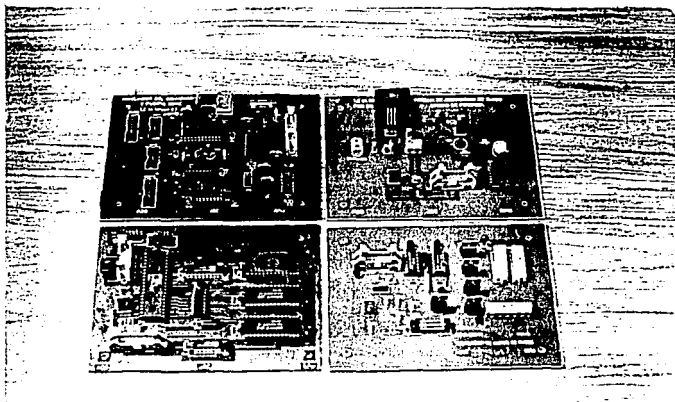
```

int i, nd, hr, min, e;
float ti, te, vr;
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 */
getc (datos);
getc (datos);
ti=getc (datos);
c=getc (datos);
ti=0.1221*(ti*256+c);
ti-=273.15;
fprintf (texto,"%5.2f\t",ti); /* Temperatura interior */
te=getc (datos);
c=getc (datos);
te=0.1221*(te*256+c);
te-=273.15;
fprintf (texto,"%5.2f\t",te); /* Temperatura exterior */
for (i=0; i<9; i++)
{
vr=getc (datos);
c=getc (datos);
vr=0.001221*(vr*256+c);
fprintf (texto,"%8.6f \t",vr); /* Lecturas del radiómetro */
}
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 ()=='\xB') /* Si se presiona ESC, termina */
break;
}
fclose (datos); /* Cierra archivo de datos */
fclose (texto); /* Cierra archivo de texto */
}

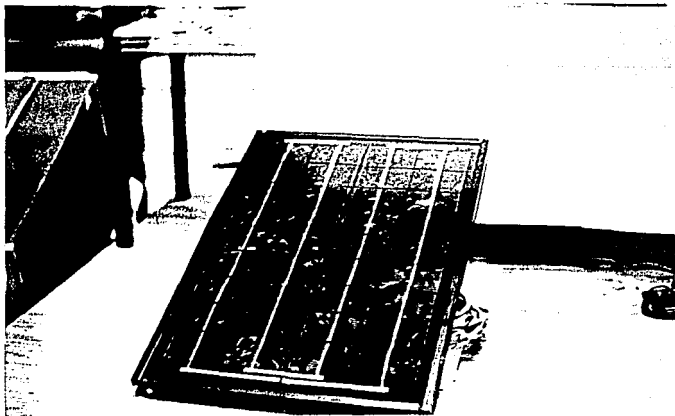
```

Apéndice C

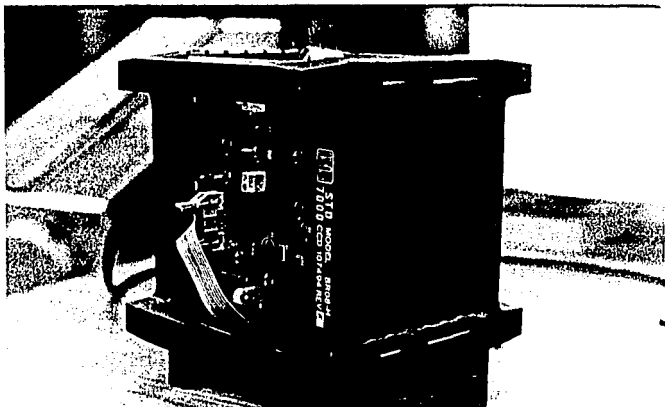
FOTOGRAFIAS



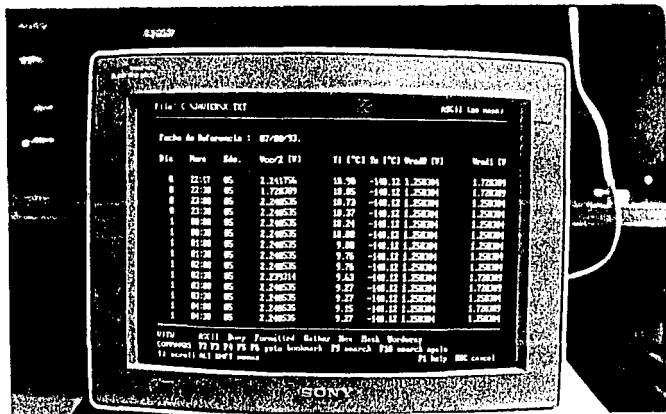
Módulos componentes del sistema.



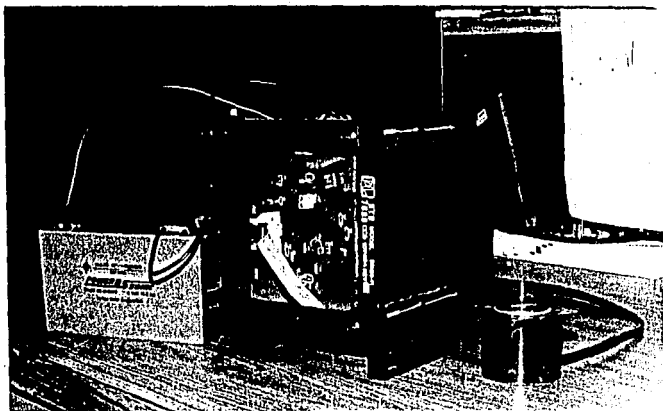
Módulo solar.



Sistema de adquisición.



Sistema de adquisición, Batería y motor de pasos.



Despliegue visual en una PC.

BIBLIOGRAFIA

Acosta Virgilio, Cowan L. Clyde, Graham B.J.
"Curso de física moderna"
Harla, Mexico 1977.

Analog Devices
"Integrated Circuits"
1986.

Boylestad Robert, Nashelski Louis
"Electronica, Teoria de Circuitos"
Prentice Hall, cuarta edición.

Burr Brown
"Product Data Book"
1984.

Condumex
"Sistemas Fotovoltaicos"
Publicación de la empresa, mayo 1986.

Gutierrez Albores Leonel.
"Manejadores Unipolares para motores de pasos"
Instituto de Astronomia, UNAM.

Hints Kenneth, Tabak Daniel.
"Microcontrollers, Architecture, implementation & programming"
International Edition, 1992.

Hiriart D., Strutskie M. and Goldsmith P.
"215 GHz, Site Survey Radioemter Ownwer's Manual"
USA, January 1992.

Hollman, Jack.
"Metodos experimentales para ingenieros"
MacGraw Hill, cuarta edición.

Intel
"Memory components handbook"
1990.

Intel
"8 Bits Embedded Controllers"
USA 1990.

Mesinas Martínez Ithandehui.
"Interferometría aplicada a la radioastronomía"
Tesis de licenciatura UNAM, facultad de Ingeniería 1991.

Moran, James M. Richard A. Thompson.
Interferometry and Synthesis in Radio Astronomy
Jhon Wiley & Sons, primera edición 1976.

National
"Linear Data Book 2"
1990.

National
"Linear Data Book 1"
1990.

Photocomm, Inc
"Guía de diseño de sistemas de energía solar"
Solar Electric Power Systems.

Popular electronics
"An Introduction to Stepper Motor"
March 1990, volume 7, No. 3.

Quad Smart Stepper Motor Controller
"User's Manual"
Alpha Products USA.

Schneider, Ruiz Elfego
"Hacia el telescopio mexicano de nueva tecnología"
Instituto de Astronomía, UNAM 1992.

SEEQ Technology Inc.
"Data book"
1985

Seyer, Martin D.
"RS-232 Made Easy"
Prentice Hall

Smith K. Ernest.
"Centimeter and millimeter wave attenuation and brightness temperature due to atmospheric oxygen and water vapor"
Radio Science, vol 17, Number 6. Diciembre 1982.

Solarex
"Photovoltaic Modules"
Solarex Corporation, 1990 USA.

Thomas E. Kissell
"Modern Industrial/Electrical Motor Controls"
Prentice Hall, USA 1990.

Vega, Alejandro
"Manual y Aplicaciones del Microcontrolador 8051"
CINVESTAV, IPN 1992.