

Escuela Politécnica Nacional
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN RASTREADOR SOLAR
CONTROLADO POR COMPUTADOR**

TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE
INGENIERO EN LA ESPECIALIZACION DE ELECTRONICA Y CONTROL

MARCO ADOLFO SINGAÑA AMAGUAÑA

Quito, Enero de 1998

AGRADECIMIENTO

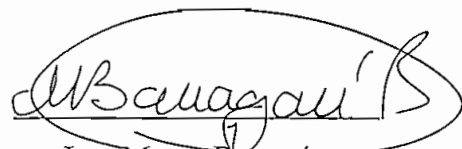
Un sincero agradecimiento al Director de este trabajo, Ing. Marco Barragán, por su ayuda incondicional ; así como también al Ing. Antonio Durán-Ballén Villalobos, Gerente General de INTELMASTER CIA.LTDA. y al personal técnico de COMPUWORKS, personas que colaboraron para la culminación de este trabajo.

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos por todo el apoyo brindado durante toda mi vida

CERTIFICACION

Certifico que el presente trabajo ha sido
realizado en su totalidad por el Señor
Marco Adolfo Singaña Amaguaña.

A handwritten signature in black ink, enclosed within a hand-drawn oval. The signature appears to read 'MBarragan' with a stylized flourish at the end.

Ing. Marco Barragán
Director de Tesis

INDICE

CAPITULO I : INTRODUCCION

No. Pag.

1.1 CONTENIDO.....	1
1.2 ANTECEDENTES.....	2
1.3 OBJETIVO.....	3
1.4 APLICACIONES.....	3
1.5 DESCRIPCION GENERAL DEL EQUIPO.....	4

CAPITULO II : GENERALIDADES

2.1 LA ENERGIA SOLAR COMO FUENTE ALTERNATIVA DE ENERGIA.....	7
2.2 ESTUDIO DE LAS CELDAS SOLARES.....	8
2.2.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....	8
2.2.2 CARACTERISTICAS ELECTRICAS.....	10
- Voltaje - Corriente y Máxima Potencia.....	10
- Potencia de salida - Luz incidente.....	11
- Respuesta Espectral.....	12
- Influencia de la Temperatura.....	13
2.2.3 RENDIMIENTO.....	13
2.2.4 TIPOS DE CELDAS SOLARES.....	13
2.2.5 CONEXION DE LAS CELDAS SOLARES.....	14
2.2.6 APLICACIONES DE LAS CELDAS SOLARES.....	15
2.2.7 VENTAJAS DEL USO DE LAS CELDAS SOLARES.....	16
2.3 ESTUDIO DE LOS MOTORES PASO A PASO.....	17
2.3.1 TIPOS DE MOTORES.....	17

- Motor paso a paso tipo imán permanente.....	18
- Motor paso a paso tipo reluctancia variable.....	19
- Motor paso a paso tipo híbrido.....	20
2.3.2 MODOS DE EXCITACION.....	20
- Dos Fases.....	20
- Tres Fases.....	21
- Cuatro Fases.....	21
2.3.3 APLICACIONES DE LOS MOTORES PASO A PASO.....	21

CAPITULO III : ESTUDIO DEL EQUIPO

3.1 DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL EQUIPO.....	23
- Panel.....	24
- Caras Laterales.....	25
- Base Giratoria.....	27
- Parte Fija.....	28
- Dimensiones de los motores paso a paso.....	29
- Sensores de posición del panel.....	29
- Grupo de engranajes de reducción.....	31
3.2 CALCULO DEL TORQUE REQUERIDO.....	37
- Caras Laterales.....	38
- Panel.....	40
- Base Giratoria.....	41

CAPITULO IV : DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL HARDWARE

4.1 CARACTERISTICAS DEL TRANSDUCTOR Y ACTUADORES UTILIZADOS.....	45
4.1.1 CARACTERISTICAS DEL TRANSDUCTOR.....	45

4.1.2	CARACTERISTICAS DE LOS ACTUADORES.....	46
4.2	INTERFACE AL PUERTO PARALELO DEL COMPUTADOR.....	48
4.2.1	ESTUDIO DEL PUERTO PARALELO.....	48
4.2.1.1	Líneas de Datos.....	50
4.2.1.2	Líneas de Estados.....	50
4.2.1.3	Líneas de Control.....	51
4.2.1.4	Limitaciones del Puerto Paralelo.....	54
4.2.2	CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL.....	55
4.2.3	CIRCUITO DE ADQUISICION DE DATOS.....	59
4.2.4	CIRCUITO DE CONTROL DE MOTORES PASO A PASO.....	67
4.2.5	FUENTES DE ALIMENTACION.....	73
4.2.6	CARACTERISTICAS DE LOS ELEMENTOS UTILIZADOS.....	73
4.2.6.1	Convertor análogo/digital.....	74
4.2.6.2	Características del controlador de motores.....	75
4.3	ESQUEMA GENERAL DEL CIRCUITO.....	76
4.4	MONTAJE DE PROTOTIPO.....	76
 CAPITULO V : DESARROLLO DEL SOFTWARE		
5.1	DESCRIPCION DEL LENGUAJE DE PROGRAMACION UTILIZADO.....	81
5.2	DESARROLLO DE FLUJOGRAMAS.....	85
5.2.1	FLUJOGRAMA GENERAL DE LA APLICACION.....	85
5.2.2	FLUJOGRAMAS DE INGRESO Y SALIDA DE DATOS.....	86
5.2.2.1	Inicialización del panel.....	86
5.2.2.2	Lectura de voltajes generados por las celdas solares.....	90
5.3	RUTINAS DE INGRESO Y SALIDA DE DATOS.....	103
5.4	RUTINA DE INICIALIZACION DEL PANEL.....	104
5.5	RUTINA DE GRAFICACION DE DATOS.....	105

5.6 RUTINAS DE CONTROL DE MOVIMIENTOS DEL PANEL.....	107
5.6.1 RUTINA DE CONTROL AUTOMATICO DEL PANEL.....	107
5.6.2 RUTINA DE CONTROL MANUAL DEL PANEL.....	115
5.6.3 RUTINA DE CONTROL PROGRAMADO DEL PANEL.....	116

CAPITULO VI : PRUEBAS Y RESULTADOS

6.1 PRUEBAS Y RESULTADOS.....	119
6.1.1 PRUEBAS DE LAS CELDAS SOLARES.....	119
6.1.2 PRUEBAS DE LOS MOTORES PASO A PASO.....	124
6.1.3 PRUEBAS DEL SISTEMA MECANICO.....	125
6.1.4 PRUEBAS DEL SISTEMA COMPLETO.....	127
- Prueba de ubicación del panel en posición inicial.....	128
- Pruebas en modo de operación automático.....	129
- Pruebas en modo de operación manual.....	132
- Pruebas en modo de operación programado.....	132
6.2 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	133
6.2.1 CONCLUSIONES.....	133
6.2.2 RECOMENDACIONES.....	136

BIBLIOGRAFIA.....	137
--------------------------	------------

ANEXOS

ANEXO A

MANUAL DE USO DEL PROGRAMA.....	138
---------------------------------	-----

ANEXO B

LISTADO DEL PROGRAMA.....	150
---------------------------	-----

ANEXO C

CARACTERISTICAS DE LOS ELEMENTOS.....	176
---------------------------------------	-----

CAPITULO I: INTRODUCCION

1.1 CONTENIDO

La descripción de este trabajo de tesis, como es el “Diseño y construcción de un rastreador solar controlado por computador”, se realiza en 6 capítulos.

En el capítulo 1, se indican los antecedentes y objetivo que se persigue al realizar este trabajo, así como también sus posibles aplicaciones; además se hace una descripción general del equipo.

En el capítulo 2, se realiza un estudio de una manera general de la energía solar que llega a nuestro planeta ; de las celdas solares, que sirven como elementos sensores de posición de la fuente luminosa y de los motores paso a paso, que se usan como elementos finales de actuación.

En el capítulo 3, se realiza el diseño y construcción del equipo y en base a éste, un estudio del Momento de Inercia y Torque requerido, con el fin de seleccionar adecuadamente los motores paso a paso y demás elementos necesarios para su buen funcionamiento mecánico.

En el capítulo 4, se desarrolla el diseño y construcción de los circuitos acondicionadores de señal, considerando las características de los elementos externos utilizados (celdas solares y motores paso a paso). Además se realiza un estudio del puerto paralelo del computador y se diseña y construye los circuitos de interface al mismo. Finalmente, una vez elaborado el circuito de control del prototipo, en base su esquema general, se realiza el montaje del mismo

En el capítulo 5, se desarrolla el software en entorno visual (con las ayudas y opciones necesarias) , que permita controlar la posición del rastreador y además visualizar el voltaje generado por las celdas solares y la posición relativa del rastreador.

En el capítulo 6, se mencionan las pruebas realizadas y los resultados obtenidos y como consecuencia de ello, las conclusiones y recomendaciones que se derivan de este trabajo de tesis.

1.2 ANTECEDENTES

En la actualidad la aplicación de políticas de diversificación energética es muy importante, ya que permitiría tener una mayor independencia de las necesidades de energía, con respecto a las tradicionales.

Para lograr esto, hay que buscar otros medios no convencionales para producir energía ; es decir, energías alternativas como : solar, eólica e incluso de las mareas.

De entre las citadas nuevas energías, la solar es la que más desarrollada se encuentra en otros países y bien se podría adaptar esa tecnología al medio ecuatoriano, para satisfacer las necesidades de abastecimiento energético.

Si bien es cierto, en el país ya se han realizado estudios y construido sistemas de captación de energía solar para distintas aplicaciones, cualquier trabajo adicional que ayude a incrementar los conocimientos referentes a este tema, es de mucha importancia. Razón por la cual, el desarrollo del presente trabajo de tesis, como es el diseño y construcción de un rastreador solar se ve plenamente justificado.

1.3 OBJETIVO

El objetivo de este trabajo de tesis es el de diseñar y construir el prototipo de un rastreador solar, que dispone de un sistema automático de seguimiento del movimiento aparente del sol (o cualquier fuente luminosa artificial), de tal manera que permanentemente esté orientado en el punto de máximo rendimiento, lo que permitirá aprovechar de manera más eficiente esta fuente natural de energía.

El control del movimiento del rastreador solar se realiza desde el computador, utilizando un lenguaje de programación en entorno visual y se utiliza el puerto paralelo, por las ventajas que éste presenta, para establecer el flujo de datos entre los elementos externos y el computador.

1.4 APLICACIONES

- Se conoce que la energía solar en la superficie de la tierra, es influenciada por la atmósfera (nubes, polvo, smog, etc.) y por el ángulo de incidencia de los rayos solares (éste depende de las horas del día y estación climatológica); por lo tanto, se puede realizar un estudio de los efectos que causan las nubes o el smog (contaminación ambiental) en la energía solar (expresado en voltaje) que llega a la superficie terrestre.
- Con este prototipo, realizando ciertas modificaciones en el programa de control, se podrían obtener datos exactos de la radiación solar expresada en [Kwh/m^2] para determinadas áreas. Estos datos resultarían muy importantes ya que permitiría conocer qué regiones del país son aptas para ubicar unas posibles estaciones solares.

- Por otro lado, aunque se trata de un prototipo, su desarrollo bien podría servir como base para el diseño de pequeñas centrales solares.
- Por último, el prototipo en sí, también se puede utilizar en Laboratorio para realizar algún estudio o investigación de tipo didáctico.

1.5 DESCRIPCION GENERAL DEL EQUIPO

El prototipo de un rastreador solar, realiza el seguimiento automático sobre dos ejes, de una fuente luminosa natural o artificial. Un esquema simplificado se muestra en la figura 1.1 Como se puede observar esta figura, que constituye el esquema general del prototipo, se utilizan celdas solares colocadas en un “panel”, para sensar la variable física (fuente luminosa incidente), éstas dan la información del voltaje generado en cada una de ellas e implícitamente indican la posición de la fuente luminosa.

Estas señales de voltaje son acondicionadas y digitalizadas e ingresan a través del puerto paralelo del computador, que es el elemento inteligente que realiza las acciones de monitoreo y control de la variable física.

La información es procesada en base a un programa desarrollado en Visual Basic y su resultado final, es almacenado y enviado por el mismo puerto, hacia una etapa de acondicionamiento de señal y luego al elemento final de actuación, que son dos motores paso a paso.

Los motores paso a paso se encargan de mover el panel , que constituye el elemento terminal , de tal manera que éste siempre se oriente perpendicularmente a la fuente

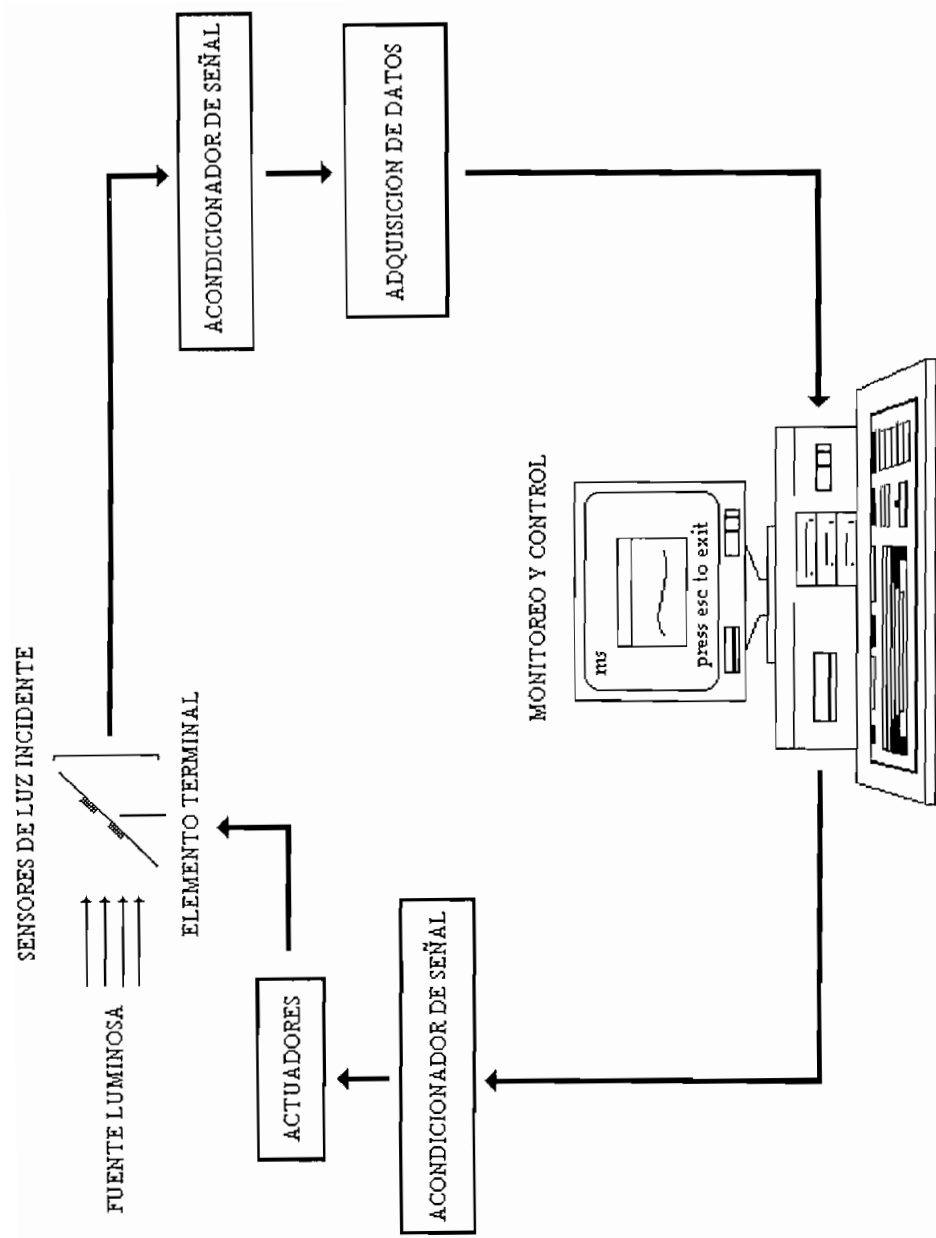


Fig.1.1 Esquema general del rastreador solar

luminosa. Cada uno de estos motores tiene un sensor de posición que sirve de referencia para controlar el movimiento del panel.

Con la información almacenada en el computador, se realiza el gráfico del voltaje generado por las celdas solares ; se indica la posición relativa del panel y además se establece el entorno necesario que permita controlar el mismo, en forma automática, manual o programada.

Cuando se selecciona el modo de operación automático, el panel sigue a la fuente luminosa, automáticamente.

Cuando se escoge el modo de operación manual, el usuario utilizando el ratón del computador debe hacer un “click”, en cualquiera de los botones de comando diseñados para el efecto, para que el panel se mueva a posiciones específicas.

De igual manera, si se elige el modo de operación programado, el panel se mueve a posiciones que previamente han sido grabadas ; para lo cual, se debe utilizar un archivo de datos, que es generado por el mismo programa de control (cuando se opera en modo automático o manual), que contiene la información de los movimientos que debe realizar el panel.

A continuación en el siguiente capítulo, se realizará el estudio de una manera general de la energía solar, lo que permitirá familiarizarse con algunos términos y constantes referentes a este tema. Asimismo, se realizará un estudio de las celdas solares y motores paso a paso, con lo cual se conocerá algunas características de estos elementos.

CAPITULO II : GENERALIDADES

2.1 LA ENERGIA SOLAR COMO FUENTE ALTERNATIVA DE ENERGIA

Según investigaciones realizadas, se conoce que el sol es una bola de gas que se encuentra en permanente reacción termonuclear y que irradia energía en todas direcciones y es reflejada por masas de gas, atmósferas y planetas. De esta energía que irradia el sol, sólo una pequeña parte llega a nuestro planeta.

Para expresar la cantidad de energía que llega a la Tierra, se ha definido la Constante Solar (también llamada Densidad de Potencia), que es la energía del sol por unidad de tiempo recibida por unidad de área, sobre una superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación, a la distancia media Tierra - Sol. En el exterior de la atmósfera, su valor es $1353 \text{ [W/m}^2 \text{]}$, con un error estimado de $\pm 1.5\%$ [1].

Aproximadamente el $1/3$ de esta energía se pierde mientras pasa a través de la atmósfera terrestre ; algunas factores que determinan esta pérdida son, la dispersión producida por moléculas de aire, vapor de agua, polvo, absorción producida por el O_3 , H_2O , CO_2 , etc.; por lo tanto, en un día claro y a mediodía, el valor de la densidad de potencia de la luz del sol, es aproximadamente $1000 \text{ [W/m}^2 \text{]}$ sobre la superficie.

Aún así se considera que la energía que llega a la superficie, es superior a la necesaria para cubrir los requerimientos actuales e incluso futuros a largo plazo.

Actualmente las aplicaciones más comunes de la energía solar, se basan en el método de radiación directa ; es decir, cuando el objeto es directamente incidido por el sol, lo que se utiliza por ejemplo, para el secado de productos, para calentar y enfriar edificios, para

purificar agua de mar, para producir sal y otros minerales preciosos disueltos en el agua del mar, etc.

2.2 ESTUDIO DE LAS CELDAS SOLARES

Partiendo del conocimiento de estas cifras astronómicas de energía solar que llega a la superficie terrestre y que no se la utiliza adecuadamente, y además, debido a que las fuentes tradicionales de energía como el petróleo, gas y carbón de los cuales se depende en gran escala, se consumen de una manera muy rápida y que en un tiempo no muy lejano se agotarán completamente, se han buscado técnicas para hacer más aprovechable esta energía que es gratuita, abundante y no contaminante.

Varios fueron los procedimientos descubiertos, aunque principalmente hay dos de gran consumo: el fotovoltaico (para conversión directa de luz en electricidad) y el de espejos concentrados (para transformación térmica).

El procedimiento fotovoltaico, está basado en una unidad de conversión denominada celda o célula solar ; estas celdas de elemento semiconductor, agrupadas dan lugar a los conocidos paneles solares.

2.2.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

La generación directa de electricidad, a partir de la luz del sol por medio del efecto fotovoltaico, se debe a la generación de una fuerza electromotriz como resultado de la absorción de radiación ionizante (solar). Al incidir radiación solar sobre un material semiconductor, se activan los electrones del mismo y al hacerlos fluir entre dos capas de materiales con diferentes propiedades eléctricas, se produce la corriente eléctrica.

Las celdas solares son hechas con silicio, éste es fundido y tratado con una mínima cantidad de “impurezas”.

Átomos de Boro, son usados para producir una carga positiva en exceso en la banda de valencia y el silicio resultante es llamado silicio tipo P. En cambio el átomo de Fósforo generalmente son usados, para producir una carga negativa en exceso en la banda de valencia, dando como resultado el llamado silicio tipo N.

En la figura 2.1 se indica una celda fotovoltaica elemental. Cuando los fotones de la luz del sol son absorbidos por la celda, éstos dan lugar a la aparición de electrones libres con altas energías.

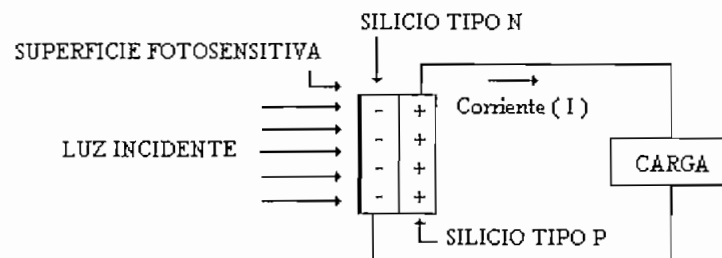


Fig.2.1 Celda fotovoltaica elemental

El campo eléctrico que existe en la juntura formada entre los materiales tipo N y tipo P induce a estos electrones a fluir. Es este flujo de electrones, el que produce electricidad.

Por tanto la celda solar se puede utilizar como una fuente de energía, donde el material tipo N es el polo negativo y el material tipo P es el polo positivo.

Cuando la celda solar es conectada a una carga, la acción fotovoltaica de la luz del sol en la

celda, causará un flujo de corriente a través esta carga.

2.2.2 CARACTERISTICAS ELECTRICAS

- Voltaje - Corriente y Máxima Potencia

La celda solar que convierte luz y no calor en electricidad [2], es un elemento no lineal ; por lo tanto, no se puede utilizar una expresión matemática para obtener sus características. Para graficar la curva voltaje - corriente, se debe conectar una carga variable a la celda solar, con los respectivos instrumentos de medida.

La curva voltaje - corriente que se indica en la figura 2.2, se obtiene variando la carga desde un valor muy alto (circuito abierto), hasta un valor muy pequeño (cortocircuito).

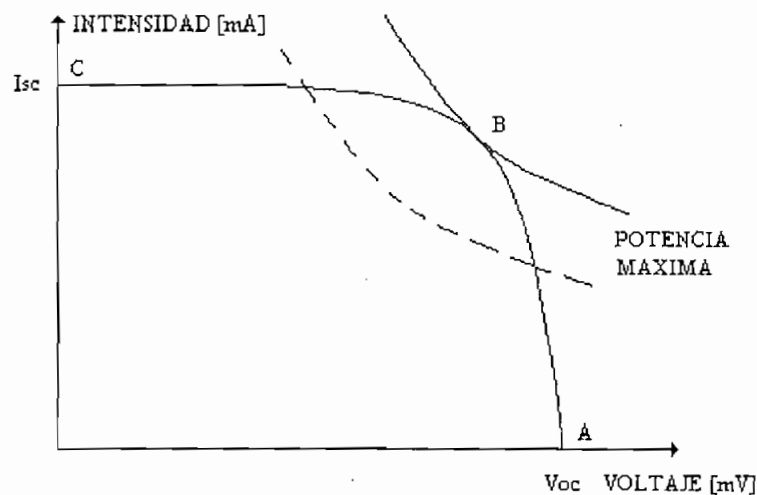


Fig.2.2 Curva de Voltaje - Corriente y Potencia Máxima de una celda solar

En esta curva; en el punto A se tiene el voltaje de circuito abierto (Voc); en cambio, en el punto C, la corriente de cortocircuito (Isc) y en el punto B (punto de tangencia, entre la curva voltaje - corriente y la curva de equipotencia), llamado punto de inflexión o de

funcionamiento, la potencia máxima.

En general se puede operar en cualquier punto de la curva ; como en el caso de la figura anterior, en donde la línea a trazos representa otra curva de equipotencia ; pero, en muchas aplicaciones prácticas se espera que la celda entregue la máxima potencia a la carga, lo que se logra cuando se opera en el punto de inflexión.

- Potencia de salida - Luz incidente

Otra importante característica tiene que ver con el comportamiento de la celda solar ante cambios en los niveles de luz del sol.

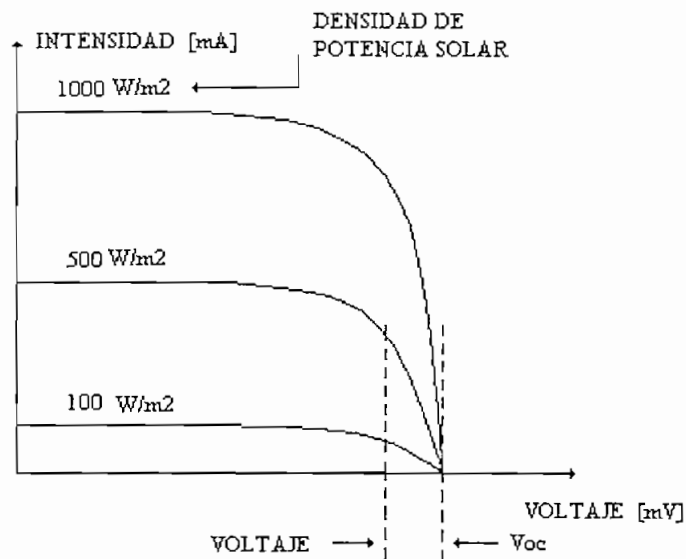


Fig.2.3 Potencia de salida para diferentes cantidades de luz incidente

Como se puede observar en la figura 2.3, cuando la luz del sol que incide en la celda disminuye en un rango aceptable, el voltaje no se ve notablemente afectado (no hay mucha variación) ; pero sí la corriente, que disminuye de manera aproximadamente lineal con la

cantidad de luz incidente ; en este caso, la potencia de salida de la celda es proporcional a la corriente.

Cuando la luz del sol incidente llega a niveles relativamente bajos, tanto la corriente como el voltaje son afectados ; por lo tanto, la celda no trabaja eficientemente.

- Respuesta Espectral

Otra característica, es su respuesta espectral. La figura 2.4 muestra la relación entre el color (la luz del sol contiene muchos colores de luz), visibilidad, longitud de onda y potencia relativa. Como se puede observar, la celda solar tiene una respuesta espectral relativamente alta a un amplio rango de longitudes de onda, que va desde el ultravioleta, pasando por el espectro de región visible, hasta el infrarrojo.

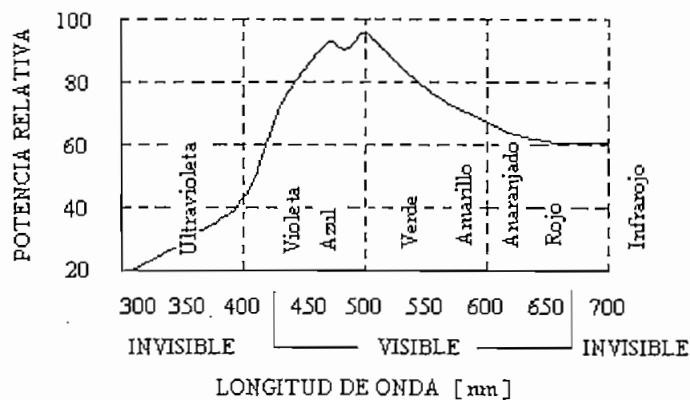


Fig.2.4 Respuesta espectral de una celda solar

De la figura puede notar que la luz de color azul - verde, es la mejor luz para energizar celdas solares.

- Influencia de la Temperatura

En lo que se refiere al comportamiento de las celdas solares con la temperatura ; este factor incide en la potencia que entrega la celda, para una cantidad de iluminación dada. Al incrementarse la temperatura de la celda, el voltaje decrece a razón de 2 mV por grado centígrado [3] ; este decremento de voltaje, es parcialmente compensado por el incremento de corriente de 0.5 mA por grado centígrado, sin embargo esta compensación no es completa. En general, el incremento de temperatura disminuye la potencia disponible, a razón del 0.3% por grado centígrado.

2.2.3 RENDIMIENTO

El rendimiento de la conversión de luz solar en energía eléctrica no es del 100% debido a algunos efectos que originan pérdidas como: reflexiones, insuficiente energía de los fotones incidentes, pérdidas térmicas por fotones con energía muy alta, recombinaciones y pérdidas eléctricas en la celda.

Las celdas solares de silicio cristalino, que son las más difundidas actualmente ; fabricadas en serie, alcanzan en servicio un rendimiento del 14%, con una corriente de 30 [mA/cm²] y una tensión de 0.5 [V] [4].

2.2.4 TIPOS DE CELDAS SOLARES

Las celdas solares, que son fabricadas de silicio como se había mencionado anteriormente, pueden ser de dos clases principales [4]:

- De capa gruesa (silicio cristalino)

- De capa fina (silicio amorfo)

Las celdas solares de silicio cristalino pueden ser:

- De silicio monocristalino, con un rendimiento entre el 13 y el 16%

- De silicio policristalino, con un rendimiento del 10 al 12%.

Las celdas solares de silicio amorfo, que tienen capas muy delgadas para la absorción completa de los fotones, tienen un rendimiento del 6 al 8%.

Además de estas celdas solares, también se han analizado otras combinaciones de materiales celulares, como son los semiconductores de aleación. Entre estas combinaciones están, el arseniuro de galio, sulfuro de cadmio, sulfuro de cobre, etc., éstas tienen una eficiencia de alrededor del 5%.

2.2.5 CONEXION DE LAS CELDAS SOLARES

Cuando se dispone de más de una celda solar ; se puede variar la cantidad de corriente o voltaje, conectando éstas en serie y/o paralelo, como se muestra en la figura 2.5.

Como se conoce, cuando las celdas solares se conectan en serie (Fig.2.5.a), el voltaje se incrementa y la corriente permanece constante.

$$E_{\text{total}} = E_1 + E_2 + E_3 \quad \text{Ec. 2.1}$$

$$I_{\text{total}} = I_1 = I_2 = I_3 \quad \text{Ec.2.2}$$

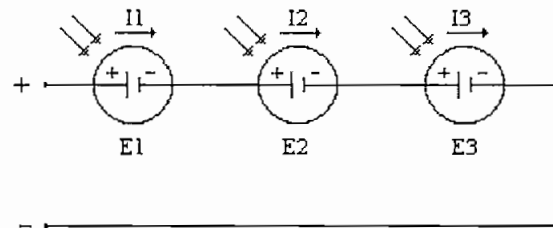
Cuando las celdas solares se conectan en paralelo (Fig.2.5.b), la corriente se incrementa y el voltaje permanece constante.

$$E_{\text{total}} = E_1 = E_2 = E_3$$

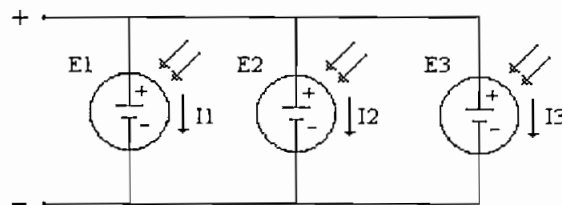
Ec. 2.3

$$I_{\text{total}} = I_1 + I_2 + I_3$$

Ec.2.4



a) CONEXION SERIE



b) CONEXION PARALELO

Fig.2.5 Conexión de celdas solares

2.2.6 APLICACIONES DE LAS CELDAS SOLARES

Las principales aplicaciones de las celdas solares, para la producción de energía eléctrica son:

- Sistemas de telecomunicaciones
- Suministro de energía eléctrica para poblaciones situadas en zonas aisladas
- Aprovisionamiento energético de estaciones sanitarias y de pequeños hospitales

- Globos meteorológicos y de telecomunicaciones.
- También en sistemas de bombas de agua alimentados directamente, instalaciones de protección anticorrosiva catódica de oleoductos, sistemas de señalización para tráfico ferroviario, carretero y marítimo (boyas y faros), estaciones instrumentadas, aplicaciones militares y juguetes eléctricos.
- En aplicaciones espaciales ; en los satélites de comunicaciones y en los vehículos de exploración espacial, en donde son usadas para recargar las baterías que energizan a todos los equipos que disponen a bordo, sin estas celdas cada vehículo espacial debería llevar un peso adicional en forma de baterías, lo que haría imprácticos a éstos.

2.2.7 VENTAJAS DEL USO DE LAS CELDAS SOLARES

La utilización de la energía solar por medio de las celdas solares, no es contaminante ; o sea, no produce contaminación por gases ; no calienta el medio ambiente ; no produce ruidos ni residuos radioactivos.

2.3 ESTUDIO DE LOS MOTORES PASO A PASO

El objetivo de este tema no es el de realizar un estudio detallado del mismo, sino más bien el de conocer de una manera general el principio de funcionamiento, tipos y aplicaciones de los motores paso a paso.

Un motor paso a paso es un actuador incremental electromagnético, el cual convierte pulsos digitales de entrada en movimientos mecánicos de salida ; pues, el eje del motor gira un ángulo específico en respuesta a un pulso de entrada.

Cuando es controlado apropiadamente, los pasos de salida son siempre iguales en número, al número de pulsos de entrada.

Un motor paso a paso, cuya velocidad está limitada a alrededor de 1000 r.p.m. y a una potencia de cerca de 500 vatios [5], tiene las siguientes ventajas:

- Es esencialmente un elemento de movimiento discreto y compatible con modernas técnicas de control digital.
- En un sistema de lazo abierto, se puede conseguir una posición exacta y un control de velocidad óptimo del motor.
- El diseño del sistema de control es relativamente simple.
- El consumo de potencia para operaciones intermitentes, es reducida.
- Es insensible a vibraciones y choques.
- Tiene una vida útil muy larga.

Una limitación de este motor es su baja potencia de salida.

2.3.1 TIPOS DE MOTORES

Hay tres tipos principales de motores paso a paso [6]:

- De imán permanente.
- De reluctancia variable.
- Híbridos.

- Motor paso a paso tipo imán permanente

Este tipo de motor fue originalmente diseñado para operar como un motor inductor sincrónico de baja velocidad ; tiene la capacidad de actuar en modo de paso a paso, cuando las fases son apropiadamente excitadas.

En la figura 2.6, se muestra el esquema de este tipo de motor ; el estator está compuesto por dos secciones (dos estatores) de hierro con un determinado número de dientes, energizados por dos bobinados separados, el rotor generalmente esta formado de un imán permanente con sus polos Norte y Sur completamente definidos o puede estar provisto de un campo electromagnético unidireccional.

Cuando los bobinados del estator son energizados, un flujo magnético es establecido, el cual interactúa con el campo magnético del imán permanente en una forma tal que el rotor tenderá a alinearse entre estos campos.

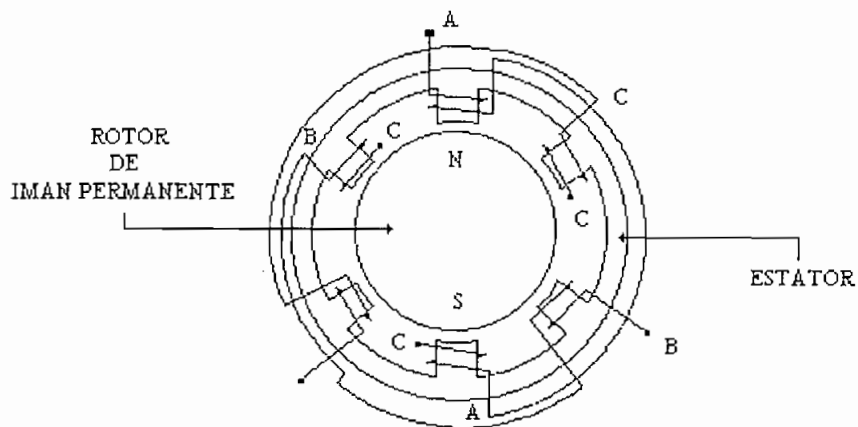


Fig.2.6 Motor paso a paso tipo imán permanente

Estos motores tienen como características:

- Bajas velocidades de operación.
- Angulos de paso grandes.
- Un grado variable del par de mantenimiento, cuando los bobinados no son excitados.
- **Motor paso a paso tipo reluctancia variable**

Este motor tiene un rotor multipolo de hierro dulce y un estator bobinado. Opera bajo el principio de reluctancia variable: cuando una fase de los bobinados es energizado por un voltaje constante, la fuerza magnetomotriz creada por la corriente hará girar el rotor a una posición en donde se establece la mínima reluctancia del circuito magnético y el motor entra en equilibrio estable.

Este tipo de motor, que es uno de los más populares a causa de su simplicidad en la construcción, tiene las siguientes características:

- Torque de salida bajo.
- Inercia del rotor y por tanto capacidad de carga inercial extremadamente bajos.
- Operan en un rango de pulsos de entrada máximos de 300 a 1000 pasos/segundo.
- El rotor es completamente libre de girar, cuando no hay corriente aplicada a los bobinados.

En este motor, el número de dientes en el rotor y estator ; así como también, el número de bobinados de fase, determinan el ángulo de paso.

- **Motor paso a paso tipo híbrido**

Este motor combina las características de los motores paso a paso de imán permanente y de reluctancia variable. Tiene un estator bobinado y un rotor de reluctancia variable con un imán permanente en su circuito magnético ; este imán se ubica generalmente en el rotor, aunque puede estar en el estator.

Como características principales tiene:

- Alto torque de salida (20 a 1000 onzas - pulgada).
- Alta inercia (30 a 40000 gr - cm²).
- Pequeños ángulos de paso (0.5 a 15 grados).
- Alta exactitud (+/-3%).

2.3.2 MODOS DE EXCITACION

Dependiendo del bobinado en el estator y del funcionamiento deseado, un motor paso a paso puede ser excitado de varios modos diferentes [6]:

- **Dos Fases**

Una fase del bobinado del estator es energizado a la vez, la energía de entrada representa la mitad, comparada con una excitación a cuatro fases ; por tanto, la disipación de calor se ve disminuida.

En el modo de dos fases modificado, ambos bobinados son energizados simultáneamente y la energía de entrada es la misma que en el modo a cuatro fases, pero la potencia de salida

se ve incrementada en alrededor del 40%, el control es más complejo y costoso.

- **Tres Fases**

Muchos motores de reluctancia variable usan bobinados de tres fases ; en el modo de excitación modificado, dos bobinas adyacentes son excitadas simultáneamente y el rotor pasa a una posición de mínima reluctancia, que corresponde al resultado de la interacción de los dos campos magnéticos. La potencia de salida permanece constante.

- **Cuatro Fases**

En este modo de excitación, cada mitad de un bobinado es considerado como una fase separada y dos fases son energizadas a la vez. El torque de salida es incrementado en alrededor del 40%, comparado con el primer modo de operación.

A pesar que este modo de excitación no es muy eficiente, el controlador es relativamente simple, comparado con el modo a dos fases.

2.3.3 APLICACIONES DE LOS MOTORES PASO A PASO

Debido a que probablemente son los menos costosos y sus controles electrónicos están fácilmente disponibles y tampoco son caros, los motores paso a paso tienen una gran variedad de aplicaciones.

Las más comunes se dan en los equipos periféricos de computación ; tales como, impresoras, grafizadores, drivers, mecanismos de acceso a memoria, etc.

También se aplican en sistemas de maquinas herramientas, sistemas de control de procesos, sistemas de robots, etc.

Cuando se va a seleccionar un motor paso a paso para una determinada aplicación, siempre hay que realizar un análisis de su carga inercial y velocidad o rango de velocidades en el cual debe operar.

- Carga inercial : Cuando un motor va a manejar un carga inercial, es muy importante equilibrar su tamaño con la carga inercial, esto minimizará los tiempos de aceleración/desaceleración y por tanto, se tendrán requerimientos de potencia adecuados para una aplicación determinada.

- Rango de velocidades : En muchos casos los motores tienen que girar a bajas velocidades (20 a 100 r.p.m.), mientras se requieren altos torques para al menos parte del movimiento. Usando un acople directo bajo estas condiciones, conducirá a un motor sobredimensionado y operando ineficientemente, en términos de su rango de potencia.

Como regla general un motor debería operar a la máxima potencia posible, de modo que el tamaño del motor no sea desperdiciado. Un motor operando a un determinado torque, desarrolla 10 veces su potencia a 1000 r.p.m. que cuando opera a 100 r.p.m.; consecuentemente, será sobredimensionado si siempre opera a baja velocidad.

Por tanto durante el diseño siempre hay que determinar el rango de velocidades requerido y asegurarse que el motor seleccionado tiene esa capacidad.

Para tener salidas con un torque alto a bajas velocidades, se usa un arreglo de engranajes de reducción, esto disminuye el tamaño del motor y permite la utilización de la máxima potencia.

CAPITULO III: ESTUDIO DEL EQUIPO

3.1 DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL EQUIPO

Para el diseño del equipo, se toma en cuenta su forma y tamaño de tal manera que éste sea simple, liviano y cómodo de maniobrar, además de tener la solidez adecuada ; estos parámetros influyen directamente en el dimensionamiento y capacidad de carga (torque) de los motores paso a paso.

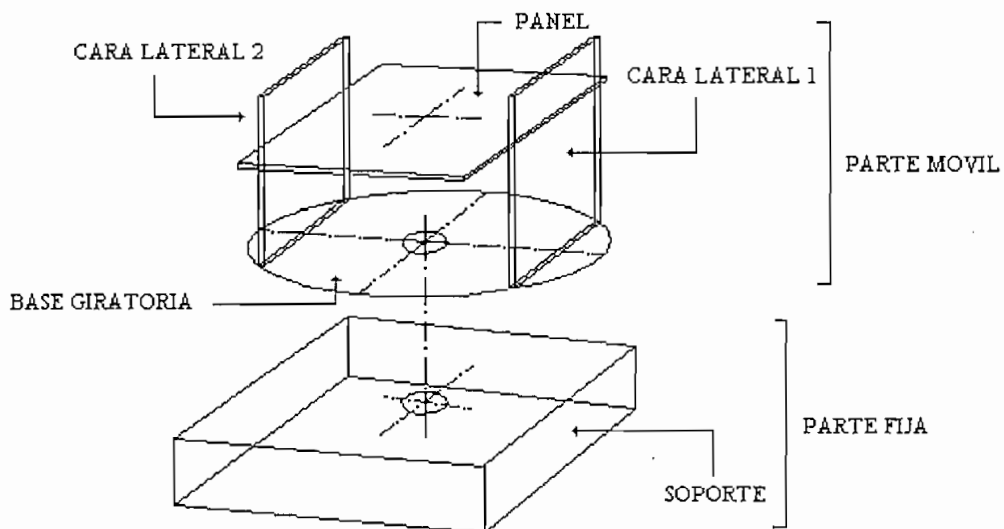


Fig.3.1 Esquema del equipo

Como se observa en la figura 3.1 , el equipo consta de una parte móvil y una parte fija ; la parte móvil esta formada del panel, de las caras laterales que sujetan al panel y de la base giratoria en donde se montan las caras laterales.

A continuación, se describe cada una de estas partes:

- Panel

El panel está construido de material acrílico de 3 mm de espesor. En éste se colocan 4 celdas solares, que son los elementos sensores de posición de la fuente luminosa. En la figura 3.2, se indica la dimensiones cada celda solar, la cual ha sido montada con un pegamento especial, en una pequeña base (receptáculo) de material acrílico de 2 mm. de espesor. En esta base se han fijado los terminales positivo (+) y negativo (-) de la celda y además se han realizado dos perforaciones que permitan sujetarlo al panel mediante tornillos

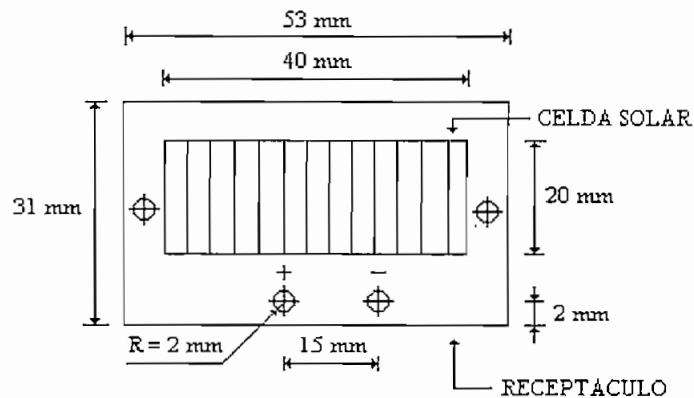


Fig.3.2 Dimensiones de la Celda Solar

La figura 3.3 indican las dimensiones del panel y la ubicación de las celdas solares en el mismo. A estas celdas se les ha designado como celda1, celda2, celda3 y celda4, con el fin de tener una referencia ; la cual servirá en los siguientes capítulos, para referirse a las

celdas del panel

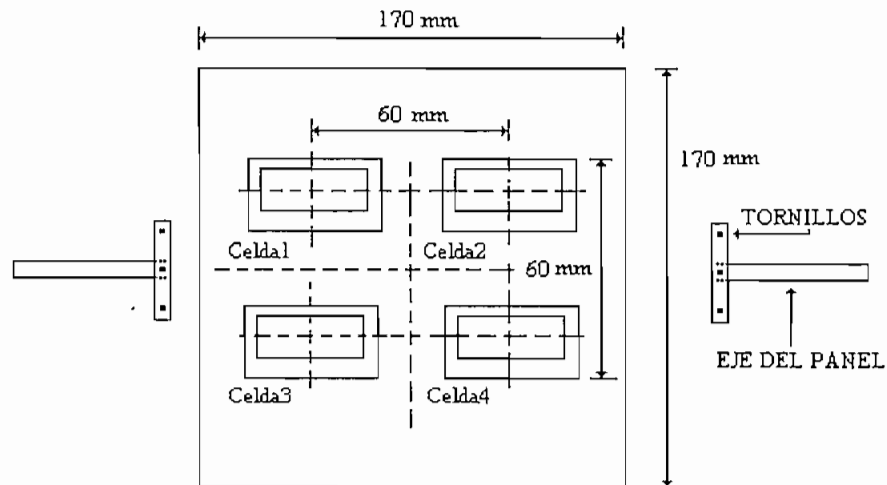


Fig.3.3 Dimensiones del panel y ubicación de celdas solares

En la figura anterior también se observa el eje del panel, construido de una varilla de acero, el cual se empotra en las caras laterales que sirven como soporte ; a este eje, se acopla el panel por medio de tornillos.

En la figura 3.4, se muestra el mismo panel, al cual se ha colocado un cruz metálica (obturador), con el fin de establecer las relaciones de luz/sombra en cada una de las celdas y se le ha pintado de negro con el fin de evitar la reflexión de la luz incidente. Esta parte se explicará con mayor detalle en el capítulo correspondiente al desarrollo del software.

- Caras Laterales

Están construidas de material acrílico de 6 mm de espesor y en éstas se coloca el eje del

panel.

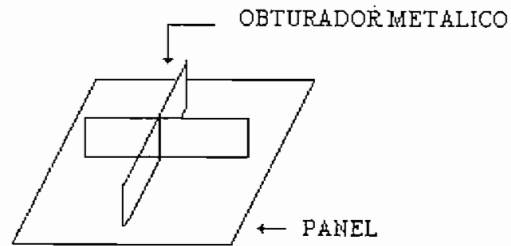


Fig.3.4 Panel con el obturador metálico

Para que no haya rozamiento entre este eje y las caras laterales, se empotra en cada una de estas caras, un pequeño bocín, lo que permite al panel girar libremente. Estos bocines construidos de material “duralón”(más adelante, se indicarán las características de este material), se ajustan en la cara lateral respectiva mediante tornillos.

En la figura 3.5 se indica las dimensiones de estas caras laterales y los radios de las perforaciones para empotrar los bocines y en éstos, el eje del panel.

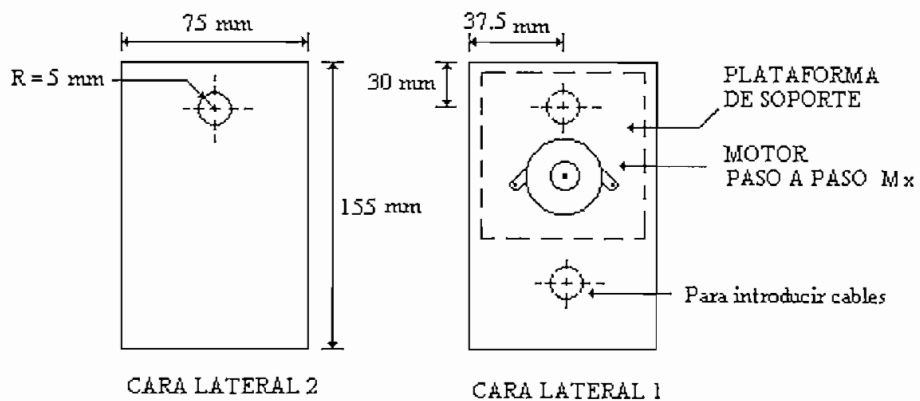


Fig.3.5 Caras Laterales

Como se puede observar en la figura anterior ; en la cara lateral 1 se coloca una pequeña plataforma de soporte, en donde están ubicados adecuadamente, un motor paso a paso denominado Mx, un grupo de engranajes de reducción y un sensor de posición del panel, denominado Sx . Estos elementos que forman la cara lateral 1, se revisará más adelante.

- Base Giratoria

De igual manera está construido de material acrílico de 6 mm de espesor. En esta base se asientan las caras laterales ; para lo cual se ubica entre estas caras y la base, pequeños triángulos de soporte, contruidos del mismo material acrílico, para tengan la solidez deseada. La unión entre estas partes, se realiza con tornillos.

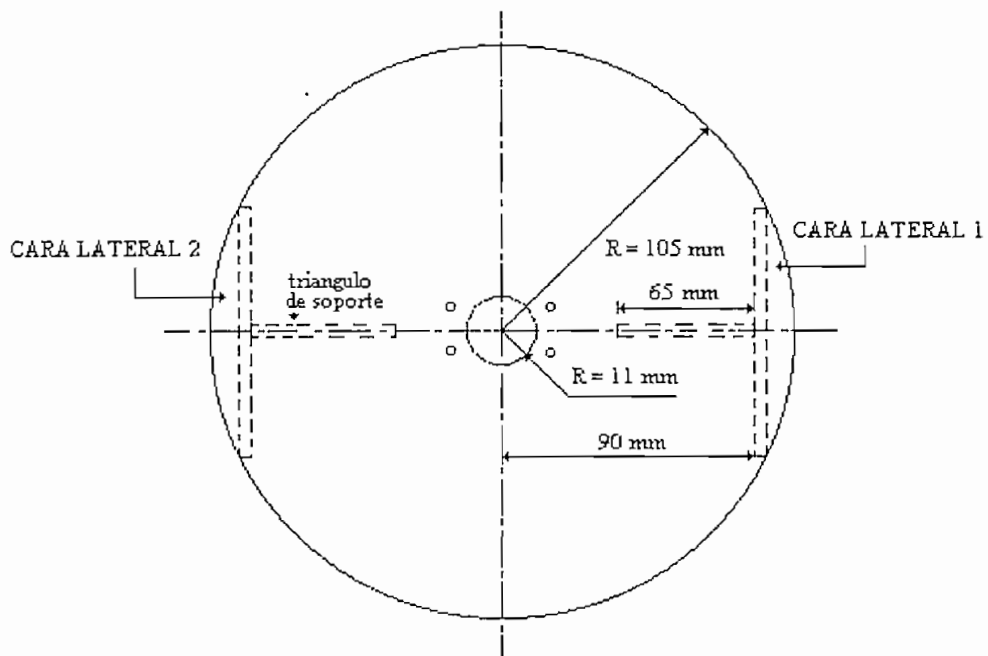


Fig.3.6 Base Giratoria

En la figura 3.6, se indica las dimensiones que tiene la base, la ubicación de las caras laterales con respecto al centro de la misma y las dimensiones del triángulo de soporte.

Esta base giratoria en conjunto con las caras laterales y el panel, forman la parte móvil del equipo.

- Parte Fija

Tiene la forma de una caja y sirve como soporte de la parte móvil, está construido de material acrílico de 6 mm de espesor. En esta caja están ubicados ; un motor paso a paso denominado M_y , un grupo de engranajes de reducción con su eje “principal” , un sensor de posición del panel (montado sobre el motor), denominado S_y y dos celdas solares, que cumplen una función específica y que se explicará en los siguientes capítulos.

En la figura 3.7, se indican las dimensiones de esta caja, que constituye la parte fija del equipo.

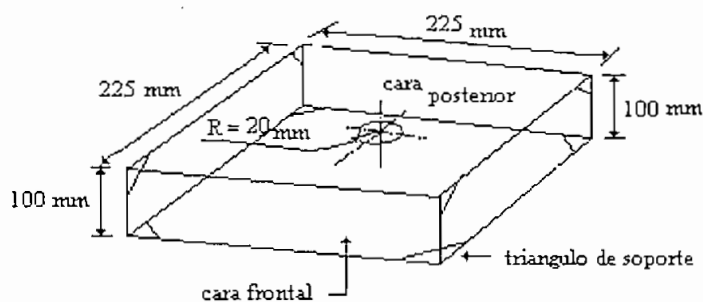


Fig.3.7 Parte Fija del equipo

En esta caja ; se colocan, en la parte posterior, un conector DB25 hembra, sujeto con tornillos para que tenga la consistencia adecuada y sirve para conectar los terminales de los motores paso a paso M_x y M_y , las celdas solares y los sensores de posición del panel.

Las caras laterales y las bases superior e inferior de la caja, se unen con tornillos ,

colocándose también pequeños triángulos, con el fin indicado anteriormente, de aumentar la solidez.

La base giratoria que junto con las caras laterales y el panel, forman la parte móvil del equipo, se une al eje “principal” del grupo de engranajes de reducción, acoplado al motor paso a paso My. Para que queden sólidamente unidos, se utilizan tornillos con rodela de presión, lo que permite también evitar posibles movimientos innecesarios en el equipo, debido a holguras. Asimismo, para evitar rozamientos entre la base superior de esta caja y el eje principal, se coloca a presión un bocín.

A continuación, se indicarán las dimensiones de los motores paso a paso y se realizará una descripción de los sensores de posición del panel y del grupo de engranajes de reducción.

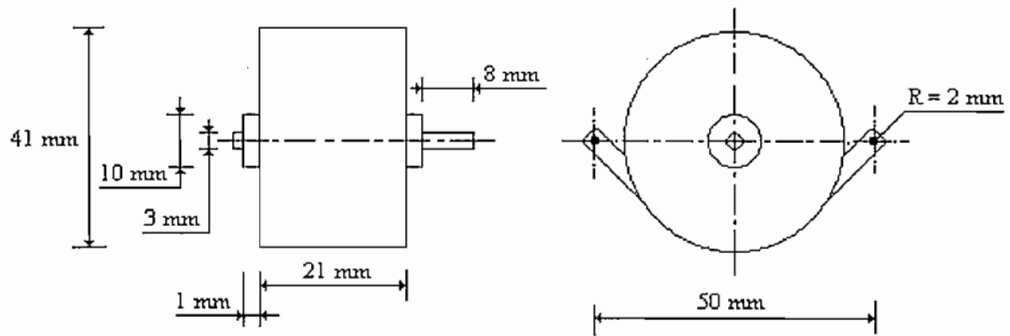
- Dimensiones de los motores paso a paso

En la figura 3.8, se indican las dimensiones aproximadas de los motores paso a paso. En el siguiente capítulo se indicarán las características eléctricas que tienen estos motores.

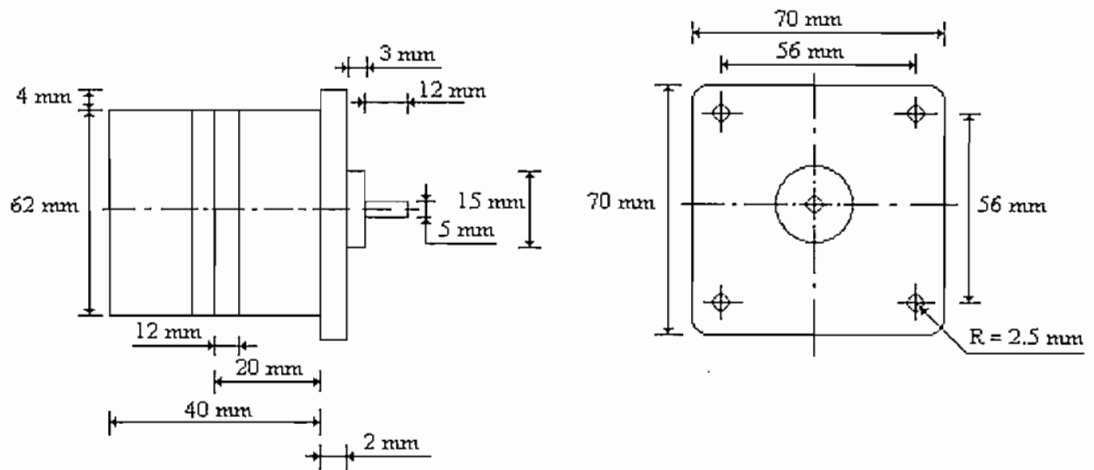
- Sensores de posición del panel

En lo que se refiere a los sensores de posición del panel, éstos están formados por un optoacoplador y los elementos necesarios para su buen funcionamiento. Estos sensores son muy importantes, ya que permiten ubicar al panel en una posición adecuada, al momento de inicializar el equipo de rastreo solar. Desde esta posición “inicial”, el panel empezará a girar de acuerdo a la posición de la fuente luminosa incidente, en cualquiera de los ejes de rotación ; además por medio de software, se registra el número de grados que avanza el mismo desde esta posición inicial y permite detener su movimiento, cuando ha avanzado un número de grados, previamente definido. Este tema asimismo, se explicará en forma más

detallada , en los dos siguientes capítulos.



a) Motor paso a paso Mx



b) Motor paso a paso My

Fig.3.8 Dimensiones aproximadas

- Grupo de engranajes de reducción

El grupo de engranajes de reducción, se implementan con el fin de disminuir el ángulo mínimo de desplazamiento angular del panel, ya que los motores paso a paso tienen un desplazamiento angular de 7.5 grados / paso. Este grupo de engranajes se diseñan de tal manera que el panel se desplace ángulos mínimos de 1.8 grados.

Los engranajes o ruedas dentadas, pueden ser construidos con acero al carbón, bronce, aluminio, hierro, etc. Para esta aplicación se utilizan engranajes construidos con material “duralón”.

El duralón es un tecnopolímero, con excepcionales características físico - mecánicas, que permiten reemplazar en muchos casos a materiales tradicionales como: bronce, aluminio, hierro , etc.

A continuación, se presentan las características más importantes que tienen las partes y piezas construidas con este material:

- Alta resistencia al desgaste.
- Alta resistencia a la compresión.
- Buena dureza superficial.
- Disminución del ruido en las máquinas que lo utilizan.

Para mayor información referirse al anexo C.

Como se indica en la figura 3.9 ; para construir un engranaje, es necesario considerar los diámetros externo, interno y promedio, el espesor del diente, el número de dientes, la altura del diente y el sistema modular métrico, que es una norma, con la cual se trabaja en

la máquina de fresado, en la construcción del mismo.

El fresado, es una operación que consiste en cepillar superficies de formas variadas, con la ayuda de una herramienta de múltiples cortes, en una máquina llamada fresadora.

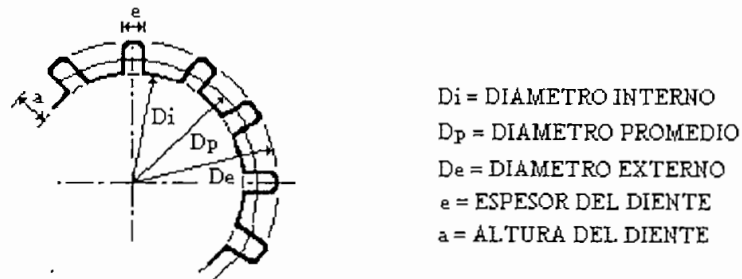


Fig.3.9 Diseño de un engranaje

En lo que resta de este tema se empleará D y R para indicar el diámetro y radio promedios, respectivamente.

Como se observa en la figura 3.10, dos engranajes se acoplan perfectamente, cuando éstos

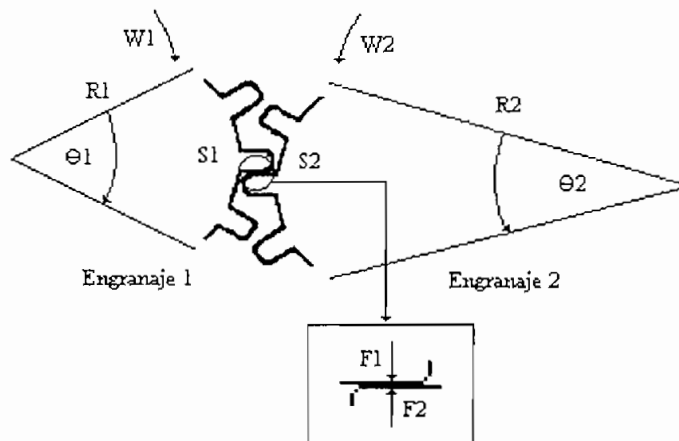


Fig.3.10 Acoplamiento de engranajes

tienen el mismo “módulo”.

La terminología en la figura anterior representa :

ω_i = Velocidad angular

θ_i = Desplazamiento angular

s_i = Desplazamiento lineal

F_i = Fuerza

$i = 1, 2$

En la misma figura, cuando se genera una fuerza F_1 en el engranaje 1 , ésta actúa sobre el engranaje 2, dando lugar al apareamiento de F_2 , debido a la ley de la acción y reacción de las fuerzas.

Como se conoce ; el Torque (T), es una medida de la capacidad que posee una fuerza para producir, a un cuerpo, un movimiento de rotación alrededor de un eje ; su valor es igual al producto del módulo de la fuerza por la distancia de su directriz al eje.

Entonces, aplicando este concepto a los engranajes de la figura anterior, a fin de estudiar las relaciones que se producen, se obtiene :

$$T_1 = F_1 R_1 \quad (1)$$

$$T_2 = F_2 R_2 \quad (2)$$

dividiendo (2) para (1) :

$$\frac{T2}{T1} = \frac{F2R2}{F1R1}$$

como $F1 = F2$

entonces
$$\frac{T2}{T1} = \frac{R2}{R1} \quad (3)$$

El desplazamiento lineal (S), en cada uno de los engranajes, es igual ; es decir

$$S1 = \Theta1R1$$

$$S2 = \Theta2R2$$

$$\Theta1R1 = \Theta2R2$$

por lo tanto
$$\frac{R2}{R1} = \frac{\Theta1}{\Theta2} \quad (4)$$

como $\Theta i = Wi.t$, donde t representa el tiempo

entonces :
$$\frac{R2}{R1} = \frac{W1}{W2} \quad (5)$$

Si se relaciona el diámetro (D) con el número de dientes (N), se tiene:

$$Di = mNi \quad , \quad \text{donde m representa el módulo}$$

$$D1 = mN1 \quad (6)$$

$$D2 = mN2 \quad (7)$$

Dividiendo (7) para (6):

$$\frac{D2}{D1} = \frac{N2}{N1}$$

entonces :

$$\frac{R2}{R1} = \frac{N2}{N1} \quad (8)$$

Por lo tanto de (3), (4) y (8), se obtiene:

$$\frac{T2}{T1} = \frac{R2}{R1} = \frac{\Theta1}{\Theta2} = \frac{W1}{W2} = \frac{N2}{N1} \quad (9)$$

Entonces ; con respecto al acoplamiento de engranajes del equipo, la ecuación anterior queda definida como:

$$\frac{T2}{T1} = \frac{R2}{R1} = \frac{W1}{W2} = \frac{N2}{N1} = 4.167 \quad (10)$$

ya que, $\Theta1 = 7.5$ grados y $\Theta2 = 1.8$ grados.

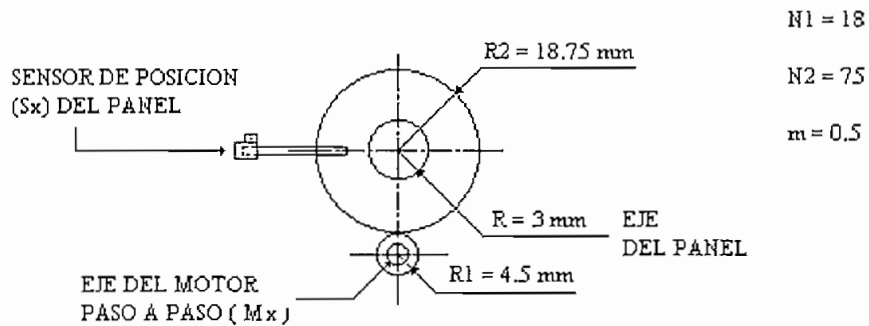


Fig.3.11 Grupo de engranajes acoplados al motor Mx

En la figura 3.11, se muestra el grupo de engranajes de reducción acoplados al motor paso a paso Mx. En esta figura se indica, el número de dientes N, el radio R y el módulo m, con

el que están contruidos los engranajes. Estos valores que fueron obtenidos, aplicando las relaciones de la ecuación (10).

De la misma ecuación (10), se obtiene:

$$\frac{T2}{T1} = 4.167$$

entonces : $T2 = 4.167T1$

también $\frac{W1}{W2} = 4.167$

entonces : $W1 = 4.167W2$

De manera similar, la figura 3.12 representa el grupo de engranajes acoplados al motor paso a paso My ; en donde, se indica el número de dientes N, el radio R y el módulo m de los engranajes contruidos. Asimismo, estos valores fueron obtenidos, aplicando la ecuación (10).

También en este caso, se obtiene:

$$T2 = 4.167T1$$

y $W1 = 4.167W2$

Como se puede observar en los resultados obtenidos ; con el grupo de engranajes de reducción implementado, a más de disminuir el ángulo mínimo de desplazamiento del panel, el torque que se suministra a los ejes principal y del panel, se incrementa en

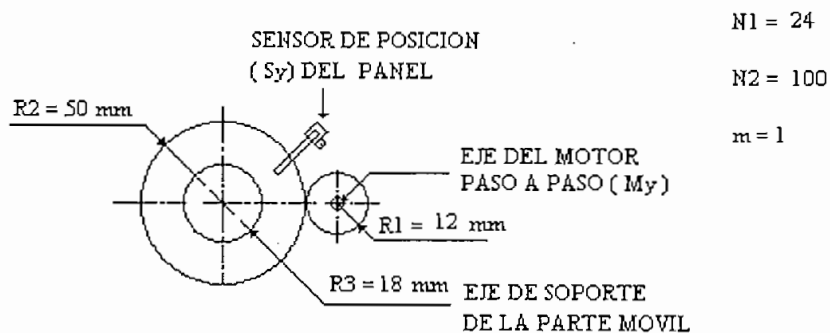


Fig.3.12 Grupo de engranajes acoplados al motor M_y

aproximadamente 4 veces y la velocidad angular con la que se mueve el panel, disminuye en la misma proporción.

Esto constituye una gran ventaja, ya que permite a cada uno de los motores paso a paso trabajar, con cargas mayores a las especificadas por el fabricante ; la disminución de la velocidad no representa ningún problema, ya que el equipo de rastreo solar, opera a bajas velocidades, con requerimientos de torque relativamente bajos, ya que se trata de un prototipo.

3.2 CALCULO DEL TORQUE REQUERIDO

El cálculo del torque requerido, para acelerar la parte móvil del equipo, que constituye la carga inercial acoplada al eje principal, es muy importante, ya que sirve de referencia para seleccionar el tipo de motor paso a paso, en términos de su capacidad de carga.

Para obtener este parámetro, primero es necesario conocer el valor del Momento de Inercia (I) de la parte móvil.

Como se conoce el Momento de Inercia (I), es una medida de la resistencia que opone todo cuerpo a ponerse en movimiento de rotación o cambiar de velocidad angular; este Momento de Inercia depende de la masa total del cuerpo y de su distribución con respecto al eje de rotación.

El cálculo del Momento de Inercia de la parte móvil del equipo, se realiza en forma aproximada, ya que no se consideran algunos elementos que forman parte de éste ; como son el eje del panel, la plataforma de soporte con todos sus componentes, bocines y accesorios que dan solidez a la parte móvil.

Así, a continuación se realizan los cálculos de los Momentos parciales, a fin de determinar el Momento de Inercia total.

- Caras Laterales

Para calcular el Momento de Inercia de las caras laterales de la parte móvil (ver figuras 3.1 3.13), se aplican las siguientes ecuaciones:

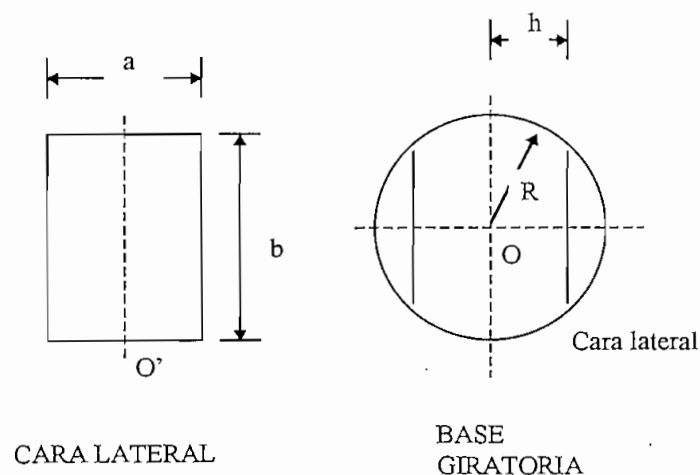


Fig.3.13 Caras laterales y base giratoria

$$I_{CL} = I_G + mh^2$$

$$I_G = \frac{1}{12}m(a^2 + b^2)$$

Donde:

I_{CL} , es el Momento de Inercia con respecto a un eje (O) que pasa por el centro de la base, paralelo a otro (O') que pasa por su centro de masas.

I_G , es el Momento de Inercia con respecto a un eje (O') que pase por el centro de masas.

m , representa la masa total de la cara lateral.

h , es la distancia del eje (O') al eje (O)

Además :

$$a = 7.5 \text{ cm}$$

$$b = 15.5 \text{ cm}$$

$$h = 9 \text{ cm}$$

$$R = 10.5 \text{ cm}$$

Aplicando las ecuaciones anteriores y además las siguientes :

$$m = dV$$

$$V = a.b.e$$

donde:

$d = \text{densidad del acrílico} = 1.15 \text{ [g/cm}^3 \text{]}$

$V = \text{volumen de la cara lateral}$

$e = \text{espesor del acrílico} = 0.6 \text{ cm}$

se obtiene como resultado:

$$I_{CL} = 8479.13 \text{ [g cm}^2 \text{]}$$

Como ambas caras tienen la misma dimensión, el Momento de Inercia de estas dos caras laterales es:

$$I = 16958.26 \text{ [g cm}^2 \text{]}$$

- Panel

El Momento de Inercia esta dado por (ver figuras 3.1 y 3.14):

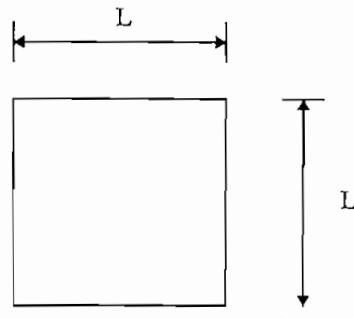


Fig.3.14 Panel

$$I = \frac{1}{12}m(L^2 + L^2)$$

Donde:

m = masa del panel

L = longitud del panel = 17 cm

Procediendo como en el caso anterior, se obtiene:

$$I = 4808.46 \text{ [g cm}^2 \text{]}$$

- Base Giratoria

El Momento de Inercia de la base giratoria (ver figuras 3.1 y 3.15), con respecto a un eje que pase por el centro de la misma y sea perpendicular a la base, esta dado por:

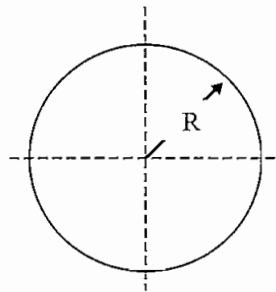


Fig.3.15 Base giratoria

$$I_G = \frac{1}{2}mR^2$$

$$V = \pi \cdot R^2 L$$

Donde:

m = masa de la base giratoria

R = radio de la base giratoria = 10.5 cm

L = espesor de la base = 0.6 cm

Realizando las operaciones necesarias, se obtiene:

$$I = 13173.78 \text{ [g cm}^2 \text{]}$$

Finalmente; para obtener el Momento de Inercia total (I total), se aplica la siguiente expresión:

$$I \text{ total} = I_{CL} + I_P + I_{BG}$$

Donde:

I_{CL} = Momento de Inercia de las caras laterales

I_P = Momento de Inercia del panel

I_{BG} = Momento de Inercia de la base giratoria

Realizando la operaciones correspondientes, se obtiene :

$$I \text{ total} \approx 34934 \text{ [g cm}^2 \text{]}$$

En otras unidades el valor del Momento de Inercia es:

$$I \text{ total} \approx 3.49 \text{ [g m}^2 \text{]}$$

Para calcular el Torque, se aplica la siguiente expresión:

$$T = J_T \cdot \frac{V^2}{2} \cdot k$$
$$J_T = J_R + J_L \quad [7]$$

Donde:

T = Torque total requerido en [mN m].

J_T = Carga inercial total en [g m²].

J_R = Inercia del rotor del motor ; despreciable, comparada con el valor de J_L .

J_L = Carga inercial de la parte móvil.

V = Velocidad del motor = 10 [pasos / segundo]. Valor promedio predefinido, para que las celdas solares alcancen la condición de “iluminación uniforme”.

K = 0.130, para motores con ángulo de paso de 7.5 [grados].

Realizando los cálculos correspondientes, se obtiene como resultado:

$$T = 23 \text{ [mN m]}$$

Por lo tanto ; para mover la parte móvil del equipo, se necesita que el motor paso a paso M_y , tenga un torque mínimo de salida de 23 [mN m].

Como se había mencionado anteriormente ; los dos motores paso a paso, fueron obtenidos de equipos eléctricos dañados y éstos no tienen en sus datos de placa el valor del torque especificado por el fabricante; razón por la cual, no se puede establecer una comparación real entre los valores de torque requerido y torque que entrega el motor M_y .

Sin embargo, para tener una idea aproximada del torque que entrega este motor, se realizó una comparación entre los valores de voltaje de alimentación (V) y resistencia (R) de las bobinas de este motor ; con otros, cuyos valores de V y R eran aproximados al primero y

además tenían en sus datos de placa el valor del torque que entregan. De esta comparación, se pudo concluir que el motor disponible para este trabajo, cumple fácilmente las condiciones de torque requerido. Si bien es cierto, este método es completamente empírico, sirve como referencia para estimar su torque de salida.

Por otro lado; con el grupo de engranajes de reducción implementado, el torque que se suministra a la parte móvil del equipo, se incrementa en aproximadamente 4 veces, lo que representa una gran ventaja, ya que contribuye a disminuir los requerimientos de torque de salida del motor M_y ; esto se ve reflejado en términos de sus dimensiones y consumo de corriente.

En lo que se refiere al torque de salida del motor paso a paso M_x , éste no presenta ningún problema, ya que sólo está acoplado a su eje el panel con las celdas solares, lo que constituye una carga mínima ; razón por la cual, no se realiza ningún tipo de cálculo.

Con esto, se finaliza la parte del diseño y construcción del equipo ; a continuación en los siguientes capítulos, se procede a realizar el diseño y construcción del circuito de control (hardware), así como también, al desarrollo del software, para que el equipo de rastreo solar opere de acuerdo a los objetivos planteados.

CAPITULO IV: DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL HARDWARE

4.1 CARACTERISTICAS DEL TRANSDUCTOR Y ACTUADORES UTILIZADOS.

4.1.1 CARACTERISTICAS DEL TRANSDUCTOR

Un transductor es un dispositivo que convierte una variable física en una señal eléctrica analógica, generalmente de baja potencia y de fácil medición.

En este sentido, una celda fotovoltaica o solar, que es un elemento semiconductor de silicio, convierte directamente la intensidad luminosa de cualquier fuente incidente sobre su superficie, en voltaje.

Cada celda solar utilizada en este proyecto, tiene una dimensión física de 2x4 cm. y genera un voltaje de 0.45 voltios a 0.275 amperios [8].

Estos valores de voltaje y corriente generados, son afectados por la resistencia de carga, los niveles de intensidad luminosa incidente en el dispositivo y por la temperatura ambiental.

Los valores absolutos de voltaje y corriente son :

$$\text{Voltaje (circuito abierto)} = 0.55 \text{ [V]}$$

$$\text{Corriente (cortocircuito)} = 0.3 \text{ [A]}$$

Estos valores son verdaderos, cuando son medidos a mediodía, en un día claro y a una temperatura ambiental de 25 grados centígrados .

4.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS ACTUADORES.

Como actuadores se utilizan dos motores paso a paso. El motor ubicado en la parte fija del equipo, al cuál se ha denominado M_y , tiene las siguientes características:

Tipo: KP7P8G-C1

Modelo : JAPAN SERVO Co. LTD.

Voltaje : 24 [V_{DC}]

Resistencia : 18.8 [Ohmios / Fase]

Angulo de paso : 7.5 [grados / paso]

El motor ubicado en la parte móvil del equipo, denominado M_x , tiene las siguientes características:

Tipo : PM35L-048-RCA9

Modelo: NMB

Voltaje : 24 [V_{DC}]

Resistencia : 40 [Ohmios / Fase]

Angulo de paso : 7.5 [grados / paso]

Estos valores han sido tomados de sus datos de placa y se han realizado las comprobaciones respectivas.

Estos motores paso a paso fueron obtenidos en el mercado local, como se mencionó anteriormente ; razón por la cual, no se dispone de valores o curvas en el que se indiquen los Torques o Momentos de Inercia.

Cada motor tiene dos bobinas en su estator, cada una con toma media; por lo tanto pueden operar de dos modos :

- Modo Bipolar. En este caso se necesita de una alimentación de potencia de polaridad positiva y negativa para alimentar las dos bobinas.
- Modo Unipolar. Cada una de las bobinas se alimentan con fuente de una sola polaridad y la toma media se utiliza como terminal común.

En la figura 4.1 se indican los colores de los terminales de las bobinas de estos motores, que generalmente son un estándar para los motores comerciales.

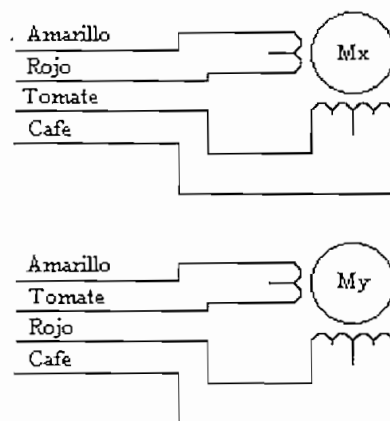


Fig.4.1 Motores paso a paso, asignación de terminales

Para que estos motores trabajen ya sea en modo bipolar o unipolar, se debe diseñar un circuito de control, compuesto por una etapa generadora de secuencias de conmutación de

las bobinas y una etapa de potencia para entregar a estas bobinas la corriente necesaria. También para controlar estos motores se puede utilizar un manejador o controlador de motores paso a paso, con el cual se eliminan las etapas anteriormente mencionadas.

En este proyecto, se utiliza un controlador de motores paso a paso, como es el C.I. MC3479, con el cual se obtienen muchas ventajas que se explicarán más adelante.

4.2 INTERFACE AL PUERTO PARALELO DEL COMPUTADOR

Los valores de voltajes generados en cada una de las celdas solares, deben ser acondicionados y digitalizados, para posteriormente ingresarlos al computador, a través del puerto paralelo y procesarlos.

Antes de realizar el interface entre la variable física y el computador, es importante realizar un breve estudio del puerto paralelo del computador.

4.2.1 ESTUDIO DEL PUERTO PARALELO

El puerto paralelo de un computador, originalmente fue diseñado con el propósito de establecer una interface para la impresora.

Actualmente este concepto ha cambiado, ya que a más de permitir la operación de la impresora en el computador, sus líneas de transferencia de información se pueden utilizar para otras aplicaciones.

Por ejemplo ; un computador, por medio del puerto paralelo, se puede utilizar para monitoreo, control, graficación, estadística, etc. de variables físicas , así como también para el control de sistemas en tiempo real.

Los circuitos y el conector para el puerto paralelo se encuentran en una tarjeta de expansión, la misma que está colocada en una de las ranuras de la tarjeta principal del computador. En los computadores portátiles, estos circuitos están incorporados directamente en la tarjeta principal.

Se puede acceder al puerto paralelo, por medio de un conector tipo DB-25 hembra, ubicado en la parte posterior del computador.

Un computador puede tener hasta tres puertos paralelos, a los cuales el Sistema Operativo los designa como LPT1 , LPT2 y LPT3 , respectivamente. Cada uno de estos puertos , tiene una de las tres siguientes direcciones base posibles : 3BCh , 378h ó 278h [9].

Al encender el computador, una rutina del BIOS busca un puerto en cada una de estas tres direcciones base. Esta rutina determina si existe o no el puerto, escribiendo y luego leyendo lo que escribió en cada una de estas direcciones; si la lectura tuvo éxito, el puerto existe y al primero que encuentre le llama LPT1 , al segundo LPT2 y al tercero LPT3.

Como se mencionó anteriormente, el puerto paralelo está constituido de un conjunto de entradas y salidas digitales que cumplen una función específica para la aplicación original.

Estas señales, que para otras aplicaciones se las puede utilizar como entradas y salidas generales, se clasifican en:

- Líneas de Datos

- Líneas de Estado

- Líneas de Control

4.2.1.1 Líneas de Datos.

Transfieren la información desde el computador a la impresora, en grupos de 8 bits a la vez (8 salidas). Para enviar los datos deseados, hay que escribir la información en un registro de datos, cuya dirección es la dirección base del puerto.

En la tabla 4.1, se indican los bits que usan estas líneas en el registro, la ubicación en el conector DB-25, la señal y función que realizan en la aplicación original.

En esta tabla, D0 y D7 representan los bits menos y más significativos del dato, respectivamente.

4.2.1.2 Líneas de Estado.

Son líneas de protocolo que permiten coordinar el envío de información desde el computador a la impresora.

Bits en el registro	Pin del DB-25	Señal	Función
0	2	D0	bit0 del dato
1	3	D1	bit1
2	4	D2	bit2
3	5	D3	bit3
4	6	D4	bit4
5	7	D5	bit5
6	8	D6	bit6
7	9	D7	bit7

Tabla 4.1. Líneas de Datos del puerto paralelo

Las líneas de estado, que constituyen 5 entradas, se leen en un registro de estado, que es sólo de lectura y tiene la dirección de base + 1.

Como en el caso anterior ; en la tabla 4.2, se indican los bits que usan estas líneas en el registro respectivo, los pines correspondientes en el conector DB-25, la señal y función que tienen en la aplicación original.

Bits en el registro	Pin del DB-25	Señal	Función	Obs.
0				no
1				se
2				utilizan
3	15	-ERR	Error	
4	13	SEL	Impresora seleccionada	
5	12	PE	Fin de papel	
6	10	-ACK	Reconocimiento	
7	11	BSY	Impresora ocupada	Bit invertido

Tabla 4.2 Líneas de Estado del puerto paralelo

4.2.1.3 Líneas de Control.

También son líneas de protocolo, que se pueden utilizar como entradas o salidas, indistintamente.

Constituyen 4 líneas, que se pueden leer o escribir en un registro de control, localizado en la dirección de base + 2 .

En este registro de control, los bits del 0 al 3 son usados por las líneas de control y corresponden a los pines 1, 14, 16 y 17 del conector DB-25 ; el bit 4, se usa para las interrupciones de hardware del puerto ; los restantes bits del registro no se utilizan.

En la tabla 4.3 se resume lo expresado, además se indica la señal y función que tiene cada línea para la aplicación original.

Bits en el registro	Pin del DB-25	Señal	Función	Obs.
0	1	-STB	Habilitar D0 a D7	Bit invertido
1	14	-AUTOLF	Alimentación automática	Bit invertido
2	16	-INIT	Inicializar impresora	
3	17	-SELIN	Seleccionar impresora	Bit invertido
4			Interrupción	
5				no
6				se
7				utilizan

Tabla 4.3 Líneas de Control del puerto paralelo

En las líneas de estado, el valor que se lee en el registro respectivo, no es igual al valor en los pines del conector DB-25 que corresponden a este registro. Para obtener el valor verdadero hay que invertir el bit 7, ya que éste contiene el nivel lógico del pin 11 del conector DB25, pero en complemento.

Lo mismo ocurre con las líneas de control ; en donde, los bits 0, 1 y 3 en el registro respectivo están invertidos, con respecto a los niveles lógicos de sus pines correspondientes en el conector DB-25. Para escribir o leer el valor verdadero, hay que invertir o complementar estos bits.

Para invertir los bits mencionados en cada registro, se utiliza el operador Booleano OR Exclusivo (XOR).

Para realizar esta operación, se debe crear un byte máscara, en el cual los bits que se desean invertir son 1s y los que se quieren ignorar son 0s.

Por ejemplo, para invertir el bit 7 del registro de estado, el byte máscara es 10000000, en binario; al realizar la operación (XOR) de este byte, con el byte leído en el registro de estado, se obtiene el valor actual de los pines del conector DB-25, que corresponden a estas líneas de estado.

En conclusión ; un puerto paralelo tiene 8 líneas de datos, que son de salida ; 5 líneas de estado, que son de entrada y 4 líneas de control, que se los puede utilizar como entradas o salidas.

Para realizar procesamiento de información de fenómenos físicos, utilizando el computador, las señales se deben convertir a formato digital, ingresarlas, almacenarlas y procesarlas, para lo cual se necesita 8 líneas de entrada. Por lo tanto, para obtener estas 8 líneas de entrada, se pueden utilizar las 5 líneas de estado y 3 de las 4 líneas de control .

A pesar de que en los computadores antiguos y algunos nuevos, las líneas de datos están diseñadas sólo para salidas, existen algunos computadores con puertos paralelos, que tienen líneas de datos que son bidireccionales, por lo que a estas líneas se pueden utilizar como entradas. Esto constituye una gran ventaja para algunas aplicaciones, en donde la velocidad de transmisión de datos sea muy importante.

4.2.1.4 Limitaciones del Puerto Paralelo.

Cuando se trabaja con el puerto paralelo, hay que tener precaución con los valores de corriente que puede entregar y absorber.

Cuando existe un nivel lógico alto en uno de los pines del puerto (bit operando como fuente), la máxima corriente que puede entregar este bit, es aproximadamente 1 [mA] ; de manera similar, cuando existe un nivel lógico bajo en uno de estos pines (bit operando como sumidero) , la máxima corriente que puede aceptar este bit es 10 [mA].

Los rangos máximos de corriente del puerto son 2.6 [mA] , cuando opera como fuente y 24 [mA] , cuando opera como sumidero [10]. Cualquier valor de corriente superior a estos niveles máximos, puede dañar seriamente el puerto paralelo del computador.

Para exceder estas limitaciones de corriente, se pueden conectar a la salida del puerto, Buffers, que son manejadores de línea, que además de tener una buena capacidad de corriente, sirven como elementos de protección ; es decir, aíslan la señal en caso de un cortocircuito en el “circuito externo”, conectado al puerto paralelo.

Constituyen manejadores de línea, los circuitos integrados: 74LS240, 74LS243, 74LS244, etc. ; por ejemplo, cuando se utiliza el C.I. 74LS240, que es un buffer inversor octal, las salidas con niveles lógicos bajos, generalmente pueden aceptar 24 [mA] y las salidas con niveles altos hasta 12 [mA].

Otra limitación del puerto paralelo, es su velocidad, aunque este parámetro depende de la aplicación, ya que pueden darse casos en los que se necesite de una actualización rápida de datos y otros, en los que la velocidad de transmisión es satisfactoria para una aplicación

particular. Además la velocidad de transferencia de datos, depende del tipo de computador que se utilice, del programa que se está manejando, etc.

Otra limitación, quizá la más importante, es que no puede transferir datos a largas distancias, ya que los circuitos del puerto fueron diseñados originalmente para enviar información a la impresora, que es un periférico, que está localizado muy cerca del computador, por esta razón los cables paralelos tienen generalmente una longitud de 4.57 metros o menos [11].

Este problema se soluciona en gran parte, utilizando extensores de puertos, con los cuales se logra transmitir datos a grandes distancias. Un tipo de extensor, para transferir datos, utiliza la técnica más común, que es realizar un cambio en los niveles de transmisión, o sea, convierte la transmisión paralela a serial ; de esta manera se logran transferencias de datos, hasta una distancia aproximada de 427 metros.

4.2.2 CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL

Como cada una de las celdas solares que forman el panel, genera un voltaje entre 0 y 0.40 voltios aproximadamente, es necesario realizar una etapa de amplificación, para que esta señal ingrese al conversor análogo/ digital (A/D).

El diseño de la etapa de amplificación, se realiza utilizando el amplificador operacional LM324 y los valores de resistencias se obtienen a partir del circuito base que se indica en la figura 4.2.

En esta figura, el voltaje generado en la celda solar se la toma en una resistencia R3 de 330

ohmios, que sirve como carga ; previo a ésta, se coloca una resistencia R4 de 165 ohmios con el fin de limitar la corriente que genera la celda y así proteger al conversor A/D, además por precaución se añade un filtro, para eliminar el ruido o señales no deseadas.

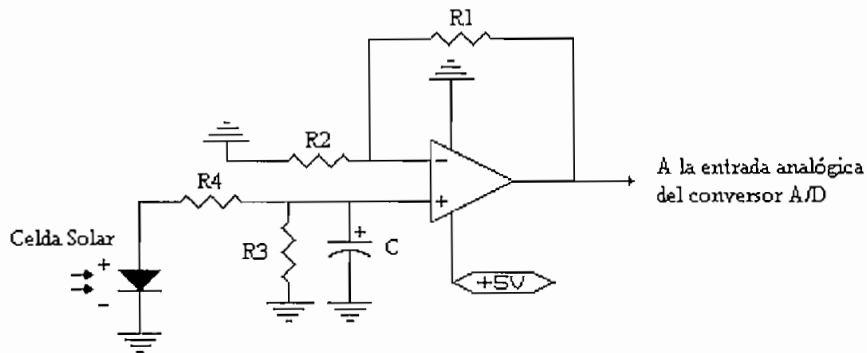


Fig.4.2 Circuito Acondicionador de señal

Bajo estas condiciones, para una fuente luminosa natural, el voltaje promedio, medido en los terminales de la resistencia de carga R3 es 0.36 voltios, tomados en un día claro y a mediodía ; esta señal ingresa a la entrada no inversora del amplificador operacional. En el capítulo 6 se indican con más detalle los valores de voltajes generados por las celdas solares, para distintos niveles de luz, tanto para fuente luminosa natural como artificial.

Los valores de las resistencias se obtienen de la siguiente manera:

$$\text{Ganancia} = A = V_o / V_{in}$$

donde:

$$V_o = \text{Voltaje de salida} = 5 \text{ V}$$

$$V_{in} = \text{Voltaje de entrada} = 0.36 \text{ V}$$

Por lo Tanto : $A = 5 / 0.36 = 12.48$

Como : $A = [1 + R1 / R2]$

Si $R2 = 270$ [ohmios]

Entonces: $R1 = R2 (A - 1)$

$$R1 = 3191 \text{ [ohmios]}$$

Tomando un valor estándar : $R1 = 3.1 \text{ K}$

Con respecto al filtro, éste es un condensador cuyo valor es $C = 330 \text{ uF}$, valor obtenido experimentalmente.

Como se dispone de 4 celdas solares que forman el panel, se tiene 4 grupos de amplificación, cada grupo con los mismos valores de resistencias y condensadores , que los obtenidos en el diseño del circuito base.

Para medir o detectar la intensidad luminosa ambiental, cuyo objetivo se explica en el capítulo 5, se dispone de dos celdas solares conectadas en serie y ubicadas físicamente en un posición tal, que permita tener un valor promedio de la intensidad luminosa del medio ambiente. Para una fuente luminosa natural, el voltaje promedio en la resistencia de carga respectiva es 0.55 voltios, medidos en un día claro y a medio día, por lo tanto, los valores de $R1$ y $R2$, siguiendo el procedimiento realizado en el diseño del circuito amplificador base, son $R1 = 220$ ohmios y $R2 = 1.5 \text{ K}$.

En la figura 4.3 se indica el circuito completo de acondicionamiento de señal.

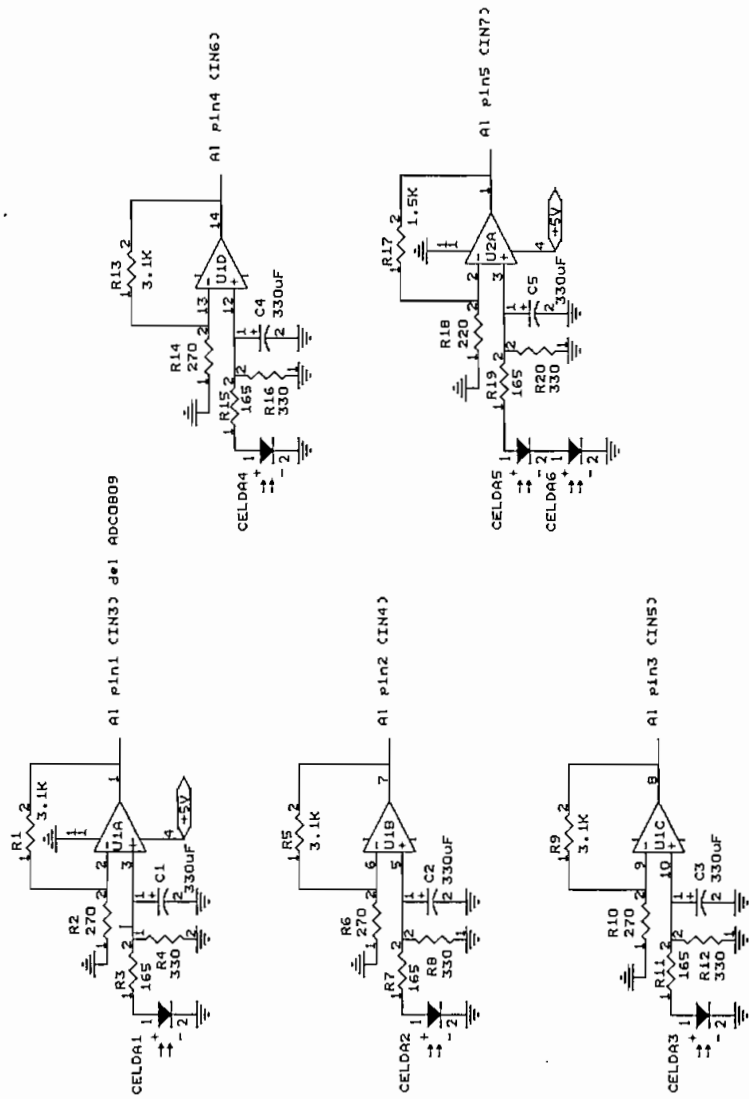


Fig.4.3 Circuito de acondicionamiento de señal

4.2.3 CIRCUITO DE ADQUISICION DE DATOS

Este circuito de adquisición de datos está diseñado en base al convertor analógico/digital ADC0809, que es un convertidor de 8 bits que utiliza la técnica de las aproximaciones sucesivas para realizar la conversión, las principales características de este convertor se mencionan más adelante.

Para que el convertor trabaje adecuadamente, se debe generar una señal de reloj, por lo que se ha implementado el mismo, en base a compuertas NAND,

Con el circuito que indica en la figura 4.4, se obtiene una señal de reloj con una frecuencia aproximada de 500 KHz, los valores de R y C se obtuvieron experimentalmente y corresponden a $R = 1\text{ K}$ y $C = 820\text{ pF}$

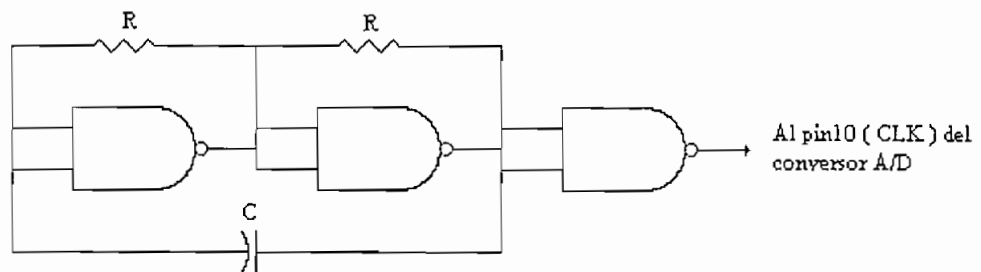


Fig.4.4 Circuito generador de señales de reloj

El proceso de conversión empieza al dar una señal o pulso inicial al pin denominado START (iniciar conversión) del convertor A/D (ver figura 4.5). Como las señales ALE (habilitar dirección del canal) y EOC (fin de conversión) también son activadas, el convertor trabaja en modo de FREE_RUNNING ; es decir, constantemente está convirtiendo señales analógicas a digitales.

La señal inicial se genera, al momento de alimentar a este C.I. y en general a todo el circuito de adquisición de datos.

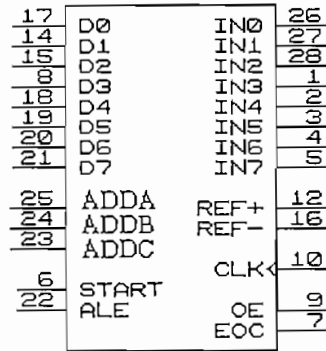


Fig. 4.5 Distribución de pines del conversor ADC0809

Como precaución, si al momento de alimentar al conversor A/D, éste no empieza a convertir, se ha implementado un circuito de Reset con el fin de dar la señal inicial al conversor. El diseño de este circuito de Reset , se indica en la figura 4.6 , en donde $R = 6.8 \text{ K}$ y $C = 0.1 \text{ uF}$

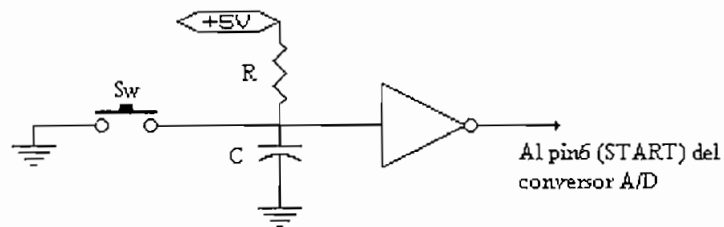


Fig.4.6 Circuito de Reset del conversor A/D

El ADC0809 posee 8 canales de entradas analógicas, de los cuales sólo puede leer un canal cada vez. Para seleccionar la señal de entrada, el conversor dispone de un selector de tres líneas.

En este trabajo, se dispone de 5 señales analógicas, de las cuales 4 corresponden a las celdas solares del panel propiamente dicho y la restante a las celdas auxiliares que miden la intensidad luminosa ambiental. Estas 5 señales, una vez que han sido acondicionadas, ingresan por los respectivos pines de entrada del conversor. La selección del canal o señal analógica a convertir se realiza por medio de los pines 23 (ADDC) , 24 (ADDB) y 25 (ADDA) del conversor A/D.

El control estas líneas de selección, se realiza por software, utilizando el puerto paralelo a través de sus líneas de control. Previo a conectar estas líneas de control a los pines del selector de canales del conversor, se conecta el C.I. 74LS244, que es un buffer de 8 bits con salidas no invertidas de tres estados, que como se mencionó anteriormente, sirve como protección al computador contra posibles cortocircuitos en la tarjeta de adquisición de datos, además de amplificar la corriente para no forzar las salidas del computador.

Para el control de estas líneas de selección, se utilizan 3 de las 4 líneas de control, que corresponden a los pines 1 , 14 y 16 del conector DB25 del puerto paralelo. Estas líneas, después de pasar por el buffer de protección, se conectan a los pines 25 (ADDA) , 24 (ADDB) y 23 (ADDC) del conversor, respectivamente.

Para seleccionar la señal de entrada, se aplica los códigos que se indica en la tabla 4.4 ; en esta tabla se puede notar, que la señal correspondiente a la celda solar 1, no ingresa por pin

26 correspondiente a la entrada IN0 del conversor; sino por IN3 ; esto se realiza así, con el fin de no complicar el diseño del circuito impreso.

Una vez concluida la conversión de la señal analógica previamente escogida, se debe habilitar la salida del dato digital , para lo cual el pin 9 (OE) del conversor se conecta a $+5V_{DC}$ (1_L), con esto se logra tener una salida continua de datos convertidos.

Conversor A/D				Señal analógica seleccionada
Pines			Entrada seleccionada (pines)	
25 ADDA	24 ADDB	23 ADDC		
0	1	1	IN3 (1)	celda solar 1
1	0	0	IN4 (2)	celda solar 2
1	0	1	IN5 (3)	celda solar 3
1	1	0	IN6 (4)	celda solar4
1	1	1	IN7 (5)	celda auxiliar

Donde : 1 : Nivel lógico alto

 0 : Nivel lógico bajo

Tabla 4.4 Control de líneas de selección de canales del conversor A/D

Los datos convertidos, que constituyen una palabra de 8 bits y se obtienen en los pines 17(bit menos significativo), 14 , 15 , 8 , 18 , 19 , 20 , 21 (bit más significativo) del conversor, ingresan a un buffer 74LS244, con el fin anteriormente mencionado ; adicionalmente, este buffer desempeña otra función muy importante, según se explica a continuación.

Como la palabra digital está formada de 8 bits y éstos tienen que ingresar al computador por medio del puerto paralelo, a través de sus 5 líneas de estado (que son únicamente de la entrada); es necesario a la palabra digital ingresarla por partes ; es decir, primero se debe ingresar los 4 bits menos significativos y posteriormente los 4 bits más significativos (o a inversa), utilizando 4 de las 5 entradas disponibles.

Como se observa en la figura 4.7, el Buffer 74LS244 dispone de dos grupos de entradas, de 4 bits cada uno, el primer grupo de entradas 1A1 , 1A2 , 1A3 y 1A4 , pasan a sus respectivas salidas 1Y1 , 1Y2 , 1Y3 , 1Y4 , si el pin 1 (1G) está a un nivel lógico bajo (0_L), de igual manera el segundo grupo de entradas 2A1 , 2A2 , 2A3 y 2A4 pasan a las respectivas salidas 2Y1 , 2Y2 , 2Y3 y 2Y4 , cuando el pin 19 (2G) esta a 0_L.

Por lo tanto, manejando estas dos líneas (1G y 2G) adecuadamente, se puede ingresar la palabra digital al computador en grupos de 4 bits. La selección del grupo de bits menos significativos y más significativos se realiza por software, utilizando la línea de control restante de puerto paralelo, que corresponde al pin 17 del conector DB-25.

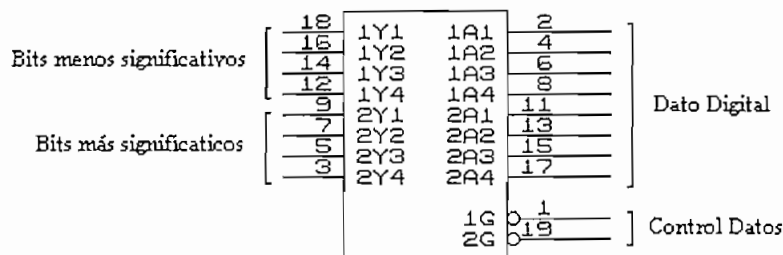


Fig.4.7 Diagrama de control de datos digitales en el buffer 74LS244

La línea de control se conecta directamente al pin 1 (1G) del buffer, mientras que al pin 19 (2G), llega la misma señal del pin 17, pero invertida, ya que previamente pasa por un inversor con entrada tipo Schmitt-trigger.

Este inversor Schmitt-trigger NTE40106B que es de tecnología CMOS, sirve para eliminar ruido en las entradas manejadas por las líneas de control o de datos del puerto paralelo, estas compuertas tienen dos umbrales de conmutación, uno para transiciones de nivel de alto a bajo y otro para transiciones de bajo a alto, la diferencia de voltaje entre estos dos umbrales, es llamada histéresis y evita que la salida se mueva si la entrada esta cambiando lentamente o si tiene algun ruido.

Es importante recordar que los bits 0 , 1 , y 3 del registro de control y el bit 7 del registro de estado, están invertidos, por lo que es necesario realizar las correcciones del caso por medio de software, cuando se trabaja con estos bits.

Otra información que ingresa por las mismas líneas de estado del puerto paralelo al computador, es la posición inicial del panel, a partir de la cual éste empieza a moverse. Al momento de inicializar el equipo, una rutina ubica al panel, desde cualquier posición que se encuentre, en la posición inicial.

Para controlar este movimiento de ubicación del panel en la posición inicial, tanto en el eje X, como en el eje Y, se utilizan elementos optoacopladores, que son los que detienen el movimiento de los motores paso a paso, una vez que el panel se ubica en la posición inicial.

En la figura 4.8, se indica el diseño de este circuito.

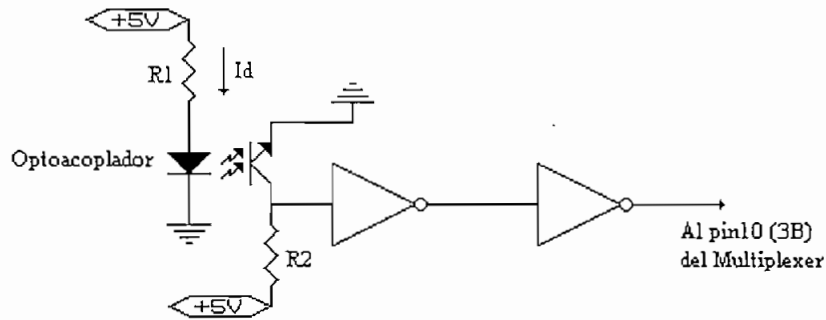


Fig.4.8 Circuito sensor de posición del panel

los valores de resistencias se obtienen de la siguiente manera:

$$R1 = (V_{CC} - V_{AK}) / I_d$$

Donde:

V_{CC} = Voltaje de alimentación = 5 [V]

V_{AK} = Voltaje ánodo - cátodo del diodo = 0.6 [V]

I_d = Corriente de circulación en el diodo = 10 [mA]

entonces : $R1 = (5 - 0.6) / 10 \text{ mA}$

por lo tanto : $R1 = 330 \text{ [ohmios]}$

Para el caso del movimiento del panel en el eje X , experimentalmente se obtiene que $R2 = 18 \text{ K}$, mientras que para el movimiento del panel en el eje Y, $R2 = 6.8 \text{ K}$. Adicionalmente se utilizan dos inversores tipo Schmitt-trigger, con el fin de proporcionar inmunidad al ruido.

Al tener tres grupos de información, que son:

- Los 4 bits menos significativos del dato de voltaje de la celda solar.
- Los 4 bits mas significativos del dato de voltaje de la celda.
- El dato de la posición inicial del panel.

y que deben ingresar al computador, éstos tienen que hacerlo en forma alternada ; es decir, primero deben ingresar los 4 bits menos significativos, después los 4 bits más significativos de la señal digitalizada y finalmente el dato de la posición inicial del panel.

Para realizar esta operación se emplea el C.I. 74LS157 (ver figura 4.9), el cual contiene 4 multiplexores 2 /1. Este circuito envía la información al computador en forma alternada, tanto desde el conversor A/D, como desde los optoacopladores.

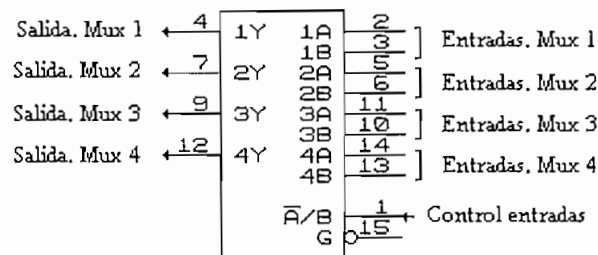


Fig.4.9 Distribución de pines de C.I. 74LS157

Como se puede observar en la figura anterior, cada uno de los multiplexers tiene dos entradas, de las cuales solo una, es habilitada hacia la salida, dependiendo del nivel lógico del pin 1 (A/B). Cuando el nivel lógico en el pin 1 es 0_L, pasan las entradas 1A , 2A , 3A y

4A ; en cambio, cuando el nivel lógico en este pin es 1_L, pasan las entradas 1B, 2B , 3B y 4B.

En estas condiciones, a las entradas del multiplexer 1A, 2A, 3A y 4A se conectan las señales provenientes del conversor A/D y a las entradas 3B y 4B, las señales provenientes de los optoacopladores ; las entradas 1B y 2B se conectan a tierra, a través de resistencias de 4.7 K. La selección de entradas que pasan a la salida, se realiza por software utilizando el bit 6 del registro de datos, que corresponde al pin 8 del conector DB-25. Finalmente las salidas del multiplexer pasan por un elemento de protección, como es el CI 74LS243, el cual es un buffer bidireccional de 4 entradas.

El circuito completo de la adquisición de datos, se muestra en al figura 4.10

4.2.4 CIRCUITO DE CONTROL DE MOTORES PASO A PASO

Para controlar el movimiento de los motores paso a paso, se utiliza el C.I. MC3479 que es un driver o controlador de motores paso a paso. Este circuito integrado genera automáticamente las señales de control para el modo de operación bipolar de los motores. Las principales características que tiene este controlador, se indican más adelante.

Para que el motor paso a paso opere adecuadamente, el fabricante recomienda utilizar el circuito que se muestra en la figura 4.11.

Para el cálculo de las resistencias, el fabricante proporciona las siguientes ecuaciones (para mayor información referirse al anexo C).

$$I_{BS} = I_{OD} * 0.86$$

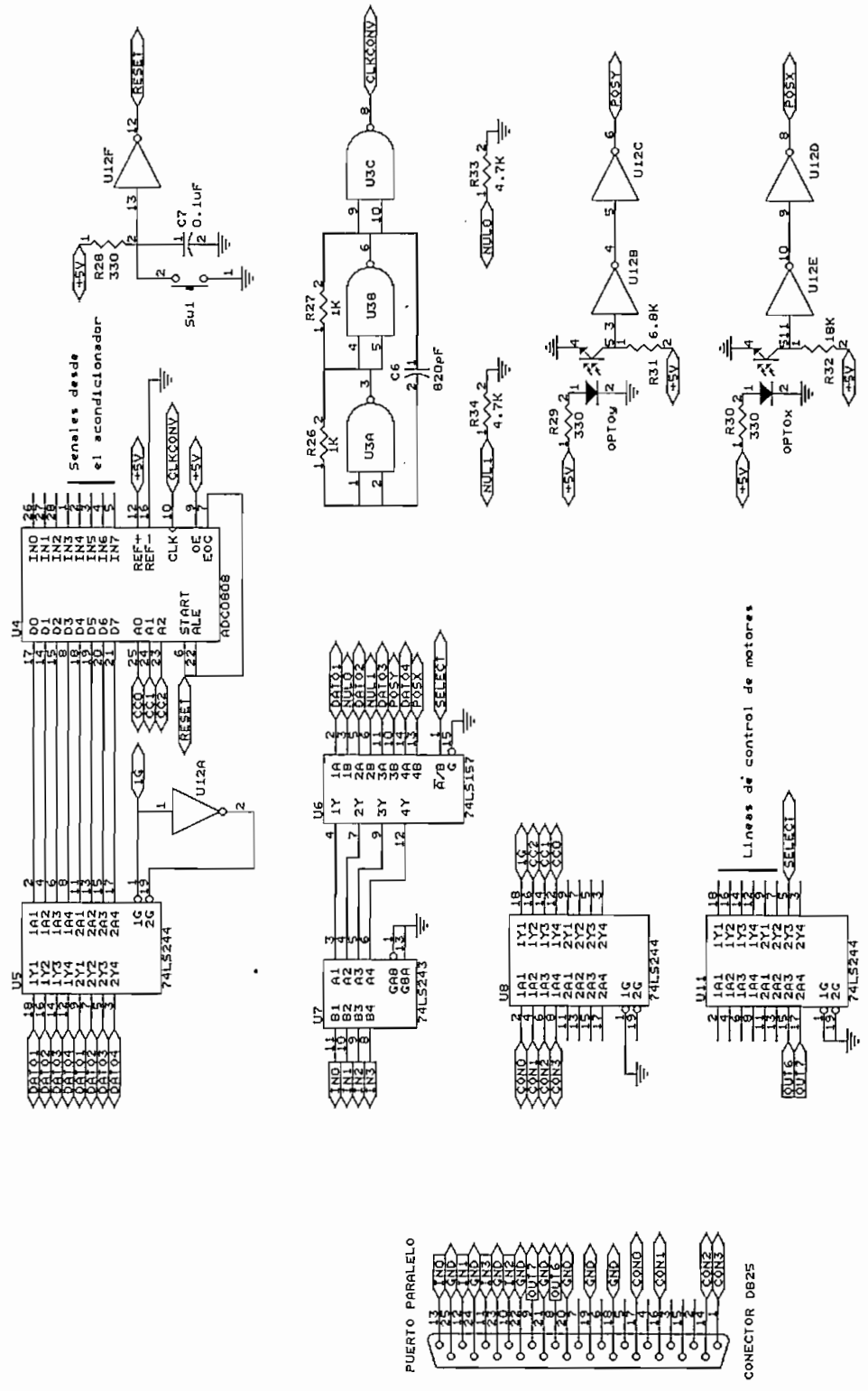


Fig. 4.10 Circuito de adquisición de datos

Donde :

I_{BS} = Corriente de Bias/Set en [μA]

I_{OD} = Corriente que circula por cada bobina del motor en [mA]

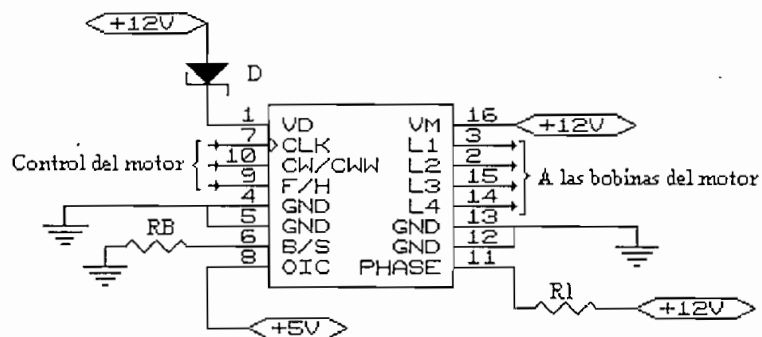


Fig.4.11 Controlador del motor paso a paso

Para el caso del motor de la parte móvil del equipo (Mx), se tiene :

$$I_{OD} = 110 \text{ [mA]}$$

Valor medio obtenido experimentalmente, alimentando independientemente a cada bobina del motor con una fuente de 12 V_{DC} .

Entonces: $I_{BS} = 110 * 0.86 = 95 \text{ [} \mu A \text{]}$

$$R_B = (V_M - 0.7) / I_{BS}$$

Donde :

V_M = Voltaje de alimentación para el circuito lógico y las bobinas del motor.

Entonces : $R_B = (12 - 0.7) / 95 \text{ [uA]} = 119 \text{ K}$

tomando un valor estándar: $R_B = 120 \text{ K}$

Al colocar esta resistencia, el motor paso a paso M_x , presentó un cierto calentamiento, por lo que fue necesario colocar en serie con cada bobina del motor una resistencia R_{sx} , con el fin de disminuir la corriente que ingresa al motor y evitar el calentamiento ; esta resistencia tiene un valor de :

$$R_{sx} = 68 \text{ [Ohmios]}, P_D = 5 \text{ [Vatios]}$$

valor obtenido experimentalmente.

Con estas resistencias, el valor medio de corriente que circula por cada bobina del motor, cuando éste se encuentra en estado de reposo, es:

$$I_{OD} = 90 \text{ [mA]}$$

Para el caso del motor M_y , siguiendo el procedimiento anterior, se obtuvieron los siguientes valores:

$$R_B = 100 \text{ K}$$

$$R_{sy} = 75 \text{ [Ohmios]}, P_D = 5 \text{ [Vatios]}$$

Con estas resistencias, el valor medio de corriente que circula por las bobinas, cuando el motor esta en reposo, es :

$$I_{OD} = 140 \text{ [mA]}$$

Hay que mencionar que, al limitar la corriente de alimentación a las bobinas de los motores paso a paso, el Torque disminuye, lo cual no constituye ningún problema ; ya que, debido al grupo de engranajes implementado, el Torque de cada motor se incrementa en aproximadamente 4 veces (ver capítulo 3).

Para realizar el control de estos motores, como son la velocidad, dirección y ángulo de paso, se utiliza las líneas de datos del puerto paralelo, que corresponden a los pines 2 , 3 , 4 , 5 , 6 y 7 del conector DB-25. En la tabla 4.5, se indica el tipo de control asignado a cada pin del conector DB-25, que corresponden al registro de datos.

De igual manera, como protección al computador, estas líneas de datos, antes de conectar a los controladores de motores respectivos, pasan por el buffer 74LS244.

Líneas de Datos		
Registro de Datos	Pin en el DB25	Función asignada
0	2	Velocidad del motor My
1	3	Sentido de giro
2	4	Angulo de paso
3	5	Velocidad del motor Mx
4	6	Sentido de giro
5	7	Angulo de paso
6	8	Control del flujo de datos de entrada al PC
7	9	NC

Tabla 4.5 Líneas de control de motores paso a paso

En la figura 4.12 se indica el circuito completo de control de los motores paso a paso.

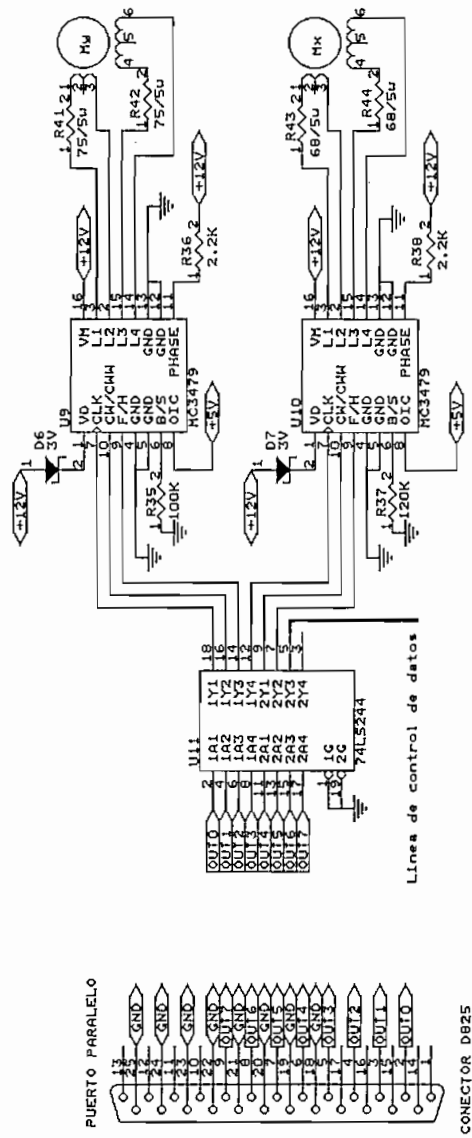


Fig. 4.12 Circuito de control de motores paso a paso

4.2.5 FUENTES DE ALIMENTACION

Para polarizar el circuito completo, diseñado para este proyecto, se requieren de dos fuentes:

Una fuente de alimentación de $+5V_{DC}$, para alimentar a los elementos que forman el circuito acondicionador de señal y el circuito de adquisición de datos. De las especificaciones de voltaje y corriente dadas en los manuales para estos elementos, se determina que esta fuente debe suministrar una potencia de 3000 [mW].

De manera similar, para el circuito controlador de motores paso a paso, se necesita de una fuente de alimentación de $+12V_{DC}$ con una potencia mínima de 2500 [mW].

Para este proyecto, se utiliza la siguiente fuente de alimentación, obtenida en el mercado local:

Modelo : AA15992

Potencia de salida máxima : 90 [W]

Voltaje de salida [V]	Corriente [A]
5	13
-5	0.11
12	1.8
-12	0.3

4.2.6 CARACTERISTICAS DE LOS ELEMENTOS UTILIZADOS

A continuación se indican las características del convertor análogo/digital y del controlador de motores paso a paso, por constituir los elementos más importantes del circuito

implementado en el proyecto. Para obtener información de los demás elementos que forman parte del circuito diseñado, referirse al anexo C.

4.2.6.1 Conversor análogo/digital

El conversor análogo/digital (A/D), que se utiliza en este trabajo, es el circuito integrado ADC0809, el cual es un convertidor con una resolución de 8 bits, que tiene 8 entradas análogas (IN0 a IN7), para lo cual dispone de un selector de 3 líneas (ADDA, ADDB, ADDC) con retención de datos (latch), que permite escoger la señal de entrada a convertir.

Una vez seleccionada la señal de entrada y luego de haber dado el pulso inicial de conversión (START y ALE), éste empieza a convertir ; cuando se ha completado la conversión, la señal EOC pasa a un nivel lógico alto y en las salidas digitales se puede leer el resultado. Adicionalmente para controlar la conversión, se requiere de una señal de reloj.

Las entradas de referencia REF+ y REF- definen el rango de conversión y se conectan generalmente a $+5V_{DC}$ y a tierra, respectivamente ; aunque se pueden conectar a otros valores de voltaje, para variar el rango de conversión.

Algunas características importantes de este conversor A/D son :

- Tiempo de conversión, 100 us.
- Salidas en tres estados (latchadas).
- Bajo consumo de potencia.

- Puede ser reemplazado con el C.I. ADC0808CJ.

Para mayor información, referirse al anexo C.

4.2.6.2 Características del controlador de motores

Este C.I. MC3479, está diseñado para manejar motores paso a paso en modo bipolar, como ya se ha mencionado ; para lo cual aplica una secuencia de pulsos específica, a cada una de las bobinas del motor.

Las características más importantes de este controlador son :

- El voltaje de alimentación puede ser desde +7.2 a +16.5 V_{DC}
- Las salidas pueden proveer una corriente de hasta 350 mA / bobina
- Incluye diodos de supresión de EMF, que lo protegen contra transitorios inductivos
- Se tiene control sobre el sentido de giro y el ángulo de paso del motor
- Cuando el motor opera en modo de medio paso, se puede seleccionar para que las salidas estén en baja o alta impedancia
- Las entradas son compatibles con la tecnología TTL y CMOS
- Las entradas tienen lazo de histéresis de 400 mV, con el fin de tener máxima inmunidad contra el ruido y evitar que las salidas (L1 , L2 , L3 y L4) se muevan, si las señales de entrada, sean de velocidad, sentido de giro o modo de paso (completo / medio), cambian lentamente.

Para mayor información, referirse al anexo C.

4.3 ESQUEMA GENERAL DEL CIRCUITO

En la figura 4.13 se muestra el esquema general del circuito diseñado e implementado en este trabajo. A más de los circuitos diseñados; para identificar las fuentes de $+12V_{DC}$ y $+5V_{DC}$, se implementan dos circuitos de señalización con diodos led. También para prevenir acoplamiento, se añaden condensadores cerámicos de $0.1\mu F$ a cada circuito integrado.

4.4 MONTAJE DEL PROTOTIPO

La tarjeta de adquisición de datos y control de este trabajo, se realizó mediante la técnica de fotograbado. Esta tarjeta va colocada en el interior de una caja metálica por medio de tornillos. También esta ubicado un pequeño disipador de calor que contiene las 4 resistencias de potencia R_{sx} y R_{sy} , mencionadas anteriormente. Las dimensiones de esta caja metálica son : 23 cm. x 17 cm. x 6 cm.

En esta caja metálica, están colocados:

En la parte frontal :

- 3 terminales (bornes), que sirven para conectar las fuentes de alimentación de $+12V_{DC}$, $+5V_{DC}$ y GND.

En la parte posterior :

- Un conector DB-25 macho, para conectar el puerto paralelo.
- Un conector DB-25 hembra, para el control del equipo.

- Un pulsador de reset, para iniciar proceso de conversión del ADC0809.

Tanto en la parte frontal como posterior, existen leyendas que permiten identificar los elementos antes mencionados. En la figura 4.14 se muestra esta caja metálica.

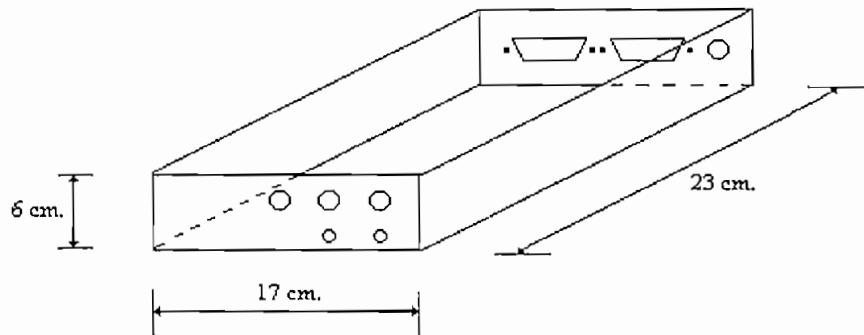


Fig.4.14. Dimensiones de la caja metálica

A continuación, en la figura 4.15 se muestra una fotografía del circuito de control.

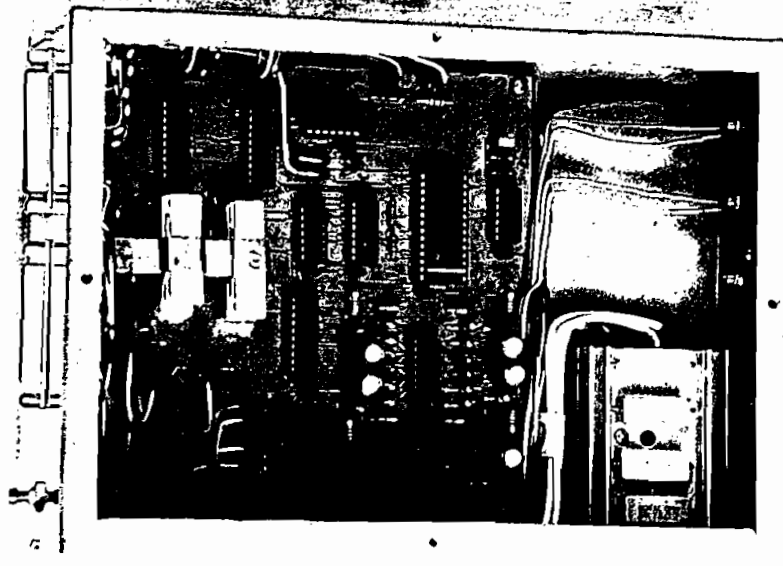


Fig.4.15 Fotografía del circuito de control del rastreador solar

En la figura 4.16, se muestra la fotografía de la parte frontal del equipo y del circuito de control, construidos.

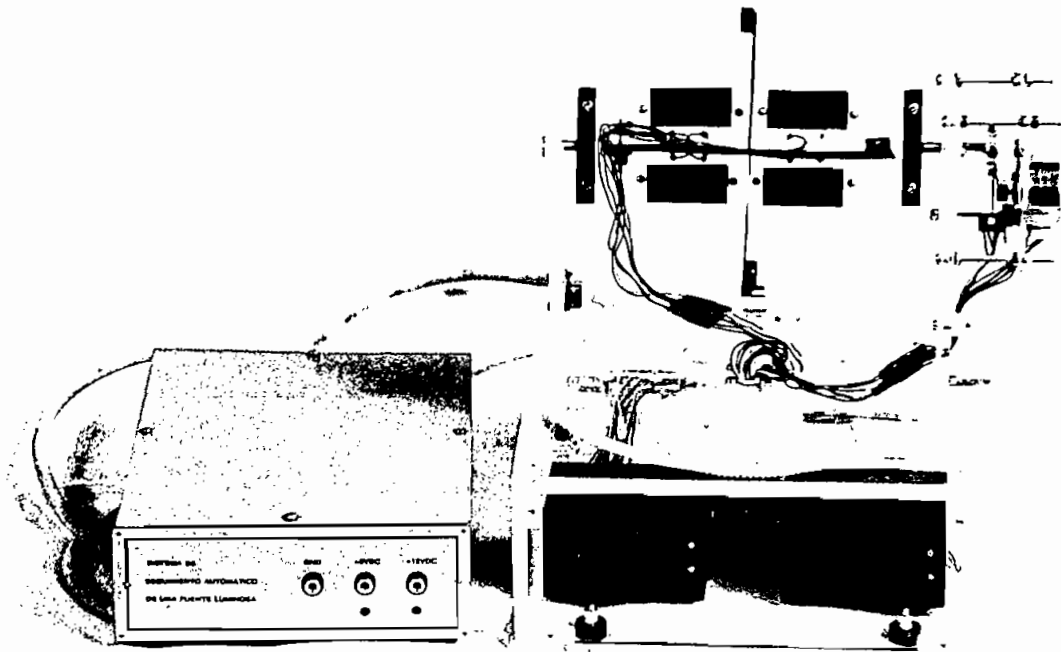


Fig.4.16 Fotografía de la parte frontal del equipo rastreador y circuito de control

Finalmente ; en la figura 4.17, se muestra una fotografía de la parte posterior del equipo de rastreo solar y del circuito de control. En ésta se puede observar el cable de transmisión de datos entre el equipo y el circuito de control.

Este cable, tiene una longitud aproximada de 30 cm. y está conectada en sus extremos conectores DB-25 macho ; por lo tanto, se puede conectar el mismo, entre equipo y circuito de control, indistintamente (en cualquier sentido).

También en la misma fotografía, se observa el cable que conecta al puerto paralelo del computador, éste tiene una longitud aproximada de 1.50 metros.

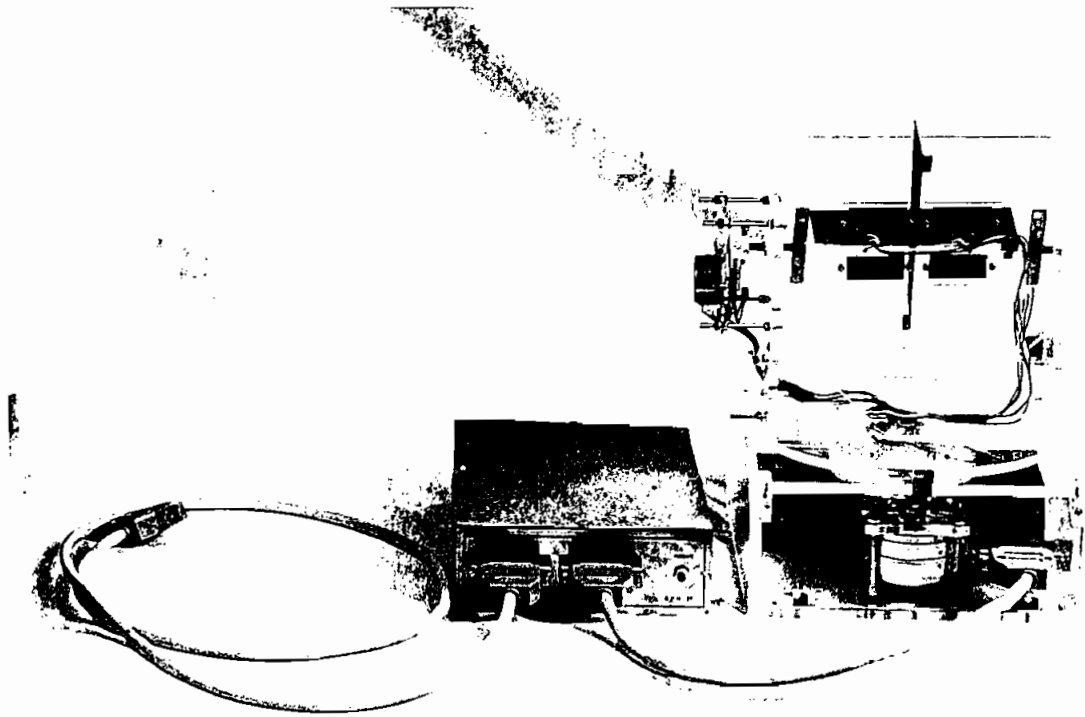


Fig.4.16 Fotografía de la parte posterior del equipo rastreador y circuito de control

CAPITULO V: DESARROLLO DEL SOFTWARE

5.1 DESCRIPCION DEL LENGUAJE DE PROGRAMACION UTILIZADO

El lenguaje de programación que se utiliza para el ingreso y procesamiento de los datos que provienen de las celdas solares y optoacopladores ; así como también, para el envío de señales de control a los motores paso a paso, a través del puerto paralelo del computador, es el Visual Basic V 3.0, diseñado para crear aplicaciones gráficas en forma rápida.

Para este proyecto se utiliza un computador, que tiene un microprocesador AMD 586 y una velocidad de 133 MHz. La dirección base del puerto paralelo es 378h (dirección que proporciona el BIOS al arrancar el computador) que corresponde al registro de Datos ; por lo tanto, de acuerdo a lo indicado en el capítulo IV, sección 4.2.1, la dirección del registro de Estado es 379h y la dirección del registro de Control es 37Ah.

Visual Basic es uno de los primeros lenguajes de programación que admite la programación llamada orientada a eventos ; es decir, en lugar de escribir un programa para que se ejecute en un orden determinado, como tradicionalmente se realiza, se escribe un programa que responde a las acciones iniciadas por usuario ; como por ejemplo, mover el ratón, hacer un click en una ventana o elegir un comando. Al escribir el programa, en realidad lo que se hace es crear una aplicación, que es una colección de subprogramas que interactúan entre ellos y con el usuario.

Para realizar una aplicación o un proyecto ; se diseñan una o más “Formas”, que son ventanas, en donde se sitúan gráficos y se dibujan objetos llamados controles con el fin de

aceptar o visualizar datos ; además se escribe el código respectivo que controla el funcionamiento del programa.

Una limitación que tiene Visual Basic, es que no puede operar en puertos de entrada y salida (E/S) ; es decir, no existen instrucciones que permitan manejar directamente los datos desde un puerto , como sí lo tiene por ejemplo Quick Basic (instrucciones INP/OUT).

Hay que recordar que en el proyecto que se desarrolla, se utiliza el puerto paralelo del computador, para ingresar la información, procesarla y enviarla al equipo de rastreo solar. Por lo tanto, es muy importante que Visual Basic maneje estas entrada y salidas (E/S) del puerto.

Para resolver esta limitación y así poder manejar este puerto, es necesario crear una Librería de Enlace Dinámico (Dynamic Link Library, DLL), que es una librería de funciones que Windows lee y ejecuta atendiendo a las necesidades de un programa ejecutable, en este caso Visual Basic.

Visual Basic puede utilizar DLLs creadas en cualquier lenguaje, con pocas excepciones ; en este caso, se utiliza el lenguaje de programación Borland C++ V 4.02, para crear la DLL respectiva.

A continuación se muestra el código (antes de compilar), que genera la DLL :

```
#include <windows.h>

#include <dos.h>

#define EXPORTAPI _far _pascal _export _loadds
```

```

int EXPORTAPI LibMain( HANDLE hModule,    // LibMain función de entrada
                      WORD      wDataSeg,
                      WORD      cbHeapSize,
                      LPSTR lpszCmdLine )
{
    hModule = hModule;

    wDataSeg = wDataSeg;

    cbHeapSize = cbHeapSize;

    lpszCmdLine = lpszCmdLine;

    return 1; // Si la DLL fue inicializada satisfactoriamente
}

int EXPORTAPI WEP ( int bSystemExit ) // WEP función de salida
{
    return ( bSystemExit );
}

// Instrucción de escritura de datos

void EXPORTAPI OutData ( int DirPuerto,int DatPuerto )
{
    outportb( DirPuerto,DatPuerto );
}

// Instrucción de lectura de datos

int EXPORTAPI InData ( int DirPuerto )
{
    int DatPuerto;
}

```

```

        DatPuerto = inportb ( DirPuerto );

        return ( DatPuerto );

}

// Instrucción para lectura de la dirección del puerto paralelo

int EXPORTAPI LeeDir()

{

    int valor;

    valor=peek(0x40, 0x8);

    return(valor);

}

```

Una vez que ha sido creada una función de una librería dinámica ; para declarar la misma en Visual Basic, hay que escribir una sentencia DECLARE en el módulo global de la aplicación o en la sección de declaraciones de la Forma o del módulo ; adicionalmente, hay que indicar a Visual Basic, dónde se encuentran estas funciones (path) y además el tipo de dato, el paso de parámetros , etc.

En este caso, las declaraciones que han sido incluidas en el módulo global del proyecto de tesis, son:

Declare Sub OutData Lib "c:\solar\instruc.dll" (ByVal Addr% , ByVal Byte%)

Declare Function InData Lib "c:\solar\instruc.dll" (ByVal Addr%) As Integer

La función OutData, sirve para enviar información al puerto paralelo y no retorna un valor a Visual Basic, por lo que se declara como un procedimiento Sub. En cambio la función

InData sí retorna un valor, por lo que se declara como tal ; con esta función se puede leer la información desde el puerto paralelo.

Los argumentos de la función y del procedimiento Sub son pasados “por valor”, ya que se utiliza la palabra clave “ByVal” ; con esto se logra que el valor del argumento no sea cambiado, cuando ocurre una modificación de parámetros en el cuerpo de la función o del procedimiento.

5.2 DESARROLLO DE FLUJOGRAMAS

Antes de construir o desarrollar una aplicación, es muy útil trazar diagramas o flujogramas que ayuden a cristalizar ideas no tan claras que se tienen de la aplicación, en pasos concretos ; además, del análisis de los mismos, se puede encontrar etapas que no se han considerado o están incompletas ; también, se puede encontrar procesos comunes que pueden compartir código.

En este sentido, a continuación se presentan los flujogramas que ayudaron a desarrollar el programa para el control del rastreador solar.

5.2.1 FLUJOGRAMA GENERAL DE LA APLICACION

En las figuras 5.1 a y b, se muestra el flujograma general de la aplicación ; de acuerdo al mismo, el programa funciona de la siguiente manera:

La aplicación se inicia con una pantalla de presentación (ver figura 5.1.a), en la cual se indica el título del trabajo de tesis y los autores del mismo. Una vez elegida la opción de continuar con la aplicación, aparece la pantalla principal ; y en ésta, un mensaje de

inicialización, en el cual se indica que el panel está ubicándose en una posición inicial. Cuando se “acepta” este mensaje, permanece sólo la pantalla principal y el programa pasa a ser controlado por las acciones del usuario. Si se elige la opción de salir del programa, la aplicación finaliza.

En la pantalla principal (ver figura 5.1.b) ; el usuario para operar el rastreador solar, puede seleccionar una opción de control o de información en la barra de menú o haciendo un “click” en uno de los botones de acceso rápido. Cada vez que se elige una de estas opciones en la pantalla principal, se ejecutan las rutinas respectivas que son independientes una de la otra, las cuales se explican detalladamente más adelante.

5.2.2 FLUJOGRAMAS DE INGRESO Y SALIDA DE DATOS

5.2.2.1 Inicialización del panel

Cuando se inicia la aplicación, después que el usuario “acepta” continuar con la misma, se ejecuta una rutina de inicialización del panel, como se mencionó anteriormente.

En el flujograma de la figura 5.2, se indican los pasos seguidos en la realización de esta rutina.

De acuerdo a este flujograma, para ubicar el panel en la posición inicial ; primero se especifican las direcciones de los registros de entrada y salida del puerto paralelo, para leer y enviar información al circuito de control.

A continuación se lee la información que proporciona el sensor de posición (S_y), ubicado en el motor M_y . Dependiendo del dato que entregue este sensor, se envía la secuencia respectiva al motor M_y , para que mueva el panel en el eje Y en sentido antihorario.

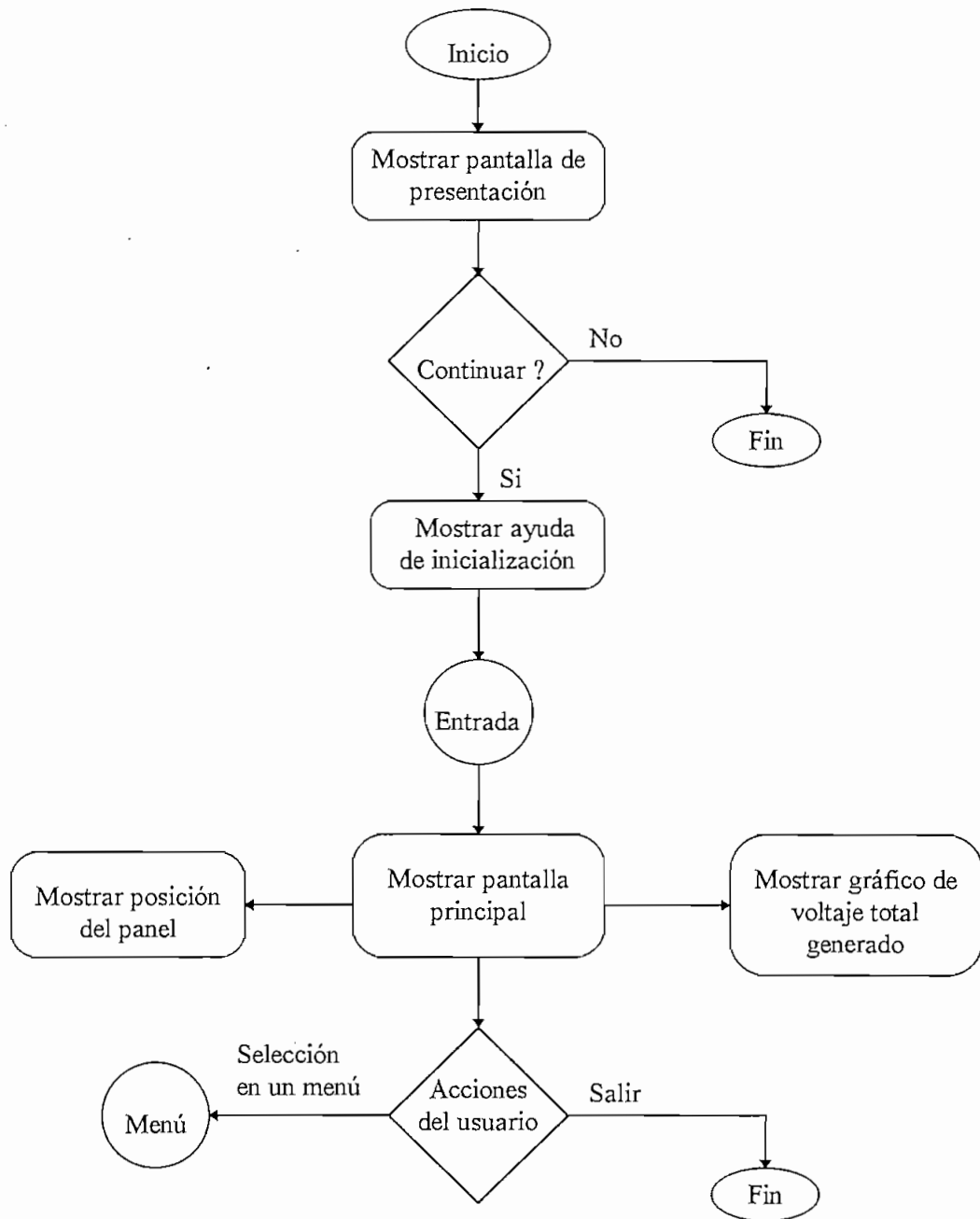


Fig.5.1.a Flujograma del proceso inicial de la aplicación

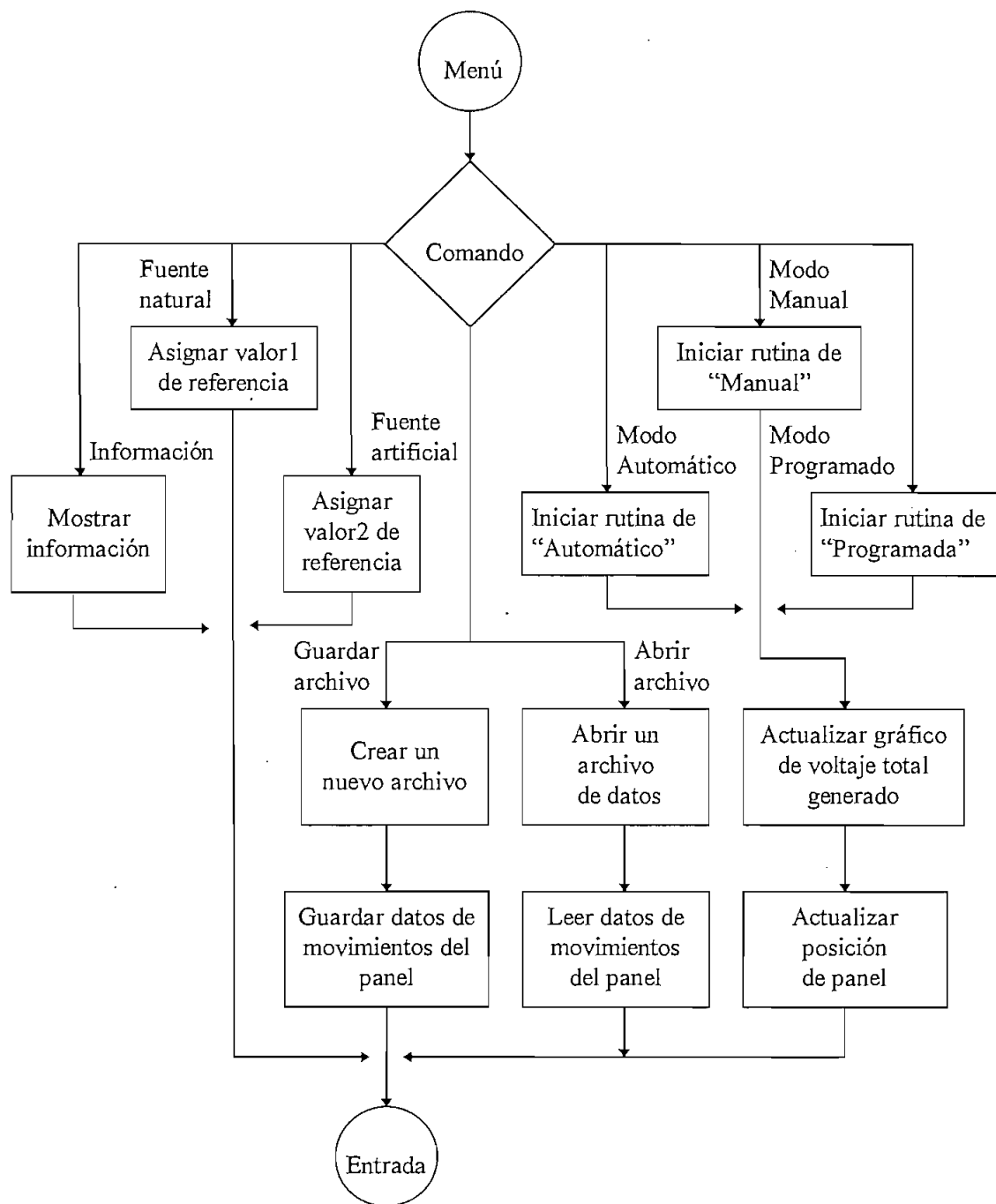


Fig.5.1.b Flujoograma de la pantalla principal de la aplicación

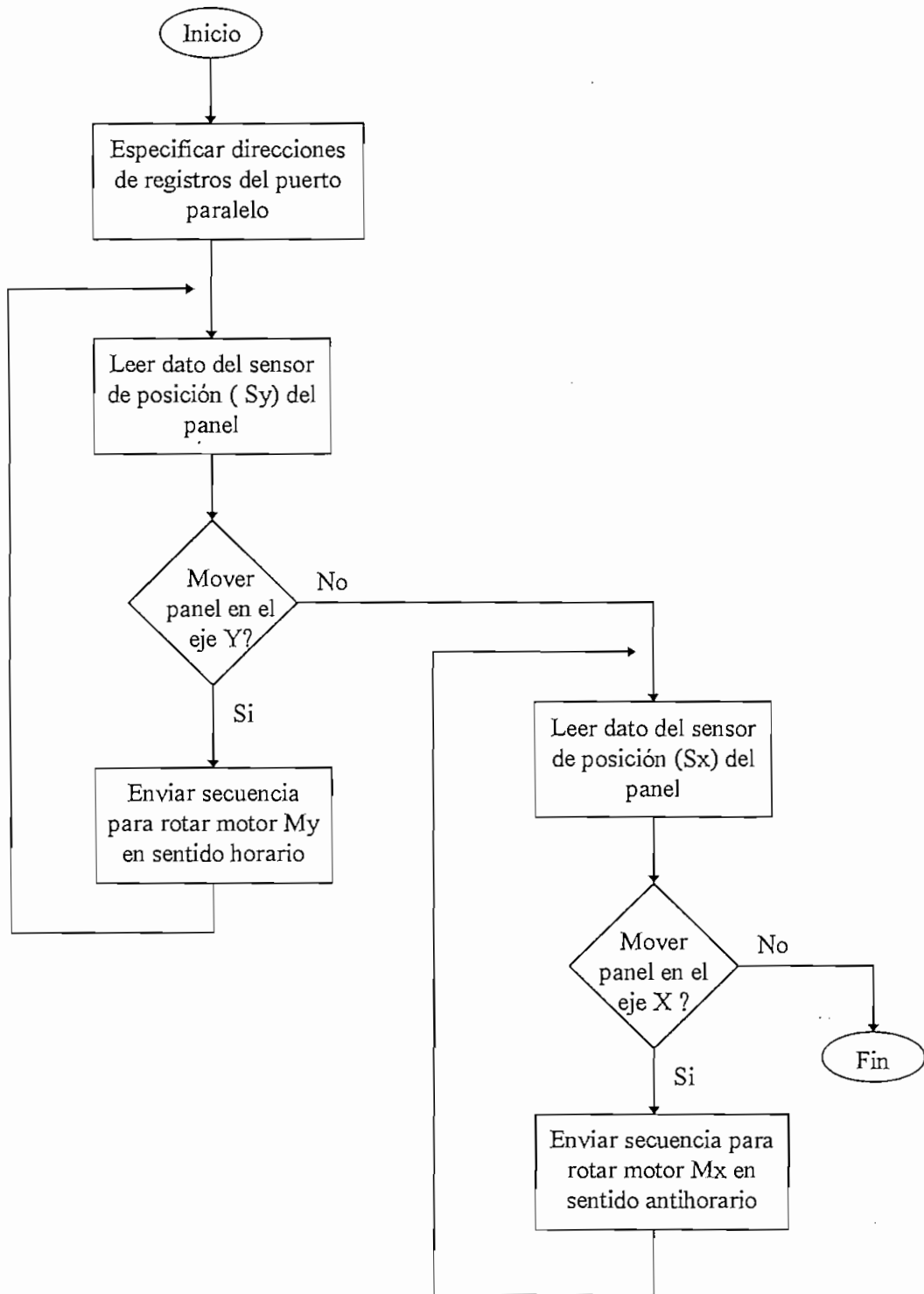


Fig.5.2 Flujograma para inicialización del panel

Posteriormente, se lee el dato del sensor de posición (S_x) y se procede como en el caso anterior, para que el motor M_x mueva el panel en el eje X, en sentido horario.

Una vez ubicado el panel en la posición inicial, se “inicializan” todos los controles de la aplicación.

Mayores detalles se proporciona en la sección de programación de esta rutina

5.2.2.2 Lectura de voltajes generados por las celdas solares

La lectura del voltaje generado por cada una de las celdas solares, se realiza en forma secuencial, ya que se dispone de 5 valores que provienen del panel y de las celdas auxiliares que miden la intensidad luminosa ambiental.

En la figura 5.3, se muestra el flujograma que ayudó a realizar la rutina respectiva. De acuerdo a éste, primero se definen las direcciones de los registros de entrada y salida del puerto paralelo (para leer y coordinar la entrada de información); después se lee el voltaje generado por la celda 1 (ver figura 3.3 , Cap. III), a continuación el voltaje de la celda 2 y así sucesivamente hasta finalizar con la lectura del voltaje generado por las 2 celdas auxiliares. Cada valor leído se almacena en la variable respectiva, definida para el efecto.

Hay que recordar que la lectura se realiza en grupos de 4 bits, por las limitaciones en cuanto a líneas de entrada del registro de Estado ; razón por la cual, se dispone de una etapa de procesamiento del dato, que consiste en leer los 4 bits menos y más significativos del dato y almacenarlos en variables temporales, después se forma el dato completo utilizando el operador booleano OR. El valor que se obtiene es corregido, ya que esta señal

es amplificada antes ingresar al computador. Finalmente, el valor real del voltaje que genera cada celda solar se almacena en la variable respectiva.

Los datos de voltajes almacenados en estas variables se utilizan en la rutina de graficación del voltaje total generado por las celdas solares que conforman el panel y en la de control automático del mismo.

Mayor información se proporciona, en la sección correspondiente a esta rutina.

5.2.2.3 Modos de operación

El control del panel, se lo puede realizar de tres modos : automático, manual y programada.

Los flujogramas correspondientes a estos modos de operación se indican a continuación :

- Modo de operación Automático

En este modo de operación, el panel sigue automáticamente una fuente luminosa, sea natural o artificial.

En el flujograma que se muestra en la figura 5.4, se indican los pasos seguidos en la realización la rutina correspondiente.

De acuerdo a este flujograma ; de las variables respectivas, se toman los valores de voltajes generados por las celdas que corresponden al panel y se comparan con un valor de referencia, que depende del tipo de fuente luminosa (natural o artificial) incidente sobre el panel y de la intensidad luminosa ambiental. Del resultado de la comparación, se determina qué celda solar está “completamente” iluminada y se genera un “código de iluminación”.

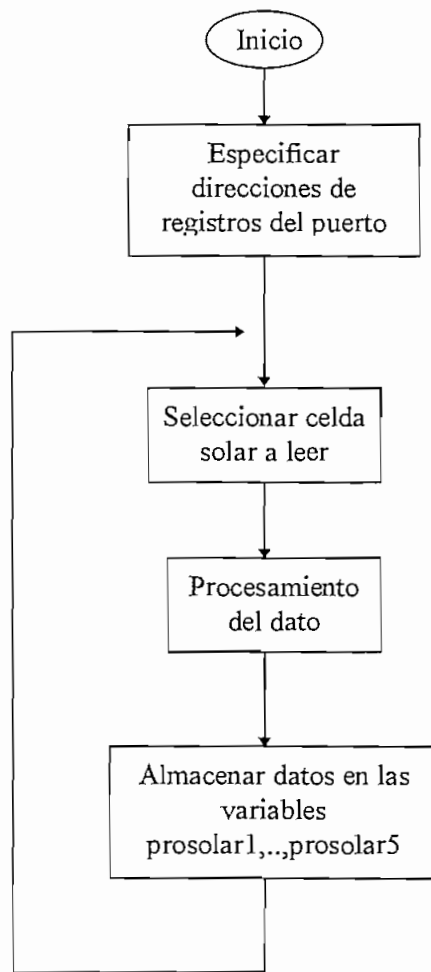


Fig.5.3 Flujograma para lectura de voltajes de celdas solares

Cada código de iluminación contiene una subrutina, que envía a girar a los motores M_x y M_y , de tal manera que el panel se ubique en una posición en donde todas las celdas estén completamente iluminadas.

Adicionalmente, en un cuadro visual se indica el movimiento del panel y se actualiza conforme éste se mueve.

Con el fin de generar un archivo de datos, necesario para el modo de operación programada, se dispone de una opción que permite guardar en un medio magnético, los datos de movimientos que realiza el panel.

Este modo de control se explica más detalladamente en el desarrollo de la rutina respectiva.

- Modo de operación Manual

Para el modo de operación manual, se implementó una rutina, siguiendo la secuencia del flujograma de la figura 5.5.

De acuerdo a este flujograma, el usuario envía a mover el panel un ángulo determinado, indistintamente, sea en el eje Y o en el eje X , sin importar el tipo de fuente incidente, ni el nivel de intensidad luminosa ; al mismo tiempo, el indicador visual del movimiento del panel, se actualiza conforme éste se mueve.

Como en el caso anterior, se dispone de una opción que permite almacenar en un archivo, los datos de movimientos del panel, para utilizarlo el modo de operación programada.

Más detalles se indican en la sección correspondiente a esta rutina.

- Modo de operación Programada

Para este modo de operación, se debe disponer de un archivo de datos, que contenga la información de los movimientos del panel. La rutina se implementó tomando como referencia el flujograma de la figura 5.6

Siguiendo la secuencia de este flujograma, primero se implementa una etapa de inicialización del panel, que ubica a éste en la posición inicial y a partir del cuál empieza a moverse.

Posteriormente, los datos que se leen desde el archivo respectivo y que fue generado en uno de los modos de operación anteriores, se almacenan en las variables definidas para el efecto, con el fin de hacer operaciones de comparación entre éstos y determinar la secuencia de pulsos a enviar a los motores para que muevan el panel. Como en los casos anteriores, el indicador visual del movimiento del panel se actualiza conforme se mueve el panel.

La lectura del archivo de datos finaliza, cuando se lee un número de registros previamente definido.

En el desarrollo de la rutina correspondiente, se explica con más profundidad lo antes mencionado.

Finalmente, se debe indicar que una rutina que está graficando continuamente el voltaje total generado por las celdas solares que forman el panel, independientemente del tipo de control que se tenga sobre el mismo.

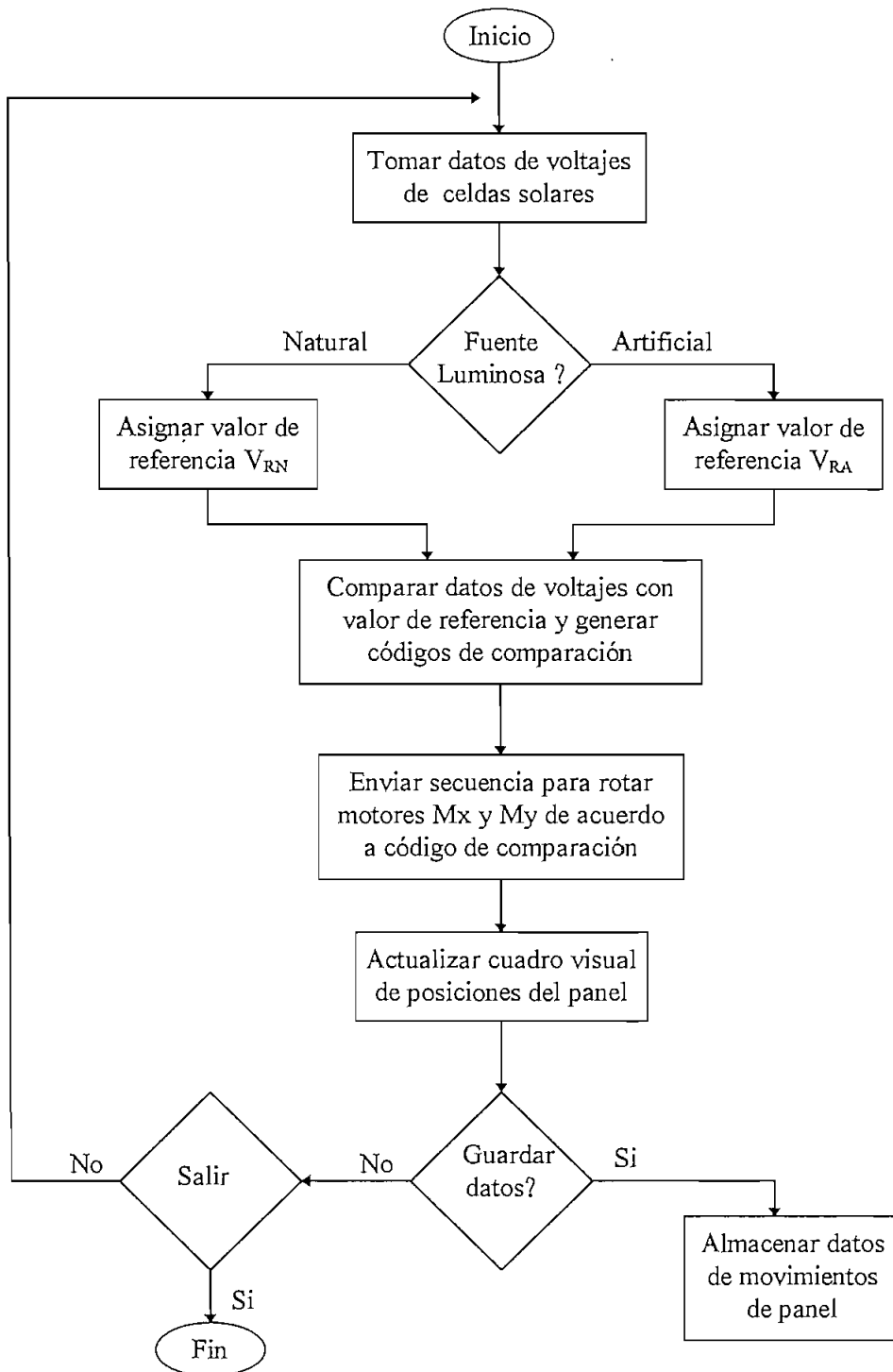


Fig.5.4 Flujograma para control automático del panel

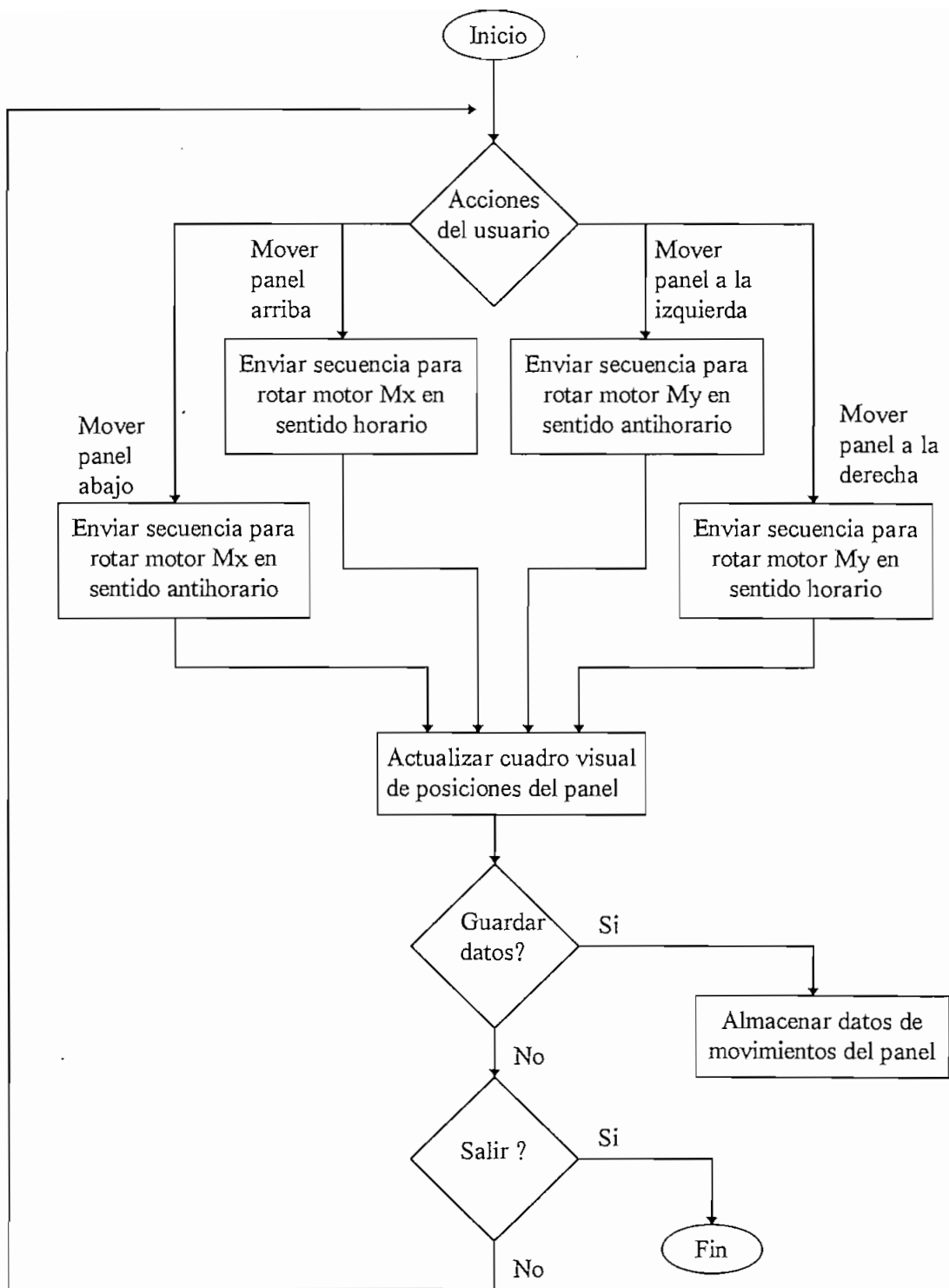


Fig.5.5 Flujograma para control manual del panel

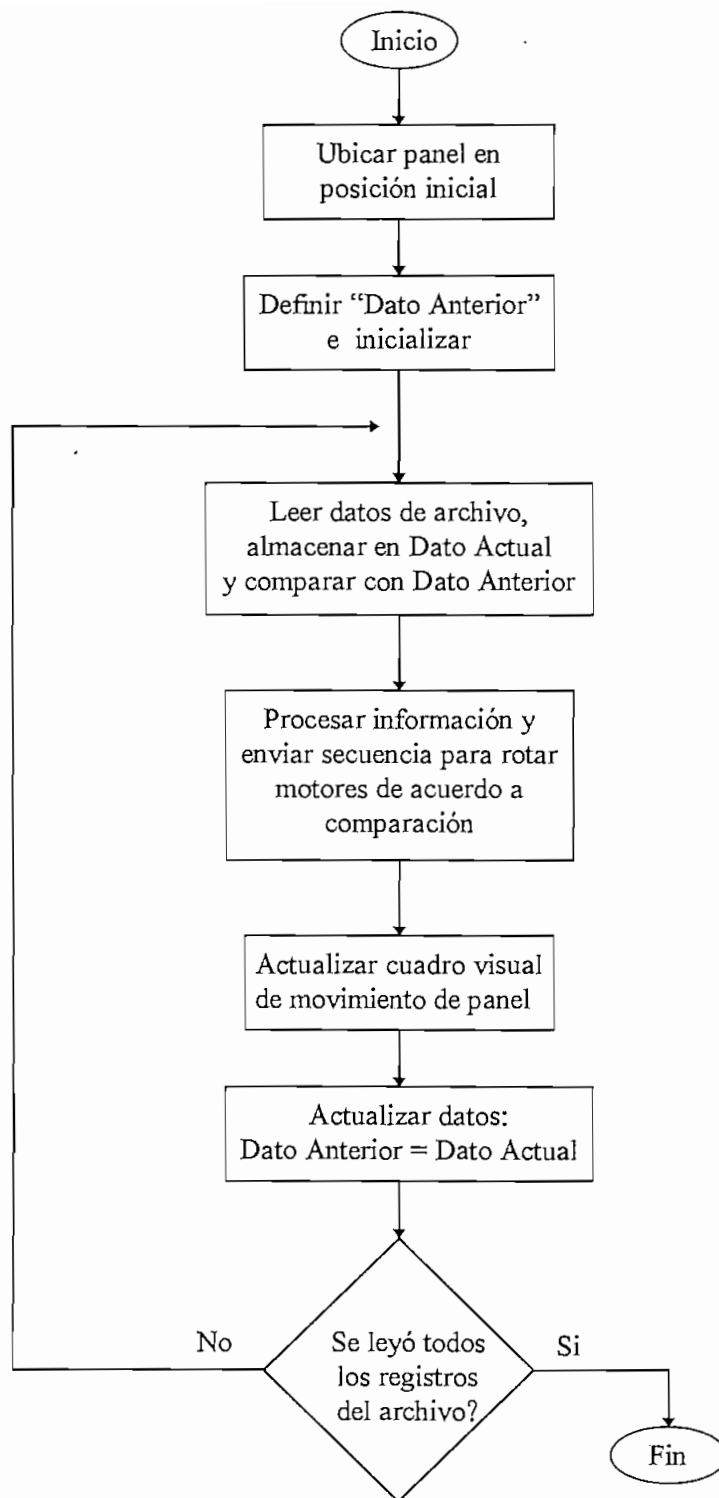


Fig.5.6 Flujograma para control programado del panel

A continuación se describe las rutinas desarrolladas, para el control del rastreador solar.

En primera instancia, se desarrolló la rutina correspondiente a la pantalla de presentación del trabajo de tesis. En ésta, se indica el título del proyecto y el nombre de los autores del mismo, también dispone de dos botones de comando, que permiten continuar o salir de la aplicación. En la figura 5.7 se indica esta pantalla de presentación.



Fig.5.7 Pantalla de presentación de la aplicación

Cuando se elige la opción de continuar con la aplicación, aparece la pantalla principal y sobre ésta un mensaje (ver figura 5.8), que indica que se está ejecutando una rutina de inicialización del panel. Una vez que el panel se ubica en la posición inicial y se “acepta” el mensaje de inicialización, permanece sólo la pantalla principal de la aplicación. Esta pantalla que esta desarrollada en base a un formulario “MDI (Interface de Múltiples Documentos)”, en la cual un formulario contiene a otros formularios, esta formada de :

- 1.- Una barra de menú y botones de acceso rápido.

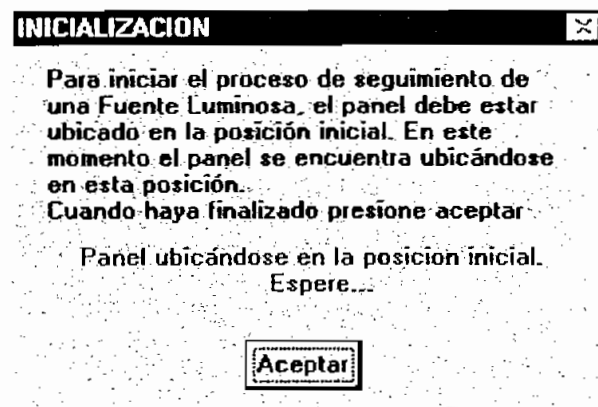


Fig.5.8 Mensaje de inicialización del panel

- 2.- Un cuadro de presentación del gráfico del voltaje generado por las celdas solares .
- 3.- Un cuadro de presentación de la posición actual del panel en los ejes X y Y.
- 4.- Un mensaje de ayuda, en donde se indica que se seleccione los parámetros necesarios para el control del panel.

A continuación se explica estos elementos. El punto 2 se revisará en el desarrollo de la rutina de graficación de datos.

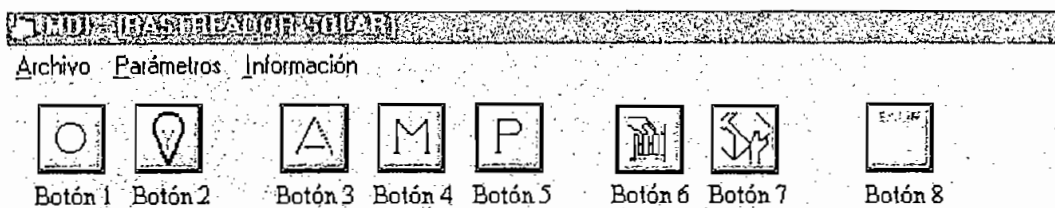


Fig.5.9 Barra de menú y botones de acceso rápido

La barra de menú y botones de acceso rápido (creadas en el formulario MDI), se muestran en la figura 5.9.

Con respecto a los botones de acceso rápido, éstos tienen una representación particular, que permiten determinar la tarea que realizan ; además al “navegar” con el puntero del ratón sobre estos botones, se despliegan tanto en la parte inferior de éstos, como en la parte inferior de la pantalla principal, “ayudas en línea” que indican la tarea que realizan.

De acuerdo a la notación implementada en estos botones (con el fin de explicar de una mejor manera), las tareas que realizan son:

Botón 1 : Al hacer un “click” en este botón, se escoge una fuente luminosa natural como es el sol. Al elegir esta opción, se establece un valor de comparación $V_C = 2$. Este valor se obtuvo experimentalmente, considerando el máximo voltaje que generan de las celdas solares a mediodía y en un día claro y además los escalamientos de valores que se realizan por medio de software.

Hay que recordar que para el modo de control automático del panel, es indispensable tener un valor de referencia (V_{REF}), con el cual se comparan los valores de voltajes generados por las celdas solares del panel. Este valor de referencia se ha definido como:

$$V_{REF} = V_C + V_{AMB}$$

donde:

V_{REF} = Valor de referencia

V_C = Valor de comparación

V_{AMB} = Valor debido a la luz ambiental

Mayores detalles se proporcionan en la sección de rutinas de control del panel.

Botón 2 : Con este botón se elige una fuente luminosa artificial ; en este caso, el valor de comparación se establece como $V_C = 1$. De igual manera, este valor se obtuvo experimentalmente.

Botón 3 : Este botón permite seleccionar el modo de operación automático del panel ; en este caso el panel sigue automáticamente la fuente luminosa seleccionada.

Botón 4 : al hacer un click en este botón, se selecciona el modo de operación manual del panel ; por lo que, el usuario tiene que mover el panel utilizando los botones de comando, diseñados para el efecto.

Botón 5 : Con este botón se selecciona el modo de operación programado del panel , para lo cual se debe disponer de un archivo que contenga los datos de movimientos que debe realizar el panel.

Botón 6 : Este botón se “activa” cuando el modo de operación del panel es automático o manual y permite guardar los datos de movimientos que realiza el mismo, para utilizarlo en el modo de operación programado. Al hacer un click en este botón, aparece una ventana de diálogo, en donde se debe registrar el nombre del archivo con la extensión “.Mov”, en un directorio denominado “Datos” del drive C del computador. En general, se puede guardar el archivo en cualquier directorio y drive.

Botón 7 : Este botón se activa cuando se selecciona el modo de operación programado del panel y permite abrir un archivo que contenga los datos de movimientos que debe realizar

el mismo. Al hacer un click en este botón, aparece una ventana de diálogo, en donde se debe seleccionar el directorio denominado "Datos" del drive C del computador y registrar el nombre del archivo que se desea abrir. Si se eligió otro directorio y drive al indicado anteriormente para guardar el archivo, hay que especificar la dirección correspondiente.

Botón 8 : Al hacer un click en este botón, se detiene el sistema y se abandona la aplicación.

También en la barra de menú, se pueden escoger las mismas opciones que las elegidas con los botones de acceso rápido. Adicionalmente en esta barra existe un menú de información, con el cual se tiene acceso a la información de los datos técnicos de las celdas solares y motores paso a paso, asimismo de las direcciones de los registros del puerto paralelo del computador. También se tiene acceso a la información sobre el programa de control del rastreador solar.

Con respecto al cuadro de presentación de la posición del panel, en éste se presenta gráficamente la posición actual del panel en los ejes X y Y, con respecto a la posición inicial ; también se muestra el valor (en grados) de la posición del mismo. En la figura 5.10 se muestra este cuadro.

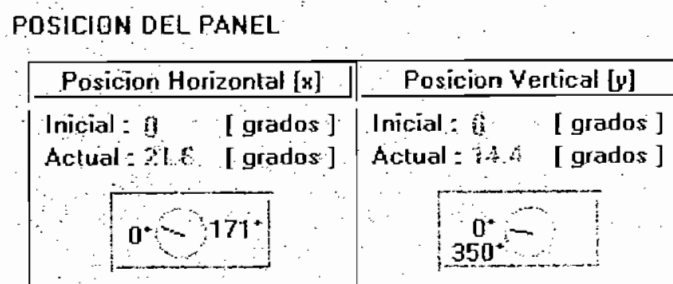


Fig.5.10 Cuadro de posición del panel

En lo que se refiere al mensaje de ayuda, en éste se indica que se seleccionen los parámetros adecuados en la barra de menú o en los botones de acceso rápido, para el control del panel. En la figura 5.11 se muestra este mensaje de ayuda.

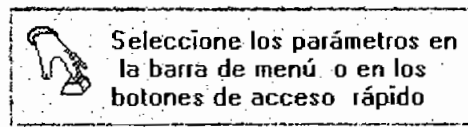


Fig.5.11 Mensaje de ayuda

Una vez realizada esta explicación general de los componentes de la pantalla principal, se procede a describir las rutinas de control del panel desarrolladas. El listado del programa de las rutinas desarrolladas se encuentran en el anexo B.

5.3 RUTINA DE INGRESO Y SALIDA DE DATOS

En realidad existen dos rutinas de ingreso y una de salida de datos. Una rutina de ingreso de datos, se desarrolló para leer el estado de los sensores de posición del panel y la restante para leer el voltaje que generan las celdas solares (del panel y auxiliares).

La rutina de salida de datos (formada de 4 subrutinas) se desarrolló para enviar la secuencia de pulsos a los motores Mx y My, para que éstos giren en sentido horario o antihorario.

En estas rutinas (ingreso y salida de datos) , primero se definieron las direcciones de los registros de datos, estado y control del puerto paralelo, las cuales son: 378h, 379h y 37Ah , respectivamente.

Las instrucciones que se utilizaron para ingresar y enviar datos, desde y al puerto paralelo, son :

DatoEntrada = InData (dirección)

OutData (dirección, DatoSalida)

En la primera instrucción, la dirección corresponde al registro de estado y el dato leído se almacena la variable denominada "DatoEntrada".

En la siguiente instrucción ; la dirección corresponde al registro de control, cuando se controla el ingreso de información y al registro de datos, cuando se envía la secuencia de pulsos a los motores. Esta información se envía al puerto paralelo desde la variable denominada "DatoSalida".

Hay que mencionar que estas variables se ha denominado así, con el fin de explicar de una mejor manera estas rutinas ; los nombres de las variables en la rutinas mismas son distintas, ya que para el caso de las rutinas de entrada de datos, existe una etapa de procesamiento del dato, que consiste en tomar los 4 bits menos significativos y almacenarlos en una variable, después tomar los 4 bits más significativos y almacenarlos en otra variable ; finalmente unir estos bits utilizando el operador boleano OR para formar el dato completo y almacenarlo en una tercera variable, como se indicó anteriormente.

5.4 RUTINA DE INICIALIZACION DEL PANEL

Esta rutina ubica al panel en una posición inicial y a partir de ésta empieza su movimiento , de acuerdo al modo de control. Después de definir las direcciones de los registros

respectivos del puerto, se lee el valor de los sensores de posición (S_x y S_y) del panel de la siguiente manera:

Primero se lee el estado del sensor ubicado en el motor M_y ; si el valor que se lee es 4h, entonces el panel está ubicado en la posición inicial, en caso contrario se llama a una rutina denominada “pasosnegy” que envía una secuencia de pulsos al motor M_y , para éste gire sentido antihorario, hasta que el panel se ubique en la posición inicial en el sentido “Y”.

Después se lee el estado del sensor ubicado en el motor M_x ; de igual manera, si el valor que se lee es diferente de 8h, se llama a una rutina “pasosposx” que envía una secuencia de pulsos al motor M_x para que éste gire en sentido horario, hasta ubicar el panel en la posición inicial en el sentido “X”.

La lectura del valor de estos sensores se realiza cada 25 milisegundos, a través de dos temporizadores denominados TimerIniy y TimerInix.

5.5 RUTINA DE GRAFICACION DE DATOS

Esta rutina realiza el gráfico el voltaje generado por las celdas solares del panel. Su desarrollo se explica a continuación:

Para realizar esta rutina, primero se deben disponer de los valores de voltajes generados por las celdas solares, para lo cual se aplica el procedimiento indicado en la sección 5.3 correspondiente a la rutina de ingreso de datos.

Una vez que los datos han sido adquiridos y procesados, se almacenan en las variables denominadas prosolar1, prosolar2, prosolar3, prosolar4 y prosolar5. En prosolar1 se almacena el valor del voltaje generado por la celda solar 1 del panel (Ver figura 3.3 , Cap.

III), en prosolar2, el valor del voltaje generado por la celda solar 2 y así sucesivamente ; en prosolar5 se almacena el valor del voltaje generado por las dos celdas solares conectadas en serie, que sirven como sensores de la intensidad luminosa ambiental. La actualización de estos valores de voltajes se realiza cada 250 milisegundos, a través de un temporizador denominado TimerVoltajes.

Para graficar el valor del voltaje total generado, se toman los valores de las variables prosolar1, prosolar2, prosolar3 y prosolar4, se suman éstos y su resultado se almacena en la variable denominada Voltaje. Este resultado, que corresponde al voltaje total generado por las 4 celdas solares del panel, es graficado. Este gráfico se muestra en la figura 5.12.

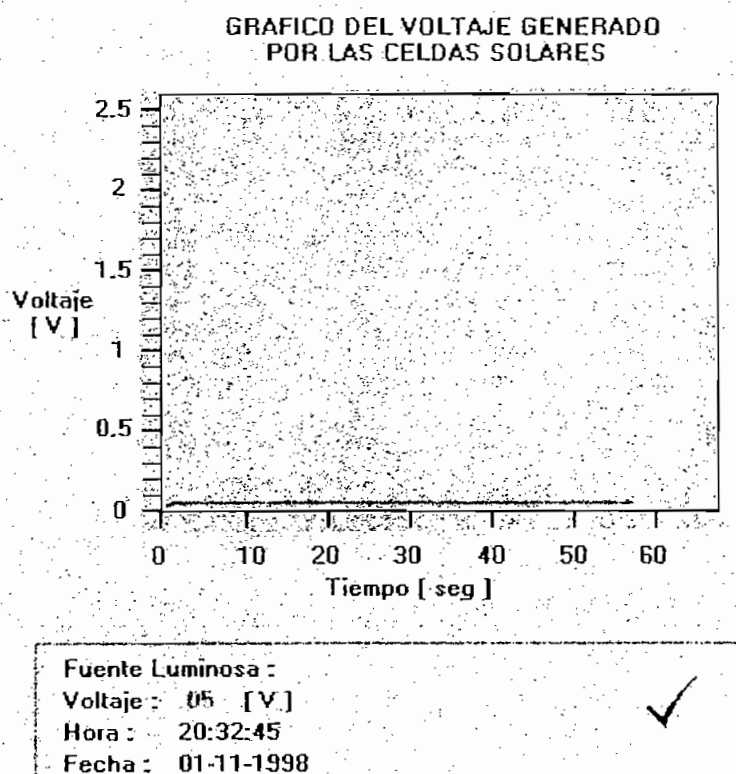


Fig.5.12 Gráfico del voltaje generado por las celdas solares del panel

Como se puede observar en la figura anterior ; adicionalmente al gráfico del voltaje, se indica el tipo de fuente luminosa incidente, el valor instantáneo del voltaje generado y la hora y fecha actuales. Los datos para la graficación del voltaje, se toman cada 500 milisegundos, a través de un temporizador denominado TimerGraficos

5.6 RUTINAS DE CONTROL DE MOVIMIENTOS DEL PANEL

Las rutinas de control de movimientos del panel son muy importantes, ya que constituyen la parte principal de control del equipo de rastreo solar ; a continuación se explica el desarrollo de cada una de éstas.

5.6.1 RUTINA DE CONTROL AUTOMATICO DEL PANEL

Esta rutina se desarrolló, con el fin de que el panel siga automáticamente una fuente luminosa, previamente seleccionada.

En primera instancia, se toman los valores de los voltajes generados por cada una de las celdas solares del panel, de las variables denominadas: prosolar1, prosolar2, prosolar3 y prosolar4, que corresponden a celda1, celda2, celda3 y celda4, respectivamente y el valor de referencia (V_{REF}), con el cual se comparan los voltajes de las celdas.

En la figura 5.13 se muestra la ubicación de las celdas en el panel y se indica los movimientos que debe realizar el mismo en los ejes X y Y. También se puede observar el un obturador metálico, que se implementó con el fin de establecer las relaciones de luz/sombra en cada una de las celdas. Las relaciones luz/sombra que se generan en las celdas, debido a la presencia del obturador y lógicamente a la fuente luminosa, determinan

si la(s) celda(s) está(n) o no completamente iluminada(s) y se generan “códigos de iluminación”, que sirven para determinar en qué dirección tiene que moverse el panel automáticamente, de tal manera que todas las celdas del mismo, pasen a estar uniformemente iluminadas.

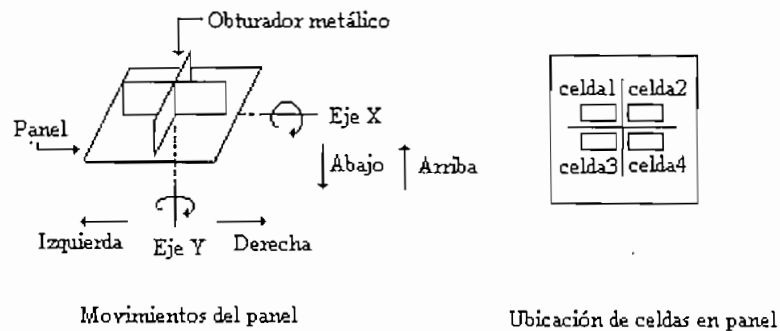


Fig.5.13 Ubicación de las celdas en el panel y movimientos del mismo

Al tener cuatro celdas solares que forman el panel, se tienen 16 códigos de iluminación, que se pueden generar al interactuar la fuente luminosa (natural o artificial) incidente y el obturador metálico. En la tabla 5.1, se indica estos códigos y los movimientos que tiene que realizar el panel, para que las celdas del mismo estén completamente iluminadas. A continuación se explica cada uno de estos códigos:

Código 1: 0 0 0 0

Este código indica que las 4 celdas no están “completamente iluminadas”; es decir, el valor del voltaje que generan cada una éstas, es inferior al valor de referencia (V_{REF}) con el cual se comparan ; por lo tanto, se asume que hay una baja intensidad luminosa en el medio y el panel no se moverá hasta que se genere otro código de iluminación .

Código de iluminación	celdas solares				Movimiento del panel
	celda1	celda2	celda3	celda4	
código 1	0	0	0	0	no se mueve
código 2	0	0	0	1	Derecha , Abajo
código 3	0	0	1	0	Izquierda , Abajo
código 4	0	0	1	1	Abajo
código 5	0	1	0	0	Derecha , Arriba
código 6	0	1	0	1	Derecha
código 7	0	1	1	0	Este código no puede darse
código 8	0	1	1	1	Derecha , Abajo
código 9	1	0	0	0	Izquierda , Arriba
código 10	1	0	0	1	Este código no puede darse
código 11	1	0	1	0	Izquierda
código 12	1	0	1	1	Izquierda , Abajo
código 13	1	1	0	0	Arriba
código 14	1	1	0	1	Derecha , Arriba
código 15	1	1	1	0	Izquierda , Arriba
código 16	1	1	1	1	no se mueve

Tabla 5.1 Códigos de iluminación

Código 2: 0 0 0 1

Este código indica que sólo la celda4 está completamente iluminada ; razón por la cual, el movimiento del panel debe ser hacia la derecha, hasta que la celda3 esté completamente iluminada y así obtener el código 0 0 1 1, que se explica más adelante.

Código 3: 0 0 1 0

Este código indica que sólo la celda3 esta completamente iluminada ; por lo tanto, el movimiento del panel debe ser a la izquierda, hasta que la celda4 esté completamente iluminada y de esta manera obtener el código 0 0 1 1.

Código 4: 0 0 1 1

Este código indica que las celdas denominadas: celda3 y celda4, están completamente iluminadas ; por lo tanto, el movimiento del panel debe ser hacia abajo, hasta que todas las celdas estén completamente iluminadas (código 1 1 1 1) , o hasta obtener los códigos 1 0 1 1 ó 0 1 1 1.

Código 5: 0 1 0 0

Este código indica que sólo la celda2 está completamente iluminada ; por lo tanto, el movimiento del panel debe ser a la derecha, hasta que la celda1 esté completamente iluminada y así obtener el código 1 1 0 0.

Código 6: 0 1 0 1

Este código indica que las celdas denominadas: celda2 y celda4, están completamente iluminadas ; por lo tanto, el movimiento del panel debe ser a la derecha, hasta que todas las celdas estén completamente iluminadas (código 1 1 1 1) o hasta obtener cualquiera de los siguientes códigos 1 0 1 1 ó 0 1 1 1.

Código 7: 0 1 1 0

Este código no puede darse, ya que las celdas opuestas, denominadas: celda2 y celda3, están completamente iluminadas, lo que físicamente no puede darse.

En caso de producirse este código, el programa tiene que reportar un mensaje de error, ya que las celdas mencionadas podrían estar defectuosas o desconectado algún terminal de las mismas.

Código 8: 0 1 1 1

En este caso, el código indica que las celdas denominadas celda2, celda3 y celda4 están completamente iluminadas. Por lo tanto el panel debe moverse a la derecha y hacia abajo, hasta que la celda restante esté completamente iluminada y así obtener el código 1 1 1 1.

Código 9: 1 0 0 0

Este código indica que sólo la celda1 está completamente iluminada ; por lo tanto, el panel debe moverse a la izquierda, hasta que la celda2 esté completamente iluminada y por lo tanto obtener el código 1 1 0 0.

Código 10: 1 0 0 1

Como el código 7, éste no puede darse, pues sólo las celdas denominadas: celda1 y celda4, están completamente iluminadas, por lo que se debe que reportar un mensaje de error .

Código 11: 1 0 1 0

Este código indica que las celdas denominadas: celda1 y celda3, están completamente iluminadas; por lo que el movimiento del panel debe ser a la izquierda, hasta que todas las celdas estén completamente iluminadas (código 1 1 1 1), o hasta obtener cualquiera de los siguientes códigos: 1 1 1 0 ó 1 0 1 1.

Código 12: 1 0 1 1

Este código indica que las celdas denominadas: celda1, celda3 y celda4 están completamente iluminadas, por lo que el panel debe moverse a la izquierda y hacia abajo, hasta que la celda restante esté completamente iluminada y así obtener el código 1 1 1 1.

Código 13: 1 1 0 0

Este código establece que las celdas denominadas: celda1 y celda2, están completamente iluminadas ; por lo tanto, el movimiento del panel debe hacia arriba, hasta que todas las celdas estén completamente iluminadas (código 1 1 1 1), o hasta obtener cualquiera de los siguientes códigos: 1 1 1 0 ó 1 1 0 1.

Código 14: 1 1 0 1

Este código indica que las celdas denominadas: celda1, celda2 y celda4 están completamente iluminadas ; por lo tanto, el panel debe moverse a la derecha y hacia arriba, hasta que la celda restante esté completamente iluminada y así obtener el código 1 1 1 1.

Código 15: 1 1 1 0

En este código las celdas denominadas: celda1, celda2 y celda3 están completamente iluminadas, por lo que el panel debe moverse a la izquierda y hacia arriba, hasta que la celda restante esté completamente iluminada y así obtener el código 1 1 1 1.

Código 16: 1 1 1 1

Este código indica que todas las celdas están completamente iluminadas, es decir el panel se encuentra orientado directamente hacia la fuente luminosa incidente ; por lo tanto el panel no debe moverse, hasta que se genere otro código.

Los términos mencionados como: mover abajo, arriba, a la izquierda y a la derecha, en la descripción de los códigos de iluminación y también indicados en figura 5.13, tienen el siguiente significado:

Abajo: el panel tiene que moverse alrededor del eje X , en el sentido horario.

Arriba: el panel tiene que moverse alrededor del eje X , en el sentido antihorario.

Izquierda: el panel tiene que moverse alrededor del eje Y , en el sentido horario.

Derecha: el panel tiene que moverse alrededor del eje Y , en el sentido antihorario.

Asimismo el término “completamente iluminada”, significa que la superficie de la celda está iluminada un área mayor o igual al 75% de su superficie total. Este parámetro se definió así, por las pruebas realizadas en las celdas y que se indican el siguiente capítulo.

De acuerdo a estos códigos de iluminación, se desarrolló la rutina de control automático del panel. Hay que recordar que el panel puede girar en el eje X desde la posición inicial hasta un ángulo total cercano a 180 grados y en el eje Y hasta un ángulo total aproximado de 360 grados desde su posición inicial ; razón por la cual, se establecen mensajes en el “cuadro de control automático “ que indican que el panel está a punto de llegar a la posición inicial o final ; a parte del “cuadro visual de posición” , en donde se indica la posición actual del mismo expresada en grados.

El “cuadro de control ” se activa, al elegir el modo de operación automático del panel, utilizando ya sea la barra de menú o el botón de acceso rápido. Se da inicio al seguimiento automático de la fuente luminosa, a través de un botón de comando, disponible en el cuadro de control.

Este botón, activa un temporizador denominado TimerAuto que lee los valores de voltajes generados por las celdas, realiza las comparaciones para obtener los códigos de iluminación

y envía a girar lo motores Mx y My para que el panel se ubique directamente a la fuente luminosa ; este proceso lo realiza cada 70 milisegundos.

Adicionalmente al trabajar en este modo de operación, se activa la opción (botón 6, de la figura 5.9) de “guardar archivo” de datos, conteniendo la información de los movimientos que realiza el panel (en modo automático), para utilizarlo en el modo de operación programado. Para diseñar esta opción de guardar archivo de datos, se utilizó un archivo de acceso aleatorio, en donde el contenido del mismo, se puede leer y escribir en el orden que se necesite. Los datos en estos archivos se almacenan en registros y se ha definido como 20 (por tratarse de un prototipo) el número máximo de datos a guardar y cada dato lo guarda con un intervalo de 1 segundo, a través de un temporizador denominado TimerGenerar.

Para salir de este modo de control del panel, el cuadro de control dispone de un botón de comando definido para el efecto En la figura 5.14 se muestra el cuadro de control automático del panel.

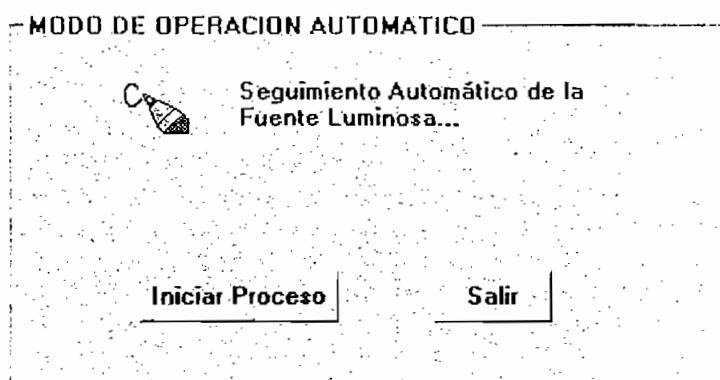


Fig.5.14 Cuadro de control automático del panel

5.6.2 RUTINA DE CONTROL MANUAL DEL PANEL

En esta rutina se desarrolló un “cuadro de control” manual , en donde están los botones de comando, diseñados para mover el panel hacia “ arriba, abajo, a la derecha, a la izquierda”, dependiendo de las necesidades del usuario .Cada vez que se hace un “click” en estos botones de comando, el panel gira un ángulo de 9 grados.

De igual manera en este modo de control, se activa la opción de guardar en un archivo los datos de movimientos que realiza el panel, para utilizarlo en el modo de operación programado.

También para salir de este modo de operación, el cuadro de control dispone de un botón de comando. Asimismo, se han diseñado mensajes que indican al usuario que el panel está a punto de llegar a la posición inicial o final, en cualquiera de los ejes de movimiento del mismo. En la figura 5.15 se muestra el cuadro de control manual del panel.

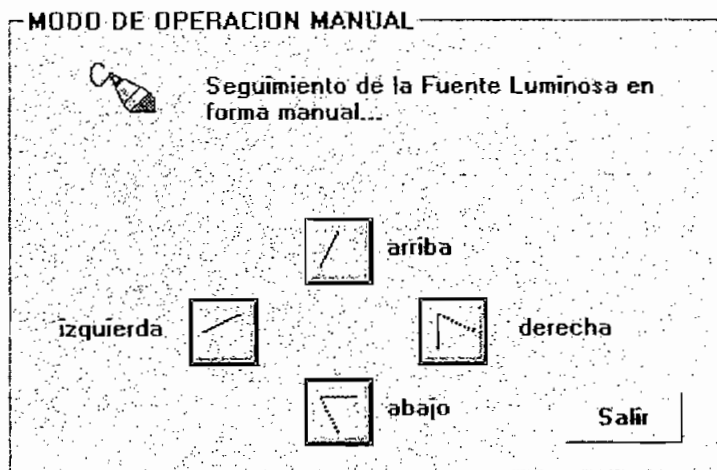


Fig.5.15 Cuadro de control manual del panel

5.6.3 RUTINA DE CONTROL PROGRAMADO DEL PANEL

Después de elegir esta opción de control del panel, “aparece” un mensaje de precaución que indica, que se debe disponer de un archivo que contenga los datos de movimientos del panel. Este mensaje de precaución se muestra en la figura 5.16.

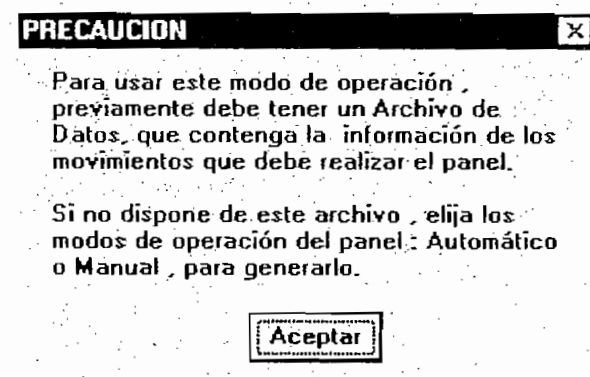


Fig.5.16 Mensaje de precaución para el modo programado

Después de “aceptar” este mensaje, se activa el cuadro de control respectivo, en donde aparece un mensaje que indica que se seleccione un archivo de datos.

Después de hacer un click en la opción de “abrir archivo”(botón 7, de la figura 5.9) y seleccionar uno, se activa un temporizador denominado TimerLectura, que ubica el panel en la posición inicial.; posteriormente, lee cada segundo los datos de los registros del archivo seleccionado, los “interpreta” y envía a mover el panel de acuerdo a este resultado.

También en el cuadro de control programado, se activan mensajes que indican el inicio y fin del proceso ; asimismo existe un botón de comando que permite salir de este modo de operación.

En la figura 5.17 se indica el cuadro de control programado del panel.

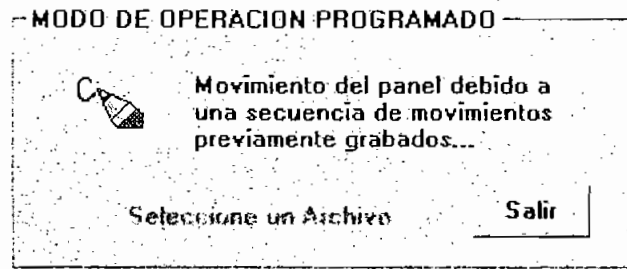


Fig.5.17 Cuadro de control programado del panel

La secuencia de selección de los parámetros de control del panel, es el siguiente:

Después de aceptar el mensaje de inicialización del panel, primero se debe seleccionar un tipo de fuente luminosa, caso contrario aparecerá el mensaje que se indica en la figura 5.18.

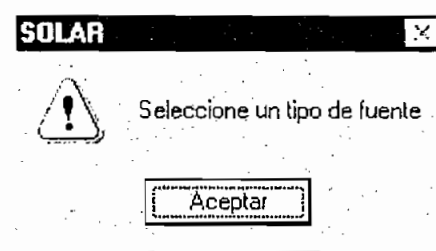


Fig.5.18 Mensaje de precaución de fuentes luminosas

También hay que aclarar que si el panel esta trabajando en un modo de operación específico y se desea seleccionar otro, primero se debe salir del modo de operación actual, utilizando el botón de comando respectivo y después seleccionar otro; en caso contrario, no se tendrá acceso a los otros modos de operación.

Finalmente, si una de las celdas del panel falla por cualquier causa, se activa un mensaje que indica que una o más celdas están en falla. En la figura 5.19 se muestra este mensaje.

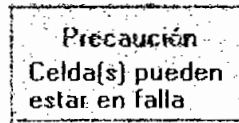


Fig.5.19 Mensaje de falla de celdas.

CAPITULO VI : PRUEBAS Y RESULTADOS

6.1 PRUEBAS Y RESULTADOS

6.1.1 PRUEBAS DE LAS CELDAS SOLARES

En primera instancia, se realizaron las mediciones del voltaje que generan cada una de estas celdas solares, cuando trabajan en vacío (sin carga) y son incididas en su superficie por dos fuentes luminosas: natural y artificial. Estas mediciones se realizaron con un multímetro marca YU FUNG, modelo YF-3110.

Las mediciones, cuando las celdas son incididas por la luz del sol (fuente natural), se realizaron a mediodía y en un día claro, con intervalos de 5 minutos, con el fin de determinar las variaciones de voltaje que se dan en las celdas, cuando ocurre un cambio en los niveles de la intensidad luminosa del sol. En la tabla 6.1 se indican los valores de las mediciones realizadas en estas celdas (ver figura 5.13, Cap. V , que indica la posición de las celdas en el panel).

Como se puede observar en esta tabla, el máximo valor de voltaje generado por cada una de las celdas, es superior al indicado en la referencia técnica (0.55 [V] en vacío) ; lo cual es lógico, ya que las condiciones en las que se realizaron estas pruebas no son las mismas a las indicadas en esta referencia, por ejemplo la temperatura ambiental. Adicionalmente en esta tabla, celda aux1 y celda aux2 representan a las celdas auxiliares colocadas en la parte fija del equipo con el fin de medir la luz o intensidad ambiental ; los valores de voltajes generados por éstas, son más bajos comparados con los valores de las celdas del panel, debido a que no son incididas directamente por la luz del sol.

Hora	Voltaje generado [V]					
	celda1	celda2	celda3	celda4	celda axu1	celda aux2
12:00	0.589	0.58	0.585	0.5585	0.45	0.452
12:05	0.6	0.6	0.59	0.605	0.5	0.5
12:10	0.601	0.6	0.605	0.608	0.52	0.55
12:15	0.595	0.61	0.605	0.61	0.55	0.55
12:20	0.617	0.615	0.61	0.611	0.56	0.552
12:25	0.624	0.62	0.621	0.621	0.57	0.575
12:30	0.627	0.625	0.625	0.627	0.57	0.57
12:35	0.628	0.626	0.625	0.626	0.575	0.572
12:40	0.592	0.59	0.595	0.595	0.565	0.56
12:45	0.58	0.585	0.582	0.585	0.55	0.55
12:50	0.55	0.56	0.57	0.55	0.51	0.52
12:55	0.604	0.6	0.601	0.605	0.52	0.525
13:00	0.61	0.6105	0.605	0.61	0.525	0.525

Tabla 6.1 Voltajes generados por las celdas (en vacío), debido a una fuente luminosa natural

Para realizar las pruebas con una fuente luminosa artificial, se utilizó una lámpara incandescente de 100 vatios. Esta lámpara se colocó en una posición perpendicular a las celdas solares, para que la intensidad luminosa de ésta incida directamente sobre las celdas. En la tabla 6.2 se indican los valores de voltajes obtenidos, para diferentes distancias entre lámpara y celdas solares.

En esta tabla se puede observar, que los valores de voltajes generados por las celdas aumentan, conforme la fuente luminosa se aproxima a las celdas. Cuando la distancia es 50 cm., se genera un valor máximo de 0.350 [V] y cuando la distancia es 150 cm., el voltaje generado es 0.103 [V].

Al realizar estas mediciones, se pudo comprobar que las celdas solares sufren un ligero calentamiento, cuando la distancia entre lámpara y celdas, es de 50 cm. aproximadamente.

Distancia [cm]	Voltaje generado [V]					
	celda1	celda2	celda3	celda4	celda axu1	celda aux2
50	0.351	0.350	0.351	0.351	0.120	0.120
60	0.329	0.328	0.329	0.328	0.125	0.120
70	0.312	0.312	0.311	0.311	0.115	0.115
80	0.292	0.292	0.292	0.291	0.110	0.110
90	0.274	0.273	0.274	0.274	0.105	0.10
100	0.255	0.255	0.256	0.256	0.100	0.100
110	0.246	0.245	0.244	0.246	0.090	0.090
120	0.234	0.234	0.233	0.233	0.085	0.090
130	0.223	0.222	0.222	0.222	0.070	0.080
140	0.112	0.113	0.112	0.112	0.065	0.060
150	0.103	0.102	0.102	0.102	0.060	0.060

Tabla 6.2 Voltajes generados por las celdas (sin carga), debido a una fuente luminosa artificial

Cuando se coloca una resistencia R de 165 [ohmios] en serie con cada celda solar, con el fin de limitar la corriente que éstas entregan y además una resistencia R de 330 [ohmios] como carga (ver figura 4.3, Cap. IV) , los resultados obtenidos se indican a continuación:

- Para fuente luminosa natural (sol) los voltajes generados por las celdas, se indican en la tabla 6.3, éstos fueron medidos bajo las condiciones indicadas en las pruebas sin carga.
- Para fuente luminosa artificial , bajo los mismos parámetros de lámpara incandescente y distancias lámpara - celdas, que en el caso anterior (celdas sin carga), los valores obtenidos se indican en la tabla 6.4.

Hora	Voltaje generado [V]					
	celda1	celda2	celda3	celda4	celda axu1	celda aux2
12:00	0.369	0.368	0.370	0.368	0.259	0.258
12:05	0.370	0.369	0.369	0.370	0.252	0.252
12:10	0.368	0.368	0.368	0.368	0.248	0.247
12:15	0.364	0.365	0.365	0.366	0.237	0.237
12:20	0.362	0.362	0.362	0.3615	0.233	0.234
12:25	0.356	0.356	0.357	0.356	0.230	0.229
12:30	0.360	0.360	0.361	0.361	0.228	0.228
12:35	0.357	0.357	0.356	0.356	0.226	0.225
12:40	0.359	0.360	0.360	0.360	0.225	0.225
12:45	0.361	0.361	0.360	0.361	0.224	0.224
12:50	0.360	0.360	0.359	0.360	0.224	0.224
12:55	0.364	0.365	0.365	0.365	0.223	0.223
13:00	0.360	0.360	0.360	0.361	0.221	0.222

Tabla 6.3 Voltajes generados por las celdas (con carga) , debido a una fuente luminosa natural

Distancia [cm]	Voltaje generado [V]					
	celda1	celda2	celda3	celda4	celda axu1	celda aux2
50	0.217	0.217	0.216	0.217	0.015	0.014
60	0.199	0.199	0.198	0.199	0.011	0.010
70	0.180	0.180	0.181	0.180	0.010	0.008
80	0.158	0.158	0.157	0.158	0.0085	0.006
90	0.146	0.146	0.146	0.145	0.007	0.006
100	0.128	0.126	0.128	0.128	0.006	0.005
110	0.113	0.112	0.112	0.112	0.005	0.004
120	0.101	0.101	0.100	0.100	0.004	0.004
130	0.092	0.092	0.092	0.092	0.0029	0.003
140	0.080	0.081	0.080	0.080	0.002	0.002
150	0.069	0.069	0.069	0.069	0.0015	0.0011

Tabla 6.4 Voltajes generados por las celdas (con carga) , debido a una fuente luminosa artificial

Según los resultados de la tabla 6.4 ; cuando la distancia entre lámpara incandescente y celdas solares del panel, es aproximadamente 1 metro, en las celdas se genera un voltaje adecuado, que permiten establecer fácilmente las operaciones de comparación entre voltajes de la celdas y el valor de referencia (V_{REF}), de tal modo que el panel siga automáticamente a esta fuente luminosa artificial. En cambio, cuando la distancia lámpara - celdas, es de 150 cm. aproximadamente, los valores que se generan en las celdas son muy pequeños, para este tipo de fuente artificial. Para incrementar el voltaje que se genera en las celdas, cuando la lámpara está a 150 cm. de las mismas, hay que aumentar la potencia de la lámpara incandescente.

Finalmente, se realizó un estudio del voltaje generado en una de las celdas que forman el panel, para las distintas relaciones de luz /sombra que se producen en la superficie de la celda, al interactuar la fuente luminosa y el obturador colocado en el panel (ver figura 5.13, Cap. V).

En la tabla 6.5, se indican los valores de voltajes generados por la celda, cuando está iluminada totalmente, la mitad, la cuarta y la octava parte de su superficie.

% superficie iluminada	Voltaje generado [V]
100%	0.130
50%	0.062
25%	0.031
12.50%	0.018

Tabla 6.5 Valores de voltaje para distintas relaciones de luz/sombra

De análisis de estos valores, se define que la celda esta “completamente iluminada”, si la misma lo está en un 75% de su superficie o más.

6.1.2 PRUEBA DE LOS MOTORES PASO A PASO

Previo a comprobar el funcionamiento de estos motores, se realizó una medición de la corriente por bobina que consumen cada uno éstos, cuando están en estado de reposo, pero energizados.

Para realizar estas mediciones se utilizó el multímetro anteriormente mencionado y se alimentó independientemente a cada bobina de los motores , con una fuente de 12 V_{DC}. Los valores de corriente, que se obtuvieron son:

Motor M_x, ubicado en la parte móvil del equipo:

$$I_{OD} = 110 \text{ [mA]}$$

Motor M_y, ubicado en la parte fija del equipo:

$$I_{OD} = 172 \text{ [mA]}$$

Donde:

I_{OD} = Corriente de circulación por las bobinas.

Esto permite comprobar que los controladores de estos motores (MC3479), están trabajando dentro de un margen adecuado, ya que el valor máximo de corriente que entregan éstos, es de 350 [mA /bobina].

Para verificar independientemente el funcionamiento de cada uno de los motores, ya que éstos fueron obtenidos de equipos electrónicos en desuso, se implementó un pequeño circuito en base al controlador MC3479, con el software respectivo y se pudo comprobar que funcionan adecuadamente y giran un ángulo de 7.5 grados por paso, o sea 48 pasos por revolución.

Otra manera de conocer este parámetro (ángulo de paso), es contar el número de dientes que tiene el estator; para ello se desarmaron los mismos y se pudo comprobar que éstos tienen 48 dientes en sus respectivos estatores ; por lo tanto, aplicando la siguiente relación:

$$\text{ángulo de paso} = 360 / n$$

donde :

n = número de dientes del estator

se concluye que cada motor gira un ángulo de 7.5 grados/paso.

Una vez montado completamente el equipo de rastreo solar, se realizaron las pruebas respectivas para comprobar su buen funcionamiento, tanto de la parte mecánica y como del circuito de control (hardware y software). A continuación se detallan las pruebas realizadas.

6.1.3 PRUEBAS DEL SISTEMA MECANICO

Como se mencionó en capítulos anteriores, se diseñaron y construyeron dos grupos de engranajes de reducción, con el fin de disminuir el ángulo mínimo de giro del panel, tanto en el eje Y como en el eje X (ver figuras 3.1, 3.11 y 3.12 del Cap. III).

Al acoplar este grupo de engranajes a los ejes de cada uno de los motores, el ángulo mínimo de giro del panel, debe disminuir de 7.5 (ángulo de paso de los motores) a 1.8 grados. Por lo tanto, el número de grados, pasos y revoluciones totales, que tienen que girar cada motor para que el panel gire “180 y 360” grados en cada uno de sus ejes de rotación, en pasos de 1.8 grados, son:

Para el caso del motor My, ubicado en la parte fija del equipo

Datos:

ángulo total de giro del panel en el eje Y = 360 [grados]

relación: $7,5 / 1,8 = 4,1667$

ángulo de paso del motor = 7,5 [grados / paso]

pasos por revolución del motor = 48 [pasos / revolución]

Entonces, realizando los cálculos correspondientes, se obtiene :

número de grados totales: $360 \cdot 4,1667 = 1500$ [grados]

número de pasos totales: $1500 / 7,5 = 200$ [pasos]

número de revoluciones totales: $200 / 48 = 4,1667$ [revoluciones]

Para comprobar el funcionamiento de estos mecanismos de reducción, se realizaron los cambios necesarios al software del equipo rastreador

En estas condiciones, enviando las respectivas señales de control al motor My, se pudo comprobar que éste gira 200 pasos, de 7.5 grados / paso, para que el panel de una vuelta

completa en el eje Y ; por lo tanto, de los cálculos anteriores se concluye que este motor My gira 4.1667 revoluciones y además que el panel gira ángulos mínimos de 1.8 grados por paso.

Igual procedimiento se utilizó para comprobar el ángulo mínimo de giro del panel en el eje X, así como también el número de pasos y vueltas que da el motor Mx.

Una vez comprobado que el panel gira en cualquiera de los ejes de rotación en ángulos de 1.8 grados por paso, se definió que éste girará (por cuestiones de construcción del equipo rastreador), en el eje X un ángulo total de 153 grados y en el eje Y un ángulo total de 351 grados, desde la posición inicial. Hay que recordar que en capítulos anteriores, se estableció que el panel debe girar un ángulo máximo total, cercano a 180 grados en el eje X y a 360 grados en el eje Y.

En la tabla 6.6 se realiza un resumen de los ángulos totales de giro del panel y de los motores.

Angulo de giro [grados]			
Motor My	Panel en eje Y	Motor Mx	Panel en Eje X
1462.5	351	637.5	153

Tabla 6.6 Resumen de los ángulos totales de giro de panel y motores

6.1.4 PRUEBAS DEL SISTEMA COMPLETO

A fin de comprobar el correcto funcionamiento del prototipo, las pruebas del sistema completo, se realizan por etapas. Las etapas de comprobación se las ha dividido en:

- Prueba de ubicación del panel en posición inicial.
- Pruebas en modo de operación automático.
- Pruebas en modo de operación manual.
- Pruebas en modo de operación programado.

- Prueba de ubicación del panel en posición inicial

Esta prueba consiste en comprobar la correcta ubicación del panel en la posición inicial, desde cualquier posición que se encuentre al momento de encender el equipo y además conocer la velocidad aproximada de ubicación del mismo.

Para conocer la velocidad de ubicación del panel, se utilizó el siguiente procedimiento:

Antes de encender el equipo, se ubicó el panel en los límites máximos de giro ; esto es a 153 grados en el eje X y a 351 grados en el eje Y, de la posición inicial. Al correr la rutina respectiva, se encontró que el tiempo de ubicación del panel en el eje Y, es de aproximadamente 14 segundos, mientras que el de ubicación en el eje X, es aproximadamente 6.5 segundos. Para obtener la velocidad de giro del panel, para ubicarse en la posición inicial, se utiliza la siguiente ecuación :

$$\text{velocidad [grados / segundo]} = \text{ángulo recorrido / tiempo transcurrido}$$

Por lo tanto:

$$\text{Para el eje Y: velocidad} = 351 / 14 = 25 \text{ [grados / segundo]}$$

Para el eje X: $\text{velocidad} = 153 / 6.5 = 23.5$ [grados / segundo]

En realidad la velocidad de movimiento del panel en ambos ejes debería ser la misma, la diferencia de valores, se debe al error que se comete al tomar las lecturas del tiempo.

De igual manera, las velocidades de los motores son :

Motor My: $\text{velocidad} = 1462.5 / 14 = 104$ [grados / segundo]

Motor Mx: $\text{velocidad} = 637.5 / 6.5 = 98$ [grados / segundo]

Para los valores de ángulos girados por los motores, referirse a la tabla 6.5

- **Pruebas en modo de operación automático**

Cuando se elige este modo de operación, el panel sigue automáticamente la fuente luminosa seleccionada, en ángulos mínimos de 1.8 grados / paso. El seguimiento lo realiza forma lenta, lo cual no constituye ningún problema, cuando se trata de una fuente luminosa natural como es el sol. Cuando la fuente luminosa es artificial y ésta se mueve muy rápidamente, el panel no lo avanza a seguir.

Para incrementar la velocidad con la que el panel sigue la fuente luminosa, se modificó el ángulo mínimo de giro del panel ; de tal modo, que se mueva en forma continua y no en pasos de 1.8 grados, para iluminar el 25% o más de sombra que se tiene en la superficie de la celda (o celdas).

Bajo estas nuevas condiciones de iluminación, el panel sigue automáticamente la fuente luminosa a una velocidad aceptable, con un ángulo mínimo de giro de 10.8 grados por paso en el eje Y y 9 grados por paso en el eje X.

Finalmente, se realizan pruebas con este modo de operación ; en primer lugar, con la fuente natural como es el sol , esta prueba se realizó a mediodía. En la figura 6.1 se muestra el gráfico del voltaje generado por las celdas.

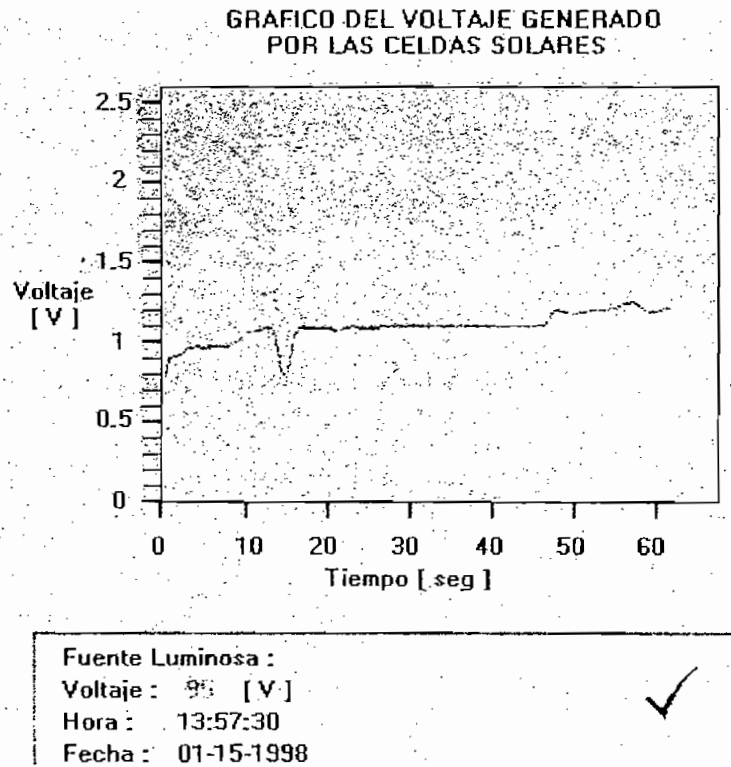


Fig.6.1 Prueba del sistema en modo de operación automático, con fuente natural

Los resultados de esta prueba se muestran en la figura anterior, en donde el voltaje que se generan en las celdas no es constante, debido a las variaciones de la intensidad luminosa del sol y a otros aspectos como: nubes, polvo, smog, etc. En la parte inferior del gráfico del voltaje, aparece el tipo de fuente incidente, el valor instantáneo del voltaje y la hora y fecha a la que se realizan estas mediciones.

En esta prueba se pudo observar, que el panel cambia de posición cada hora con 35 minutos, aproximadamente, por lo que se colocó en cada una de las celdas, pequeñas “cajas metálicas” pintadas de negro, con el fin de limitar el campo de incidencia del sol. Con esto, se observó que el panel cambia de posición cada hora con 5 minutos aproximadamente.

En la figura 6.2, se indica el mismo gráfico del voltaje generado, pero con una fuente luminosa artificial, en este caso la lámpara incandescente de 100 vatios anteriormente mencionada.

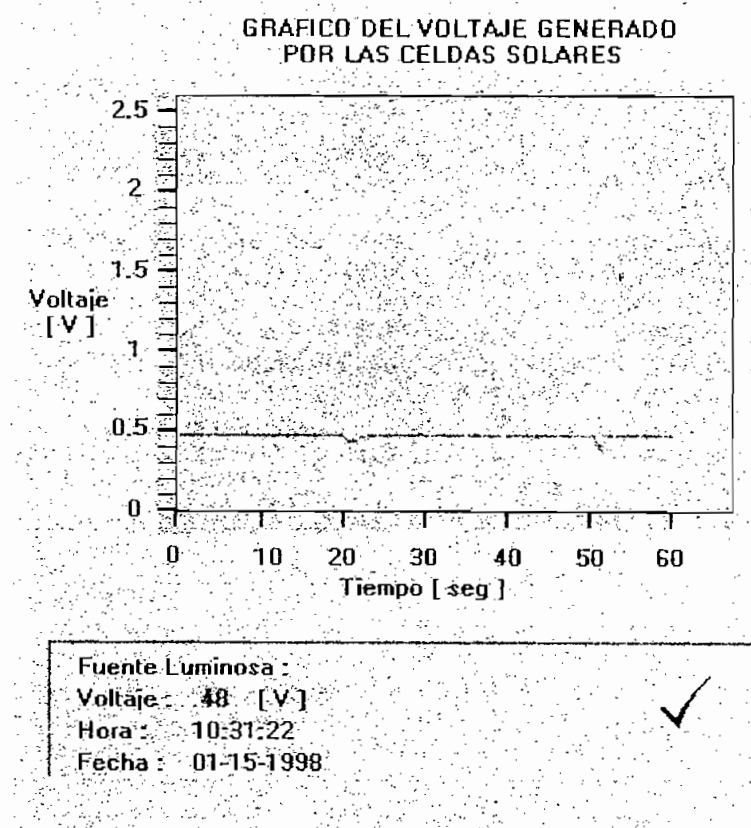


Fig.6.2 Prueba del sistema en modo de operación automático, con fuente artificial

De igual manera los resultados de esta prueba se observan en la figura anterior, en donde el voltaje que se genera en las celdas no es constante, debido a las variaciones de la intensidad

luminosa de la lámpara ; asimismo, en la parte inferior del gráfico se indican el tipo de fuente incidente, el valor instantáneo del voltaje generado, hora y fecha a la que se realizan estas mediciones.

- Pruebas en modo de operación manual

Cuando se elige la opción de operación manual del panel, se dispone de un “cuadro de control”, en donde utilizando el ratón del computador, se envía a girar el panel en cualquiera de los ejes rotación, como se explicó anteriormente. Cada vez que se hace un “click” en los botones de comando respectivos, el panel gira 9 grados. De acuerdo a esto, se comprobó que el panel gira alrededor del eje X, desde la posición inicial hasta el ángulo máximo de giro (153 grados), realizando 17 “clicks” en el botón de comando respectivo ; de igual manera se comprobó que, para que el panel se mueva alrededor del eje Y, se deben hacer 39 “clicks”.

- Pruebas en modo de operación programado

Una vez que se tiene el archivo de datos, que se generó en el modo de operación automático (en este caso), se elige esta opción y se sigue las ayudas indicadas para el efecto. Para verificar que se lee los 20 registros de datos del archivo, se implementó un pequeño programa, que indica el número de registro que lee y se comprobó que efectivamente se leen 20 registros. De igual manera, para verificar que el panel realiza los mismos movimientos hechos en el modo automático, se realizó un “seguimiento visual“ los movimientos que realiza el panel, tanto en modo automático como en el programado y se comprobó, que las trayectorias ejecutadas por el panel en los dos modos son iguales.

6.2 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.2.1 CONCLUSIONES

Una vez realizado este proyecto y de acuerdo a los resultados obtenidos, se puede concluir lo siguiente:

Con respecto al prototipo en general:

- El presente trabajo muestra todos los aspectos relacionados al diseño y construcción de un prototipo de rastreador solar, cuyos objetivos planteados al inicio de este proyecto fueron cumplidos sin inconvenientes.

El programa desarrollado para el control del prototipo, también cumple con los objetivos planteados ; como el principal, de realizar el seguimiento de una fuente luminosa de tal manera que ubique al panel en una posición perpendicular a esta fuente incidente, para aprovechar la mayor cantidad de energía luminosa disponible, como así lo demuestran las pruebas realizadas.

El utilizar el puerto paralelo del computador para realizar acciones de monitoreo y control de la intensidad luminosa de la fuente incidente, utilizando el lenguaje de programación Visual Basic, permitió comprobar las ventajas y facilidades de programación que presenta este lenguaje.

La sensibilidad de la medición del voltaje que generan las celdas solares, que sirven para localizar y seguir la fuente luminosa incidente, no es un factor crítico ; por lo tanto, el

conversor ADC0809 de la tarjeta de adquisición de datos es el adecuado y no fue necesario mejorar el mismo.

- Con respecto a los elementos del prototipo:

En lo que se refiere al costo de la tarjeta de adquisición de datos, éste tiene un valor aproximado de \$ 200.000, que comparada con el costo de las tarjetas comerciales de este tipo, representan un ahorro muy significativo de dinero.

Al utilizar los motores paso a paso, con un ángulo de paso pequeño, como elemento final de actuación, se obtiene como resultado posicionamientos del panel más exactos, en cualquiera de los ejes de movimiento y sin error acumulativo.

Los motores paso a paso utilizados tienen características diferentes, por lo que en la rutina de control de cada uno de estos motores, se han introducido retardos de pulsos diferentes, con el fin de que éstos respondan adecuadamente. Si este retardo es demasiado bajo, el motor no alcanza a responder y empieza a oscilar ; en cambio si es muy alto, se produce un calentamiento del motor, debido a que sus bobinas están energizadas innecesariamente.

Para realizar el control de estos motores, se utilizó el controlador de motores paso a paso MC 3479, lo que simplificó el diseño del circuito de control de éstos.

Para incrementar el torque requerido por el sistema mecánico del prototipo, se empleó un grupo de engranajes de reducción, con el cual se disminuyó el tamaño y consumo de corriente por bobina de los motores paso a paso.

De las pruebas realizadas, se detectó un error de posicionamiento del panel, el cual es aceptable para los objetivos planteados y no evitó que éstos se cumplan.

- Con respecto a la fuente luminosa incidente:

La intensidad luminosa de la luz del sol que llega a nuestro planeta, varía constantemente debido a factores externos como el smog, polvo, gases , etc. , como así lo demuestran las pruebas realizadas.

Constituye una opción muy importante, el modo de operación manual del panel, ya que permite ubicar a éste, en una posición perpendicular a los rayos del sol, después de haber ocurrido un ocultamiento del mismo, debido a la imposibilidad de rastreo automático de éste. Esta imposibilidad de rastreo, debido al ocultamiento de la fuente incidente, es una característica propia de todos los sistemas de seguimiento automático de una fuente luminosa.

Al trabajar con una fuente luminosa artificial, se pudo comprobar que el sistema tiene mayor sensibilidad ; es decir, el panel responde ante pequeños cambios de posición de la fuente luminosa incidente.

De las mediciones de voltajes realizadas en las celdas solares, para diferentes distancias entre fuente luminosa artificial y celdas, se comprueba la ley del cuadrado inverso de las ondas electromagnéticas ; es decir, se verifica que la intensidad es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de la onda a su fuente ; por ejemplo, si la distancia es 3 , la intensidad es el $1/9$ de la intensidad cuando la distancia es 1. En realidad los valores medidos no coinciden exactamente con los valores teóricos, debido al error que se comete al realizar la lectura y por que la ley asume que la fuente emite sus ondas uniformemente en todas direcciones, lo cual no es cierto.

6.2.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar el puerto paralelo de un computador, para realizar el monitoreo y control de variables físicas, utilizando un lenguaje de programación adecuado, ya que se puede manipular la información de tal forma, que permita tener un conocimiento exacto del comportamiento de la variable.

Se recomienda utilizar motores paso a paso, cuando se desea tener un posicionamiento exacto y confiable del cualquier mecanismo.

Cuando se necesite incrementar el torque de cualquier mecanismo, se recomienda implementar un grupo de engranajes de reducción, siempre y cuando la velocidad no sea un factor crítico en el sistema.

Finalmente, se debería tomar este trabajo, para realizar un estudio en los rayos solares que llegan a la superficie de la tierra, ya que éstos son influenciados por las nubes, el polvo, el smog, etc. y por el ángulo de incidencia del sol.

Por ejemplo, dentro del programa de control del prototipo, se podría modificar la rutina de graficación del voltajes, para obtener un gráfico del valores relativos ; dividiendo los voltajes parciales generados por las celdas en un intervalo de tiempo, para un valor de voltaje que se tome como referencia. En la figura 6.3 se muestra un gráfico del valor relativo del voltaje generado en una celda, en un intervalo de tiempo de 12 a 13 p.m. y con valores de voltajes tomados cada cinco minutos. Este gráfico se podría utilizar para realizar un estudio de la radiación solar y analizar los efectos que causan, por ejemplo la contaminación ambiental, en esta energía ; también se podría determinar en que áreas y a

que hora se tiene la máxima intensidad de la luz del sol y establecer un registro de estos valores. De este gráfico se puede concluir que la máxima intensidad luminosa del sol, se produjo alrededor de las 12:35 de la tarde.

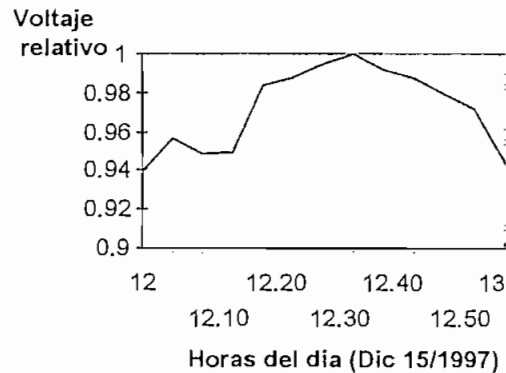


Fig.6.3 Valores relativos del voltaje generado en una celda solar

BIBLIOGRAFIA

REFERENCIAS :

- [1] 1eras. Jornadas de Energía Solar del Ecuador, Energía Solar Básica para el aprovechamiento de Sistemas Solares, Ing. Rodolfo Paz Mora, Espol, 1984, pag. 215
- [2] Harness the Power of de Sun, Proyectos de Energía Solar, pag. 5
- [3] The Solarex, Guide to Solar Electricity, 1era. Edición,1981, pag.40
- [4] Revista Siemens, Producción de células solares, Marzo, 1991, pag. 28
- [5] Robotic World, The International Magazine for manufacturers and users of industrial robots, July/August, 1983, pag. 26

- [6] Machine Design, Sttepper Motors, May, 1984, pag. 30
- [7] Philips, Sttepping Motors & Associated Electronics, January, 1984, pag. 22
- [8] Radio Shack, Silicon Solar Cell, Cat.No. 276-124A
- [9] Microcomputer Journal, How to use a Pc's Parallel Port for Monitoring and Control Purposes, May/June, 1994, pag. 14
- [10] Computercraft, Recycling Old Computers, January, 1993, pag. 20
- [11] Electrónica & Computadores, Cómo usar el puerto paralelo de un PC, pag 45

AYUDAS BIBLIOGRAFICAS :

- 1.- Microcomputer Journal, Use a Parallel Port to Make Voltage Measurements, March/April., 1994.
- 2.- Radio Shack, Engineer's Mini-Notebook, Environmental Projects, Cat No.62-5019, 1995.
- 3.- Radio Shack, Engineer's Mini-Notebook, Environmental Projects, Cat No. 276-5018A, 1995.
- 4.- IEE SSED, Journal on Solid- State and Electronic devices, Silicon terrestrial solar photovoltaic installations, June,1978.
- 5.- Cobarg C.C., Energía Solar : Bases y Aplicaciones, Editorial Paraninfo, Madrid, 1983.
- 6.- Linear Circuits, Data Adquisitions and conversion, Texas Instrument,1989.
- 7.- Hofacker Winfriend, Microcomputadores, Manuales,1992
- 8.- Motorola, Linear and interface integrated circuits, 2da. Edición, 1990
- 9.- Ceballos Sierra Javier, Visual Basic, Aplicaciones para Windows, Ed RA-MA,1992
- 10.- Ross Nelson, Guía completa de Visual Basic para Windows, 2da. Edición,1994
- 11.- Ochoa Ludwing, Diseño y construcción de un dispoositivo de rastreo solar con dos grados de libertad, EPN,1992

ANEXO A

ANEXO A. MANUAL DE USO DEL PROGRAMA

Para esta aplicación se utiliza el puerto paralelo de un computador y un programa desarrollado en Visual Basic V 3.0 para Windows, para controlar la información del equipo de rastreo solar.

En este caso se ha utilizado un computador 586/133 MHz, con un sistema Windows 95; pero podría utilizarse cualquier computador que tenga un puerto paralelo unidireccional y los recursos necesarios, de tal manera que permitan trabajar adecuadamente con esta aplicación.

El programa de control del prototipo tiene una extensión de 1.2 MB y está registrado en un archivo ejecutable denominado “ SOLAR.EXE”, el cual se encuentra en el drive C del computador, bajo el directorio “SOLAR”.

Por lo tanto, para “cargar” este programa, debe especificarse el nombre y la dirección correspondientes.

Este programa de control consta de tres ambientes de trabajo, definidos de la siguiente manera :

1. Pantalla de Presentación.
2. Pantalla Principal.
3. Cuadros de Control del panel.

1. PANTALLA DE PRESENTACION

En esta pantalla se indica el título del proyecto y los nombres de los autores del mismo, adicionalmente dispone de dos botones de comando, que permiten continuar o salir de la aplicación. En la figura A.1, se muestra esta pantalla.



Fig.A.1 Pantalla de Presentación

Después de elegir el botón de continuar con la aplicación, aparece la pantalla principal y sobre ésta, un mensaje de inicialización, que indica que para iniciar el proceso de seguimiento de la fuente luminosa, el panel debe ubicarse en una posición inicial.; en la figura A1.2, se muestra este mensaje. Una vez que el panel se ha ubicado en la posición inicial y se “acepta” este mensaje de inicialización, permanece sólo la pantalla principal.

2. PANTALLA PRINCIPAL

Esta pantalla esta desarrollada en base dos formularios: un formulario “MDI (Interface de Múltiples Documentos)” y otro denominado “frmauto”.

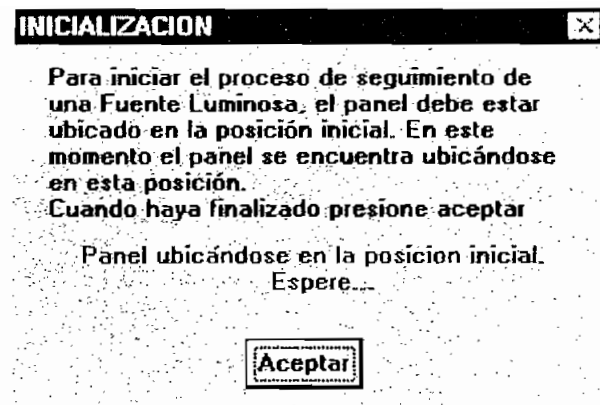


Fig.A.2 Mensaje de inicialización del panel

Los componentes de esta pantalla principal son:

- Una barra de menú y botones de acceso rápido, ubicada en la parte superior de la misma (bajo el título de la ventana o pantalla principal), para elegir las distintas opciones de control ; estas opciones se pueden seleccionar utilizando el teclado o el puntero del ratón del computador.
- Un cuadro de presentación del gráfico del voltaje generado por las celdas solares.
- Un cuadro de presentación de la posición actual del panel en los ejes X y Y , con respecto a la posición inicial .
- Un mensaje de ayuda en donde se indica que se seleccione los parámetros necesarios para el control del panel.

Finalmente, al navegar con el puntero del ratón sobre los botones de acceso rápido, se despliegan, tanto en la parte inferior de cada uno de éstos, como en la parte inferior de esta pantalla principal, “ayudas en línea” que indican la función que realizan.

A continuación, se explica cada uno de los componentes de la pantalla principal :

- Barra de menú y botones de acceso rápido

En la figura A.3 se muestra la barra de menú y botones de acceso rápido. Con respecto a los botones de acceso rápido, las tareas que ejecutan éstos, de acuerdo a la notación realizada, son:

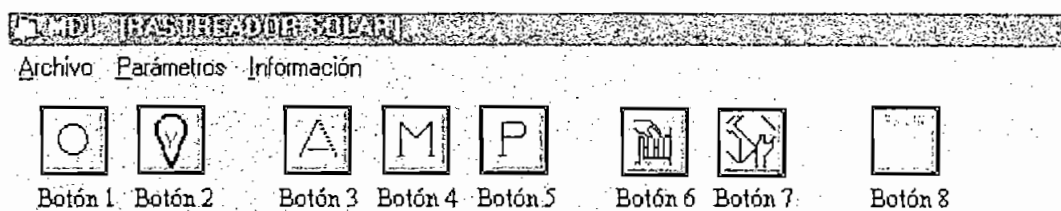


Fig. A.3 Barra de menú y botones de acceso rápido

Botón 1 :Al presionar este botón, se selecciona el tipo de fuente luminosa a seguir ; en este caso una fuente natural, como es el sol.

Botón 2 : Al hacer un “click” en este botón, se selecciona un tipo de fuente luminosa artificial.

Botón 3 : Este botón permite seleccionar el modo de operación automático del panel ; este caso, el panel sigue automáticamente la fuente luminosa seleccionada.

Botón 4 : Este botón permite seleccionar el modo de operación manual del panel ; por lo tanto, el usuario tiene que mover el panel, utilizando los botones de comandos diseñados para el efecto.

Botón 5 : Con este botón se selecciona el modo de operación programado del panel, para lo cual se debe disponer de un archivo, que contenga los datos de movimientos que debe realizar el panel.

Botón 6 : Este botón se activa, cuando el modo de operación del panel es automático o manual y permite guardar los datos de movimientos que realiza el mismo, para utilizarlo en el modo de operación programado. Al hacer un “click” en este botón aparece una ventana de diálogo, en donde se debe registrar el nombre del archivo con la extensión “.Mov”, en un directorio denominado “Datos” del drive C del computador. En general se puede guardar el archivo en cualquier directorio y drive.

Botón 7 : Este botón se activa, cuando se selecciona el modo de operación programado del panel y permite abrir un archivo de datos de movimientos que debe realizar el mismo. Al hacer un “click” en este botón aparece una ventana de diálogo, en donde se debe seleccionar el directorio denominado “Datos” del drive C del computador y registrar el nombre del archivo que se desea abrir. Si se eligió otro directorio y drive al indicado anteriormente para guardar el archivo, hay que especificar la dirección correspondiente del archivo.

Botón 8 : Al hacer un “click” en este botón, se detiene el sistema y se abandona la aplicación.

En lo que se refiere a la barra de menú, en ésta se han definido elementos como: Archivo, Parámetros e Información. Al hacer un “click” en los elementos Archivo o Parámetros, aparecen menús desplegables que tienen opciones, que ejecutan las mismas funciones que los botones de acceso rápido.

Al seleccionar el elemento Información, se despliega un menú que contiene las opciones: Datos Técnicos y Acerca de... Al elegir la opción Datos Técnicos, se despliega un cuadro de información en donde se indican las características técnicas de las celdas solares y motores paso a paso, también se especifican las direcciones de los registros del puerto paralelo del computador utilizado.

Al elegir la opción Acerca de.. , se despliega un cuadro de información en el cual se indica el nombre asignado a este programa de control y los autores del mismo.

Hay que anotar que, después de “aceptar” el mensaje de inicialización del panel, se debe seleccionar primero un tipo de fuente luminosa y después el modo de operación del panel, para iniciar el proceso de seguimiento de la fuente ; en caso contrario, si se selecciona un modo de operación sin haber elegido el tipo de fuente, aparece en un mensaje de precaución que indica que primero se debe seleccionar el tipo de fuente luminosa.

Este mensaje se muestra en la figura A.4.

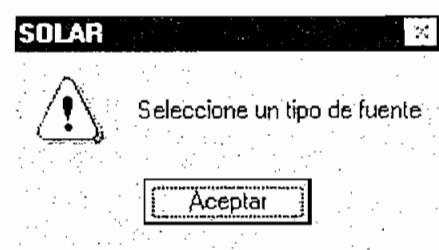


Fig.A.4 Mensaje de precaución

- Cuadro de presentación del gráfico del voltaje generado por las celdas solares

Este cuadro se encuentra a la izquierda de la pantalla principal, en éste se representa gráficamente el voltaje generado por las cuatro celdas solares que forman el panel, también se muestran el tipo de fuente luminosa incidente, el valor instantáneo del voltaje generado y además la hora y fecha que permiten determinar la hora a la cual se realizan las mediciones. En la figura A.5 , se muestra este gráfico.

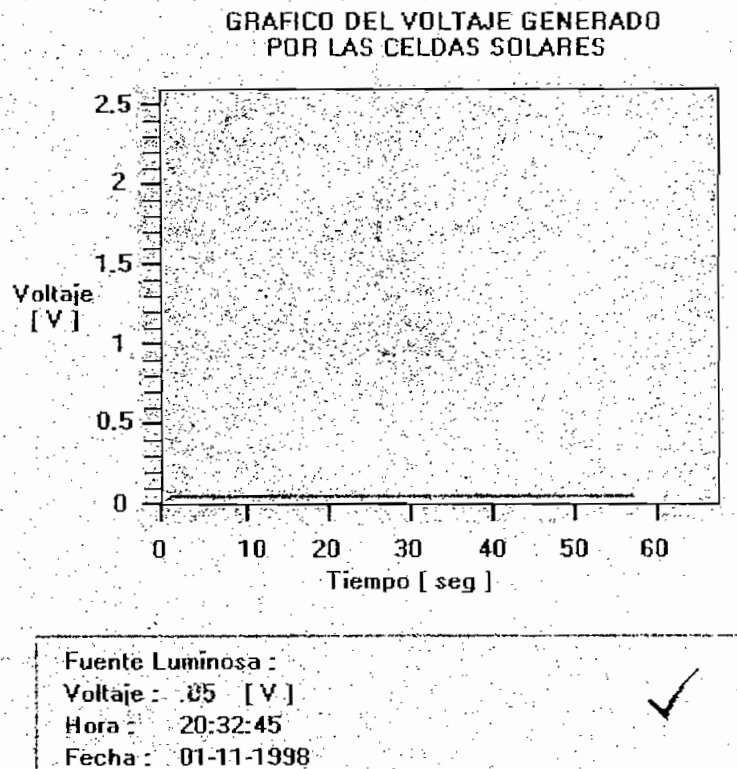


Fig.A.5 Gráfico del voltaje generado por las celdas solares

- Cuadro de posición del panel

Este cuadro se encuentra a la derecha de la pantalla principal, en éste se representa gráficamente la posición actual del panel en los ejes X y Y con respecto a la posición inicial, también se muestra el valor (en grados) de la posición actual del mismo. En la figura A.6 , se muestra este cuadro de posición del panel.

POSICION DEL PANEL

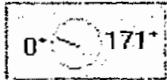
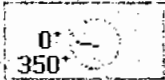
Posición Horizontal [x]	Posición Vertical [y]
Inicial : 0 [grados] Actual : 21.6 [grados]	Inicial : 0 [grados] Actual : 124 [grados]
	

Fig.A.6 Cuadro de posición del panel

- Mensaje de ayuda.

Este mensaje de ayuda se encuentra bajo el cuadro de posición del panel, en éste se indica que se seleccionen los parámetros deseados en la barra de menú o en los botones de acceso rápido para el control del panel. En la figura A.7 , se muestra este mensaje de ayuda.

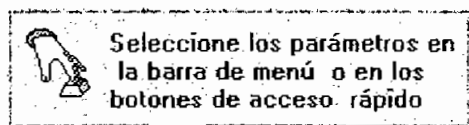


Fig.A.7 Mensaje de ayuda

3. Cuadros de control del panel

Los cuadros de control del panel se activan, cuando se selecciona un modo de operación del panel.

3.1 Cuadro de control automático del panel

Este cuadro de control, que se activa cuando se ha seleccionado el modo de operación automático del panel, dispone de dos botones de comando que permiten: el uno, iniciar el proceso de seguimiento automático de la fuente luminosa y el otro, salir de este modo de operación. Adicionalmente, cuando el panel está en una posición cercana a la inicial o final en cualquiera de sus ejes de movimiento, se activan mensajes de precaución, que informan de esta posición ; asimismo se activan mensajes que indican el inicio y fin de la acción de grabar posiciones del panel, cuando se ha seleccionado esta opción. En la figura A.8, se indica este cuadro de control.

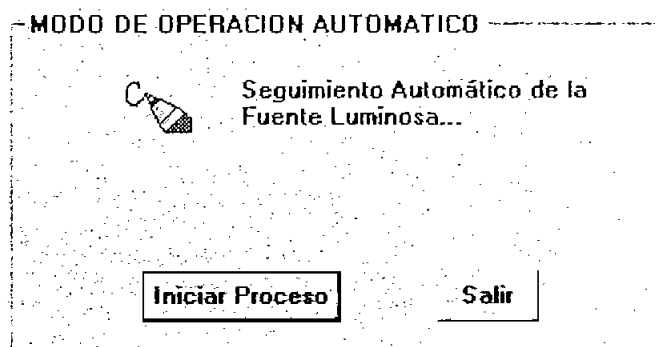


Fig.A.8 Cuadro de control automático del panel

3.1 Cuadro de control manual del panel

Este cuadro de control que se activa, cuando se ha seleccionado el modo de operación manual del panel, dispone de cuatro botones de comando que permiten mover el panel a la “izquierda”, a la “derecha”, “arriba” y “abajo”, indistintamente y otro que permite salir de este modo de operación. Además, cuando el panel está en una posición cercana a la inicial o final en cualquiera de sus ejes de movimiento, se activan mensajes de precaución, que informan de esta posición ; asimismo se activan mensajes que indican el inicio y fin de la acción de grabar posiciones del panel, cuando se ha seleccionado esta opción. En la figura A.9, se indica este cuadro de control.

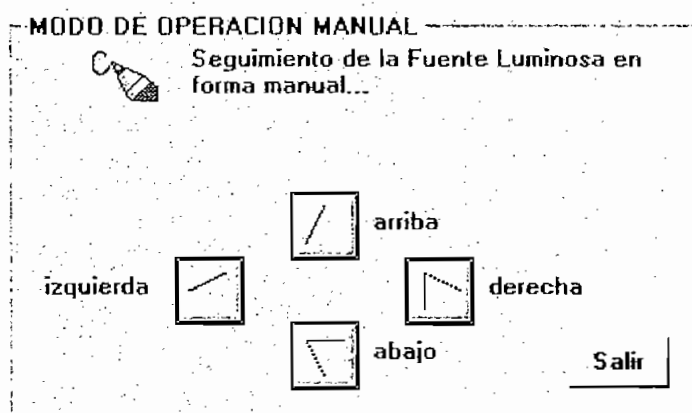


Fig.A.9 Cuadro de control manual del panel

3.1 Cuadro de control programado del panel

Este cuadro de control activa, cuando se ha seleccionado el modo de operación programado del panel y después de aceptar un mensaje de precaución, que indica que se

debe disponer de un archivo que contenga los datos de movimientos del panel. Este mensaje de precaución se indica en la figura A.10.

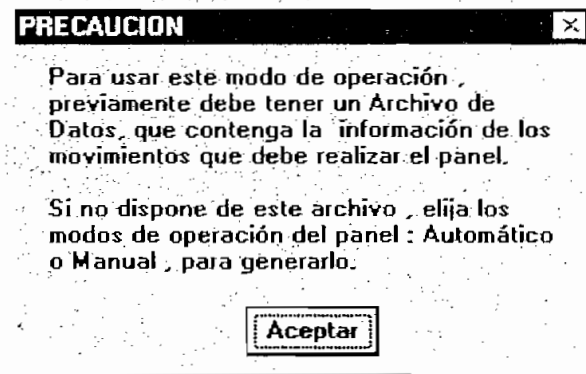


Fig.A.10 Mensaje de precaución para el modo programado

En el cuadro de control, se encuentra activo un mensaje, que indica que seleccione la opción de abrir archivo para iniciar este modo de operación ; asimismo se activan mensajes que indican el inicio y fin proceso. También este cuadro dispone de un botón de comando que permite salir de este modo de operación. En la figura A.11, se indica este cuadro de control.

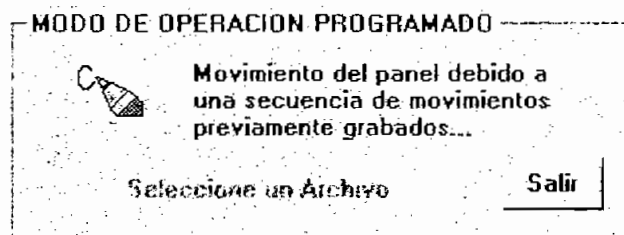


Fig.A.11 Cuadro de control programado del panel

Hay que aclarar que, si el panel esta trabajando en un modo de operación específico y se desea seleccionar otro ; primero, se debe finalizar el modo de operación actual utilizando el botón de comando respectivo y después seleccionar otro ; en caso contrario, no se tendrá acceso a los otros modos de operación.

Finalmente, si una de las celdas del panel llega a fallar por cualquier causa, se activa un mensaje que indica que una o más celdas están en condición de falla. En la figura A.12 se muestra este mensaje.

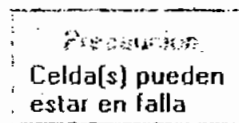


Fig.A.12 Mensaje de falla de celdas solares

ANEXO B

ANEXO B. LISTADO GENERAL DEL PROGRAMA

```

Declare Sub OutData Lib "c:\Solar\instruc.dll" (ByVal Addr%, ByVal Byte%)
Declare Function InData Lib "c:\Solar\instruc.dll" (ByVal Addr%) As Integer
'Registros del puerto
    Global portico As Integer
    Global estado As Integer
    Global control As Integer
'Variables para celdas
    Global prosolar1 As Currency 'Celda 1
    Global prosolar2 As Currency 'Celda 2
    Global prosolar3 As Currency 'Celda 3
    Global prosolar4 As Currency 'Celda 4
    Global prosolar5 As Currency 'celdas auxiliares
    Global voltaje As Currency 'voltaje total
    Global voltaje1 As Currency 'correccion voltaje total
'Valor de comparacion de voltajes
    Global Ref As Currency .
'Variables para Archivo de Datos
    Type BaseDatos
        Stepy As Currency'8 bytes
        stepx As Currency'8 bytes'total 8+8=16bytes
    End Type
    Global Const BASE_LONGITUD = 16'tamaño del registro=16 bytes
'Forma de Control activo
    Global Const AUTOMATICO = 1, MANUAL = 2
    Global Cambios As Integer
'Codigo errores para abrir/guardar datos (sub en Module1)
    Global Const OFN_FILEMUSTEXIST = &H1000&
    Global Const OFN_PATHMUSTEXIST = &H800&
    Global Const OFN_OVERWRITEPROMPT = &H2&
    Global Const CDERR_CANCEL = &H7FF3
Sub AbrirParaGuardar ()
'Generar nombre de archivo y guardar datos
    On Error GoTo RutinaDeError'posibles errores
    frmauto.AbrirGua.DialogTitle = "Guardar Archivo de Datos"
    frmauto.AbrirGua.FileName = ""
    frmauto.AbrirGua.CancelError = True
    If Err = CDERR_CANCEL Then Exit Sub
    frmauto.AbrirGua.DefaultExt = "Mov"
    frmauto.AbrirGua.Filter = "ArchivosMov(*.Mov)]*.Mov|Todos los archivos(*.*)[*.*"
    frmauto.AbrirGua.FilterIndex = 1
    frmauto.AbrirGua.Flags = OFN_OVERWRITEPROMPT Or OFN_PATHMUSTEXIST
    frmauto.AbrirGua.Action = 2
'abrir archivo de datos
    Open frmauto.AbrirGua.FileName For Random As #1 Len = BASE_LONGITUD
'habilitar mensajes en Frames de control
    Select Case Cambios
        Case AUTOMATICO
            frmauto.IblGrabAuto.Visible = True
        Case MANUAL
            frmauto.IblGrabMan.Visible = True
    End Select
'habilitar timer de guardar datos
    MDIForm1.TimerGenerar.Enabled = True
Salir:

```



```

Exit Sub
RutinaDeError:
  'MsgBox Error$, 48
  Resume Salir
End Sub

Sub AbrirParaLeer ()
'Abrir archivo y leer datos
  On Error GoTo CorregirError'posibles errores
  frmauto.AbrirLee.DialogTitle = "Abrir Archivo para leer Datos"
  frmauto.AbrirLee.Filter = "ArchivosMov(*.Mov)|*.Mov|Todos los archivos(*.*)|*.*"
  frmauto.AbrirLee.FileName = ""
  frmauto.AbrirLee.CancelError = True
  If Err = CDERR_CANCEL Then Exit Sub
  frmauto.AbrirLee.FilterIndex = 1
  frmauto.AbrirLee.Flags = OFN_FILEMUSTEXIST Or OFN_PATHMUSTEXIST
  frmauto.AbrirLee.Action = 1
'abrir archivo de datos
  Open frmauto.AbrirLee.FileName For Random As #1 Len = BASE_LONGITUD
'Deshabilitar mensaje en FrameProg
  frmauto.lblEscProg.Visible = False
'Ubicar panel en posicion inicial para empezar secuencia
'Mover panel a la derecha hasta posicion inicial:
  If contadory <> 0 Then
    IniyProg
  Else
    End If
'Mover panel abajo hasta posicion inicial:
  If contadorx <> 0 Then
    InixProg
  Else
    End If
'habilitar timer para lectura de datos desde archivo
  Beep: Beep
  frmauto.lblRecoProg.Visible = True
  MDIForm1.TimerLectura.Enabled = True
'correccion de errores
SalirLeer:
  Exit Sub
CorregirError:
  'If Err Then
  'MsgBox Error$, 48
  'Else
  'End If
  'ya estabacomo comentario""MsgBox "Error:No se puede abrir el archivo", 48
  ""Close
  Resume SalirLeer
'Close #1
  If frmauto.AbrirLee.FileName = "" Then
  MsgBox " No se ha seleccionado ningun archivo", 48
  End If
End Sub

Sub actualix ()
'Actualizar contadorx
  deltax = contnegx - contposx

```

```

    contadorx = contadorx + deltax
End Sub
Sub actualiy ()
'Actualizar contadory
    deltax = contposy - contnegy
    contadory = contadory + deltax
End Sub
Sub InixProg ()
    Girarx = contadorx
    Girarpulsosx = Girarx / 7.5
    Do Until pasos = Girarpulsosx
        pasosposx'enviar pulsos a Mx
        pasos = pasos + 1
        contposx = (contposx + 1) * 7.5
        actualix'actualizar contadorx
        contposx = 0
        Mostrarx'posicion de panel en cuadro visual
    Loop
End Sub
Sub IniyProg ()
    Girary = contadory
    Girarpulsosy = Girary / 7.5
    Do Until pasos = Girarpulsosy
        pasosnegy'enviar pulsos a My
        pasos = pasos + 1
        contnegy = (contnegy + 1) * 7.5
        actualiy'actualizar contadory
        contnegy = 0
        Mostrary'posicion inicial en cuadro visual
    Loop
End Sub
Sub Mostrarx ()
'Mostrar valor de contadorx
    Vueltasx = contadorx
    contascreenx = Vueltasx / (7.5 / 1.8)
    frmauto.ContaxPrin.Caption = contascreenx
    frmauto.CronoxPrin.Value = contascreenx / 3.6
End Sub
Sub Mostrary ()
'Mostrar valor de contador en pantalla:
    Vueltasy = contadory
    contascreeny = Vueltasy / (7.5 / 1.8)
    frmauto.ContayPrin.Caption = contascreeny
    frmauto.CronoyPrin.Value = contascreeny / 3.6
End Sub
Sub pasosnegx ()
'Movimiento de Mx
    x10 = &H0 Xor &H20
    OutData portico, x10'enviar Paso=1 (medio paso)
    x1 = x10 Xor &H10
    OutData portico, x1' enviar Dir=1 a cwwwx
'Pulsos que ingresaran al MC3479 de Mx:
    For i = 1 To 2
        x2 = x1 Xor &H8
        OutData portico, x2'enviar Dato=1 a clkx
        For j = 1 To 3000: Next j 'ancho de pulso en alto
    
```

```

    x3 = x2 Xor &H8
    OutData portico, x3'enviar Datox=0 a clkx
    For j = 1 To 3000: Next j 'ancho del pulso en bajo
  Next i
End Sub
Sub pasosnegy ()
'Movimiento de My
  x10 = &H0 Xor &H4
  OutData portico, x10'enviar Pasoy=1 (medio paso)
  x1 = x10 Xor &H2
  OutData portico, x1' enviar Diry=1 cwvy
'Pulsos que ingresaran al MC3479 de My:
  For i = 1 To 2
    x2 = x1 Xor &H1
    OutData portico, x2'enviar Datoy=1 a clkx
    For j = 1 To 8000: Next j 'ancho del pulso en alto
    x3 = x2 Xor &H1
    OutData portico, x3'enviar Datoy=0 a clkx
    For j = 1 To 8000: Next j 'ancho del pulso en bajo
  Next i
End Sub
Sub pasosposx ()
'Movimiento de Mx
  x10 = &H0 Xor &H20'enviar Pasox=1 (medio paso)
  OutData portico, x10'ademas implicitamente Dirx=0 a cwvx
'Pulsos que ingresaran al MC3479 de Mx:
  For i = 1 To 2
    x2 = x10 Xor &H8
    OutData portico, x2'enviar Datox=1 a clkx
    For j = 1 To 3000: Next j 'ancho del pulso en alto
    x3 = x2 Xor &H8
    OutData portico, x3'enviar Datox=0 a clkx
    For j = 1 To 3000: Next j 'ancho del pulso en bajo
  Next i
End Sub
Sub pasosposy ()
'Movimiento de My
  x10 = &H0 Xor &H4 'enviar Pasoy=1 (medio paso)
  OutData portico, x10'ademas implicitamente Diry=0 a cwvy
'Pulsos que ingresaran al MC3479 de My:
  For i = 1 To 2
    x2 = x10 Xor &H1
    OutData portico, x2'enviar Datoy=1 a clkx
    For j = 1 To 8000: Next j 'ancho del pulso en alto
    x3 = x2 Xor &H1
    OutData portico, x3'enviar Datoy=0 a clkx
    For j = 1 To 8000: Next j 'ancho del pulso en bajo
  Next i
End Sub
Function redondear (x As Currency)
  redondear = Int(x * 100) / 100
End Function

```

```

Sub btnartificial_Click ()
'asignar parametro a frmparaf (menu)
    frmparaf.artificial.Value = True
End Sub
Sub btnauto_Click ()
    If (frmparaf.natural.Value = True Or frmparaf.artificial.Value = True) Then
        Cambios = AUTOMATICO
'transferir parametro a frmparao (menu)
        frmparao.auto.Value = True
'deshabilitar controles
        MDIForm1.btnauto.Visible = False'icono
        MDIForm1.btnman.Visible = False
        MDIForm1.btnprog.Visible = False
        MDIForm1.mnuPaO.Enabled = False'menu
'habilitar Timer de voltajes de celdas
        If MDIForm1.TimerVoltajes.Enabled = False Then
            MDIForm1.TimerVoltajes.Enabled = True
        Else
            End If
'habilitar Timer de grafico
        If MDIForm1.TimerGraficos.Enabled = False Then
            MDIForm1.TimerGraficos.Enabled = True
        Else
            End If
'habilitar Frame de control automatico
        frmauto.FrameAuto.Visible = True
'habilitar guardar archivo
        btngenerar.Visible = True'icono
        mnuArG.Enabled = True'menu
        Else
            MsgBox "Seleccione un tipo de fuente", 48
        End If
End Sub
Sub btnauto_MouseMove (Button As Integer, Shift As Integer, x As Single, Y As Single)
    lblNatural.Visible = False
    frmauto.lblAyuNat.Visible = False
    lblArtificial.Visible = False
    frmauto.lblAyuArt.Visible = False
    lblAuto.Visible = True
    frmauto.lblAyuAuto.Visible = True
    lblMan.Visible = False
    frmauto.lblAyuMan.Visible = False
    lblProg.Visible = False
    frmauto.lblAyuProg.Visible = False
    lblGenerar.Visible = False
    frmauto.lblAyuGene.Visible = False
    lblAbrir.Visible = False
    frmauto.lblAyuAbrir.Visible = False
    lblSalir.Visible = False
    frmauto.lblAyuSalir.Visible = False
End Sub
Sub btngenerar_Click ()
    AbrirParaGuardar'sub en module1
End Sub
Sub btnman_Click (),
    If (frmparaf.natural.Value = True Or frmparaf.artificial.Value = True) Then

```

```

Cambios = MANUAL
'transferir parametro a frmparao (menu)
    frmparao.man.Value = True
'deshabilitar controles
    MDIForm1.btnauto.Visible = False'icono
    MDIForm1.btnman.Visible = False
    MDIForm1.btnprog.Visible = False
    MDIForm1.mnuPaO.Enabled = False'menu
'habilitar timer de voltaje de celdas
    If MDIForm1.TimerVoltajes.Enabled = False Then
        MDIForm1.TimerVoltajes.Enabled = True
    Else
    End If
'habilitar timer de grafico
    If MDIForm1.TimerGraficos.Enabled = False Then
        MDIForm1.TimerGraficos.Enabled = True
    Else
    End If
'habilitar Frame de control manual
    frmauto.FrameMan.Visible = True
'habilitar guardar archivo
    btngenerar.Visible = True
    mnuArG.Enabled = True
    Else
        MsgBox "Seleccione un tipo de fuente", 48
    End If
End Sub

Sub btnman_MouseMove (Button As Integer, Shift As Integer, x As Single, Y As Single)
    lblNatural.Visible = False
    frmauto.lblAyuNat.Visible = False
    lblArtificial.Visible = False
    frmauto.lblAyuArt.Visible = False
    lblAuto.Visible = False
    frmauto.lblAyuAuto.Visible = False
    lblMan.Visible = True
    frmauto.lblAyuMan.Visible = True
    lblProg.Visible = False
    frmauto.lblAyuProg.Visible = False
    lblGenerar.Visible = False
    frmauto.lblAyuGene.Visible = False
    lblAbrir.Visible = False
    frmauto.lblAyuAbrir.Visible = False
    lblSalir.Visible = False
    frmauto.lblAyuSalir.Visible = False
End Sub

Sub btnnatural_Click ()
'asignar parametro a frmparaf (menu)
    frmparaf.natural.Value = True
End Sub

Sub btnprog_Click ()
    If (frmparaf.natural.Value = True Or frmparaf.artificial.Value = True) Then
'transferir control a frmparao (menu principal)
        frmparao.prog.Value = True
'deshabilitar controles
        MDIForm1.btnauto.Visible = False'icono

```

```

MDIForm1.btnman.Visible = False
MDIForm1.btnprog.Visible = False
MDIForm1.mnuPaO.Enabled = False'menu
'habilitar timer de voltajes de celdas
If MDIForm1.TimerVoltajes.Enabled = False Then
    MDIForm1.TimerVoltajes.Enabled = True
Else
End If
'habilitar timer de grafico
If MDIForm1.TimerGraficos.Enabled = False Then
    MDIForm1.TimerGraficos.Enabled = True
Else
End If
'habilitar Frame de control programado
frmauto.FrameProg.Visible = True
frmauto.lblEscProg.Visible = True
'habilitar abrir archivo
btnabrir.Visible = True
mnuArA.Enabled = True
Else
MsgBox "Seleccione un tipo de fuente", 48
End If
End Sub

```

```

Sub btnsalir_Click ()
End
End Sub

```

```

Sub MDIForm_Load ()
portico = LeeDir()
lblNatural.Visible = False
lblArtificial.Visible = False
lblAuto.Visible = False
lblMan.Visible = False
lblProg.Visible = False
lblGenerar.Visible = False
lblAbrir.Visible = False
lblSalir.Visible = False
btngenerar.Visible = False
btnabrir.Visible = False
frmparao.auto.Value = False
frmparao.man.Value = False
frmparao.prog.Value = False
frmparaf.natural.Value = False
frmparaf.artificial.Value = False
End Sub

```

```

Sub mnuArA_Click ()
'Subrutina para abrir y leer datos
AbrirParaLeer'Sub en Module1
End Sub

```

```

Sub mnuArG_Click ()
'Subrutina para abrir y guardar base de datos
AbrirParaGuardar'Sub en Module1

```

```

End Sub
Sub mnuArS_Click ()
    End
End Sub
Sub mnuInfoA_Click ()
    frmacer.Show 1
End Sub
Sub mnuInfoDT_Click ()
    frminfo.Show 1
End Sub
Sub mnuPaF_Click ()
    frmparaf.Show 1
End Sub
Sub mnuPaO_Click ()
    frmparao.auto.Value = False
    frmparao.man.Value = False
    frmparao.prog.Value = False
    frmparao.Show 1
End Sub
Sub TimerGenerar_Timer ()
'Guardar datos de movimientos de panel en un archivo
'Asignar variables
    Dim datos As BaseDatos
    NumeroDatosTotal = LOF(1) / BASE_LONGITUD
    cuentay = contadory
    cuentax = contadorx
    datos.Stepy = cuentay
    datos.Stepx = cuentax
    RegistroActual = RegistroActual + 1
'grabar datos
    Put #1, RegistroActual, datos
'Si numero de registros = 20, deshabilitar timer
    If RegistroActual = 20 Then
        Close #1
        RegistroActual = 0
        MDIForm1.TimerGenerar.Enabled = False
'habilitar/deshabilitar mensajes
        Select Case Cambios
            Case AUTOMATICO
                frmauto.lblGrabAuto.Visible = False
                Beep
                frmauto.lblFinGrabAuto.Visible = True
                For j = 0 To 50000: Next i
                frmauto.lblFinGrabAuto.Visible = False
            Case MANUAL
                frmauto.lblGrabMan.Visible = False
                Beep
                frmauto.lblFinGrabMan.Visible = True
                For j = 0 To 50000: Next j
                frmauto.lblFinGrabMan.Visible = False
        End Select
    Else
    End If
End Sub
Sub TimerGraficos_Timer ()
'Graficacion del voltaje generado por celdas

```

```

Y = voltaje * 7.7'Voltaje de entrada
DrawMode = 4 'Dibujo del inverso de la pluma
Static x
If x = 0 Then
    frmauto.PicGrafPrin.Line (0, 0)-(x, Y), RGB(255, 0, 0)
Else
    frmauto.PicGrafPrin.Line -(x, Y), RGB(255, 0, 0)
End If
x = x + 5
If x = 700 Then
    x = 0
    Y = 0
    frmauto.PicGrafPrin.Cls
Else
End If
frmauto.lblhorAuto.Caption = Time$
frmauto.lblFechAuto.Caption = Date$
End Sub
Sub TimerInix_Timer ()
'Panel abajo(sentido horario) hasta 0 grados
'Movimiento de Mx en sentido antihorario
estado = portico + 1
OutData portico, &H0'enviar a datos el 0
n = &H0 Xor &H40'activar entradas B del mux
OutData portico, n
For j = 1 To 400: Next j'lazo de espera
pos = InData(estado)
pos1 = (pos Xor &H8F) / 16'formar el #: 0000??00
If (pos1 = &H8 Or pos1 = &HC) Then '8 y C, valores de x
    'deshabilitar timerx
    'MDIForm1.TimerInix.Enabled = False
    contnegx = 0
    contposx = 0
    contadorx = 0
    Mostrarx'posicion inicial en cuadro visual
    frminicio.lblPosicion.Visible = False
    frminicio.lblFinPosicion.Visible = True
    frminicio.btnAceptarI.Visible = True
Else
    pasosposx'enviar pulsos a Mx
End If
End Sub
Sub TimerIniy_Timer ()
'Panel a la derecha(sentido antihorario) hasta 0 grados
'Movimiento de My en sentido horario
estado = portico + 1
OutData portico, &H0'enviar a datos el 0
n = &H0 Xor &H40'seleccionar entradas B del mux
OutData portico, n
For j = 1 To 400: Next j'lazo de espera
pos = InData(estado)
pos1 = (pos Xor &H8F) / 16'formar el #: 0000??00
If (pos1 = &H4 Or pos1 = &HC) Then '4 y C, valores de y
    'deshabilitar timery y habilitar timerx
    'MDIForm1.TimerIniy.Enabled = False
    contposy = 0

```



```

    contnegy = 0
    contadory = 0
    Mostrary'posicion inicial en cuadro visual
    'MDIForm1.TimerInix.Enabled = True
Else
    pasosnegy'enviar pulsos a My
End If
End Sub
Sub TimerLectura_Timer ()
'Lectura de datos desde archivo y generacion de movimientos
'Asignar variables
    Dim datos As BaseDatos
    RegistroActual1 = RegistroActual1 + 1
    frmauto.Print RegistroActual1
'Lectura de datos
    Get #1, RegistroActual1, datos
    DatoActualy = datos.Stepy
    DatoActualx = datos.Stepx
'Generacion de movimientos de panel en eje y
    If DatoActualy = DatoAnterory Then
        'No mov en eje y
    ElseIf DatoActualy > DatoAnterory Then
        DeltaDatoy = DatoActualy - DatoAnterory
        pulsosposy = DeltaDatoy / 7.5
        Do Until pasos = pulsosposy
            pasosposy'enviar pulsos a My
            pasos = pasos + 1
            contposy = (contposy + 1) * 7.5
            actualiy'actualizar contadory
            contposy = 0
            Mostrary'mov de panel en cuadro visual
        Loop
    ElseIf DatoActualy < DatoAnterory Then
        DeltaDatoy = DatoAnterory - DatoActualy
        pulsosnegy = DeltaDatoy / 7.5
        Do Until pasos = pulsosnegy
            pasosnegy'enviar pulsos al motory
            pasos = pasos + 1
            contnegy = (contnegy + 1) * 7.5
            actualiy'actualizar contadory
            contnegy = 0
            Mostrary'mov de panel en cuadro visual
        Loop
    Else
    End If
    DatoAnterory = DatoActualy'actualizar dato
'Generacion de movimientos de panel en eje x
    If DatoActualx = DatoAnteriorx Then
        'No mov panel en eje x
    ElseIf DatoActualx > DatoAnteriorx Then
        DeltaDatox = DatoActualx - DatoAnteriorx
        pulsosnegx = DeltaDatox / 7.5
        Do Until pasos = pulsosnegx
            pasosnegx'enviar pulsos a Mx
            pasos = pasos + 1
            contnegx = (contnegx + 1) * 7.5

```

```

    actualix'actualizar contadorx
    contnegx = 0
    Mostrarx'mov de panel en cuadro visual
Loop
ElseIf DatoActualx < DatoAnteriorx Then
    DeltaDatox = DatoAnteriorx - DatoActualx
    pulsosposx = DeltaDatox / 7.5
    Do Until pasos = pulsosposx
        pasosposx'enviar pulsos Mx
        pasos = pasos + 1
        contposx = (contposx + 1) * 7.5
        actualix'actualizar contadorx
        contposx = 0
        Mostrarx'mov de panel en cuadro visual
    Loop
Else
End If
DatoAnteriorx = DatoActualx'actualizar el dato
'Si ha leído todos los registros, deshabilitar timer
If RegistroActual1 = 20 Then
    Close #1
    RegistroActual1 = 0
    DatoAnteriorx = 0
    DatoAnterior1 = 0
    MDIForm1.TimerLectura.Enabled = False
    frmauto.lblRecoProg.Visible = False
    Beep: Beep
    frmauto.lblFinRecoProg.Visible = True
    For k = 0 To 150000: Next k
    frmauto.lblFinRecoProg.Visible = False
Else
End If
End Sub
Sub TimerVoltajes_Timer ()
'Adquisición de datos
    estado = portico + 1
    control = portico + 2
'Borrar precaución
    frmauto.Alarmacs.Visible = False
'celda1
    "s = enviar(portico, &H0)
    OutData control, &H8'seleccionar IN3 y 1er nibble(1000)
    For j = 1 To 4000: Next j
    P = InData(estado)
    sol1L = (P Xor &H8F) / 16'formar los 4 bms
    OutData control, &H0'seleccionar IN3 y 2do nibble(0000)
    For k = 1 To 4000: Next k'
    Q = InData(estado)
    sol1H = (Q Xor &H8F)'formar los 4 BMS
    sol1 = sol1L Or sol1H'unir los dos nibbles
    solar1 = ((sol1 * 5 / 255) / 12.48) * 10
    contador1 = contador1 + 1
    If contador1 = 1 Then
        var11 = solar1
        frmauto.lblvar1.Caption = var11
    ElseIf contador1 = 2 Then

```

```

    var12 = solar1
    frmauto.lblvar2.Caption = var12
ElseIf contador1 = 3 Then
    var13 = solar1
    frmauto.lblvar3.Caption = var13
ElseIf contador1 = 4 Then
    var14 = solar1
    frmauto.lblvar4.Caption = var14
    contador1 = 0
Else
End If
prosolar1 = (var11 + var12 + var13 + var14) / 4
prosolar1 = redondear(prosolar1)
'celda2
OutData control, &HF'enviar 1111
For j = 1 To 4000: Next j
P = InData(estado)
sol2L = (P Xor &H8F) / 16'formar los 4 bms
OutData control, &H7'enviar 0111
For k = 1 To 4000: Next k'
Q = InData(estado)
sol2H = (Q Xor &H8F)'formar los 4 BMS
sol2 = sol2L Or sol2H'unir el dato
solar2 = ((sol2 * 5 / 255) / 12.48) * 10
contador2 = contador2 + 1
If contador2 = 1 Then
    var21 = solar2
ElseIf contador2 = 2 Then
    var22 = solar2
ElseIf contador2 = 3 Then
    var23 = solar2
ElseIf contador2 = 4 Then
    var24 = solar2
    contador2 = 0
Else
End If
prosolar2 = (var21 + var22 + var23 + var24) / 4
prosolar2 = redondear(prosolar2)
'celda3
OutData control, &HE'enviar 1110
For j = 1 To 4000: Next j
P = InData(estado)
sol3L = (P Xor &H8F) / 16'formar los 4 bms
OutData control, &H6'enviar 0110
For k = 1 To 4000: Next k'
Q = InData(estado)
sol3H = (Q Xor &H8F)'formar los 4 BMS
sol3 = sol3L Or sol3H'unir el dato
solar3 = ((sol3 * 5 / 255) / 9.6) * 10
contador3 = contador3 + 1
.If contador3 = 1 Then
    var31 = solar3
ElseIf contador3 = 2 Then
    var32 = solar3
ElseIf contador3 = 3 Then
    var33 = solar3

```

```

ElseIf contador3 = 4 Then
    var34 = solar3
    contador3 = 0
Else
End If
prosolar3 = (var31 + var32 + var33 + var34) / 4
prosolar3 = redondear(prosolar3)
'celda4
OutData control, &HD'enviar 1101
For j = 1 To 4000: Next j
P = InData(estado)
sol4L = (P Xor &H8F) / 16'formar los 4 bms
OutData control, &H5'enviar 0101
For k = 1 To 4000: Next k'
Q = InData(estado)
sol4H = (Q Xor &H8F)'formar los 4 BMS
sol4 = sol4L Or sol4H'unir el dato
solar4 = ((sol4 * 5 / 255) / 12.48) * 10
contador4 = contador4 + 1
If contador4 = 1 Then
    var41 = solar4
    frmauto.lblvar5.Caption = var41
ElseIf contador4 = 2 Then
    var42 = solar4
    frmauto.lblvar6.Caption = var42
ElseIf contador4 = 3 Then
    var43 = solar4
    frmauto.lblvar7.Caption = var43
ElseIf contador4 = 4 Then
    var44 = solar4
    frmauto.lblvar8.Caption = var44
    contador4 = 0
Else
End If
prosolar4 = (var41 + var42 + var43 + var44) / 4
prosolar4 = redondear(prosolar4)
'celda auxiliar
OutData control, &HC'enviar 1100
For j = 1 To 4000: Next j
P = InData(estado)
solauxL = (P Xor &H8F) / 16'formar los 4 bms
OutData control, &H4'enviar 0100
For k = 1 To 4000: Next k'
Q = InData(estado)
solauxH = (Q Xor &H8F)'formar los 4 BMS
solaux = solauxL Or solauxH'unir el dato
solar5 = ((solaux * 5 / 255) / 7.8181) * 10
contador5 = contador5 + 1
If contador5 = 1 Then
    var51 = solar5
ElseIf contador5 = 2 Then
    var52 = solar5
    frmauto.lblvar2.Caption = var52
ElseIf contador5 = 3 Then
    var53 = solar5
    frmauto.lblvar3.Caption = var53

```

```

ElseIf contador5 = 4 Then
    var54 = solar5
    'frmauto.lblvar4.Caption = var54
ElseIf contador5 = 5 Then
    var55 = solar5
ElseIf contador5 = 6 Then
    var56 = solar5
    'frmauto.lblvar6.Caption = var56
ElseIf contador5 = 7 Then
    var57 = solar5
    'frmauto.lblvar7.Caption = var57
ElseIf contador5 = 8 Then
    var58 = solar5
    'frmauto.lblvar8.Caption = var58
    contador5 = 0
Else
End If
prosolar5 = (var51 + var52 + var53 + var54 + var55 + var56 + var57 + var58) / 8
prosolar5 = redondear(prosolar5)
frmauto.lblvar11.Caption = prosolar5
If (prosolar1 = 0 Or prosolar2 = 0 Or prosolar3 = 0 Or prosolar4 = 0) Then
    frmauto.Alarmacs.Visible = True
Else
End If
'Sumar Voltajes
voltaje = prosolar1 + prosolar2 + prosolar3 + prosolar4
voltaje1 = voltaje / 10 'correccion
voltaje1 = redondear(voltaje1)
frmauto.lblVoltPrin.Caption = voltaje1
'Para pruebas
frmauto.lblcs1.Caption = prosolar1
frmauto.lblcs2.Caption = prosolar2
frmauto.lblcs3.Caption = prosolar3
frmauto.lblcs4.Caption = prosolar4
frmauto.lblcs5.Caption = prosolar5
'Asignar constantes para comparaciones
'Natural
Knatural = 3
Knatural = 2 'principal
'Knatural = 2.5 'prueba1
'Knatural = 2.8 prueba 2
Refnat = Knatural + prosolar5
'Artificial
Kartificial = 1 'pruebas
'Kartificial = 2.12 '1.8 solo luz artificial
'Kartificial = 2.15 'luz artificial y natural
Refart = Kartificial + prosolar5
'Referencias de comparacion
'Natural
If frmparaf.natural.Value = True Then
    Ref = Refnat
'Artificial
ElseIf frmparaf.artificial.Value = True Then
    Ref = Refart
Else
End If

```

```

ElseIf contador5 = 4 Then
    var54 = solar5
    'frmauto.lblvar4.Caption = var54
ElseIf contador5 = 5 Then
    var55 = solar5
ElseIf contador5 = 6 Then
    var56 = solar5
    'frmauto.lblvar6.Caption = var56
ElseIf contador5 = 7 Then
    var57 = solar5
    'frmauto.lblvar7.Caption = var57
ElseIf contador5 = 8 Then
    var58 = solar5
    'frmauto.lblvar8.Caption = var58
    contador5 = 0
Else
End If
prosolar5 = (var51 + var52 + var53 + var54 + var55 + var56 + var57 + var58) / 8
prosolar5 = redondear(prosolar5)
frmauto.lblvar11.Caption = prosolar5
If (prosolar1 = 0 Or prosolar2 = 0 Or prosolar3 = 0 Or prosolar4 = 0) Then
    frmauto.Alarmacs.Visible = True
Else
End If
'Sumar Voltajes
voltaje = prosolar1 + prosolar2 + prosolar3 + prosolar4
voltaje1 = voltaje / 10 'correccion
voltaje1 = redondear(voltaje1)
frmauto.lblVoltPrin.Caption = voltaje1
'Para pruebas
frmauto.blcls1.Caption = prosolar1
frmauto.blcls2.Caption = prosolar2
frmauto.blcls3.Caption = prosolar3
frmauto.blcls4.Caption = prosolar4
frmauto.blcls5.Caption = prosolar5
'Asignar constantes para comparaciones
'Natural
Knatural = 3
Knatural = 2 'principal
'Knatural = 2.5 'prueba 1
'Knatural = 2.8 prueba 2
Refnat = Knatural + prosolar5
'Artificial
Kartificial = 1 'pruebas
'Kartificial = 2.12 '1.8 solo luz artificial
'Kartificial = 2.15 'luz artificial y natural
Refart = Kartificial + prosolar5
'Referencias de comparacion
'Natural
If frmparaf.natural.Value = True Then
    Ref = Refnat
'Artificial
ElseIf frmparaf.artificial.Value = True Then
    Ref = Refart
Else
End If

```

```

ElseIf frmparao.prog.Value = True Then 'despues de "continuar" precaucion
'deshabilitar controles
    MDIForm1.btnauto.Visible = False'icono
    MDIForm1.btnman.Visible = False
    MDIForm1.btnprog.Visible = False
    MDIForm1.mnuPaO.Enabled = False'menu
'habilitar timer de voltajes
    If MDIForm1.TimerVoltajes.Enabled = False Then
        MDIForm1.TimerVoltajes.Enabled = True
    Else
    End If
'habilitar timer de grafico
    If MDIForm1.TimerGraficos.Enabled = False Then
        MDIForm1.TimerGraficos.Enabled = True
    Else
    End If
'habilitar Frame de control programado
    frmauto.FrameProg.Visible = True
'habilitar abrir archivo
    MDIForm1.btnabrir.Visible = True
    MDIForm1.mnuArA.Enabled = True
Else
    frmparao.Hide
End If
frmparao.Hide
End Sub

Sub btnparaa_Click ()
End Sub
Sub man_Click ()
    If (frmparaf.natural.Value = False And frmparaf.artificial.Value = False) Then
        frmparao.man.Value = False
        frmparao.Hide
        MsgBox "Seleccione un tipo de Fuente Luminosa", 48
    Else
    End If
End Sub
Sub prog_Click ()
    If (frmparaf.natural.Value = False And frmparaf.artificial.Value = False) Then
        frmparao.prog.Value = False
        frmparao.Hide
        MsgBox "Seleccione un tipo de Fuente Luminosa", 48
    Else
        frmprecl.Show 1
    End If
End Sub
Sub artificial_Click ()
    frmauto.lblNaturalPrin.Visible = False
    frmauto.lblArtificialPrin.Visible = True
End Sub
Sub btnAceptarF_Click ()
    frmparaf.Hide
End Sub
Sub btnparaf_Click ()
End Sub

```

```

Sub btnparafa_Click ()
End Sub
Sub natural_Click ()
    frmauto.IblNaturalPrin.Visible = True
    frmauto.IblArtificialPrin.Visible = False
End Sub
Sub btnAceptarI_Click ()
    frmauto.IblSelecPrin.Visible = True
    frminicio.Hide
End Sub
Sub btninicio_Click ()
    frminicio.Hide
End Sub
Sub btnaceptar_Click ()
    frminfo.Hide
End Sub
'Obtener valores de voltajes, referencia, contadorx
    Dim cs1 As Currency
    Dim cs2 As Currency
    Dim cs3 As Currency
    Dim cs4 As Currency
    Dim Ref1 As Currency
    Dim contador1x As Currency
'Variables para control automatico
    Dim PasDer As Integer
    Dim PasIzq As Integer
    Dim PasArr As Integer
    Dim PasAba As Integer
'Variables para control manual
    Dim PasosDnx As Integer
    Dim PasosUpx As Integer
    Dim PasosLx As Integer
    Dim PasosRty As Integer
Sub btnDnMan_Click ()
'Control Manual del panel
'Panel abajo(sentido horario) hasta 0 grados
'Movimiento de Mx(sentido antihorario) hasta 0 grados
    IblInixMan.Visible = False
    IblCasiInixMan.Visible = False
    IblFinxMan.Visible = False
    IblCasiFinxMan.Visible = False
    IblIniyMan.Visible = False
    IblCasiIniyMan.Visible = False
    IblFinyMan.Visible = False
    IblCasiFinyMan.Visible = False
'enviar 5 pulsos = 37.5 grad en Mx y 9 grad en panel
    PasosDnx = 5
    Do Until pasos = PasosDnx
        If contadorx = 0 Then
            Beep
            IblInixMan.Visible = True
            Exit Sub
        ElseIf (contadorx > 0 And contadorx <= 37.5) Then
            Beep
            IblCasiInixMan.Visible = True
            pasosposx'enviar pulsos a Mx

```



```

Else
    pasosposx'enviar pulsos a Mx
End If
pasos = pasos + 1
contposx = (contposx + 1) * 7.5
actualix'actualizar contadorx
contposx = 0
Mostrarx'movimiento de panel en cuadro visual
If contadorx = 0 Then
    lblCasiInixMan.Visible = False
Else
End If
Loop
End Sub
Sub btnIniciarAuto_Click ()
    timerauto.Enabled = True
End Sub
Sub btnLtMan_Click ()
'Control manual del panel
'Panel a la izquierda(sentido horario) hasta 351 grados
'Movimiento de My(sentido antihorario) hasta 1462.5 grados
    lblInixMan.Visible = False
    lblCasiInixMan.Visible = False
    lblFinxMan.Visible = False
    lblCasiFinxMan.Visible = False
    lblIniyMan.Visible = False
    lblCasiIniyMan.Visible = False
    lblFinyMan.Visible = False
    lblCasiFinyMan.Visible = False
'enviar 5 pulsos = 37.5 grad en My y 9 grad en panel
    PasosLty = 5
    Do Until pasos = PasosLty
        If contadory = 1462.5 Then
            Beep
            lblFinyMan.Visible = True
            Exit Sub
        ElseIf (contadory >= 1425 And contadory < 1462.5) Then
            Beep
            lblCasiFinyMan.Visible = True
            pasosposy'enviar pulsos a My
        Else
            pasosposy'enviar pulsos a My
        End If
        pasos = pasos + 1
        contposy = (contposy + 1) * 7.5
        actualiy'actualizar contadory
        contposy = 0
        Mostrary'movimiento de panel en cuadro visual
        If contadory = 1462.5 Then
            lblCasiFinyMan.Visible = False
        Else
        End If
    Loop
End Sub
Sub btnRtMan_Click ()
'Control manual del panel

```

```

'Panel a la derecha(sentido antihorario) hasta 0 grados
'Movimiento de My(sentido horario) hasta 0 grados
  lblInixMan.Visible = False
  lblCasiInixMan.Visible = False
  lblFinxMan.Visible = False
  lblCasiFinxMan.Visible = False
  lblIniyMan.Visible = False
  lblCasiIniyMan.Visible = False
  lblFinyMan.Visible = False
  lblCasiFinyMan.Visible = False
'enviar 5 pulsos = 37,5 grad eu My y 9 grad en panel
PasosRty = 5
Do Until pasos = PasosRty
  If contadory = 0 Then
    Beep
    lblIniyMan.Visible = True
    Exit Sub
  ElseIf (contadory > 0 And contadory <= 37.5) Then
    Beep
    lblCasiIniyMan.Visible = True
    pasosnegy'enviar pulsos a My
  Else
    pasosnegy'enviar pulsos a My
  End If
  pasos = pasos + 1
  contnegy = (contnegy + 1) * 7.5
  actualiy'actualizar contadory
  contnegy = 0
  Mostrary'innovimiento de panel en cuadro visual
  If contadory = 0 Then
    lblCasiIniyMan.Visible = False
  Else
  End If
Loop
End Sub
Sub btnUpMan_Click ()
'Control manual del panel
'Panel arriba(sentido antihorario) hasta 153 grados
'Movimiento de Mx(sentido horario) hasta 637.5 grados
  lblInixMan.Visible = False
  lblCasiInixMan.Visible = False
  lblFinxMan.Visible = False
  lblCasiFinxMan.Visible = False
  lblIniyMan.Visible = False
  lblCasiIniyMan.Visible = False
  lblFinyMan.Visible = False
  lblCasiFinyMan.Visible = False
'enviar 5 pulsos = 37.5 grad en Mx y 9 grad en panel
PasosUpx = 5
Do Until pasos = PasosUpx
  If contadorx = 637.5 Then
    Beep
    lblFinxMan.Visible = True
    Exit Sub
  ElseIf (contadorx >= 600 And contadorx < 637.5) Then
    Beep

```

```

        lblCasiFinxMan.Visible = True
        pasosnegx'enviar pulsos a Mx
    Else
        pasosnegx'enviar pulsos a Mx
    End If
    pasos = pasos + 1
    contnegx = (contnegx + 1) * 7.5
    actualix'actualizar contadorx
    contnegx = 0
    Mostrarx'movimiento de panel en cuadro visual
    If contadorx = 637.5 Then
        lblCasiFinxMan.Visible = False
    Else
    End If
Loop
End Sub
Sub Form_Load ()
'Borrar todos los labels
    lblAyuNat.Visible = False
    lblAyuArt.Visible = False
    lblAyuAuto.Visible = False
    lblAyuMan.Visible = False
    lblAyuProg.Visible = False
    lblAyuGene.Visible = False
    lblAyuAbrir.Visible = False
    lblayuSalir.Visible = False
'Escala del grafico
    frmauto.PicGrafPrin.Scale (7, 200)-(700, 0)
    frmauto.PicGrafPrin.AutoRedraw = True
    'frmauto.Picgrafa.ScaleMode = 3
End Sub
Sub MovxAbajo ()
    PasAba = 5
    Do Until pasos = PasAba
        If contadorx = 0 Then
            Beep
            lblInixAuto.Visible = True
            Exit Sub
        ElseIf (contadorx > 0 And contadorx <= 37.5) Then
            Beep
            lblCasiInixAuto.Visible = True
            pasosposx'enviar pulsos a Mx
            For i = 0 To 20000: Next i
            'For i = 0 To 25000: Next i
        Else
            pasosposx'enviar pulsos a Mx
            For i = 0 To 20000: Next i
            'For i = 0 To 25000: Next i
        End If
        pasos = pasos + 1
        contposx = (contposx + 1) * 7.5
        actualix'actualizar contadorx
        contposx = 0
        Mostrarx'posicion de panel en cuadro visual
        If contadorx = 0 Then
            lblCasiInixAuto.Visible = False

```

```

Else
End If
Loop
End Sub
Sub MovxArriba ()
PasArr = 5
Do Until pasos = PasArr
If contadorx = 712.5 Then
Beep
lblFinxAuto.Visible = True
Exit Sub
ElseIf (contadorx >= 675 And contadorx < 712.5) Then
Beep
lblCasiFinxAuto.Visible = True
pasosnegx'enviar pulsos a Mx
For i = 0 To 20000: Next i
Else
pasosnegx'enviar pulsos a Mx
For i = 0 To 20000: Next i
End If
pasos = pasos + 1
contnegx = (contnegx + 1) * 7.5
actualix'actualizar contadorx
contnegx = 0
Mostrarx'posicion de panel en cuadro visual
If contadorx = 712.5 Then
lblCasiFinxAuto.Visible = False
Else
End If
Loop
End Sub
Sub MovyDerecha ()
PasDer = 6
Do Until pasos = PasDer
If contadory = 0 Then
Beep
lblIniyAuto.Visible = True
Exit Sub
ElseIf (contadory > 0 And contadory <= 37.5) Then
Beep
lblCasiIniyAuto.Visible = True
pasosnegy'enviar pulsos a My
'For i = 0 To 17000: Next i
For i = 0 To 13000: Next i
Else
pasosnegy'enviar pulsos a My
'For i = 0 To 17000: Next i
For i = 0 To 13000: Next i
End If
pasos = pasos + 1
contnegy = (contnegy + 1) * 7.5
actualiy'actualizar contadory
contnegy = 0
Mostrary'posicion de panel en cuadro visual
If contadory = 0 Then
lblCasiIniyAuto.Visible = False

```

```

Else
End If
Loop
End Sub
Sub MovyIzquierda ()
PasIzq = 6
Do Until pasos = PasIzq
If contadory = 1462.5 Then
Beep
lblFinyAuto.Visible = True
Exit Sub
ElseIf (contadory >= 1425 And contadory < 1462.5) Then
Beep
lblCasiFinyAuto.Visible = True
pasosposy'enviar pulsos a My
'For i = 0 To 17000: Next i
For i = 0 To 13000: Next i
Else
pasosposy'enviar pulsos a My
'For i = 0 To 17000: Next i
For i = 0 To 13000: Next i
End If
pasos = pasos + 1
contposy = (contposy + 1) * 7.5
actualiy'actualizar contadory
contposy = 0
Mostrary'posicion de panel en cuadro visual
If contadory = 1462.5 Then
lblCasiFinyAuto.Visible = False
Else
End If
Loop
End Sub
Sub retardo ()
For i = 0 To 10000: Next i
End Sub
Sub SalirAuto_Click ()
'deshabilitar valor auto.en frmparao
frmparao.auto.Value = False
'deshabilitar timerauto y Frame
timerauto.Enabled = False
lblCasiIniyAuto.Visible = False
lblIniyAuto.Visible = False
lblCasiFinyAuto.Visible = False
lblFinyAuto.Visible = False
lblCasiInixAuto.Visible = False
lblInixAuto.Visible = False
lblCasiFinxAuto.Visible = False
lblFinxAuto.Visible = False
lblBajaIAuto.Visible = False
frmauto.FrameAuto.Visible = False
'deshabilitar guardar archivo
MDIForm1.btngenerar.Visible = False'icono
MDIForm1.mnuArG.Enabled = False'menu
'habilitar controles
MDIForm1.btnauto.Visible = True

```

```

MDIForm1.btnman.Visible = True
MDIForm1.btnprog.Visible = True
MDIForm1.mnuPaO.Enabled = True
End Sub
Sub SalirMan_Click ()
'deshabilitar valor man.en frmparao
  frmparao.man.Value = False
'deshabilitar Frame
  frmauto.FrameMan.Visible = False
'deshabilitar guardar archivo
  MDIForm1.btngenerar.Visible = False'icono
  MDIForm1.mnuArG.Enabled = False'menu
'habilitar iconos de control
  MDIForm1.btnauto.Visible = True'icono
  MDIForm1.btnman.Visible = True
  MDIForm1.btnprog.Visible = True
  MDIForm1.mnuPaO.Enabled = True'menu
End Sub
Sub SalirProg_Click ()
'deshabilitar valor de prog. en frmparao
  frmparao.prog.Value = False
'deshabilitar Frame
  frmauto.FrameProg.Visible = False
'deshabilitar abrir archivo
  MDIForm1.btnabrir.Visible = False
  MDIForm1.mnuArA.Enabled = False
'habilitar iconos de control
  MDIForm1.btnauto.Visible = True'icono
  MDIForm1.btnman.Visible = True
  MDIForm1.btnprog.Visible = True
  MDIForm1.mnuPaO.Enabled = True'menu
End Sub
Sub timerauto_Timer ()
'Control Automatico del panel
'Obtener valores de voltajes,referencia,contadorx
  cs1 = prosolar1
  cs2 = prosolar2
  cs3 = prosolar3
  cs4 = prosolar4
  Ref1 = Ref
  contador1x = contadorx
'Borrar mensajes
  lblCasiIniyAuto.Visible = False
  lblIniyAuto.Visible = False
  lblCasiFinyAuto.Visible = False
  lblFinyAuto.Visible = False
  lblCasiInixAuto.Visible = False
  lblInixAuto.Visible = False
  lblCasiFinxAuto.Visible = False
  lblFinxAuto.Visible = False
  lblBajaIAuto.Visible = False
'Casos de posiciones de Fuente Luminosa en el panel
' Caso 1 (0000)
  If (cs1 < Ref1 And cs2 < Ref1 And cs3 < Ref1 And cs4 < Ref1) Then
    'No mov de panel
    lblBajaIAuto.Visible = True

```

```

'Caso 2 (0001)
  ElseIf (cs1 < Ref1 And cs2 < Ref1 And cs3 < Ref1 And cs4 >= Ref1) Then
    'No mov en ejex. Mover panel en ejey hasta 0011
    If contador1x <= 300 Then
      MovyDerecha'mover a la derecha
      Exit Sub
    Else
      MovyIzquierda'mover a la izquierda
      Exit Sub
    End If
'Caso 3 (0010)
  ElseIf (cs1 < Ref1 And cs2 < Ref1 And cs3 >= Ref1 And cs4 < Ref1) Then
    'No mov en ejex. Mover panel en ejey hasta 0011
    If contador1x <= 300 Then
      MovyIzquierda'mover a la izquierda
      Exit Sub
    Else
      MovyDerecha'mover a la derecha
      Exit Sub
    End If
'Caso 4 (0011)
  ElseIf (cs1 < Ref1 And cs2 < Ref1 And cs3 >= Ref1 And cs4 >= Ref1) Then
    'No mov en ejey. Mover panel en ejex hasta 1111 o 1011 o 0111
    MovxAbajo'panel abajo
    Exit Sub
'Caso 5 (0100)
  ElseIf (cs1 < Ref1 And cs2 >= Ref1 And cs3 < Ref1 And cs4 < Ref1) Then
    'No mov en ejex. Mover panel en ejey hasta 1100
    If contador1x <= 300 Then
      MovyDerecha'panel a la derecha
      Exit Sub
    Else
      MovyIzquierda'panel a la izquierda
      Exit Sub
    End If
'Caso 6 (0101)
  ElseIf (cs1 < Ref1 And cs2 >= Ref1 And cs3 < Ref1 And cs4 >= Ref1) Then
    'No mov en ejex. Mover panel en ejey hasta 1111 o 1011 o 0111
    If contador1x <= 300 Then
      MovyDerecha'panel a la derecha
      Exit Sub
    Else
      MovyIzquierda'panel a la izquierda
      Exit Sub
    End If
'xxxxx Caso 7 no puede darse ( 0110 )
'Caso 8 (0111)
  ElseIf (cs1 < Ref1 And cs2 >= Ref1 And cs3 >= Ref1 And cs4 >= Ref1) Then
    'Mover panel ejey hasta 1111
    If contador1x <= 300 Then
      MovyDerecha'panel a la derecha
      Exit Sub
    Else
      MovyIzquierda'panel a la izquierda
      Exit Sub
    End If

```

```

'Mover panel en ejex arriba hasta 1111
MovxAbajo'panel abajo
Exit Sub
'Caso 9 (1000)
  ElseIf (cs1 >= Ref1 And cs2 < Ref1 And cs3 < Ref1 And cs4 < Ref1) Then
    'No mov en ejex. Mover panel en ejey hasta 1100
    If contador1x <= 300 Then
      MovyIzquierda'panel a la izquierda
      Exit Sub
    Else
      MovyDerecha'panel a la derecha
      Exit Sub
    End If
'xxxxx Caso 10 (1001) no puede darse
'Caso 11 (1010)
  ElseIf (cs1 >= Ref1 And cs2 < Ref1 And cs3 >= Ref1 And cs4 < Ref1) Then
    'No mov en ejex. Mover panel en ejey hasta 1111 o 1110 o 1011
    If contador1x <= 300 Then
      MovyIzquierda'panel a la izquierda
      Exit Sub
    Else
      MovyDerecha'panel a la derecha
      Exit Sub
    End If
'Caso 12 (1011)
  ElseIf (cs1 >= Ref1 And cs2 < Ref1 And cs3 >= Ref1 And cs4 >= Ref1) Then
    'Mover panel en ejey hasta 1111
    If contador1x <= 300 Then
      MovyIzquierda'panel a la izquierda
      Exit Sub
    Else
      MovyDerecha'panel a la derecha
      Exit Sub
    End If
    'Mover panel en ejex hasta 1111
    MovxAbajo'panel abajo
    Exit Sub
'Caso 13 (1100)
  ElseIf (cs1 >= Ref1 And cs2 >= Ref1 And cs3 < Ref1 And cs4 < Ref1) Then
    'No mov en ejey. Mover panel en ejex hasta 1111 o 1110 o 1101
    MovxArriba'panel arriba
    Exit Sub
'Caso 14 (1101)
  ElseIf (cs1 >= Ref1 And cs2 >= Ref1 And cs3 < Ref1 And cs4 >= Ref1) Then
    'Mover panel en ejey hasta 1111
    If contador1x <= 300 Then
      MovyDerecha'panel a la derecha
      Exit Sub
    Else
      MovyIzquierda'panel a la izquierda
      Exit Sub
    End If
    'Mover panel en ejex arriba hasta 1111
    MovxArriba'panel arriba
    Exit Sub
'Caso 15 (1110)

```



```
ElseIf (cs1 >= Ref1 And cs2 >= Ref1 And cs3 >= Ref1 And cs4 < Ref1) Then
    'Mover panel en eje y hasta 1111
    If contador1x <= 300 Then
        MovyIzquierda'panel a la izquierda
        Exit Sub
    Else
        MovyDerecha'panel a la derecha
        Exit Sub
    End If
    'Mover panel en eje x hasta 1111
    MovxArriba'panel arriba
    Exit Sub
'Caso 16 (1111)
ElseIf (cs1 >= Ref1 And cs2 >= Ref1 And cs3 >= Ref1 And cs4 >= Ref1) Then
    'No mov panel
    Else
    End If
End Sub
Sub btnacerca_Click ()
    frmacer.Hide
End Sub
```

ANEXO C

MM54C14/MM74C14 Hex Schmitt Trigger

General Description

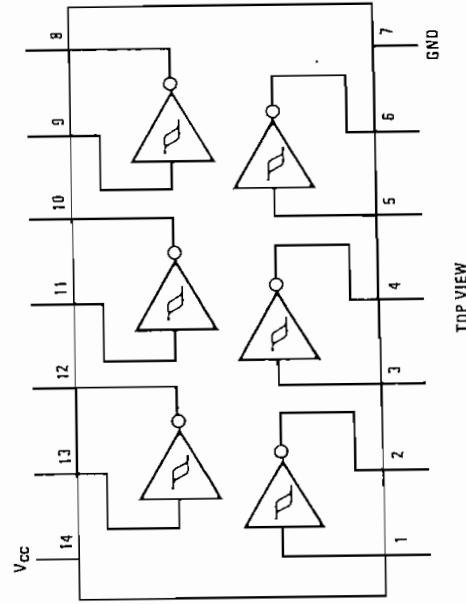
The MM54C14/MM74C14 Hex Schmitt Trigger is a monolithic complementary MOS (CMOS) integrated circuit constructed with N and P-channel enhancement transistors. The positive and negative going threshold voltages, V_{T+} and V_{T-} , show low variation with respect to temperature (typ. $0.0005V/^\circ C$ at $V_{CC} = 10V$), and hysteresis, $V_{T+} - V_{T-} \geq 0.2V_{CC}$ is guaranteed.

All inputs are protected from damage due to static discharge by diode clamps to V_{CC} and GND.

Features

- Wide supply voltage range
3.0V to 15V
- High noise immunity
 $0.70V_{CC}$ (typ.)
- Low power
 $0.4V_{CC}$ (typ.)
- TTL compatibility
 $0.2V_{CC}$ guaranteed
- Hysteresis
 $0.2V_{CC}$ guaranteed

Connection Diagram



TOP VIEW

MM74C14
Storage Temperature Range
-40°C to +85°C
-65°C to +150°C
Package Dissipation
500mW
Operating V_{CC} Range
3.0V to 15V
Absolute Maximum V_{CC}
18V
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)
300°C

DC Electrical Characteristics

Min/max limits apply across the guaranteed temperature range unless otherwise noted.

Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.
CMOS to CMOS				
V_{T+}	Positive Going Threshold Voltage $V_{CC} = 5V$ $V_{CC} = 10V$ $V_{CC} = 15V$	3.0 6.0 9.0	3.6 6.8 10.0	1
V_{T-}	Negative Going Threshold Voltage $V_{CC} = 5V$ $V_{CC} = 10V$ $V_{CC} = 15V$	0.7 1.4 2.1	1.4 3.2 5.0	1
$V_{T+} - V_{T-}$	Hysteresis $V_{CC} = 5V$ $V_{CC} = 10V$ $V_{CC} = 15V$	1.0 2.0 3.0	2.2 3.6 5.0	1
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage $V_{CC} = 5V, I_O = -10\mu A$ $V_{CC} = 10V, I_O = -10\mu A$	4.5 9.0		
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage $V_{CC} = 5V, I_O = +10\mu A$ $V_{CC} = 10V, I_O = +10\mu A$			
$I_{IN(1)}$	Logical "1" Input Current $V_{CC} = 15V, V_{IN} = 15V$		0.005	
$I_{IN(0)}$	Logical "0" Input Current $V_{CC} = 15V, V_{IN} = 0V$	-1.0	-0.005	
I_{CC}	Supply Current $V_{CC} = 15V, V_{IN} = 0V/15V$ $V_{CC} = 5V, V_{IN} = 2.5V$ (Note 4) $V_{CC} = 10V, V_{IN} = 5V$ (Note 4) $V_{CC} = 15V, V_{IN} = 7.5V$ (Note 4)		0.05 20 200 600	
CMOS/LPTTL Interface				
$V_{IN(1)}$	Logical "1" Input Voltage $V_{CC} = 5V$	4.3		
$V_{IN(0)}$	Logical "0" Input Voltage $V_{CC} = 5V$			
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage 54C, $V_{CC} = 4.5V, I_O = -360\mu A$ 74C, $V_{CC} = 4.75V, I_O = -360\mu A$	2.4 2.4		
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage 54C, $V_{CC} = 4.5V, I_O = 360\mu A$ 74C, $V_{CC} = 4.75V, I_O = 360\mu A$			
Output Drive (See 54C74C Family Characteristics Data Sheet) (short circuit current)				
I_{SOURCE}	Output Source Current (P-Channel) $V_{CC} = 5V, V_{OUT} = 0V$ $T_A = 25^\circ C$	-1.75	-3.3	
I_{SOURCE}	Output Source Current (P-Channel) $V_{CC} = 10V, V_{OUT} = 0V$ $T_A = 25^\circ C$	-8.0	-15	
I_{SINK}	Output Sink Current (N-Channel) $V_{CC} = 5V, V_{OUT} = V_{CC}$ $T_A = 25^\circ C$	1.75	3.6	
I_{SINK}	Output Sink Current (N-Channel) $V_{CC} = 10V, V_{OUT} = V_{CC}$ $T_A = 25^\circ C$	8.0	16	

MM54C30/MM74C30 8-Input NAND Gate

Features

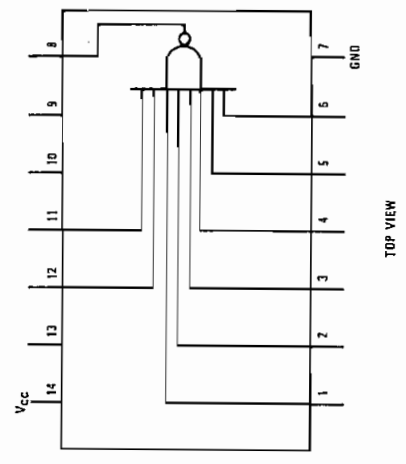
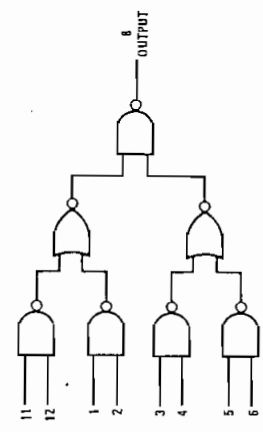
- Wide supply voltage range
- Guaranteed noise margin
- High noise immunity
- Low power fan drive compatibility

General Description

The logic gate employs complementary MOS (CMOS) to achieve wide power supply operating range, low power consumption and high noise immunity. Function and pin out compatibility with series 54/74 devices minimizes design time for those designers familiar with the standard 54/74 logic family.

All inputs are protected from damage due to static discharge by diode clamps to V_{CC} and GND.

Logic and Connection Diagrams



Propagation Delay from Input to Output	ns
Input Capacitance	80
Power Dissipation Capacitance	200
Any Input (Note 2) (Note 3) Per Gate	5.0
	20

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the devices cannot be guaranteed. Except for "Operating Temperature Range" they are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.

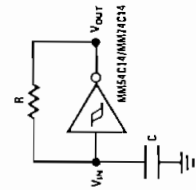
Note 2: Capacitance is guaranteed by periodic testing.

Note 3: C_{PO} determines the no load ac power consumption of any CMOS device. For complete explanation see 54C/74C Family Characteristics application note - AN-90.

Note 4: Only one of the six inputs is at $1/2 V_{CC}$, the others are either at V_{CC} or GND.

Typical Applications

Low Power Oscillator

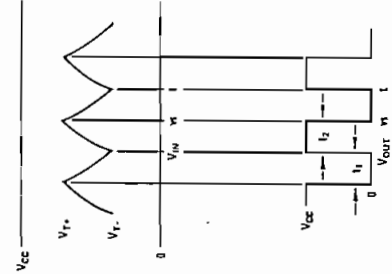


$$f_1 = RC \ln \frac{V_{T+}}{V_{T-}}$$

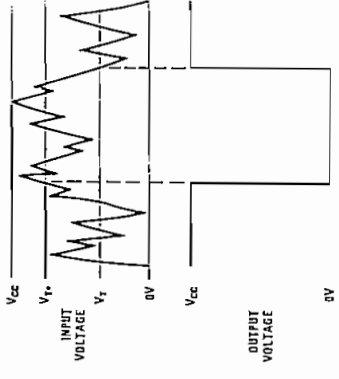
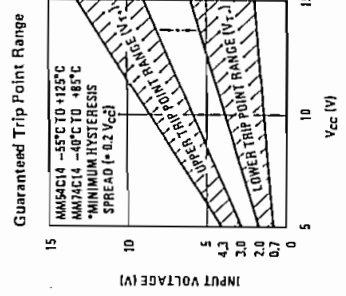
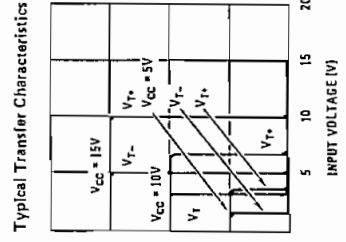
$$f_2 = RC \ln \frac{V_{CC} - V_{T-}}{V_{CC} - V_{T+}}$$

$$f = \frac{1}{RC \ln \frac{V_{T+}(V_{CC} - V_{T-})}{V_{T-}(V_{CC} - V_{T+})}} \approx \frac{1}{1.7 RC}$$

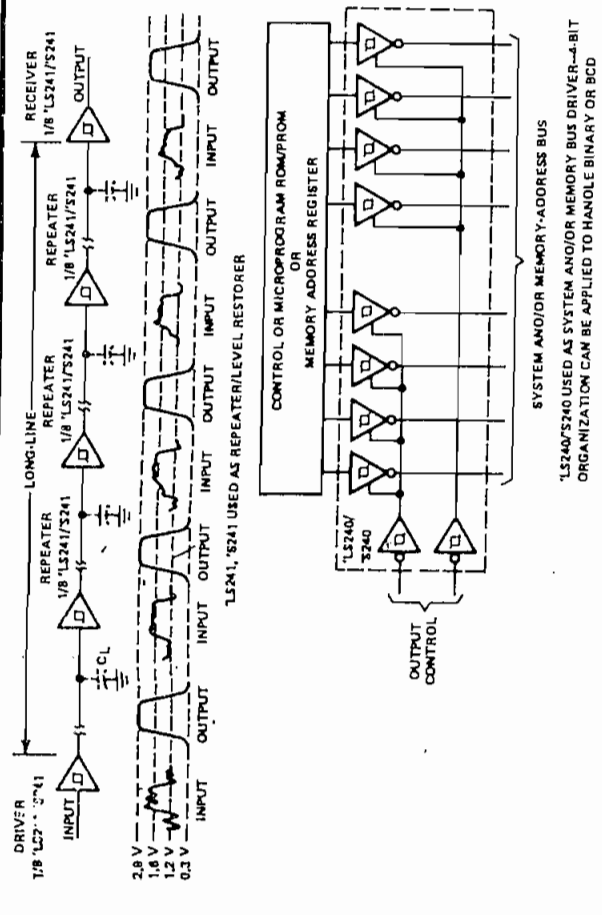
Note: The equations assume $t_1 \approx t_2 \gg t_{prop} \approx t_{pd}$



Typical Performance Characteristics



Note: For more information on output drive characteristics, power dissipation, and propagation delays, see AN-90.



- Two-Way Asynchronous Communication Between Data Buses
- PNP Inputs Reduce D-C Loading
- Hysteresis (Typically 400 mV) at Inputs Improves Noise Margin

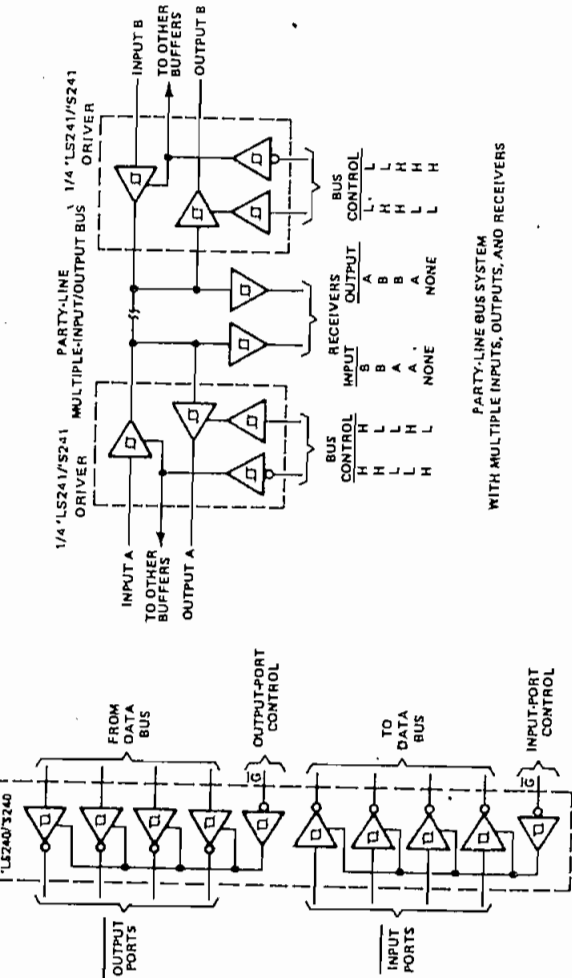
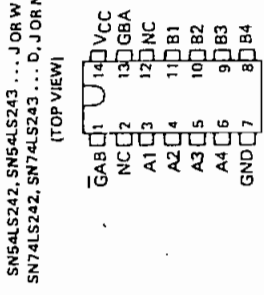
description

These four-data-line transceivers are designed for asynchronous two-way communications between data buses. The SN74LS' can be used to drive terminated lines down to 133 ohms.

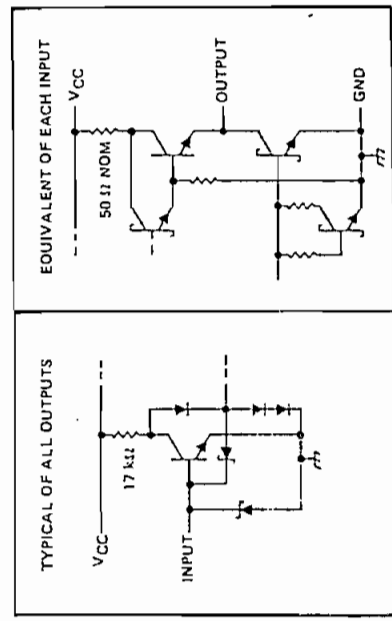
The SN54' family is characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C. The SN74' family is characterized for operation from 0°C to 70°C.

FUNCTION TABLE (EACH TRANSCEIVER)

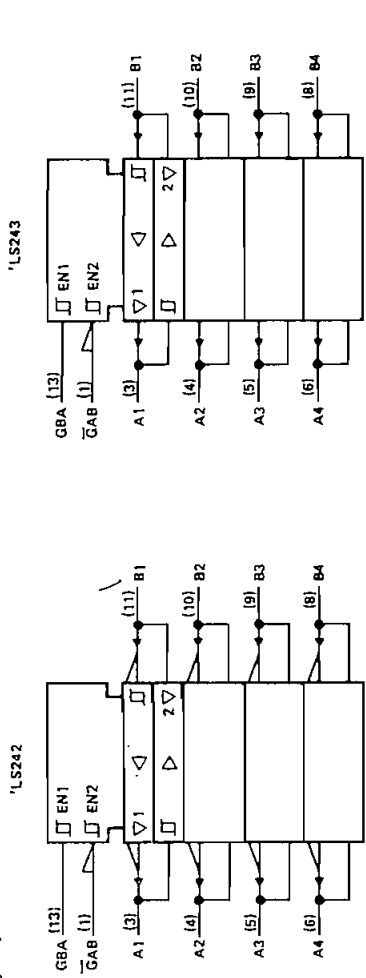
INPUTS		'LS242	'LS243
GAB	GBA		
L	L	A to B	A to B
H	H	\bar{A} to A	B to A
H	L	Isolation	Isolation
L	H	Latch A and B (A = \bar{B})	Latch A and B (A = B)



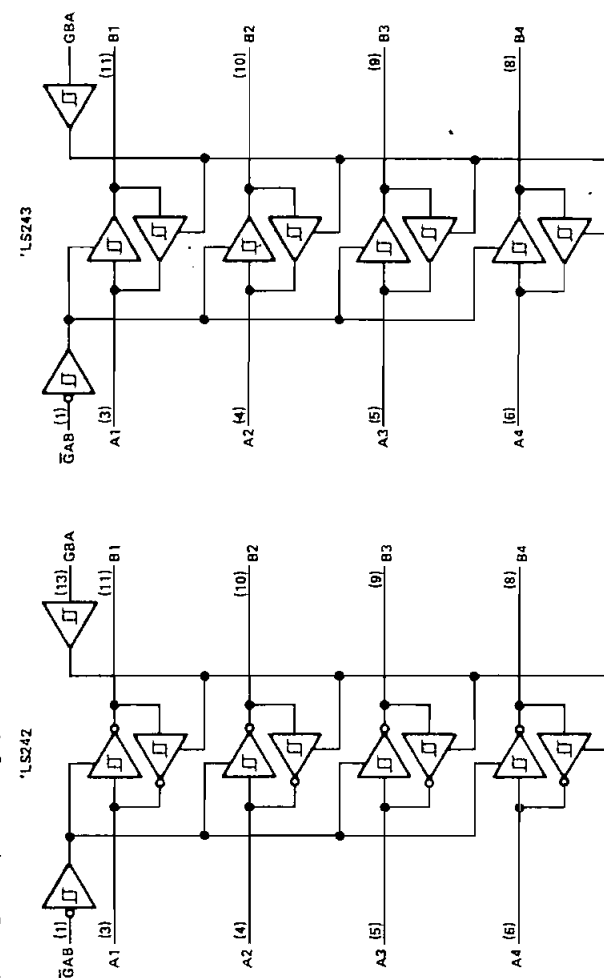
schematics of inputs and outputs



logic symbols:



logic diagrams (positiva logic)



Pin numbers shown on logic notation are for D, J, or N packages

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

Supply voltage, VCC (see Note 1)	7 V
Input voltage	7 V
Off-state output voltage	5.5 V
Operating free-air temperature range: SN54LS ¹	-55°C to 125°C
SN74LS ²	0°C to 70°C
Storage temperature range	-65°C to 150°C

NOTE 1 Voltage values are with respect to network ground terminals

recommended operating conditions

	SN54LS ¹		SN74LS ²	
	MIN	MAX	MIN	MAX
VCC - Supply voltage (see Note 1)	4.5	5.5	4.75	5.5
V _{IH} - High-level input voltage	2	0.7		
V _{IL} - Low-level input voltage		-12		
I _{OH} - High-level output current		12		
I _{OL} - Low-level output current		125		
T _A - Operating free-air temperature	-55	125	0	

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise specified)

PARAMETER	TEST CONDITIONS ¹		SN54LS ¹		SN74LS ²	
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
V _{IH} - A or B	VCC = MIN, I _I = -18 mA					
Hysteresis (V _{IH} - V _{IL})	VCC = MIN	0.2	0.4	-1.5		
V _{OH}	VCC = MIN, I _{OH} = -3 mA	V _{IH} = 2 V, V _{IL} = MAX.	2.4	3.1		
	VCC = MIN, I _{OH} = MAX	V _{IH} = 2 V, V _{IL} = 0.5 V.	2			
V _{OL}	VCC = MIN, I _{OL} = 12 mA		0.25	0.4		
	VCC = MAX, I _{OL} = 24 mA					
I _{OZH}	VCC = MAX, V _{IH} = 2 V			40		
I _{OZL}	VCC = MAX, V _{IL} = MAX			-200		
I _I - A or B	VCC = MAX, V _I = 5.5 V			0.1		
	VCC = MAX, V _I = 7 V			0.1		
I _{IH}	VCC = MAX, V _I = 2.7 V			20		
	VCC = MAX, V _I = 0.4 V, GAB and GBA at 0 V			-0.2		
I _{IL}	VCC = MAX, V _I = 0.4 V, GAB and GBA at 4.5 V			-0.2		
I _{OSZ}	VCC = MAX, V _I = 0.4 V			-0.2		
	VCC = MAX			-40		
I _{CC}	Outputs high	'LS242, 'LS243		22	38	
	Outputs low	LS242, 'LS243		29	50	
	All outputs disabled	'LS242		29	50	
		'LS243		32	54	

¹ For conditions shown at MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions
² All typical values are at VCC = 5 V, T_A = 25°C
 \$ Not more than one output should be shorted at a time, and duration of the short-circuit should not exceed one second
 NOTE 2: I_{CC} is measured with transceivers enabled in one direction only, or with all transceivers disabled

switching characteristics, VCC = 5 V, T_A = 25°C

PARAMETER	TEST CONDITIONS		'LS242	
	MIN	MAX	MIN	MAX
t _{PLH}			9	14
t _{PHL}	R _L = 667 Ω	C _L = 45 pF.	12	18
t _{PZL}	See Note 3		20	30
t _{PZH}			15	23
t _{PLZ}	R _L = 667 Ω	C _L = 5 pF.	10	20
t _{PHZ}	See Note 3		15	25

NOTE 3 See General Information Section for load circuits and voltage waveforms

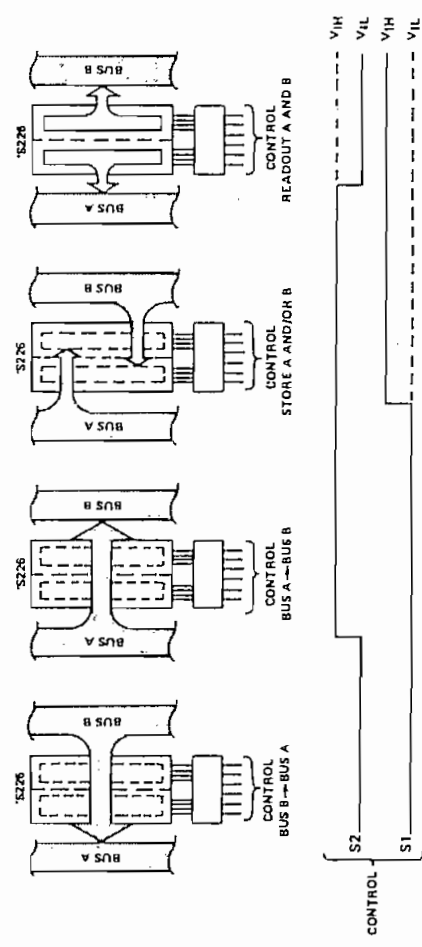
Switching Characteristics, $V_{CC} = 5V$, $T_A = 25^\circ C$

PARAMETER	FROM (INPUT)	TO (OUTPUT)	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
tPLH	A or B	B or A	CL = 50 pF, RL = 280 Ω , See Note 4		20	30	ns
tPHL	Select	Any			15	30	
tPLH	Strobe GBA or GAB	A or B			25	37	ns
tPHL	Output Control	A or B			25	37	
tPZH	OCBA or OCAB	A or B	CL = 5 pF, RL = 280 Ω , See Note 4		12	20	ns
tPHZ	Output Control	A or B			12	20	
tPLZ	OCBA or OCAB	A or B			10	15	ns

tPLH = propagation delay time, low-to-high-level output
 tPHL = propagation delay time, high-to-low-level output
 tPZH = output enable time to high level
 tPLZ = output enable time to low level
 tPHZ = output disable time from high level
 tPLZ = output disable time from low level
 NOTE 4: See General Information Section for load circuits and voltage waveforms

applications

The following examples demonstrate four fundamental bus-management functions that can be performed with the 'S226. Exchange of data on the two bus lines can be accomplished with a single high-to-low transition at S2 when S1 is high.



- 3-State Outputs Drive Bus Lines or Buffer Memory Address Registers
- PNP Inputs Reduce D-C Loading
- Hysteresis at Inputs Improves Noise Margins

description

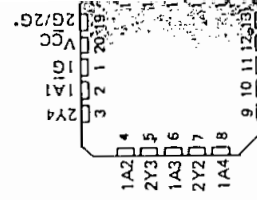
These octal buffers and line drivers are designed specifically to improve both the performance and density of three-state memory address drivers, clock drivers, and bus-oriented receivers and transmitters. The designer has a choice of selected combinations of inverting and noninverting outputs, symmetrical G (active-low) outputs, and complementary G and G inputs. These devices feature high fan-out, improved fan-in, and 400-mV noise-margin. The SN74LS' and SN74S' can be used to drive terminated lines down to 133 ohms

The SN54' family is characterized for operation over the full military temperature range of $-55^\circ C$ to $125^\circ C$. The SN74' family is characterized for operation from $0^\circ C$ to $70^\circ C$.

SN54LS', SN54S', ... J.P.
 SN74LS', SN74S', ... DW, J.D.
 (TOP VIEW)

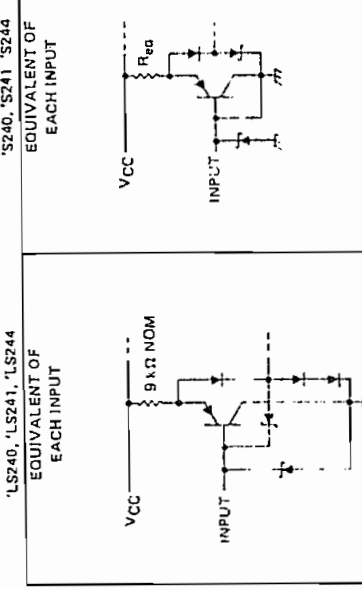


SN54LS', SN54S', ... FK
 SN74LS', SN74S', ... FN
 (TOP VIEW)



*2G for 'LS241 and 'S241 or 2G for 'LS240, 'S240, 'LS241, 'LS244

schematics of inputs and outputs



G and G inputs Reg = 2 k Ω NOM
 A inputs Reg = 2.8 k Ω NOM

PRODUCTION DATA
 This document contains information current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.



TEXAS INSTRUMENTS
 POST OFFICE BOX 225617 • DALLAS, TEXAS 75286

recommended operating conditions

PARAMETER	SN54LS*			SN74LS*		
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX
V _{CC} Supply voltage (see Note 1)	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25
V _{IH} High-level input voltage	2			2		
V _{IL} Low-level input voltage			0.7			0.8
I _{OH} High-level output current			-12			-12
I _{OL} Low-level output current			12			12
T _A Operating free-air temperature	-55	125	0			

NOTE 1 Voltage values are with respect to network ground terminal.

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	SN54LS*		SN74LS*	
		MIN	TYP ‡	MIN	TYP ‡
V _{IK}	V _{CC} = MIN, I _I = -18 mA				
Hysteresis (V _{T+} - V _{T-})	V _{CC} = MIN	0.2	0.4	0.2	0.2
V _{OH}	V _{CC} = MIN, V _{IH} = 2 V, V _{IL} = MAX				
	I _{OH} = -5 mA	2.4	3.4	2.4	2.4
V _{OL}	V _{CC} = MIN, V _{IH} = 2 V, V _{IL} = 0.5 V, I _{OH} = MAX				
	I _{OL} = 12 mA	2		2	2
I _{OZH}	V _{CC} = MIN, V _{IH} = 2 V, V _{IL} = MAX				
	I _{OL} = 24 mA				
I _{OZL}	V _{CC} = MAX, V _{IH} = 2 V, V _{IL} = MAX				
	V _O = 2.7 V				
I _{IH}	V _{CC} = MAX, V _{IH} = 2 V, V _{IL} = 0.4 V				
	V _O = 0.4 V				
I _{IH}	V _{CC} = MAX, V _{IH} = 7 V				
	V _O = 2.7 V				
I _{IL}	V _{CC} = MAX, V _{IH} = 2 V, V _{IL} = 0.4 V				
	V _O = 0.2 V				
I _{OSS}	V _{CC} = MAX, V _{IH} = 0.2 V				
	V _{IL} = 0.4 V	-40	-225	-40	-40
I _{CC}	Output high	All	17	27	
	Output low	'LS240	26	44	
	All outputs disabled	'LS241, 'LS244	27	46	
		'LS240	29	50	
		'LS241, 'LS244	32	54	

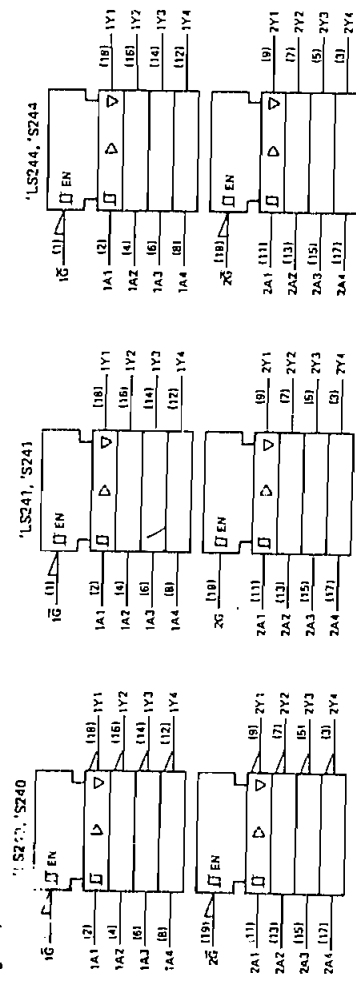
† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.
‡ All typical values are at V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C.
§ Not more than one output should be shorted at a time, and duration of the short-circuit should not exceed one second.

switching characteristics, V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C

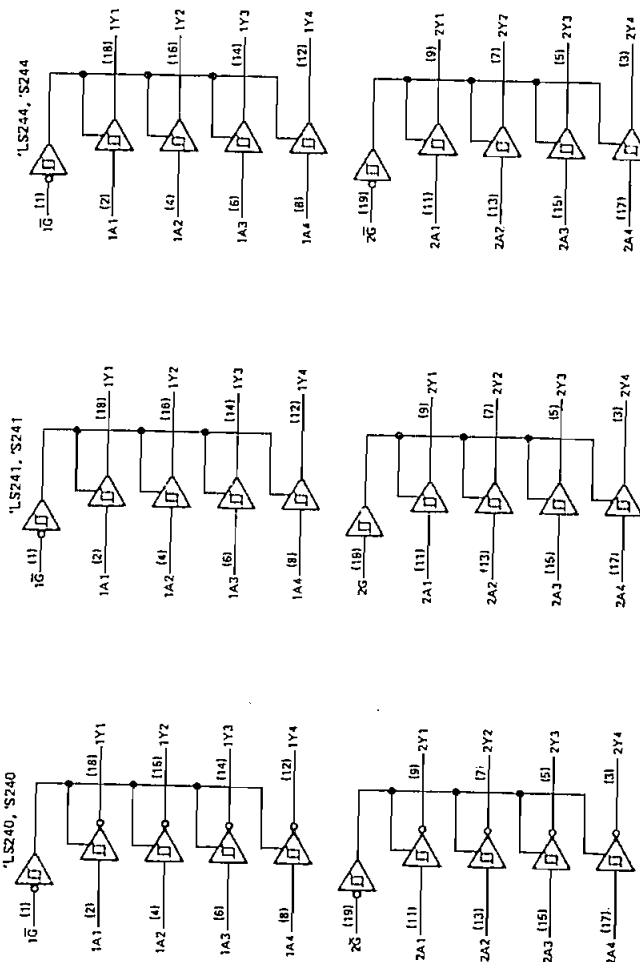
PARAMETER	TEST CONDITIONS	'LS240		'LS241, 'LS244			
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX
t _{PLH}	R _L = 667 Ω, C _L = 45 pF, See Note 2		9	14			
t _{PHL}		12	18	1	1		
t _{pZL}	R _L = 667 Ω, C _L = 45 pF, See Note 2		20	30			
t _{pLZ}		15	20	1	1		
t _{PHZ}			10	20			
			15	25			

NOTE 2 See General Information Section for more circuit and voltage waveforms.

logic symbols



logic diagrams (positive logic)



Pin numbers shown on logic notation are for DW, J or N packages.

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

Supply voltage, V _{CC} (see Note 1)	7 V
Input voltage, 'LS Circuits	7 V
'S Circuits	5.5 V
Off-state output voltage	5.5 V
Operating free-air temperature range: SN54LS', SN54S' Circuits	-55°C to 125°C
SN74LS', SN74S' Circuits	0°C to 70°C
Storage temperature range	-65°C to 150°C

NOTE 1 Voltage values are with respect to network ground terminal.

recommended operating conditions

PARAMETER	SN54S ¹			SN74S ²			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
V _{CC} Supply voltage. (See Note 1)	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
V _{IH} High-level input voltage	2			2			V
V _{IL} Low-level input voltage			0.8			0.8	V
I _{OH} High-level output current			-12			-15	mA
I _{OL} Low-level output current			48			64	mA
External resistance between any input and V _{CC} or ground			40			40	k Ω
T _A Operating free-air temperature (See Note 3)	-55		125	0		70	$^{\circ}$ C

NOTES: 1. Voltage values are with respect to network ground terminal.
 2. An SN54S241J operating at free-air temperature above 116 $^{\circ}$ C requires a heat sink that provides a thermal resistance from case to free-air, R_{θCA}, of not more than 40 $^{\circ}$ C/W.

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS ¹	SN54S ¹			SN74S ²			UNIT
		MIN	TYP ³	MAX	MIN	TYP ³	MAX	
V _{IK} Hysteresis (V _{T+} - V _{T-})	V _{CC} = MIN, I _I = -18 mA			-1.2			-1.2	V
	V _{CC} = MIN	0.2	0.4		0.2	0.4		V
	V _{CC} = MIN, V _{IH} = 2 V, V _{IL} = 0.8 V, I _{OH} = -1 mA				2.7			V
V _{OH}	V _{CC} = MIN, V _{IH} = 2 V, V _{IL} = 0.8 V, I _{OH} = -3 mA	2.4	3.4		2.4	3.4		V
	V _{CC} = MIN, V _{IH} = 2 V, V _{IL} = 0.5 V, I _{OH} = MAX			2			2	V
	V _{CC} = MIN, V _{IH} = 2 V, V _{IL} = 0.8 V, I _{OL} = MAX			0.55			0.55	V
I _{OZH}	V _{CC} = MAX, V _{IH} = 2 V, V _O = 2.4 V			50			50	μ A
	V _{CC} = MAX, V _{IH} = 2 V, V _O = 0.5 V			-50			-50	μ A
I _I	V _{CC} = MAX, V _I = 5.5 V			1			1	mA
	V _{CC} = MAX, V _I = 2.7 V			50			50	μ A
I _{IL}	V _{CC} = MAX, V _I = 0.5 V			-400			-400	μ A
	V _{CC} = MAX			-2			-2	mA
I _{OS\S}	V _{CC} = MAX	-50		-225	-50		-225	mA
	Outputs high		80	123		80	135	
	Outputs low		95	147		95	160	
	Outputs disabled		100	145		100	150	
I _{CC}	V _{CC} = MAX, Outputs open		120	170		120	180	mA
	V _{CC} = MAX, Outputs disabled		100	145		100	150	
	V _{CC} = MAX, Outputs disabled		120	170		120	180	

¹ For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

² All typical values are at V_{CC} = 5 V, T_A = 25 $^{\circ}$ C.

³ Not more than one output should be shorted at a time, and duration of the short-circuit should not exceed one second.

switching characteristics, V_{CC} = 5 V, T_A = 25 $^{\circ}$ C

PARAMETER	TEST CONDITIONS			'S240		'S241	
	MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
t _{PLH}				4.5	7		
t _{PHL}				4.5	7		
t _{PZL}				10	15		
t _{PZH}				6.5	10		
t _{PLZ}				10	15		
t _{PHZ}				6	9		

R_L = 90 Ω ,
See Note 4

C_L = 50 pF,

R_L = 90 Ω ,
See Note 4

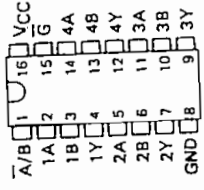
C_L = 5 pF,

NOTE 4: See General Information Section for load circuits and voltage waveforms.

SN54LS157, SN54LS157, SN54S157, SN54S157
 SN54LS158, SN54S158 ... J OR W PACKAGE
 SN54LS157, SN54S157 ... J PACKAGE
 SN74LS157, SN74S157, SN74S157, SN74S157
 SN74LS158, SN74S158 ... D, J OR N PACKAGE

Buffered Inputs and Outputs
 Three Speed/Power Ranges Available

TYPES	TYPICAL AVERAGE PROPAGATION TIME	TYPICAL POWER DISSIPATION
'157	9 ns	150 mW
'LS157	18 ns	75 mW
'S157	5 ns	48 mW
'LS158	7 ns	250 mW
'S158	4 ns	24 mW
		195 mW



SN54LS157, SN54S157, SN54LS158, SN54S158 ... FK PACKAGE
 SN74LS157, SN74S157, SN74LS158, SN74S158 ... FN PACKAGE

- Expand Any Data Input Point
- Multiplex Dual Data Buses
- Generate Four Functions of Two Variables (One Variable Is Common)
- Source Programmable Counters

description

These monolithic data selectors/multiplexers contain inverters and drivers to supply full on-chip data selection to the four output gates. A separate strobe input is provided. A 4-bit word is selected from one of two sources and is routed to the four outputs. The '157, 'LS157, and 'S157 present true data whereas the 'LS158 and 'S158 present inverted data to minimize propagation delay time.

NC - No internal connection

STROBE S	FUNCTION TABLE			
	INPUTS		OUTPUT	
SELECT A/B	A	B	'157, 'LS157, 'S157	'LS158, 'S158
X	X	X	L	H
L	L	X	X	H
L	L	L	X	L
L	L	L	L	H
L	L	L	L	L
L	L	L	L	H

H = high level, L = low level, X = irrelevant

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

Supply voltage, VCC (See Note 1)	7 V
Input voltage: '157, 'LS157, 'S158	5.5 V
'LS157, 'LS158	7 V
Operating free-air temperature range: SN54 [†]	-55°C to 125°C
SN74 [‡]	0°C to 70°C
Storage temperature range	-65°C to 150°C

Storage temperature range ... Voltage - select pins with respect to network ground terminal.

PRODUCTION DATA
 This document contains information pertinent to the production of Texas Instruments integrated circuits. It is not intended for general distribution and is not to be used for marketing purposes.

TEXAS INSTRUMENTS
 5001 RICE BLVD., DALLAS, TEXAS 75268

recommended operating conditions

PARAMETER	SN54LS156		SN74LS156		UNIT
	MIN	MAX	MIN	MAX	
Supply voltage, VCC	4.5	5.5	4.75	5	V
High-level output voltage, VOH	5.5	5.5	5.5	5.5	V
Low-level output current, IOL	4	4	8	8	mA
Operating free-air temperature, TA	-55	125	0	70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS ¹		SN54LS156		SN74LS156		UNIT
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
V _{IH}	High-level input voltage		2	0.7	2	0.8	V
V _{IL}	Low-level input voltage			-1.5		-1.5	V
V _{IK}	Input clamp voltage			-1.5		-1.5	V
I _{OH}	High-level output current			100		100	µA
VOL	Low-level output voltage		V _{CC} = MIN, V _{IH} = 2 V, V _{IL} = V _{IL} max, V _{OH} = 5.5 V	0.25	0.4	0.25	0.4
			V _{CC} = MIN, V _{IH} = 2 V, V _{IL} = V _{IL} max	0.25	0.4	0.35	0.5
			V _{CC} = MAX, V _I = 7 V	0.1	0.1	0.1	0.1
I _I	Input current at maximum input voltage			20		20	µA
I _{IH}	High-level input current			-0.4		-0.4	mA
I _{IL}	Low-level input current			6.1		6.1	mA
I _{CC}	Supply current			6.1		6.1	mA

¹ For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.
² All typical values are at V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C.
 NOTE 2: I_{CC} is measured with outputs open, A, B, and 1C inputs at 4.5 V, and 2C, 1G, and 2G inputs grounded

switching characteristics, V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C

PARAMETER ¹	FROM (INPUT)	TO (OUTPUT)	LEVELS OF LOGIC	TEST CONDITIONS		UNIT
				MIN	MAX	
t _{PLH}	A, B, 2C 1G, or 2G	Y	2	25	40	ns
t _{PHL}	A, B, 2C 1G, or 2G	Y	2	34	51	ns
t _{PLH}	A or B	Y	3	31	46	ns
t _{PHL}	A or B	Y	3	34	51	ns
t _{PLH}	1C	Y	3	32	48	ns
t _{PHL}	1C	Y	3	32	48	ns

¹ t_{PLH} = propagation delay time, low-to-high-level output
² t_{PHL} = propagation delay time, high-to-low-level output
 NOTE 3: See General Information Section for load circuits and voltage waveforms

recommended operating conditions

PARAMETER	SN5ALS ¹			SN7ALS ¹			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
V _{CC} Supply voltage	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
I _{OH} High-level output current			-400			-400	μA
I _{OL} Low-level output current			4			8	mA
T _A Operating free-air temperature	-55	125	0	0	70	70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS ¹			SN7ALS ¹			UNIT
	MIN	TYP ²	MAX	MIN	TYP ²	MAX	
V _{IH} High-level input voltage			0.7			0.8	V
V _{IL} Low-level input voltage			-1.5			-1.5	V
V _{IK} Input clamp voltage							V
V _{OH} High-level output voltage	V _{CC} = MIN, I _L = -18 mA			2.5	3.4		V
V _{OL} Low-level output voltage	V _{CC} = MIN, V _{IH} = 2 V, I _{OL} = 4 mA		0.25	0.4	0.25	0.4	V
	V _{IL} = MAX, V _{IH} = 2 V, I _{OL} = 8 mA		0.35	0.5			V
I _I Input current at maximum input voltage	\bar{A}/\bar{B} or \bar{C}		0.2			0.2	mA
	A or B		0.1			0.1	mA
I _{IH} High-level input current	\bar{A}/\bar{B} or \bar{C}		40			40	μA
	A or B		20			20	μA
I _{IL} Low-level input current	\bar{A}/\bar{B} or \bar{C}		-0.8			-0.8	mA
	A or B		-0.4			-0.4	mA
I _{OS} Short-circuit output current [§]	V _{CC} = MAX, V _I = 0 V		-20	-100	-20	-100	mA
	V _{CC} = MAX		9.7	16	9.7	15	mA
I _{CC} Supply current	V _{CC} = MAX, See Note 2		4.8	8	4.8	8	mA
	V _{CC} = MAX, All A inputs at 4.5 V, All other inputs at 0 V		6.5	11	6.5	11	mA
	V _{CC} = MAX, See Note 2		9.7	16	9.7	15	mA

¹ For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.
² All typical values are at V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C.
³ Not more than one output should be shorted at a time and duration of short-circuit should not exceed one second.
⁴ I_{CC} is measured with 4.5 V applied to all inputs and all outputs open.

switching characteristics, V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C

PARAMETER ¹	FROM (INPUT)	TEST CONDITIONS			'LS157			'LS158			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
t _{PLH}	Data				9	14		7	12		ns
t _{PHL}	Strobe \bar{C}				9	14		10	15		ns
t _{PLH}	Strobe \bar{C}				13	20		11	17		ns
t _{PHL}	Strobe \bar{C}				14	21		18	2		ns
t _{PLH}	Select \bar{A}/\bar{B}				15	23		13	20		ns
t _{PHL}	Select \bar{A}/\bar{B}				18	27		16	24		ns

¹ t_{PLH} = propagation delay time, low-to-high-level output
t_{PHL} = propagation delay time, high-to-low-level output
NOTE 3: See General Information Section for load circuits and voltage waveforms

recommended operating conditions

PARAMETER	MIN	NOM	MAX	UNIT
V _{CC} Supply voltage	4.5	5	5.5	V
I _{OH} High-level output current			-400	μA
I _{OL} Low-level output current			8	mA
T _A Operating free-air temperature	-55	125	125	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS ¹	MIN	TYP ²	MAX	UNIT
V _{IH} High-level input voltage			2		V
V _{IL} Low-level input voltage				0.8	V
V _{IK} Input clamp voltage				-1.5	V
V _{OH} High-level output voltage	V _{CC} = MIN, I _L = -12 mA				V
	V _{IL} = 0.8 V, V _{IH} = 2 V, I _{OH} = -400 μA	2.4	3.4		V
V _{OL} Low-level output voltage	V _{CC} = MIN, V _{IH} = 2 V, V _{IL} = 0.8 V, I _{OL} = 8 mA			0.2	V
	V _{CC} = MAX, V _I = 5.5 V			0.4	V
I _I Input current at maximum input voltage				1	mA
I _{IH} High-level input current				20	μA
I _{IL} Low-level input current				-0.8	mA
I _{OS} Short-circuit output current [§]				-9	mA
I _{CC} Supply current				15	mA

¹ For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.
² All typical values are at V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C.
³ Not more than one output should be shorted at a time.
⁴ I_{CC} is measured with 4.5 V applied to all inputs and all outputs open.

switching characteristics, V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C

PARAMETER ¹	FROM (INPUT)	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
t _{PLH}	Data			18	28	ns
t _{PHL}	Strobe \bar{C}			26	40	ns
t _{PLH}	Select \bar{A}/\bar{B}			28	42	ns
t _{PHL}	Select \bar{A}/\bar{B}			30	46	ns
t _{PHL}	Select \bar{A}/\bar{B}			36	54	ns

¹ t_{PLH} = propagation delay time, low-to-high-level output
t_{PHL} = propagation delay time, high-to-low-level output
NOTE 3: See General Information Section for load circuits and voltage waveforms

recommended operating conditions

	SN54157			SN74157			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V_{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, I_{OH}			-800			-800	μ A
Low-level output current, I_{OL}			16			16	mA
Operating free-air temperature, T_A	-55		125	0		70	$^{\circ}$ C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS ¹			SN74157			UNIT
	MIN	TYP [†]	MAX	MIN	TYP [†]	MAX	
V_{IH} High-level input voltage			0.8			0.8	V
V_{IL} Low-level input voltage			-1.5			-1.5	V
V_{IK} Input clamp voltage							V
V_{OH} High-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN}, I_L = -12 \text{ mA}$	2.4	3.4	2.4	3.4		V
V_{OL} Low-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN}, V_{IH} = 2 \text{ V}, V_{IL} = 0.8 \text{ V}, I_{OH} = -800 \mu\text{A}$						V
I_I Input current at maximum input voltage	$V_{CC} = \text{MIN}, V_{IH} = 2 \text{ V}, V_{IL} = 0.8 \text{ V}, I_{OL} = 16 \text{ mA}$	0.2	0.4	0.2	0.4		V
I_{IH} High-level input current	$V_{CC} = \text{MAX}, V_I = 5.5 \text{ V}$		1		1		mA
I_{IL} Low-level input current	$V_{CC} = \text{MAX}, V_I = 2.4 \text{ V}$		40		40		μ A
I_{OS} Short-circuit output current [‡]	$V_{CC} = \text{MAX}, V_I = 0.4 \text{ V}$	-20	-55	-18	-55		mA
I_{CC} Supply current	$V_{CC} = \text{MAX}$, See Note 2	30	48	30	48		mA

¹For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

[†]All typical values are at $V_{CC} = 5 \text{ V}, T_A = 25^{\circ}\text{C}$.

[‡]Not more than one output should be shorted at a time and duration of short-circuit should not exceed one second.

NOTE 2: I_{CC} is measured with 4.5 V applied to all inputs and all outputs open.

switching characteristics, $V_{CC} = 5 \text{ V}, T_A = 25^{\circ}\text{C}$

PARAMETER [‡]	FROM (INPUT)	TEST CONDITIONS			MIN	TYP	MAX	UNIT
t_{PLH}	Data	$C_L = 15 \text{ pF}, R_L = 400 \Omega$, See Note 3			9	14		ns
t_{PHL}	Strobe \bar{G}				9	14		ns
t_{PLH}	Strobe \bar{G}				13	20		ns
t_{PHL}	Select \bar{A}/\bar{B}				14	21		ns
t_{PLH}					15	23		ns
t_{PHL}					18	27		ns

[‡] t_{PLH} propagation delay time, low-to-high-level output

t_{PHL} propagation delay time, high-to-low-level output

NOTE 3: See General Information Section for load circuits and voltage waveforms

recommended operating conditions

	MIN	NOM	MAX	UNIT
V_{CC} Supply voltage	4.5	5	5.5	V
I_{OH} High-level output current			-400	μ A
I_{OL} Low-level output current			8	mA
T_A Operating free-air temperature	-55		125	$^{\circ}$ C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS ¹			MIN	TYP	MAX	UNIT
V_{IH} High-level input voltage				2			V
V_{IL} Low-level input voltage						0.8	V
V_{IK} Input clamp voltage						-1.5	V
V_{OH} High-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN}, I_L = -12 \text{ mA}$	2.4	3.4	2.4	3.4		V
V_{OL} Low-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN}, V_{IH} = 2 \text{ V}, V_{IL} = 0.8 \text{ V}, I_{OH} = -400 \mu\text{A}$						V
I_I Input current at maximum input voltage	$V_{CC} = \text{MIN}, V_{IH} = 2 \text{ V}, V_{IL} = 0.8 \text{ V}, I_{OL} = 8 \text{ mA}$	0.2	0.4	0.2	0.4		V
I_{IH} High-level input current	$V_{CC} = \text{MAX}, V_I = 5.5 \text{ V}$		1		1		mA
I_{IL} Low-level input current	$V_{CC} = \text{MAX}, V_I = 2.4 \text{ V}$		20		20		μ A
I_{OS} Short-circuit output current [‡]	$V_{CC} = \text{MAX}, V_I = 0.4 \text{ V}$	-9	-28	-9	-28		mA
I_{CC} Supply current	$V_{CC} = \text{MAX}$, See Note 2	15	24	15	24		mA

¹For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

[†]All typical values are at $V_{CC} = 5 \text{ V}, T_A = 25^{\circ}\text{C}$.

[‡]Not more than one output should be shorted at a time.

NOTE 2: I_{CC} is measured with 4.5 V applied to all inputs and all outputs open.

switching characteristics, $V_{CC} = 5 \text{ V}, T_A = 25^{\circ}\text{C}$

PARAMETER [‡]	FROM (INPUT)	TEST CONDITIONS			MIN	TYP	MAX	UNIT
t_{PLH}	Data	$C_L = 15 \text{ pF}, R_L = 800 \Omega$, See Note 3			18	28		ns
t_{PHL}	Strobe \bar{G}				18	28		ns
t_{PLH}	Strobe \bar{G}				26	40		ns
t_{PHL}	Select \bar{A}/\bar{B}				26	42		ns
t_{PLH}					30	46		ns
t_{PHL}					36	54		ns

[‡] t_{PLH} propagation delay time, low-to-high-level output

t_{PHL} propagation delay time, high-to-low-level output

NOTE 3: See General Information Section for load circuits and voltage waveforms

recommended operating conditions

PARAMETER	SN54LS157			SN74ALS157			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
V _{CC} Supply voltage	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
I _{OH} High-level output current	-400			-400			μA
I _{OL} Low-level output current	4			8			mA
T _A Operating free-air temperature	-55		125	0		70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS ¹			SN54LS157			SN74ALS157			UNIT
	MIN	TYP ²	MAX	MIN	TYP ²	MAX	MIN	TYP ²	MAX	
V _{IH} High-level input voltage	V _{CC} - MIN, I _I = -18 mA			2			2			V
V _{IL} Low-level input voltage	V _{CC} - MIN, V _{IH} = 2 V, I _{OH} = -400 μA									V
V _{IK} Input clamp voltage	V _{CC} - MAX, I _{OH} = -400 μA			2.5	3.4		2.7	3.4		V
V _{OH} High-level output voltage	V _{CC} - MIN, V _{IH} = 2 V, I _{OL} = 4 mA			0.25	0.4		0.25	0.4		V
V _{OL} Low-level output voltage	V _{CC} - MAX, V _{IH} = 2 V, I _{OL} = 8 mA						0.35	0.5		V
I _I Input current at maximum input voltage	V _{CC} - MAX, V _I = 7 V			0.2			0.2			mA
I _{IH} High-level input current	V _{CC} - MAX, V _I = 2.7 V			0.1			0.1			mA
I _{IL} Low-level input current	V _{CC} - MAX, V _I = 0.4 V			40			40			μA
I _{OS} Short-circuit output current ³	V _{CC} - MAX			-20			-20			mA
I _{CC} Supply current	All A inputs at 4.5 V, All other inputs at 0 V			9.7	16		9.7	16		mA

¹ For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.
² All typical values are at V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C.
³ Not more than one output should be shorted at a time and duration of short-circuit should not exceed one second.
 NOTE 2: I_{CC} is measured with 4.5 V applied to all inputs and all outputs open.

switching characteristics, V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C

PARAMETER ¹	FROM (INPUT)	TEST CONDITIONS			'LS157			'LS158			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
t _{PLH}	Data	9	14		9	14		7	12		ns
t _{PHL}	Strobe \bar{C}	9	14		9	14		10	15		ns
t _{PLH}	Strobe \bar{C}	13	20		13	20		11	17		ns
t _{PHL}	Select \bar{A}/\bar{B}	14	21		14	21		18	2		ns
t _{PLH}		15	23		15	23		13	20		ns
t _{PHL}		18	27		18	27		16	24		ns

¹ t_{PLH} = propagation delay time, low-to-high-level output
 t_{PHL} = propagation delay time, high-to-low-level output
 NOTE 3: See General Information Section for load circuits and voltage waveforms

recommended operating conditions

PARAMETER	SN54S157			SN74S157			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
V _{CC} Supply voltage	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
I _{OH} High-level output current	-1			-1			mA
I _{OL} Low-level output current	20			20			mA
T _A Operating free-air temperature	-55		125	0		70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS ¹			SN54S157			SN74S158			UNIT
	MIN	TYP ²	MAX	MIN	TYP ²	MAX	MIN	TYP ²	MAX	
V _{IH} High-level input voltage	V _{CC} - MIN, I _I = -18 mA			2			2			V
V _{IL} Low-level input voltage	V _{CC} - MIN, V _{IH} = 2 V, Series 54S			2.5	3.4		2.5	3.4		V
V _{IK} Input clamp voltage	V _{IL} = 0.8 V, I _{OH} = -1 mA Series 74S			2.7	3.4		2.7	3.4		V
V _{OH} High-level output voltage	V _{CC} - MIN, V _{IH} = 2 V, V _{OL} = 0.8 V, V _I = 5.5 V			0.5			0.5			V
V _{OL} Low-level output voltage	V _{CC} - MAX, V _I = 5.5 V			1			1			V
I _I Input current at maximum input voltage	V _{CC} - MAX, V _I = 2.7 V			100			100			μA
I _{IH} High-level input current	V _{CC} - MAX, V _I = 0.5 V			50			50			μA
I _{IL} Low-level input current	V _{CC} - MAX, V _I = 0.5 V			-4			-4			mA
I _{OS} Short-circuit output current ³	V _{CC} - MAX			-40			-40			mA
I _{CC} Supply current	V _{CC} - MAX, All inputs at 4.5 V, See Note 2			50	78		39	61		mA
	V _{CC} - MAX, A inputs at 4.5 V, B,G,S inputs at 0 V, See Note 2									81

¹ For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.
² All typical values are at V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C.
³ Not more than one output should be shorted at a time, and duration of the short-circuit should not exceed one second.
 NOTE 2: I_{CC} is measured with all outputs open.

switching characteristics, V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C

PARAMETER ¹	FROM (INPUT)	TEST CONDITIONS			SN54S157			SN74S158			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
t _{PLH}	Data	5	7.5		4	6		4	6		ns
t _{PHL}	Strobe \bar{C}	4.5	6.5		4	6		4	6		ns
t _{PLH}	Select \bar{A}/\bar{B}	8.5	12.5		6.5	11.5		6.5	11.5		ns
t _{PHL}		7.5	12		7	12		7	12		ns
t _{PLH}		9.5	15		8	12		8	12		ns
t _{PHL}		9.5	15		8	12		8	12		ns

¹ t_{PLH} = propagation delay time, low-to-high-level output
 t_{PHL} = propagation delay time, high-to-low-level output
 NOTE 3: See General Information Section for load circuits and voltage waveforms

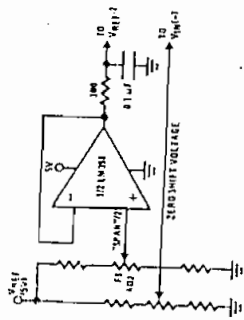


FIGURE 19. Dissetting the Zero of the ADC0801 and Performing an Input Range (Span) Adjustment

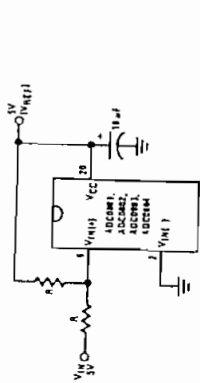


FIGURE 20. Handling 5V Analog Input Range

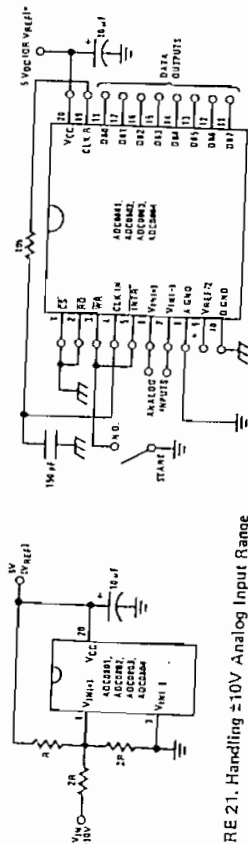


FIGURE 21. Handling ±10V Analog Input Range

FIGURE 22. Free Running Connection

TEMPERATURE RANGE	-40 C TO +85 C	-55 C TO +125 C
*1.5 Bit Adjusted	ADC0801LCN	ADC0801LCO
*1.2 Bit Unadjusted	ADC0802LCN	ADC0802LCO
*1.2 Bit Adjusted	ADC0803LCN	ADC0803LCO
*1 Bit Unadjusted	ADC0804LCN	ADC0804LCO
PACKAGE OUTLINE	N20A-WOLDED DIP	D20A-CAVITY DIP

Ordering Information

ADC0808, ADC0809 8-Bit μ P Compatible A/D Converters With 8-Channel Multiplexer

General Description

The ADC0808, ADC0809 data acquisition component is a monolithic CMOS device with an 8-bit analog-to-digital converter, 8-channel multiplexer, and microprocessor compatible control logic. The 8-bit A/D converter uses successive approximation as the conversion technique. The converter features a high impedance chopper stabilized comparator, a 256R voltage divider with analog switch tree and a successive approximation register. The 8-channel multiplexer can directly access any of 8 single-ended analog signals.

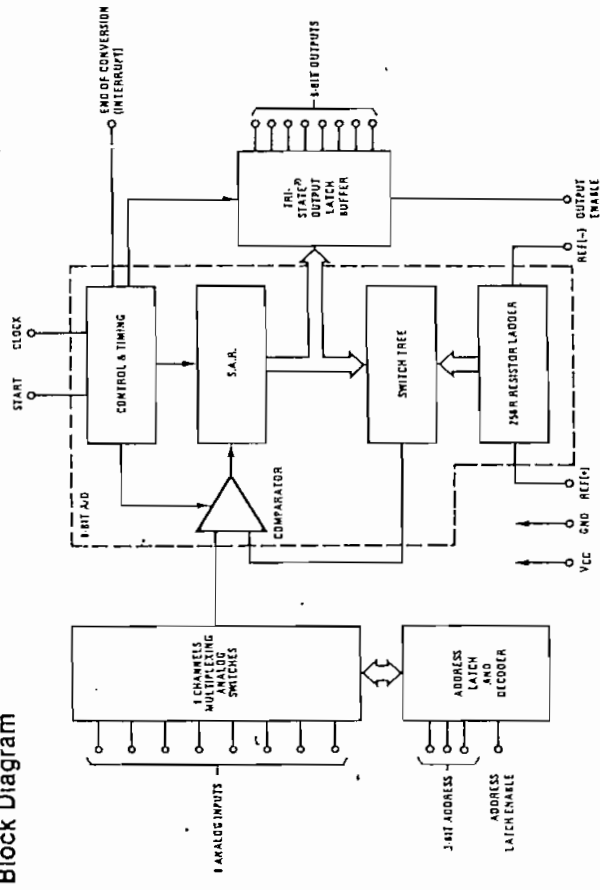
The device eliminates the need for external zero and full-scale adjustments. Easy interfacing to microprocessors is provided by the latched and decoded multiplexer address inputs and latched TTL TRI-STATE[®] outputs.

The design of the ADC0808, ADC0809 has been optimized by incorporating the most desirable aspects of several A/D conversion techniques. The ADC0808, ADC0809 offers high speed, high accuracy, minimal temperature dependence, excellent long-term accuracy and repeatability, and consumes minimal power. These features make this device ideally suited to applications from process and machine control to consumer and automotive applications. For 18-channel multiplexer with common output (sample/hold port) see ADC0816 data sheet.

Features

- Resolution — 8-bits
- Total unadjusted error — $\pm 1/2$ LSB and ± 1 LSB
- No missing codes
- Conversion time — 100 μ s
- Single supply — 5 V_{DC}
- Operates ratiometrically or with 5 V_{DC} or analog span adjusted voltage reference
- 8-channel multiplexer with latched control logic
- Easy interface to all microprocessors, or operates "stand alone"
- Outputs meet T_L voltage level specifications
- 0V to 5V analog input voltage range with single 5V supply
- No zero or full-scale adjust required
- Standard hermetic or molded 28-pin DIP package
- Temperature range — 40°C to +85°C or —55°C to +125°C
- Low power consumption — 15 mW
- Latched TRI-STATE[®] output

Block Diagram



Electrical Characteristics (Continued)

Digital Levels and DC Specifications: ADC0808CJ 4.5V ≤ V_{CC} ≤ 5.5V, -55°C ≤ T_A ≤ +125°C unless otherwise noted
 ADC0808CCJ, ADC0808CCN, and ADC0809CCN 4.75 ≤ V_{CC} ≤ 5.25V, -40°C ≤ T_A ≤ +85°C unless otherwise noted

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
DATA OUTPUTS AND EOC (INTERRUPT)					
V _{OUT(1)}	Logical "1" Output Voltage	V _{CC} -0.4			V
V _{OUT(0)}	Logical "0" Output Voltage			0.45	V
V _{OUT(0)}	Logical "0" Output Voltage EOC			0.45	V
I _{OUT}	TRI-STATE Output Current			3	μA
				-3	μA

Electrical Characteristics

Timing Specifications: V_{CC} = V_{REF(+)} = 5V, V_{REF(-)} = GND, t_r = t_f = 20 ns and T_A = 25°C unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
t _{WS}	Minimum Start Pulse Width	(Figure 5)		100	200	ns
t _{WALE}	Minimum ALE Pulse Width	(Figure 5)		100	200	ns
t _S	Minimum Address Set-Up Time	(Figure 5)		25	50	ns
t _H	Minimum Address Hold Time	(Figure 5)		25	50	ns
t ₀	Analog MUX Delay Time From ALE	R _S = 0Ω (Figure 5)		1	2.5	μs
t _{H1} , t _{H0}	OE Control to 0 Logic State	C _L = 50 pF, R _L = 10k (Figure 8)		125	250	ns
t _{1H} , t _{0H}	OE Control to Hi-Z	C _L = 10 pF, R _L = 10k (Figure 8)		125	250	ns
t _C	Conversion Time	f _C = 640 kHz, (Figure 5) (Note 7)	90	100	116	μs
f _C	Clock Frequency		10	640	1280	kHz
t _{EOC}	EOC Delay Time	(Figure 5)	0		8+2	μs
C _{IN}	Input Capacitance	All Control Inputs		10	15	pF
C _{OUT}	TRI-STATE [®] Output Capacitance	All TRI-STATE [®] Outputs, (Note 12)		10	15	pF

Note 1: Absolute maximum ratings are those values beyond which the life of the device may be impaired.

Note 2: All voltages are measured with respect to GND, unless otherwise specified.

Note 3: A series diode exists, internally, from V_{CC} to GND and has a typical breakdown voltage of 7 VDC.

Note 4: Two on-chip diodes are tied to each analog input which will forward conduct for analog input voltages one diode drop below ground or one diode drop greater than the V_{CC} supply. The spec allows 100 mV forward bias of either diode. This means that as long as the analog V_{IN} does not exceed the supply voltage by more than 100 mV, the output code will be correct. To achieve an absolute 0VDC to 5VDC input voltage range will therefore require a minimum supply voltage of 4.900 VDC over temperature variations, initial tolerance and loading.

Note 5: Total unadjusted error includes offset, full-scale, linearity, and multiplier errors. See Figure 3. None of these A/Ds requires a zero or full-scale adjust. However, if an all-zero code is desired for an analog input other than 0.0V, or if a narrow full-scale span exists (for example, 0.5V to 4.5V full-scale) the reference voltage can be adjusted to achieve this. See Figure 12.

Note 6: Comparator input current is a bias current into or out of the chopper stabilized comparator. The bias current varies directly with clock frequency and has little temperature dependence (Figure 6). See paragraph 4.0.

Note 7: The outputs of the data register are updated one clock cycle before the rising edge of EOC.

Operating Ratings (Notes 1 and 2)

Temperature Range (Note 1)
 ADC0808CJ
 ADC0808CCJ, ADC0808CCN, ADC0809CCN
 Range of V_{CC} (Note 1)

Supply Voltage (V_{CC}) (Note 3)
 6.5V
 -0.2V to (V_{CC} + 0.3V)
 -0.3V to +15V
 -65°C to +150°C
 Storage Temperature Range
 Package Dissipation at T_A = 25°C
 Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)
 300°C

Absolute Maximum Ratings (Notes 1 and 2)

Temperature Range (Note 1)
 ADC0808CJ
 ADC0808CCJ, ADC0808CCN, ADC0809CCN
 Range of V_{CC} (Note 1)

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
ADC0808					
Total Unadjusted Error (Note 5)	25°C T _{MIN} to T _{MAX}			± 1/2 ± 3/4	LSB LSB
ADC0809					
Total Unadjusted Error (Note 5)	0°C to 70°C T _{MIN} to T _{MAX}			± 1 ± 1/4	LSB LSB
Input Resistance	From Ref(+) to Ref(-) (Note 4) V(+) or V(-) Measured at Ref(+)	1.0	2.5		kΩ
Analog Input Voltage Range	Measured at Ref(+)	GND-0.10	V _{CC}	V _{CC} +0.10	V
Voltage, Top of Ladder		V _{CC} /2-0.1	V _{CC}	V _{CC} +0.1	V
Voltage, Center of Ladder				V _{CC} /2+0.1	V
Voltage, Bottom of Ladder					V
Comparator Input Current	Measured at Ref(-) f _C = 640 kHz, (Note 6)	-0.1	0		μA
		-2	± 0.5	2	μA

Electrical Characteristics

Digital Levels and DC Specifications: ADC0808CJ 4.5V ≤ V_{CC} ≤ 5.5V, -55°C ≤ T_A ≤ +125°C unless otherwise noted
 ADC0808CCJ, ADC0808CCN, and ADC0809CCN 4.75 ≤ V_{CC} ≤ 5.25V, -40°C ≤ T_A ≤ +85°C unless otherwise noted

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
ANALOG MULTIPLEXER					
OFF Channel Leakage Current (REF(+))	V _{CC} = 5V, V _{IN} = 5V, T _A = 25°C T _{MIN} to T _{MAX}		10	200	nA μA
OFF Channel Leakage Current (REF(-))	V _{CC} = 5V, V _{IN} = 0, T _A = 25°C T _{MIN} to T _{MAX}	-200	-10		nA μA

CONTROL INPUTS

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Logical "1" Input Voltage		V _{CC} -1.5			V
Logical "0" Input Voltage				1.5	V
Logical "1" Input Current (The Control Inputs)	V _{IN} = 15V			1.0	μA
Logical "0" Input Current (The Control Inputs)	V _{IN} = 0	-1.0			μA
Supply Current [†]	f _{CLK} = 640 kHz		0.3	3.0	mA

Functional Description (Continued)

The A/D converter's successive approximation register (SAR) is reset on the positive edge of the start conversion (SC) pulse. The conversion is begun on the falling edge of the start conversion pulse. A conversion in process will be interrupted by receipt of a new start conversion pulse. Continuous conversion may be accomplished by tying the end-of-conversion (EOC) output to the SC input. It is in this mode, an external start conversion pulse should be applied after power up. End-of-conversion will go low between 0 and 8 clock pulses after the rising edge of start conversion.

The most important section of the A/D converter is the comparator. It is this section which is responsible for the ultimate accuracy of the entire converter. It is also the

comparator drift which has the greatest influence on the repeatability of the device. A chopper-stabilized comparator provides the most effective method of satisfying all the converter requirements.

The chopper-stabilized comparator converts the DC input signal into an AC signal. This signal is then fed through a high gain AC amplifier and has the DC level restored. This technique limits the drift component of the amplifier since the drift is a DC component which is not passed by the AC amplifier. This makes the entire A/D converter extremely insensitive to temperature, long term drift and input offset errors.

Figure 4 shows a typical error curve for the ADC0808 as measured using the procedures outlined in AN-179.

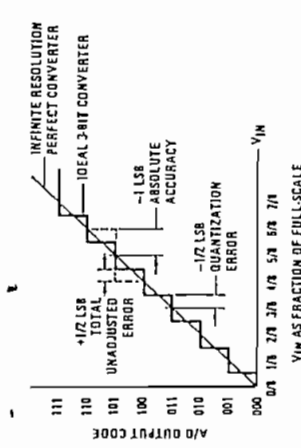


FIGURE 3. 3-Bit A/D Absolute Accuracy Curve

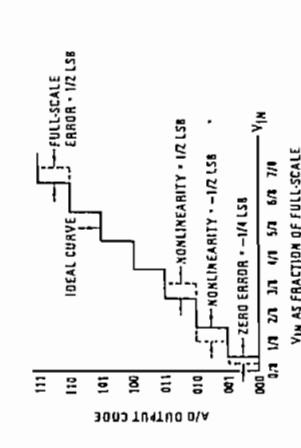


FIGURE 2. 3-Bit A/D Transfer Curve

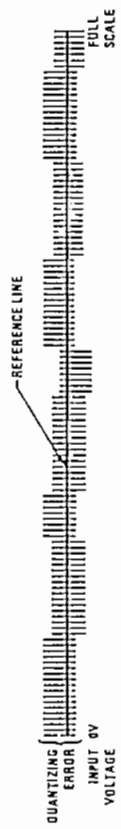


FIGURE 4. Typical Error Curve

to give fast, accurate, and repeatable conversions over a wide range of temperatures. The converter is partitioned into 3 major sections: the 256R ladder network, the successive approximation register, and the comparator. The converter's digital outputs are positive true.

The 256R ladder network approach (Figure 1) was chosen over the conventional R/2R ladder because of its inherent monotonicity, which guarantees no missing digital codes. Monotonicity is particularly important in closed loop feedback control systems. A non-monotonic relationship can cause oscillations that will be catastrophic for the system. Additionally, the 256R network does not cause load variations on the reference voltage.

The bottom resistor and the top resistor of the ladder network in Figure 1 are not the same value as the remainder of the network. The difference in these resistors causes the output characteristic to be symmetrical with the zero and full-scale points of the transfer curve. The first output transition occurs when the analog signal has reached +1/2 LSB and succeeding output transitions occur every 1 LSB later up to full-scale.

The successive approximation register (SAR) performs 8 iterations to approximate the input voltage. For any SAR type converter, n-iterations are required for an n-bit converter. Figure 2 shows a typical example of a 3-bit converter. In the ADC0808, ADC0809, the approximation technique is extended to 8 bits using the 256R network.

Multiplexer. The device contains an 8-channel single-ended analog signal multiplexer. A particular input channel is selected by using the address decoder. Table 1 shows the input states for the address lines to select any channel. The address is latched into the decoder on the low-to-high transition of the address latch enable signal.

TABLE 1

SELECTED ANALOG CHANNEL	ADDRESS LINE		
	C	B	A
IN0	L	L	L
IN1	L	L	H
IN2	L	H	L
IN3	L	H	H
IN4	H	L	L
IN5	H	L	H
IN6	H	H	L
IN7	H	H	H

CONVERTER CHARACTERISTICS

The Converter

The heart of this single chip data acquisition system is its 8-bit analog-to-digital converter. The converter is designed

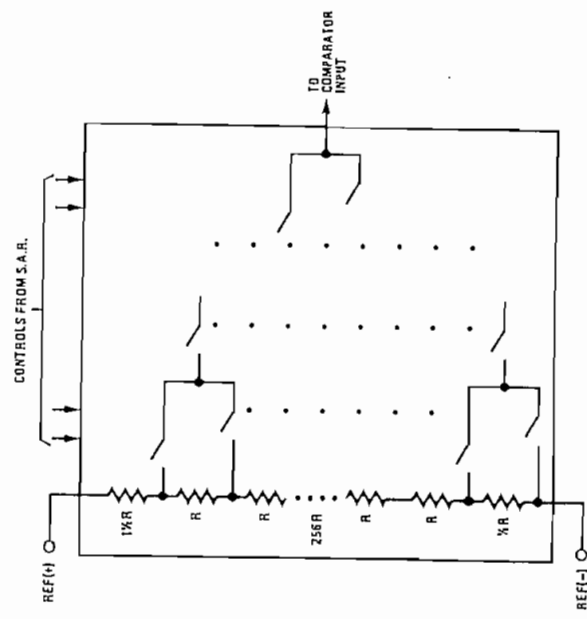


FIGURE 1. Resistor Ladder and Switch Tree

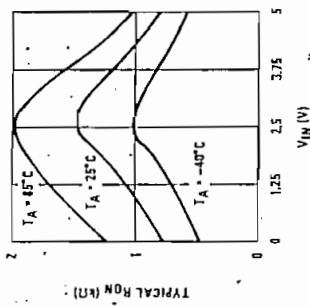


FIGURE 7. Multiplexer RON vs VIN
(VCC = VREF = 5V)

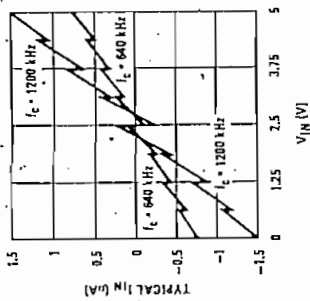


FIGURE 8. Comparator IIN vs VIN
(VCC = VREF = 5V)

TRI-STATE® Test Circuits and Timing Diagrams

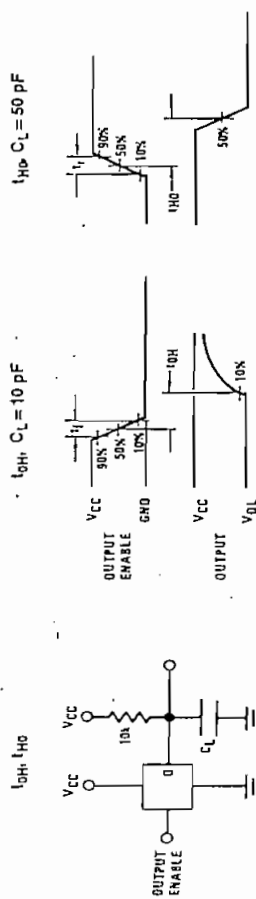
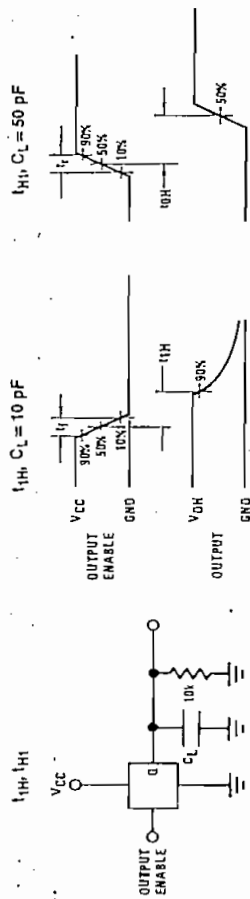
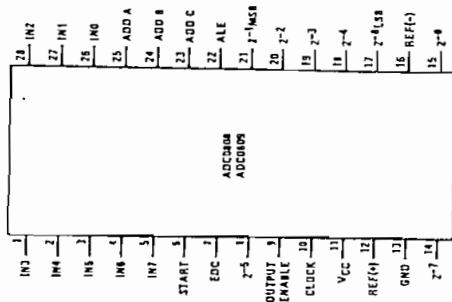


FIGURE 8

Dual-In-Line Package



TOP VIEW

Timing Diagram

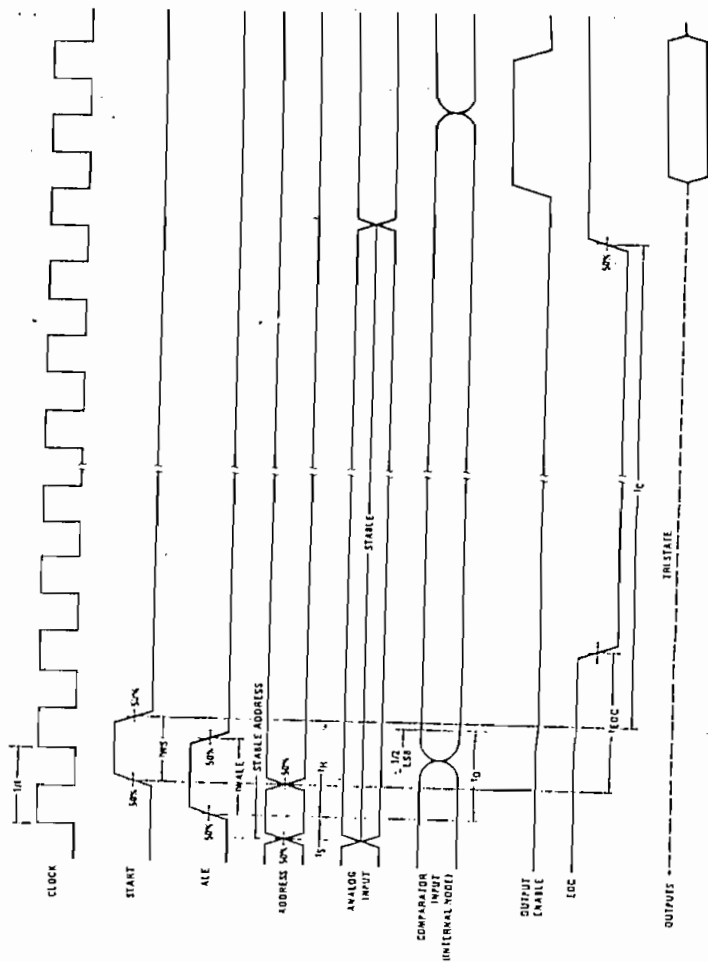


FIGURE 5

OROLA MICROCONDUCTOR MINI-CATALOG

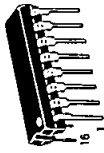
MC3479

STEPPER MOTOR DRIVER
SILICON MONOLITHIC
INTEGRATED CIRCUIT

STEPPER MOTOR DRIVER

The MC3479 is designed to drive a two-phase stepper motor in the bipolar mode. The circuit consists of four input sections, a logic decoding/sequencing section, two driver-stages for the motor coils, and an output to indicate the Phase A drive state.

- Single Supply Operation — + 7.2 to + 16.5 Volts
- 350 mA/Coil Drive Capability
- Clamp Diodes Provided for Back-EMF Suppression
- Selectable CW/CCW and Full/Half Step Operation
- Selectable High/Low Output Impedance (Half Step Mode)
- TTL/CMOS Compatible Inputs
- Input Hysteresis — 400 mV Minimum
- Phase Logic Can Be Initialized to Phase A
- Phase A Output Drive State Indication (Open-Collector)
- Available in Standard DIP and Surface Mount



P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 648C



FN SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 775
(PLCC 20)

PIN ASSIGNMENTS

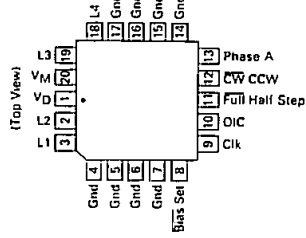
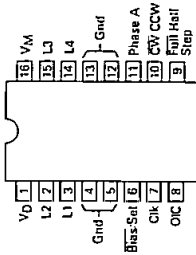
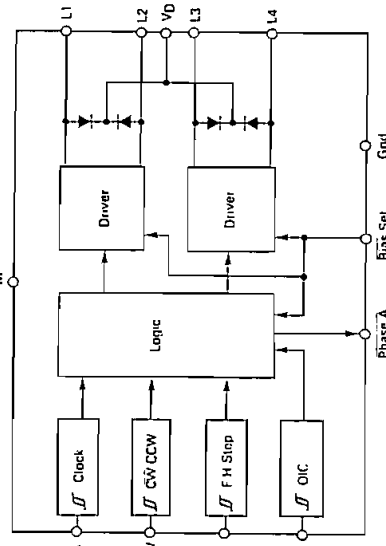


FIGURE 1 — BLOCK DIAGRAM



ORDERING INFORMATION

Device	Operating Junction Temperature Range	Package
MC3479P		

INPUT TRUTH TABLE

CW/CCW	Full/Half Step	Full Step	Half Step	Input Low	Input High
				CW	CCW

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	V_M	+ 18	Vdc
Clamp Diode Cathode Voltage (Pin 1)	V_D	$V_M + 5.0$	Vdc
Driver Output Voltage	V_{OD}	$V_M + 6.0$	Vdc
Drive Output Current/Coil	I_{OD}	± 500	mA
Input Voltage (Logic Controls)	V_{in}	- 0.5 to + 7.0	Vdc
Bias/Set Current	I_{BS}	- 10	mA
Phase A Output Voltage	V_{OA}	+ 18	Vdc
Phase A Sink Current	I_{OA}	20	mA
Junction Temperature	T_J	+ 150	°C
Storage Temperature Range	T_{stg}	- 65 to + 150	°C

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
Supply Voltage	V_M	+ 7.2	+ 16.5	Vdc
Clamp Diode Cathode Voltage	V_D	V_M	$V_M + 4.5$	Vdc
Driver Output Current (Per Coil) (Note 5)	I_{OD}	—	350	mA
Input Voltage (Logic Controls)	V_{in}	0	+ 5.5	Vdc
Bias/Set Current (Outputs Active)	I_{BS}	- 300	- 75	μ A
Phase A Output Voltage	V_{OA}	—	V_M	Vdc
Phase A Sink Current	I_{OA}	0	8.0	mA
Operating Ambient Temperature	T_A	0	+ 70	°C

NOTE: 5. See section on Power Dissipation in Application Information.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS * (Pin numbers refer to the DIP Package) (Specifications apply over the recommended supply voltage and temperature ranges unless otherwise noted.) (See Notes 1, 2)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
INPUT LOGIC LEVELS					
Threshold Voltage (Low-to-High)	V_{TLH}	—	—	2.0	Vdc
Threshold Voltage (High-to-Low)	V_{THL}	0.8	—	—	Vdc
Hysteresis	V_{HYS}	0.4	—	—	Vdc
Current	I_L	100	—	—	μ A
	I_{H1}	—	—	+ 100	
	I_{H2}	—	—	+ 20	

DRIVER OUTPUT LEVELS

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Output High Voltage ($I_{BS} = - 300 \mu$ A)	V_{OHD}	$V_M - 2.0$ $V_M - 1.2$	—	—	Vdc
Output Low Voltage ($I_{BS} = - 300 \mu$ A, $I_{OD} = 350$ mA)	V_{OLD}	—	—	0.8	Vdc
Differential Mode Output Voltage Difference (Note 3)	DV_{OD}	—	—	0.15	Vdc
Common Mode Output Voltage Difference (Note 4)	CV_{OD}	—	—	0.15	Vdc
Output Leakage — Hi Z State ($0 \leq V_{OD} \leq V_M$, $I_{BS} = - 5.0 \mu$ A)	I_{OZ1}	- 100	—	+ 100	μ A
($0 \leq V_{OD} \leq V_M$, $I_{BS} = 300 \mu$ A, $FH = 2.0$ V, $OIC = 0.8$ V)	I_{OZ2}	- 100	—	+ 100	μ A

NOTES:

- Algebraic convention rather than absolute values is used to designate limit values.
- Current into a pin is designated as positive. Current out of a pin is designated as negative.
- $DV_{OD} = |V_{OD1,2} - V_{OD3,4}|$ where: $V_{OD1,2} = |V_{OHD1} - V_{OLD2}|$ or $|V_{OHD2} - V_{OLD1}|$, and $V_{OD3,4} = |V_{OHD3} - V_{OLD4}|$ or $|V_{OHD4} - V_{OLD3}|$.
- $CV_{OD} = |V_{OHD1} - V_{OHD2}|$ or $|V_{OHD3} - V_{OHD4}|$.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued) *Pin numbers refer to the DIP Package

(Specifications apply over the recommended supply voltage and temperature ranges unless otherwise noted.) (See Notes 1, 2)

Characteristic	*Pins	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
CLAMP DIODES						
Forward Voltage ($I_D = 350 \text{ mA}$)	1, 2, 3, 14, 15	V _{DF}	—	2.5	3.0	V _{dc}
Leakage Current (Per Diode) (Pin 1 = 21 V; Outputs = 0 V; I _{BS} = 0 μA)		I _{DR}	—	—	100	μA
PHASE A OUTPUT						
Output Low Voltage (I _{OA} = 8.0 mA)	11	V _{OLA}	—	—	0.4	V _{dc}
Off State Leakage Current (V _{OH} A = 16.5 V)		I _{OHA}	—	—	100	μA
POWER SUPPLY						
Power Supply Current (I _{OD} = 0 μA , I _{BS} = 300 μA) (L1 = V _{OH} D, L2 = V _{OLD} , L3 = V _{OLD} , L4 = V _{OLD}) (L1 = V _{OH} D, L2 = V _{OLD} , L3 = Hi Z, L4 = Hi Z) (L1 = V _{OH} D, L2 = V _{OLD} , L3 = V _{OH} D, L4 = V _{OH} D)	16	I _{MW} I _{MZ} I _{MN}	— — —	— — —	70 40 75	mA
To Set Phase A	6	I _{BS}	5.0	—	—	μA

PACKAGE THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient — No Heatsink	R _{thJA}	—	45	—	C/W

AC SWITCHING CHARACTERISTICS (T_A = +25°C, V_M = 12 V) (See Figures 2, 3, 4)

Characteristic	*Pins	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Clock Frequency	7	f _{CK}	0	—	50	kHz
Clock Pulse Width — High	7	PW _{CKH}	10	—	—	μs
Clock Pulse Width — Low	7	PW _{CKL}	10	—	—	μs
Bias Set Pulse Width	6	PW _{BS}	10	—	—	μs
Setup Time — $\bar{C}\bar{W}/\bar{C}\bar{C}\bar{W}$ and $\bar{F}/\bar{H}\bar{S}$	10-7 9-7	t _{su}	5.0	—	—	μs
Hold Time — $\bar{C}\bar{W}/\bar{C}\bar{C}\bar{W}$ and $\bar{F}/\bar{H}\bar{S}$	10-7 9-7	t _h	10	—	—	μs
Propagation Delay — Clk-to-Driver Output		t _{pCD}	—	8.0	—	μs
Propagation Delay — Bias-Set-to-Driver Output		t _{pBS}	—	1.0	—	μs
Propagation Delay — Clk-to-Phase A Low	7-11	t _{pHLA}	—	12	—	μs
Propagation Delay — Clk-to-Phase A High	7-11	t _{pHLA}	—	5.0	—	μs

- NOTES:
 1. Algebraic convention rather than absolute values is used to designate limit values.
 2. Current into a pin is designated as positive. Current out of a pin is designated as negative.

FIGURE 2 — AC TEST CIRCUIT

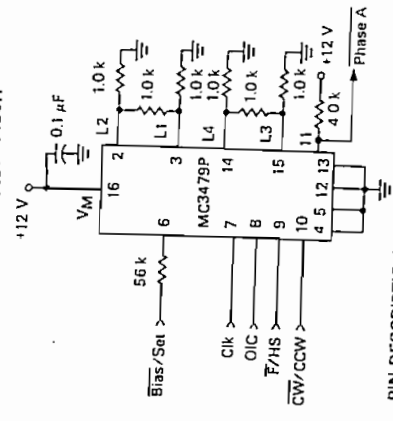
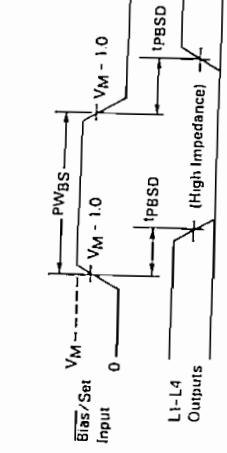


FIGURE 3 — BIAS/SET TIMING (Refer to Figure 2)



Note: t_r (10%-90%) for input signals are $\leq 25 \text{ ns}$.

PIN DESCRIPTION

Name	Symbol	Pin #		Description
		FN	DIP	
Power Supply	V _M	20	16	Power supply pin for both the logic circuit and the motor coil current. Voltage range is +7.2 to +16.5 volts.
Ground	Gnd	4, 5, 6, 7, 14, 15, 16, 17	4, 5, 12, 13	Ground pins for the logic circuit and the motor coil current. The physical configuration of the pins aids in dissipating heat from within the package.
Clamp Diode Voltage	V _D	1	1	This pin is used to protect the outputs where large voltage spikes occur as the motor coils are switched. Typically a diode is connected between this pin and Pin 16. See Figure 11.
Driver Outputs	L1, L2 L3, L4	2, 3, 18, 19	2, 3, 14, 15	High current outputs for the motor coils. L1 and L2 are connected to one coil, and L3 and L4 to the other coil.
Bias-Set	$\bar{B}\bar{S}$	8	6	This pin is typically 0.7 volts below V _M . The current out of this pin (through a resistor to ground) determines the maximum output current. If the pin is opened (I _{BS} < 5.0 μA) the outputs assume a high impedance condition, while the internal logic presets to a Phase A condition.
Clock	Clk	9	7	The positive edge of the clock input switches the outputs to the n position. This input has no effect if Pin 6 is open.
Full-Half Step	$\bar{F}/\bar{H}\bar{S}$	11	9	When low (Logic "0"), each clock pulse will cause the motor to rotate one full step. When high, each clock pulse will cause the motor to rotate one-half step. See Figure 7 for sequence.
Clockwise/Counter-clockwise	$\bar{C}\bar{W}/\bar{C}\bar{C}\bar{W}$	12	10	This input allows reversing the rotation of the motor. See Figure 7 for sequence.
Output Impedance Control	OIC	10	8	This input is relevant only in the half step mode (Pin 9 = 2.0 V). When low (Logic "0") the two driver outputs of the non-energized coil will be in a high impedance condition. When high the same driver output will be at a low impedance referenced to V _M . See Figure 7.
Phase A	Ph A	13	11	This open-collector output indicates (when low) that the driver outputs are in the Phase A condition (L1 = L3 = V _{OH} D, L2 = L4 = V _{OLD})

APPLICATION INFORMATION

GENERAL

The MC3479 integrated circuit is designed to drive a stepper positioning motor in applications such as disk drives and robotics. The outputs can provide up to 350 mA to each of two coils of a two-phase motor. The outputs change state with each low-to-high transition of the clock input, with the new output state depending on the previous state, as well as the input conditions at the logic controls.

OUTPUTS

The outputs (L1-L4) are high current outputs (see Figure 5), which when connected to a two-phase motor provide two full-bridge configurations (L3 and L4 not shown in Figure 5). The polarities applied to motor coils depend on which transistor (QH or QL) each output is on, which in turn depends on the input and the decoding circuitry.

FIGURE 4 — CLOCK TIMING (Refer to Figure 2)

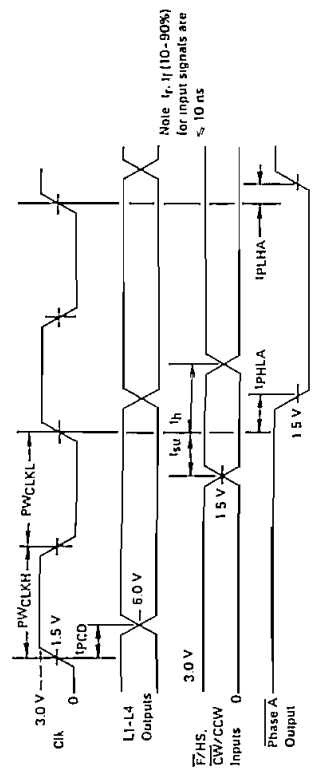


FIGURE 5 — OUTPUT STAGES

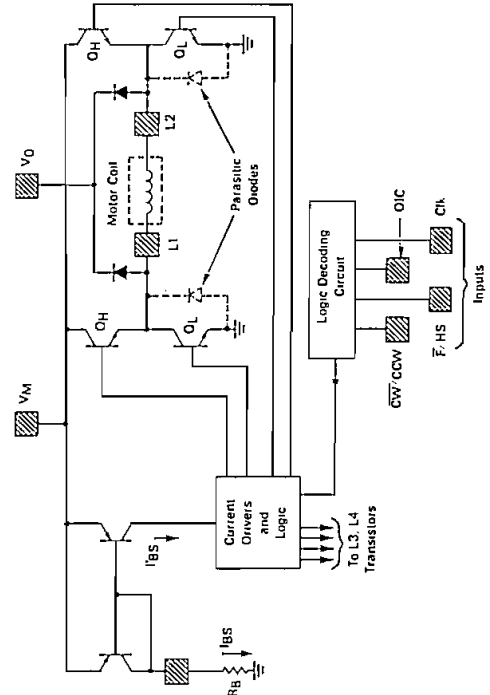
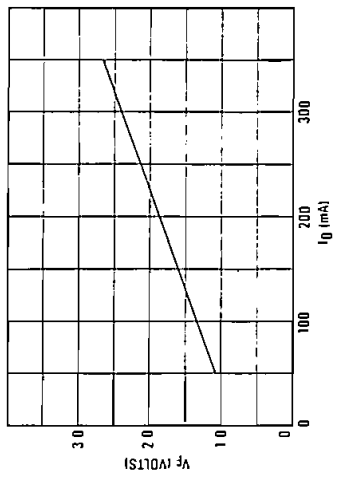


FIGURE 6 — CLAMP DIODE CHARACTERISTICS



The maximum sink current available at the outputs is a function of the resistor connected between Pin 6 and ground (see section on Bias/Set operation). Whenever the outputs are to be in a high impedance state, both transistors (OH and OL of Figure 5) of each output are off.

This pin allows for provision of a current path for the motor coil current during switching, in order to suppress back-EMF voltage spikes. VD is normally connected to VM (Pin 16) through a diode (zener or regular), a resistor, or directly. The peaks instantaneous voltage at the outputs must not exceed VM by more than 6.0 volts. The voltage drop across the internal clamping diodes must be included in this portion of the design (see Figure 6). Note the parasitic diodes (Figure 5) across each OL of each output provide for a complete circuit path for the switched current.

FULL/HALF STEP

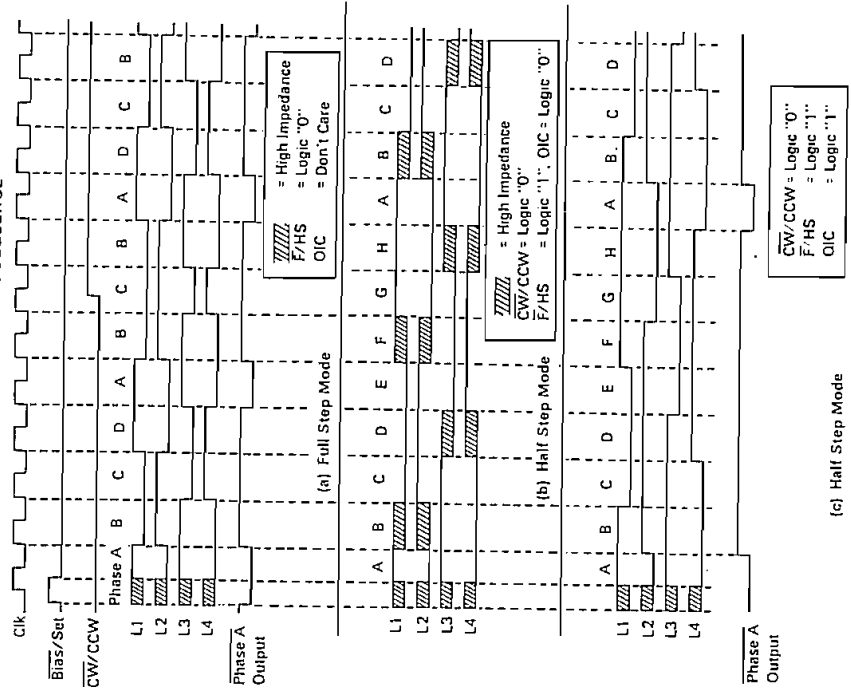
When this input is at a Logic "0" (<math>< 0.8\text{ volts}</math>), the outputs change a full step with each clock cycle, with the sequence direction depending on the CW/CCW input. There are four steps (Phase A, B, C, D) for each complete cycle of the sequencing logic. Current flows through both motor coils during each step, as shown in Figure 7.

When taken to a Logic "1" (>2.0 volts), the outputs change a half step with each clock cycle, with the sequence direction depending on the CW/CCW input. Eight steps (Phase A-H) result for each complete cycle of the sequencing logic. Phase A, C, E and G correspond (in polarity) to Phase A, B, C, and D, respectively, of the full step sequence. Phase B, D, F and H provide current to one motor coil, while de-energizing the other coil. The condition of the outputs of the de-energized coil depends on the OIC input. See Figure 7 for limiting diagram.

OIC

The output impedance control input determines the output impedance to the de-energized coil when operating in the half-step mode. When the outputs are in

FIGURE 7 — OUTPUT SEQUENCE



Phase B, D, F or H (Figure 7) and this input is at a Logic "0" (<math>< 0.8\text{ V}</math>), the two outputs to the de-energized coil are in a high impedance condition — OL and OH of both outputs (Figure 5) are off. When this input is at a Logic "1" (>2.0 V), a low impedance output is provided to the de-energized coil as both outputs have OH on (OL off). To complete the low impedance path, requires connecting VD to VM as described elsewhere in this data sheet.

BIAS/SET

This pin can be used for three functions: a) determining the maximum output sink current; b) setting the internal logic to a known state; and c) reducing power consumption.

a) The maximum output sink current is determined by the base drive current supplied to the lower transistors (OLs of Figure 5) of each output, which in turn, is a function of IBS. The appropriate value of IBS is determined by:

$$IBS = I_{OD} \times 0.86$$

where IBS is in microamps, and IOD is the motor current/coil in milliamperes.

(c) Half Step Mode

temperature with no heatsink on the IC. I_{BS} is calculated:

$$I_{BS} = 200 \times 0.86$$

$$I_{BS} = 172 \mu A$$

R_B is calculated:

$$R_B = (12 - 0.7) V / 172 \mu A$$

$$R_B = 65.7 k\Omega$$

From Figure 8, I_M (max) is determined to be 40 mA. From Figure 9, V_{OLD} is 0.46 volts, and from Figure 10, $(V_M - V_{OHD})$ is 1.4 volts.

$$P = (12 \times 0.040) + (2 \times 0.2) (1.4 + 0.46)$$

$$P = 1.22 W$$

$$T_J = (1.22 W \times 52^\circ C/W) + 25^\circ C$$

$$T_J = 88^\circ C$$

This temperature is well below the maximum limit. If the calculated T_J had been higher than $150^\circ C$, a heatsink such as the Staver Co. V-7 Series, Aavid #5802, or Thermanalloy #6012 could be used to reduce $R_{\theta JA}$. In extreme cases forced air cooling should be considered.

The above calculation, and $R_{\theta JA}$, assumes that a ground plane is provided under the MC3479 (either or both sides of the PCB) to aid in the heat dissipation. Single nominal width traces leading from the four ground pins should be avoided as this will increase T_J , as well as provide potentially disruptive ground noise and I_R drops when switching the motor current.

The value of R_B (between this pin and ground) is then determined by:

$$R_B = \frac{V_M - 0.7 V}{I_{BS}}$$

b) When this pin is opened (raised to V_M) such that I_{BS} is $< 5.0 \mu A$, the internal logic is set to the Phase A condition, and the four driver outputs are put into a high impedance state. The Phase A output (Pin 11) goes active (low), and input signals at the controls are ignored during this time. Upon re-establishing I_{BS} , the driver outputs become active, and will be in the Phase A position ($L1 = L3 = V_{OHD}$, $L2 = L4 = V_{OLD}$). The circuit will then respond to the inputs at the controls.

The Set function (opening this pin) can be used as a power-up reset while supply voltages are settling. A CMOS logic gate (powered by V_M) can be used to control this pin as shown in Figure 11.

c) Whenever the motor is not being stepped, power dissipation in the IC and in the motor may be lowered by reducing I_{BS} , so as to reduce the output (motor) current. Setting I_{BS} to $75 \mu A$ will reduce the motor current, but will not reset the internal logic as described above. See Figure 12 for a suggested circuit.

POWER DISSIPATION

The power dissipated by the MC3479 must be such that the junction temperature (T_J) does not exceed $150^\circ C$. The power dissipated can be expressed as:

$$P = (V_M \times I_M) + (2 \times I_{OD}) [(V_M - V_{OHD}) + V_{OLD}]$$

where V_M = Supply voltage;

- I_M = Supply current other than I_{OD} ;
- I_{OD} = Output current to each motor coil;
- V_{OHD} = Driver output high voltage;
- V_{OLD} = Driver output low voltage.

The power supply current (I_M) is obtained from Figure 8. After the power dissipation is calculated, the junction temperature can be calculated using:

$$T_J = (P \times R_{\theta JA}) + T_A$$

where $R_{\theta JA}$ = Junction to ambient thermal resistance; ($52^\circ C/W$ for the DIP, $72^\circ C/W$ for the FN Package)

T_A = Ambient Temperature.

For example, assume an application where $V_M = 12 V$, the motor requires $200 mA$ coil, operating at room

FIGURE 8 — POWER SUPPLY CURRENT

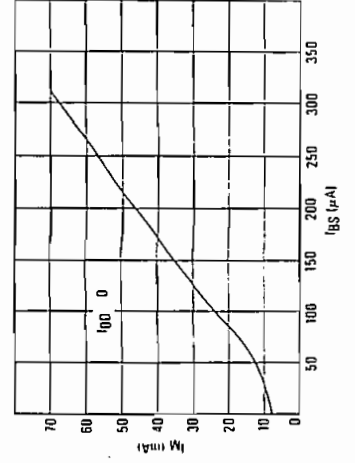


FIGURE 10 — MAXIMUM SATURATION VOLTAGE — DRIVER OUTPUT HIGH

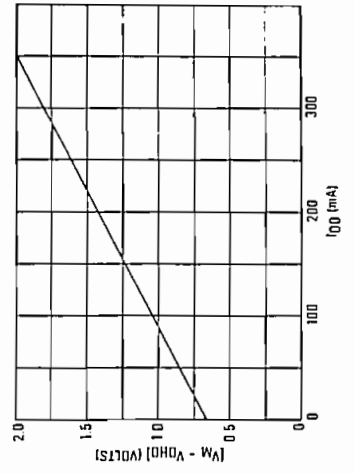


FIGURE 9 — MAXIMUM SATURATION VOLTAGE — DRIVER OUTPUT LOW

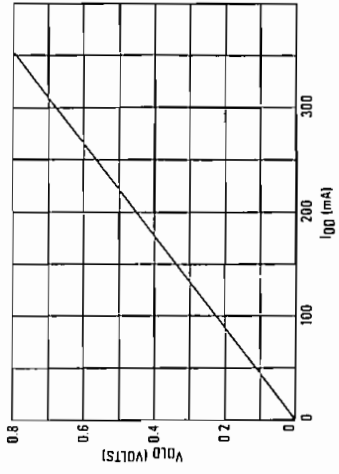


FIGURE 11 — TYPICAL APPLICATIONS CIRCUIT

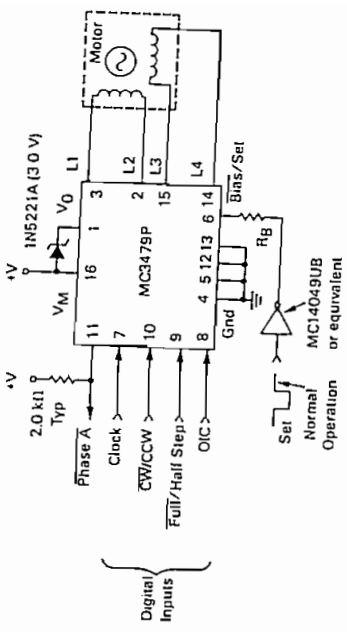
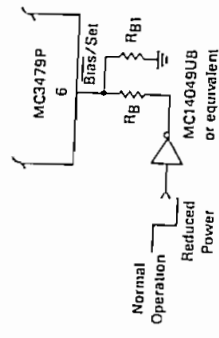


FIGURE 12 — POWER REDUCTION



— Suggested value for R_B ($V_M = 12 V$) is $150 k\Omega$
 — R_B calculation (see text) must take into account the current through R_B

Usos y Aplicaciones del duralon®

LAS PROPIEDADES ANTES MENCIONADAS COVIERTEN AL DURALON® EN EL MATERIAL IDEAL PARA EL MAQUINADO DE PIEZAS TALES COMO:



INDUSTRIA METALMECANICA:
Engranajes, piñones, ruedas dentadas bujes y chumaceras de baja velocidad, cremalleras, cojinetes deslizables, ejes, poleas, catalinas, ruedas, asientos para

válvulas, arandelas, rodamientos, bujes, coronas, articulaciones esféricas, guías, etc.



INDUSTRIA NAVIERA:
Planchas protectoras con resistencia a abrasivos y golpes, plataformas de montacargas, tubos, barras planchas, boyas, salvavidas. (DURALON® EXPANDIDO), planchas deslizables, hélices, rodillos de transporte, etc.



INDUSTRIA DEL CALZADO:
Planchas de corte de torqueladoras, modelos, rodillos de cintas transportadoras, martillos, guías, etc.



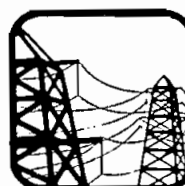
INDUSTRIA QUIMICA:
Flangias, alimentadores de tornillo sinfin para medios abrasivos, protectores para los alabes de ventiladores y aspas hidráulicas sujetos a alta

abrasión, planchas guía para raspadores, catalinas y rastrillos para lodos en plantas de tratamiento de agua, soleras deslizables y coples en las pastilladoras de jabón, engranaje y ejes para medidores de agua, aceite y gas, planchas para filtros de gran dimensión, anillos de sujeción y acoplamiento, elementos para bombas, etc.



INDUSTRIA DE BEBIDAS, CARNICA Y ALIMENTICIA EN GENERAL:
(Aprobación FDA—CFR 21 Párrafo 177-1500)

Planchas guías para raspadores y rastrillos, operadores para mezcladoras, planchas guías para máquinas empacadoras, discos inyectoros de carnes, agitadores, impulsadoras, estrella para llenadora en embotelladoras, tornillos sinfin para carnes, planchas de corte y procesamiento de carnes, etc.

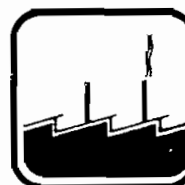


INDUSTRIA ELECTROTECNICA:
Poleas para conductores eléctricos, catalinas en máquinas estiradoras de alambre, roldanas para teleféricos, piezas de articulación, planchas aislantes, etc.



INDUSTRIA TEXTIL/PAPELERA:
Rodillos de guías para hilos, amortiguadores y disparadores, rodillo de calandreado, planchas de soporte para corte y

estampado, barras de guía, eslabones de cadenas, etc.



INDUSTRIAS VARIAS:
Topes, empalmes de rieles, cremalleras, guías, rodillos de transporte, válvulas, cojinetes engranajes, anillos y retenes, cilindros de presión, ruedas,

moldes para fraguar cemento, tubos, barras, planchas, injertos/postizos y tejas para laminación en la industria del acero, etc.

LO ANTERIORMENTE MENCIONADO CONSTITUYE UNICAMENTE ALGUNOS DE LOS INNUMERABLES USOS Y APLICACIONES DEL DURALON®

Para mayor información, consúltenos.