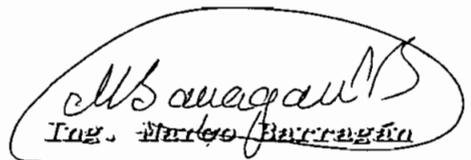


*Certifico que el presente
trabajo ha sido elaborado en
su totalidad por el Sr.
Ludwing Ochoa Sincbe*


Ing. Marco Barragán

Director

DEDICATORIA

*A mis padres y familiares, en especial
al Ing. Gerardo Sínche, quienes
contribuyeron decididamente a que se
lleve a feliz término esta tesis.*

AGRADECIMIENTO

*Un agradecimiento sincero al
Ing. Marco Barragán sin cuyo
apoyo e interés no hubiera sido
posible este trabajo.*

INDICE

CAPITULO I

<u>GENERALIDADES</u>	1
1.1 INTRODUCCION	1
1.2 IMPORTANCIA Y CONTENIDO	2
1.2.1 IMPORTANCIA	2
1.2.2 CONTENIDO	4
1.3 DESCRIPCION DEL EQUIPO	5
1.3.1 CONFIGURACION DE DOS EJES	5
1.3.2 MANEJO Y CONTROL DEL PANEL	7
1.3.3 DESCRIPCION DEL PROTOTIPO DISEÑADO	9
1.4 DIAGRAMAS DE BLOQUES	11

CAPITULO II

<u>DISEÑO DE LA PARTE MECANICA</u>	16
2.1 DISEÑO MECANICO DEL EQUIPO	17
2.2 DIAGRAMAS DE LA PARTE MECANICA	31
2.3 CALCULOS	33
2.3.1 CALCULO DE LA RELACION DE TORQUES EN EL TREN DE ENGRANAJES	33
2.3.2 CALCULO DEL MOMENTO DE INERCIA DEL SISTEMA MOVIL	37
2.4 JUSTIFICACION DE LOS ELEMENTOS USADOS	41

CAPITULO III

<u>DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL</u>	42
3.1 FUENTE DE ALIMENTACION	43
3.2 DESCRIPCION DEL MICROCONTROLADOR USADO (8751)	48
3.2.1 AREA DE MEMORIA PARA PROGRAMA	49

3.2.2	AREA DE MEMORIA PARA DATOS	50
3.2.3	REGISTROS DE CONTROL MCS-51	52
3.2.4	DESCRIPCION DE PINES	58
3.2.5	ASIGNACION DE PINES DEL MICROCONTROLADOR 8751	60
3.2.6	TIMER/COUNTER	60
3.2.7	INTERFAZ SERIAL	62
3.2.8	INTERRUPCIONES	63
3.2.9	PROCESADOR BOOLEANO	64
3.2.10	CONJUNTO DE INSTRUCCIONES	65
3.3	DESCRIPCION DEL HARDWARE ADICIONAL USADO	67
3.3.1	INTRODUCCION	67
3.3.2	MODO DE FUNCIONAMIENTO	68
3.3.3	APLICACIONES	72
3.3.4	FUNCIONES DE LOS PINES DEL CONTROLADOR L-297	74
3.4	DESCRIPCION DE LOS ACTUADORES USADOS	78
3.4.1	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	78
3.4.2	CARACTERISTICAS FUNDAMENTALES	80
3.4.3	TIPOS DE MOTORES PASO A PASO	86
3.4.3.1	MOTORES BIPOLARES	86
3.4.3.2	MOTORES UNIPOLARES	88
3.4.3.3	MOTORES DE RELUCTANCIA VARIABLE	89
3.4.4	MODOS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS MOTORES PASO A PASO	90
3.4.4.1	FUNCIONAMIENTO EN "PASO COMPLETO"	91
3.4.4.2	FUNCIONAMIENTO EN MEDIO PASO	92
3.4.5	CARACTERISTICAS DE LOS MOTORES UTILIZADOS	93
3.5	DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL	96
3.5.1	INTERFAZ FOTOSENSORES/MICROCONTROLADOR	96
3.5.2	ETAPA DE POTENCIA	102
3.6	DESCRIPCION DE LOS PROGRAMAS REALIZADOS USANDO EL SET DE INSTRUCCIONES DEL MICROCONTROLADOR 8751	108
3.6.1	GENERALIDADES	108
3.6.2	DESCRIPCION DEL PROGRAMA	111
3.6.3	DIAGRAMAS DE FLUJO Y EXPLICACION DEL PROGRAMA	114
3.7	LISTADO DEL PROGRAMA UTILIZADO	136

CAPITULO IV

<u>CONSTRUCCION DEL EQUIPO</u>	154
4.1 CARACTERISTICAS ELECTRICAS	155
4.2 PRUEBAS Y RESULTADOS	156
4.2.1 DIFERENTES CIRCUITOS PROBADOS	156
4.2.2 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS	164
4.2.2.1 RESULTADOS AL USAR UNA FUENTE LUMINOSA "DEBIL" (LAMPARA)	164
4.2.2.2 RESULTADOS OBTENIDOS AL RASTREAR EL SOL	165
4.2.3 TOPICOS ADICIONALES	167
4.3 ESQUEMAS Y PLANOS	170
4.3.1 FUENTE DE ALIMENTACION	170
4.3.2 TARJETA PRINCIPAL	172
4.3.3 TARJETA DE INTERFAZ	174
4.4 GUIA DE USO DEL EQUIPO	176

CAPITULO V

<u>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u>	179
5.1 CONCLUSIONES	180
5.2 RECOMENDACIONES	182
<u>BIBLIOGRAFIA</u>	183
<u>REFERENCIAS</u>	185
<u>ANEXO A</u> ANALISIS ECONOMICO	
<u>ANEXO B</u> ESPECIFICACIONES DE LOS ELEMENTOS USADOS	

CAPITULO I

GENERALIDADES

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCION

En años recientes, con el avance de sistemas microprocesados más versátiles y baratos, muchas aplicaciones de control envuelven microprocesadores y motores de pasos.

Un motor de pasos es inherentemente un dispositivo de movimiento discreto, que facilita el acoplamiento con otros componentes electrónicos, y es más compatible con técnicas de control digital modernas.

Una ventaja radica en que las señales de control pueden ser digitales sin necesidad de realimentación, ya que el error no es acumulativo.

El objetivo del presente trabajo es el diseño y la construcción de un prototipo para un sistema de rastreo de una fuente luminosa (sol) con dos grados de libertad, característica que le permite al panel un seguimiento en virtualmente cualquier dirección.

Para obtener mayor eficiencia en cuanto a la captación de la energía radiante, el panel debería apuntar hacia la fuente luminosa todo el tiempo. Esta energía se puede convertir fácilmente en calor y utilizarla después con fines prácticos.

Este prototipo utiliza fotosensores, que según los resultados obtenidos en este trabajo, se recomienda para pequeños y medianos paneles, ya que proporcionan un procedimiento sencillo de localización y seguimiento luminoso. La dificultad del uso de fotosensores es que se imposibilita el rastreo cuando se producen ocultamientos del sol ó de la fuente luminosa que nos encontremos rastreando. Siendo ésta una característica inherente de todos los sistemas de rastreo basados en fotosensores.

Una configuración similar a ésta se encontrará por ejemplo; en un satélite, nave o cualquier plataforma no estacionaria.

Otra aplicación sencilla puede ser que el panel contenga celdas fotovoltaicas montadas en él, éstas celdas producen suficiente potencia eléctrica provenientes de la luz solar, de tal forma de permitir a un banco de baterías cargarse por un largo período de tiempo.

Esta aplicación es motivo de otro proyecto de investigación, el cuál puede acoplarse fácilmente a este trabajo.

Para terminar se puede mencionar que uno de los principales problemas encontrados, tanto en la etapa de diseño como de pruebas, fué la no linealidad de los fotosensores usados.

1.2 IMPORTANCIA Y CONTENIDO

1.2.1 IMPORTANCIA.-

Las comunes subidas del precio del petróleo en los últimos años ha colocado a la energía en un lugar muy importante. Las fuentes de energía tradicionales, de carácter extinguido, no podrán satisfacer por mucho tiempo la creciente demanda de energía.

En países desarrollados, donde poseen centrales nucleares basadas en la fisión del uranio parecen asegurar el suministro energético a medida que las fuentes fósiles vayan desapareciendo y no parece haber un límite próximo en las reservas del citado material radioactivo. Las centrales nucleares basadas en la reacción de átomos de deuterio podrían asegurar energía durante mucho tiempo si se tiene en cuenta que el agua del mar contiene átomos de deuterio suficientes para proporcionar una energía de 3×10^{35} Julios (Equivalente a la energía recibida del sol durante 5×10^{10} años) [1]. Sin Embargo los criterios que deben guiar la búsqueda y desarrollo de fuentes energéticas sustitutivas no se pueden basar exclusivamente en la cantidad potencial de la energía en cuestión sino también en consideraciones sobre el equilibrio del entorno.

Así, sin considerar éste problema de los desechos

radioactivos en las centrales nucleares no totalmente resuelto, hay un hecho que permite analizar bajo una óptica distinta la actual crisis energética. La tierra es un sistema en equilibrio térmico con una " entrada " y una " salida " de energía, y el equilibrio entre ambas determina la temperatura. La mayor parte de la energía entrante es la procedente del sol y la energía saliente es la energía radiada por la tierra que se relaciona con la Temperatura mediante la Ecuación de Boltzman, para el cuerpo negro ($E = \sigma T^4$) donde σ es la Constante de Boltzman, T la temperatura y E la energía. Si se sustituye en dicha ecuación, la energía, por la recibida del sol (1.5×10^{18} Kw-h/año), la temperatura que resulta es del orden de 280° K, que es una buena aproximación de la temperatura que ha mantenido la tierra durante millones de años con muy limitadas variaciones.

Este resultado pone de manifiesto que el modelo elegido para representar el balance energético terrestre es válido. En la actualidad, aparte de la energía recibida del sol, el sistema tierra está recibiendo una energía extra de entrada procedente del combustible, gas natural, carbón, contaminación, etc., que repercutirá en el aumento de la temperatura terrestre, cuando la energía procedente de dichas fuentes alcance valores comparables a la energía total recibida del sol. Dicho aumento de temperatura tendrá las lógicas repercusiones en cuanto a climatología, ecología, etc.

Por todo lo anteriormente mencionado, en nuestro país, con una inmejorable posición geográfica, ya es hora de poner nuestra visión en aprovechar en gran magnitud una fuente energética como es la solar. Se espera que este trabajo contribuya a este propósito.

En esta misma línea, se puede anotar que la energía solar puede aprovecharse en forma directa para la obtención de agua caliente y el acondicionamiento de edificios, en general, o bien puede convertirse en energía eléctrica.

En Países desarrollados, las centrales solares, pueden ser de tipo térmico, que utilizan el calor del sol para producir el

vapor necesario para mover una turbina o basarse en el efecto fotovoltaico, mediante la utilización masiva de células solares montadas en grandes paneles. En cualquier caso, la primera condición que debe reunir un sistema de aprovechamiento de energía solar es la de recoger la mayor cantidad posible de energía recibida en un determinado lugar. Esta premisa es usada tanto para los colectores térmicos, como para los helióstatos (Espejos Móviles) de una central solar térmica, al igual que para los paneles de una central fotovoltaica. Esta condición exige que la superficie colectora sea, en todo momento, perpendicular a los rayos solares y, por tanto, una colección óptima sólo puede conseguirse si dicha superficie está dotada de un movimiento de seguimiento del sol, que como ya se indicó anteriormente es el problema a resolverse en el presente trabajo.

1.2.2 CONTENIDO.-

Esta tesis se ha dividido en cinco capítulos, cada uno de ellos lo describiremos brevemente a continuación.

El primer capítulo trata sobre Generalidades, en este punto se da un enfoque general respecto del tema tratado, así como también se indica la importancia del mismo, y al final se da una ligera descripción del equipo.

En el segundo capítulo se describe detalladamente la parte mecánica del equipo, es decir, todo el panel rastreador y toda la parte mecánica del circuito de control. Se incluyen gráficos, cálculos y justificación de los elementos usados.

En el tercer capítulo se describe todo el circuito de control, es decir, la parte electrónica del sistema sobre todo en lo relativo al diseño. Esta descripción va desde la fuente de alimentación de todo el circuito hasta los programas realizados usando el conjunto de instrucciones del microcontrolador 8751.

El cuarto capítulo se refiere a la construcción misma del equipo, es decir, se proporciona información acerca de: las características eléctricas del equipo, las pruebas y resultados

obtenidos, y por último se da una guía de uso del equipo.

El quinto capítulo se refiere a conclusiones y recomendaciones, aquí es donde se critica y analiza los resultados obtenidos. Este capítulo es muy importante puesto que resume todas las experiencias y enseñanzas adquiridas al realizar este proyecto de investigación.

Al final, se adjunta la Bibliografía, que también es una parte importante en esta fuente de consulta.

Por último, a fin de que el trabajo quede mas completo, se incluye dos temas en la sección de anexos, que sin referirse al temario se los considera de importancia así por ejemplo: el relativo al análisis económico y el correspondiente a las especificaciones técnicas de los elementos usados.

1.3 DESCRIPCION DEL EQUIPO

El prototipo desarrollado se enmarca dentro de los llamados "Seguidores Directos de una Fuente Luminosa", es decir, para poder rastrear la fuente luminosa necesitan de la presencia de la misma. Existen diferentes configuraciones y formas de manejo de paneles rastreadores, algunos de los cuales explicaremos a continuación en los numerales 1.3.1 y 1.3.2 respectivamente.

1.3.1 CONFIGURACIONES DE DOS EJES.-

Las configuraciones de dos ejes más comunes en la práctica están representados esquemáticamente en la figura 1.1. El montaje polar (figura 1.1a) posee un eje de giro paralelo al de la tierra y otro, horizontal, perpendicular a la misma.

Este montaje es muy apropiado para pequeños paneles por su sencillez de movimientos: el giro alrededor del eje polar es de velocidad prácticamente uniforme e igual a la del reloj y el giro alrededor del eje horizontal sólo se necesita para corregir las variaciones de la declinación solar, por lo que muy bien puede hacerse únicamente una vez al día, o incluso, sólo varias veces

al año, si no se requiere gran precisión.

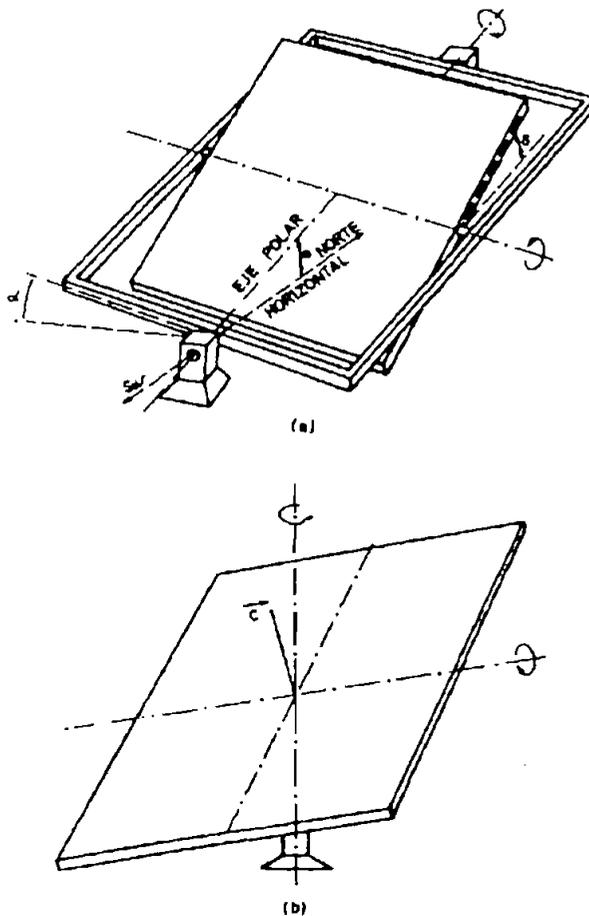


FIGURA 1.1

Sin embargo, el montaje polar, que requiere un eje inclinado móvil, no es apropiado para sistemas pesados. En el caso de los grandes espejos de una central térmica solar (helióstato) o de los paneles de una fotovoltaica, por ejemplo, el montaje más utilizado es el llamado de "acimut - elevación" (figura 1.1b) que tiene un eje vertical y otro horizontal perpendicular a él.

Esta configuración permite gran robustez mecánica sin grandes complicaciones de la estructura y de los mecanismos de giro.

1.3.2 MANEJO Y CONTROL DEL PANEL.-

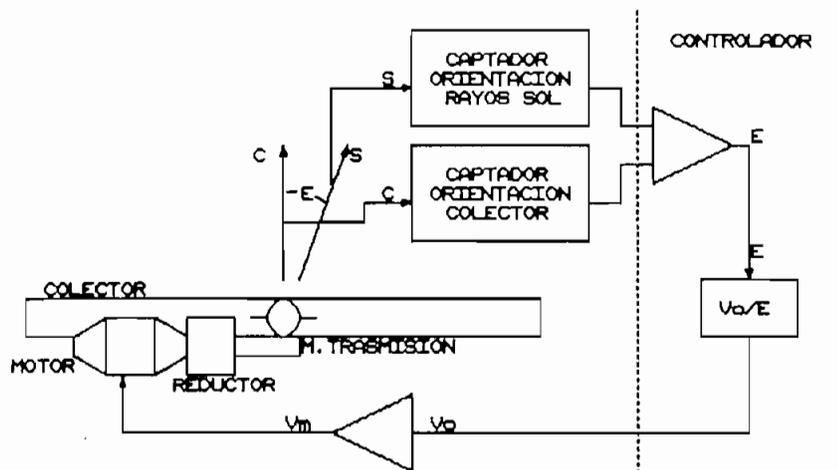
El diseño del sistema de mando y control del panel puede realizarse de diferentes formas, que pueden ser hidráulicos, mecánicos, electromecánicos, etc. [1]

Puede utilizarse por ejemplo, simples sistemas de relojería para pequeños montajes de eje polar. Sin embargo el empleo de un motor eléctrico y un reductor de velocidad por cada eje de pico es el sistema más habitual. Pero lo normal, es el empleo de sistemas de control de lazo cerrado cuyo esquema básico es el de la figura 1.2a.

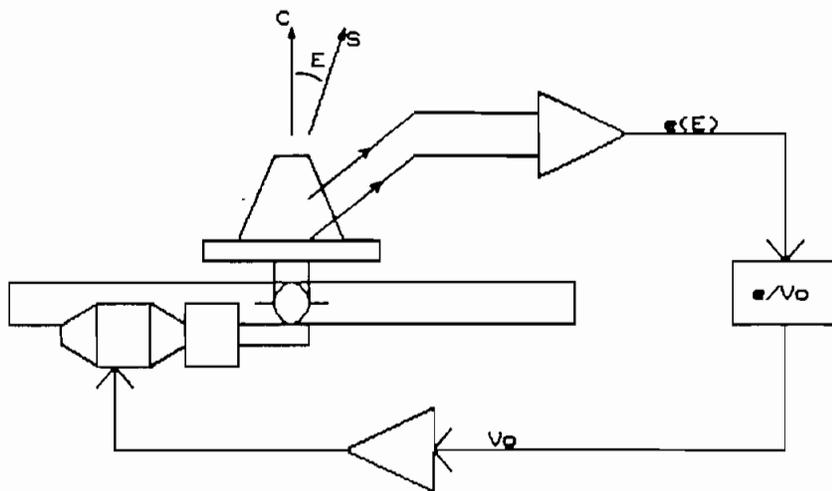
Este esquema es muy general y admite materializaciones muy diversas que pueden agruparse en dos tipos de sistemas de control: los sistemas que utilizan fotosensores para obtener la señal de error de puntería (figura 1.2b) y los que calculan la posición del sol en función de datos astronómicos, geográficos del lugar y la hora del día.

Los métodos de seguimiento del sol por coordenadas calculadas que obtienen la posición del mismo mediante el cálculo de su trayectoria astronómica y no precisan, por tanto, de la presencia de los rayos solares, se utilizan frecuentemente en los sistemas de aprovechamiento de la energía solar que requiere un seguimiento indirecto del sol, como ocurre en el caso de los campos de helióstatos de las centrales solares de tipo térmico [2]. En los sistemas basados en un seguimiento directo del sol, ya sean térmicos o fotovoltaicos, el seguimiento más empleado es, sin embargo, el que utiliza fotosensores. La imposibilidad del seguimiento cuando se producen ocultamientos del sol y la necesidad, en consecuencia, de emplear un tiempo en la recuperación de la puntería cuando el sol reaparece, son características inherentes a todos los sistemas de seguimiento basados en fotosensores.

Como ya se dijo anteriormente, los sistemas que utilizan fotosensores son los más adecuados para los casos de pequeños y medianos colectores individuales, puesto que proporcionan un



(a) LAZO DE CONTROL TÍPICO DE UN SISTEMA DE SEGUIMIENTO DEL SOL (GENERAL)



(b) ESQUEMA SIMILAR AL ANTERIOR, UTILIZANDO UN FOTOSENSOR

FIGURA 1.2

procedimiento sencillo de localización y seguimiento del sol. Hay que poner especial cuidado en el montaje del sensor respecto al panel y en la rigidez de la unión de ambos para evitar errores

sistemáticos que se derivan de una alineación inadecuada durante el montaje o en desplazamientos posteriores del sensor.

Los motores utilizados, para mover el panel rastreador, generalmente son de corriente continua, fáciles de controlar; no obstante pueden utilizarse de corriente alterna y motores paso a paso principalmente en el caso de movimiento intermitente y velocidad constante.

Las potencias necesarias son muy pequeñas debido a las bajísimas velocidades de giro del panel; éstas suelen ser inferiores a 10 W para mover paneles colectores de unos 25 m². El circuito de control para el prototipo diseñado, está controlando un panel que mide 0.2m x 0.2m, sin embargo este circuito podría controlar un panel de 2m x 2m, añadiendo un circuito de traslación de voltaje y otros motores paso a paso de mayor potencia.

1.3.3 DESCRIPCION DEL PROTOTIPO DISEÑADO.-

El panel rastreador está formado por dos mecanismos: un mecanismo superior (móvil) y uno inferior (soporte mecánico del panel).

El mecanismo superior (móvil), lo forma un soporte de acrílico (figura 1.3), sobre el cual se encuentran montados todos los elementos constitutivos de este mecanismo, tales como:

Panel Propiamente dicho.- sobre éste se encuentra montado el sistema de obturación, los cuatro fotosensores utilizados, y un disco bicolor (Usado en el posicionamiento horizontal).

Motor de Pasos.- (Superior), este elemento muy importante, se encuentra montado sobre una plataforma metálica, la que a su vez se acopla a una de las caras laterales del soporte de acrílico.

Optoacoplador Interrumpible.- este sensor está montado sobre la cara horizontal del soporte.

Sensores de Fin de Carrera.- son dos y también se encuentran montados sobre el soporte.

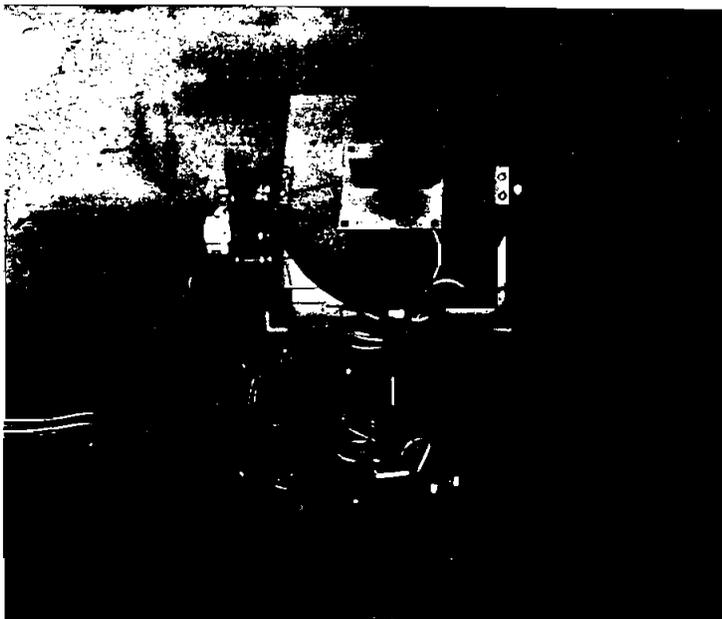


FIGURA 1.3

El mecanismo inferior, que constituye el soporte de todo el panel, es estacionario, con respecto a la superficie sobre la cual se encuentra montado. Sabiendo que, como se mencionó anteriormente, la superficie sobre la cual se monta el panel, puede moverse libremente con respecto a un punto fijo en tierra. Este mecanismo está formado por un soporte de acrílico (6 mm.), de forma cilíndrica (huecá), cuya cara superior e inferior son dos círculos, y tiene por caras laterales cuatro rectángulos, los mismos que dan el soporte mecánico a todo el panel, Ver figura 1.4.

En el interior del cilindro, sobre la cara inferior del mismo, se ha montado el motor de pasos correspondiente, de la misma manera que en la parte superior. Este motor, a través de un eje acoplado al mismo, por medio de un sistema de engranajes,

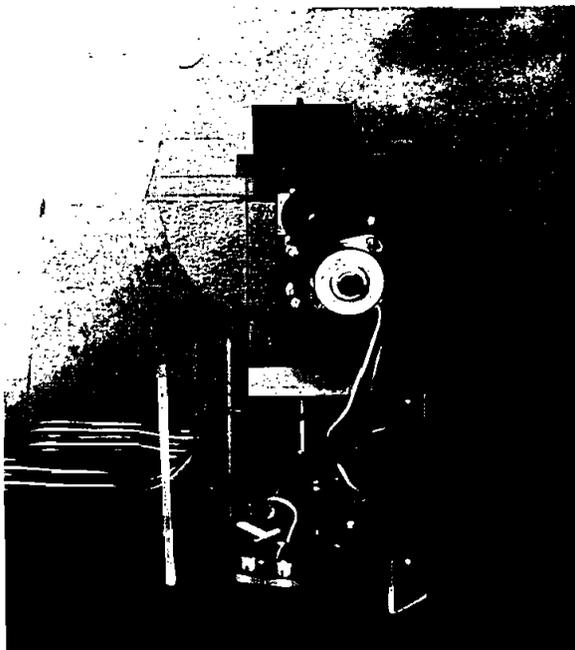


FIGURA 1.4

proporciona el movimiento al mecanismo superior, constituyéndose en un elemento muy importante del prototipo. Además en la plataforma metálica, sobre la cual se ha montado el motor de pasos también se encuentran acoplados los correspondientes sensores de fin de carrera, que son los encargados de sensar las posiciones límites del mecanismo superior (móvil).

Por último, sobre la cara inferior del cilindro se encuentran acoplados dos fotosensores, los cuales son los encargados de sensar la cantidad de intensidad luminosa en el medio ambiente. Más adelante se verá en detalle la función de estos elementos.

1.4 DIAGRAMAS DE BLOQUES.-

Uno de los primeros diagramas de bloques concebido es el que se muestra a continuación en la figura 1.5.

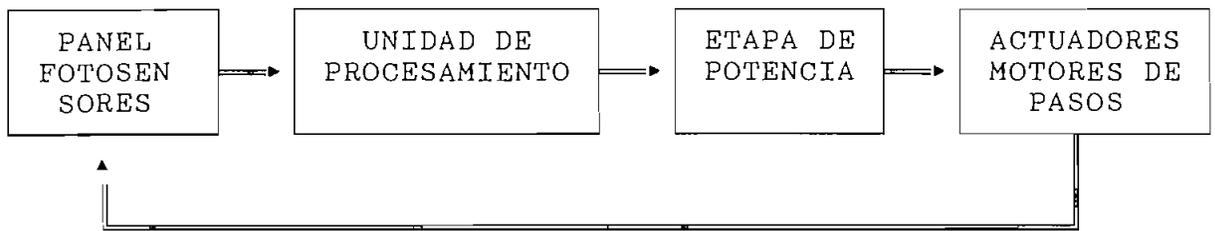


FIGURA 1.5

Este diagrama, con ciertas adecuaciones es el que sirvió de base para la construcción del equipo. Como se puede ver existe realimentación, debido a que los elementos actuadores varían directamente la posición del panel, en donde se encuentran los fotosensores, los mismos que son los encargados de sensar la posición de la fuente luminosa.

A continuación se muestra un diagrama más explicativo, el cuál refleja con objetividad el diseño final del equipo.

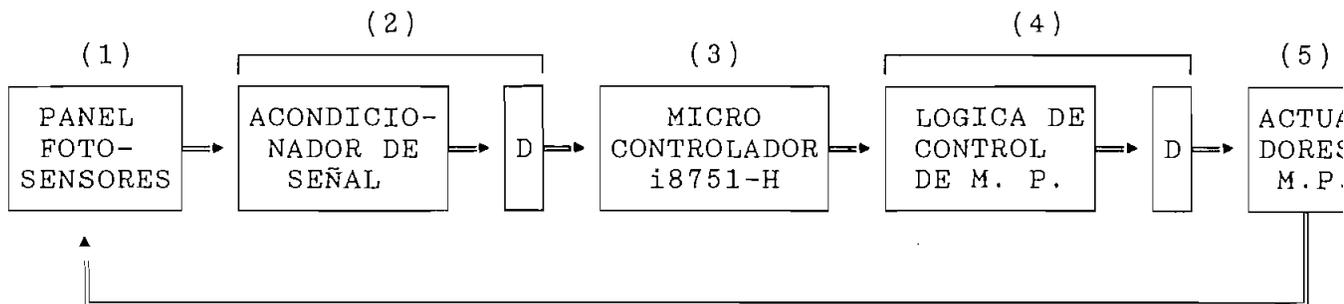


FIGURA 1.6

Donde: D = "Driver"

M.P. = Motores de Pasos.

Los bloques pertenecientes al diagrama de la figura 1.6 se explican a continuación:

El primer bloque (1), se encuentra conformado por el panel con todos sus componentes. Los cuatro fotosensores montados en

el panel, son suficientes para sensar luz que varíe tanto de norte a sur, como de este a oeste. Esta detección la hace por pares, en donde cada fotosensor perteneciente a su respectivo par, se encuentra ubicado en sentido opuesto uno del otro, separados por el sistema de obturación, tal como se muestra en la figura 1.7.

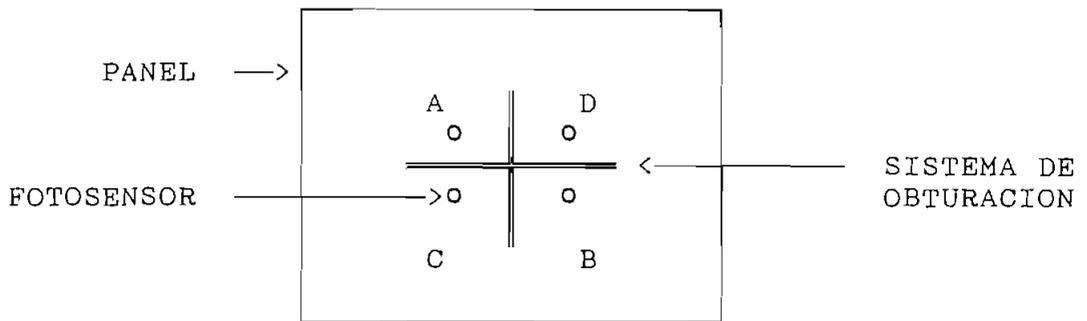


FIGURA 1.7

Donde: Sensores A y B, rastrean variaciones de luz de norte a sur, mientras que C y D lo hacen de este a oeste.

El siguiente bloque (2), correspondiente al acondicionamiento de señal, lo forman circuitos electrónicos encargados de transformar, en nuestro caso, la variación de resistencia debido a cambios de intensidad luminosa, en variaciones de voltaje, de tal forma que el ente inteligente (Microcontrolador), entienda lo que sucede con el medio ambiente que estamos sensando. Esta etapa es muy necesaria, ya que sirve para acoplar los niveles de voltaje adecuados de tal manera de no dañar los circuitos electrónicos utilizados.

A continuación se indica un bloque de "Drivers", éste fue introducido en una etapa posterior al diseño primario, debido a que se necesitaba un elemento que suministre mayor cantidad de corriente al microcontrolador, ya que la etapa anterior no suministraba la cantidad necesaria de corriente, de tal manera de dar los niveles lógicos adecuados.

El siguiente bloque (3), lo constituye el microcontrolador, que es el elemento fundamental de todo el sistema, es el encargado de recibir la información de los sensores y dar las señales de control a los motores de pasos por intermedio de una interfaz que lo forma el siguiente bloque (4). El microcontrolador también vigila las posiciones límites del panel, es decir los finales de carrera, para lo cual recibe información proveniente de los "micro-switches" montados en el panel. Este aspecto es muy importante puesto que le permite al panel moverse dentro de los rangos establecidos, los cuales se explicarán mas adelante en un próximo capítulo.

El posicionamiento horizontal del panel también es supervisado por el microcontrolador mediante la ayuda de un disco bicolor y un optoacoplador interrumpible. Adicionalmente este mecanismo provee otras ventajas que serán analizadas en un próximo capítulo.

Adicionalmente el microcontrolador es el encargado de controlar todas las señales luminosas del sistema, tales como:

- Falla.
- Baja Intensidad Luminosa.
- Final de Carrera (Superior e Inferior).
- Posicionamiento Horizontal.
- Indicadores del Código de Falla.

A continuación se tiene el bloque número (4) que lo hemos llamado: "Lógica de Control de los Motores de Pasos", este bloque lo conforman dos circuitos integrados (Chips), controladores de motores de pasos (L-297, Casa fabricante SGS), los cuales están destinados para usarse con drivers, en aplicaciones que manejan motores de pasos. Estos controladores reciben las señales de control desde el controlador principal (8751), y poseen todas las señales de manejo necesarias para la etapa de potencia. El "driver" usado con este controlador es el ULN-2003A (Casa Fabricante SGS), el mismo que tiene una capacidad máxima de

corriente de 0.5 A, lo que es suficiente para nuestras necesidades.

El último bloque (5), le corresponde a los actuadores que en nuestro caso lo forman 2 motores de pasos cuyas características se detallarán mas adelante.

Vale la pena mencionar que los motores de pasos usados en este proyecto, no existen en el mercado, éstos motores fueron encontrados formando parte de impresoras EPSON inservibles. Esta situación dificultó el conocimiento de sus características y por consiguiente el diseño del sistema con éstos elementos.

Al terminar el primer capítulo correspondiente a generalidades se da paso a explicar los siguientes capítulos.

CAPITULO II

DISEÑO DE LA PARTE MECANICA

CAPITULO III

DISEÑO DE LA PARTE MECANICA

2.1 DISEÑO MECANICO DEL EQUIPO

En este capítulo explicaremos en detalle el diseño y construcción del panel rastreador de luz. De todas maneras se debe tomar en cuenta que este capítulo depende de aspectos abordados posteriormente.

Como se indicó en el capítulo anterior, el panel está formado por dos partes: un mecanismo superior (móvil) y un mecanismo inferior ("estacionario").

El mecanismo superior (móvil), está conformado por los siguientes elementos:

- 1) Soporte de Acrílico.
- 2) Panel Propiamente Dicho.
- 3) Optoacoplador Interrumpible.
- 4) Sensores de Final de Carrera.
- 5) Motores de Pasos.

1.- Soporte de Acrílico.-

Para un mejor entendimiento ver la figura 2.1, la misma que se describe a continuación.

Este sistema es el que da el soporte mecánico a todos los elementos de la parte móvil, el mismo que está construido en acrílico de 4 mm., altamente resistente. Está formado por una cara inferior horizontal y dos laterales, éstas se encuentran acopladas a los extremos de la cara horizontal mediante un ajuste triangular hecho de acrílico (6mm.), el mismo que le da la consistencia deseada al soporte. En la parte central de la cara horizontal se encuentra un orificio circular, que sirve para recibir al eje rotor, éste forma parte del sistema de tal manera de moverse conjuntamente. El ajuste entre el eje y el soporte

superior se lo hace mediante dos tuercas con sus respectivas rodelas.

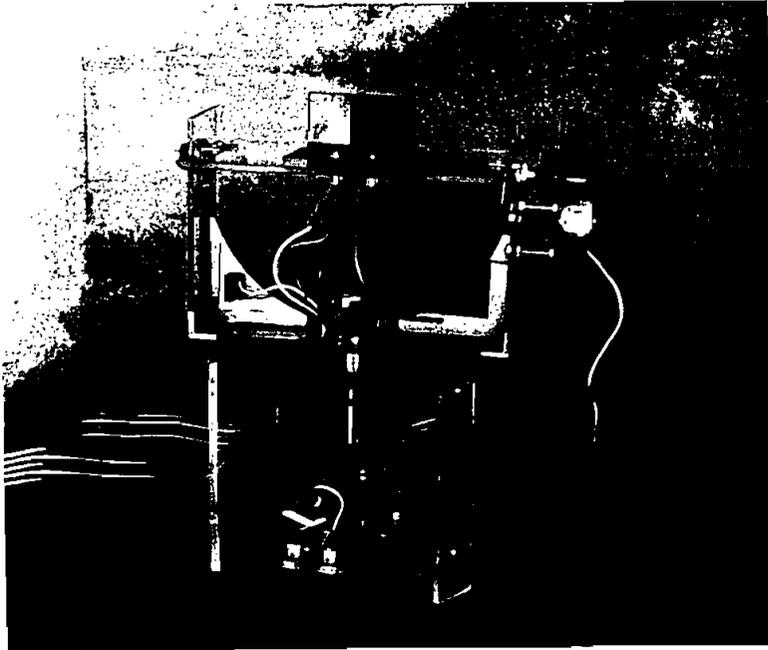


FIGURA 2.1

En cada cara lateral se ha acoplado un rulimán, que facilita el giro del panel, evitando el rozamiento entre los ejes acoplados al panel y la masa de acrílico de las caras laterales. En la cara horizontal, junto al orificio central del soporte se incluye dos perforaciones, las mismas que sirven para pasar los cables de todo el sistema superior móvil.

2.- Panel Propiamente Dicho.-

Este sistema está hecho de acrílico de 4 mm., tiene forma cuadrada (0.2 x 0.2 m.), como se puede observar en la figura 2.2.

En la parte central se encuentra acoplado al panel el sistema de obturación, que tiene la forma de una cruz griega vista desde arriba. Éste sistema está hecho en acrílico, pintado de color negro para obviarse la reflexión de cualquier fuente de luz, que podría alterar los patrones de luz/sombra formados. En

cada cuadrante del obturador se incluye un fotosensor, un elemento muy importante en el diseño. Este elemento sensible está bien acoplado al panel, por medio de un cemento plástico muy resistente, de tal manera de no tener orientaciones erróneas.

En los lados laterales se encuentran acoplados los ejes de movimiento del panel, los mismos que le van a permitir girar libremente, estos ejes no rozan con la masa de acrílico de las caras laterales del soporte, debido a la existencia de rulimanes.

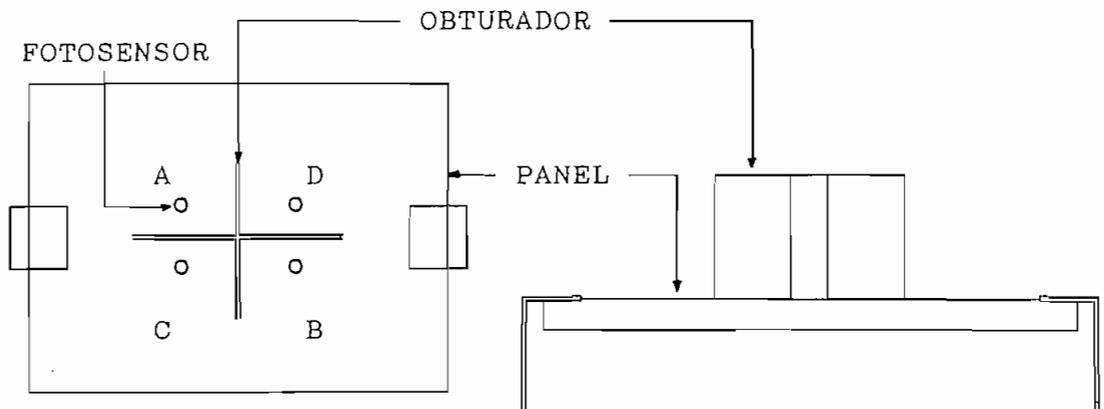


FIGURA 2.2

Adicionalmente, se acopla en la parte posterior del panel un semicírculo, hecho también en acrílico de 2 mm., cuyo cuadrante está pintado de negro, de tal manera de actuar sobre el optoacoplador incluido en la parte horizontal del soporte descrito anteriormente. El propósito de este elemento se explicará mas adelante.

3.- Optoacoplador Interrumpible.-

Este elemento se incluye en la parte móvil, como sensor de la posición del panel. Se adhiere a la parte horizontal mediante un compuesto de cemento para acrílico. El sensor está montado sobre un pedazo de baquelita, ésta es la que se acopla a la masa de acrílico (Ver figura 2.3). De la "minitarjeta" se obtiene

tres salidas que son las señales a procesarse.

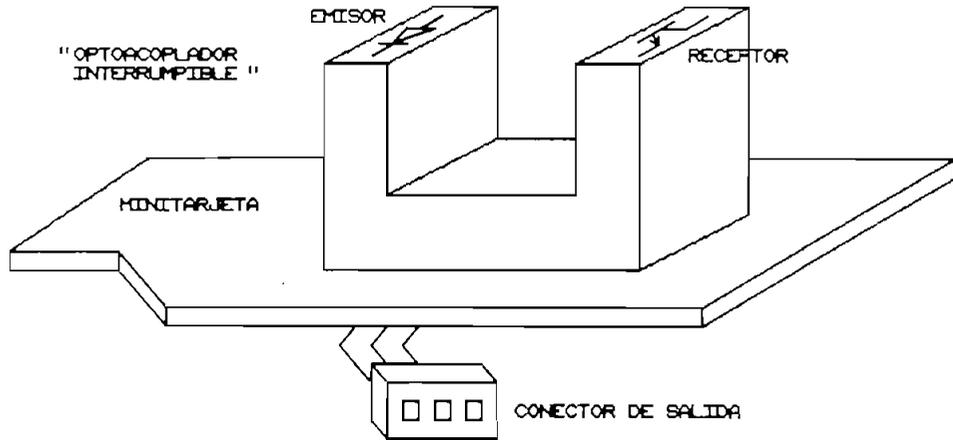


FIGURA 2.3

4.- Sensores de Fin de Carrera.-

Estos sensores (2 Microswitch), se acoplan al soporte de acrílico, usando el compuesto de cemento para acrílico, de tal manera de obtener la solidez deseada.

Los sensores tienen la forma que se muestra en la figura 2.4. Aquí se puede ver que poseen un brazo pequeño, el cual activa el contacto, cuando el panel está moviéndose en el sentido indicado en la figura 2.4. De tal manera que el microswitch, normalmente cerrado, al ser activado por el panel, cambia de estado a normalmente abierto, obteniéndose una señal adecuada que posteriormente será procesada en el microcontrolador.

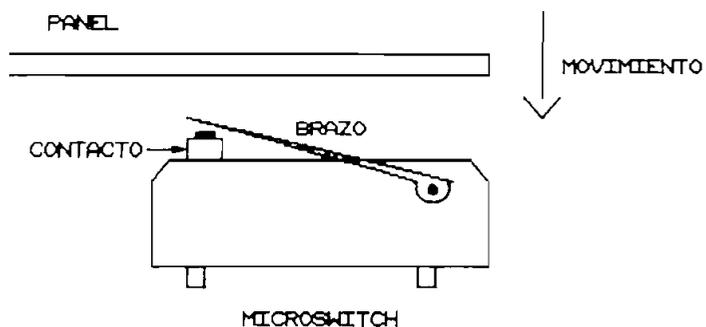


FIGURA 2.4

Se han colocado dos "microswitch" en posiciones opuestas, de las mismas características, para sensar la posición límite del panel de 0° y 180°, tal como se muestra en la figura 2.5.

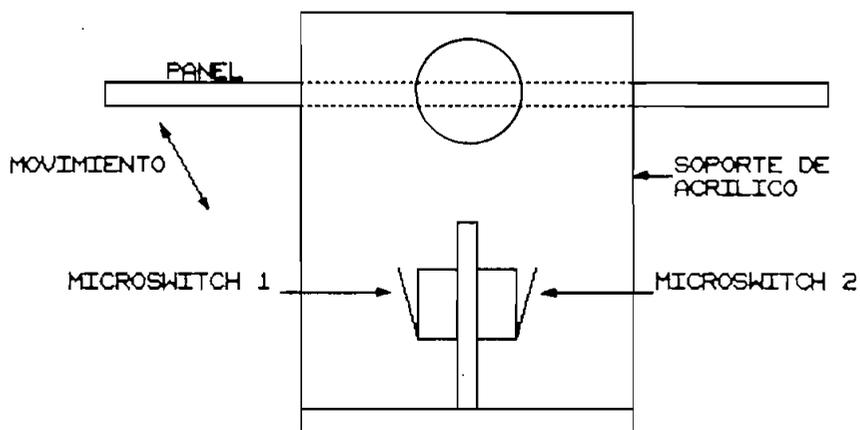


FIGURA 2.5

5.- Motor de Pasos.-

Este elemento, constituye uno de los más importantes en la parte móvil. El motor de pasos se encuentra montado sobre una pequeña plataforma metálica mediante dos tornillos, que le dan la suficiente firmeza. La plataforma, a su vez, se encuentra acoplada a la cara lateral de acrílico del soporte, por medio de 5 tornillos de rosca fina galvanizados, los cuales permiten regular la posición vertical del motor en el montaje, proporcionando una gran flexibilidad en este sentido. (Ver figura 2.6).

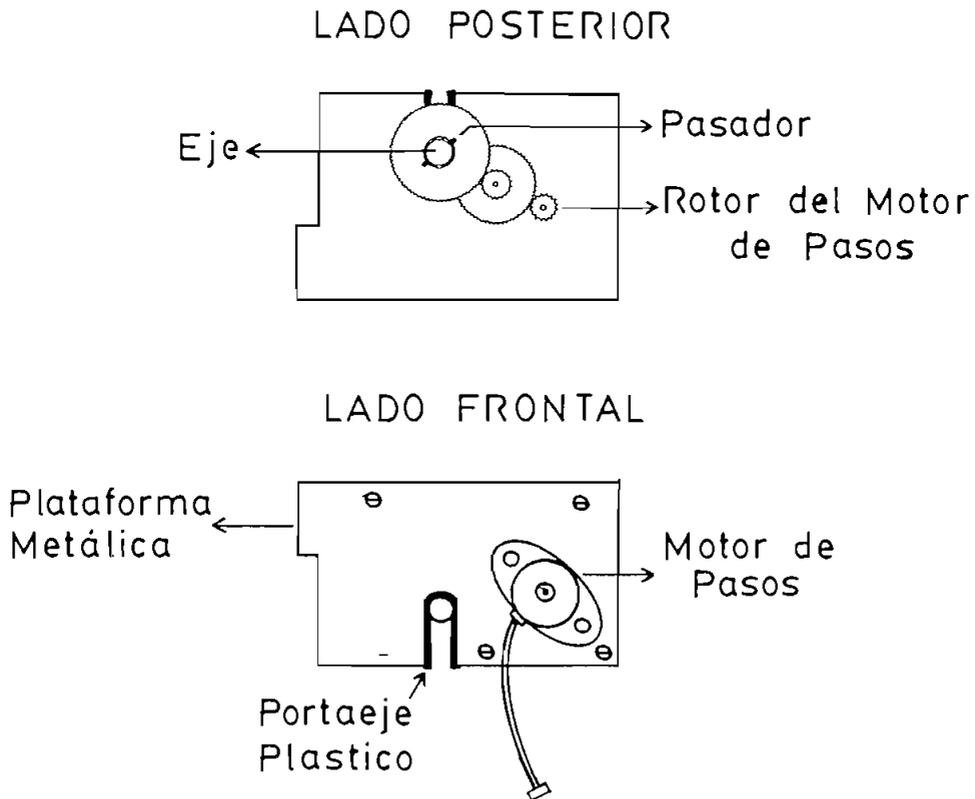


FIGURA 2.6

Además a la plataforma metálica se añade un portaeje plástico, el cual sirve para sostener el eje perteneciente al panel. En el lado del rotor del motor de pasos se incluye un sistema de reductores de velocidad, los cuales están acoplados fijamente en la plataforma metálica. Existe un disco dentado del sistema reductor de velocidad, por cuyo centro pasa el eje acoplado al panel, este disco se encuentra mecánicamente conectado mediante dos ranuras, que calzan en un pasador perteneciente al eje, de tal manera que eje y disco giren simultáneamente dando el movimiento deseado. (Ver figura 2.6)

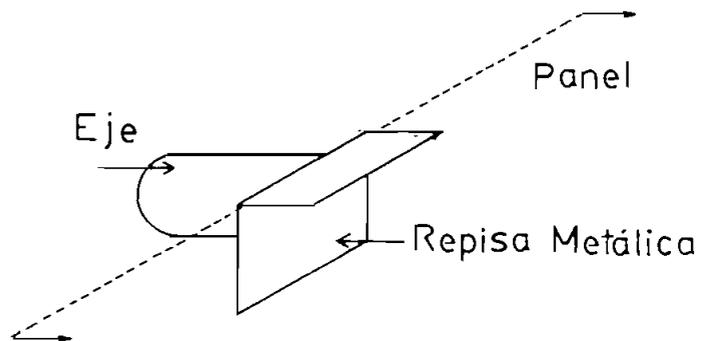


FIGURA 2.7

En la figura 2.7 podemos ver como el eje antes descrito se une al panel, se lo hace usando una especie de repisa metálica en cuya parte horizontal contiene dos orificios, por donde se pasarán dos tornillos que servirán para sostener el panel.

Se usa la misma configuración para sostener el otro lado del panel, excepto que el eje de este lado es más pequeño y sin ningún acoplamiento especial a él, ya que sólo sirve para dar el soporte necesario al encontrarse unido al rulimán de ese lado.

Los ejes y las repisas se encuentran soldadas con plata, lo que permite que no exista residuos de soldadura en la unión de estos dos elementos.

Siguiendo con la explicación de las partes principales de todo el sistema, le corresponde el turno a la parte inferior estacionaria, la misma que está conformada por los siguientes elementos:

- 1) Soporte de Acrílico.
- 2) Eje Principal del Sistema.
- 3) Motor de Pasos y Sensores de Fin de Carrera.

1.- Soporte de Acrílico.-

Este elemento importante, como soporte mecánico de todo el sistema, se muestra en la figura 2.8, y será descrito a continuación:

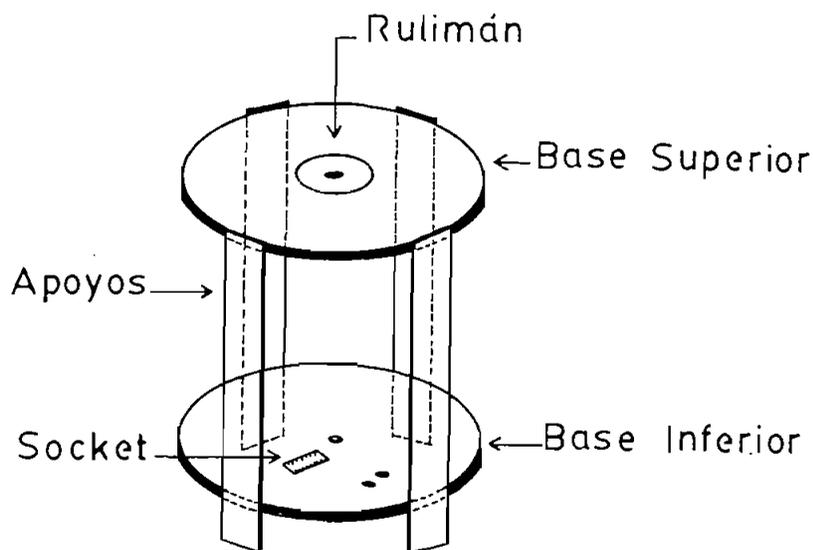


FIGURA 2.8

El soporte está hecho en acrílico de 6 mm. (De alta resistencia), consta de dos círculos uno superior y otro inferior, el círculo superior contiene en su parte central un

rulimán, el mismo que da el soporte mecánico al eje principal del sistema. En el círculo inferior se montará el motor de pasos respectivo, así como dos fotosensores (auxiliares), además se incluye un socket, que evita la tensión de los cables provenientes de todos los sensores del sistema (Panel), lo cuál podría romper los conductores o aún peor dañar los sensores más frágiles (Fotoresistencias). El círculo superior e inferior están separados por cuatro soportes de acrílico (6 mm.), en forma rectangular, que vendrían a constituirse en los "apoyos" de todo el soporte.

2.- Eje Principal del Sistema.-

Este eje constituye el elemento que da el movimiento a la parte superior móvil. Está hecho de una aleación de acero muy resistente. En cuya parte superior se ha sacado rosca, la que permite ajustar todo el sistema superior móvil mediante un par de tuercas, ver figura 2.9.

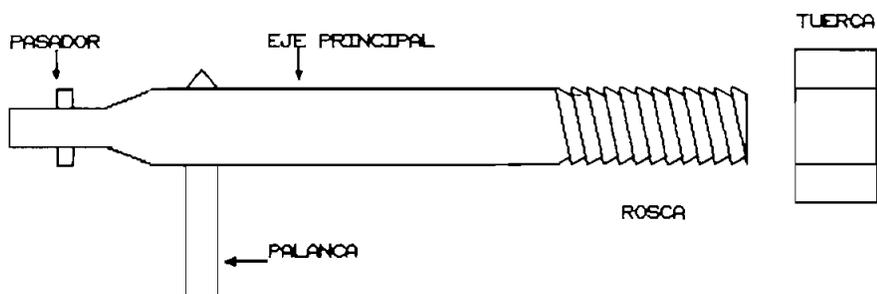


FIGURA 2.9

El posicionamiento del eje en el sistema es en forma vertical. En la parte inferior del mismo, se ha acoplado una palanca pequeña, la misma que sirve para activar los sensores de fin de carrera (microswitch), ésta palanca tiene la robustez necesaria para esta función, pues está hecha de una aleación similar a la del eje principal. Observando la figura 2.9, se puede apreciar que en la parte más baja del eje se ha acoplado un pasador que tiene la misma función del pasador hablado en el numeral 5 de la parte superior móvil.

3.- Motor de Pasos y Sensores de Fin de Carrera.-

Al igual que en la parte superior móvil, en esta sección también se incluye un motor de pasos de idénticas características. Este motor está montado sobre un soporte metálico, el mismo que se encuentra ubicado sobre la parte inferior del soporte de acrílico, mediante 5 tornillos de rosca fina galvanizados, los mismos que permiten ajustar la posición horizontal del soporte metálico. En éste soporte, de la misma manera que el correspondiente a la parte superior móvil, se encuentra montado el sistema de engranajes (reductores de velocidad), los cuales a su vez se enlazan al eje principal. El acoplamiento se lo hace usando un pasador perteneciente al eje, éste calza exactamente con una muesca perteneciente a uno de los engranajes del sistema reductor de velocidad, de tal manera que cuando el motor se mueva un paso, el tren de engranajes traduce este movimiento al eje principal del sistema por intermedio del acoplamiento muesca-pasador. (Ver la figura 2.10)

Adicionalmente se incluye sobre el soporte metálico, dos sensores de fin de carrera (microswitch), estos elementos están colocados de tal forma de permitir un movimiento de la parte superior móvil, aproximadamente entre 0° y 360° . Estos sensores son muy importantes puesto que son los encargados de evitar que el cableado del sistema móvil se enrede cuando se realice un seguimiento de una fuente de luz giratoria. Los microswitch

están enlazados al soporte metálico mediante una goma especial para pegar metal con material sintético, ésta le da la consistencia deseada.

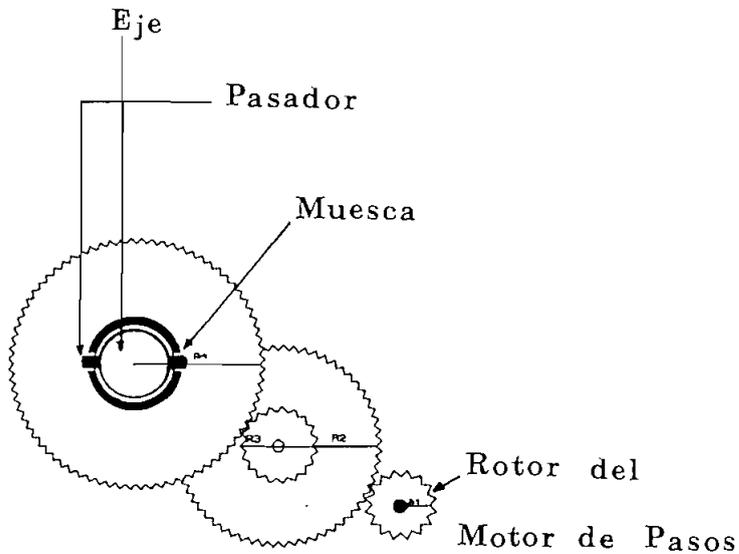


FIGURA 2.10

Estos microswitch son activados por una palanca perteneciente al eje principal, la que se indica en la figura 2.9.

Cabe anotar que todo el sistema, que constituye el panel rastreador es fácil de acoplar al sistema de control mediante el uso de cable plano, en cuyo extremo tiene un conector macho, el cual calza exactamente en el receptor, conector hembra perteneciente al sistema de control.

Este acoplamiento se lo hace usando dos conectores de este tipo. El alambre plano viene con un código de colores, el mismo que facilitó notablemente el montaje y conexión de los dos sistemas (Panel y Sistema de Control). Por previsión se tiene 16 líneas libres para posibles variaciones (ampliaciones).

Con respecto al equipo de control, el cual lo forma una caja metálica de 39 cm. x 27 cm. x 11 cm., tal como se muestra en la figura 2.11.

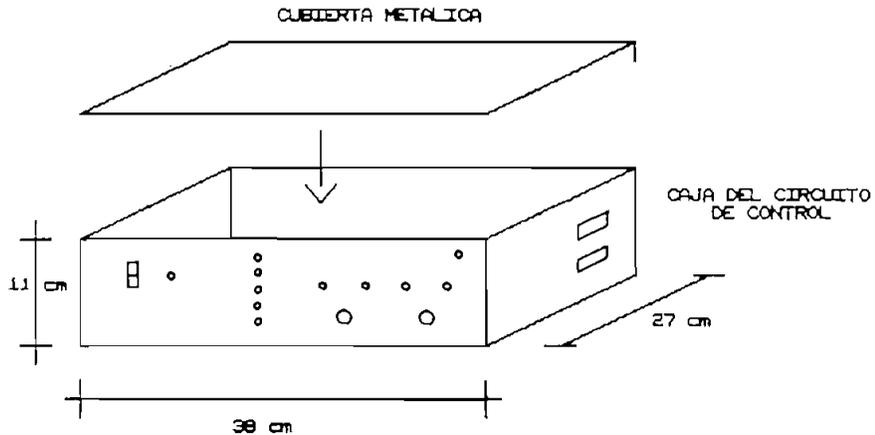


FIGURA 2.11

Dentro de la caja, se ha colocado los siguientes componentes del circuito de control:

- 1) Tarjetas Electrónicas.
- 2) Transformadores (2).
- 3) Elementos Adicionales.

1.- Tarjetas Electrónicas.-

Existe un total de cuatro tarjetas, dos de éstas están colocadas, debido al restringido espacio físico, una encima de la otra, separadas por postes para evitar contactos indeseables. Estas tarjetas constituyen la interfaz entre los sensores y el microcontrolador. Además estas tarjetas están hechas mediante la técnica de fotograbado (usando minidrill, suelda, cautín, etc.). La tercera tarjeta constituye la fuente de alimentación de todo

el circuito de control, esta tarjeta se encuentra construída usando la técnica convencional (usando suelda, cautín, etc.), pero sin utilizar baquelita sino una plataforma "Vector" de "Wire-Wrapping".

La cuarta tarjeta, contiene los principales elementos electrónicos de todo el sistema, como son:

- Microcontrolador (8751H - Fabricante Intel).
- Controladores de Motores de Pasos (L-297 - Fabricante SGS).
- Drivers (ULN-2003A - Fabricante SGS).
- Drivers (74LS 245 - TTL).
- Circuitos Integrados Adicionales (7408 - TTL).

Esta tarjeta se la realizó usando la técnica de "Wire-Wrapping", la misma que facilita posibles cambios en el circuito. Las conexiones a los motores usan otro tipo de alambre más grueso que el de Wire-Wrapping, puesto que manejan mayor corriente.

Todas estas tarjetas están acopladas al piso de la caja mediante "postes", sostenidos con tornillos, lo que da un excelente soporte mecánico a las mismas. Cada una de las tarjetas tiene su regleta de conexiones, lo que permite removerlas fácilmente, proporcionando mucha flexibilidad al circuito de control.

2.- Transformadores.-

Existen dos transformadores, los cuales están acoplados a la base de la caja por medio de tornillos, los cuales poseen en su base apoyos de caucho, lo que evita que la base de la caja, debido al peso de los transformadores, se desnivele. Además los transformadores no tienen un contacto directo con la base metálica de la caja, puesto que éstos están colocados sobre una pequeña plataforma aislante, de manera de evitar contactos indeseables causantes de problemas.

3.- Elementos Adicionales.-

Como se puede ver en la figura 2.11, existen varios componentes acoplados a las caras de la caja, como son:

- "Leds" Indicadores.
- "Switch".
- Pulsantes.
- Conectores.
- Receptáculo Macho de AC.

Los leds indicadores se encuentran pegados a la cara frontal del equipo de control, con la ayuda de un cemento plástico, lo que les da un buen montaje.

El "switch" de encendido está unido a su respectivo lugar por medio de un seguro de ajuste del mismo "switch", el cual le da la firmeza requerida. Mientras que el switch de posicionamiento fino se encuentra montado en la caja del circuito de control, por medio de un juego de tuercas que también le dan la inmovilidad necesitada.

Los pulsantes están acoplados por medio de sus respectivos juegos de tuercas para ajuste.

El pulsante de "reset" se encuentra a la vista del usuario, mientras que el pulsante de posicionamiento horizontal se encuentra cubierto por una tapa plástica, puesto que este pulsante debe ser operado en ciertas condiciones por el usuario, por ejemplo cuando el panel no está bien orientado al inicio del rastreo. Esta tapa está montada sobre una de las caras laterales de la caja del circuito de control mediante pernos.

En la cara lateral derecha (vista desde el frente), se incluye dos conectores hembras, cada uno con 25 contactos, éstos están unidos a la cara metálica mediante pernos, los mismos que proporcionan la consistencia adecuada.

En la otra cara lateral se encuentra acoplado un Receptáculo Macho de AC mediante pernos, que son suficientes para ajustar

fuertemente al elemento.

Para alimentar a todo el circuito de control se usa un conductor de potencia que es fácilmente desmontable, permitiéndose transportar el equipo de una manera sencilla.

En la parte posterior y lateral izquierda existe un grupo de orificios, los mismos que sirven para la ventilación del equipo, puesto que en su interior se encuentran acoplados a la fuente de alimentación, tres reguladores de voltaje, los cuales disipan una cantidad significativa de calor.

2.2 DIAGRAMAS DE LA PARTE MECANICO

A continuación se presenta tres fotografías, correspondientes al prototipo construido.

En la figura 2.12, se muestra la foto del panel rastreador, en donde se puede ver todos los elementos que lo forman.



FIGURA 2.12

A continuación en la figura 2.13, se muestra la foto correspondiente al circuito de control, donde se puede ver todos los elementos que forman el mismo.

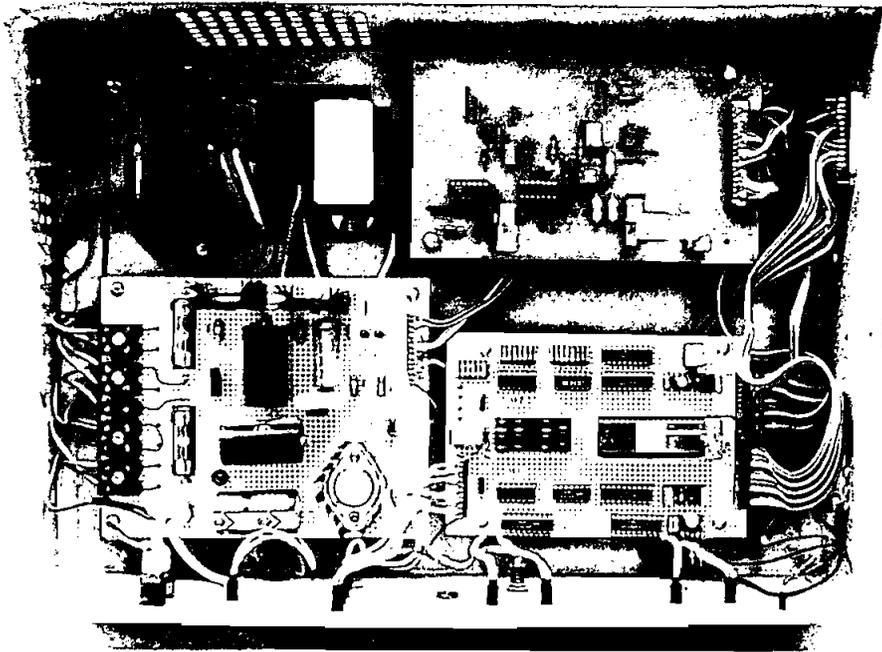


FIGURA 2.13

Y por último, en la figura 2.14, se muestra una fotografía en donde se puede observar la parte externa del circuito de control.

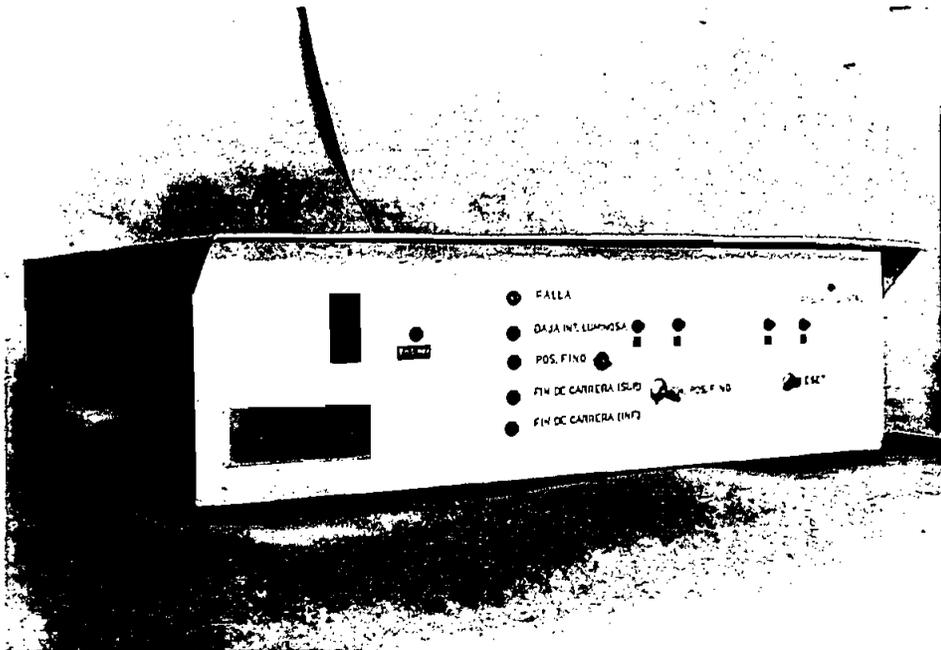


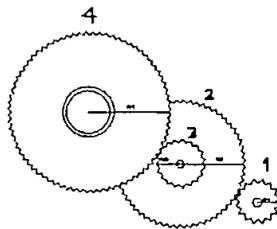
FIGURA 2.14

2.3 CALCULOS

En este punto, se calculará, tanto el momento de inercia del mecanismo móvil, así como también la relación de torques del tren de engranajes utilizado.

2.3.1 CALCULO DE LA RELACION DE TORQUES EN EL TREN DE ENGRANAJES

En estos mecanismos se cambia el nivel de torque y velocidad, conservándose la energía.



$$R_1 = 4.50 \text{ mm. } N_1 = 16$$

$$R_2 = 15.25 \text{ mm. } N_2 = 60$$

$$R_3 = 5.25 \text{ mm. } N_3 = 19$$

$$R_4 = 19.25 \text{ mm. } N_4 = 76$$

A continuación se muestra la simbología de las variables utilizadas:

T = Torque

W = Velocidad Angular

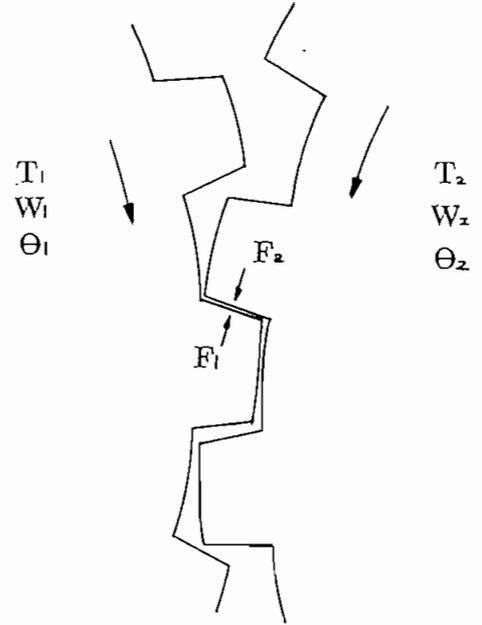
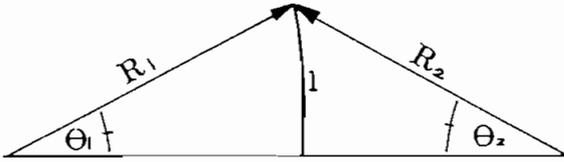
θ = Desplazamiento Angular

R = Radio de la rueda (engranaje)

N = Número de dientes de la rueda (engranaje)

F = Fuerza

En los cálculos se supone que la rigidez de los ejes del tren de engranajes es infinita, es decir no existe ni huelgas ni deformación elástica, y que el número de dientes de cada engranaje es proporcional a su radio, como ocurre con el tren usado.



$$F_1 = F_2$$

$$l = R_1 \theta_1 = R_2 \theta_2$$

$$(I) \quad \frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{R_1}{R_2} \quad \Rightarrow \quad (II) \quad \frac{W_2}{W_1} = \frac{R_1}{R_2}$$

Sabemos que:

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

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

Puesto que: $F_1 = F_2$

Se obtiene, Dividiendo (IV) para (III):

$$(V) \quad \frac{T_2}{T_1} = \frac{R_2}{R_1}$$

Si: $l_D =$ longitud del diente.

$$N_1 = \frac{2\pi R_1}{l_D} \quad y \quad N_2 = \frac{2\pi R_2}{l_D}$$

De donde:

$$(VI) \frac{N_1}{N_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

De (I), (II), (V), y (VI) tenemos:

$$(VII) \frac{T_2}{T_1} = \frac{\theta_1}{\theta_2} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

Aplicando estas expresiones al tren de engranajes en estudio se tiene:

Relacionando (1) y (2):

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{16}{60} = 0.26 \Rightarrow T_2 = 3.75 T_1 \quad (VIII)$$

$$\frac{W_2}{W_1} = \frac{N_1}{N_2} = 0.26 \Rightarrow W_2 = 0.26 W_1 \quad (IX)$$

Relacionando (2) y (3):

$$P_2 = T_2 W_2$$
$$P_3 = T_3 W_3$$

$$\text{Pero; } \theta_2 = \theta_3 \Rightarrow W_2 = W_3 \quad (X)$$

Como ya dijimos anteriormente Trabajo y Energía se conservan, entonces tenemos:

$$P_2 = P_3$$

$$P_2 = P_3 = T_2 W_2 = T_3 W_3$$

Utilizando (X) tenemos:

$$T_2 = T_3 \quad (\text{XI})$$

Relacionando (3) y (4):

$$\frac{T_3}{T_4} = \frac{N_3}{N_4} = \frac{19}{76} = \frac{1}{4} \quad ; \quad T_4 = 4 T_3 \quad (\text{XII})$$

$$\frac{W_3}{W_4} = \frac{N_4}{N_3} = \frac{76}{19} = 4 \quad ; \quad W_3 = 4 W_4 \quad (\text{XIII})$$

Entre VIII y XI:

$$T_3 = 3.75 T_1$$

Usando XII:

$$T_4 = 4 (3.75) T_1$$

$$\underline{T_4 = 15 T_1} \quad (\text{XIV})$$

Por Analogía:

$$\underline{W_1 = 15 W_4} \quad (\text{XV})$$

Como podemos observar en la expresión XIV, el torque suministrado por el motor de pasos (T_1), se incrementa 15 veces, gracias al tren de engranajes. El torque (T_1) aumentado 15 veces es el que se proporciona al eje del sistema acoplado al tren. Analizando esta situación podemos indicar que el elemento usado para aumentar el torque, es muy importante debido a que permite trabajar con cargas mas grandes que las especificadas al motor. Esta ventaja va en perjuicio de la velocidad, como se observa en

la expresión (XV), donde fácilmente se ve que la velocidad angular disminuye en la misma proporción de incremento del torque.

2.3.2 CALCULO DEL MOMENTO DE INERCIA DEL SISTEMA MOVIL

En la figura 2.15 a-b, se observa el sistema móvil, del cual se desea calcular el Momento de Inercia aproximado, por ésto se ha obviado ciertos elementos pertenecientes al mismo. El cálculo de los diferentes elementos se lo va a realizar por separado, pero con respecto al mismo eje L, para luego poder sumar sin restricciones.

DIAGRAMA DEL SISTEMA

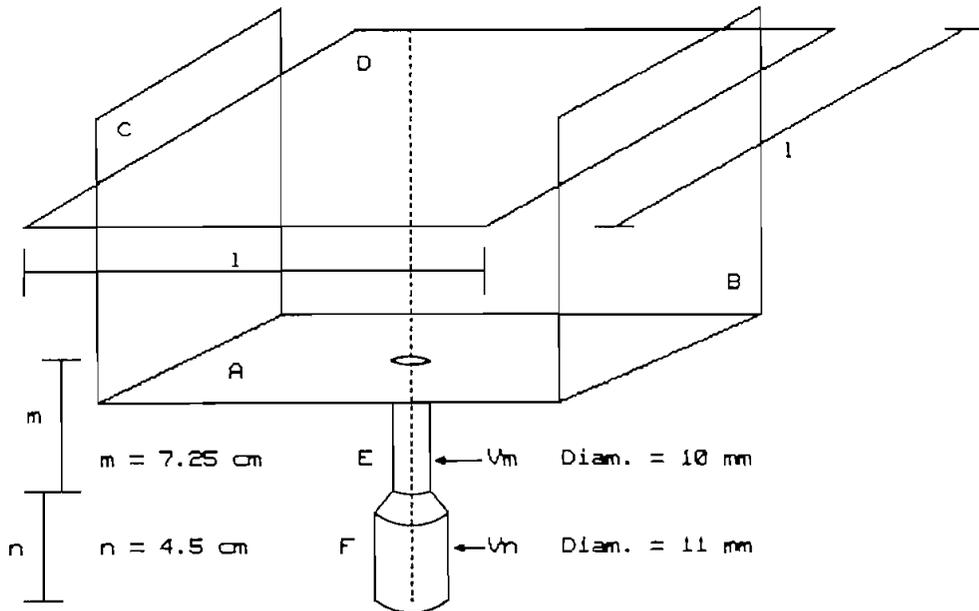


FIGURA 2.15a

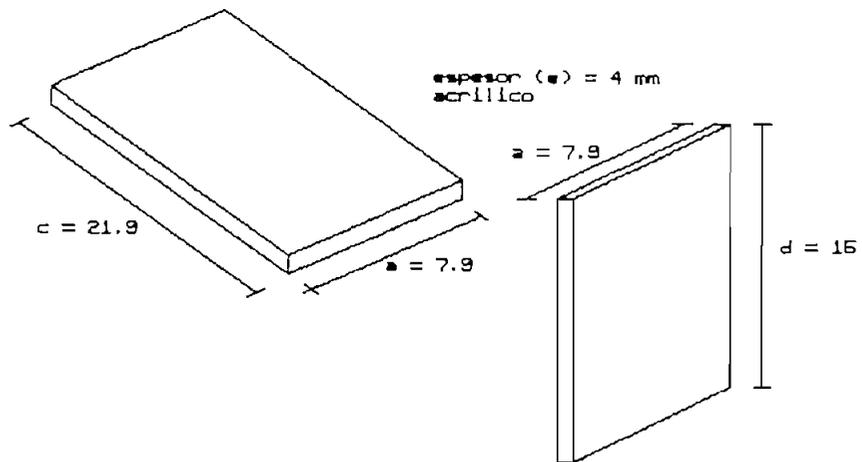


FIGURA 2.15b

Simbología:

m = Masa

V = Volumen

δ = Densidad

I = Momento de Inercia

I_o = Momento de Inercia con respecto a un eje que pasa por el centro de masa.

Todos los subíndices son referidos a la figura 2.15 a-b

$$I_{\text{Total}} = I_F + I_E + I_A + I_B + I_C + I_D$$

$$I_F = I_{O_F} = \frac{1}{2} m_F r_F^2$$

$$I_E = I_{O_E} = \frac{1}{2} m_E r_E^2$$

$$I_A = 1/12 m_A (c^2 + a^2)$$

$$I_B = I_{O_B} + m_B (c/2)^2 ; I_{O_B} = 1/12 m_B (a^2 + e^2)$$

$$I_C = I_{O_C} + m_C (c/2)^2 ; I_{O_C} = 1/12 m_C (a^2 + c^2)$$

$$I_D = 1/12 m_D (l^2 + l^2)$$

Necesitamos algunos valores como son:

$$\delta \text{acrílico} = 1.16 \text{ gr/cm}^3 ; \delta \text{acero} = 7.8 \text{ gr/cm}^3$$

Volumen cilindro = $\pi r^2 l$ donde: r = radio
 l = longitud lateral
del cilindro.

$$V_n = \pi (11/20 \text{ cm})^2 \times 4.5 \text{ cm} = 4.276 \text{ cm}^3$$

$$V_m = \pi (10/20 \text{ cm})^2 \times 7.25 \text{ cm} = 5.694 \text{ cm}^3$$

$$(1) I_F = \frac{1}{2} V_n \delta_{\text{acero}} \times r_F^2 = 5.04 \text{ gr.cm}^2$$

$$(2) I_E = \frac{1}{2} V_m \delta_{\text{acero}} \times r_E^2 = 5.54 \text{ gr.cm}^2$$

$$(3) I_A = 1/12 V_A \delta_{\text{acrílico}} (c^2 + a^2) = 3,625.96 \text{ gr.cm}^2$$

$$(4) I_B = 1/12 V_B \delta_{\text{acrílico}} (a^2 + e^2) = 6,879.41 \text{ gr.cm}^2$$

$$(5) I_B = I_C$$

$$(6) I_D = 1/12 V_D \delta_{\text{acrílico}} (2 l^2) = 13,132.61 \text{ gr.cm}^2$$

Sumando (1) (6);

$$I_{\text{Total}} = 30,527.97 \text{ gr.cm}^2$$

$$I_{\text{Total}} = 10.43 \text{ lb.pulg}^2$$

Usando la expresión, que permite calcular torque requerido

para acelerar una carga inercial acoplada al eje de un motor de pasos se tiene:

$$T = 2 \times I_o (W'/t) \times (\pi\theta/180) \times 1/24 \quad [3]$$

Donde: T = Torque requerido en oz-pulg.
I_o = Carga inercial en lb-pulg².
θ = Angulo de paso en grados.
W' = Velocidad en pasos/segundo.

En nuestro caso tenemos:

$$I_o = 10.43 \text{ lb-pulg}^2$$

$$W' = 10 \text{ pasos/seg.} \longrightarrow 12 \text{ segundos. (Condición 1111)}$$

$$\theta = 7.5^\circ$$

$$T = 2 \times 10.43 \times (10/12) \times (\pi \times 7.5/180) \times 1/24$$

$$T = 6.83 \times 10^{-5} \text{ Kg-m}$$

$$\underline{T = 6.56 \text{ mN-m}}$$

Este resultado nos indica claramente que el torque necesario para mover una carga inercial de las características antes mencionadas, debe ser por lo menos de 6.56 mN-m, lo cual se cubre fácilmente puesto que el motor utilizado aproximadamente da un torque de 6 mN-m, pero con la ayuda del tren de engranajes este torque se incrementa 15 veces, de tal manera que es suficiente para mover la carga correspondiente al mecanismo móvil del panel, para las condiciones anotadas de velocidad.

2.4 JUSTIFICACION DE LOS ELEMENTOS USADOS

Resumiendo, los elementos usados en la construcción de este prototipo, básicamente fueron escogidos, bajo tres puntos de vista. El primero se refiere a los costos, ya que todos los elementos usados son relativamente accesibles económicamente hablando. No ahondamos más en este aspecto, puesto que la mayoría de veces causa controversia.

El segundo se refiere a la existencia de los elementos en el mercado. El prototipo desarrollado fué construído con partes existentes en el mercado y con otros elementos que estaban formando parte de mecanismos inservibles (Ej. los motores de pasos). Algunos de los componentes, principalmente circuitos integrados, no existen en el mercado nacional, pero pueden ser adquiridos fácilmente por intermedio de una empresa de componentes electrónicos llamada "Jameco".

El tercero y último punto se refiere a que la mayoría de componentes de este prototipo fué seleccionado teniendo en cuenta que, el sistema sea fácilmente desmontable, proporcionando de esta manera muchas ventajas con respecto al transporte, al manejo, a futuros cambios, etc.

Una vez terminada la descripción de la parte mecánica se continua con el capítulo más importante que es el correspondiente al diseño electrónico del circuito de control.

CAPITULO III

DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL

CAPITULO III

DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL

En este capítulo se va a detallar los diferentes tópicos correspondientes al diseño del circuito de control, describiendo todos los elementos que lo conforman.

3.1 FUENTE DE ALIMENTACION

En cuanto se refiere a la fuente de poder, tanto para el circuito de control como para el de fuerza, se la construyó en función de satisfacer las necesidades del diseño; en el que se necesitaban fuentes de ± 12 V y + 5 V, para lo cual se escogió un transformador con tap central, a fin de cubrir esta variedad de voltajes. Debido a esto, el diseño se lo hace en base de la fuente de polarización de mayor suministro de energía, que en nuestro caso es la fuente de +5 V.

En el dimensionamiento del transformador es necesario conocer aproximadamente el valor de la corriente que el circuito de control va a necesitar.

Refiriéndose al anexo B, donde se detallan las características eléctricas de los elementos usados, se puede dimensionar la fuente de la siguiente manera.

Para la Fuente de +5 V.:

	ELEMENTOS	I (mA)	ΣI (mA)
SENSOR SOLAR (INTERFAZ)	2 C.I. 7400	150	
	ELEMENTOS ELECTRONICOS ADICIONALES	150	300

ETAPA DE POTENCIA	MICROCONTROLADOR	400	1370
	2 C.I. L-297	400	
	2 C.I. 7408	100	
	3 C.I. 74LS245	270	
	ELEMENTOS ELECTRONICOS ADICIONALES	200	
	(1) $I_{TOTAL} =$		1670

Puesto que la fuente de +12 V suministra la potencia a la de +5 V, es necesario sumar al resultado obtenido en (1), el valor de corriente consumido por la fuente de +12 V., que es de 100 mA. Realizando la suma se tiene un total de 1770 mA. Este valor viene a constituirse en la capacidad de corriente del regulador de +12 V. Agregando un margen de seguridad, por haber calculado con valores referenciales, el valor de corriente sería de 2 amperios. Escogiendo un elemento que exista en el mercado se tiene el regulador ECG-1936 de +12 V y 2 amperios de capacidad.

La figura 3.1 muestra el esquema de la fuente de poder, en donde se puede observar que a continuación del regulador dimensionado anteriormente, se encuentra acoplado otro regulador cuya denominación es ECG-1934, de +5 V y 2 A. Este elemento tiene practicamente la misma capacidad de corriente que el anterior, puesto que es ésta fuente la de mayor suministro de energía. Se ha usado un regulador, en vez de otra configuración, para bajar los +12 V a + 5 V, porque la fuente de + 5 V es la que provee la energía a los elementos más sensibles de todo el sistema (Ej. microcontrolador). Para la fuente de -12 V, se ha buscado un regulador: existente en el mercado cuyas características se asemejen a las dimensionadas, éste es el ECG-967, de -12 V y 1 A. El valor de la corriente se lo dimensionó, tomando en consideración que la interfaz de comunicación entre los sensores y el microcontrolador tiene un consumo de 300 mA.

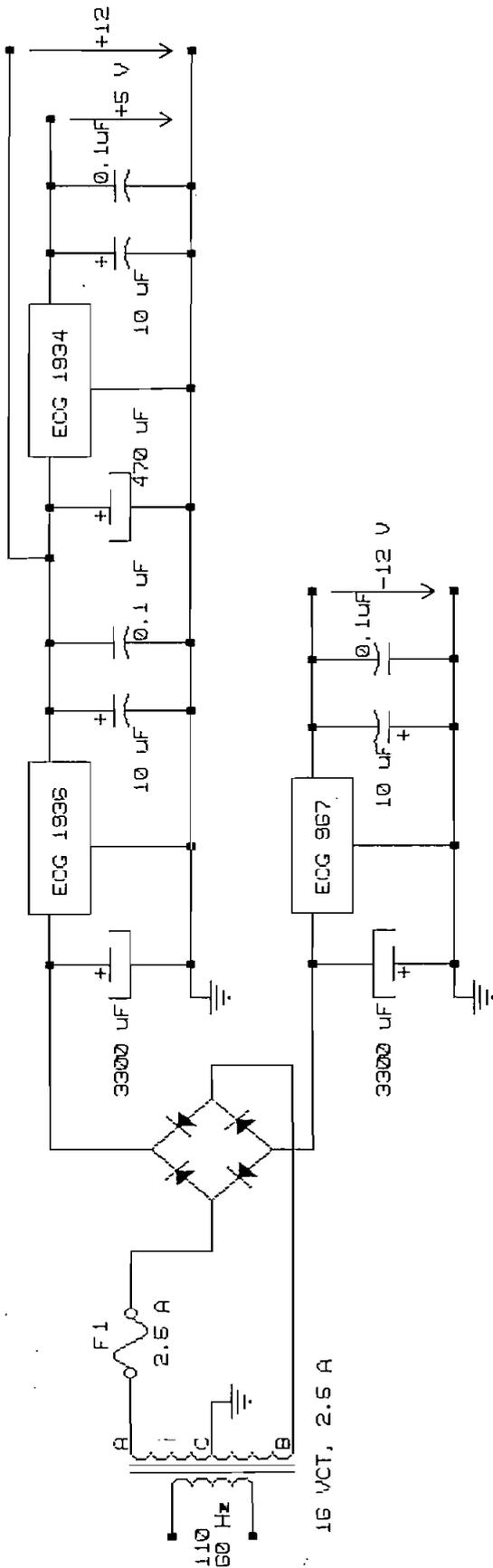


FIGURA 3.1

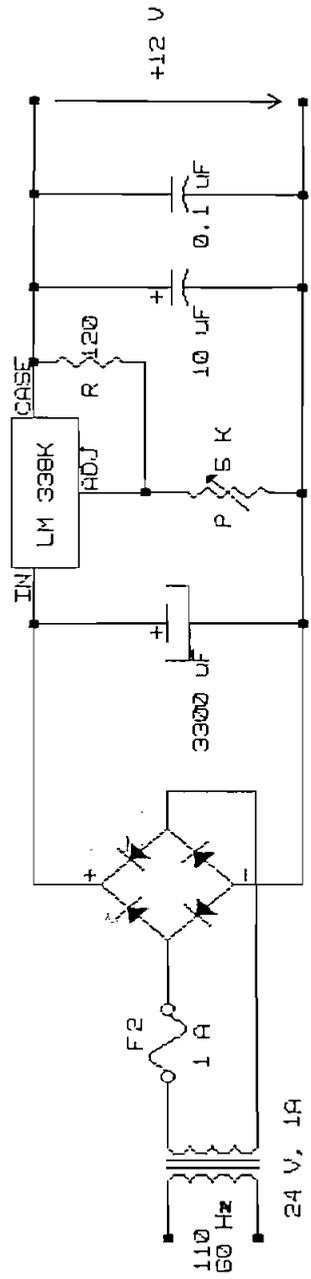


FIGURA 3.4

Para el dimensionamiento del transformador se usa la siguiente expresión [4] : (los parámetros se pueden ver en la figura 3.2)

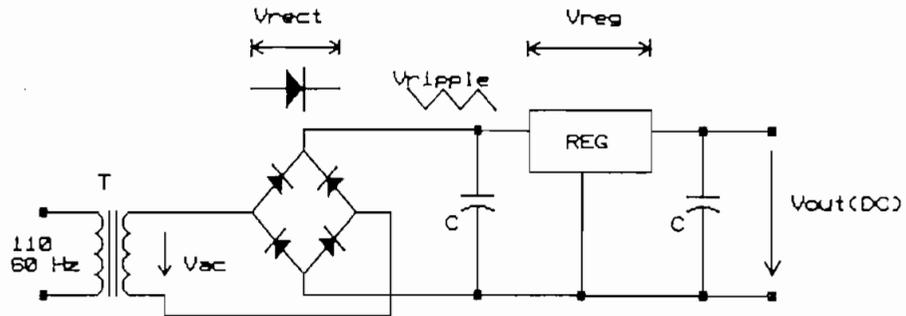


FIGURA 3.2

$$V_{vac} = \frac{V_{out} + V_{reg} + V_{rect} + V_{ripple}}{0.92 \sqrt{2}} \times \frac{V_{nom}}{V_{lowline}}$$

$$I_{ac} = 1.8 \times \text{DC current.}$$

En donde:

0.92 = Eficiencia

V_{reg} = Mayor que 3 Voltios

$V_{rect} = 2 * 0.7$ (Rectificador Tipo Puente)
= 1.4 V

V_{ripple} = Voltaje pico de rizado = $0.75 V_{pico}$
= 1.5 Vpp.

V_{nom} = Voltaje nominal de la red = 110

$V_{low line}$ = Voltaje más bajo que puede tomar la línea = 95 V

Con los valores anotados y para una corriente de 1.77 A

(Fuente de + 12 V), el transformador a usarse tiene los siguientes valores:

$$\begin{aligned} V_{ac} &= 15.95 \text{ V} & \longrightarrow & 120/16 \text{ Vac} \\ I_{ac} &= 2.34 \text{ A} & \longrightarrow & I_{rms} = 2.5 \text{ A} \end{aligned}$$

Por otro lado, con el fin de desacoplar la etapa de potencia y control, se ha visto en la necesidad de usar otro transformador para la etapa de potencia. Este elemento es simple, es decir sin Tap Central y además utiliza un regulador de potencia ajustable cuya denominación es LM 338K, el cual permite variar el voltaje de salida regulado dentro de un rango de 1.2 V a 32 V. El dimensionamiento del transformador es un tanto diferente como a continuación se muestra.

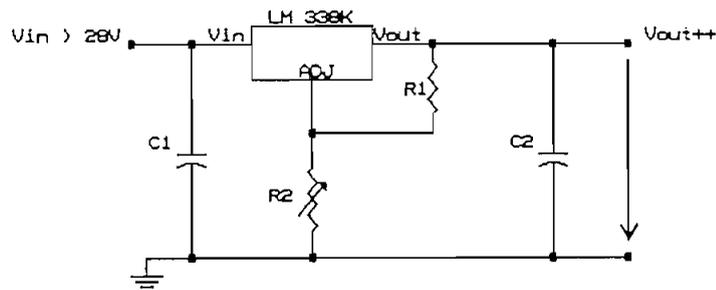


FIGURA 3.3

Refiriéndose al Anexo B; (LM 338K), se tiene:

$$3 \leq V_{in} - V_{out} \leq 35$$

$$3 + V_{out} \leq V_{in} \leq 35 + V_{out}$$

Para: $V_{out} = 12\text{ V}$

$$(1) \quad \underline{15 \leq V_{in}}$$

$$* \quad V_{out} = 1.25\text{ V} (1 + R_2/R_1) \quad (\text{Anexo B})$$

$$R_1 = 120\ \Omega \quad (\text{recomendado por el fabricante})$$

Sustituyendo en *: $R_2 = 1032\ \Omega \approx 1\text{ K}\Omega$

$$\underline{R_2 = 1\text{ K}\Omega}$$

En cuanto a la capacidad de corriente no es mucho problema puesto que, este regulador puede suministrar hasta 5 A, sobrepasando las necesidades del circuito. De esta forma la ventaja fundamental radica, en que este circuito tiene la capacidad de comandar motores de pasos de mayor potencia y por consiguiente paneles mas grandes. Esto se lo puede hacer variando el potenciómetro mostrado en la figura 3.4, con lo que se obtendría voltajes entre 1.2 V y 32 V

En las figuras 3.1 y 3.4 se observa que antes de cada regulador, se acopla un condensador de alto valor, ésto se lo hace para disminuir el rizado del voltaje de entrada al regulador. Mientras que a la salida se incluyen condensadores de 10 μF y 0.1 μF , los cuales sirven para mejorar la impedancia de salida y mejorar la respuesta transitoria. Además se ve que a la salida de los transformadores se incluye un puente rectificador de onda completa. Y por último se añade un fusible de tal manera de proteger el sistema.

3.2 DESCRIPCION DEL MICROCONTROLADOR USADO (8751)

La selección del microcontrolador se la hizo en función de varios aspectos fundamentales, tales como:

- "Fácil adquisición en el mercado"

- Conjunto de Instrucciones, bastante versátil.
- Facilidades en cuanto se refiere a la depuración de los programas.
- Gran capacidad de almacenamiento de datos.

Entre todos los microcontroladores que ofrece el mercado, el que cumple con estas características básicas es el i8751 (intel).

A continuación se dará una descripción general de las características del i8751.

El microcontrolador en mención, es un elemento perteneciente a la familia MCS-51, fabricado por INTEL, está implementado en una pastilla "chip" de 40 pines, con una sola fuente de alimentación de +5 V DC, en tecnología HMOS canal N. Además forma parte del grupo de microcontroladores de 8 bits. Posee un conjunto de instrucciones y una arquitectura que bajan los costos en cuanto a hardware adicional. Puede direccionar 64 K de memoria RAM externa y 64 K de ROM externa.

Otras características se enumeran a continuación:

- Posee 128 bytes de RAM interna.
- Incluye 4 Kbytes de memoria EPROM, disponible para almacenar los programas.
- Tiene 32 líneas de ENTRADA/SALIDA.
- Incorpora 2 contadores/temporizadores de 16 bits.
- Posee un pórtico serial bidireccional (Full Duplex).
- Tiene 5 fuentes de interrupción con dos niveles de prioridad.
- Incluye su propio oscilador y reloj.
- Incorpora un Procesador Booleano.

El microcontrolador 8751, internamente maneja dos espacios de memoria (EPROM y RAM) y 16 bits del contador de programa (configurada como otra área de memoria).

3.2.1 AREA DE MEMORIA PARA PROGRAMA

El área de memoria destinada para programa (64 Kbytes, límite máximo), está constituida por una parte de memoria interna

y una parte externa. Si el pin Vpp/EA es mantenido en alto, el 8751 ejecuta el programa desde la ROM interna, a menos que la dirección de memoria supere el valor 0FFF H. Las localidades 1000 H hasta 0FFFF H, son direccionadas hacia la memoria externa de programa. Por el contrario si el pin Vpp/EA es mantenido en bajo, el 8751 obtiene todas las instrucciones desde la memoria externa de programa. Las localidades 00 hasta 23 H de la memoria de programa son usadas por las rutinas de servicio a interrupciones.

3.2.2 AREA DE MEMORIA PARA DATOS

El área de memoria destinada para datos está formada por un espacio de memoria interna y un espacio externo. La memoria de datos externa es accedida cuando se ejecuta una instrucción MOVX.

El espacio de memoria interna de datos es de 128 bytes de RAM y 128 bytes de registros de funciones especiales "SFR". La memoria interna de datos está dividida en bloques distintos y físicamente separados.

Cuatro bancos de registros cada uno con ocho registros y el STACK reside en la RAM interna y su longitud sólo está limitada por la memoria disponible, su localización está determinada por 8 bits del Stack Pointer. Todos los registros excepto el contador de programa y los cuatro bancos de 8 bytes, residen en el espacio de los registros de funciones especiales "SFR", este espacio de memoria incluye registros aritméticos, punteros, puertos de entrada/salida, registros de interrupción, contadores/temporizadores y puerto serial. El 8751 contiene, como ya se indicó anteriormente, 128 bytes de memoria RAM interna y 20 registros de funciones especiales.

Los cuatro bancos de 8 registros cada uno ocupan las localidades 00H hasta 1FH en el área baja de la RAM interna. Únicamente uno de estos bancos puede ser habilitado en un momento determinado (mediante un campo de 2 bits en el registro PSW).

Los siguientes 16 bytes (20H hasta 2FH), contienen 128 bits direccionables como tales. El área de Registros de Función Especial también tiene localidades direccionables a nivel de bit. A partir de 30H hasta 7FH son localidades accesibles como byte.

La memoria RAM interna está constituida por 128 bytes de memoria más un número de Registros de Función Especial (SFR's) que se listan a continuación:

SFR's:

SIMBOLO	NOMBRE	DIRECCION
ACC	ACUMULADOR	0E0H
B	REGISTRO B	0F0H
PSW	PALABRA DE ESTADO DE PROGRAMA	0D0H
SP	PUNTERO DEL STACK	81H
DPTR	PUNTERO DE DATOS	83H (DPH) 82H (DPL)
P0	PUERTO 0	80H
P1	PUERTO 1	90H
P2	PUERTO 2	0A0H
P3	PUERTO 3	0B0H
IP	CONTROL DE PRIORIDAD DE INTERRUPCIONES	0B8H
IE	CONTROL DE HABILITACION DE INTERRUP.	0A8H
TMOD	CONTROL DE MODO DE TIMER/COUNTERS	89H
TCON	CONTROL DE TIMER/COUNTERS	88H
TH0	TIMER/COUNTER 0 (B. mas significativo)	8CH
TLO	TIMER/COUNTER 0 (B. menos significat.)	8AH
TH1	TIMER/COUNTER 1 (B. mas significativo)	8DH
TL1	TIMER/COUNTER 1 (B. menos significat.)	8BH
SCON	CONTROL DEL PUERTO SERIAL	98H
SBUF	BUFFER DEL PUERTO SERIAL	99H
PCON	CONTROL DE LA ALIMENTACION	97H

La figura 3.5 muestra la estructura de la memoria RAM interna, en la que se identifica la región destinada a cuatro bancos de 8 bytes, 16 bytes (128 bits) accesibles a nivel de bit y 80 bytes de acceso a nivel de byte, 128 bytes de Registros de Funciones Especiales (SFR).

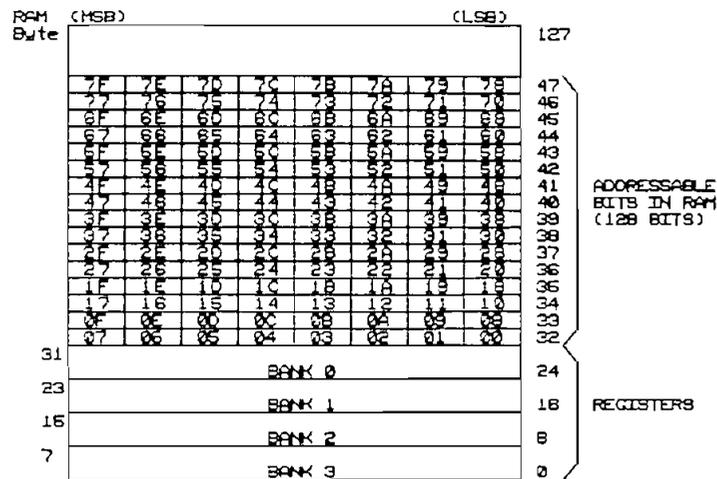


FIGURA 3.5

3.2.3 REGISTROS DE CONTROL MCS-51

A continuación se indica los principales registros de control del microcontrolador 8751, entre los cuales se puede mencionar los siguientes: PSW, SCON, IE, IP, PCON, TCON, TMOD.

PSW: Es el registro que contiene el status del microcontrolador, este registro es accesible a nivel de bit.

MSB

LSB

CY	AC	F0	RS1	RS0	OV	-	P
----	----	----	-----	-----	----	---	---

Donde:

CY Bandera del Carry.
 AC Bandera auxiliar del Carry.
 F0 Bandera 0, disponible para cualquier propósito.
 OV Bandera de Overflow (sobre flujo).
 P Indica la paridad del número.
 RS1, RS0 - Sirven para seleccionar un determinado banco de registros.

RS1	RS0	BANCO	DIRECCION
0	0	0	00H - 07H
0	1	1	08H - 0FH
1	0	2	10H - 17H
1	1	3	18H - 1FH

PCON: Es el registro de control de encendido, este registro no es accesible a nivel de bit.

MSB

LSB

SMOD	-	-	-	GF1	GF0	PD	IDL
------	---	---	---	-----	-----	----	-----

Donde:

SMOD Cuando el TIMER 1 es utilizado para generar la velocidad del pórtico serial, si SMOD = 1 la velocidad es el doble.
 GF1 Bandera de propósito general.
 GF0 Bandera de propósito general.
 PD Bit que indica el modo Power Down, en 1 lógico cuando

el microcontrolador opera en el modo Power Down. (Disponible sólo en el 80C51BH).

IDL Bit que activa el modo de paso a paso, si PD e IDL son activados en forma simultánea, PD tiene prioridad sobre IDL. (Sólo disponible en 80C51BH).

SCON: Es el registro de control del pórtico serial y tiene la siguiente estructura.

MSB

LSB

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

Donde:

SM0, SM1 Definen el modo de trabajo del pórtico.

SM0	SM1	MODO	DESCRIPCION	VELOCIDAD
0	0	0	Registro de desplazam.	f/12
0	1	1	8-bits UART	variable
1	0	2	8-bits UART	f/64 o f/32
1	1	3	8-bits UART	variable

SM2 Habilita la comunicación entre microcontroladores.

REN En 1 habilita la recepción serial, puede ser modificada bajo control de programa.

TB8 Es el noveno bit transmitido en los modos 2, 3 y puede ser modificado bajo control de programa.

RB8 En los modos 2, 3 corresponde al noveno bit enviado. En el modo 1 si SM2 = 0, entonces RB8 es el bit de parada recibido. En el modo 0 este bit no es utilizado.

TI Bandera de transmisión serial, toma el valor de 1 cuando el octavo bit ha sido transmitido en modo 0 o al inicio de los bits de parada en los restantes modos.

Es posible definir su valor bajo control de programa.

RI Es la bandera de recepción, RI es llevada a 0 al final del octavo bit en el modo 0 o a la mitad del bit de parada en los otros modos. Es posible ponerla en 0 bajo control de programa.

TCON: es el registro de control de los temporizadores y contadores, a continuación se muestra su estructura.

MSB

LSB

TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Donde:

TF1, TF0 Bandera de overflow (sobre flujo). Cambiada por hardware cuando el timer/counter tiene sobre flujo. La bandera es borrada por hardware cuando la interrupción es atendida y el control del programa pasa a la localidad señalada por el vector de interrupción.

TR1, TR0 Control de Timer/Counter, se cambia su valor por software, arranca o detiene el contador.

IE1, IE0 Bandera de la interrupción. Cambiada por hardware cuando el flanco de la interrupción externa es detectado, borrada cuando la interrupción es atendida.

IT1, IT0 Control de la interrupción, cambiada por software y especifica el flanco de disparo de la interrupción.

TMOD: es el registro de selección de modo de temporizadores y contadores: tiene la siguiente estructura.(TIMER/COUNTER)

MSB

LSB

GATE	C/T	M1	M0	GATE	C/T	M1	M0
------	-----	----	----	------	-----	----	----

Donde:

GATE Este bit permite habilitar la señal de interrupción asociada a un TIMER.

C/T Cuando este bit es igual a 1 el contador está habilitado y si es 0 el temporizador está activo.

M1,M0 - La combinación de estos bits define el modo de operación del contador o temporizador de acuerdo a la tabla siguiente.

M0	M1	MODO	DESCRIPCION
0	0	0	Contador de 8 bits con pre escala de 32.
0	1	1	Contador de 16 bits, con THx y TLx en cascada.
1	0	2	Contador de 8 bits, con recarga THx a TLx.
1	1	3	TL0 es un contador de 8 bits, TH0 un contador por separado controlado por el Timer 1. En este modo el Timer 1 no trabaja.

Las interrupciones del MCS 51 están controladas por dos registros: IE contiene el estado de habilitación o no de las fuentes de interrupción, IP la prioridad de las interrupciones.

IE:

MSB

LSB

EA	X	X	ES	ET1	EX1	ET0	EX0
----	---	---	----	-----	-----	-----	-----

Donde:

EA Cuando EA = 1, las interrupciones son reconocidas, por el contrario si EA = 0, las fuentes de interrupción no son reconocidas así se encuentren o no habilitadas

individualmente.

- ES Habilitación de interrupción del pórtico serial, si ES = 0 se encuentra deshabilitado.
- ET1 Si ET1 = 0 la interrupción generada por el TIMER1 es deshabilitada.
- EX1 Cuando EX1 = 0, la interrupción externa INT1 es deshabilitada.
- ET0 Si ET0 = 0, la interrupción generada por el TIMER0 es deshabilitada.
- EX0 Cuando EX0 = 0, la interrupción externa INTO es deshabilitada.

IP:

	MSB		LSB				
X	X	X	PS	PT1	PX1	PT0	PX0

Donde:

- PS Prioridad de interrupción serial.
- PT1 Prioridad de interrupción generada por TIMER1.
- PX1 Prioridad de interrupción externa INT1.
- PT0 Prioridad de interrupción generada por TIMER0.
- PX0 Prioridad de interrupción externa INTO.

La más alta prioridad de las interrupciones se obtiene cuando el bit correspondiente es "1" y en el caso de tener interrupciones de igual prioridad que aparecen en el mismo instante la secuencia de atención está predefinida de la siguiente manera:

PRIORIDAD	FUENTE	VECTOR	
1	INT0	0003H	Externa 0
2	TFO	000BH	Timer 0
3	INT1	0013H	Externa 1
4	TF1	001BH	Timer 1
5	RI+TI	0023H	Pórtico Serial

3.2.4 DESCRIPCION DE PINES

Vss (Gnd) Pin 20, tierra de la fuente del microcontrolador.

Vcc Pin 40, voltaje de polarización de 5 Vdc.

Puerto 0 Pines 39 - 32, P0/AD0, puerto bidireccional de 8 bits, multiplexado los 8 bits menos significativos del bus de direcciones. Puede ser cargado hasta con 8 compuertas LS TTL.

Puerto 1 Pines 1 - 8, P1, puerto quasi-bidireccional de 8 bits, de entrada/salida. Puede ser cargado hasta con 4 compuertas LS TTL.

Puerto 2 Pines 21 - 28, P2, puerto quasi-bidireccional de 8 bits, de entrada/salida. Puede ser cargado hasta con 4 compuertas LS TTL. Cuando es usado con memoria externa solo presenta el byte más significativo de la dirección.

Puerto 3 Pines 10 - 17, P3, puerto bidireccional de 8 bits, de entrada/salida. Puede ser cargado hasta con 4 compuertas LS TTL. Reservado para funciones especiales MCS-51.

P3.0	RXD	(Entrada del Pórtico Serial)
P3.1	TXD	(Salida del Pórtico Serial)
P3.2	INT0	(Interrupción Externa 0)
P3.3	INT1	(Interrupción Externa 1)
P3.4	T0	(Contador/Temporizador Externo 0)
P3.5	T1	(Contador/Temporizador Externo 1)
P3.6	WR	(Señal de Escritura en Memoria Externa)
P3.7	RD	(Señal de Lectura de Memoria Externa)

RST Pin 9, reset, para reinicializar el microcontrolador debe haber en este pin una señal en alto, que por lo menos dure dos ciclos de máquina.

ALE Pin 30, (Address Latch Enable), esta salida es utilizada para almacenar en latches temporalmente el byte menos significativo de la dirección de acceso a memoria de programa (externa), y es activada a 1/16 de la frecuencia de reloj, excepto en acceso a memoria de datos (externa). Puede ser cargado hasta con 8 compuertas LS TTL.

PSEN Pin 29, (Program Store Enable), esta señal habilita la memoria externa de programa y el bus durante la fase de traída, es activada cada 6 ciclos de reloj excepto durante el acceso a memoria de datos externa, esta señal permanece en alto con ejecución de programa en memoria interna.

EA/VP Pin 31, cuando esta señal se halla en alto se ejecuta el programa de la ROM interna en el 8051H.

XTAL1 Pin 19, entrada invertida del amplificador que forma parte del oscilador, este pin puede ser conectado a Vss, con oscilador externo.

XTAL2 Pin 18, salida del amplificador que forma parte del oscilador, esta entrada es la del oscilador interno, o la entrada del oscilador externo.

3.2.5 ASIGNACION DE PINES DEL MICROCONTROLADOR 8751H

31	EA/VP	P0.0	39
19	X1	P0.1	38
		P0.2	37
		P0.3	36
18	X2	P0.4	35
		P0.5	34
		P0.6	33
9	RESET	P0.7	32
		P2.0	21
		P2.1	22
12	INT0	P2.2	23
13	INT1	P2.3	24
14	T0	P2.4	25
15	T1	P2.5	26
		P2.6	27
		P2.7	28
1	P1.0		17
2	P1.1	RXD	16
3	P1.2	WR	15
4	P1.3	RD	14
5	P1.4	PSEN	13
6	P1.5	PE/P	12
7	P1.6	TXD	11
8	P1.7	RXD	10

8751 H

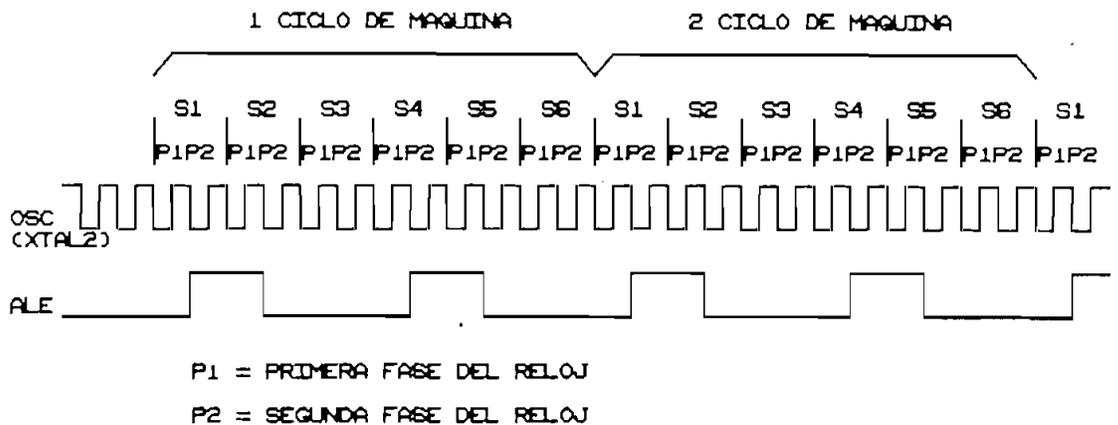
3.2.6 TIMER/COUNTER

El 8751 posee dos registros de 16 bits, el timer 0 y el timer 1, estos dos pueden ser configurados como Timer (temporizador), o Counter (contador de eventos).

El Timer se incrementa con cada ciclo de máquina, y como cada ciclo de máquina consiste de 12 ciclos de la señal de reloj, el Timer se incrementa a 1/12 de la frecuencia de reloj.

En el modo de Counter, el registro se incrementa con el cambio de "1" lógico a "0" lógico en el pin de entrada T0 o T1, el cambio es muestreado durante S5P2 de cada ciclo de máquina, cuando el pin presenta un 1 lógico durante un ciclo y 0 lógico en

el siguiente, el contador es incrementado. El nuevo valor del contador aparece en el registro durante S3P1 del ciclo siguiente del que la transición fue detectada, por lo tanto la máxima velocidad es de 1/24 ciclos de reloj, pues le toma dos ciclos de máquina.



Los Timer o Counter, tienen cuatro modos de operación los mismos que están determinados por el estado de los bits de TMOD y son:

- MODO 0 Corresponde a un contador de 13 bits, que cuando todos los bits pasan de 1 a 0, ponen en 1 lógico la bandera TFx que es la bandera de interrupción del Timer.

- MODO 1 Es similar al modo 0 pero con un registro de 16 bits.

- MODO 2 Este modo actúa con un contador de 8 bits con recarga, es decir el byte menos significativo TLx del registro trabaja como contador que cuando llega a FFH, pone en 1 lógico la bandera TFx y carga el valor previamente definido por software en el byte más significativo del registro THx.

MODO 3 En este modo el Timer 0, TH0 y TL0 actúan como dos contadores separados, donde TL0 controla la interrupción TF0 y TH0 la interrupción TF1.

3.2.7 INTERFAZ SERIAL

El 8751 cuenta con un puerto serial "Full Duplex", es decir puede recibir y transmitir simultáneamente, donde la recepción cuenta con un buffer que le permite recibir un segundo byte antes de leer el anterior del registro correspondiente, si la recepción del segundo byte se completa, el primero se pierde. El registro especial asociado al puerto serial es el SBUF, que en realidad son dos registros por separado uno para transmisión y otro para recepción. El puerto serial posee cuatro modos de operación los cuales se indicarán a continuación:

MODO 0 En este modo la recepción y transmisión se realiza como un registro de desplazamiento de 8 bits, donde el bit menos significativo es el primero, la velocidad corresponde a 1/12 de la frecuencia del reloj del microprocesador.

MODO 1 En este modo 10 bits son transmitidos o recibidos, el formato de comunicación es: un bit de inicio en 0 lógico, 8 bits de datos, con el bit menos significativo primero y un bit de parada en 1 lógico. El bit de parada se almacena en el registro SCON, en RB8, la velocidad es variable.

MODO 2 Este modo opera con 11 bits y son: un bit de inicio en 0 lógico 8 bits de datos con el bit menos significativo primero, un noveno bit que puede ser programado, y el bit de parada en 1 lógico. Para la transmisión el noveno bit es TR8 de SCON el mismo que puede ser 1 lógico o 0 lógico, este bit podría ser el bit de

paridad calculado y almacenado en P del PSW, el que puede moverse al TR8 de SCON. Durante la recepción el noveno bit para el RB8, en este caso el bit de parada es ignorado, la velocidad puede ser programada entre 1/32 o 1/64 de la frecuencia del reloj.

MODO 3 Este modo también es de 11 bits, con una operación idéntica al modo 2, con la particularidad de ser de velocidad programable.

3.2.8 INTERRUPCIONES

El 8751 tiene cinco fuentes de interrupción. Las interrupciones externas INTO e INT1 pueden ser activadas por flanco o por estado, dependiendo de los bits IT0 e IT1 del registro TCON. Las banderas asociadas a estas interrupciones son IE0 e IE1 en TCON, las mismas que pasan a 0 lógico cuando la rutina de interrupción es atendida, si son activadas por flanco. Si son activadas por estado, la fuente de interrupción es el control de la bandera.

Las interrupciones generadas por los Timer 0 y 1, son identificadas por TF0 y TF1 respectivamente, las que pasan a 1 lógico cuando los contadores pasan por su valor máximo (esto no ocurre en el modo 3 para el Timer 1), cuando la interrupción del Timer es generada, la bandera correspondiente es pasada a 0 lógico por el hardware cuando la rutina de interrupción es atendida.

La interrupción del pórtico serial es generada por un OR lógico de las banderas RI y TI. Ninguna de las banderas es borrada por el hardware, cuando la rutina de interrupción es atendida, por lo tanto la rutina de servicio determina cual de las banderas generó la interrupción y la pone en 0 lógico por software.

Todas las banderas que generan interrupciones pueden ser pasadas a 1 lógico o 0 lógico por software, y se tiene el mismo

resultado que hacerlo por hardware. Por esto las interrupciones pueden ser generadas o canceladas por software.

La prioridad de las interrupciones está determinada por el siguiente cuadro:

FUENTE	PRIORIDAD
IE0	MAYOR PRIORIDAD
TFO	
IE1	
TF1	
RI + TI	MENOR PRIORIDAD

La rutina de atención de una interrupción actua como una instrucción de salto de 16 bits, en la que se almacena el contador de programa PC en el Stack, pero no se almacena el PSW, por lo que las rutinas de atención de interrupciones deben guardar este último registro de control. El retorno de una interrupción está determinada por la sentencia RETI, que solo recupera el PC del Stack, por lo que deben seguirle instrucciones para recuperar los restantes registros de control almacenados.

3.2.9 PROCESADOR BOOLEANO

El procesador Booleano es un procesador de bits integrado al 8751. Posee su propio conjunto de instrucciones, acumulador (La bandera de carry), RAM y puertos de entrada/salida direccionables a nivel de bit.

Las instrucciones para manipulación de bits permiten que un bit pueda ser puesto a uno ó a cero, complementado, saltar si es uno, saltar si es cero, saltar si es uno y entonces ponerlo a cero, y moverlo desde o hacia la bandera de carry. Los bits directamente direccionables o sus complementos pueden ser usados para realizar operaciones AND y OR lógicos con la bandera de

carry. El resultado de estas operaciones lógicas es almacenado en la bandera de carry.

3.2.10 CONJUNTO DE INSTRUCCIONES

El conjunto de instrucciones de la familia 8751 incluye 111 instrucciones, 49 de las cuales son de un solo byte, 45 de dos bytes y 17 de tres bytes. El formato de código de la instrucción consiste de un mnemónico de función seguido por un campo de operando "destino-fuente". Este campo especifica el tipo de datos y los métodos de direccionamiento a ser usados.

RESUMEN FUNCIONAL

El conjunto de instrucciones del 8751, está dividido en cuatro grupos funcionales:

- 1.- Transferencia de datos
- 2.- Aritméticas
- 3.- Lógicas
- 4.- De Transferencia de Control

1.- Transferencia de Datos:

Las operaciones de transferencia de datos están divididas en tres grupos:

- 1) Transferencia de Propósito General: MOV, PUSH, POP
- 2) Transferencia Específica con el Acumulador: XCH, XCHD, MOVX, MOVC.
- 3) Transferencia del Puntero de Direcciones: MOV DPTR, #data16

2.- Aritméticas:

El 8751 puede realizar cuatro operaciones matemáticas básicas. Solamente operaciones de 8 bits usando aritmética sin signo pueden ser realizadas directamente. La bandera de overflow, sin embargo, permite operaciones de adición y sustracción para enteros binarios con signo o sin signo. Las operaciones aritméticas pueden ser ejecutadas directamente en representación decimal empaquetada (BCD).

- 1) Adición: INC, ADD, ADDC, DA (Ajuste decimal para suma BCD)
- 2) Sustracción: SUBB, DEC
- 3) Multipliación: MUL
- 4) DIVISION: DIV

3.- Lógicas:

El 8751, realiza operaciones lógicas básicas con operandos de bit y byte.

- 1) Operaciones con un solo Operando: CLR, SETB, CPL, RL, RLC, RR, RRC, SWAP
- 2) Operaciones con dos Operandos: ANL, ORL, XRL

4.- Transferencia de Control:

Existen tres clases de instrucciones de transferencia de control:

- 1) Llamadas Incondicionales, Retornos y Saltos: ACALL, LCALL, RET, AJMP, LJMP, SJMP y JMP @A + DPTR.

2) Salto Condicionales: JZ, JNZ, JC, JNC, JB, JNB, JBC, CJNE, DJNZ.

3) Retorno de Interrupciones: RETI

Para mayor información en cuanto a las características del microcontrolador 8751, referirse al Folleto sobre Microprocesadores editado en la Facultad de Ingeniería Eléctrica por el Ing. Ramiro Morejón e Ing. Fabio González. [5]

3.3 DESCRIPCION DEL HARDWARE ADICIONAL USADO

3.3.1 INTRODUCCION

En este punto vale la pena indicar que el diseño inicial incluía un "Chip" controlador de motores de pasos denominado SAA-1027 (Casa Fabricante PHILLIPS), pero que no tenía la capacidad de medio paso, por lo que se trató de conseguir otro circuito controlador que cumpla con básicamente los siguientes requerimientos:

- Modo de Paso Medio y Completo.
- Sentido de giro Horario y Antihorario.
- Reloj.
- Capacidad de corriente de 0.5 A.

El circuito controlador que reúne éstas y muchas características adicionales es el L-297, de la casa fabricante SGS.

El L-297 integra todos los circuitos de control requeridos para controlar motores de pasos unipolares y bipolares. Usado con un "Driver" (Tipo Puente), forma una completa interfaz entre el microprocesador y el motor de pasos bipolar. Motores de pasos Unipolares pueden ser manejados con un L-297 más un arreglo de cuatro darlington (Característica del C.I. ULN-2003A).

El L-297 recibe las señales de control desde el sistema controlador, usualmente una pastilla "chip" microcomputador y provee todas las señales de manejo necesarias para la etapa de potencia. Adicionalmente, este circuito integrado incluye dos circuitos chopper PWM para regular la corriente en los devanados del motor.

Con un conveniente actuador de potencia, el L-297 maneja motores de imán permanente bipolar de dos fases, motores de imán permanente unipolares de cuatro fases y motores de reluctancia variable de cuatro fases.

La combinación de "Driver" mas el L-297, tiene muchas ventajas entre las cuales se pueden indicar: que se requiere muy pocos componentes (Los costos de ensamblaje son bajos, alta confiabilidad y se requiere pequeño espacio), el desarrollo de software es simplificado y la carga del micro se reduce. Además, escoger el acceso a dos pastillas da un alto grado de flexibilidad. El L-297 puede usarse con cualquier etapa de potencia, incluyendo dispositivos de potencia discretos (Este maneja 20 mA para éste propósito). El L-297 está ensamblado en una pastilla de 20 pines, usa una alimentación de +5 V, y todas sus líneas son compatibles con TTL/CMOS ó transistores de colector abierto.

3.3.2 MODO DE FUNCIONAMIENTO

El corazón del L-297 es el llamado "Traductor", como se observa en la figura 3.6, el cual genera una conveniente secuencia de fase para medio paso, operación "one phase on" y operación "two phase on" en paso completo. Este bloque está controlado por dos modos de entrada: dirección del movimiento (CW/CCW) y paso medio ó completo. Además de esto un reloj de paso, el cual avanza el Traductor al siguiente estado.

Cuatro salidas parten desde el traductor al siguiente proceso por las salidas lógicas del bloque, las cuales implementan las funciones de "Inhibir" y "Chopper".

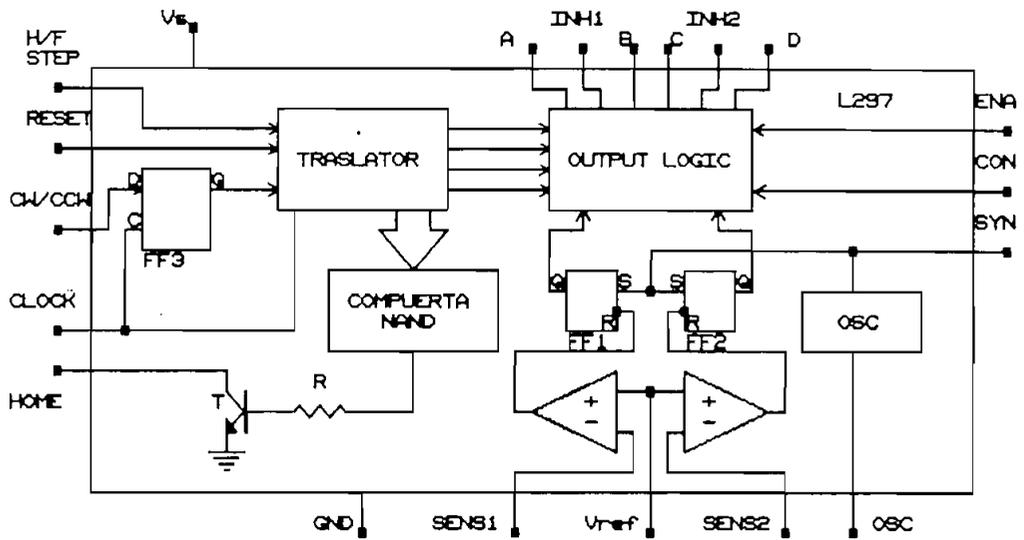


FIGURA 3.6

Internamente el traductor consta de un contador de 3 bits más la lógica combinacional, la cual genera una secuencia básica de código GRAY de 8 pasos, como se muestra en la figura 3.7.

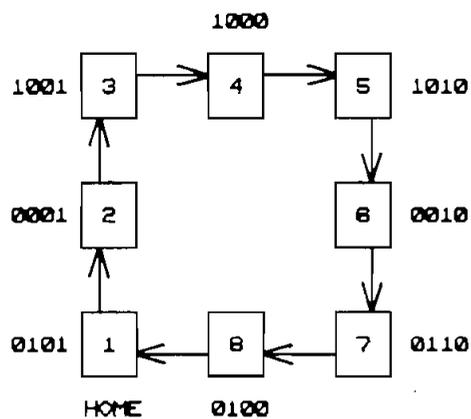


FIGURA 3.7

Todas las 3 secuencias de mando pueden ser generadas fácilmente desde la secuencia "master". Esta secuencia de estados corresponde directamente al modo de medio paso, seleccionado por un nivel alto en la entrada "HALF/FULL". Las formas de onda de salida para esta secuencia están mostradas en la figura 3.8.

Notese que otras señales, INH1 e INH2 son generadas en esta secuencia. El propósito de estas señales es explicado más adelante. El modo de paso completo es obtenido saltando a estados alternativos en la secuencia de 8 pasos. Lo que sucede es que el paso del reloj se desvía la primera etapa del contador de 3 bits en el traductor. El bit menos significativo de este contador no es afectado, por eso la secuencia generada depende del estado del traductor cuando el modo de paso completo es seleccionado (Entrada "HALF/FULL" enbajo). Si el modo de paso completo es seleccionado cuando el traductor está en cualquier estado numerado como impar se consigue el modo "two-phase-on", en la secuencia de paso completo mostrado en la figura 3.9.

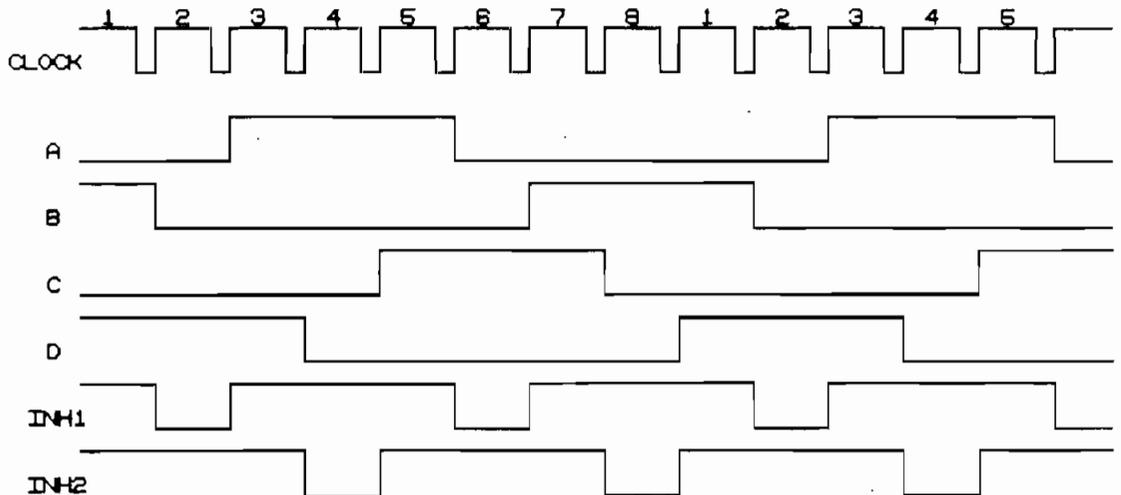
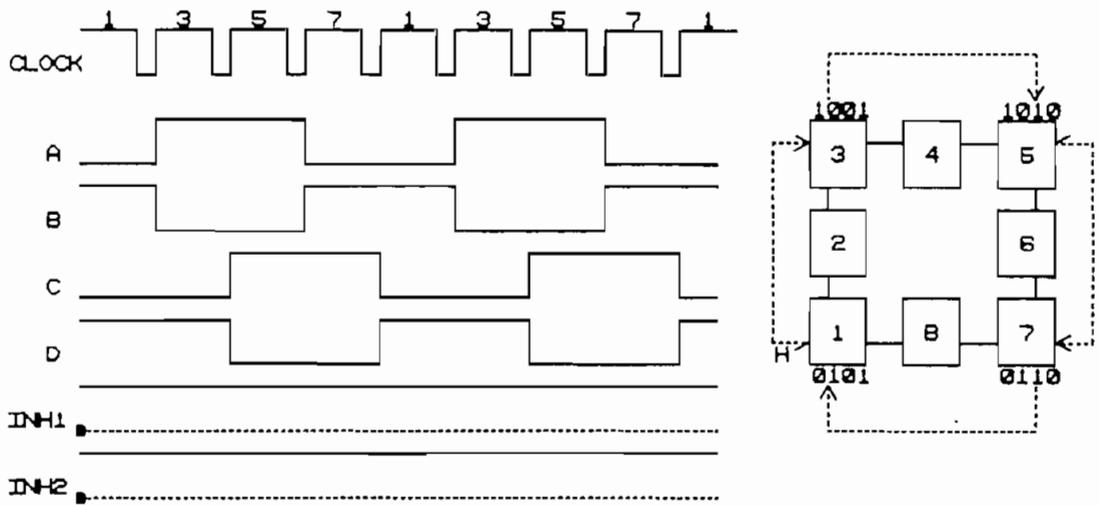


FIGURA 3.8

En contraste, el modo de paso completo "one-phase-on", es obtenido mediante la selección del modo de paso completo cuando

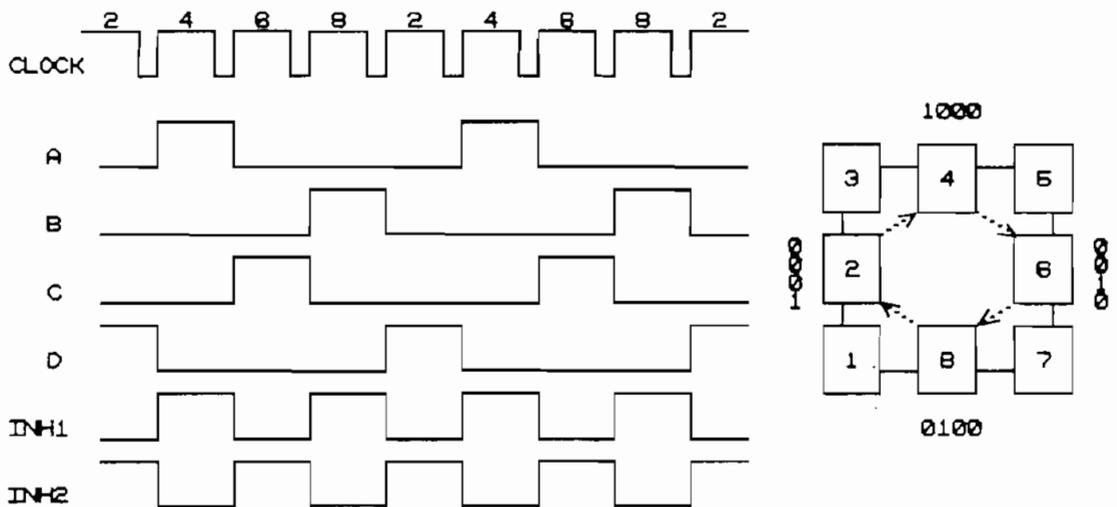
el traductor está en un estado numerado como par (Figura 3.10).

En los modos de medio paso y paso completo "one-phase-on", otras dos señales se generan: INH1 e INH2. Estas son señales de



MODO "TWO-PHASE-ON" , PASO COMPLETO

FIGURA 3.9



MODO "ONE-PHASE-ON" , PASO COMPLETO

FIGURA 3.10

inhibición, las cuales se unen a las entradas de habilitación del "Driver" acoplado al L-297 y sirven para acelerar el decaimiento de corriente cuando un devanado (Bobina) es apagado. Pero ya que ambos devanados son energizados continuamente en el modo de paso completo "two-phase-on", no siempre los devanados se apagan y estas señales no son generadas.

Otras dos señales son conectadas al bloque traductor: la entrada "reset" y la salida "home". Reset es una entrada de reset asincrónica, la cual devuelve al bloque traductor a la posición de "home" (Estado 1, ABCD = 0101). La salida "home" (Colector Abierto), señala esta condición y es destinada a ser el AND con la salida de un sensor de posición "home" mecánico. Finalmente existe una entrada de habilitación conectada a la salida lógica, un nivel bajo en esta entrada pone INH1, INH2, A, B, C y D en bajo. Esta entrada es útil para inhabilitar el mando del motor cuando el sistema es inicializado.

3.3.3 APLICACIONES

Motores bipolares pueden ser manejados con un L-297, un driver L-298 ó L-293E tipo puente, y muy pocos componentes externos (figura 3.11).

Con un L-298 esta configuración maneja motores con corrientes de devanado sobre los 2.5 A, para motores sobre el 1 A por devanado se usa el L-293E. Si se requiere potencias más altas el manejador tipo puente es reemplazado por un circuito equivalente hecho de transistores discretos. Para corrientes sobre los 3.5 A puede usarse dos L-298 con salidas en paralelo.

Para motores unipolares, es mejor escoger un arreglo de 4 darlingtonos. Estos darlingtonos deben tener conexiones del emisor interno con un resistor sensor externo (figura 3.12), para poder aprovechar todas las ventajas del L-297.

En el diseño del prototipo, no es posible esta consideración puesto que el "Driver" usado (ULN-2003A, ver anexo B) no posee la misma configuración que la mostrada en la figura 3.12.

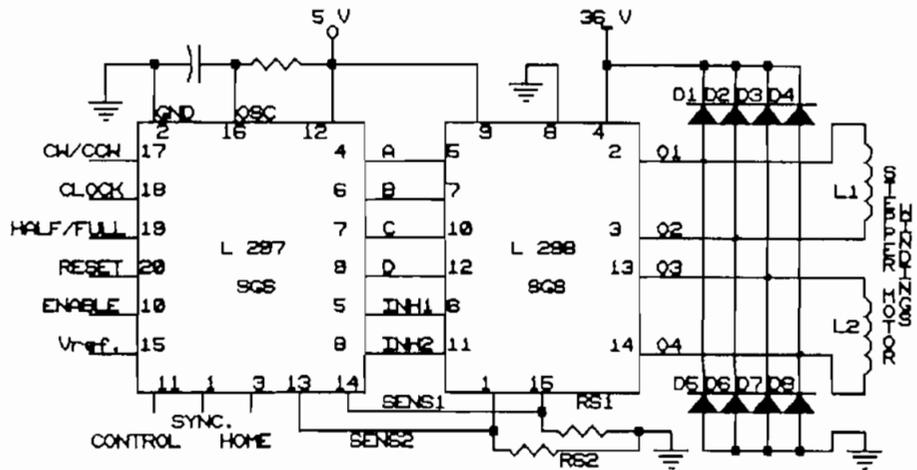


FIGURA 3.11

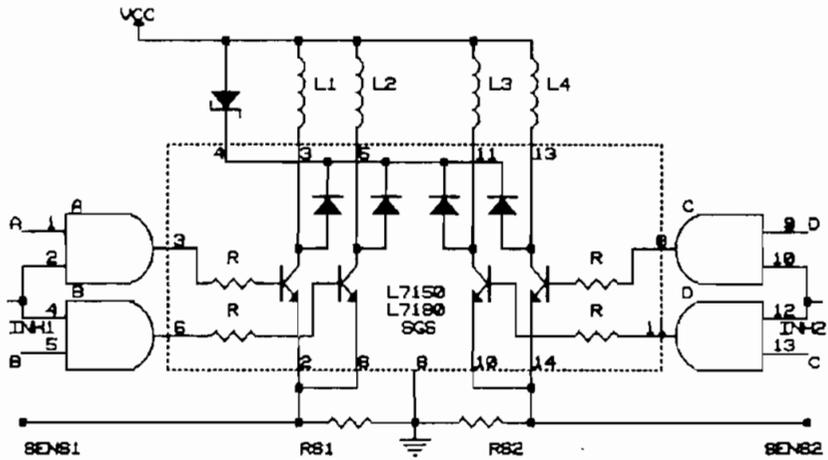


FIGURA 3.12

Se muestra en el esquema de la figura 3.12, un diodo zener en serie con los diodos de supresión, esto sirve para incrementar el voltaje a través del cual la energía almacenada en el devanado es descargada y por eso se acelera el decaimiento de corriente.

Es importante indicar que debido a no haber conseguido un "Driver" del tipo aconsejado por el fabricante para manejo de motores de pasos unipolares, no se aprovechó todas las ventajas del controlador L-297.

3.3.4 FUNCIONES DE LOS PINES DEL CONTROLADOR L-297

A continuación se presenta una tabla y un diagrama de asignación de pines del controlador de motores de pasos L-297.

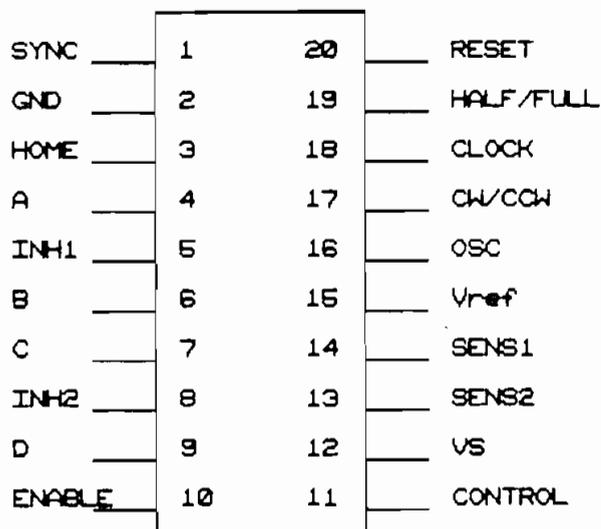
Nº	NOMBRE	FUNCION
1	SYNC	Salida de un chip oscilador chopper. Si una fuente de reloj externa se usa, ésta es inyectada a este terminal.
2	GND	Conexión a tierra.
3	HOME	Salida open-collector que indica cuando el L-297 está en su estado inicial (ABCD=0101). El transistor está abierto cuando esta señal esta activa.
4	A	Señal de manejo de la fase A del motor para la etapa de potencia.

5	INH1	Control de "Inhibir" de activación en bajo, para manejar etapas de las fases A y B cuando se usa un puente bipolar, esta señal puede usarse para asegurar un rápido decaimiento de la corriente de carga cuando un devanado es de-energizado. También usado por el chopper para regular la corriente de carga si la entrada de control está en bajo.
6	B	Señal de manejo de la fase B del motor para la etapa de potencia.
7	C	Señal de manejo de la fase C del motor para la etapa de potencia.
8	INH2	Control de "Inhibit" de activación en bajo para manejar etapas de las fases C y D. Misma función que INH1.
9	D	Señal de manejo de la fase D del motor para la etapa de potencia.
10	ENABLE	Entrada de habilitación del chip. Cuando está en bajo (inactivo) INH1, INH2, A, B, C Y D son puestas en bajo.
11	CONTROL	Entrada de control que define la acción del chopper. Cuando está en bajo el chopper actúa sobre INH1 e INH2; cuando está en alto el chopper actúa sobre las líneas de fase ABCD.
12	Vs	Entrada de alimentación 5 V.
13	SENS 2	Entrada de voltaje para sensar la corriente de carga de etapas de potencia de las fases C y D.

14	SENS 1	Entrada de voltaje para sensar la corriente de carga de etapas de potencia de las fases A y B.
15	Vref.	Voltaje de referencia para el circuito chopper. Un voltaje aplicado a este pin determina la corriente de carga pico.
16	OSC	Una red RC (R a Vcc, C a tierra), conectada a este terminal determina la velocidad del chopper. En configuraciones multi-L-297 en sincronismo: $f \approx 1/(0.69) RC$, $R > 10 K\Omega$
17	CW/CCW	Entrada de control de dirección horario/antihorario, dirección física de rotación del motor, también depende de la conexión de devanados. Sincronizado internamente, por eso la dirección puede ser cambiada en cualquier rato.
18	CLOCK	Reloj de paso. Un pulso que activa en bajo en esta entrada avanza el motor en un paso. El paso ocurre al inicio de esta señal.

19	HALF/FULL	Es una entrada de selección del paso MEDIO/COMPLETO, cuando se selecciona alto la operación es en medio paso; cuando la selección es en bajo la operación es de paso completo. El modo de paso completo "one-phase-on" se obtiene seleccionando FULL cuando el TRADUCTOR del L-297 está en un estado numerado par. El modo de paso completo "two-phase-on" es seleccionado FULL cuando el TRADUCTOR está en una posición numerada impar (la salida HOME es designada como estado 1).
20	RESET	Entrada de reset. Un pulso en bajo en esta entrada restablece el TRADUCTOR a la posición HOME (estado 1, ABCD = 0101).

L297



ASIGNACION DE PINES DEL L-297

3.4 DESCRIPCION DE LOS ACTUADORES USADOS

El prototipo descrito, se lo implementó usando motores de pasos como actuadores. Estos son elementos capaces de transformar pulsos eléctricos (información digital) en movimientos mecánicos. El eje del motor gira un determinado ángulo por cada impulso de entrada, proporcionando un posicionamiento preciso y fiable.

Un motor de pasos puede girar, en ambos sentidos, un número exacto de grados, con incrementos mínimos determinados por el diseño. El motor de pasos tiene una concepción antigua, sólo se ha empleado en la práctica, a partir de la aparición de los modernos semiconductores electrónicos, que ayudan en el manejo y el control. [6]

3.4.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Es bastante sencillo el principio de funcionamiento, éste se basa en las fuerzas de atracción y repulsión existentes entre polos magnéticos.

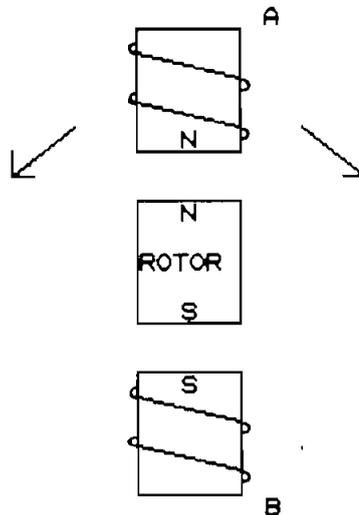


FIGURA 3.13

Refiriéndose a la figura 3.13, y teniendo en cuenta que los polos magnéticos del mismo signo se repelen, si los bobinados del estator A, se alimentan de tal manera que éste se comporta como un polo norte y el estator B como un polo sur, el rotor imantado (imán permanente), siendo giratorio, se mueve hasta alcanzar la posición mostrada. [6]

En base al principio explicado anteriormente se puede entender el funcionamiento del esquema mostrado en la figura 3.14, donde el estator tiene cuatro polos, formados por electroimanes y el rotor consiste en un imán permanente. Al cambiarse la polaridad de los polos del primero mediante un control externo con la secuencia indicada, el rotor girará en

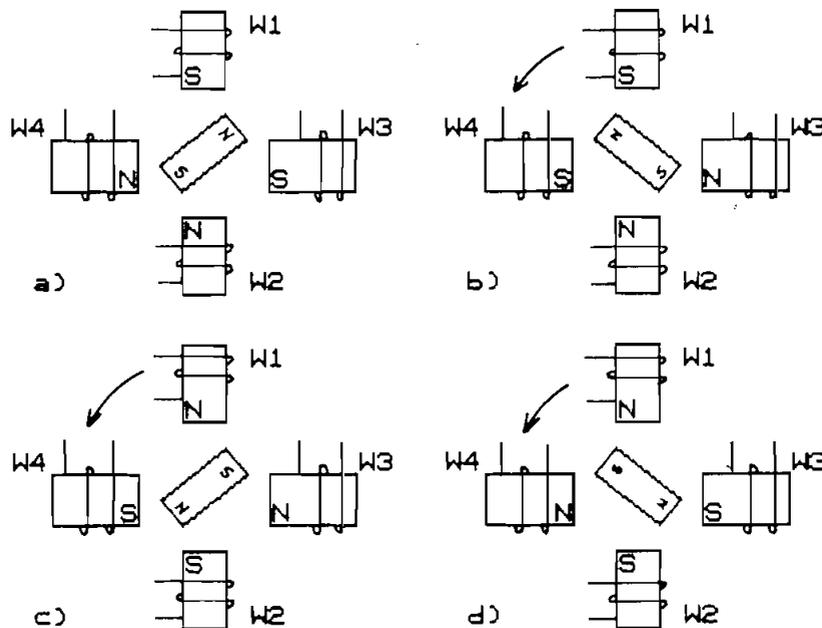


FIGURA 3.14

sentido antihorario con incrementos de 90° . Con el fin de conseguir una mejor resolución por paso, se suman más polos al estator; adicionalmente se le incluye una serie de dientes, al igual que en el rotor.

3.4.2 CARACTERISTICAS FUNDAMENTALES

El sentido de rotación del motor viene definido por el sentido de excitación de los arrollamientos. Estos están dispuestos en círculos según puede verse en la figura 3.15 y, al ser excitados con un impulso, actúan sobre un núcleo de hierro dulce ó un imán permanente y lo hacen girar un ángulo θ .

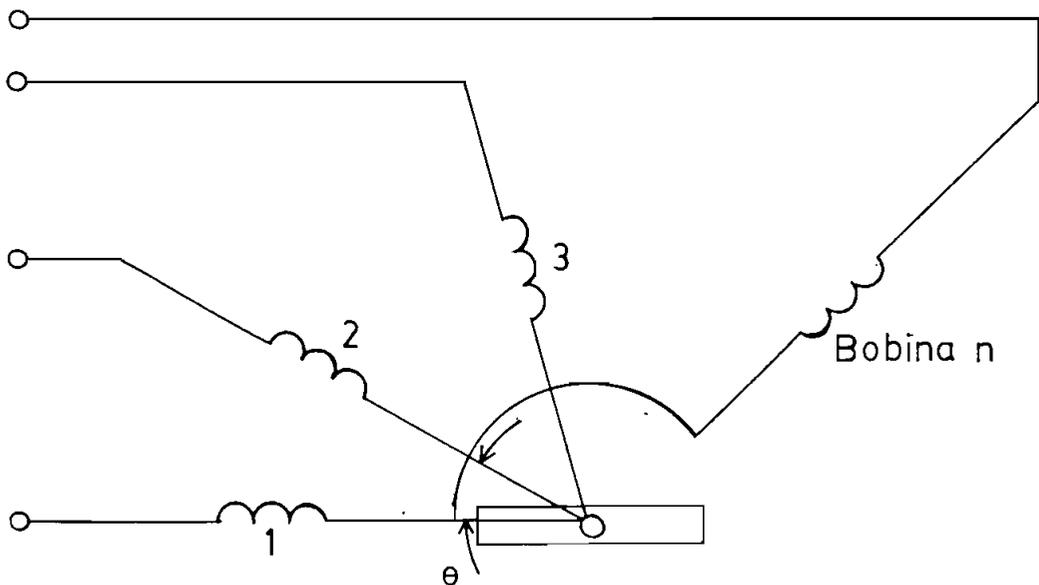


FIGURA 3.15

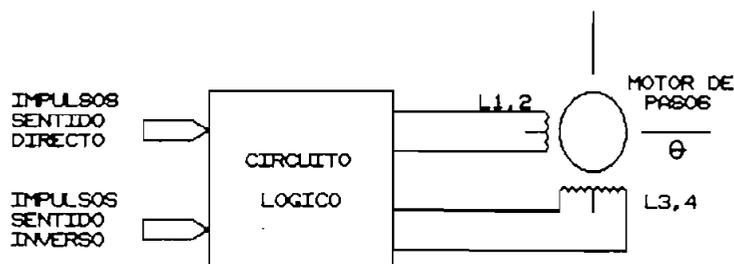


FIGURA 3.16

La velocidad media de rotación del eje del motor en revoluciones/minuto es de:

$$N_m = 60 \frac{f}{n}$$

En donde:

f = frecuencia de los impulsos

n = número de bobinas

El desplazamiento angular al pasar de una bobina a la otra es de $2\pi/n$, lo que representa una conversión de las señales digitales de excitación a una posición angular definida del eje del motor.

En la figura 3.16 puede verse un esquema representativo de esta propiedad característica de este tipo de motores. Cada impulso se traduce en un giro de θ grados en el sentido horario o en el sentido contrario, según sea la orden dada.

En la figura 3.17 puede verse la relación entre las posiciones adoptadas por el rotor y el tiempo.

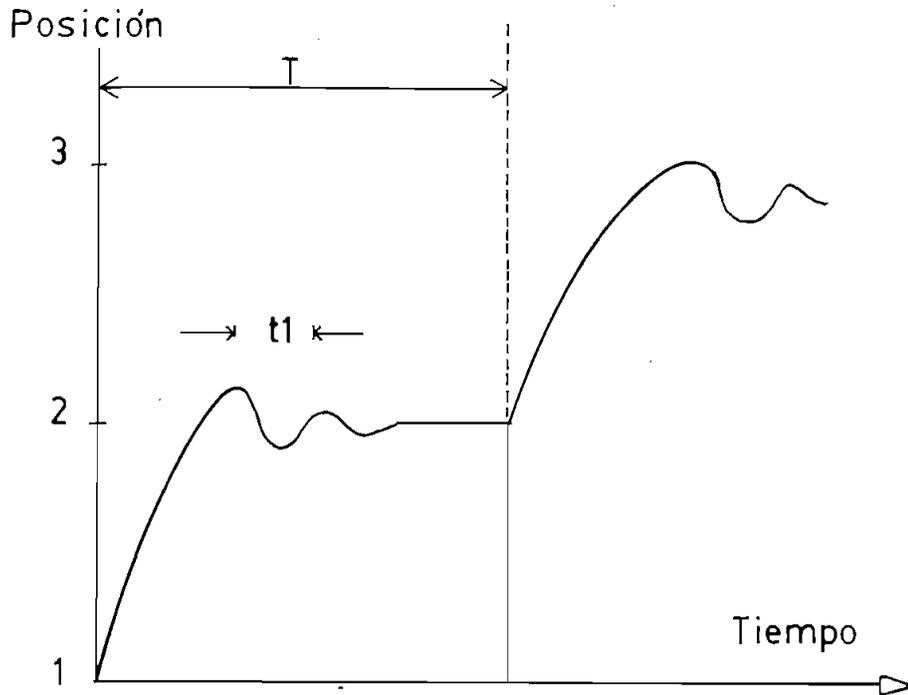


FIGURA 3.17

La velocidad de giro del rotor viene determinada por la fórmula:

$$T = I a \quad \text{con} \quad T = T_{\text{máx.}} \cdot \sin \theta$$

Donde:

T = Par

I = Momento de Inercia de las partes móviles

a = Aceleración angular

El movimiento se caracteriza por una serie de oscilaciones amortiguadas cuyo período disminuye al aumentar la frecuencia de los impulsos. Si la frecuencia aumenta, se llega al régimen de sobrevelocidad que corresponde al movimiento de la figura 3.18.

Las curvas de potencia del motor paso a paso no tienen el mismo significado que en los motores normales. En el motor de pasos el trabajo útil ejecutado en la unidad de tiempo es muy

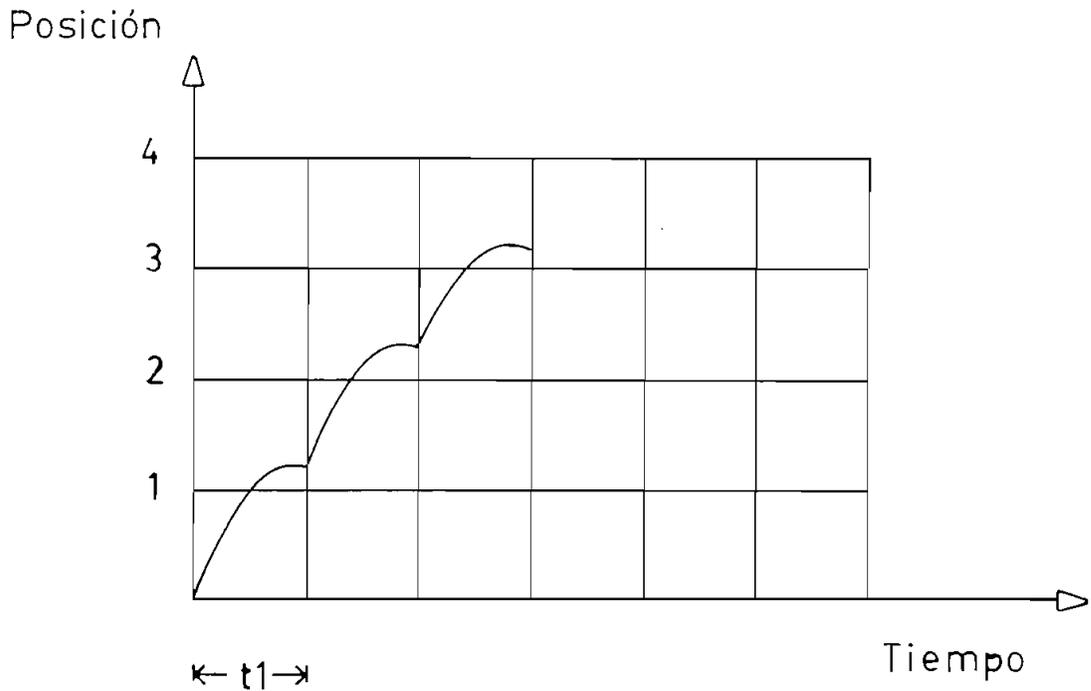


FIGURA 3.18

variable según sea el instante que se considere, ya que la velocidad del motor no es constante puesto que existen aceleraciones y deceleraciones muy variadas debidas a la inercia propia del rotor y a la inercia de la carga. De aquí que se considere una familia de curvas características que representan los valores del torque resistente dentro de las frecuencias de trabajo útiles del motor. (Ver la figura 3.19).

En el interior de cada zona de trabajo del motor, éste puede arrancar, parar, o cambiar de sentido, estando siempre en sincronismo con los impulsos de excitación. Si la velocidad aumenta unidireccionalmente, el motor entra en sobrevelocidad sin que sea posible su cambio de sentido a menos que se reduzca la velocidad hasta la zona de reversibilidad.

Una de las ventajas principales del motor de pasos es, como ya se indicó en un capítulo anterior, que al controlar la posición o la velocidad del actuador (por ejemplo, una válvula de control industrial, máquina herramienta de control numérico,

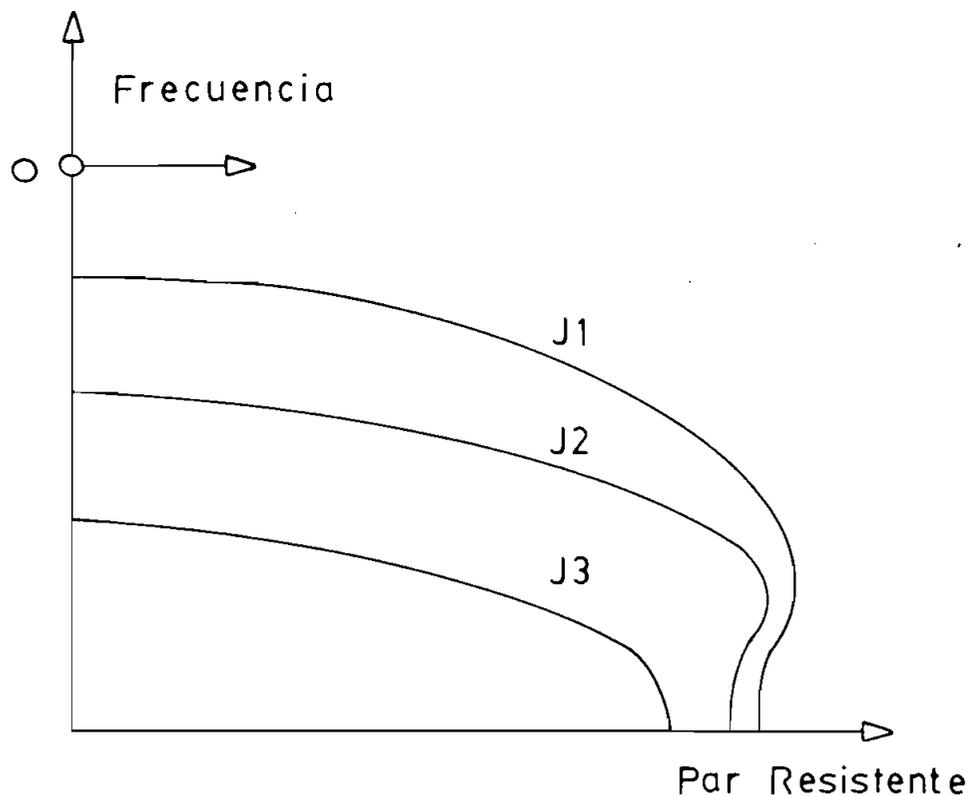


FIGURA 3.19

platina de microscopio, etc.), no se necesita normalmente realimentación, es decir el motor se coloca en la posición final gobernada por el controlador de forma exacta (admitiendo únicamente el error de escalón entre dos posiciones sucesivas).

Otra ventaja importante del motor de pasos es la relación absoluta que presenta entre el número de impulsos de excitación y la posición angular analógica final del eje del motor, es decir, el motor se comporta como un convertidor digital-análogo.

Adicionalmente el motor de pasos presenta otras ventajas las cuales enumeraremos a continuación:

- Respuesta rápida (típicamente menor a 1 milisegundo).
- Es insensible a las vibraciones lineales y a los choques.
- Su vida útil es muy larga.
- Es insensible a las variaciones de tensión y a la amplitud de los impulsos dentro de ciertos límites.

- Su posicionamiento es exacto.

Sus características anteriores son muy adecuadas para las siguientes aplicaciones:

- Motor de frecuencia variable.
- Motor de corriente continua sin escobillas.
- Servomotores en circuito abierto sin realimentación (es una de las ventajas principales ya mencionada).
- Motor de señal de entrada digital.
- Motor sincrónico con la ventaja adicional de poder trabajar en la zona de "sobrevelocidad", admitiendo el sincronismo unidireccional. Esta característica permite ampliar el campo de trabajo del motor hasta altas velocidades de rotación.

En el motor de pasos se aplican los siguientes términos:

Respuesta Máxima.- que es el número máximo de impulsos por segundo que admite de forma aleatoria en los sentidos horario - antihorario y que se convierten en posiciones exactamente sincronizadas con estos impulsos.

Sobrevelocidad.- es la zona de alta velocidad a la que el motor de pasos se mantiene en sincronismo con la señal de mando, unidireccionalmente en el sentido horario o bien en el inverso. En esta zona, el motor no puede pararse ni arrancar, ni tampoco cambiar el sentido de giro, a menos que se reduzca el número de impulsos a un valor inferior a la respuesta máxima. En caso de pérdida de sincronismo en la zona de alta velocidad, el motor se parará y sólo se pondrá en marcha cuando la frecuencia de los impulsos se reduzca por debajo de la respuesta máxima.

Angulo de Potencia.- es el ángulo de retardo del rotor con relación al eje del campo magnético cuando el motor está con

carga.

Par Dinámico Máximo.- es el torque máximo obtenido en el eje del motor cuando se excitan sucesivamente los arrollamientos a una frecuencia del orden de 5 hertzios.

Par Estático.- es el torque que el motor puede mantener al excitar estáticamente sus arrollamientos.

3.4.3 TIPOS DE MOTORES PASO A PASO

Existen dos tipos básicos de motores de paso de uso común: imán permanente y de reluctancia variable. Los motores de imán permanente son divididos en bipolares y unipolares.

3.4.3.1 MOTORES BIPOLARES

Un motor bipolar de imán permanente consiste de un imán permanente rotatorio rodeado por los polos del estator que llevan los devanados (figura 3.20).

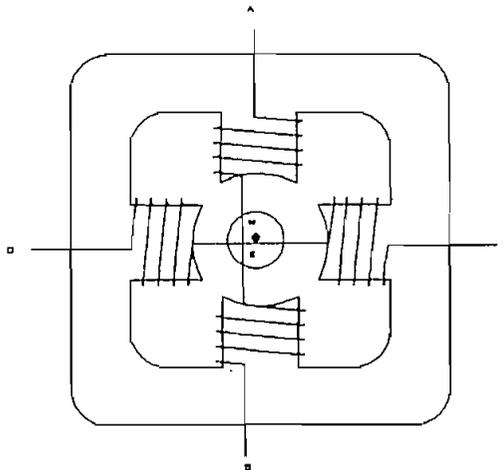


FIGURA 3.20

Usa corriente de mando bidireccional y el motor es movido conectando los devanados en secuencia. Para un motor de este tipo hay tres posibilidades en la secuencia de mando.

La primera es, energizar los devanados en la secuencia AB/CD/BA/DC (BA significa que el devanado AB es energizado pero en un sentido opuesto). Esta secuencia es conocida como "one-phase-on" (wave drive), en modo de paso completo, es decir solo una fase a la vez es energizada (Ver figura 3.21a).

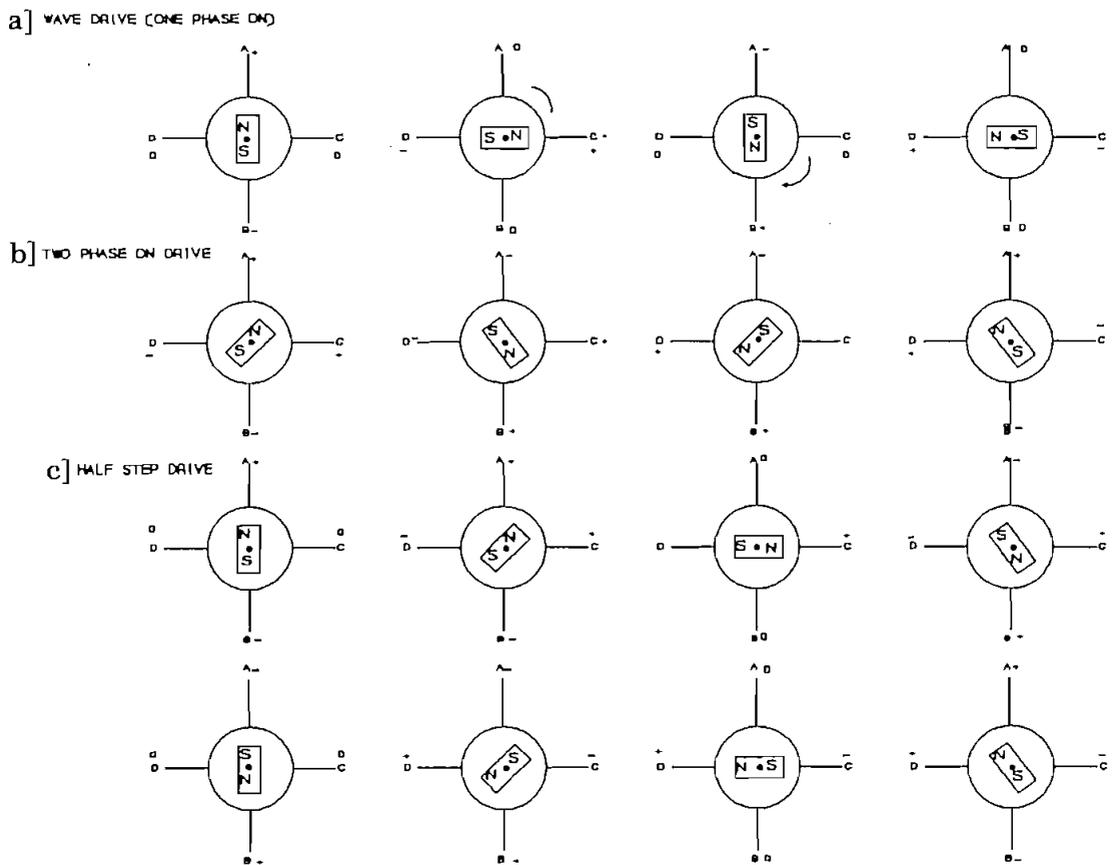


FIGURA 3.21

La segunda posibilidad es energizar ambas fases juntas, de tal forma que el motor siempre se ponga en línea recta por si mismo entre la posición de los 2 polos. Llamado "two-phase-on" en paso completo, este modo es de secuencia de manejo normal, para un motor bipolar y da los mas altos torques (Ver figura 3.21b).

Para rotación en dirección opuesta (antihoraria), se usa las mismas tres secuencias, excepto que el curso de las ordenes es contrario.

3.4.3.2 MOTORES UNIPOLARES

Un motor de imán permanente unipolar, es idéntico a la máquina descrita anteriormente, excepto que los devanados bifilares son usados para invertir el flujo del estator, antes que para el manejo bidireccional (Ver figura 3.22).

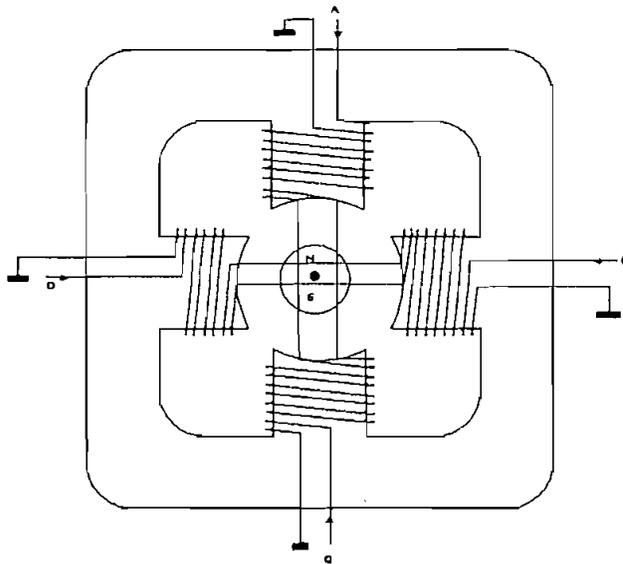


FIGURA 3.22

Se indica además que, los motores unipolares son mas caros porque ellos tienen dos veces más devanados que los motores mencionados en el numeral anterior. Además los motores unipolares proporcionan menos torque, comparando con motores

bipolares de similares características, porque los devanados son hechos con alambre mas delgado.

3.4.3.3 MOTORES DE RELUCTANCIA VARIABLE

Un motor de reluctancia variable presenta en el estator un número determinado de polos electromagnéticos. Sin embargo, el rotor no es de imán permanente, sino que está formado por un núcleo de hierro dulce de estructura cilíndrica, pero con un cierto número de dientes tallados longitudinalmente a lo largo de su superficie lateral. Esta construcción tiene la ventaja de conseguir pasos o desplazamientos muy pequeños sin necesidad de aumentar el número de bobinas y permite trabajar a frecuencias elevadas (Hasta 1.2 KHz. en ambos sentidos).

Cuando una corriente circula a través del bobinado apropiado, se desarrolla un momento que hace que el rotor gire a la posición en la cual la reluctancia del circuito sea mínima. Cuando se hace pasar una corriente a través de otro bobinado, el punto de reluctancia mínima se genera en otra posición, produciendo el giro del rotor a esa nueva posición.

En la figura 3.23, se muestra un motor de pasos de reluctancia variable constituido por tres devanados B1, B2 y B3, excitados secuencialmente y por un rotor con cuatro dientes D1, D2, D3 y D4.

Haciendo referencia a la figura antes mencionada, cuando el primer arrollamiento, B1, recibe alimentación atraerá al rotor hasta que el diente más cercano, por ejemplo, D1, se alinee con el campo. Al llegar la excitación a B2, el diente D2 será el más próximo, con lo que el rotor girará 30° . De la misma forma, con el siguiente impulso aplicado a B3, será el diente D3 el alineado, girando otros 30° . Al restituir la alimentación a B1, el atraído será D4, con lo que se vuelve a avanzar un ángulo similar a los anteriores.

Los motores paso a paso de reluctancia variable requieren entrehierros muy pequeños, del orden de centésimas de milímetro,

para obtener rendimientos elevados, lo que presupone una buena mecanización y un montaje muy cuidadoso.

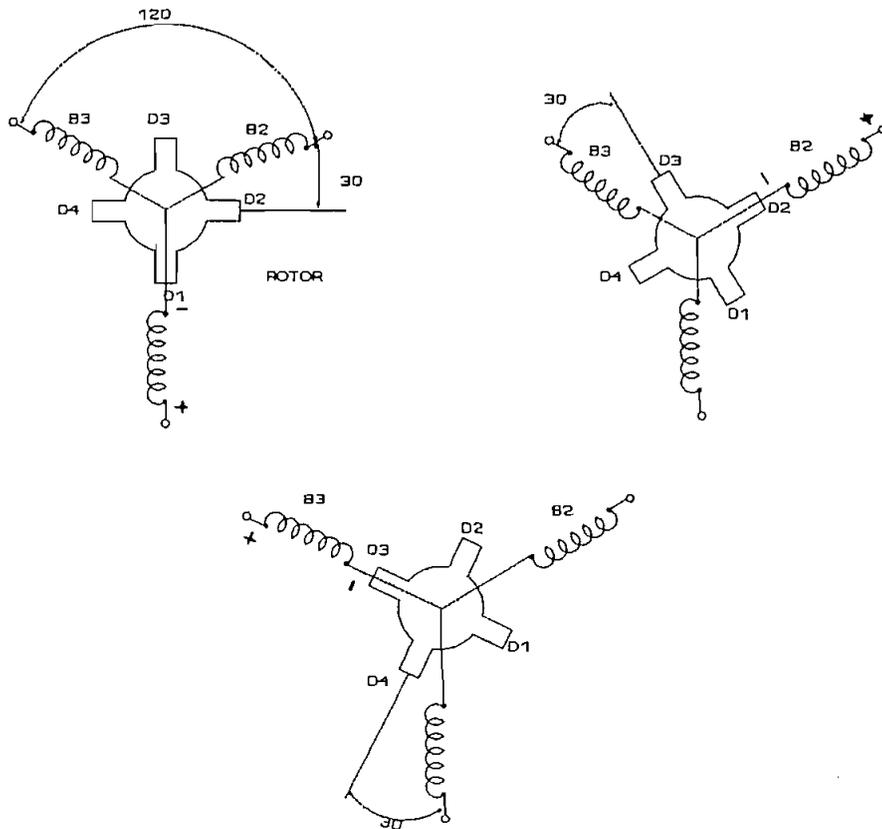


FIGURA 3.23

Por último se indica que la principal característica de los motores con reluctancia variable, es su elevada velocidad de accionamiento.

3.4.4 MODOS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS MOTORES PASO A PASO

Existen dos modos de funcionamiento para los motores de paso:

- Paso Completo (Full-Step Mode)
- Medio Paso (Half-Step Mode)

3.4.4.1 FUNCIONAMIENTO EN "PASO COMPLETO"

En este modo de trabajo el motor realiza el paso en cuanto la secuencia adecuada se transfiere a los bobinados. Después de cuatro pasos se conectan nuevamente los dos primeros bobinados, de tal manera de repetir la secuencia.

Además se puede indicar que la velocidad del motor de pasos es proporcional a la frecuencia con que se excitan sus devanados.

En la figura 3.24, se muestra el diagrama de un motor de pasos, acoplado a sus "switch" electrónicos, y también se incluye la secuencia de los impulsos a los bobinados para funcionamiento en "paso completo".

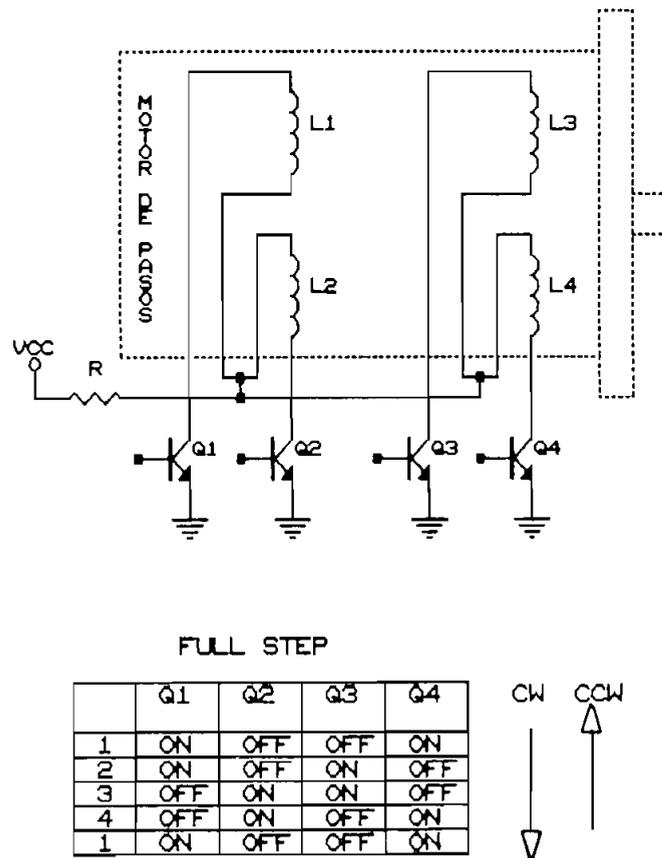


FIGURA 3.24

3.4.4.2 FUNCIONAMIENTO EN MEDIO PASO

En el modo de paso completo, la secuencia es de cuatro pasos, mientras que en el modo de medio paso, la secuencia se incrementa al doble, es decir, ocho pasos.

Por ejemplo, los motores utilizados en el prototipo tienen 7.5° por paso proporcionando 48 pasos por revolución. Al hacerlos trabajar en medio paso se tendría 3.75° por paso y 96 pasos por revolución.

En la figura 3.25, se muestra la secuencia de "medio paso" (Half-Step-Mode), y se incluye además una secuencia llamada "wave drive", que ya fue descrita en la sección anterior de motores bipolares.

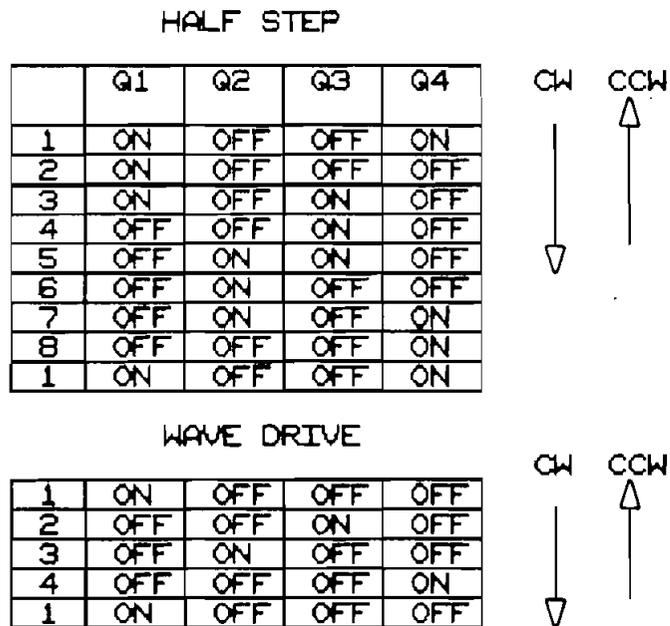


FIGURA 3.25

Al trabajar con medio paso se obtiene varias ventajas, entre las cuales podemos mencionar que se consigue una mayor resolución, con reducción de la resonancia y una velocidad mayor.

En los motores paso a paso, si se aumenta la velocidad se obtiene una reducción de la corriente y por consiguiente del torque. A continuación, en la figura 3.26, se muestra una curva que relaciona el torque con la velocidad.

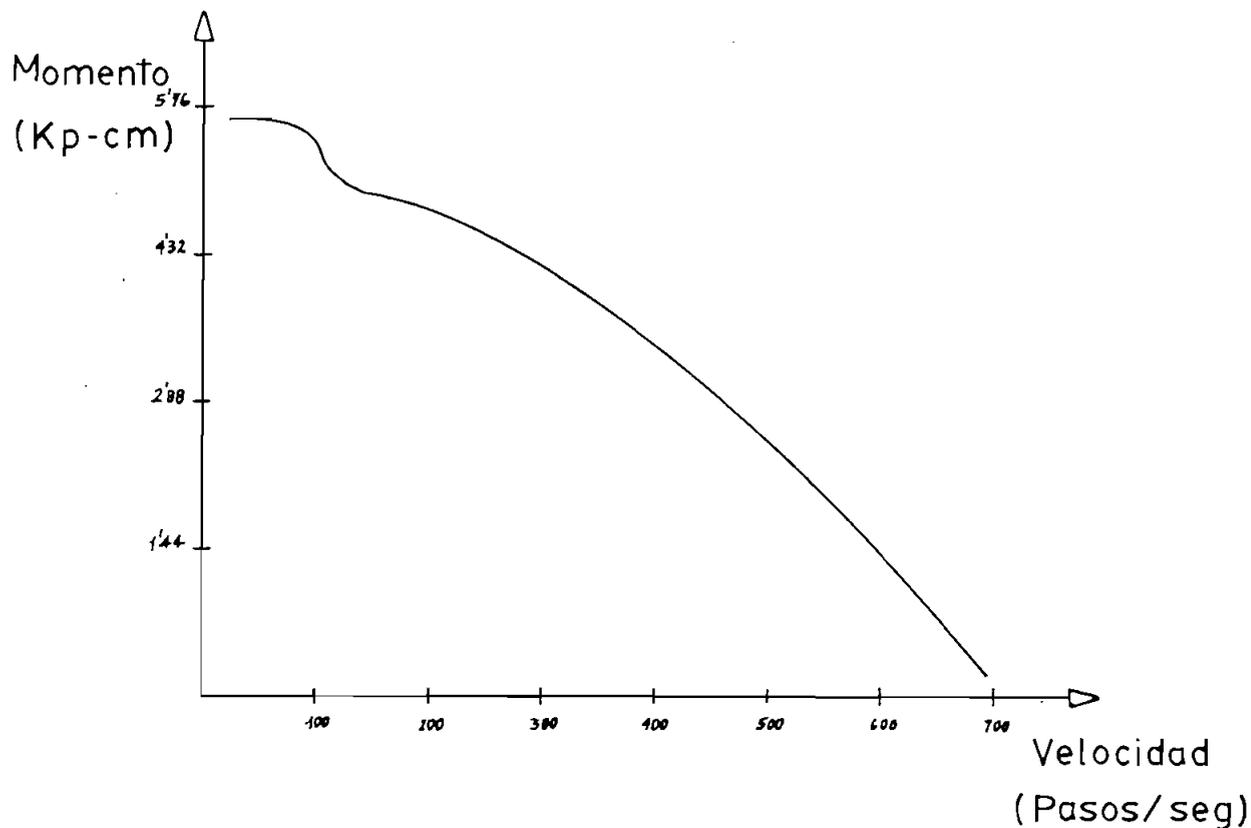


FIGURA 3.26

3.4.5 CARACTERÍSTICAS DE LOS MOTORES UTILIZADOS

Después de haber mencionado, en forma general, las características principales de los motores de pasos, continuaremos con la descripción de los motores utilizados en el prototipo de rastreo solar.

A continuación, en la figura 3.27, se muestra los datos de placa de los motores. (Los dos motores tienen las mismas características)

TEC STEPPING MOTOR
 TYPE SP-42B-24
 COIL 70 Ω DEG/STEP 7.5°
 TOKYO ELECTRIC CO., LTD.
 MADE IN JAPAN

FIGURA 3.27

CONFIGURACION.-

Los motores usados en el prototipo, son del tipo unipolar de cuatro fases, las mismas que se muestran en el siguiente gráfico:

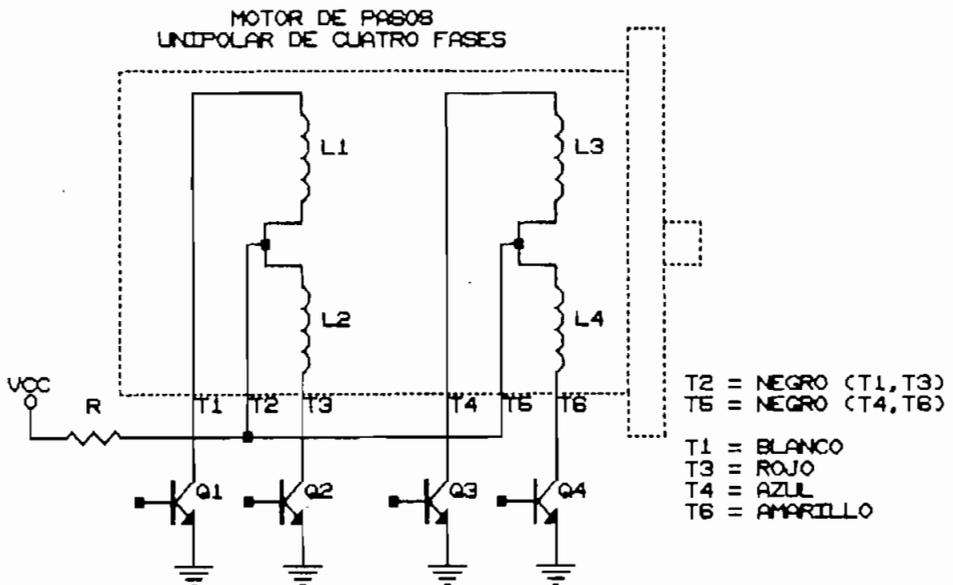


FIGURA 3.28

DIMENSIONES. -

Las dimensiones físicas de los motores paso a paso usados, se detallan a continuación en la figura 3.29.

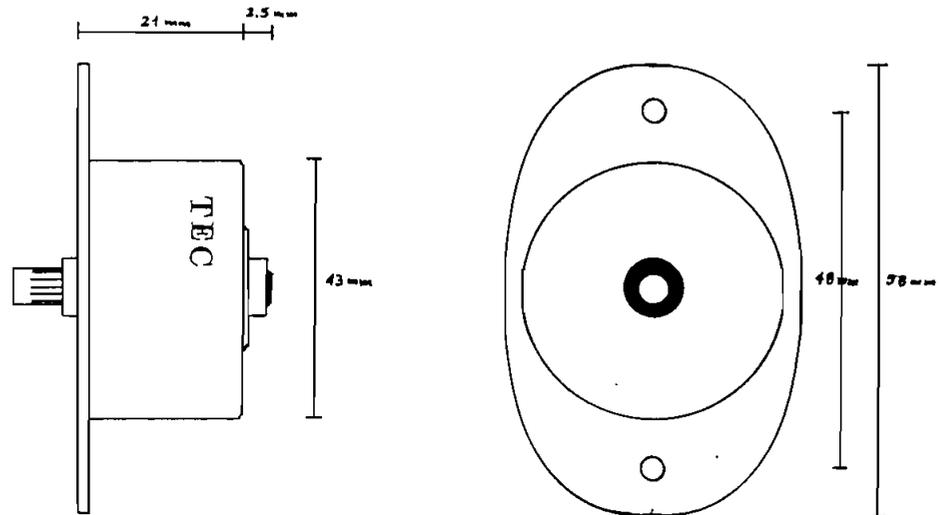


FIGURA 3.29

DATOS TECNICOS. -

A continuación se muestran algunas características técnicas de los motores paso a paso.

CARACTERISTICA	VALOR	UNIDAD
CONSUMO DE POTENCIA	2	W
TORQUE DE TRABAJO MAXIMO	6	mN - m
TORQUE DE SOPORTE	10	mN - m
VELOCIDAD MAXIMA	350	pasos/seg
RESISTENCIA POR FASE A 20 °C	70	Ω

INDUCTANCIA POR FASE (f=1KHz.)	43	μH
RESISTENCIA TERMICA	25	K/W
RANGO DE TEMPERATURA AMBIENTE PERMISIBLE	- 20 a + 70	$^{\circ}\text{C}$
RANGO DE TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO PERMISIBLE	- 40 a + 100	$^{\circ}\text{C}$
TEMPERATURA PERMISIBLE DEL MOTOR	120	$^{\circ}\text{C}$
ANGULO DE PASO	7° 30'	
NUMERO DE PASOS POR REVOLUCION	48	pasos
DIRECCION DE ROTACION	REVERSIBLE	
INERCIA DEL ROTOR	2.6	gr-cm ²
MAXIMA FUERZA RADIAL	2.5	N
MAXIMA FUERZA AXIAL	0.75	N

3.5 DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL

El circuito de control básicamente está dividido en dos partes principales:

- 1.- La Interfaz entre los Sensores y el Microcontrolador.
- 2.- La Etapa de Potencia, entre el Microcontrolador y los Actuadores.

3.5.1 INTERFAZ FOTOSENSORES/MICROCONTROLADOR

El circuito usado para convertir las condiciones de luz/sombra en señales de nivel lógico +5 V y 0 V, comienza con un divisor de voltaje que consiste de un resistor y un fotoresistor en serie con un resistor variable. (Ver figura 3.30, parte a)

Este divisor de voltaje, cuyo punto intermedio está llamado como Vf (Vf' para el sensor complementario), es conectado para dividir el suministro de +12 V DC y -12 V DC.

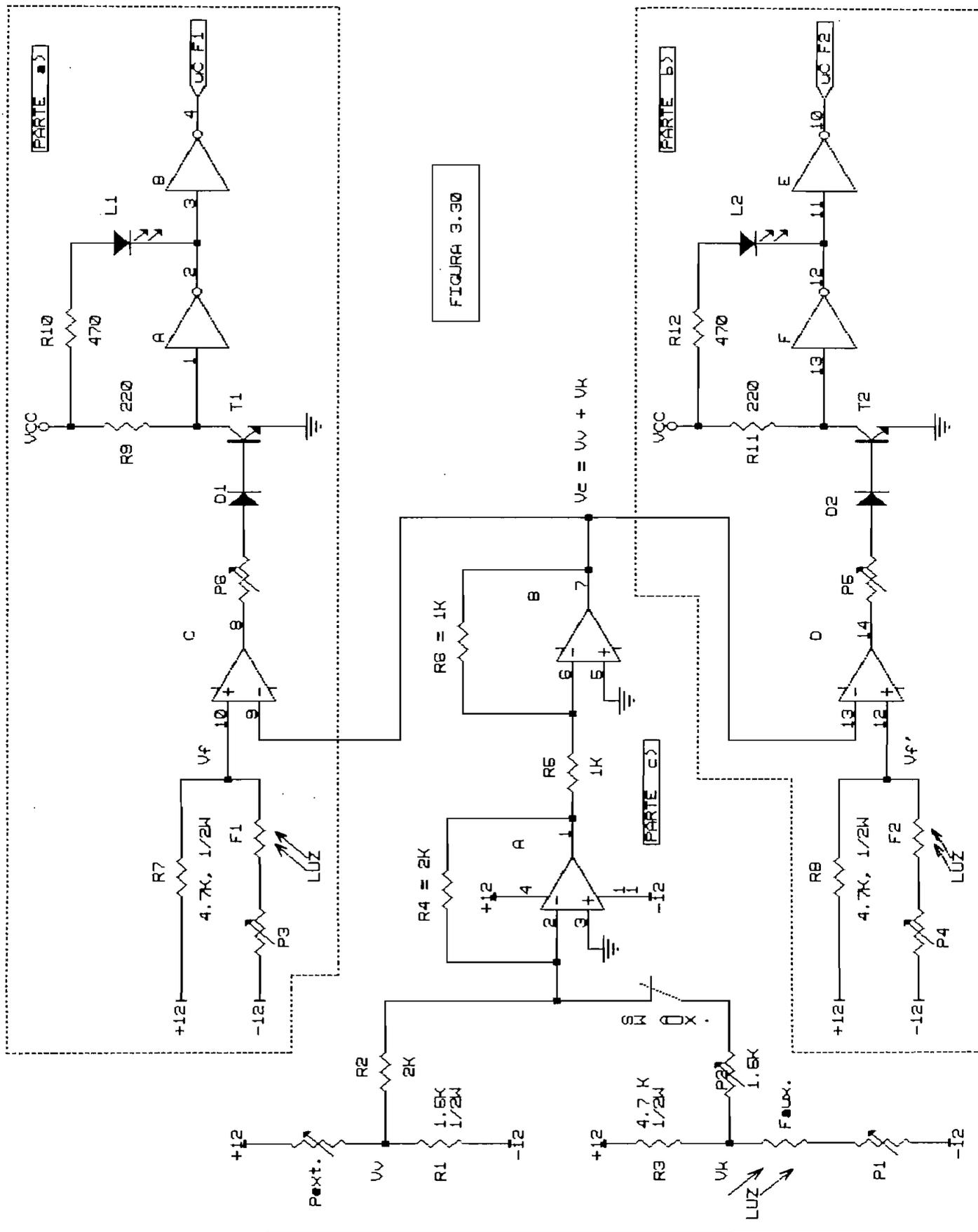


FIGURA 3.30

La salida del divisor de voltaje está conectado a la entrada positiva de un amplificador operacional, configurado como comparador de voltaje. Este circuito de alta ganancia compara el voltaje V_f con un voltaje de control V_c , el V_c puede ser variado dependiendo de si el sistema va a rastrear el sol ó una fuente luminosa de menor energía radiante. En este punto, vale la pena indicar que para rastreo solar, la selección del voltaje de control debe ser tal, que el V_f y V_c no tengan mucha diferencia (≈ 1 V), de esta manera se consigue un mejor posicionamiento del panel. En cambio, para rastreo de una fuente luminosa diferente al sol, la diferencia entre estos voltajes puede ser mayor al valor mencionado anteriormente (> 1 V), consiguiéndose posicionamientos adecuados del panel.

Continuando con la descripción del circuito, la salida del circuito comparador cambia de -12 V a $+12$ V, cuando la entrada V_f viene a ser ligeramente mayor a V_c . La salida cambia de $+12$ V a -12 V cuando V_f viene a ser ligeramente menor a V_c .

Se añade otra etapa a la salida del circuito comparador para producir señales de nivel lógico. Esta etapa consiste de un transistor BC 182B (ECG- 123 AP), configurado como un circuito de interfaz de nivel lógico. La señal de $+12$ V permite que el transistor conduzca, por el contrario la señal de -12 V se bloquea debido a la existencia del diodo D1 1N4004 (ECG-116), de este modo el transistor se apaga cuando se produce la señal de -12 V. (Ver figura 3.30).

Por seguridad se incluye una última etapa formada por un par de inversores, ya que a la salida de éstos se tiene acoplado el microcontrolador. Se ha colocado dos inversores para no perder el nivel lógico que sería "1" cuando el fotosensor está iluminado y "0" cuando el mismo no se encuentra "bien" iluminado. Además se ha aprovechado la existencia de los inversores para incluir un led indicador del estado de la fotoresistencia. Todo lo anteriormente descrito es válido para un sensor determinado, mientras que el sensor complementario (ubicado en dirección

opuesta) posee el mismo diseño, como se puede observar en la figura 3.30 parte b.

En la figura 3.30 parte c, se observa el circuito generador del voltaje de control V_c , el cual se describirá a continuación.

Básicamente está formado por un sumador y un inversor. El sumador va a sumar dos voltajes V_v y V_k , en donde V_v es la referencia escogida por el usuario de tal manera de hacer al sistema más ó menos sensible. Mientras que V_k es un voltaje sensor de la cantidad de energía radiante del medio ambiente, lo cual se lo hace por medio de un fotosensor auxiliar colocado en el panel (En la parte inferior del soporte estacionario). Sin esta última característica anotada el voltaje de control no dependería de las variaciones de luz en el medio ambiente, lo cual traería problemas puesto que en un día soleado al nublarse todo el medio debido a un obstáculo natural, el voltaje de control no variaría, mientras que V_f y V_f' si lo harían, pudiendo superar el valor de V_c y en consecuencia proporcionar una señal errónea.

En resumen el voltaje de control V_c es igual a la suma de V_v y V_k . ; $V_c = V_v + V_k$.

Los valores de resistencia están escogidos de tal manera de no superar una corriente de 10 mA en las fotoresistencias, así como también de no superar los valores permisibles en los demás elementos.

Además, se indica que tanto V_f como V_f' , también pueden variarse, por medio de P3 y P4 (Ver figura 3.30), de esta manera se tiene un control total de todas las magnitudes del circuito.

Por último se muestra algunos cálculos referentes al circuito de la figura 3.30.

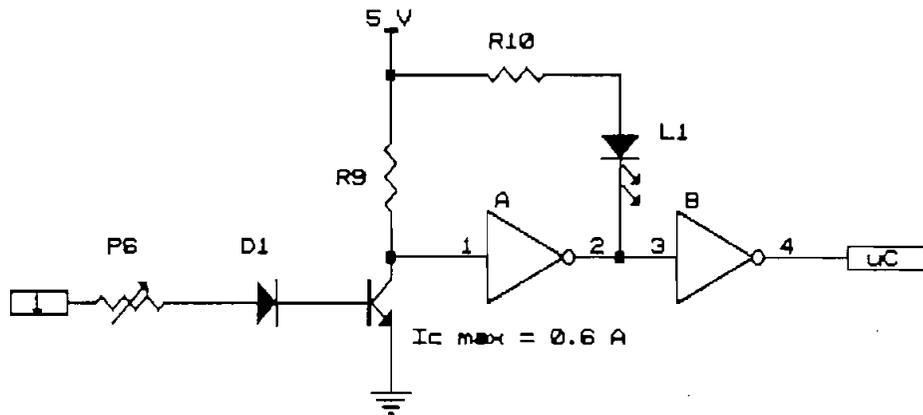
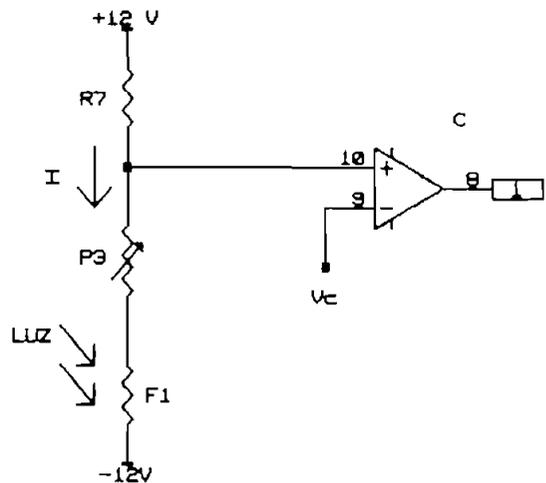
Cálculo de los elementos.- (Parte a,b)

Suponiendo P3 = 0Ω

P3 = $1\text{ K}\Omega$; Por protección I = 5mA

$$R7 = \frac{24 \text{ V}}{5 \text{ mA}} = 4.8 \text{ K}\Omega$$

$$\frac{R7 = 4.7 \text{ K}\Omega \quad P = 0.5 \text{ W}}{\text{(sobredimensionando)}}$$



Asumiendo: $I_c = 20 \text{ mA}$

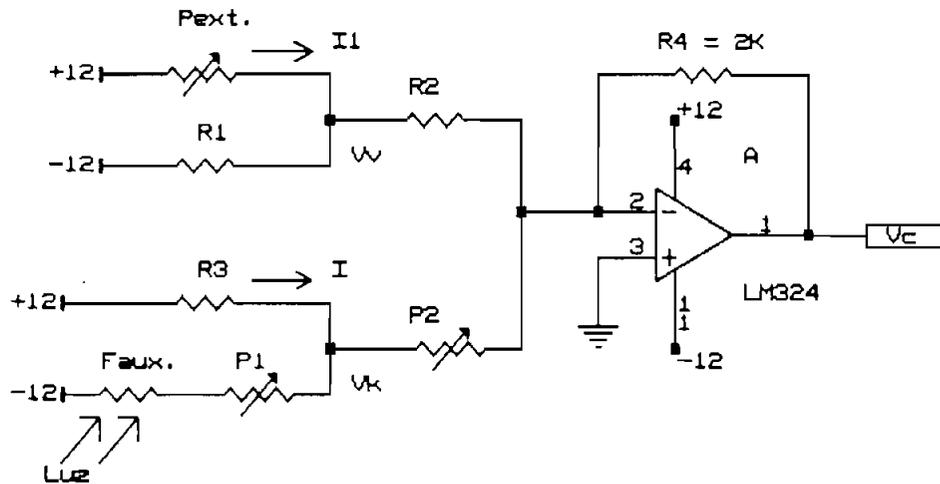
$$\underline{P6 = 1 \text{ K}\Omega} ; \quad R9 = \frac{5 \text{ V}}{20 \text{ mA}} = 250 \Omega \Rightarrow \underline{R9 = 220 \Omega}$$

Led Verde: (L1) $V_p = 2.4 \text{ V} ; I_{lv} = 20 \text{ mA}$

$$R_{lv} = \frac{V_p}{I_{lv}} = \frac{(5 - 2.4) \text{ V}}{20 \text{ mA}} = 130 \Omega$$

$$\underline{R10 = 120 \Omega}$$

Calculos de los elementos de la parte c:



$$\underline{P_{ext} = 2 \text{ K}\Omega}$$

$$\underline{R4 = 2 \text{ K}\Omega}$$

Si $P_{ext} = 0$; $I1 = 15 \text{ mA}$

$$R1 = \frac{24 \text{ V}}{15 \text{ mA}} ; \underline{R1 = 1.5 \text{ K}\Omega}$$

$$P = I^2 R = 0.38 \text{ W} ; \underline{P = 0.5 \text{ W}}$$

$R2 = 2 \text{ K}\Omega$ No necesitamos amplificación de V_v .

$P1 = 1 \text{ K}\Omega$

Suponiendo: $P1 = 0 \Omega$; $I_{\text{máx}} = 10 \text{ mA}$

Escogiendo $I = 5 \text{ mA}$

$$R3 = \frac{24}{5 \text{ mA}} ; \underline{R3 = 4.7 \text{ K}\Omega} ; \underline{P = 0.5 \text{ W}}$$

$P2 = 5 \text{ K}\Omega$ Para conseguir amplificación de V_k .

3.5.2 ETAPA DE POTENCIA

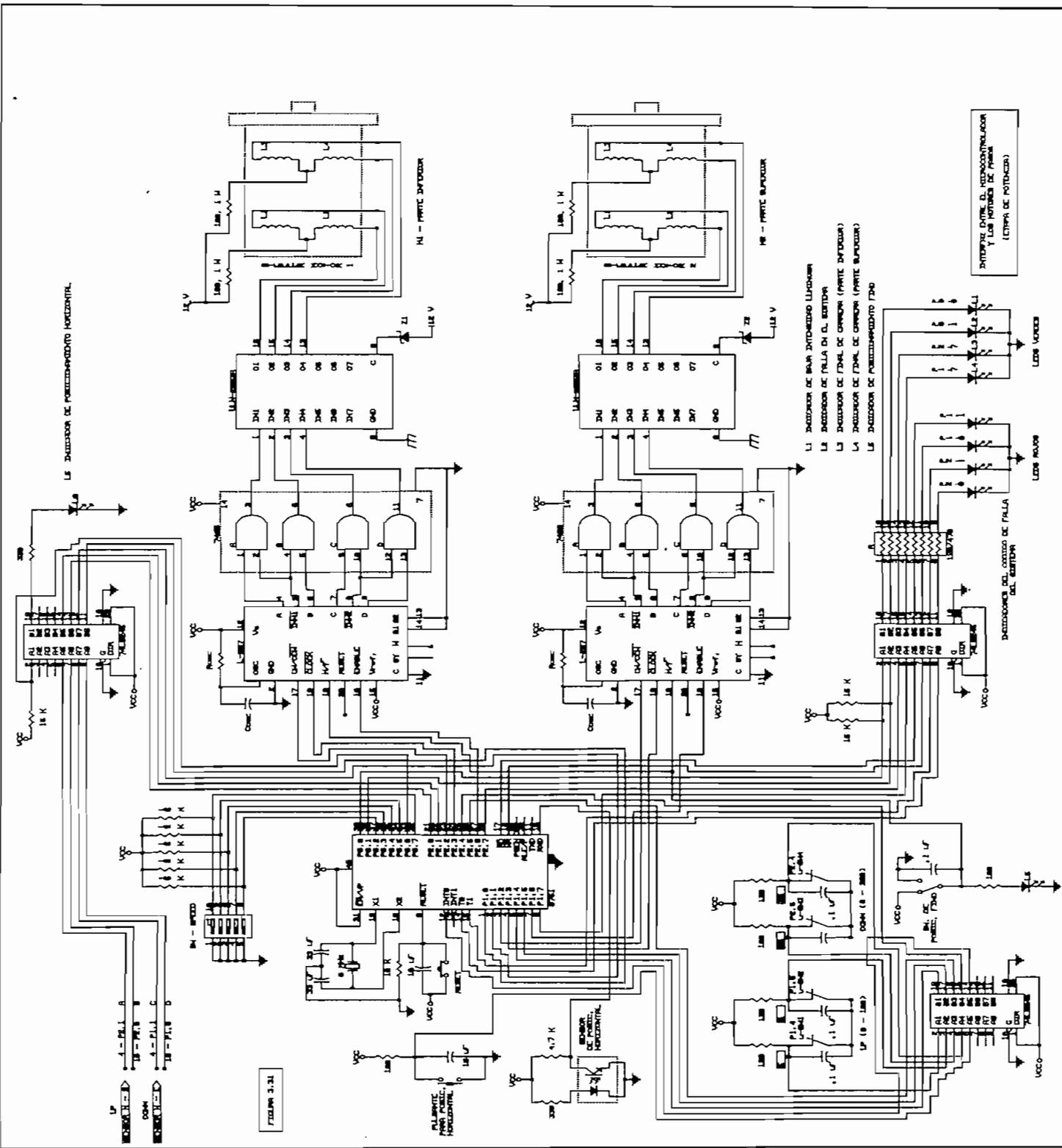
El circuito de la figura 3.31, muestra todas las conexiones entre el microcontrolador y los actuadores (Motores de Pasos).

Como se puede ver, existe un acoplamiento directo entre el microcontrolador y los controladores de motores paso a paso, L-297, ésto se lo hace debido a que estos circuitos son compatibles con TTL y por consiguiente entre sí. Los controladores L-297, necesitan de una red externa de oscilación, dada por Rosc. y Cosc., la misma que le permite generar sus secuencias internas de funcionamiento. Como sugerencia del fabricante, es necesario acoplar a las salidas del L-297 un conjunto de compuertas AND, Ver figura 3.12.

A continuación de las compuertas AND, se incluye un "driver", (ULN - 2003A, SGS), el mismo que es el que da la alta capacidad de corriente al circuito, permitiendo el manejo de los motores de pasos. Este "driver" posee internamente un conjunto de darlingtontons (Ver Anexo B), de colector abierto con emisores comunes que incluyen diodos de supresión para manejo de cargas inductivas. En serie con los diodos se ha acoplado un diodo zener, cuya ventaja de funcionamiento, como ya se indicó anteriormente, es la de incrementar el voltaje a través del cual la energía almacenada en el devanado es descargada, acelerando el decaimiento de corriente. Se indica también que la tierra del elemento ULN - 2003A, no es la misma que los circuitos anteriores, ya que es otra fuente de +12 V la que suministra la energía a estos elementos.

Las salidas del "driver" son conectadas directamente a los devanados del motor, con el fin de comandarlo. Se puede observar que en serie con cada par de devanados, se ha colocado una resistencia de potencia, de $100 \Omega / 1 \text{ W}$, la misma que tiene como finalidad decrementar la constante de tiempo L/R del motor, permitiéndolo tiempos de encendido más rápidos, es decir se incrementa la velocidad de respuesta.

FIGURA 3.31



En la figura 3.31, se puede ver que el microcontrolador también comanda el sistema indicador luminoso, usando un "driver" no inversor TTL, éste es el 74 LS245. Este "driver" además es usado para aumentar la capacidad de corriente de las señales provenientes del sistema sensor luminoso visto en el numeral 3.5.1, y también de las señales provenientes de los sensores de fin de carrera (Microswitch).

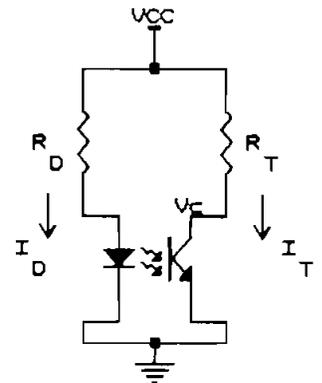
A continuación se incluye los cálculos correspondientes a esta etapa (Referirse a la figura 3.31).

SENSOR DE POSICIONAMIENTO HORIZONTAL.-

$$I_D = 10 \text{ mA}$$

$$R_D = \frac{(5 - 1.7)V}{10 \text{ mA}}$$

$$R_D = 330 \ \Omega$$



En pruebas realizadas con este elemento se comprobó que para obtener un valor en Vc cercano al "0" lógico, $R_T = 4.7 \text{ k}\Omega$.

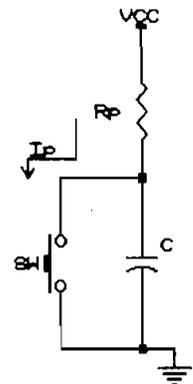
PULSANTE PARA POSICIONAMIENTO HORIZONTAL.-

$$C = 10 \ \mu\text{F}$$

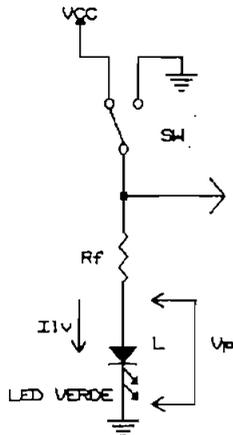
$$\text{SW ON ; } R_p = V_{cc}/I_p$$

$$I_p = 45 \text{ mA} \implies R_p = 5V/45\text{mA}$$

$$R_p = 120 \ \Omega$$



SWITCH DE POSICIONAMIENTO FINO.-



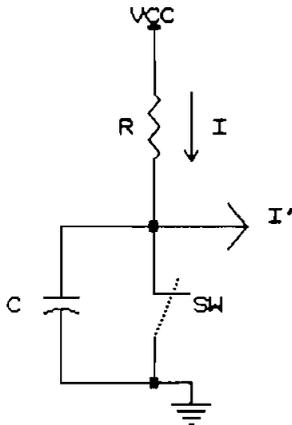
$V_p = 2.4 \text{ V}$ Para dar 11 mCd. de intensidad luminosa.

$I_{lv} = 20 \text{ mA}$

$$R_f = \frac{(5 - 2.4) \text{ V}}{20 \text{ mA}} = 130 \Omega$$

$R_f = 120 \Omega$; $P = 0.24 \text{ W}$

SENSORES DE FIN DE CARRERA.-



$I_{m\acute{a}x} = 100 \text{ mA}$ (Maxima Capacidad del switch)

Asumiendo $I = 40 \text{ mA}$

$$R = \frac{5 \text{ V}}{40 \text{ mA}} = 125 \Omega$$

$R = 120 \Omega$; $P = 0.25 \text{ W}$

C, cuya capacidad es tal que permite eliminar el rebote $\approx 0.1 \mu\text{F}$.

En las primeras pruebas del diseño la I' , se conectaba directamente con un puerto del microcontrolador, pero al cambiar de estado, este sensor de fin de carrera, no se lograba obtener un voltaje suficientemente alto (Mayor 2 V), de tal manera que el microcontrolador detecte el cambio de estado, por ésto fue necesario añadir un driver entre el sensor y el micro, con el cual se obtuvo los resultados requeridos. Ver figura 3.32.

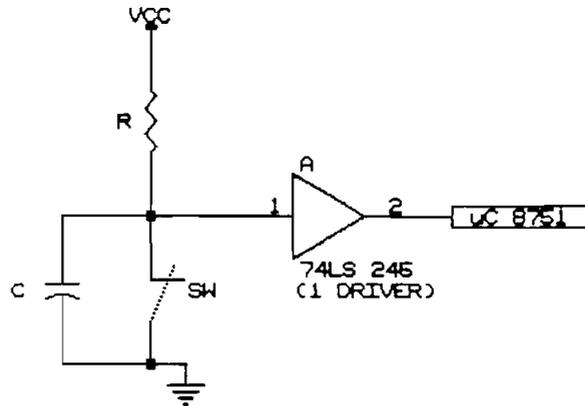
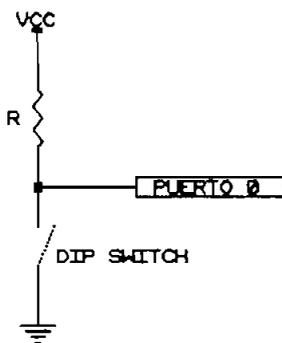


FIGURA 3.32

DIP SWITCH QUE PERMITE SELECCIONAR LA VELOCIDAD DE LOS MOTORES.-



Este circuito trabaja con el puerto 0, el cual necesita resistencias externas de PULL-UP, para poder funcionar correctamente.

Las resistencias de PULL-UP están en el orden de los KΩ.

====> Escogiendo R = 15 KΩ

CIRCUITO OSCILADOR Y DE "RESET".-

El circuito oscilador del microcontrolador usa un cristal de 8 MHz. Por sugerencia del fabricante, éste tiene acoplado un par de condensadores de 33 μF tal como se muestra en la figura 3.33

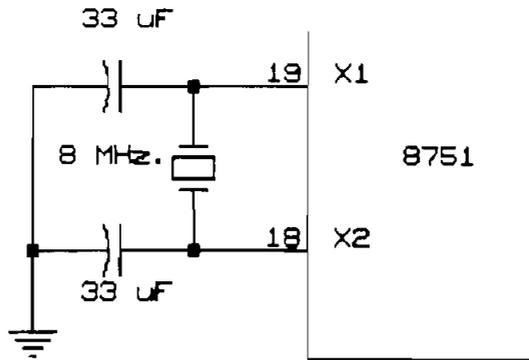


FIGURA 3.33

En cambio el circuito de reset, se muestra en la figura 3.34.

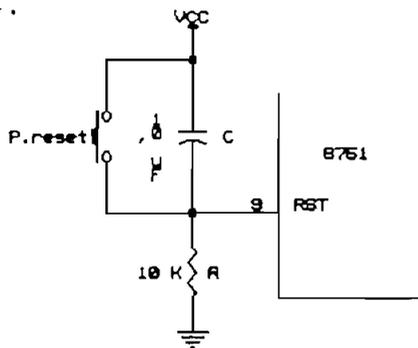


FIGURA 3.34

Los valores de los elementos, son escogidos de acuerdo a pruebas realizadas en laboratorio.

El condensador $C = 10 \mu F$, está escogido de tal manera de resetear el microcontrolador en el momento del encendido.

CALCULO DE LOS INDICADORES LUMINOSOS.-

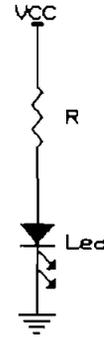
Los valores referenciales de corriente que se verá más adelante, son determinados de tal manera de proporcionar una intensidad luminosa de 11 milibujias (11 m Cd.). Suficiente para hacer visible la luz emitida por los diodos emisores de luz.

LED ROJO:

$$V_P = 1.7 \text{ V} \quad ; \quad I_{LR} = 10 \text{ mA}$$

$$R_{LR} = \frac{V_P}{I_{LR}} = \frac{(5 - 1.7) \text{ V}}{10 \text{ mA}}$$

$$\underline{R_{LR} = 330 \ \Omega}$$



LED VERDE:

$$V_P = 2.4 \text{ V} \quad ; \quad I_{LV} = 20 \text{ mA}$$

$$R_{LV} = \frac{V_P}{I_{LV}} = \frac{(5 - 2.4) \text{ V}}{20 \text{ mA}}$$

$$\underline{R_{LV} = 120 \ \Omega}$$

3.6 DESCRIPCION DE LOS PROGRAMAS REALIZADOS USANDO EL SET DE INSTRUCCIONES DEL MICROCONTROLADOR 8751.

3.6.1 GENERALIDADES

Para un mejor entendimiento del programa implementado, se ha visto en la necesidad de hacer un ligero resumen de lo que anteriormente ya se indicó. El sistema concebido posee dos grados de libertad, por lo que podemos definir una X y una Y para referirnos al movimiento, es decir que los giros del panel son definidos como +X, -X, +Y y -Y. Con la ayuda de estas definiciones, se facilitará el entendimiento del movimiento del panel rastreador.

En la figura 3.35 se muestra la relación entre las definiciones y la verdadera dirección del movimiento del panel.

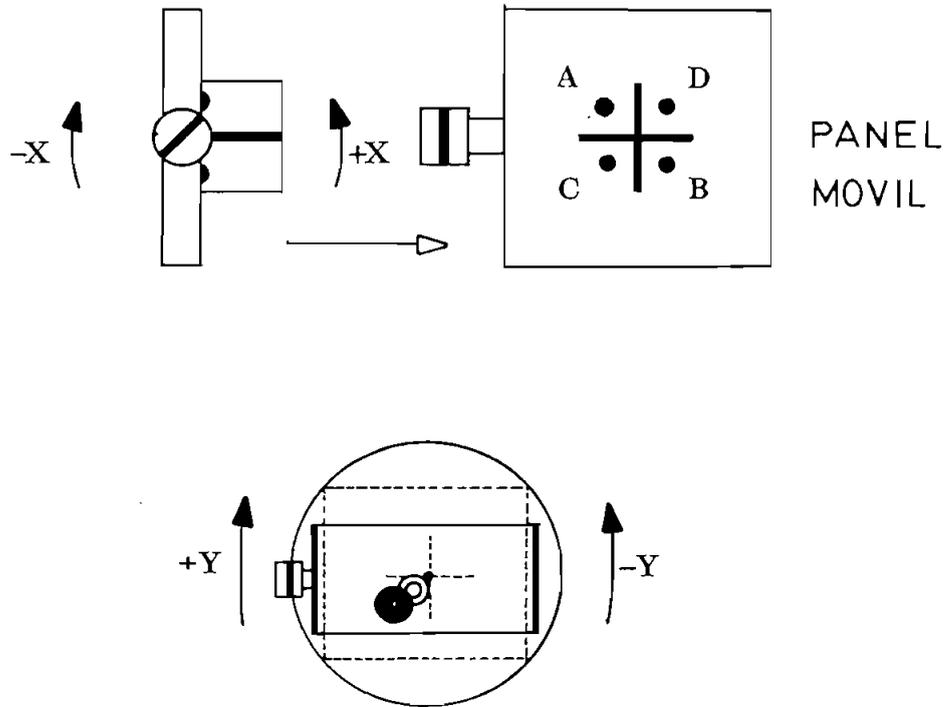


FIGURA 3.35

El mecanismo del panel rotará aproximadamente 360° alrededor del eje Y, y aproximadamente 180° alrededor del eje X (Movimiento del panel propiamente dicho).

Las fotoresistencias utilizadas como sensores, generan indirectamente las señales del error. Estas fotoresistencias están montadas sobre el panel, separadas por un sistema de obturación bidireccional. Referirse a la figura 2.17 (Cap. II).

Estos obturadores producen distintos patrones de luz en las fotoresistencias de acuerdo a la posición de la luz con respecto al panel.

Con los distintos patrones producidos por el sistema de obturación se puede formar una tabla, la misma que nos indica la

dirección para mover el panel dependiendo de que patrón se forme en los foto-resistores. (Ver tabla N^o 1).

TABLA N^o 1

CODIGO N ^o	C	D	A	B	MOVIMIENTO
CODIGO 1	0	0	0	0	NO HAY LUZ, NO SE MUEVE
CODIGO 2	0	0	0	1	-Y , -X
CODIGO 3	0	0	1	0	-Y , +X
CODIGO 11	0	0	1	1	FALLA
CODIGO 4	0	1	0	0	+Y , +X
CODIGO 5	0	1	0	1	-Y , -X
CODIGO 6	0	1	1	0	+X
CODIGO 12	0	1	1	1	+Y , +X
CODIGO 7	-1	0	0	0	+Y , -X
CODIGO 8	1	0	0	1	-X
CODIGO 9	1	0	1	0	-Y , +X
CODIGO 13	1	0	1	1	+Y , -X
CODIGO 14	1	1	0	0	FALLA
CODIGO 15	1	1	0	1	-Y , -X
CODIGO 16	1	1	1	0	-Y , +X
CODIGO 10	1	1	1	1	NO HAY ERROR, NO SE MUEVE

Un "1" lógico, indica que la foto-resistencia está iluminada, mientras que un "0" lógico, indica que el foto-sensor no se encuentra iluminado.

Como observamos en la tabla N^o 1, existen 16 combinaciones posibles con un sistema de 4 fotoresistencias. Si todos los cuatro sensores se encuentran en "1" lógico, condición de iluminación total, entonces el panel apuntaría directamente hacia la fuente de luz, dando en este estado una señal de error igual

a cero.

Conforme la fuente de luz se mueve, ó gira el panel no estacionario, se produce un patrón de luz diferente, este patrón se convierte en una señal de error, la que es interpretada por el microcontrolador, el mismo que dependiendo del patrón instruye a los actuadores mover el panel en cierta dirección para regresar a la condición normal de iluminación total (Condición 1111).

3.6.2 DESCRIPCION DEL PROGRAMA

El programa que se listará mas adelante, se basa en algunos conocimientos previos que los daremos en esta parte. A continuación se explicará brevemente la tabla N^o 1, la cual se detallará mas adelante.

CODIGO 0 0 0 0 (C D A B)

Este código indica que todas las fotoresistencias no se encuentran iluminadas, entendiéndose que no existe suficiente cantidad de energía luminosa en el medio.

En esta condición el panel se mantiene esperando la aparición de luz.

CODIGO 0 0 0 1 (C D A B)

Este código indica que sólo la fotoresistencia "B", se encuentra totalmente iluminada, mientras que las otras no lo están; por tanto el movimiento debe hacérselo en el sentido -Y (Ver figura 3.35), hasta que "C" también se ilumine, de tal manera de pasar al código 1001, cuyo sentido de giro se verá mas adelante.

CODIGO 0 0 1 0 (C D A B)

Este código indica que sólo la fotoresistencia "A", está

iluminada totalmente, tomando como referencia la figura 3.35, el movimiento deberá ser en el sentido -Y, hasta que la fotoresistencia "D" se ilumine, pasando al código 0110.

CODIGO 0 1 0 0 (C D A B)

Este código indica que sólo la fotoresistencia "D", está totalmente iluminada, por tanto el movimiento será en el sentido +Y, hasta que "A" también sea iluminada, de tal manera de conseguir el código 0110, el cual se explicará mas adelante.

CODIGO 1 0 0 0 (C D A B)

Este código indica la iluminación total de la fotoresistencia "C", por lo tanto el movimiento será en el sentido +Y, hasta conseguir la iluminación de "B", de tal manera de pasar al código 1001.

CODIGO 0 1 1 0 (C D A B)

Este código nos indica que las fotoresistencias "D" y "A", se encuentran totalmente iluminadas, por lo tanto el movimiento debe ser en el sentido +X (motor superior), de tal manera de conseguir la iluminación de todos los foto-sensores.

CODIGO 1 0 0 1 (C D A B)

Este código nos indica que las fotoresistencias "C" y "B", se encuentran totalmente iluminadas, por lo tanto el movimiento debe ser en el sentido -X, de tal manera de conseguir la iluminación de todos los foto-sensores.

CODIGO 0 1 0 1 (C D A B)

Este código nos indica que tanto la fotoresistencia "D" como

la "B", se encuentran totalmente iluminadas, pero el movimiento no va a ser tan simple de determinar, ya que éste va a depender de la posición del panel. Para conocer la posición del panel propiamente dicho, es decir saber si esta en el rango de 0 - 90° ó de 90° a 180°, nos vamos a valer de la señal proporcionada por el optoacoplador interrumpible. Este elemento proporciona una señal que determina la posición del panel, de tal forma que si la señal es un "0" lógico (optoacoplador no está interrumpido), el movimiento del panel será en el sentido +Y, y si la señal es un "1" lógico (optoacoplador interrumpido por la parte negra del semicírculo acoplado al panel), el movimiento será en el sentido -Y. En cualquiera de estos dos casos el movimiento tendrá lugar hasta conseguir otro código.

CODIGO 1 0 1 0 (C D A B)

Este código es interpretado de la misma forma que el anterior, sin embargo el sentido de movimiento cambia, de tal manera que si la señal proporcionada por el optoacoplador interrumpible es un "0" lógico, el movimiento del panel será en el sentido -Y, y si la señal es un "1" lógico el movimiento será en el sentido +Y.

CODIGO 0 1 1 1 (C D A B)

En este código sólo la fotoresistencia "C", no está totalmente iluminada, por lo tanto el movimiento se lo realiza de una manera combinada de los dos motores, en el sentido +X, +Y, de tal forma de conseguir la condición 1111.

CODIGO 1 0 1 1 (C D A B)

Aquí la fotoresistencia "D", no se encuentra totalmente iluminada, por lo tanto el movimiento se lo realiza, tal como en el caso anterior, de una manera combinada en el sentido -X, +Y.

CODIGO 1 1 0 1 (C D A B)

Aquí la fotoresistencia "A", no está totalmente iluminada, por lo tanto, al igual que en los casos anteriores de movimiento combinado, el sentido será -X, -Y.

CODIGO 1 1 1 0 (C D A B)

En este código la fotoresistencia "B", no está totalmente iluminada, en consecuencia un movimiento combinado es necesario en el sentido +X, -Y.

CODIGO 0 0 1 1 y 1 1 0 0 (C D A B)

Estos códigos son prohibidos en el buen funcionamiento del sistema, puesto que los foto-sensores iluminados se encuentran físicamente en posición opuesta. Estos estados pueden ocurrir sólo en el caso de falla de alguno de los fotosensores ó del sistema de obturación. Por lo tanto al conseguir estos códigos el sistema da una señal de falla.

CODIGO 1 1 1 1 (C D A B)

Este código refleja el estado de iluminación total de todos los foto-sensores, es decir el panel se encuentra orientado directamente hacia la fuente luminosa. En otras palabras, este código determina una señal de error igual a cero, de tal forma que el microcontrolador no proporciona movimiento a todo el sistema rastreador.

3.6.3 DIAGRAMAS DE FLUJO Y EXPLICACION DEL PROGRAMA

A continuación se presenta los diagramas de flujo correspondientes al programa realizado usando el conjunto de instrucciones del microcontrolador 8751.

El diagrama de flujo N° 1, muestra en forma general la secuencia que tiene el programa, mientras que en el diagrama de flujo N° 2, se indica en forma detallada la estructura del programa realizado.

En las siguientes líneas se va a explicar el programa, que tiene como base el diagrama de flujo N° 2.

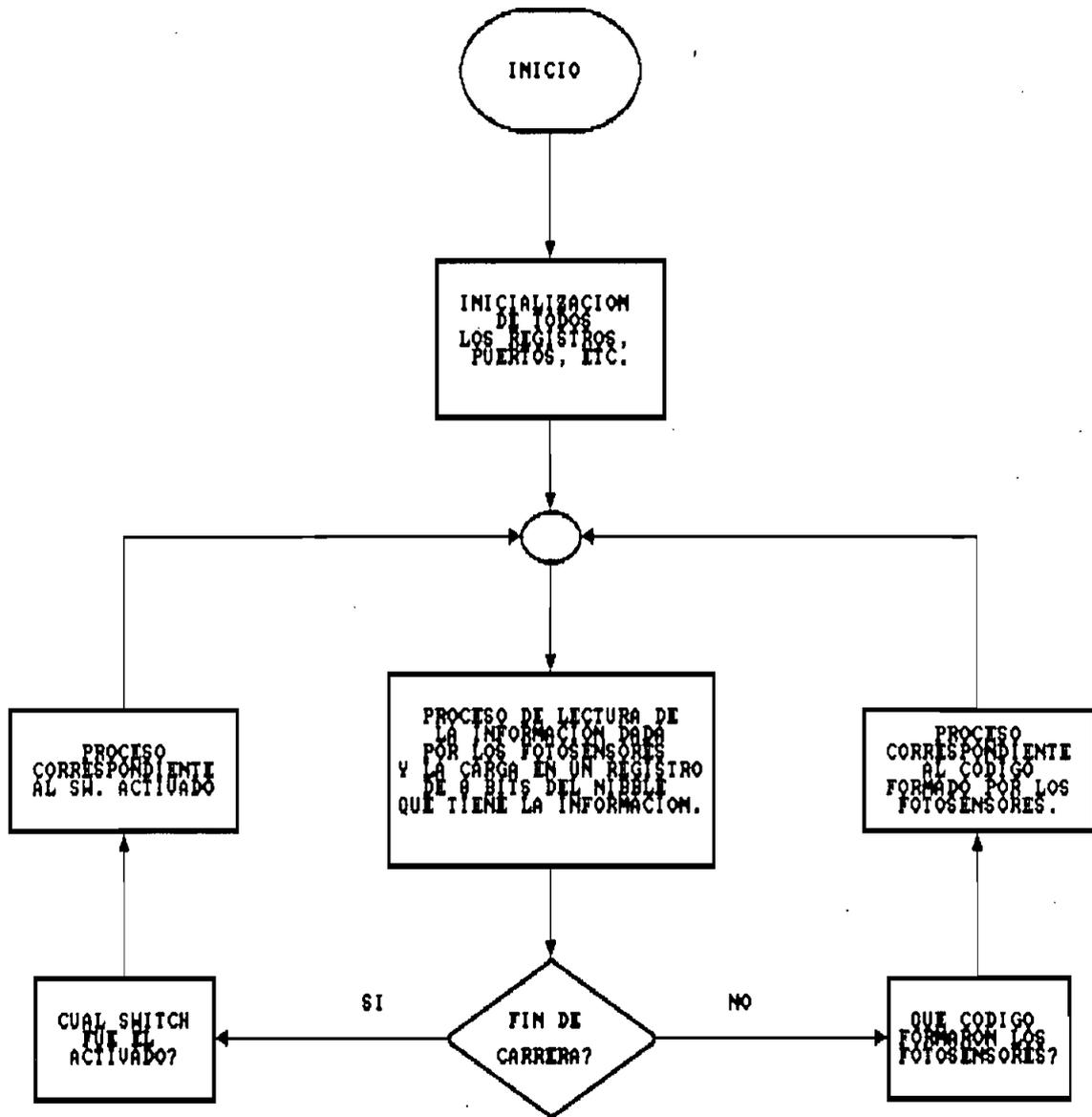
INICIALIZACION.- al principio del programa se realiza un proceso de inicialización, principalmente de las siguientes partes:

- 1) Registro de control del microcontrolador (TCON, IE).
- 2) Stack Pointer (SP).
- 3) Blanqueo de los registros pertenecientes a los bancos a utilizarse.
- 4) Blanqueo de los puertos de Entrada/Salida que se usarán.

PROCESO DE LECTURA Y CARGA.- en este conjunto de instrucciones se lee y a la vez se almacena la información proporcionada por los foto-sensores, esta información viene a constituir un código de 4 bits.

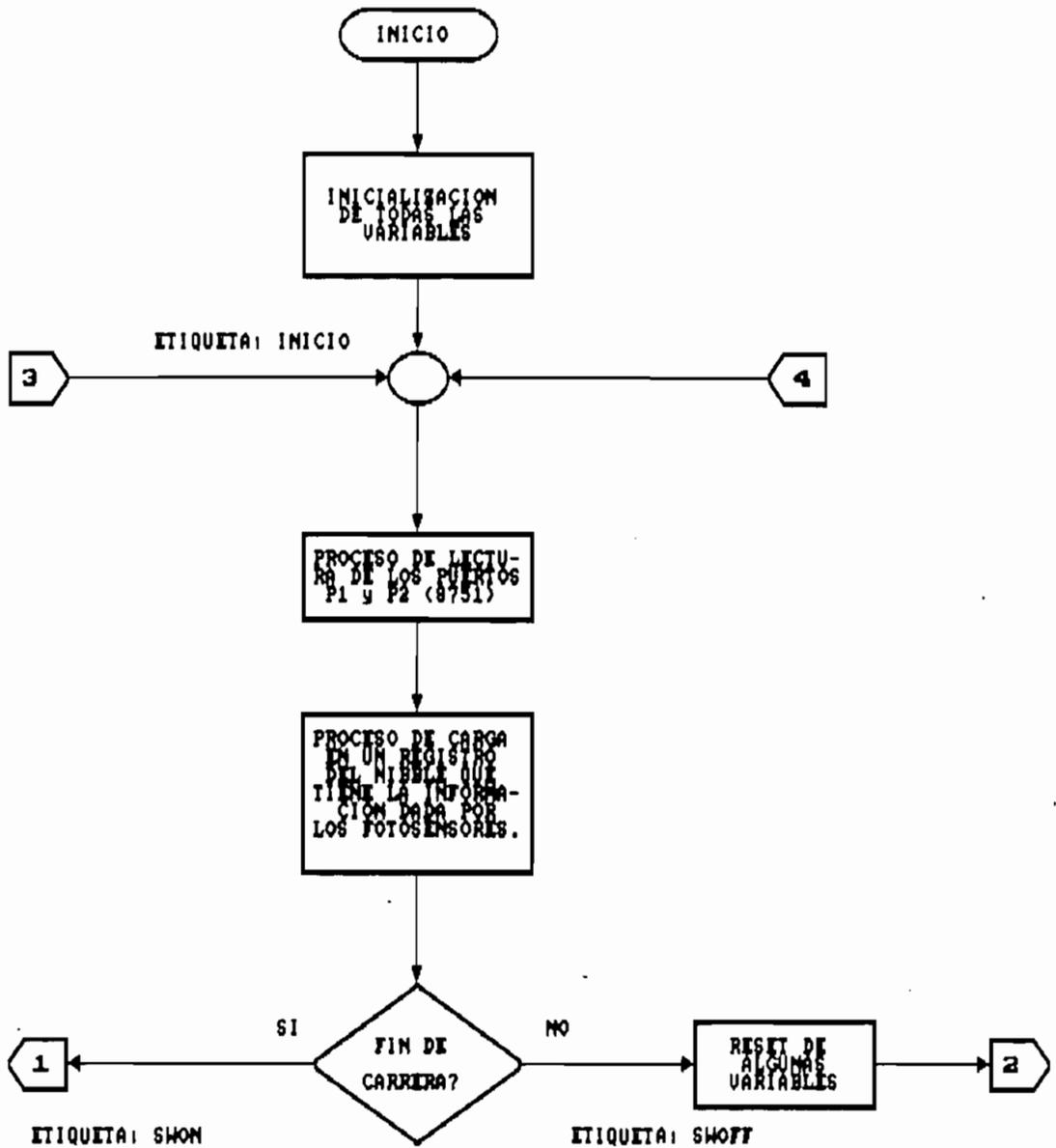
FINALES DE CARRERA.- para detectar un fin de carrera el microcontrolador usa el código proporcionado por los "microswitch", este código también se forma mediante la lectura y carga de la información suministrada por estos "µSW", tal como en el caso anterior. La información se carga en un registro, y comparando con una tabla establecida en ROM correspondiente a los códigos de los microswitch, se determina cual es la información dada por los mismos; conocida ésta, el microcontrolador actúa dependiendo del caso. Estos casos se detallan en la Tabla N° 2. (Continua en la Pág. 121)

DIAGRAMA DE FLUJO No. 1



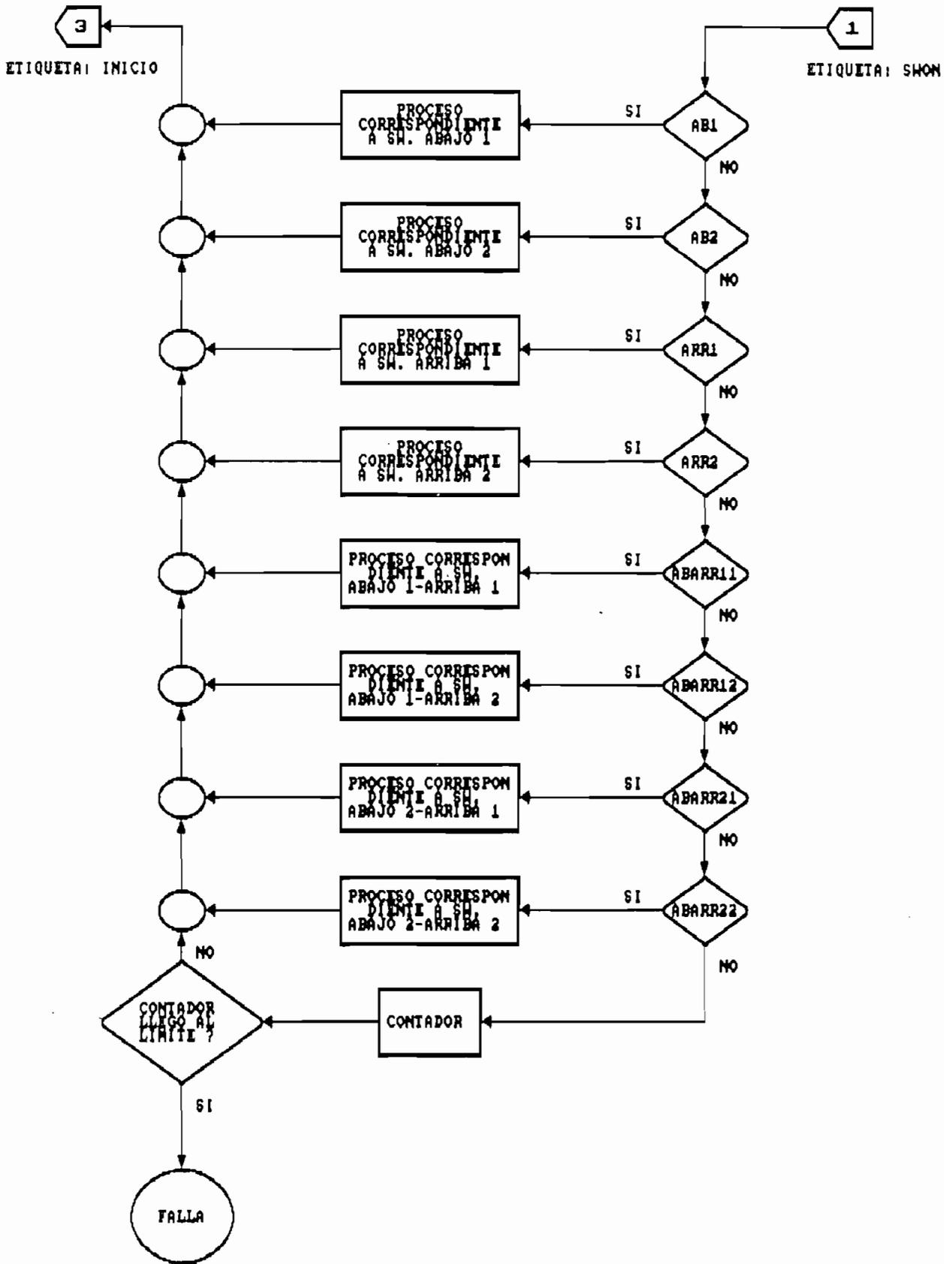
DIAGRAMAS DE FLUJO No. 2

HOJA 1



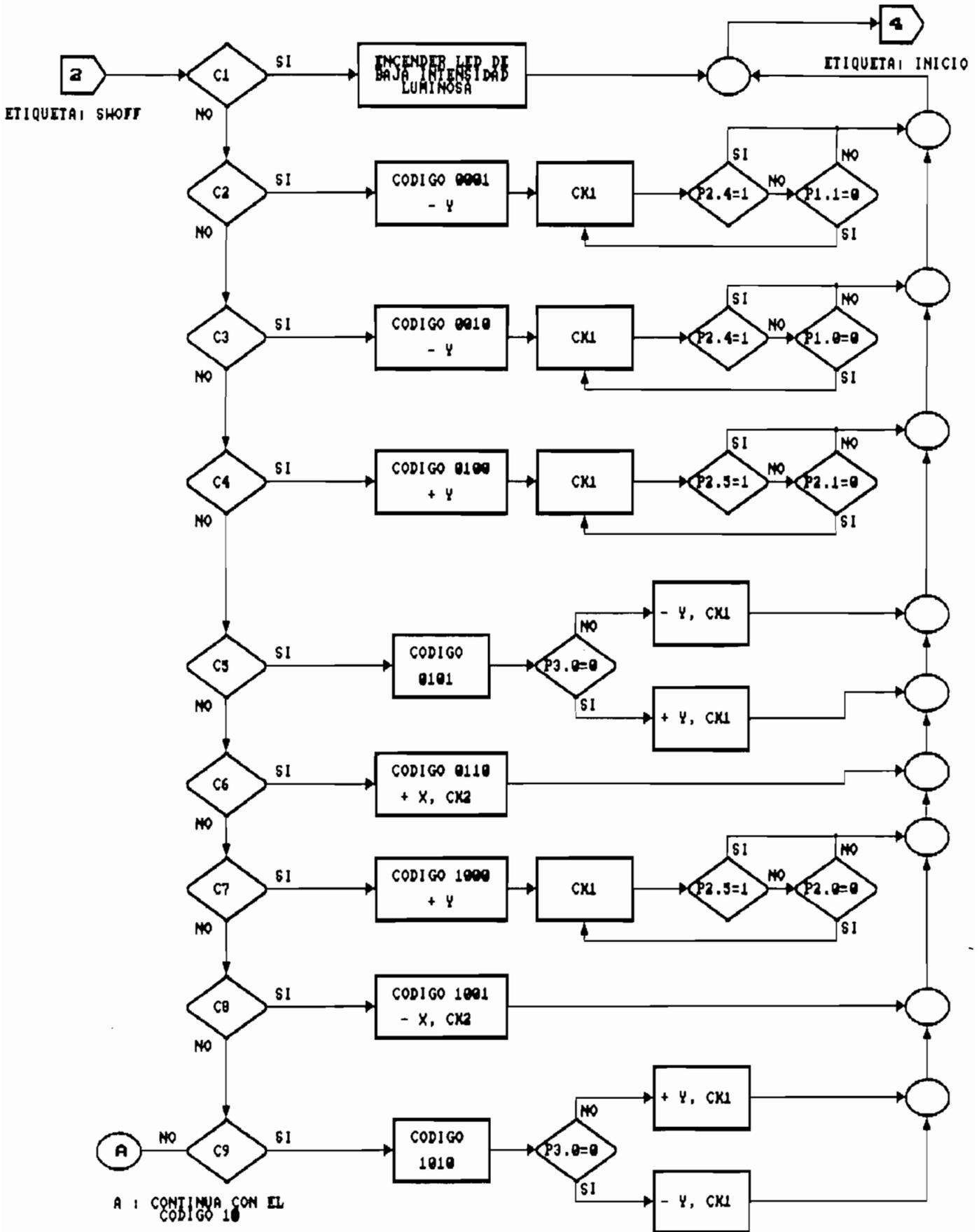
DIAGRAMAS DE FLUJO No. 2

HOJA 2



DIAGRAMAS DE FLUJO No. 2

HOJA 3



DIAGRAMAS DE FLUJO No. 2

HOJA 4

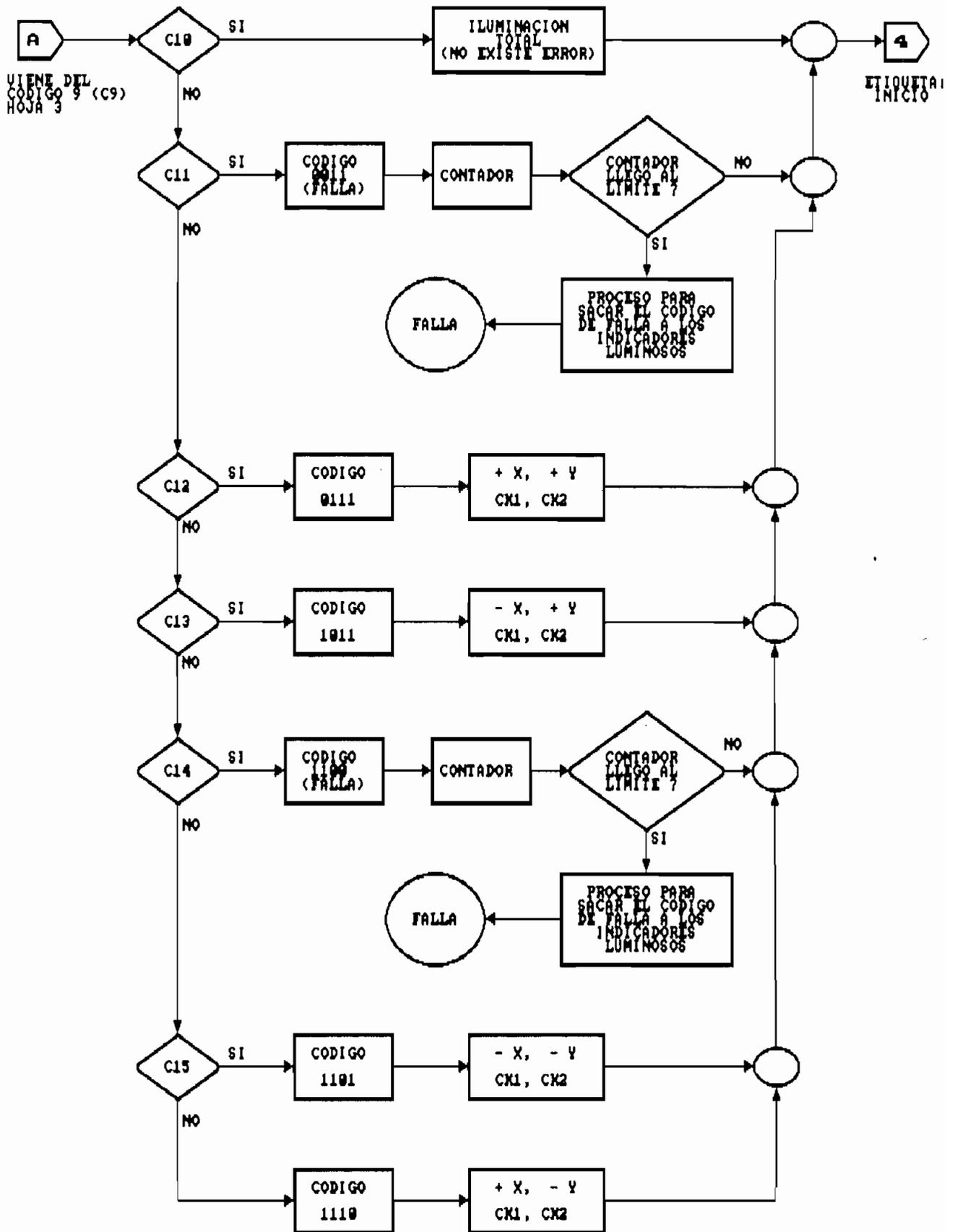


TABLA Nº 2

CW ARRIBA P1.5	CCW P1.4	CW ABAJO P2.5	CCW P2.4	E S T A D O
0	0	0	0	SW OFF (SWITCH APAGADO)
0	0	0	1	ABAJO CCW
0	0	1	0	ABAJO CW
0	0	1	1	FALLA
0	1	0	0	ARRIBA CCW
0	1	0	1	ARRIBA, ABAJO - CCW
0	1	1	0	ARRIBA, ABAJO - CCW, CW
0	1	1	1	FALLA
1	0	0	0	ARRIBA CW
1	0	0	1	ARRIBA, ABAJO - CW, CCW
1	0	1	0	ARRIBA, ABAJO - CW
1	0	1	1	FALLA
1	1	0	0	FALLA
1	1	0	1	FALLA
1	1	1	0	FALLA
1	1	1	1	FALLA

A continuación se va a explicar, en detalle, las rutinas implementadas en el microcontrolador. Estos procesos son diferenciados con etiquetas.

AB1: significa que el "µSW" de la parte de abajo (inferior), fue pulsado, siendo el movimiento del eje principal en sentido antihorario (CCW), por lo tanto, el programa cambia de sentido de giro (CW), moviéndose $\approx 360^\circ$ hasta tocar al otro microswitch, en este instante el microcontrolador ordena al motor de la parte inferior, cambiar nuevamente de sentido de giro (CCW),

moviéndose hasta dejar de activar el sensor (μ SW). Aquí el sistema se detiene un cierto tiempo, y luego sigue con la rutina de rastreo normal. Todo lo anteriormente descrito es útil, en el seguimiento de una fuente de luz de tipo rotatorio (Relativamente de baja velocidad), puesto que sin este proceso se enredarían los cables provenientes del panel rotatorio, al girar varias veces en el mismo sentido.

AB2: significa que el " μ SW" de la parte de abajo fué pulsado, siendo el movimiento del eje principal en sentido horario (CW). En este caso el funcionamiento del sistema es similar al anterior pero tomando en cuenta que los movimientos son en sentido inverso. Las dos subrutinas antes descritas tiene un contador (VUSWAB), el cual evita que pulsaciones pasajeras hagan saltar el control del programa a procesar AB1 y AB2.

ARR1: significa que el microswitch conectado a P1.4, de la parte de arriba fue pulsado, siendo el movimiento en sentido antihorario. Esta subrutina, al igual que las anteriores, posee un contador (VUSWARR) que cumple la misma función anterior, para evitar pulsaciones momentáneas o pasajeras. Además, esta subrutina tiene un retardo de aproximadamente 5 segundos, tiempo que permite al operador observar que el panel llegó a una posición límite. Debido a que esta posición es prohibida el panel se coloca luego en posición horizontal y por último da una señal de FALLA. La posición horizontal la adopta para poder detectar más fácilmente una fuente luminosa. Por ejemplo si estaba rastreando al sol y en el ocaso, el panel adoptó la posición límite, la cual permite activar al " μ SW", el panel se posiciona en forma horizontal para poder rastrear, más fácilmente la fuente luminosa al día siguiente. Hay que tomar en cuenta que el panel adoptó una posición horizontal de falla, de tal manera que si permanecería prendido el sistema ininterrumpidamente, para iniciar el rastreo al día siguiente será necesario darle un pulso de "Reset".

ARR2: significa que el "microswitch" de la parte de arriba fue pulsado siendo el movimiento en sentido horario. Esta subrutina funciona en forma similar a la anterior, sino que únicamente cambian los sentidos de giro.

ABARRnn: este nombre representa un grupo de cuatro subrutinas, que para la selección de una de ellas dependen del valor que tome nn (n = 1,2). Cada una de estas subrutinas llama a su vez a otras dos subrutinas, las explicadas anteriormente, una de las cuales corresponde a la parte superior y la otra a la parte inferior. Es decir éstas subrutinas son activadas cuando se pulsa simultáneamente un final de carrera de arriba y de abajo, de tal manera que el proceso de atención a este tipo de evento, se lo hace por separado. Primero se procesa la subrutina de abajo y luego la de arriba, en todas las combinaciones posibles con los cuatro "microswitch".

Si por cualquier razón se crea un código, dado por los "microswitch", que no corresponda a ninguna de estas 8 combinaciones antes descritas, el programa entra a un proceso de conteo (VUSW), y luego, si la condición persiste, el sistema se para dando una señal de "FALLA".

CODIGOS FORMADOS POR LAS FOTORESISTENCIAS.- los 16 códigos posibles con cuatro fotoresistencias ya fueron mostrados anteriormente en la TABLA Nº 1, pero a continuación se detallan algunas características adicionales.

C1: CODIGO 0 0 0 0 (C D A B)

El programa ordena encender el indicador (LED) de baja intensidad luminosa y luego retorna a la posición dada por la etiqueta "INICIO", en donde se inicia nuevamente el programa de rastreo. Así continúa hasta que los foto-sensores proporcionan

otro código.

C2: CODIGO 0 0 0 1 (C D A B)

El movimiento, como ya se detalló anteriormente, será en el sentido -Y. Se proporciona un pulso de reloj al controlador del motor 1 (Parte Inferior), obteniéndose un movimiento del actuador en el sentido antes indicado. Además se pregunta si el microswitch de fin de carrera, que pudiera ser activado con el movimiento en el sentido -Y, fué activado (P2.4), si fué así el control del programa retorna a la posición dada por INICIO, y luego el control pasará a atender el proceso correspondiente al "µSW" activado, si el microswitch no fué activado el control pasa a preguntar si el fotosensor correspondiente a P1.1 ("D"), está iluminado, de tal manera de pasar a formar el código 1001, con lo que el movimiento se pasaría del motor 1 (inferior) al motor 2 (superior); si el foto-sensor no está iluminado el programa sigue proporcionando pulsos de reloj hasta conseguir que se ilumine, en este momento el control retorna a la posición "INICIO", reiniciando el proceso de rastreo, pero donde el código seleccionado esta vez será el C8, el mismo que se lo explicará mas adelante.

C3: CODIGO 0 0 1 0 (C D A B)

El movimiento en este caso será en el sentido -Y, como el anterior. Se suministra un pulso de reloj al controlador del motor de pasos de la parte inferior, obteniéndose un movimiento en el sentido antes mencionado. También se pregunta si el "microswitch", que pudiera ser pulsado con el movimiento antes indicado, fue activado (P2.4), si así fue, el control del programa retorna al "INICIO" y luego pasará a atender la subrutina correspondiente al sensor de fin de carrera activado.

Si el sensor no fue pulsado, el control pasa a preguntar si el foto-sensor conectado a P1.0, está iluminado de tal manera de

formar el código 0110, si el fotosensor no está iluminado el programa sigue proporcionando pulsos de reloj hasta conseguir que se ilumine; en este momento el control retorna a la posición "INICIO", reinicializando el proceso de rastreo.

C4: CODIGO 0 1 0 0 (C D A B)

En este código el movimiento sería en el sentido +Y. Se proporciona un pulso de reloj al controlador del motor de pasos de la parte inferior M1, obteniéndose un movimiento en el sentido indicado. Luego se pregunta si el microswitch que es posible sea pulsado con el movimiento en el sentido antes mencionado ha sido activado. Si es así, el control del programa retorna a "INICIO", y luego pasará a procesar la subrutina correspondiente al sensor activado (μ SW conectado a P2.5). Si en cambio el microswitch no es pulsado, el control pasa a preguntar si el foto-sensor conectado a P2.1, está iluminado. Si no es así, el control del programa empieza a suministrar pulsos de reloj al motor 1 (parte inferior), hasta conseguir que el foto-sensor quede iluminado. En este estado se ha formado el código 0110, de tal forma que cuando el control pase a la localidad "INICIO", reinicializando el proceso de rastreo, el código seleccionado esta vez será el C6, explicado más adelante.

C5: CODIGO 0 1 0 1 (C D A B)

Este código es un poco más problemático, puesto que el movimiento del panel, depende de una señal adicional dada por el optoacoplador interrumpible conectado al P3.0 (Pin 0 del puerto 3), del microcontrolador. Si P3.0 = 0, es decir no existe interrupción por el semidisco acoplado al panel, el movimiento será en el sentido +Y. En cambio si P3.0 = 1, es decir existe interrupción por parte del disco, el movimiento será en el sentido -Y. Después que el control del programa haya escogido cualquiera de las opciones anteriores, suministra un pulso de

reloj al controlador del motor de pasos de la parte inferior M1, obteniéndose un movimiento del motor en el sentido seleccionado. Luego el control del programa retorna a la posición de "INICIO" para seguir con la rutina de rastreo.

C6: CODIGO 0 1 1 0 (C D A B)

Este código nos indica que el movimiento deberá ser en el sentido +X, es decir, que el motor de la parte superior es el seleccionado, ya que para este motor se ha definido los sentidos de giro $\pm X$. Luego se suministra un pulso de reloj al controlador del motor de pasos M2 (parte superior), dando como resultado un movimiento del motor en el sentido antes indicado. Después el control del programa retorna a la posición "INICIO" para seguir con la rutina de rastreo.

C7: CODIGO 1 0 0 0 (C D A B)

Este código nos indica que el movimiento deberá ser en el sentido +Y, el procedimiento es similar al mencionado anteriormente en el código C4, únicamente cambia la pregunta de cuál foto-sensor está iluminado, que en este caso es el conectado al pin P2.0 del microcontrolador.

C8: CODIGO 1 0 0 1 (C D A B)

El procedimiento en este código es similar al mencionado en el código C6, cambiando únicamente el sentido de movimiento, que en este caso es en la dirección -X.

C9: CODIGO 1 0 1 0 (C D A B)

El procedimiento en este código es similar al mencionado en el código C5, sino que para la condición de P3.0 = 0, el movimiento sería en el sentido -Y y para P3.0 = 1 el sentido de

movimiento sería +Y.

C10: CODIGO 1 1 1 1 (C D A B)

Este código nos indica la iluminación total en todas las fotoresistencias, es decir indica que el panel se encuentra en una posición tal que, prácticamente está perpendicular a los rayos solares. Debido a la inexistencia de error el control del programa retorna a la posición de "INICIO", de tal forma de continuar con el rastreo.

C11: CODIGO 0 0 1 1 (C D .A B)

Este código, refleja un estado de "FALLA", en principio para evitar formaciones momentáneas de este código por cualquier razón, se ha colocado un contador, el cual mientras no llegue a su límite permite que el control de programa retorne a la posición de "INICIO", para seguir rastreando; pero si la situación continua el programa pasa a realizar un proceso que permite sacar el código de falla a unos led's luminosos (ubicados dentro del equipo, acoplados a la tarjeta del microcontrolador), y luego el sistema se para dando una señal de "FALLA".

C12: CODIGO 0 1 1 1 (C D A B)

Este código, en principio, estaba enmarcado dentro de los códigos de falla, pero debido a la no linealidad de las fotoresistencias, hubo que cambiar esta definición. Para conseguir el código 1111 de iluminación total de todo el panel, el sentido de movimiento del mismo, debe ser en el sentido +X y +Y. Luego se proporciona dos pulsos de reloj, uno para el controlador del motor de pasos de la parte superior M2 y el otro para el controlador del motor de la parte inferior M1. De tal forma que se obtiene un movimiento simultáneo de todo el panel, y al final de este proceso el control del programa retorna a la

posición de "INICIO", para seguir con la rutina de rastreo.

C13: CODIGO 1 0 1 1 (C D A B)

El procedimiento en este caso, es similar al anterior, pero únicamente cambia las direcciones del movimiento, que para este caso son en el sentido -X y +Y.

C14: CODIGO 1 1 0 0 (C D A B)

El procedimiento en este caso es idéntico al mostrado anteriormente para el código C11.

C15: CODIGO 1 1 0 1 (C D A B)

El procedimiento en este caso, es similar al mostrado anteriormente para el código C12, pero cambiando las direcciones del movimiento, las mismas que para este caso son en el sentido -X y -Y.

C16: CODIGO 1 1 1 0 (C D A B)

En este último código posible, el procedimiento al igual que el anterior, es similar al mostrado en el código C12, pero combinando las direcciones del movimiento de los actuadores, que para este caso son en el sentido +X y -Y.

A continuación se va a dar un detalle de todas las etiquetas y subrutinas adicionales del programa listado mas adelante.

INIC: etiqueta, que nos indica la dirección en donde comienza el proceso de inicialización de los diferentes parámetros necesarios en el programa.

INICIO: etiqueta, que nos indica la dirección en donde se llama a la subrutina "CARGA", la misma que permite leer y almacenar la información proporcionada por las fotoresistencias. La información se almacena en el registro R6, del banco de registros 00 del microcontrolador. Después, el programa continúa con un procedimiento de carga, en un registro del microcontrolador, de la información proporcionada por los sensores de fin de carrera. Este registro es el R7, perteneciente al banco de registros 00 del microcontrolador.

IFn: (n = 1..16), este nombre pertenece a un conjunto de etiquetas que reflejan los diferentes casos que pueden formarse con los cuatro sensores de fin de carrera usados en el prototipo. En cada uno de los casos posibles, el control del programa salta a otro lugar en donde se encuentra el procedimiento correspondiente al caso de selección. Todos estos procedimientos ya fueron explicados anteriormente.

COUNT: esta etiqueta indica la dirección en donde se encuentra el proceso de "conteo", que prácticamente viene a constituirse en un retardo de tiempo. Este procedimiento es requerido por algunos casos, todo depende del código proporcionado por los microswitch (Ver tabla N^o 3). Vale la pena indicar que cada subrutina de atención al código dado por los microswitch tiene internamente su proceso de "conteo" (retardo), de esta manera se evita que pulsaciones momentáneas de los "μSW", hagan que el control del programa pase a atender inmediatamente estos casos.

TABLA N° 3

ETIQUETA	P1.5	P1.4	P2.5	P2.4	DESCRIPCION
AB1	0	0	0	1	ABAJO 1
AB2	0	0	1	0	ABAJO 2
ARR1	0	1	0	0	ARRIBA 1
ABARR11	0	1	0	1	ABAJO1, ARRIBA1
ABARR21	0	1	1	0	ABAJO2, ARRIBA1
ARR2	1	0	0	0	ARRIBA2
ABARR12	1	0	0	1	ABAJO1, ARRIBA2
ABARR22	1	0	1	0	ABAJO2, ARRIBA2

INICIO2: esta etiqueta indica el comienzo de un proceso que permite dar un tiempo de retardo en el "conteo", mencionado en la explicación de la etiqueta anterior y adicionalmente permite retornar al banco de registros usado normalmente (banco 00), ésto se lo hace porque el "conteo" se lo realiza usando el registro R3, perteneciente al banco de registros 01.

SWOFF: esta etiqueta indica la dirección en donde empieza realmente el proceso de rastreo. El control del programa salta a esta etiqueta después de haber comprobado que ningún microswitch de fin de carrera ha sido pulsado. Al inicio de este proceso, se hace una pequeña inicialización de algunos parámetros, puesto que; si momentáneamente se pulsó un microswitch de fin de carrera, el control del programa incrementa los contadores usados en la subrutina correspondiente al microswitch pulsado, y si luego pasa esta condición momentánea, el control saltará a SWOFF, pero sin resetear el contador, usado en el proceso correspondiente al microswitch activado momentáneamente, por tanto es necesario hacer este reseteo en

esta parte del programa.

Luego de esta inicialización el programa empieza a seleccionar el proceso correspondiente al código formado por las fotoresistencias.

Esta selección la realiza comparando, el código almacenado en R6 con una tabla (Nº 2) establecida en ROM, de tal manera que cuando ocurre la igualdad, el control del programa encuentra el proceso correspondiente al código cargado en R6. Una vez encontrado el caso, el programa empieza la ejecución del mismo. Los diferentes casos se encuentran etiquetados como CODE N; donde N = 1...16, éstos 16 casos ya fueron explicados anteriormente en la sección de "Códigos Formados por las Fotoresistencias", pero con una nomenclatura equivalente llamada C N; donde N = 1...16.

COUNTER: esta etiqueta nos indica la dirección, donde se encuentra el proceso de "conteo", prácticamente viene a constituirse en un retardo para evitar formaciones momentáneas de los casos CODE 11 y CODE 14, que saltan a este proceso. Una vez que el código formado se ha establecido y el contador ha llegado a su límite, el control del programa pasa a sacar el código de "FALLA" por el puerto 3, al cual se encuentran acoplados unos led's, en los cuales se puede ver fácilmente el código de "FALLA". Y para finalizar este proceso, el control del programa salta a una etiqueta llamada "FALLA", la cual se explicará a continuación.

FALLA: esta etiqueta nos da la posición, en donde se encuentra el proceso de "FALLA", mencionado anteriormente. Este procedimiento viene a constituirse en un lazo indefinido que para el sistema, únicamente proporciona una señal luminosa de FALLA. Para volver el control del programa a la rutina de rastreo normal, será necesario un pulso externo de RESET.

INICIO1: esta etiqueta indica el comienzo de un proceso que permite dar un tiempo de retardo en el "conteo" del

proceso "COUNTER", y además permite retornar al banco de registros usado normalmente (banco 00), éste se lo hace porque el "CONTEO" se lo realiza usando el registro R0 perteneciente al banco de registros 01.

Continuando con la secuencia del programa se encuentran las siguientes etiquetas, que ya fueron explicadas anteriormente en la sección de "FINALES DE CARRERA".

ABARRnn ; n = 1, 2.

AB1, AB2, ARR1 (ARRIBA 1), ARR2 (ARRIBA 2).

A continuación se explicará las subrutinas usadas en el programa.

CARGA: este es el nombre de una subrutina que lee y almacena la información dada por las fotoresistencias. Almacena en el registro R6 (banco 00), el código proporcionado por los fotosensores, este almacenamiento se lo hace en los 4 bits menos significativos del registro antes mencionado.

XY: es el nombre de una subrutina, la misma que permite una mejor orientación del panel, principalmente cuando rastrea una fuente de luz que no sea el sol. Esta subrutina proporciona cierto número de pulsos de reloj a los controladores de los dos motores de pasos utilizados, obteniéndose un movimiento "extra" de los dos motores. Esta subrutina es comandada por un dip-switch conectado al pin P0.7, es decir si P0.7 = 1 esta subrutina está deshabilitada mientras que si P0.7 = 0, habilitará este proceso.

Y: es el nombre de una subrutina, la misma que permite, al igual que la anterior, una mejor orientación del panel, en especial cuando rastrea una fuente luminosa diferente al sol. Esta subrutina también obtiene como resultado el movimiento de los dos

motores usando el mismo procedimiento visto en la subrutina anterior y también es comandado por el mismo dip-switch, conectado al pin P0.7 del microcontrolador.

HOR: es el nombre de una subrutina que permite el posicionamiento horizontal del panel rastreador, de tal manera de rastrear más fácilmente una fuente luminosa. Esta subrutina se ayuda: de la información proporcionada por el optoacoplador interrumpible conectado al pin P3.0 del microcontrolador y además por el interruptor que es el semidisco acoplado al panel, que en definitiva "sensa" la posición del panel. La lógica de posicionamiento es sencilla; por ejemplo si el pin P3.0 = 0 (optoacoplador no interrumpido), entonces se manda mover el motor de pasos de la parte superior (M2), en el sentido -X hasta que exista una interrupción, es decir P3.0 = 1 (optoacoplador interrumpido). Funciona de la misma manera para el otro caso. Vale la pena indicar que el cambio de estado en P3.0, ocurre justo cuando el panel está horizontal, de esta manera se realiza el posicionamiento del panel rastreador en forma horizontal.

CLOCK: es el nombre de una subrutina, la cual suministra un pulso de reloj completo. Este pulso se lo da tanto al controlador del motor de pasos de la parte inferior (M1), como al de la parte superior (M2). Debido a la velocidad de cálculo del microcontrolador, es necesario colocar un retardo de tiempo en cada estado del pulso de reloj, de tal manera que el controlador L-297, pueda alcanzar a leer el cambio de estado en su pin de reloj, y luego suministre el movimiento al motor de pasos.

CLOCK1: es el nombre de una subrutina, la cual suministra un pulso de reloj completo, pero a diferencia de la subrutina anterior, este pulso solamente se le suministra al controlador del motor de pasos de la parte inferior M1. Aquí también usa un retardo de tiempo en los dos estados del pulso de reloj, debido a la misma razón mencionada en la subrutina

anterior.

CLOCK2: es el nombre de una subrutina, la cual realiza el mismo trabajo que la anterior, sino que aquí se comanda el motor de la parte superior M2.

RETARDO: es una subrutina muy usada que permite, como su nombre lo indica, dar un tiempo de retardo. Este tiempo es seleccionado mediante el dip-switch externo acoplado a P0.2, P0.3, P0.4 y P0.5. En resumen esta subrutina es la que permite variar la velocidad de los motores de pasos. La lógica, que también es sencilla, carga el valor del dip-switch (4 bits) en un registro, el cual constituye el número de vueltas que el control del programa debe darse dentro de un lazo, proporcionando de esta manera el retardo requerido. El valor del número de vueltas en el lazo antes mencionado, es de magnitud discreta, ya que el dip-switch carga 4 bits en la parte menos significativa del registro R0 (banco 00), mientras que los 4 bits más significativos son cargados con el mismo valor de los bits menos significativos, obteniéndose las siguientes posibilidades: Ver tabla N^o 4.

TABLA N^o 4

REGISTRO 0				VALOR DEL NUMERO DE VUELTAS EN EL LAZO.
R0.3	R0.2	R0.1	R0.0	
0	0	0	0	00H
0	0	0	1	11H
0	0	1	0	22H
0	0	1	1	33H
0	1	0	0	44H
0	1	0	1	55H
0	1	1	0	66H
0	1	1	1	77H

1	0	0	0	88H
1	0	0	1	99H
1	0	1	0	AAH
1	0	1	1	BBH
1	1	0	0	CCH
1	1	0	1	DDH
1	1	1	0	EEH
1	1	1	1	FFH

RETARDO1: es una subrutina que permite dar un retardo de aproximadamente medio segundo. Utiliza el procedimiento de lasos anidados (uno dentro del otro), con la ayuda de instrucciones de no operación "NOP".

POSHOR: esta etiqueta indica el nombre de la subrutina de atención a la interrupción, que en este caso se usa la interrupción externa "INT0". La lógica de la subrutina es idéntica a la subrutina denominada HOR, explicada anteriormente. Pero en este caso el procedimiento es acorde con la atención a una rutina de interrupción.

Al principio de la rutina se deshabilita la interrupción, con el fin de evitar el rebote del pulsante usado para generar la interrupción, luego se enciende un led, indicando que el control del programa se encuentra en esta rutina. A continuación sigue la lógica antes mencionada en la subrutina "HOR". Al final, cuando ya se ha alcanzado el posicionamiento horizontal, el control del programa apaga el led antes encendido y por último para salir de ésta rutina deja habilitando la interrupción de tal manera de usarla nuevamente.

En el final del programa se incluye dos tablas establecidas en ROM. La tabla Nº 1 indica los diferentes casos correspondientes a los códigos formados por los microswitch,

mientras que la tabla N° 2 indica los casos correspondientes a los códigos formados por las fotoresistencias.

En la siguiente sección, se lista el programa antes explicado.

3.7 LISTADO DEL PROGRAMA UTILIZADO

A continuación se detalla el programa realizado, con la ayuda del conjunto de instrucciones del microcontrolador 8751. Vale la pena indicar que en la generación del archivo de texto (.ASM), se utilizó un editor común, luego para el ensamblado del archivo de texto se usó el CYS8051, que es un conjunto de programas que contiene un MACRO ASSEMBLER específico para la familia MCS51. Una vez generado el archivo en lenguaje de máquina (.HEX), se procedió a la simulación del programa usando el simulador AVSIM51. Este fue el procedimiento seguido para depurar el programa que seguidamente se lista.

LISTADO DEL PROGRAMA

DEFINICION DE ETIQUETAS

```
                ; COUNT:
                ; VALOR DEL RETARDO DE LOS uSW (CODIGO DE ERROR)

0007 =          VUSW      EQU   07H

                ; COUNTER:
                ; VALOR DE RETARDO DE LAS FOTORESISTENCIAS (CODIGO
                ; DE ERROR)

0007 =          VFR EQU   07H

                ; SW-ABAJO:
                ; VALOR DEL RETARDO DE LOS uSW DE ABAJO
```

```

0007 =          VUSWAB  EQU  07H

                ; SW-ARRIBA:
                ; VALOR DEL RETARDO DE LOS uSW DE ARRIBA

0007 =          VUSWARR EQU  07H

                ; RETARDO PRINCIPAL:
                ; VALOR DEL RETARDO DE LOS PULSOS DE RELOJ

0028 =          DELAY   EQU  28H

                ; RETARDO:
                ; VALOR DEL RETARDO PARA DAR APROX. 0.58 seg. DEL
                ; MISMO
                ;
00FF =          DELAY1  EQU  0FFH
0000              ORG   0000H
0000 0105         AJMP  INIC

                ;
0003              ORG   0003H
0003 8122         AJMP  POSHOR

                ;
                INIC:
0005 758805      MOV   TCON,#05H      ;INT.EXT.POR FLANCO
0008 75A881      MOV   IE,#81H        ;HABILITO INT.EXT.0
000B 75813F      MOV   SP,#3FH
000E D2D3        SETB  RS0            ;BANCO DE REG. 01
0010 C2D4        CLR   RS1
0012 E4          CLR   A
0013 F8          MOV   R0,A
0014 F9          MOV   R1,A
0015 FA          MOV   R2,A
0016 FB          MOV   R3,A
0017 C2D3        CLR   RS0            ;BANCO DE REG. 00
0019 C2D4        CLR   RS1
001B E4          CLR   A
001C F580        MOV   P0,A           ;BLANQUEO TODOS LOS
001E F590        MOV   P1,A           ;PUERTOS DE I/O
0020 F5A0        MOV   P2,A
0022 C3          CLR   C
0023 92B4        MOV   P3.4,C
0025 92B5        MOV   P3.5,C
0027 92B6        MOV   P3.6,C
0029 92B7        MOV   P3.7,C

                ;
002B D3          SETB  C
002C 9296        MOV   P1.6,C
002E 92A6        MOV   P2.6,C

                ;

```

 PROCESO DE LECTURA DE P1, P2 Y CARGA EN UN REGISTRO DE 8 BITS.
 EL NIBBLE RESULTANTE TIENE LA INFORMACION DE LAS FOTORESISTENCIAS

0030 120350 ; INICIO: LCALL CARGA
 ;

 PROCESO PARA VER SI ES FIN DE CARRERA, SE USAN MICROSWITCH
 LOS CUALES ESTAN CONECTADOS A P1.4, P1.5, P2.4 y P2.5.
 NORMALMENTE ESTAN EN OL.

0033 E4 ; CLR A
 0034 C3 CLR C
 0035 A294 MOV C,P1.4
 0037 33 RLC A
 0038 FB MOV R3,A

0039 E4 ; CLR A
 003A C3 CLR C
 003B A295 MOV C,P1.5
 003D 33 RLC A
 003E 33 RLC A
 003F 4B ORL A,R3
 0040 23 RL A
 0041 23 RL A
 0042 FC MOV R4,A

0043 E4 ; CLR A
 0044 C3 CLR C
 0045 A2A4 MOV C,P2.4
 0047 33 RLC A
 0048 FB MOV R3,A

0049 E4 ; CLR A
 004A C3 CLR C
 004B A2A5 MOV C,P2.5
 004D 33 RLC A
 004E 33 RLC A
 004F 4B ORL A,R3
 0050 FD MOV R5,A
 0051 4C ORL A,R4
 0052 FF MOV R7,A

;R7 ALMACENA EL CODIGO
 ;DADO POR LOS uSW

 PROCESO DE COMPARACION CON UNA TABLA ESTABLECIDA EN ROM
 CORRESPONDIENTE A LOS CODIGOS DE LOS MICROSWITCH

0053 E4 ; IF1: CLR A

```

0054 FB          MOV    R3,A          ;ALMACENA EL CONTADOR
0055 900500     MOV    DPTR,#TABLA1
0058 93         MOVC   A,@A+DPTR
0059 B50702     CJNE   A,R7,IF2
;
005C 01EE       AJMP   SWOFF
;
005E 0B         IF2:   INC    R3
005F EB         MOV    A,R3
0060 93         MOVC   A,@A+DPTR
0061 B50705     CJNE   A,R7,IF3
;
0064 12029C     LCALL  AB1
0067 0130       AJMP   INICIO
;
0069 0B         IF3:   INC    R3
006A EB         MOV    A,R3
006B 93         MOVC   A,@A+DPTR
006C B50705     CJNE   A,R7,IF4
;
006F 1202D9     LCALL  AB2
0072 0130       AJMP   INICIO
;
0074 0B         IF4:   INC    R3
0075 EB         MOV    A,R3
0076 93         MOVC   A,@A+DPTR
0077 B50702     CJNE   A,R7,IF5
;
007A 01D9       AJMP   COUNT
;
007C 0B         IF5:   INC    R3
007D EB         MOV    A,R3
007E 93         MOVC   A,@A+DPTR
007F B50702     CJNE   A,R7,IF6
;
0082 4192       AJMP   ARR1
;
0084 0B         IF6:   INC    R3
0085 EB         MOV    A,R3
0086 93         MOVC   A,@A+DPTR
;
0087 B50702     CJNE   A,R7,IF7
;
008A 4172       AJMP   ABARR11
;
008C 0B         IF7:   INC    R3
008D EB         MOV    A,R3
008E 93         MOVC   A,@A+DPTR
008F B50702     CJNE   A,R7,IF8
;
0092 417A       AJMP   ABARR21
;

```

```

0094 0B      IF8:   INC    R3
0095 EB      MOV    A,R3
0096 93      MOV    A,@A+DPTR
0097 B50702  CJNE  A,R7,IF9
;
009A 01D9    AJMP  COUNT
;
009C 0B      IF9:   INC    R3
009D EB      MOV    A,R3
009E 93      MOV    A,@A+DPTR
009F B50702  CJNE  A,R7,IF10
;
00A2 4197    AJMP  ARR2
;
00A4 0B      IF10:  INC    R3
00A5 EB      MOV    A,R3
00A6 93      MOV    A,@A+DPTR
00A7 B50702  CJNE  A,R7,IF11
;
00AA 4182    AJMP  ABARR12
;
00AC 0B      IF11:  INC    R3
00AD EB      MOV    A,R3
00AE 93      MOV    A,@A+DPTR
00AF B50702  CJNE  A,R7,IF12
;
00B2 418A    AJMP  ABARR22
;
00B4 0B      IF12:  INC    R3
00B5 EB      MOV    A,R3
00B6 93      MOV    A,@A+DPTR
00B7 B50702  CJNE  A,R7,IF13
;
00BA 01D9    AJMP  COUNT
;
00BC 0B      IF13:  INC    R3
00BD EB      MOV    A,R3
00BE 93      MOV    A,@A+DPTR
00BF B50702  CJNE  A,R7,IF14
;
00C2 01D9    AJMP  COUNT
;
00C4 0B      IF14:  INC    R3
00C5 EB      MOV    A,R3
00C6 93      MOV    A,@A+DPTR
00C7 B50702  CJNE  A,R7,IF15
;
00CA 01D9    AJMP  COUNT
;
00CC 0B      IF15:  INC    R3
00CD EB      MOV    A,R3
00CE 93      MOV    A,@A+DPTR

```

```

00CF B50702          CJNE  A,R7,IF16
;
00D2 01D9           AJMP  COUNT
;
00D4 0B             IF16:  INC   R3
00D5 EB             MOV   A,R3
00D6 93             MOV  A,@A+DPTR
;
00D7 01D9           AJMP  COUNT
;
COUNT:
00D9 D2D3           SETB  RS0
00DB C2D4           CLR   RS1
00DD 0B             INC   R3
00DE 7407           MOV   A,#VUSW
00E0 B50B02         CJNE  A,0BH,INICIO2
00E3 4164           AJMP  FALLA
;
INICIO2:
00E5 C2D3           CLR   RS0
00E7 C2D4           CLR   RS1
00E9 120415         LCALL RETARDO1
00EC 0130           AJMP  INICIO
;
; R6 ALMACENA EL CODIGO DEL SENSOR DE LUZ
;
SWOFF:
00EE D2D3           SETB  RS0           ;RESET DE LOS
00F0 C2D4           CLR   RS1           ;CONTADORES PARA
00F2 E4             CLR   A             ;LOS uSW.
00F3 F9             MOV   R1,A
00F4 FA             MOV   R2,A
00F5 FB             MOV   R3,A
;
00F6 C2D3           CLR   RS0           ;BANCO DE REG 00
00F8 C2D4           CLR   RS1
;
00FA C3             CLR   C             ;APAGAR LOS
00FB 9297           MOV   P1.7,C       ;LEDS DE FINAL
00FD 92A7           MOV   P2.7,C       ;DE CARRERA
;
00FF E4             CODE1: CLR  A
0100 FB             MOV   R3,A
0101 900515         MOV   DPTR,#TABLA2
0104 93             MOV  A,@A+DPTR
0105 B50605         CJNE  A,R6,CODE2
;
0108 D3             SETB  C             ;ENCENDER LED DE
0109 9280           MOV   P0.0,C       ;BAJA INT. LUMINOSA
010B 0130           AJMP  INICIO
;
010D C3             CODE2: CLR  C             ;APAGAR EL LED DE

```

```

010E 9280          MOV    P0.0,C          ;BAJA INT. LUMINOSA
0110 0B           INC    R3
0111 EB           MOV    A,R3
0112 93           MOVC   A,@A+DPTR
0113 B50613       CJNE   A,R6,CODE3
;
0116 C2A2         CLR    P2.2 ; -Y
0118 1203CB       BUSQ2: LCALL  CLOCK1      ; PARA M1
011B 20A409       JB     P2.4,BUSQ21     ; SALTA SI P2.4=1
011E 3091F7       JNB   P1.1,BUSQ2      ; SALTA SI P1.1=0
0121 208703       JB     P0.7,BUSQ21     ; SALTA SI P0.7=1
0124 120389       LCALL Y
0127 0130       BUSQ21: AJMP  INICIO
;
0129 0B           CODE3: INC    R3
012A EB           MOV    A,R3
012B 93           MOVC   A,@A+DPTR
012C B50613       CJNE   A,R6,CODE4
;
012F C2A2         CLR    P2.2 ; -Y
0131 1203CB       BUSQ3: LCALL  CLOCK1      ; PARA M1
0134 20A409       JB     P2.4,BUSQ31     ; SALTA SI P2.4=1
0137 3090F7       JNB   P1.0,BUSQ3      ; SALTA SI P1.0=0
013A 208703       JB     P0.7,BUSQ31     ; SALTA SI P0.7=1
013D 120389       LCALL Y
0140 0130       BUSQ31: AJMP  INICIO
;
0142 0B           CODE4: INC    R3
0143 EB           MOV    A,R3
0144 93           MOVC   A,@A+DPTR
0145 B50613       CJNE   A,R6,CODE5
;
0148 D2A2         SETB  P2.2 ; +Y
014A 1203CB       BUSQ4: LCALL  CLOCK1      ; PARA M1
014D 20A509       JB     P2.5,BUSQ41     ; SALTA SI P2.5=1
0150 30A1F7       JNB   P2.1,BUSQ4      ; SALTA SI P2.1=0
0153 208703       JB     P0.7,BUSQ41     ; SALTA SI P0.7=1
0156 120389       LCALL Y
0159 0130       BUSQ41: AJMP  INICIO
;
015B 0B           CODE5: INC    R3
015C EB           MOV    A,R3
015D 93           MOVC   A,@A+DPTR
015E B50614       CJNE   A,R6,CODE6
;
0161 A2B0         MOV    C,P3.0
0163 4002         JC     UNO5 ; SALTA SI CY=1
0165 5007         JNC   CERO5 ; SALTA SI CY=0
;
0167 C2A2         UNO5: CLR    P2.2 ; -Y
0169 1203CB       LCALL  CLOCK1 ; PARA M1
016C 0130       AJMP  INICIO

```

```

;
016E D2A2      CERO5:  SETB  P2.2      ; +Y
0170 1203CB    LCALL  CLOCK1     ; PARA M1
0173 0130      AJMP   INICIO

;
;
0175 0B        CODE6:  INC    R3
0176 EB        MOV    A,R3
0177 93        MOVC   A,@A+DPTR
0178 B50607    CJNE   A,R6, CODE7

;
017B D292      SETB  P1.2      ; +X
017D 1203D8    LCALL  CLOCK2     ; PARA M2
0180 0130      AJMP   INICIO

;
0182 0B        CODE7:  INC    R3
0183 EB        MOV    A,R3
0184 93        MOVC   A,@A+DPTR
0185 B50613    CJNE   A,R6, CODE8

;
0188 D2A2      SETB  P2.2      ; +Y
018A 1203CB    BUSQ7:  LCALL  CLOCK1     ; PARA M1
018D 20A509    JB     P2.5,BUSQ71 ; SALTA SI P2.5=1
0190 30A0F7    JNB    P2.0,BUSQ7  ; SALTA SI P2.0=0
0193 208703    JB     P0.7,BUSQ71 ; SALTA SI P0.7=1
0196 120389    LCALL  Y
0199 0130      BUSQ71: AJMP   INICIO

;
019B 0B        CODE8:  INC    R3
019C EB        MOV    A,R3
019D 93        MOVC   A,@A+DPTR
019E B50607    CJNE   A,R6, CODE9

;
01A1 C292      CLR   P1.2      ; -X
01A3 1203D8    LCALL  CLOCK2     ; PARA M2
01A6 0130      AJMP   INICIO

;
01A8 0B        CODE9:  INC    R3
01A9 EB        MOV    A,R3
01AA 93        MOVC   A,@A+DPTR
01AB B50614    CJNE   A,R6, CODE10

;
01AE A2B0      MOV   C,P3.0
01B0 4002      JC    UNO9      ; SALTA SI CY=1
01B2 5007      JNC   CERO9     ; SALTA SI CY=0

;
01B4 D2A2      UNO9:  SETB  P2.2      ; +Y
01B6 1203CB    LCALL  CLOCK1     ; PARA M1
01B9 0130      AJMP   INICIO

;
01BB C2A2      CERO9:  CLR   P2.2      ; -Y

```

```

01BD 1203CB          LCALL CLOCK1          ; PARA M1
01C0 0130           AJMP INICIO

;
;
01C2 0B             CODE10: INC R3
01C3 EB             MOV A,R3
01C4 93             MOV A,@A+DPTR
01C5 B50602         CJNE A,R6,CODE11

;
01C8 0130           AJMP INICIO          ;CONDICION NORMAL

;
01CA 0B             CODE11: INC R3
01CB EB             MOV A,R3
01CC 93             MOV A,@A+DPTR
01CD B50602         CJNE A,R6,CODE12

;
01D0 414A           AJMP COUNTER          ; FALLA

;
01D2 0B             CODE12: INC R3
01D3 EB             MOV A,R3
01D4 93             MOV A,@A+DPTR
01D5 B50617         CJNE A,R6,CODE13

;
01D8 D292           SETB P1.2              ;+X
01DA D2A2           SETB P2.2              ;+Y
01DC 1203BA         LCALL CLOCK          ; PARA M1 Y M2
01DF 120350         LCALL CARGA
01E2 740F           MOV A,#0FH
01E4 B50606         CJNE A,R6,BUSQ12
01E7 208703         JB P0.7,BUSQ12      ; SALTA SI P0.7=1
01EA 120371         LCALL XY
01ED 0130           BUSQ12: AJMP INICIO

;
01EF 0B             CODE13: INC R3
01F0 EB             MOV A,R3
01F1 93             MOV A,@A+DPTR
01F2 B50617         CJNE A,R6,CODE14

;
01F5 C292           CLR P1.2              ;-X
01F7 D2A2           SETB P2.2              ;+Y
01F9 1203BA         LCALL CLOCK
01FC 120350         LCALL CARGA
01FF 740F           MOV A,#0FH
0201 B50606         CJNE A,R6,BUSQ13
0204 208703         JB P0.7,BUSQ13      ; SALTA SI P0.7=1
0207 120371         LCALL XY
020A 0130           BUSQ13: AJMP INICIO

;
020C 0B             CODE14: INC R3
020D EB             MOV A,R3
020E 93             MOV A,@A+DPTR
020F B50602         CJNE A,R6,CODE15

```

```

0212 414A          ;          AJMP  COUNTER          ; FALLA
;
0214 0B           CODE15: INC   R3
0215 EB           MOV    A,R3
0216 93           MOVC  A,@A+DPTR
0217 B50617       CJNE  A,R6,CODE16
;
021A C292         CLR   P1.2          ; -X
021C C2A2         CLR   P2.2          ; -Y
021E 1203BA       LCALL CLOCK
0221 120350       LCALL CARGA
0224 740F         MOV   A,#0FH
0226 B50606       CJNE  A,R6,BUSQ15
0229 208703       JB    P0.7,BUSQ15 ; SALTA SI P0.7=1
022C 120371       LCALL XY
022F 0130         BUSQ15: AJMP  INICIO
;
CODE16:
0231 D292         SETB  P1.2          ; +X
0233 C2A2         CLR   P2.2          ; -Y
0235 1203BA       LCALL CLOCK
0238 120350       LCALL CARGA
023B 740F         MOV   A,#0FH
023D B50606       CJNE  A,R6,BUSQ16
0240 208703       JB    P0.7,BUSQ16 ; SALTA SI P0.7=1
0243 120371       LCALL XY
0246 0130         BUSQ16: AJMP  INICIO
;
0248 414A          ;          AJMP  COUNTER
;
024A D2D3         COUNTER: SETB  RS0
024C C2D4         CLR   RS1
024E 08           INC   R0
024F 7407         MOV   A,#VFR
0251 B50815       CJNE  A,08H,INICIO1
;
; ESTE PROCESO SACA EL VALOR DEL CODIGO DE FALLA AL
; PUERTO 3
;
0254 E506         MOV   A,06H
0256 C4           SWAP  A
0257 33           RLC   A
0258 92B7         MOV   P3.7,C          ; SACA P1.1
025A 33           RLC   A
025B 92B6         MOV   P3.6,C          ; SACA P1.0
025D 33           RLC   A
025E 92B5         MOV   P3.5,C          ; SACA P2.1
0260 33           RLC   A
0261 92B4         MOV   P3.4,C          ; SACA P2.0

```

```

0263 33          RLC    A
;
0264 D3          FALLA: SETB  C          ;LAZO INDEFINIDO
0265 9281        MOV    P0.1,C
0267 80FB        SJMP   FALLA
;
0269 C2D3        INICIO1: CLR   RS0
026B C2D4        CLR    RS1
026D 120415      LCALL  RETARDO1
0270 0130        AJMP   INICIO

```

```

*****
SUBROUTINAS PARA LOS DIFERENTES CODIGOS DE LOS
MICROSWITCH
*****

```

```

0272 12029C      ABARR11: LCALL  AB1
0275 120316      LCALL  ARRIBA1
0278 0130        AJMP   INICIO
;
027A 1202D9      ABARR21: LCALL  AB2
027D 120316      LCALL  ARRIBA1
0280 0130        AJMP   INICIO
;
0282 12029C      ABARR12: LCALL  AB1
0285 120333      LCALL  ARRIBA2
0288 0130        AJMP   INICIO
;
028A 1202D9      ABARR22: LCALL  AB2
028D 120333      LCALL  ARRIBA2
0290 0130        AJMP   INICIO
;
0292 120316      ARR1:    LCALL  ARRIBA1
0295 0130        AJMP   INICIO
;
0297 120333      ARR2:    LCALL  ARRIBA2
029A 0130        AJMP   INICIO
;
;
029C D2D3        AB1:    SETB  RS0
029E C2D4        CLR    RS1
02A0 09          INC    R1
02A1 7407        MOV    A, #VUSWAB
02A3 B50929      CJNE   A, 09H, INICIO3
;
02A6 C2D3        CLR    RS0
02A8 C2D4        CLR    RS1
02AA D2A7        SETB  P2.7
02AC D2A2        SETB  P2.2
;
02AE 1203CB      SIGUE1: LCALL  CLOCK1          ; SOLO PARA M1
02B1 A2A5        MOV    C, P2.5

```

```

02B3 50F9          JNC    SIGUE1          ;SALTA SI CY=0
;
02B5 C2A2          CLR    P2.2
02B7 1203CB       OTRO1:  LCALL  CLOCK1
02BA A2A5          MOV    C,P2.5
02BC 40F9          JC     OTRO1          ;SALTA SI CY=1
;
02BE 208703       JB     P0.7,SALTO1   ;SALTA SI P0.7=1
02C1 120389       LCALL  Y
02C4 E4           SALTO1: CLR    A
02C5 F9           MOV    R1,A
;
02C6 7C09          MOV    R4,#09H       ;RETARDO TOTAL
02C8 120415       LOOP1:  LCALL  RETARDO1   ;APROX. DE 5 SEG.
02CB DCFB          DJNZ  R4,LOOP1
;
02CD 8007          SJMP  F1:
;
02CF C2D3         INICIO3: CLR   RS0
02D1 C2D4          CLR   RS1
02D3 120415       LCALL  RETARDO1
F1:
02D6 C2A7          CLR   P2.7
02D8 22           RET
;
;
02D9 D2D3         AB2:   SETB  RS0
02DB C2D4          CLR   RS1
02DD 09           INC   R1
02DE 7407          MOV   A,#VUSWAB
02E0 B50929       CJNE  A,09H,INICIO4
;
02E3 C2D3          CLR   RS0
02E5 C2D4          CLR   RS1
02E7 D2A7          SETB  P2.7
02E9 C2A2          CLR   P2.2
;
02EB 1203CB       SIGUE2: LCALL  CLOCK1   ;SOLO PARA M1
02EE A2A4          MOV   C,P2.4
02F0 50F9          JNC   SIGUE2         ;SALTA SI CY=0
;
02F2 D2A2          SETB  P2.2
02F4 1203CB       OTRO2:  LCALL  CLOCK1
02F7 A2A4          MOV   C,P2.4
02F9 40F9          JC    OTRO2         ;SALTA SI CY=1
;
02FB 208703       JB     P0.7,SALTO2   ;SALTA SI P0.7=1
02FE 120389       LCALL  Y
0301 E4           SALTO2: CLR   A
0302 F9           MOV   R1,A
;
0303 7C09          MOV   R4,#09H       ;RETARDO TOTAL

```

```

0305 120415   LOOP2:  LCALL RETARDO1   ; APROX. DE 5 SEG.
0308 DCFB     DJNZ  R4, LOOP2
;
030A 8007     SJMP  F2
;
030C C2D3     INICIO4: CLR  RS0
030E C2D4     CLR  RS1
0310 120415   LCALL RETARDO1
F2:
0313 C2A7     CLR  P2.7
0315 22       RET
;
0316 D2D3     ARRIBA1: SETB RS0
0318 C2D4     CLR  RS1
031A 0A       INC  R2
031B 7407     MOV  A, #VUSWARR
031D B50A0E   CJNE A, 0AH, SIGUE3
0320 D297     SETB P1.7
;
0322 7C09     MOV  R4, #09H   ; RETARDO TOTAL
0324 120415   LOOP3:  LCALL RETARDO1   ; APROX. DE 5 SEG.
0327 DCFB     DJNZ  R4, LOOP3
;
0329 1203A1   LCALL HOR
032C 4164     AJMP  FALLA
SIGUE3:
032E C2D3     CLR  RS0
0330 C2D4     CLR  RS1
0332 22       RET
;
0333 D2D3     ARRIBA2: SETB RS0
0335 C2D4     CLR  RS1
0337 0A       INC  R2
0338 7407     MOV  A, #VUSWARR
033A B50A0E   CJNE A, 0AH, SIGUE4
033D D297     SETB P1.7
;
033F 7C09     MOV  R4, #09H   ; RETARDO TOTAL
0341 120415   LOOP4:  LCALL RETARDO1   ; APROX. DE 5 SEG.
0344 DCFB     DJNZ  R4, LOOP4
;
0346 1203A1   LCALL HOR
0349 4164     AJMP  FALLA
SIGUE4:
034B C2D3     CLR  RS0
034D C2D4     CLR  RS1
034F 22       RET

```

 S U B R U T I N A S

CARGA:

```

0350 E4          CLR    A
0351 C3          CLR    C
0352 A290        MOV    C,P1.0
0354 33          RLC    A
0355 FB          MOV    R3,A
;
0356 E4          CLR    A
0357 C3          CLR    C
0358 A291        MOV    C,P1.1
035A 33          RLC    A
035B 33          RLC    A
035C 4B          ORL    A,R3
035D 23          RL     A
035E 23          RL     A
035F FC          MOV    R4,A
;
0360 E4          CLR    A
0361 C3          CLR    C
0362 A2A0        MOV    C,P2.0
0364 33          RLC    A
0365 FB          MOV    R3,A
0366 E4          CLR    A
0367 C3          CLR    C
0368 A2A1        MOV    C,P2.1
036A 33          RLC    A
036B 33          RLC    A
036C 4B          ORL    A,R3
036D FD          MOV    R5,A
;
036E 4C          ORL    A,R4
036F FE          MOV    R6,A ;R6 ALMACENA EL CODIGO DADO
0370 22          RET     ;POR LAS FOTORESISTENCIAS
;
;
XY:
0371 C2D3        CLR    RS0
0373 D2D4        SETB  RS1
0375 7907        MOV    R1,#07H
MXY:
0377 C2D3        CLR    RS0
0379 C2D4        CLR    RS1
;
037B 1203BA     LCALL CLOCK
;
037E C2D3        CLR    RS0
0380 D2D4        SETB  RS1
0382 D9F3        DJNZ  R1,MXY
0384 C2D3        CLR    RS0
0386 C2D4        CLR    RS1

```

```

0388 22          RET
;
;
0389 C2D3      Y:   CLR   RS0
038B D2D4      SETB  RS1
038D 7807      MOV   R0,#07H
038F C2D3      Y1:  CLR   RS0
0391 C2D4      CLR   RS1
;
0393 1203CB    LCALL CLOCK1
;
0396 C2D3      CLR   RS0
0398 D2D4      SETB  RS1
039A D8F3      DJNZ  R0,Y1
039C C2D3      CLR   RS0
039E C2D4      CLR   RS1
03A0 22        RET
;
;
03A1 A2B0      HOR:  MOV   C,P3.0
03A3 4002      JC    NEGRO      ;SALTA SI CY=1
03A5 500A      JNC   BLANCO     ;SALTA SI CY=0
;
03A7 D292      NEGRO: SETB  P1.2      ;+X
03A9 1203D8    LCALL CLOCK2      ; PARA M2
03AC 20B0F8    JB    P3.0,NEGRO  ; SALTA SI P3.0=1
03AF 8008      SJMP  FIN1
;
03B1 C292      BLANCO: CLR   P1.2      ;-X
03B3 1203D8    LCALL CLOCK2      ; PARA M2
03B6 30B0F8    JNB   P3.0,BLANCO ; SALTA SI P3.0=0
03B9 22        FIN1:  RET
;
;
03BA C3        CLOCK: CLR   C          ;PARA M1 Y M2
03BB 9293      MOV   P1.3,C
03BD 92A3      MOV   P2.3,C
03BF 1203E5    LCALL RETARDO
03C2 D3        SETB  C
03C3 9293      MOV   P1.3,C
03C5 92A3      MOV   P2.3,C
03C7 1203E5    LCALL RETARDO
03CA 22        RET
;
;
03CB C3        CLOCK1: CLR   C          ;PARA M1
03CC 92A3      MOV   P2.3,C
03CE 1203E5    LCALL RETARDO
03D1 D3        SETB  C
03D2 92A3      MOV   P2.3,C
03D4 1203E5    LCALL RETARDO
03D7 22        RET

```

```

;
;
03D8 C3          CLOCK2: CLR    C           ; PARA M2
03D9 9293        MOV    P1.3,C
03DB 1203E5      LCALL  RETARDO
03DE D3          SETB   C
03DF 9293        MOV    P1.3,C
03E1 1203E5      LCALL  RETARDO
03E4 22          RET

;
;
03E5 E4          RETARDO: CLR    A           ; SELECCIONADO POR
03E6 C3          CLR    C           ; EL SW EXTERNA
03E7 A282        MOV    C,P0.2       ; QUE PERMITE ESCOGER
03E9 33          RLC    A           ; LA VELOCIDAD DE LOS
03EA FB          MOV    R3,A         ; MOTORES DE PASOS

;
;
03EB E4          CLR    A
03EC C3          CLR    C
03ED A283        MOV    C,P0.3
03EF 33          RLC    A
03F0 33          RLC    A
03F1 4B          ORL    A,R3
03F2 FB          MOV    R3,A

;
;
03F3 E4          CLR    A
03F4 C3          CLR    C
03F5 A284        MOV    C,P0.4
03F7 33          RLC    A
03F8 33          RLC    A
03F9 33          RLC    A
03FA 4B          ORL    A,R3
03FB FB          MOV    R3,A

;
;
03FC E4          CLR    A
03FD C3          CLR    C
03FE A285        MOV    C,P0.5
0400 33          RLC    A
0401 33          RLC    A
0402 33          RLC    A
0403 33          RLC    A
0404 4B          ORL    A,R3
0405 FB          MOV    R3,A
0406 C4          SWAP   A
0407 4B          ORL    A,R3
0408 FB          MOV    R3,A

;
;
0409 F8          MOV    R0,A

;
;
040A 7928        LAZO1: MOV    R1,#DELAY
040C 00          LAZO2: NOP
040D 00          NOP

```

```

040E 00          NOP
040F 00          NOP
0410 D9FA       DJNZ  R1,LAZO2
0412 D8F6       DJNZ  R0,LAZO1
0414 22         RET

```

```

;
0415 78FF       RETARDO1: MOV  R0,#DELAY1 ;DA UN RETARDO
0417 79FF       LAZO3:  MOV  R1,#0FFH  ;APROXIMADO DE
0419 00         LAZO4:  NOP                    ;0.586 seg.
041A 00         NOP
041B 00         NOP
041C 00         NOP
041D D9FA       DJNZ  R1,LAZO4
041F D8F6       DJNZ  R0,LAZO3
0421 22         RET

```

```

*****
                ROUTINA DE POSICIONAMIENTO HORIZONTAL AL INICIO
                DEL RASTREO
*****

```

```

0422 75A800     POSHOR: MOV  IE,#00H      ;DESHABILITO INTERRUP.
                                           ;PARA EVITAR EL REBOTE
;
0425 D3         SETB  C                    ;ENCENDER LED DE
0426 9286       MOV   P0.6,C              ;POS. HORIZONTAL
;
0428 A2B0       MOV   C,P3.0
042A 4002       JC    UNO                  ;SALTA SI CY=1
042C 500D       JNC   CERO                 ;SALTA SI CY=0
;
042E D292       UNO:  SETB  P1.2            ;+X
0430 1203D8     LCALL CLOCK2              ;PARA M2
0433 209410     JB    P1.4,FIN            ;SALTA SI P1.4=1 (P)
0436 20B0F5     JB    P3.0,UNO           ;SALTA SI P3.0=1
0439 800B       SJMP  FIN
;
043B C292       CERO: CLR   P1.2            ;-X
043D 1203D8     LCALL CLOCK2              ;PARA M2
0440 209503     JB    P1.5,FIN            ;SALTA SI P1.5=1 (P)
0443 30B0F5     JNB   P3.0,CERO          ;SALTA SI P3.0=0
;
FIN:
0446 C3         CLR   C                    ;APAGAR EL LED DE
0447 9286       MOV   P0.6,C              ;POS. HORIZONTAL
;
0449 75A881     MOV   IE,#81H            ;HABILITO INT.EXT. 0
;
044C 32         RETI

```

TABLAS DEFINIDAS EN ROM

```
0500          ORG 0500H
              TABLA1:
0500 00 01 02          DB 00H,01H,02H,03H,04H,05H,06H,07H
0503 03 04 05 06 07
0508 08 09 0A          DB 08H,09H,0AH,0BH,0CH,0DH,0EH,0FH
050B 0B 0C 0D 0E 0F
              ;
0515          ORG 0515H
              TABLA2:
0515 00 01 02          DB 00H,01H,02H,04H,05H,06H,08H,09H
0518 04 05 06 08 09
051D 0A 0F 03          DB 0AH,0FH,03H,07H,0BH,0CH,0DH,0EH
0520 07 0B 0C 0D 0E
              ;
0000          END
```

CAPITULO IV

CONSTRUCCION DEL EQUIPO

CAPITULO IV

CONSTRUCCION DEL EQUIPO

En este capítulo se va a indicar algunas características referentes a la construcción misma del equipo.

4.1 CARACTERISTICAS ELECTRICAS

A continuación se detallan algunas características eléctricas del prototipo. Se toma como referencia el circuito de control, puesto que es el que maneja la mayor cantidad de magnitudes eléctricas.

- 1) El circuito de control funciona con una alimentación de 110 VAC, 60 Hz. (características de la red local).
- 2) Consumo de Energía:
 $I_{ac} = 0.44 \text{ A}$; $P_{sistema} = 38 \text{ W}$
- 3) El circuito de control posee dos transformadores, el primero, con TAP CENTRAL alimenta toda la lógica de control propiamente dicha, mientras que el segundo (sin tap), es utilizado para suministrar los niveles de voltaje y corriente adecuados a la parte de potencia. Estos elementos en mención tienen las siguientes características:

Parte de Control

- Transformador con Tap Central 115 V/16 VAC-CT, 2.5 A

Parte de Potencia

- Transformador 115 V/24 VAC, 1 A

Los transformadores están dimensionados tomando en cuenta una cierta tolerancia, lo cual no les permitirá llegar a los valores de corriente antes anotados. Por protección y tomando en cuenta lo dicho anteriormente se ha colocado en serie con cada transformador (Lado del

Secundario) un fusible, cuyas características se indican a continuación:

En serie con el Transformador del circuito de control:
FUSIBLE DE 2.5 A

En serie con el Transformador del circuito de potencia:
FUSIBLE DE 1 A

4.2 PRUEBAS Y RESULTADOS

A continuación se va a indicar los resultados obtenidos al poner en funcionamiento el prototipo construido.

4.2.1 DIFERENTES CIRCUITOS PROBADOS

Durante la búsqueda de un circuito óptimo que sirva como interfaz entre los fotosensores y el microcontrolador, se realizó muchas pruebas con diferentes diseños, obteniéndose resultados que no cumplían con las necesidades del proyecto. Se explicará algunos de los circuitos probados a continuación.

Al inicio del proyecto, en la parte del circuito de control, se probó un diseño, el mismo que contenía un puente de "Wheatstone", en cuyas ramas se encontraban los fotosensores, como se puede observar en la figura 4.1.

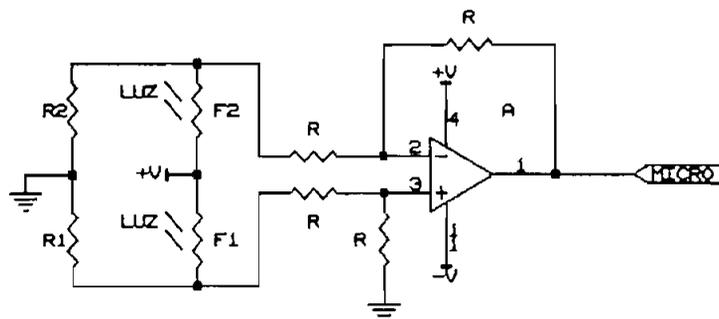


FIGURA 4.1

Esta configuración permite compensar variaciones de voltaje en ambos lados del puente, debido a variaciones normales de intensidad luminosa en todo el ambiente sentido. Por ejemplo; el apareamiento de una nube durante rastreo solar.

En la figura antes mencionada se observa que los lados del puente V1 y V2, se encuentran conectados a un amplificador diferencial, el cual pondrá a su salida una señal de ≈ 0 V, si el puente esta balanceado y una señal de $\pm V_{cc}$, si el puente se encuentra desbalanceado. Dependiendo de la polaridad del voltaje de salida, se determina cual es el lado del puente que sufrió una alteración de las condiciones normales de balance.

Al probar el circuito de la figura 4.2, se obtuvo como resultado que el mismo no podía mantener la condición de iluminación normal a los fotosensores, ya que por ejemplo; para una cierta condición de iluminación del medio ambiente sentido se realizaba un ajuste del puente de tal manera de obtener un cero lógico a la salida del amplificador diferencial (mostrado en la figura 4.2), pero al variar la cantidad de luz del medio ambiente, debido a la no linealidad de los fotosensores, se producía un desbalance en el puente provocando que a la salida del amplificador diferencial se obtenga una señal errónea. Lo anteriormente descrito no debería ocurrir, puesto que, al variar la cantidad de luz del medio todos los fotosensores siguen teniendo la misma cantidad de luz por lo que el amplificador diferencial no debería cambiar de estado a la salida.

En el siguiente circuito de la figura 4.3 se trató de superar el problema anterior. Este circuito posee un indicador de balance del puente y dos indicadores del "lado" del desbalance. Toda la parte central lo constituye el indicador de balance y los extremos lo constituyen los indicadores del "lado" del desbalance, el problema en este circuito fue que el indicador de balance era mas sensible que los indicadores del "lado" del desbalance, es decir, en cierta condición el microcontrolador

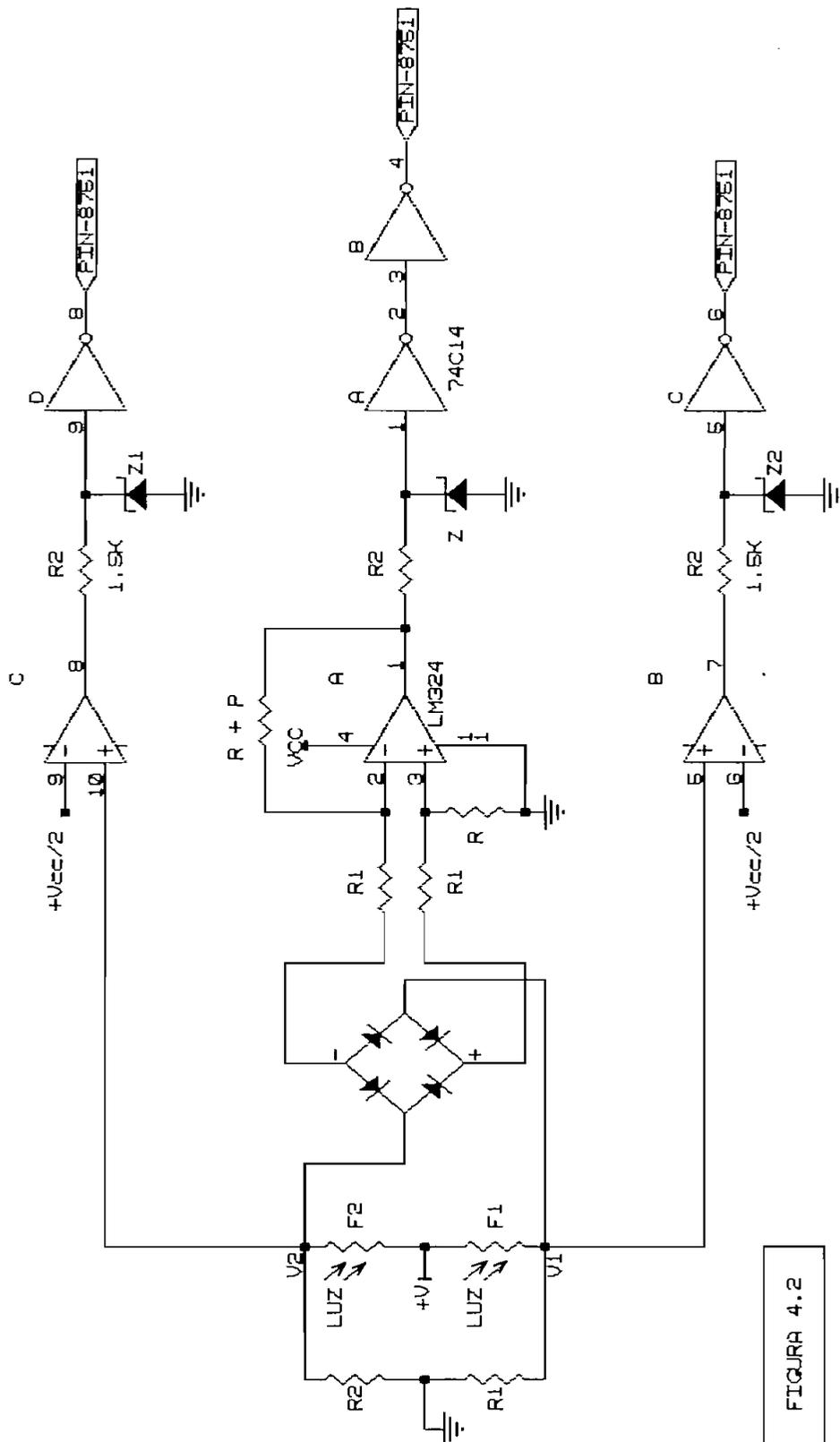


FIGURA 4.2

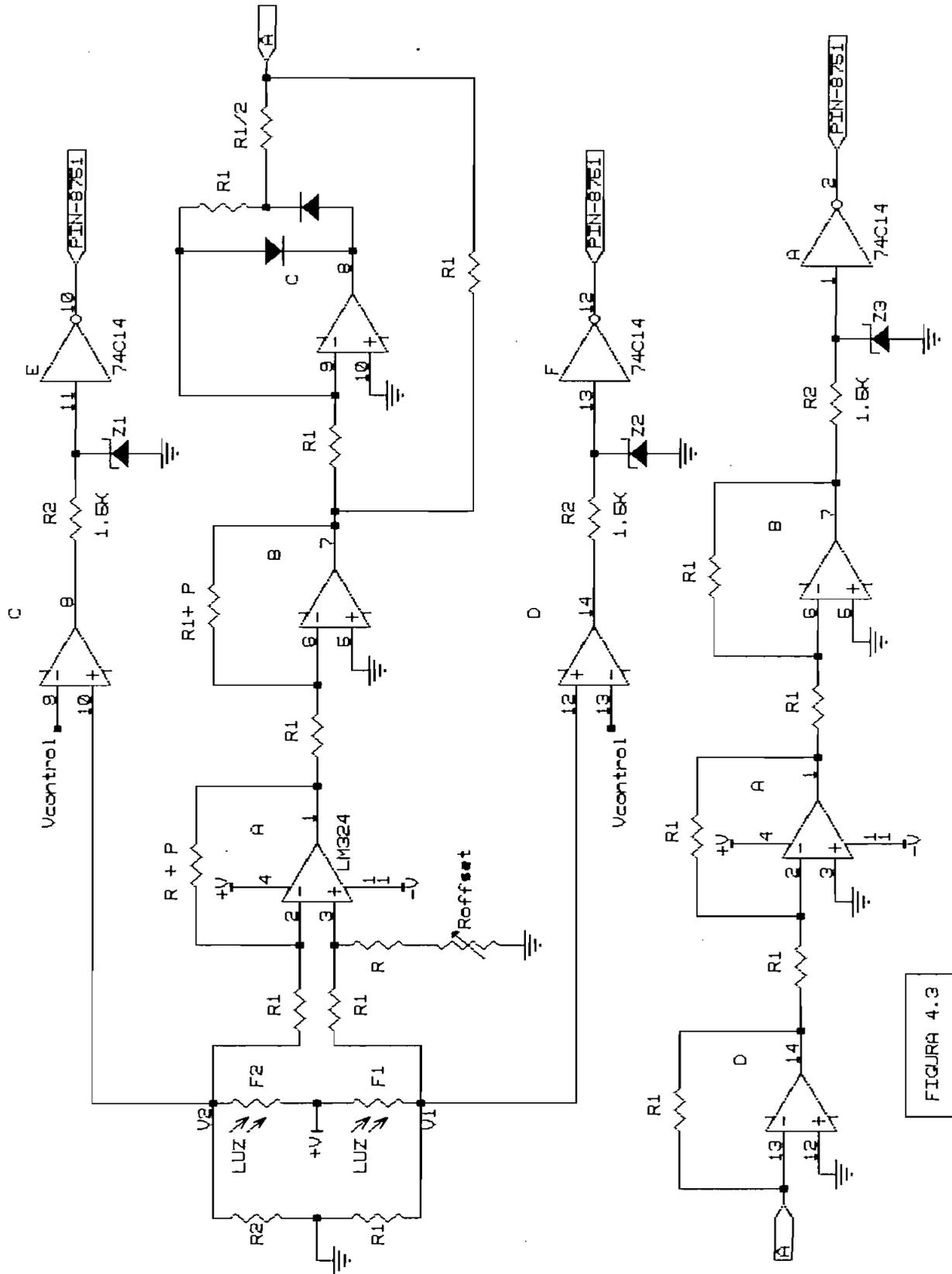


FIGURA 4.3

sabe que hay desbalance pero no en que "lado".

Durante las pruebas realizadas, este circuito no proporcionó buenos resultados para variaciones pequeñas de luz, pero funcionó adecuadamente para cambios grandes de iluminación.

En la figura 4.4 se muestra un diseño alternativo, el mismo que no usa la configuración con puente de Wheatstone, sino que desacopla la influencia de los fotosensores entre si (como pares), es decir cada fotosensor tiene un circuito de acoplamiento al microcontrolador por separado.

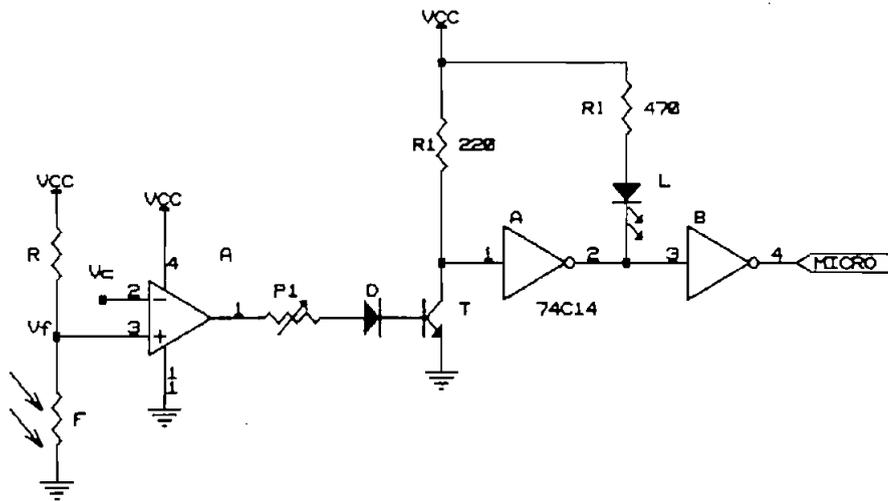


FIGURA 4.4

En las pruebas de este circuito con la presencia del sol, se usó un panel de pruebas, el cual necesitó de "direccionadores", los mismos que son una especie de tubos pequeños que permiten limitar la luz reflejada y apuntar directamente a la fuente de luz principal, tal como se muestra en la figura 4.5.

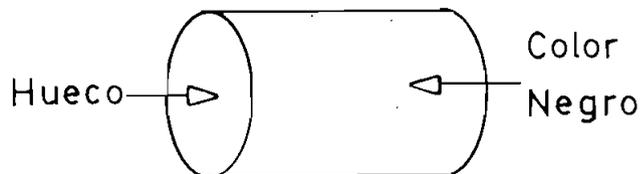


FIGURA 4.5

El circuito de la figura 4.4 muestra el esquema básico usado en el diseño final, debido a que su respuesta en las pruebas fue muy adecuada al objetivo deseado. Además que el hardware usado con esta configuración es relativamente reducido.

El voltaje de comparación V_c , mostrado en la figura 4.4, mereció un análisis mas detenido. En principio este voltaje provenía de un divisor de voltaje variable por medio de un potenciómetro. Una vez escogido el voltaje de comparación, para una cierta condición de rastreo (Sol ó Lámpara Eléctrica), este voltaje no permitía el correcto funcionamiento del circuito, puesto que las variaciones de luz en el medio ambiente sentido podían ser tan bruscas como en el caso de rastreo solar, donde el aparecimiento de una nube producía el obscurecimiento de todo el medio, dando como resultado que el V_f (voltaje mostrado en la figura 4.4), cambie notablemente, mientras que V_c no lo hacia, llegando al extremo de que V_f sea mayor a V_c , siendo, para esta condición de obscurecimiento normal del medio que $V_f < V_c$. Este inconveniente se solucionó, permitiéndolo que el voltaje de comparación sea variable conforme cambie la iluminación en todo el ambiente sentido (Ver figura 4.6), para esto se usó un fotosensor adicional, el mismo que se encarga de sensar las variaciones de iluminación en todo el medio ambiente.

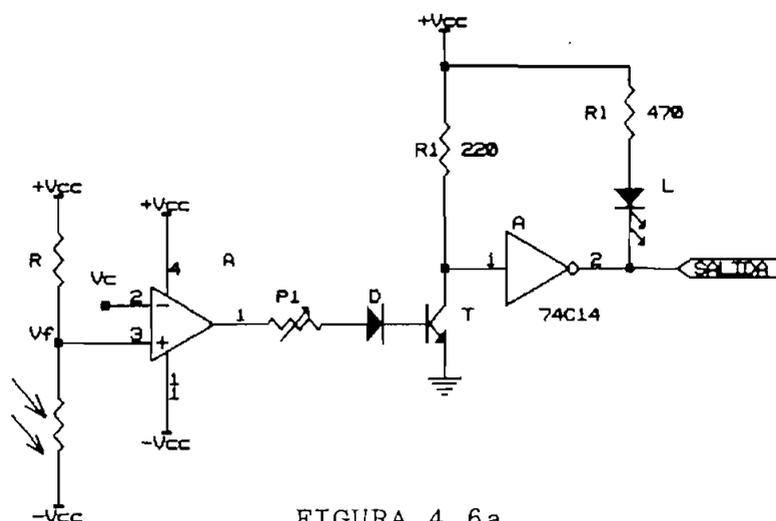


FIGURA 4.6a

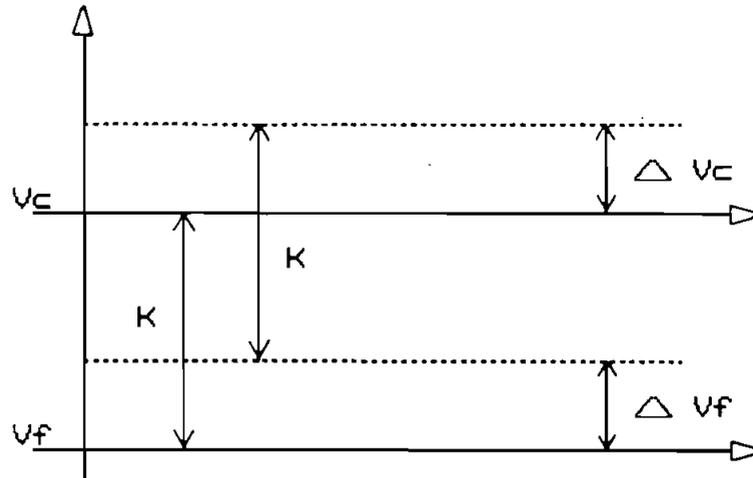


FIGURA 4.6b

El circuito final usando esta última modificación es el que se muestra en la figura 4.7

En esta figura se puede observar que el voltaje de comparación proviene de un circuito que tiene la siguiente forma:

$$V_c = V_v + V_k$$

Donde: V_c = Voltaje de Comparación
 V_v = Voltaje variable manualmente, que permite escoger el grado de sensibilidad del sistema.
 V_k = Voltaje variable. Sensor de la cantidad de luz del medio ambiente.

Como se puede ver en la fórmula anterior, el voltaje de comparación es el resultado de la suma de un voltaje dependiente de la cantidad de luz del medio, y de un voltaje escogido manualmente por medio de un potenciómetro, este último vendría a constituirse en el grado de sensibilidad del sistema (k).

$$V_c = V_v + k \quad ; \quad \text{si } V_v \text{ varía} \implies V_c \text{ varía.}$$

El voltaje $V_f > V_c$, sólo cuando existe un obscurecimiento normal en el fotosensor correspondiente, por Ejemplo; si se coloca un obstáculo o disminuye por cualquier razón la iluminación en el fotosensor en estudio. De esta manera se consigue un rastreo adecuado de cualquier fuente de luz.

4.2.2 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS

Una vez construido el prototipo, se procedió a probarlo, usando dos tipos de fuentes luminosas. En primer lugar se probó el prototipo con una fuente luminosa de alto poder como es el sol y en segundo lugar se usó una fuente no tan fuerte como es una lámpara eléctrica.

Como ya se indicó en un capítulo anterior, el prototipo puede rastrear cualquiera de las dos fuentes luminosas antes mencionadas, ajustando ciertos parámetros; ésto se lo debe hacer debido a la diferencia de energía radiante emitida por estos dos tipos de fuentes.

4.2.2.1 RESULTADOS AL USAR UNA FUENTE LUMINOSA "DEBIL" (LAMPARA)

En principio se va a indicar los ajustes necesarios para este tipo de rastreo:

- 1) En primer lugar, el panel no necesita de "direccionadores", que son una especie de tubos pequeños que permiten limitar la luz reflejada y apuntan directamente a la fuente de luz principal (Ver figura 4.5). Estos direccionadores son acoplados a cada fotoresistencia en el caso de rastreo solar.
- 2) Refiriéndose a la figura 3.30, en donde se muestra el circuito que sirve como interfaz entre los foto-sensores y el microcontrolador, se puede explicar el ajuste necesario para rastreo de una fuente luminosa débil. En esa figura se

muestra que los amplificadores operacionales de la parte a y b comparan V_f con V_c y V_f' con V_c respectivamente, de tal manera que al rastrear una fuente luminosa débil, la diferencia entre estos dos voltajes puede ser seleccionada en un rango mayor a 2 V. De esta forma se hace menos sensible al sistema, es decir, un foto-sensor cualquiera deberá "sentir" un cambio grande de luz para producir un cambio de estado a la salida del amplificador operacional y de esta manera comunicar al microcontrolador la variación de luz producida. Por tanto el ajuste se lo puede hacer variando P3, P4 de tal forma que varia V_f y V_f' respectivamente, ó variando V_c por medio de Pext.

En las pruebas realizadas con los ajustes antes mencionados, se obtuvieron posicionamientos del panel bastante aceptables a nuestras necesidades, este posicionamiento tiene un cierto margen de error, ésto es provocado principalmente por la no linealidad de los fotosensores utilizados. Para disminuir este error se incluye en el microcontrolador un par de rutinas que minimizan este error de la siguiente manera: mediante un switch conectado a P0.7 se habilitan las rutinas antes mencionadas, las cuales una vez que el panel se ha movido a un sitio en donde tiene error de posicionamiento; estas rutinas proporcionan pulsos de reloj adicionales, de tal manera de permitir al motor que estaba en movimiento seguir moviéndose en el sentido que lo estaba haciendo, con el fin de conseguir un mejor posicionamiento y por consiguiente una disminución en el error de posicionamiento.

4.2.2.2 RESULTADOS OBTENIDOS AL RASTREAR EL SOL

En esta sección también se indica, en principio, los ajustes necesarios para este tipo de rastreo.

- 1) En primer lugar se debe colocar "direccionadores" en cada una de las fotoresistencias, cuyas características ya fueron

explicadas anteriormente en el numeral 1) de la sección 4.2.2.1.

- 2) Refiriéndose a la figura 3.30, se puede explicar más fácilmente los ajustes necesarios para rastreo solar. En la figura mencionada se muestra que los amplificadores operacionales de la parte a y b, como ya se indicó en el numeral 2) de la sección 4.2.2.1, comparan V_f con V_c y V_f' con V_c . La diferencia entre estos voltajes, cuando se desea rastrear el sol, debe ser pequeña (aproximadamente menor a 1 V), de tal manera aumentar la sensibilidad del sistema. Este ajuste es necesario debido a la gran intensidad luminosa de esta fuente. Este mismo ajuste puede ser hecho variando P_3 , P_4 , de tal forma que varíe V_f y V_f' respectivamente, ó variando V_c por medio de P_{ext} . Vale la pena indicar que este ajuste, tanto para rastreo de una fuente luminosa "débil" como para rastreo solar, debe ser de tal manera de que V_f sea aproximadamente igual a V_f' . Esto es válido para las dos tarjetas de interfaz, es decir que los cuatro foto-sensores deben generar un V_f ó V_f' similar.

Al realizar las pruebas con los ajustes antes mencionados se obtuvieron, al igual que en el caso anterior, posicionamientos bastante aceptables a nuestras necesidades.

Vale la pena indicar que el panel rastreador con una fuente de luz como la solar pierde en cierto grado la sensibilidad, esto es debido a que la fuente en mención es muy fuerte, por ejemplo cuando la fuente luminosa (sol) se mueve, el panel rastreador no la sigue instantáneamente sino que el sol debe haberse movido una cierta distancia para que el panel le siga; sin embargo, esta situación no impidió que se cumplan los objetivos planteados.

4.2.3 TOPICOS ADICIONALES

En este punto se desea mostrar las formas de onda de corriente sobre los bobinados del actuador (Motor de Pasos), tanto para funcionamiento en paso completo como para medio paso.

A continuación en la figura 4.8, se muestra la forma de onda de corriente para funcionamiento en medio paso. Como se puede observar, la figura muestra muchos sobreimpulsos los cuales principalmente aparecen cuando las bobinas son prendidas (se conecta la alimentación a la bobina), o apagadas (se desconecta la alimentación a la bobina).

En la figura 4.9, se muestra la forma de onda de corriente para funcionamiento en paso completo, donde se puede apreciar que no existe sobreimpulsos como en el caso anterior. Observando las dos figuras antes mencionadas, se puede concluir que el funcionamiento en medio paso es mas irregular, desde el punto de vista de corriente, que el funcionamiento en paso completo. Esto provoca que la fuente que suministra la energía, en funcionamiento en medio paso, varíe constantemente, tal como se comprobó en las pruebas realizadas. Este aspecto particular, puede causar un mayor desgaste de la fuente, lo que no ocurre en la misma magnitud con el funcionamiento en paso completo, donde la variación de corriente no es tan irregular.

En cuanto a la velocidad de posicionamiento del panel, se puede indicar que, es variable por medio de un dip switch (4 switch) perteneciente a la tarjeta principal. Los resultados obtenidos al seleccionar las distintas velocidades permisibles fueron muy adecuadas a nuestras necesidades; en este caso no se necesita mucha rapidez de movimiento del panel, puesto que el movimiento solar es un evento lento.

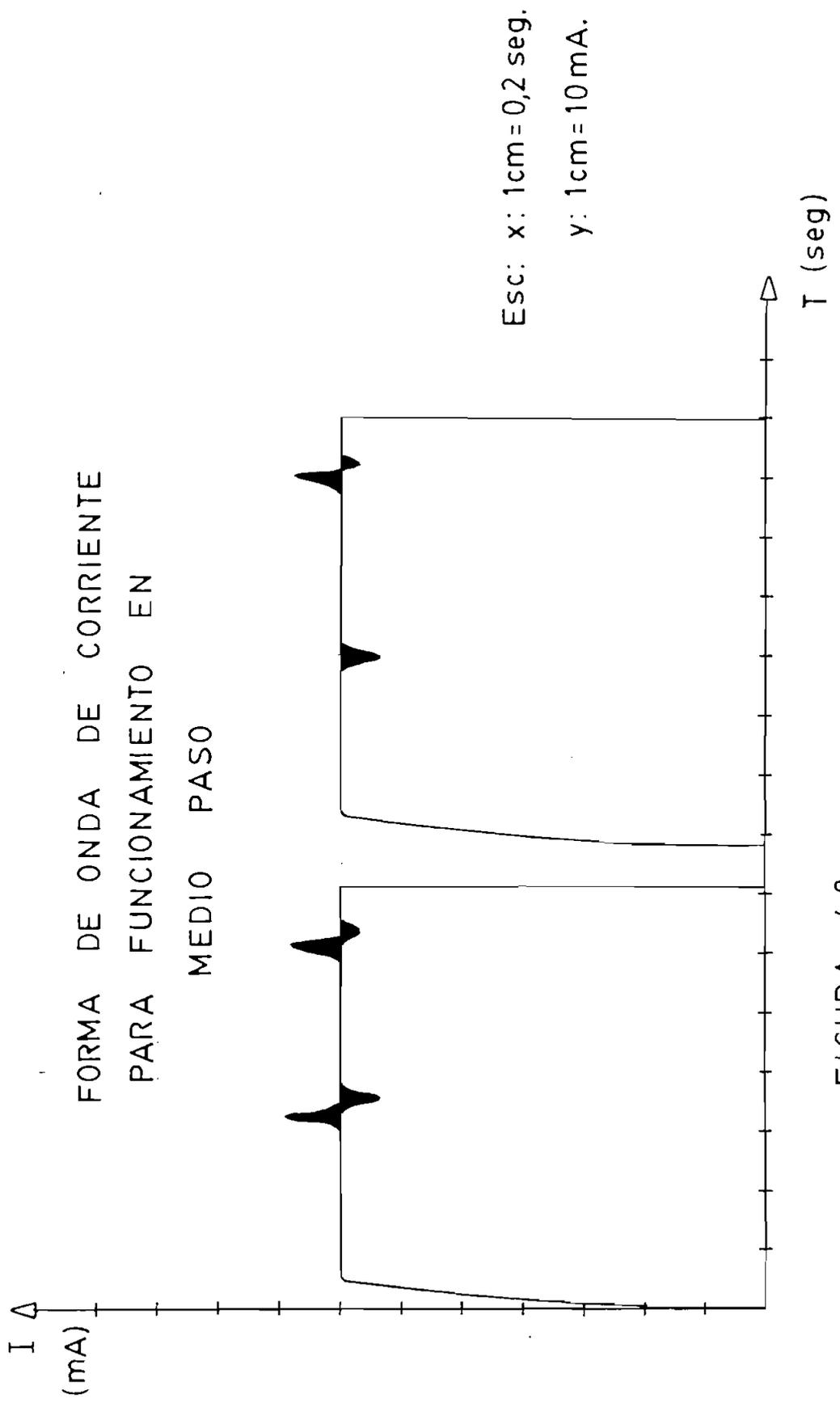
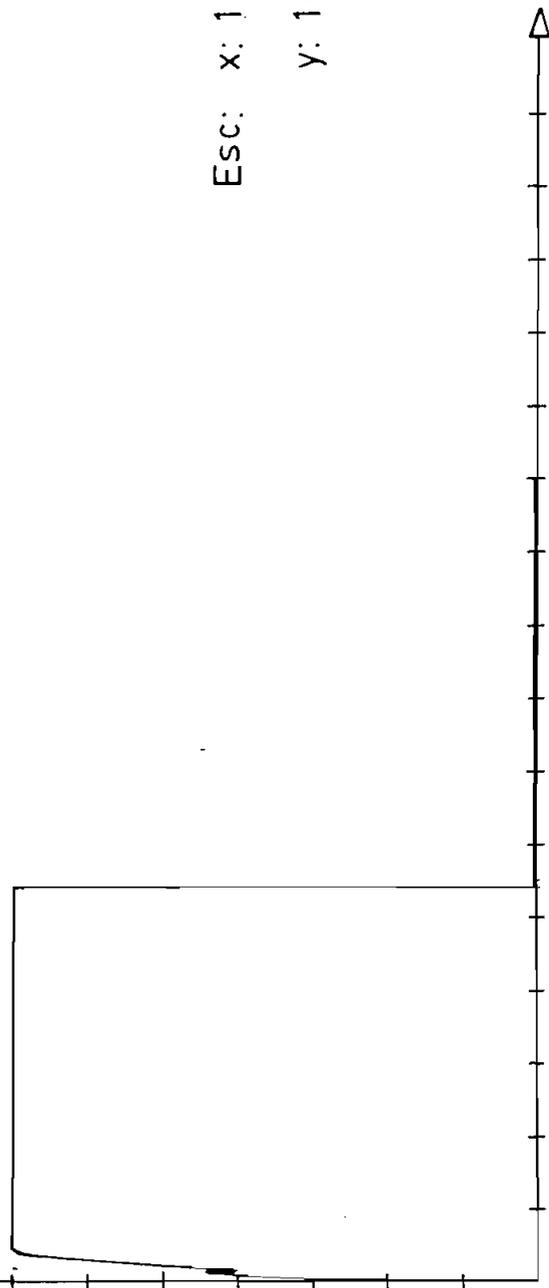


FIGURA 4.8

I Δ
(mA)

FORMA DE ONDA DE CORRIENTE
PARA FUNCIONAMIENTO EN
PASO COMPLETO



Esc: x: 1 cm = 0,1 seg.

y: 1 cm = 10 mA.

T (seg)

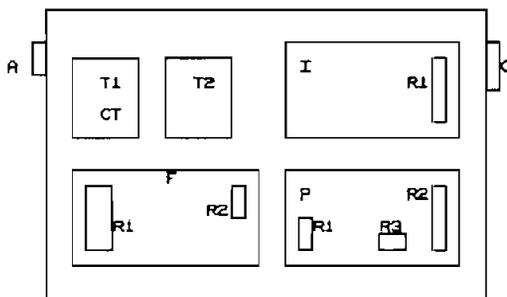
FIGURA 4.9

4.3 ESQUEMAS Y PLANOS

En esta sección se incluye una serie de esquemas y planos básicamente referentes al circuito de control.

ESQUEMA DEL MONTAJE FISICO DEL CIRCUITO DE CONTROL

En la figura 4.10 se muestra el montaje de todas las tarjetas en una caja que constituye el circuito de control.



PANEL FRONTAL DEL CIRCUITO DE CONTROL

- T1 = TRANSFORMADOR CON TAP CENTRAL.
- T2 = TRANSFORMADOR PARA EL CIRCUITO DE POTENCIA.
- C = CONECTORES, QUE FACILITAN LA COMUNICACION CON EL PANEL RASTREADOR.
- A = ALIMENTACION DEL C.C.
- P = TARJETA PRINCIPAL, CONTIENE TODOS LOS CIRCUITOS PRINCIPALES.
- F = TARJETA QUE CONTIENE LA FUENTE DEL SISTEMA.
- I = INTERFAZ FOTOSENSORES/MICROCONTROLADOR (2 TARJETAS)
- R1 = REGLETAS DE CONEXION CUYA ASIGNACION DE PINES SE DETALLA MAS ADELANTE.

FIGURA 4.10

Donde: F = Fuente.

R1,2,3 = regletas de conexión, cuya asignación de pines se verá más adelante.

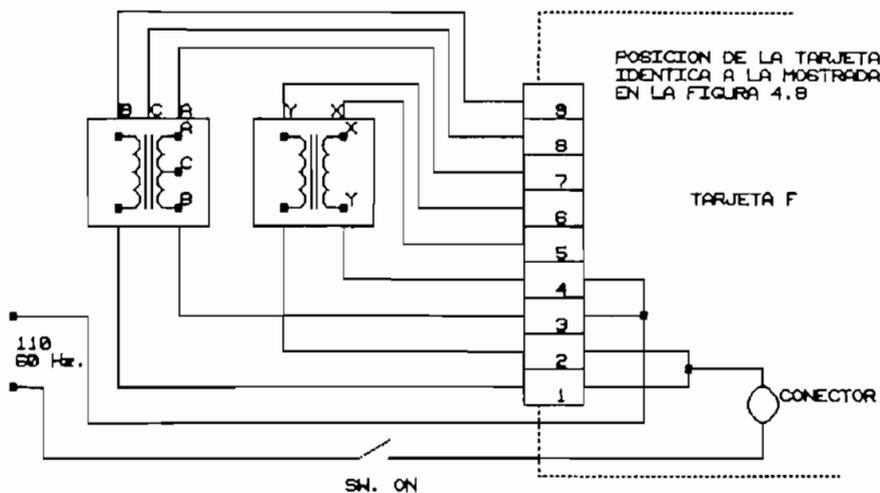
P = Principal.

I = Interfaz (Fotosensor/Micro)

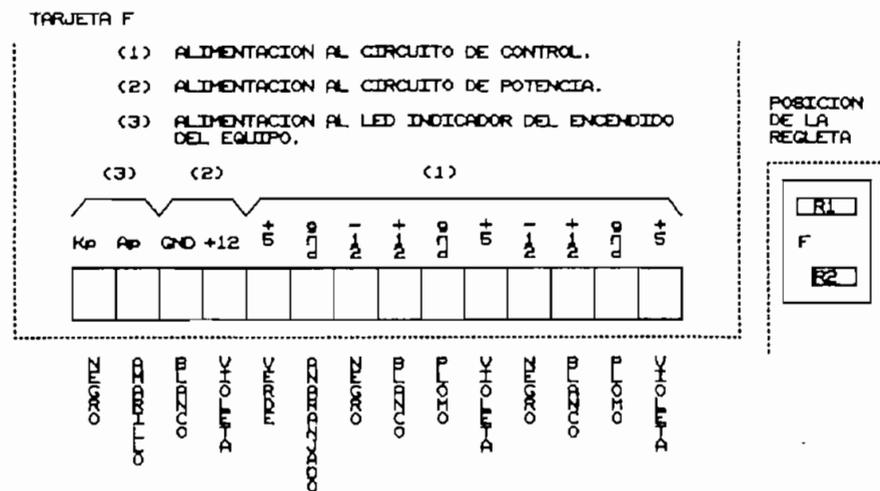
4.3.1 FUENTE DE ALIMENTACION

La tarjeta (F), contiene todos los circuitos encargados de suministrar la energía a todo el sistema, posee dos regletas de conexión cuyos diagramas se muestran a continuación:

CONEXIONES DE LA REGLETA R1.- (Tarjeta F en la figura 4.10)



CONEXIONES DE LA REGLETA R2.- (Tarjeta F en la figura 4.10)

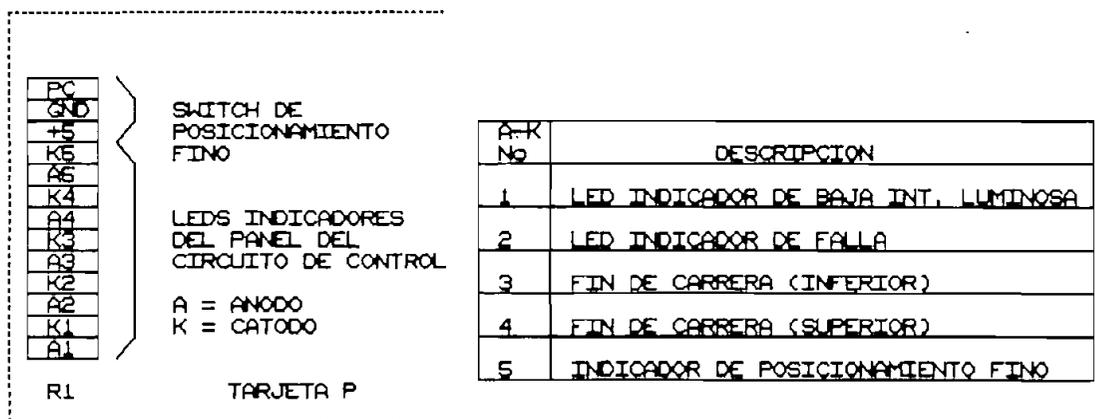


4.3.2 TARJETA PRINCIPAL

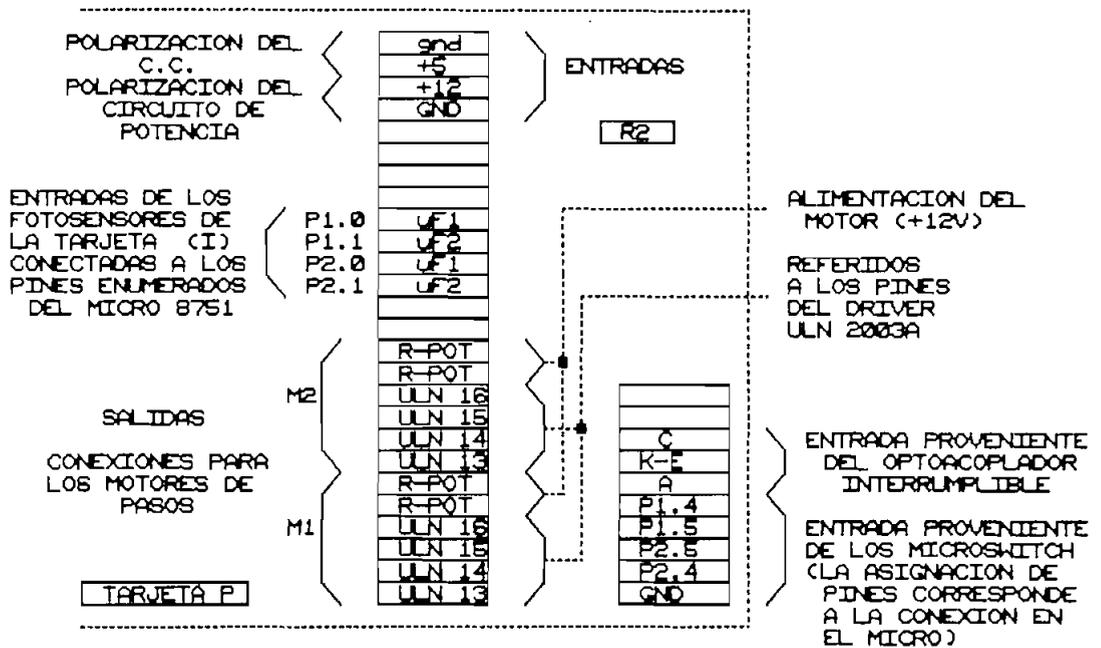
La tarjeta (P), contiene todos los elementos digitales más sensibles del sistema, entre los cuales nombramos los siguientes: microcontrolador 8751, controlador de motores de pasos L-297, circuitos TTL, etc.

Esta tarjeta posee tres regletas cuyos diagramas se muestran a continuación:

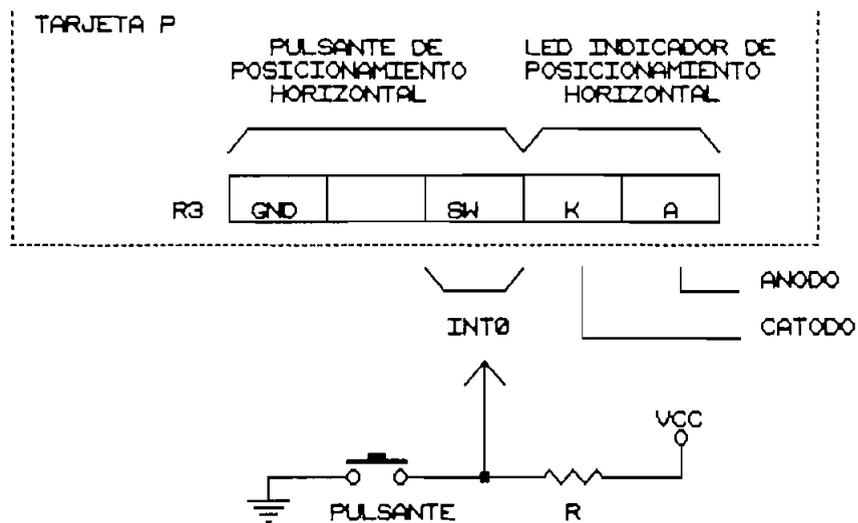
CONEXIONES DE LA REGLETA R1.- (Tarjeta P en la figura 4.10)



CONEXIONES DE LA REGLETA R2.- (Tarjeta P en la figura 4.10)



CONEXIONES DE LA REGLETA R3.- (Tarjeta P en la figura 4.10)

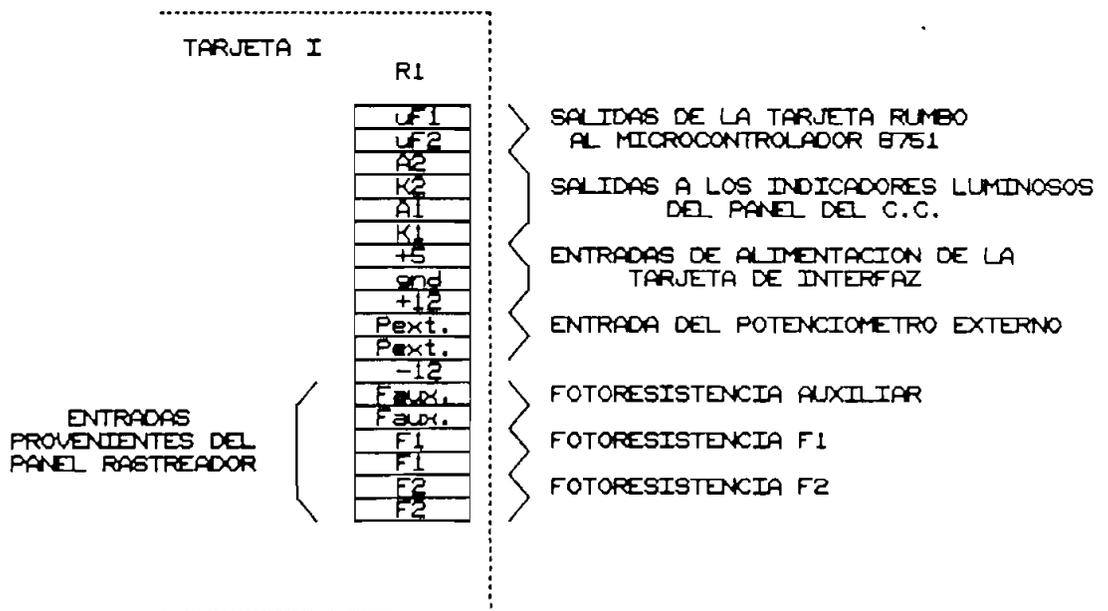


4.3.3 TARJETA DE INTERFAZ

La tarjeta de interfaz (I), en la práctica son dos tarjetas idénticas, sobrepuestas pero separadas por postes. Cada una de las tarjetas constituye una interfaz entre los fotosensores y el microcontrolador. La primera tarjeta sensa, por ejemplo, la variación de luz en el sentido Norte-Sur, y la otra en el sentido Este-Oeste.

El diagrama de la única regleta se muestra a continuación.

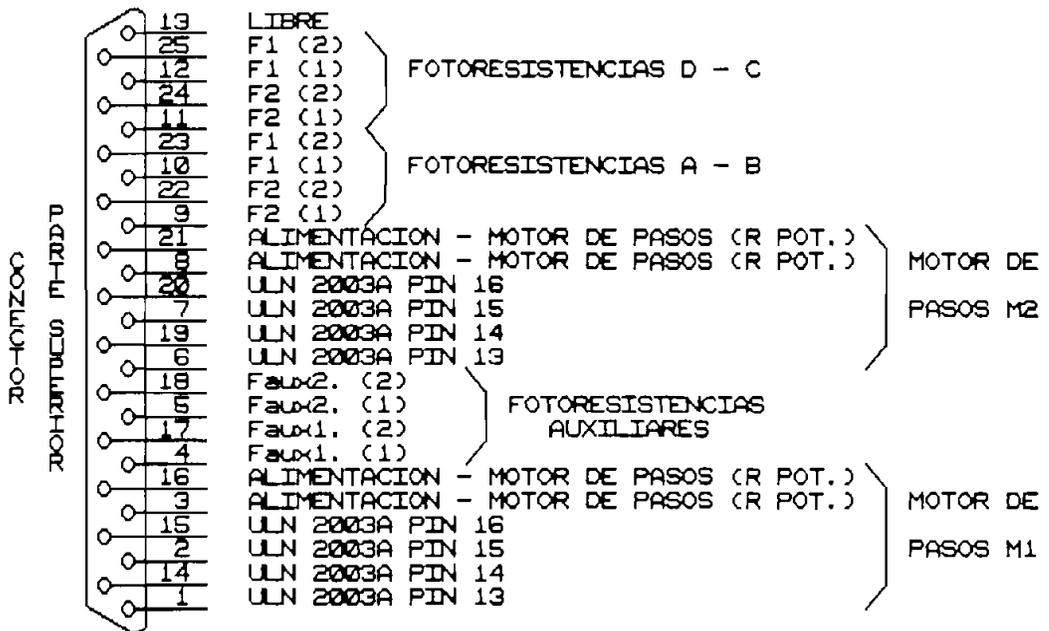
CONEXIONES DE LA REGLETA R1.- (Tarjeta I en la figura 4.10)



Por último se indica la asignación a los contactos de los dos conectores hembras pertenecientes al circuito de control, por medio de las cuales entra y sale la información entre el circuito de control y el panel rastreador.

CONECTOR HEMBRA DE LA PARTE SUPERIOR

Este conector posee 25 contactos.



CONECTOR HEMBRA DE LA PARTE INFERIOR

Este conector es similar al anterior que también posee 25 contactos, de los cuales algunos están disponibles para ser usados en futuras aplicaciones o ampliaciones.

Con la ayuda del alambre plano de color, se puede revisar fácilmente el circuito, en caso de falla o de curiosidad.

4.4 GUIA DE USO DEL EQUIPO

En esta sección se proporciona una serie de indicaciones, con la finalidad de que el usuario pueda manipular adecuadamente el equipo.

A continuación se enuncia los diferentes pasos que se deben seguir para operar el prototipo desarrollado.

- 1) Debido a que el equipo es desmontable, en primer lugar se debe observar si se ha conectado los cables que unen al circuito de control con el panel rastreador. Aquí hay que tener mucho cuidado puesto que existen dos conectores, que pueden causar confusión en su conexión, pero para evitar posibles errores de conexión, se ha señalado el conector macho de la parte superior como "UP" y el de la parte inferior como "DOWN". Adicionalmente es necesario observar si el cable de alimentación, que también es desmontable, está conectado.
- 2) Una vez verificadas las conexiones y antes de conectar el equipo, es necesario realizar los ajustes correspondientes a la fuente luminosa a ser rastreada, estos ajustes ya fueron descritos en la sección 4.2.
- 3) El siguiente paso es verificar brevemente las conexiones de todos los circuitos pertenecientes al circuito de control, tales como: microcontrolador, regletas de conexión etc. Esto es necesario cuando el equipo se va a poner en funcionamiento por primera vez.
- 4) Es necesario indicar que el circuito de control posee un dip-switch de 5 contactos, los 4 primeros (Numerados 1 ->

- 4), son los que permiten seleccionar la velocidad de movimiento de los motores de pasos, mientras que el quinto dip-switch es el que permite habilitar (0) ó deshabilitar (1), la rutina adicional (En el Micro) para disminuir el error de posicionamiento del panel rastreador.
- 5) Después de haber seguido las indicaciones anteriores se procede a conectar el cable de alimentación (120 V, 60 Hz.) y luego encender el equipo.

Notas.-

Con el fin de que el usuario tenga una mayor comprensión del equipo, se describen a continuación las señales luminosas ubicadas en la parte frontal del circuito de control.

- Existe un switch de encendido del equipo claramente identificado.
- También hay un led indicador del estado del equipo, es decir, nos señala si el equipo esta encendido (Led ON) ó si el mismo esta apagado (Led OFF).
- Existe también una hilera vertical de leds los cuales al activarse muestran diferentes estados del sistema. Describiéndolos de arriba hacia abajo se tiene:
 - 1) El primer led indica un estado de FALLA.
 - 2) El siguiente indica un estado de BAJA INTENSIDAD LUMINOSA.
 - 3) El tercer led indica un estado de POSICIONAMIENTO FINO. Este led se activa cuando los motores de pasos trabajan en medio paso.
 - 4) El siguiente indicador luminoso indica FIN DE CARRERA DE LA PARTE SUPERIOR, es decir nos muestra si alguno de los

dos "microswitch" pertenecientes al mecanismo superior móvil ha sido activado.

- 5) El último indicador luminoso de esta sección nos indica FIN DE CARRERA DE LA PARTE INFERIOR, es decir nos revela el mismo estado anterior, pero del mecanismo inferior estacionario perteneciente al panel rastreador.
- Continuando con la descripción se tiene cuatro indicadores luminosos, los cuales indican el estado de iluminación de los fotosensores, estos indicadores están debidamente identificados como A, B, C, D.
 - Para culminar con la descripción de los indicadores luminosos, se tiene un led indicador del posicionamiento horizontal, este led se activa sólo cuando el sistema entra en una rutina que le permite al panel posicionarse en forma horizontal y luego al finalizar la rutina se apaga.

Por último el circuito de control muestra tres switch los cuales tienen las siguientes funciones:

Panel Frontal.-

- Switch de posicionamiento fino (Rojo)
- Pulsante de "reset" (Negro)

Panel lateral derecho.-

- Pulsante de posicionamiento horizontal (cubierto por una tapa negra, por protección).

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Una vez terminado este proyecto y en vista de los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

- El presente trabajo muestra todos los aspectos correspondientes al diseño y construcción de un prototipo de rastreo solar (Fuente Luminosa), con dos grados de libertad, cuyos objetivos planteados al inicio del proyecto fueron cumplidos sin mayores inconvenientes.
- El prototipo construido contribuye en gran medida para que todos pongamos la visión en aprovechar una energía natural como es la solar. Esto se actualiza debido a la presente crisis que vive nuestro país.
- El panel rastreador usa fotosensores (Fotoresistencias), que según los resultados obtenidos en este trabajo, se recomienda para pequeños y medianos paneles rastreadores ya que proporcionan un procedimiento sencillo de localización y seguimiento luminoso. Además este tipo de sensores se los encuentra fácilmente en el mercado lo cual facilitó notablemente la construcción del equipo.
- Se indica también que la primera condición que debe reunir un sistema de aprovechamiento de energía solar, es la de recoger la mayor cantidad posible de energía recibida en un determinado lugar. Esta condición exige que la superficie colectora (Panel) sea en todo momento, perpendicular a los rayos solares y por tanto, una colección óptima sólo puede conseguirse si dicha superficie está dotada de un movimiento de rastreo solar.

- Es una característica inherente a todos los sistemas de seguimiento solar basados en fotosensores la imposibilidad del rastreo cuando se producen ocultamientos del sol.
- La utilización de motores de pasos, como elemento final de actuación, da como resultado que el posicionamiento del panel acoplado al motor sea mas exacto, puesto que este actuador posee un error acumulativo nulo.
- En la construcción del equipo se pudo comprobar las ventajas que presenta el trabajar con el microcontrolador 8751, el cual proporciona muchas bondades tales como: facilidad de programación, reducción notable del Hardware, conjunto de instrucciones bastante versátil, etc.
- El equipo ha sido construido tomando en cuenta futuras aplicaciones y ampliaciones, en esta línea se ha incluido una fuente de alimentación variable para el circuito de potencia (1.2V -> 32V), con el fin de suplir futuras necesidades, las cuales manejen motores de pasos cuyo voltaje de alimentación se encuentre en el rango mostrado anteriormente.
- Con lo dicho anteriormente, el circuito de control fácilmente podría controlar un panel mas grande que el construído, únicamente sería necesario una etapa de traslación de voltaje y motores de pasos de mayor potencia.
- Todas las tarjetas pertenecientes al circuito de control son removibles, y los circuitos digitales se encuentran montados en sócalos, lo que facilita la reposición de los mismos en el caso de estar dañados.
- Los resultados obtenidos durante las prueba son satisfactorios, considerando que se trata de un prototipo.

- Para finalizar se concluye que el realizar una tesis de grado práctica es fundamental, por cuanto se ponen en práctica y se adquieren muchos conocimientos, los cuales servirán en la futura vida profesional del graduando.

5.2 RECOMENDACIONES

- Durante el transporte del panel rastreador se debe tener mucho cuidado en que la palanca del eje principal, al cual sirve para activar los "microswitch", de la parte inferior del panel, no gire con su eje bruscamente, ya que podría romper los brazos de los "microswitch".
- Se recomienda usar motores de pasos cuando se requiera de un posicionamiento preciso y fiable de cualquier mecanismo. De la misma forma se recomienda usar un microcontrolador, puesto que reduce significativamente el Hardware, así como también facilita el diseño y relativamente son de "fácil" adquisición en el mercado, lo que no sucede con los motores de pasos.
- Con el creciente avance de la tecnología, sobre todo en el campo de la electrónica, se hace indispensable una constante actualización, a fin de responder en forma útil y eficaz a las necesidades de nuestra patria, devolviendo en alguna forma lo que ella ha hecho por nosotros.

BIBLIOGRAFIA

1. ANGULO J.M. & AVILES R., "Curso de Robotica", Paraninfo, Madrid, 2º Ed., 1985.
2. ECG SEMICONDUCTORS, "Master Replacement Guide", Philips ECG, Whilliamsport P.A., 2º Ed., 1989.
3. GRAEME JERALD G., "Applications of Operational Amplifiers", Mc Graw Hill, Kogakusha, 1973.
4. INTEL, "8-Bit Embedded Controller Handbook", Intel , Santa Clara CA., 1989.
5. MOMPIN POBLET J., "Electrónica y Automática Industriales", Marcombo, Barcelona, 1981.
6. MOMPIN POBLET J., "Energía Solar Fotovoltaica", Marcombo, Barcelona, 1983.
7. NATIONAL SEMICONDUCTOR, "Voltage Regulator Handbook", National Semiconductor, 1982.
8. TEXAS INSTRUMENTS, "The TTL Data Book", 2º Vol, Texas Instruments Incorporated, Dallas T., 1985.
9. CONTROL SYSTEMS MAGAZINE, "Sun Tracking by Peak Power Positioning for Photovoltaic Concentrator Arrays", PRITCHARD D., III (Nº 3, 1983), p. 2 - 8.
10. CONTROL SYSTEMS MAGAZINE, "Microcomputer Speed Control of Stepper Motor", CHEN C.S., II (Nº 1, 1982), p. 17 - 19.

11. REVISTA TELEGRAFICA-ELECTRONICA, "Utilización de TECMOS de Potencia en el control de motores paso a paso", MOYER D.C., 1988, p. 1440 - 1444.
12. STUDENT PAPERS, "Automatic Control Adapter for a Manual Star Tracking System", MILDREN W.J., 1987, p. 73 - 76.
13. SUPERIOR ELECTRIC, "Slo - Syn DC Stepping Motors", THE SUPERIOR ELECTRIC COMPANY, Connecticut, 1980.
14. PHILIPS, "Stepping Motors and Associated Electronics", PHILIPS - USA, 1984.
15. MOREJON R. & GONZALEZ F., "Microprocesadores (Flia. MCS-51)", Facultad de Ingeniería Eléctrica E.P.N., Quito, 1991.
16. TUFÍÑO EDWIN, "Diseño de un Servomecanismo de Posición", E.P.N., Quito, 1981.

REFERENCIAS

- [1] MOMPIN POBLET J., "Energía Solar Fotovoltaica", Marcombo, Barcelona, 1983.
- [2] MOMPIN POBLET J., "Energía Solar Fotovoltaica", Marcombo, Barcelona, 1983.
- [3] SUPERIOR ELECTRIC, "Slo - Syn DC Stepping Motors", THE SUPERIOR ELECTRIC COMPANY, Connecticut, 1980.
- [4] NATIONAL SEMICONDUCTOR, "Voltage Regulator Handbook", National Semiconductor, 1982.
- [5] MOREJON R. & GONZALEZ F., "Microprocesadores (Flia. MCS-51)", Facultad de Ingeniería Eléctrica E.P.N., Quito, 1991.
- [6] ANGULO J.M. & AVILES R., "Curso de Robotica", Paraninfo, Madrid, 2ª Ed., 1985.

ANEXO A

ANALISIS ECONOMICO

ANALISIS ECONOMICO

En el presente anexo se procederá a calcular el costo del prototipo construido. Vale la pena indicar que los precios anotados a continuación son referidos al período de Octubre/91 a Enero/92, esto es importante anotar porque a la fecha de entrega de esta tesis, los precios deben haberse incrementado en por los menos un 10 %. Adicionalmente se indica que los cálculos serán aproximados.

ELEMENTO	PRECIO U.	CANT.	PRECIO T.
TARJETA PRINCIPAL			
MICROCONTROLADOR 8751	36.676,50	1	36.676,50
CONTROLADOR DE MOTORES DE PASOS L 297.	23.425,50	2	46.851,00
DRIVER ULN-2003A	1.749,30	2	3.498,60
DRIVER 74 LS 245	2.756,00	3	8.268,00
C.I. 7408	1.423,00	2	2.874,00
RESISTENCIAS (1/4 W)	100,00	26	2.600,00
RESISTENCIAS (1 W)	145,00	4	580,00
CRISTAL 8 MHz.	1.800,00	1	1.800,00
DIP SWITCH (5 SW.)	1.200,00	1	1.200,00
CONECTORES	2.145,00	2	4.290,00
SOCKETS	1.400,00	17	23.800,00
VARIOS	4.500,00		4.500,00

SUBTOTAL 1 : 136.938,10

ELEMENTO	PRECIO U.	CANT.	PRECIO T.
TARJETA DE FUENTE			
REG. DE VOLTAJE (+12V)	11.661,00	1	11.661,00
REG. DE VOLTAJE (+5V)	9.941,00	1	9.941,00
REG. DE VOLTAJE (-12V)	800,00	1	800,00

REG. DE VOLTAJE VARIABLE (LM-338K)	6.500,00	1	6.500,00
PUNTE RECTIF. (2A)	850,00	1	850,00
PUNTE RECTIF. (1A)	500,00	1	500,00
C = 3300 μ F.	1.492,00	3	4.476,00
C = 470 μ F.	700,00	1	700,00
C = 10 μ F.	150,00	4	600,00
DISIPADORES	1.608,00	2	3.216,00
CONECTORES	2.000,00	1	2.000,00
VARIOS	4.200,00		4.200,00

SUBTOTAL 2 : 45.444,00.

ELEMENTO	PRECIO U.	CANT.	PRECIO T.
TARJETAS DE INTERFAZ			
AMPLIFICADOR OPERACIONAL LM-324	1.100,00	2	2.200,00
C.I. 7404	800,00	2	1.600,00
TRANS. NPN (ECG-123AP)	400,00	4	1.600,00
RESISTENCIAS	100,00	21	2.100,00
DIODOS	230,00	4	920,00
POT. DE PRECISION	1.600,00	12	19.200,00
CONECTORES	1.800,00	2	3.600,00
VARIOS	11.000,00		11.000,00

SUBTOTAL 3 : 42.220,00

ELEMENTO	PRECIO U.	CANT.	PRECIO T.
EQUIPO C.C.			
TRANSFORMADOR 115/16V CT, 2.5 A.	11.559,00	1	11.559,00
TRANSFORMADOR 115/24V 1 A.	8.875,00	1	8.875,00

LEDS DEL PANEL FRONTAL	700,00	11	7.700,00
SWITCH ON/OFF	2.000,00	1	2.000,00
SWITCH	1.668,00	1	1.668,00
PULSANTES	1.617,00	2	3.234,00
CONECTOR HEMBRA	908,00	2	1.816,00
CONECTOR MACHO	2.116,00	2	4.232,00
CABLE DE ALIMENTACION	5.000,00	1	5.000,00
ALAMBRE PLANO	3.500,00	1m.	3.500,00
ALAMBRE COMUN	345,00	1m.	345,00
CAJA	15.000,00	1	15.000,00
VARIOS	5.000,00		5.000,00

SUBTOTAL 4 : 69.929,00

ELEMENTO	PRECIO U.	CANT.	PRECIO T.
PANEL RASTREADOR			
ACRILICO (4 mm.)	5.000,00	1	5.000,00
ACRILICO (6 mm.)	5.000,00	1	5.000,00
FOTORESISTENCIAS	858,00	6	5.148,00
MICROSWITCH	800,00	4	3.200,00
CABLE PLANO	3.500,00	1.5m.	5.250,00
VARIOS	5.000,00		5.000,00

SUBTOTAL 5 : 28.598,00

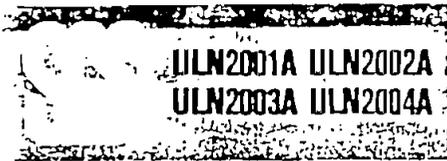
PRECIO TOTAL = Σ (SUBTOTAL N) ; N = 1, ..., 5

PRECIO TOTAL = \$ 323.129,10

No se ha incluido en el cuadro anterior los motores de pasos, ya que estos fueron obtenidos, como ya se dijo anteriormente, de un grupo de impresoras inservibles, razón por la que fue difícil conocer su valor comercial.

ANEXO B

*ESPECIFICACIONES DE LOS ELEMENTOS
USADOS*



ORIGINAL

LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

DARLINGTON ARRAYS

Ludwing Ochoa S.

- SEVEN DARLINGTONS PER PACKAGE
- OUTPUT CURRENT 500 mA PER DRIVER (600 mA peak)
- OUTPUT VOLTAGE 50V
- INTEGRAL SUPPRESSION DIODES FOR INDUCTIVE LOADS
- OUTPUTS CAN BE PARALLELED FOR HIGHER CURRENT
- TTL/CMOS/PMOS/DTL COMPATIBLE INPUTS
- INPUTS PINNED OPPOSITE OUTPUTS TO SIMPLIFY LAYOUT

ESQUEMA DE DISPOSICION

The ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A and ULN2004A are high voltage, high current darlington arrays each containing seven open collector darlington pairs with common emitters. Each channel rated at 500 mA and can withstand peak currents of 600 mA. Suppression diodes are included for inductive load driving and the inputs are pinned opposite the outputs to simplify board layout.

The four versions interface to all common logic families:

TABLE

ULN 2001A	General purpose, DTL, TTL, PMOS, CMOS
ULN 2002A	14-25V PMOS
ULN 2003A	5V TTL, CMOS
ULN 2004A	6 - 15V CMOS, PMOS

These versatile devices are useful for driving a wide range of loads including solenoids, relays DC motor LED displays, filament lamps, thermal printheads and high power buffers.

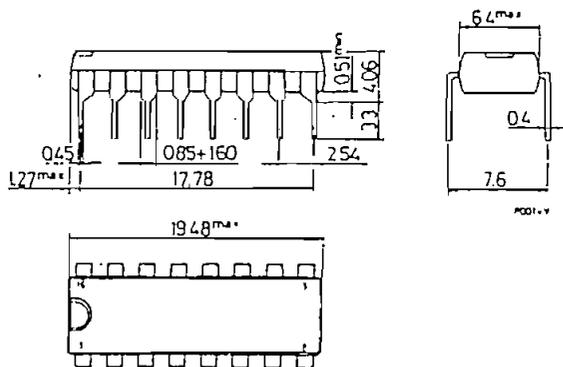
The ULN2001A/2002A/2003A and ULN2004A are supplied in 16 pin plastic DIP packages with copper leadframe to reduce thermal resistance.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

V_o	Output voltage	50
V_{in}	Input voltage (for ULN2002A/2003A/2004A)	30
I_c	Continuous collector current	500
I_b	Continuous base current	25
P_{tot}	Power dissipation at $T_{amb} = 25^\circ C$ (one Darlington pair) (total package)	1 2
T_{amb}	Operating ambient temperature range	-20 to + 85
T_{stg}	Storage temperature range	-55 to 150

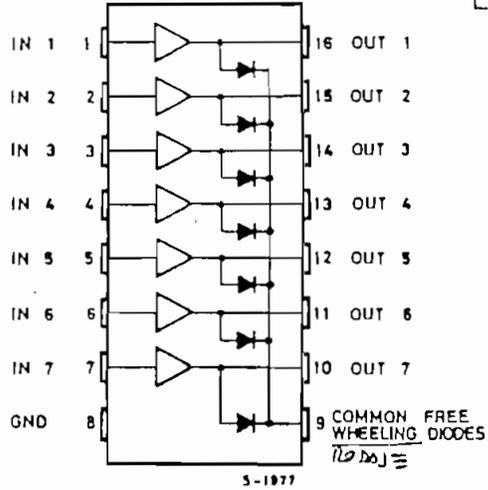
MECHANICAL DATA

Dimensions in mm



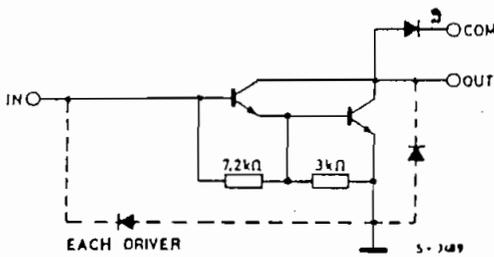
CONNECTION DIAGRAM

*THIS I.C.
IS
INVERTER.*

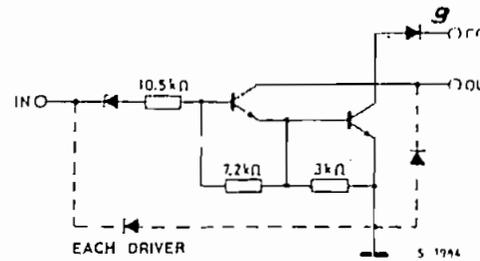


Ludwing Ochoa S.

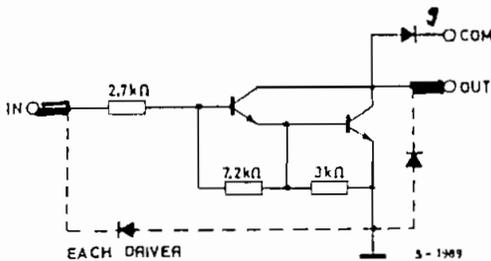
SCHEMATIC DIAGRAM



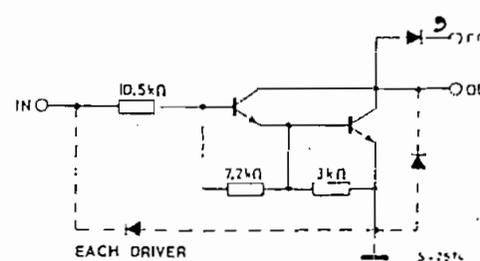
Series ULN-2001A
(each driver)



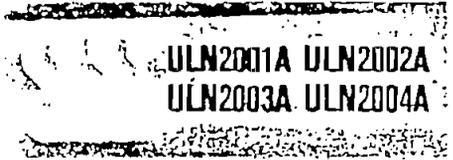
Series ULN-2002A
(each driver)



Series ULN-2003A
(each driver)



Series ULN-2004A
(each driver)



Ludwing Ochoa S.

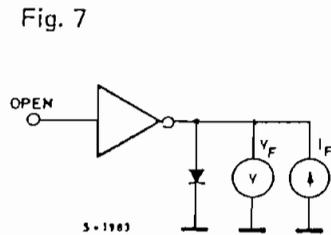
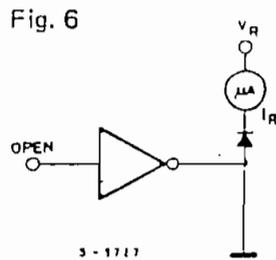
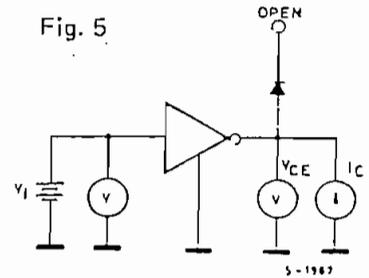
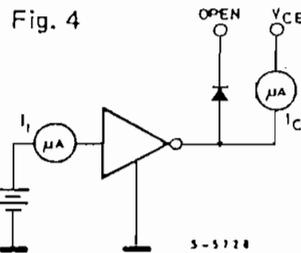
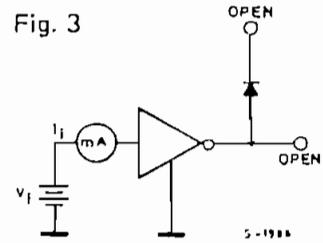
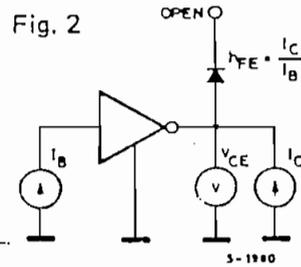
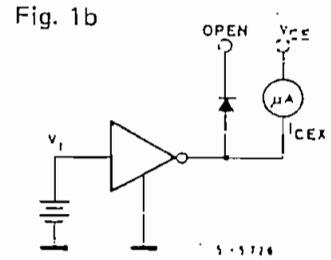
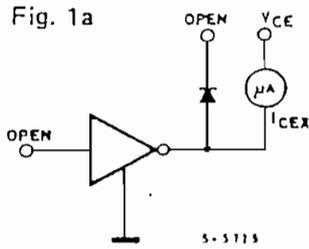
THERMAL DATA

$R_{th J-amb}$	Thermal resistance junction-ambient	max	70	$^{\circ}C/W$
----------------	-------------------------------------	-----	----	---------------

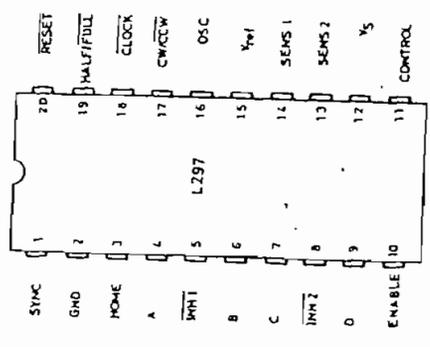
ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{amb} = 25^{\circ}C$ unless otherwise specified)

Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	Fig.
I_{CEX} Output leakage current <i>Peralida</i>	$V_{CE} = 50V$ $T_{amb} = 70^{\circ}C$ $T_{amb} = 70^{\circ}C$ for ULN2002A $V_{CE} = 50V$ $V_I = 6V$ for ULN2004A $V_I = 1V$ $V_{CE} = 50V$			50 100 500 500	μA μA μA μA	11 11 11 11
$V_{CE(sat)}$ Collector-emitter saturation voltage	$I_C = 100mA$ $I_B = 250 \mu A$ $I_C = 200mA$ $I_B = 350 \mu A$ $I_C = 350mA$ $I_B = 500 \mu A$		0.9 1.1 1.3	1.1 1.3 1.6	V V V	2 2 2
$I_{I(on)}$ Input current	for ULN2002A $V_I = 17V$ for ULN2003A $V_I = 3.85V$ for ULN2004A $V_I = 5V$ $V_I = 12V$		0.82 0.93 0.35 1	1.25 1.35 0.5 1.45	mA mA mA mA	3 3 3 3
$I_{I(off)}$ Input current	$T_{amb} = 70^{\circ}C$ $I_C = 500 \mu A$	50	65		μA	4
$V_{I(on)}$ Input voltage	for ULN2002A $V_{CE} = 2V$ $I_C = 300 mA$ for ULN2003A $V_{CE} = 2V$ $I_C = 200 mA$ $V_{CE} = 2V$ $I_C = 250 mA$ $V_{CE} = 2V$ $I_C = 300 mA$ for ULN2004A $V_{CE} = 2V$ $I_C = 125 mA$ $V_{CE} = 2V$ $I_C = 200 mA$ $V_{CE} = 2V$ $I_C = 275 mA$ $V_{CE} = 2V$ $I_C = 350 mA$			13 2.4 2.7 3 5 6 7 8	V V V V V V V V	5 5 5 5 5 5 5 5
h_{FE} DC forward current gain	for ULN2001A $V_{CE} = 2V$ $I_C = 350 mA$	1000				7
C_I Input capacitance			15	25	nF	
t_{PLH} Turn-on delay time	$0.5 V_I$ to $0.5 V_O$		0.25	1	μs	
t_{PHL} Turn-off delay time	$0.5 V_I$ to $0.5 V_O$		0.25	1	μs	
I_R Clamp diode leakage current	$V_R = 50V$ $T_{amb} = 70^{\circ}C$ $V_R = 50V$			50 100	μA μA	6 6
V_F Clamp diode forward voltage <i>impalce</i>	$I_F = 350 mA$		1.7	2	V	7

TEST CIRCUITS

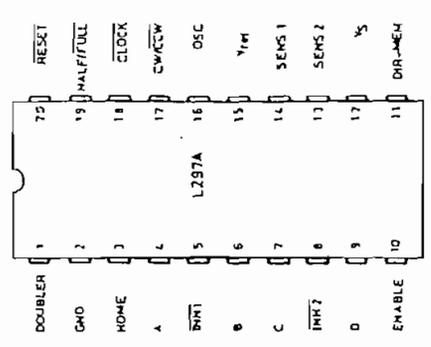


CONNECTION DIAGRAM



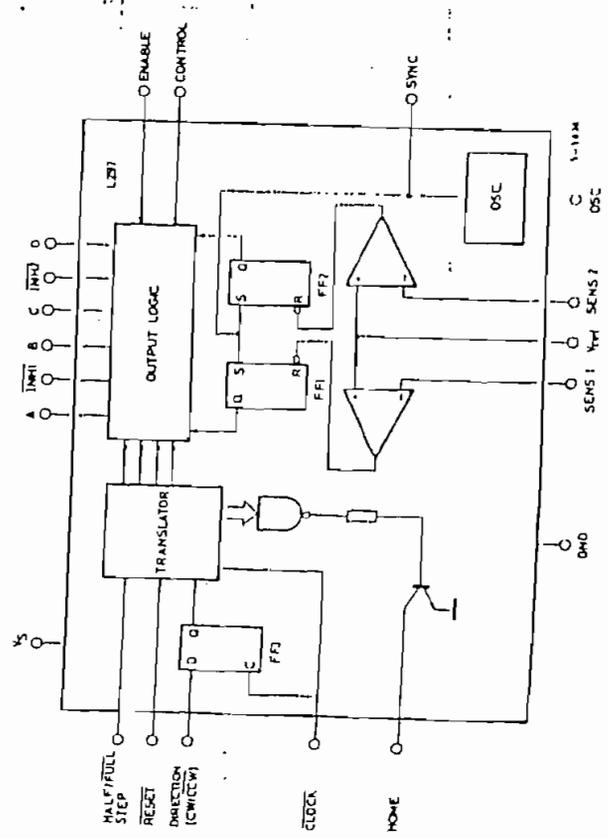
3-1429

CONNECTION DIAGRAM

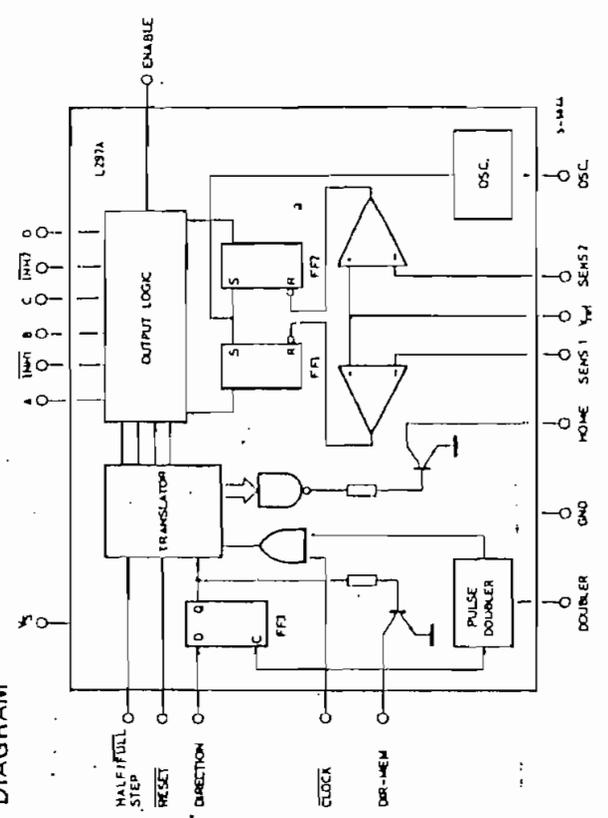


3-1430

BLOCK DIAGRAM



BLOCK DIAGRAM



THERMAL DATA

Pin -1mm Thermal resistance junction-ambient

PIN FUNCTIONS - L297

No	NAME	FUNCTION
1	SYNC	Output of the on-chip chopper oscillator. The SYNC connections of all L297s to be synchronized are connected together and the oscillator components are omitted on all but one. If an external clock source is used it is injected at this terminal.
2	GND	Ground connection.
3	HOME	Open collector output that indicates when the L297 is in its initial state (ABCD = 0101). The transistor is open when this signal is active.
4	A	Motor phase A drive signal for power stage.
5	INH1	Active low inhibit control for driver stages of A and B phases. When a bipolar bridge is used this signal can be used to ensure fast decay of load current when a winding is de-energized. Also used by chopper to regulate load current if CONTROL input is low.
6	B	Motor phase B drive signal for power stage.
7	C	Motor phase C drive signal for power stage.
8	INH2	Active low inhibit control for drive stages of C and D phases. Same functions as INH1.
9	D	Motor phase D drive signal for power stage.
10	ENABLE	Chip enable input. When low (inactive) INH1, INH2, A, B, C and D are brought low.
11	CONTROL	Control input that defines action of chopper. When low chopper acts on INH1 and INH2 when high chopper acts on phase lines ABCD.
12	V _S	5V supply input.
13	SENS ₂	Input for load current sense voltage from power stages of phases C and D.

PIN FUNCTIONS - L297 (continued)

No	NAME	FUNCTION
14	SENS ₁	Input for load current sense voltage from power stages of phases A and B.
15	V _{REF}	Reference voltage for chopper circuit. A voltage applied to this pin determines the peak load current.
16	OSC	An RC network (R to V _{CC} , C to ground) connected to this terminal determines the chopper rate. This term is connected to ground on all but one device in synchronized multi-L297 configurations. $f \approx 1/0.69 RC$ $R > 10 k\Omega$
17	CW/CCW	Clockwise/counterclockwise direction control. Physical direction of motor rotation also depends on connection of windings. Synchronized internally therefore direction can be changed at any time.
18	CLOCK	Step clock. An active low pulse on this input advances the motor one increment. The step occurs on the rising edge of this signal.
19	HALF/FULL	Half/full step select input. When high selects half step operation; when low selects full step operation. One phase-on full step mode is obtained by selecting FU when the L297's translator is at an even-numbered state. Two-phase-on full step mode is set by selecting FU when the translator is at an odd numbered position. (The home position is designated state 1).
20	RESET	Reset input. An active low pulse on this input restores the translator to the home position (state 1, ABCDCD = 0101).

PIN FUNCTIONS - L297A

Pin function of the L297A are identical to those of the L297 except for pins 1 and 11.

N°	NAME	FUNCTIONS
1	DOUBLER	An RC network connected to this pin determines the delay between an input clock pulse and the corresponding ghost pulse.
11	DIR-MEM	Direction Memory. Inverted output of the direction flip flop. Open collector output.

CIRCUIT OPERATION

The L297(A) is intended for use with a dual bridge driver, quad darlington array or discrete power devices in step motor driving applications. It receives step clock, direction and mode signals from the systems controller (usually a microcomputer chip) and generates control signals for the power stage.

The principal functions are a translator, which generates the motor phase sequences, and a dual PWM chopper circuit which regulates the current in the motor windings. The translator generates three different sequences, selected by the HALF/FULL input. These are normal (two phases energised), wave drive (one phase energised) and half-step (alternately one phase energised/two phases energised). Two inhibit signals are also generated by the L297 in half step and wave drive modes. These signals, which connect directly to the L298's enable inputs, are intended to speed current decay when a winding is de-energised. When the L297 is used to drive a unipolar motor the chopper acts on these lines.

An input called CONTROL determines whether the chopper will act on the phase lines ABCD or the inhibit lines INH1 and INH2. When the phase lines are chopped the non-active phase line of each pair (AB or CD) is activated (rather than interrupting the line then active). In L297 + L298 configurations this technique reduces dissipation in the load current sense resistors.

A common on-chip oscillator drives the dual chopper. It supplies pulses at the chopper rate which set the two flip-flops FF1 and FF2. When the current in a winding reaches the programmed peak value the voltage across the sense resistor (connected to one of the sense inputs SENS₁ or SENS₂ equals V_{ref} and the corresponding comparator resets its flip flop, interrupting the drive current until the next oscillator pulse arrives. The peak current for both windings is programmed by a voltage divider on the V_{ref} input.

Ground noise problems in multiple configurations can be avoided by synchronising the chopper oscillators. This is done by connecting all the SYNC pins together, mounting the oscillator RC network on one device only and grounding the OSC pin on all other devices.

The L297A includes a pulse doubler on the step clock line which is intended to simplify the implementation of multiple stepping. A ghost pulse is generated automatically after each input pulse, delayed by the time 0.75 R_D C_D.

The RC network should be dimensioned to place the ghost pulse roughly halfway between clock pulses. If pin 1 (DOUBLER) is grounded the accuracy function is disabled.

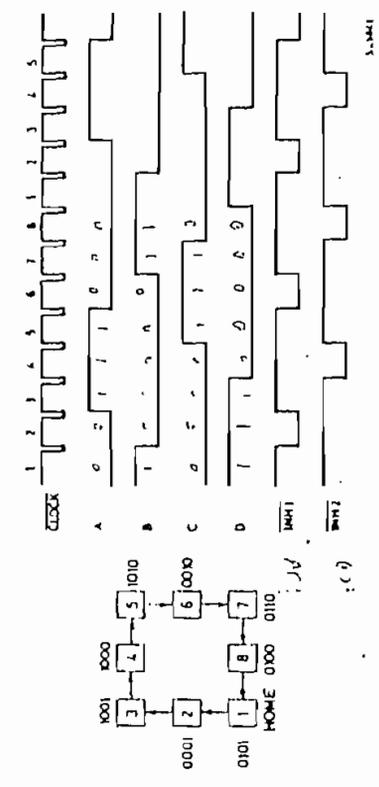
MOTOR DRIVING PHASE SEQUENCES

The L297's translator generates phase sequences for normal drive, wave drive and half step modes. state sequences and output waveforms for these three modes are shown below. In all cases the translator advances on the low to high transition of CLOCK.

Clockwise rotation is indicated; for anticlockwise rotation the sequences are simply reversed. RE restores the translator to state 1, where ABCD = 0101.

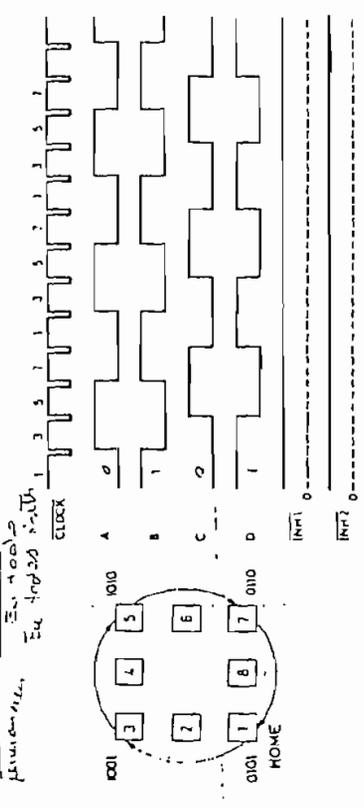
Half step mode

Half step mode is selected by a high level on the HALF/FULL input.



Normal drive mode

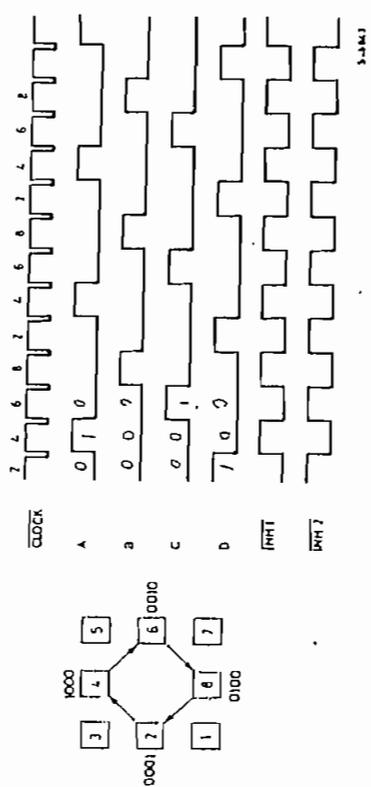
Normal drive mode (also called "two-phase-on" drive) is selected by a low level on the HALF/FULL input when the translator is at an odd numbered state (1, 3, 5 or 7). In this mode the INH1 and INH2 outputs remain high throughout.



MOTOR DRIVING PHASE SEQUENCES (continued)

Wave drive mode

Wave drive mode (also called "one-phase-on" drive) is selected by a low level on the HALF/FULL input when the translator is at an even numbered state (2, 4, 6 or 8).



ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

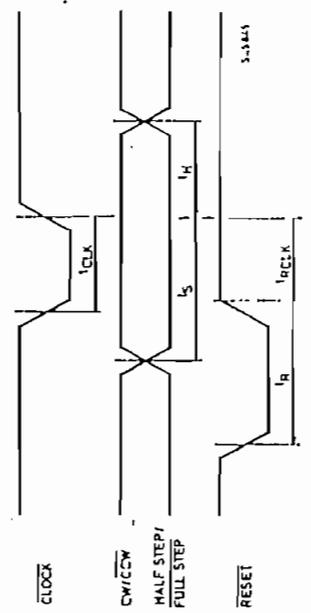
Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_o	Phase output voltage (pins 4, 6, 7, 9)			0.4	V
	$I_o = 15 \text{ mA}$	3.9			V
V_{inh}	Inhibit output voltage (pins 5, 8)			0.4	V
	$I_{inh} = 15 \text{ mA}$	3.9			V
I_{leak}	Leakage current (pins 3, 11 *)			1	μA
	$V_{CE} = 7\text{V}$				
V_{sat}	Saturation voltage (pins 3, 11 *)			0.4	V
	$I = 5 \text{ mA}$				
V_{off}	Comparators offset voltage (pins 13, 14, 15)			5	mV
	$V_{ref} = 1\text{V}$				
I_b	Comparator bias current (pins 13, 14, 15)			10	μA
V_{ref}	Input reference voltage (pin 15)	-100		3	V
		0			
t_{CLK}	Clock time	0.5			μs
t_s	Set up time	1			μs
t_h	Hold time	1			μs
t_R	Reset time	1			μs
t_{RCLK}	Reset to clock delay	1			μs

* L297A only.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Refer to the block diagram $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$, $V_i = 5\text{V}$ unless otherwise specified)

Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_s	Supply voltage (pin 12)	4.75		7	V
I_s	Quiescent supply current (pin 12)		50		mA
V_i	Input voltage (pins 11, 17, 18, 19, 20)	Low		0.8	V
		High	2	V_s	V
I_i	Input current (pin 11, 17, 18, 19, 20)	$V_i = L$		-100	μA
		$V_i = H$		10	μA
V_{en}	Enable input voltage (pin 10)	Low		1.5	V
		High	2	V_i	V
I_{en}	Enable input current (pin 10)	$V_{en} = L$		-100	μA
		$V_{en} = H$		10	μA

Fig. 1



LUDWING OCHOA S.

8751H/Am9761H

Single-Chip 8-Bit Microcomputer with
4K/8K Bytes of EPROM Program Memory



8751H/Am9761H

Advanced Micro Devices

December 1984

DISTINCTIVE CHARACTERISTICS

- 4K x 8 EPROM (8751H)
- 8K x 8 EPROM (Am9761H)
- 128 x 8 RAM
- Four 8-bit ports, 32 I/O lines
- Two 16-bit timer/event counters
- 64K addressable program memory
- 64K addressable data memory
- Boolean processor
- Programmable serial port
- 5 interrupt sources/2 priority levels
- 4 cycle multiply and divide
- Program memory security feature
- Supports fast adaptive EPROM programming
- Supports silicon signature verification

GENERAL DESCRIPTION

The 8751H/Am9761H are members of a family of advanced single-chip microcomputers. Both the 8751H, which has 4K-bytes of EPROM, and the Am9761H, which has 8K-bytes of EPROM, are direct pin-compatible EPROM versions of the 8051AH. Thus, the 8751H/Am9761H are full-speed prototyping tools which provide effective single-chip solutions for highly sensitive controller applications that require code modification flexibility. Refer to Figure 1, which is a block diagram of the 8051 family.

The 12MHz 8751H/Am9761H devices feature: 32 I/O lines; two 16-bit timer/event counters; a Boolean processor; a 5-source, bi-level interrupt structure; a full-duplex serial channel; and, on-chip oscillator and clock circuitry.

Program and data memory are located in independent addresses. The AMD family of microcontrollers can access up

to 64K bytes of external Program Memory and up to 64K bytes of external Data Memory. The 8751H and the Am9761H contain the lower 4K- and 8K-bytes of program memory, respectively, on the chip. Both parts have 128 bytes of on-chip read/write data memory.

The AMD 8051 microcontroller family is specifically suited for control applications. A variety of fast addressing modes, which access the internal RAM, facilitates byte processing and numerical operations on small data structures. Included in the instruction set is a menu of 8-bit arithmetic instructions, including 4-cycle multiply and divide instructions.

Extensive on-chip support enables direct bit manipulation and testing of one-bit variables as separate data types. Thus, the device is also suited for control and logic systems that require Boolean processing.

BLOCK DIAGRAM

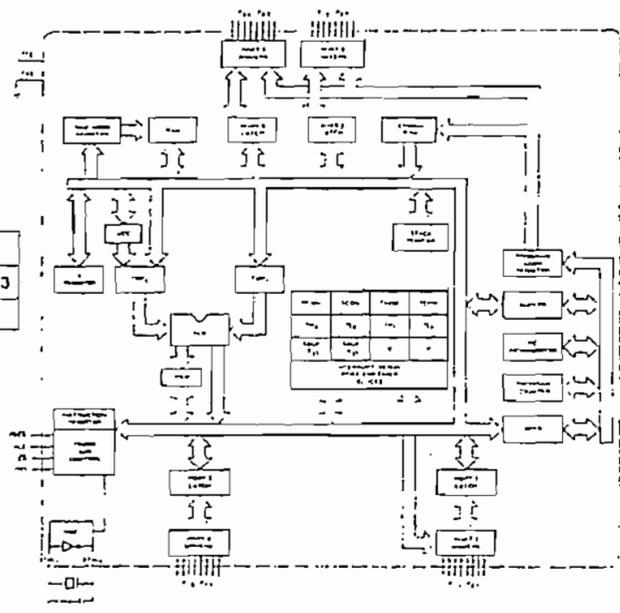


TABLE 1. 8751H/Am9761H PERFORMANCE

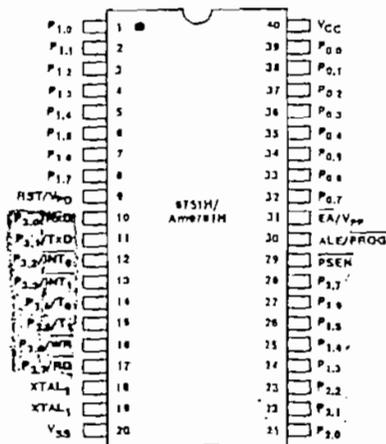
Clock Frequency		Max UART Baud Rate	
Min	Max	Mode 2	Modes 1, 3
1.2MHz	12MHz	375K	62.5K

Ludwing Ochoa S.

03196A-1

Order # 03896A

Figure 2. 8751H/Am9761H Connection Diagram



Ludwing Ochoa S.

Note: Pin 1 is marked for orientation.

03696A-2

ORDERING INFORMATION

8751H/Am9761H D C B

Screening Option
Blank - Standard Processing
B - Burn-in

Temperature (see Operating Range)
C - Commercial (0 to +70°C)

Package
D - 40-Pin CERDIP

Device Type
Single-Chip 8-Bit Microcomputer

Valid Combinations

D8751H
Am9761HDC

PIN DESCRIPTIONS

Ludwing Ochoa S.

- V_{CC}** Supply voltage.
- V_{SS}** Circuit ground.
- Port 0** Port 0 is an 8-bit open drain bidirectional I/O port. When used as an output port each of the pins can sink 8 LS TTL Inputs. Port 0 pins can be used as high-impedance inputs when placed in the float state by writing 1's to them. Port 0 also serves as the multiplexed low-order address and data bus when accessing external Program and Data Memory. As such, it can source and sink 8 LS TTL Inputs. Additionally, instruction bytes are input through the port during EPROM programming and output during program verification. External pullups are required during program verification.
- Port 1** Port 1 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The pins can be used as inputs when written with 1's because they are internally pulled high. In this mode they can actually source current due to the pullups (see I_L in DC Characteristics). The port also receives the low-order address bytes during EPROM programming and program verification. Port 1 can sink/source 4 LS TTL inputs.
- Port 2** Port 2 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. It outputs the high-order address byte when reading from external Program and Data Memory. It also receives the high-order address bits and mode control bits during EPROM programming and program verification. The port 2 output buffers can sink/source 4 LS TTL inputs.
- Port 3** Port 3 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The pins can sink/source 4 LS TTL inputs. Port 3 pins can be used as inputs when 1's are written to them since the internal pullups pull them high. In this state, port 3 pins can source current when pulled low externally. In addition, port 3 supports the functions of various special features of the AMD 8051 family. These alternate functions are detailed below:

Port Pin	Alternate Function
P _{3.0}	RxD (serial input port)
P _{3.1}	TxD (serial output port)
P _{3.2}	INT ₀ (external interrupt 0)
P _{3.3}	INT ₁ (external interrupt 1)
P _{3.4}	T ₀ (Timer 0 external input)
P _{3.5}	T ₁ (Timer 1 external input)
P _{3.6}	WR (external data memory write strobe)
P _{3.7}	RD (external data memory read strobe)

RST/V_{PD} This pin is used to reset the device when held high for two machine cycles while the oscillator

is running. If RST/V_{PD} is held within the V_{PD} spec, it will supply standby power to the RAM. In the event that V_{CC} drops below its spec. When RST/V_{PD} is low, the RAM's bias is drawn from V_{CC}. A small internal register permits power-on reset using a capacitor connected to V_{CC}.

ALE/PROG Address Latch Enable output pulse latches the low byte of the address when accessing external memory. ALE pulses are emitted constantly at 1/6 the oscillator frequency except during external Data Memory access when one pulse is skipped. ALE can sink/source 8 LS TTL inputs. The pin also accepts the program pulse input (PROG) when programming the EPROM.

PSEN Program Store Enable is the read strobe to external Program Memory. PSEN is activated twice each machine cycle during execution from external Program Memory. In this mode, two PSEN activations are skipped during each access to external Data Memory (during a MOVX instruction). PSEN is able to source/sink 8 LS TTL inputs.

E_A/V_{PP} The 8751H executes out of internal Program Memory locations 0000H to 0FFFH when External Access enable (E_A) is held high. The Am9761H executes out of internal Program Memory locations 0000H to 1FFFH when E_A is held high. E_A must be externally held low to enable the device (8751H, Am9761H) to retrieve code from the above mentioned external memory address ranges. This pin also receives the 21V programming supply voltage V_{PP} during programming of the EPROM.

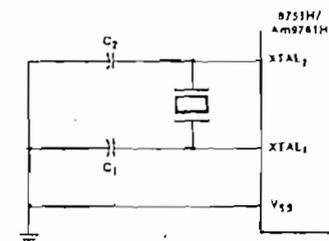
XTAL₁ Input to the inverting oscillator amplifier. When an external oscillator is used, XTAL₁ should be grounded.

XTAL₂ Output of the inverting oscillator amplifier. XTAL₂ is also the input for the oscillator signal when using an external oscillator.

OSCILLATOR CHARACTERISTICS

An on-chip oscillator may be produced by configuring XTAL₁ and XTAL₂ as shown in Figure 3. Either a ceramic resonator or quartz crystal may be used.

Figure 3. Oscillator Connections

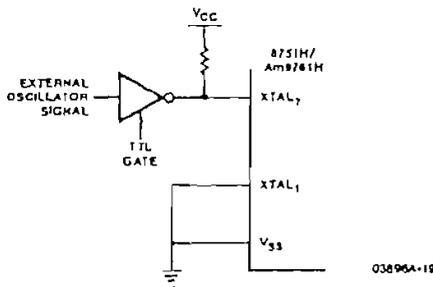


C₁, C₂ = 30pf - 100pf FOR CRYSTALS
= 100pf - 100pf FOR CERAMIC RESONATORS

1988A-10

When using an external clock signal, XTAL₁ should be grounded while XTAL₂ is driven as shown in Figure 4. Since the external clock signal is filtered by a divide-by-two flip-flop, no requirements need be imposed on the duty cycle of the external clock. Nonetheless, the minimum and maximum high and low times specified in the data sheet must be observed.

Figure 4. External Drive Configuration



PROGRAMMING THE EPROM

To program the EPROM, either the internal or external oscillator must be running at 4 to 6MHz since the internal bus is used to transfer address and program data to the appropriate internal registers.

The 8751H/Am9761H devices support an adaptive EPROM programming algorithm in addition to the conventional EPROM programming algorithm. Adaptive device programming (sometimes called interactive or intelligent programming) adapts to the actual charge storage efficiency of each byte so that no wasted programming time occurs and minimum device programming time is realized. The typical resulting device programming time is

a mere 7% of what is required for a conventional programming algorithm. For example, to program a 4K EPROM similar to the one inside the 8751H using the conventional programming algorithm will require 4K x 50 msec = 200 sec. If adaptive programming is used, the typical programming time required will be 4K x 3 msec = 12 sec. The speed advantage of the adaptive programming is still very significant even allowing for the additional software overhead to implement the adaptive algorithm (2 to 8 sec depending on the brand of EPROM programmer).

To program the 8751H, pins P_{2,4}-P_{2,6} and PSEN should be held low, and P_{2,7} and RST held high as shown in Table 2a. The address of the location to be programmed is applied to Port 1 and P_{2,0}-P_{2,3} while the code byte to be programmed is applied to Port 0 (see Figure 5a).

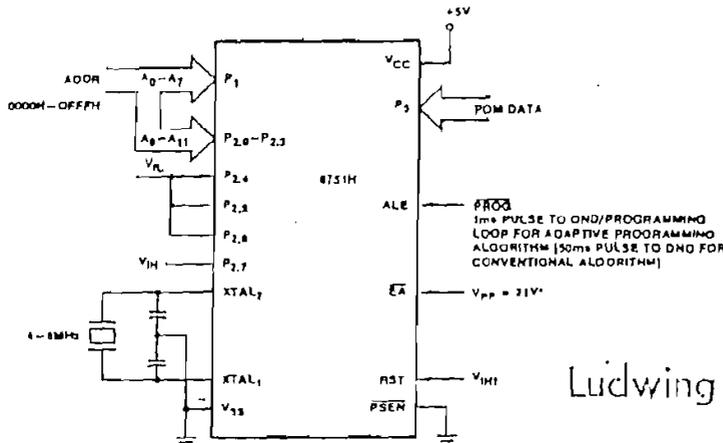
V_{pp} should be at 21V during device programming and the ALE/PROG pin should be pulsed low for 1 msec to program the code byte into the addressed EPROM location. The programmed byte is verified immediately after programming.

Figure 5c illustrates the flow of the adaptive programming algorithm. At each address, up to 15 program/verify loops are attempted to verify the programmability of the byte using 1 msec PROG pulses. After the programmability of a byte is determined, an overprogramming pulse of 2 msec is applied to PROG to guarantee data retention. (This conforms with the AMD standard of 2 msec/byte overprogramming for all N-channel EPROMs.)

The programming of Am9761H is similar to the above procedures except that pin P_{2,4} is the additional address pin (A₁₂) for accessing the upper 4K bytes of the EPROM (see Figure 5b).

The 8751H/Am9761H can also be programmed using the less efficient conventional EPROM programming algorithm. In this method, V_{pp} is held at 21V and PROG is pulsed low for 50 msec to program each code byte into the addressed EPROM location. After the memory is programmed, all addresses would be sequenced and verified.

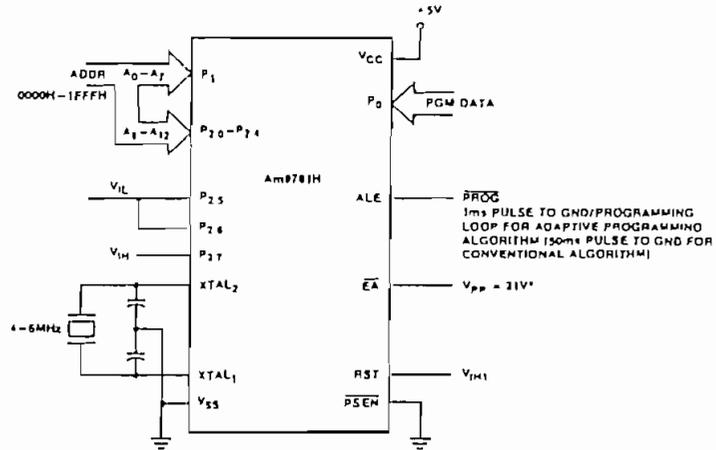
Figure 5a. 8751H Programming Configuration



Ludwing Ochoa S.

*When programming, a 0.1 x 10⁻⁶F capacitor is required across V_{pp} and ground to suppress spurious transients which may damage the device.

Figure 5b. Am9761H Programming Configuration



*When programming, a $0.1 \times 10^{-6}F$ capacitor is required across V_{pp} and ground to suppress spurious transients which may damage the device.

03896A-4

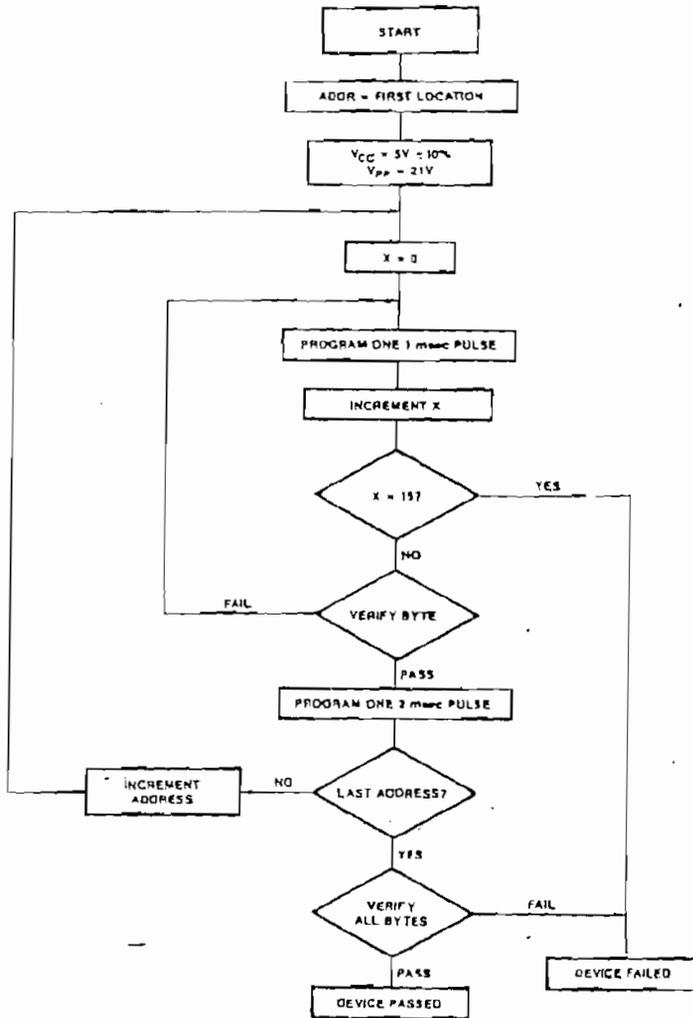
A Note of Caution when Programming

The maximum voltage applied to the \overline{EA}/V_{pp} pin must not exceed 21.5V at any time as specified for V_{pp} . Even a slight spike can cause permanent damage to the device. The V_{pp} source should thus be well regulated and glitch-free.

When programming, a $0.1 \times 10^{-6}F$ capacitor is required across V_{pp} and ground to suppress spurious transients which may damage the device.

Ludwing Ochoa S.

Figure 5c. Adaptive Programming Algorithm for 8751H/Am9761H



Ludwing Ochoa S.

PROGRAM VERIFICATION

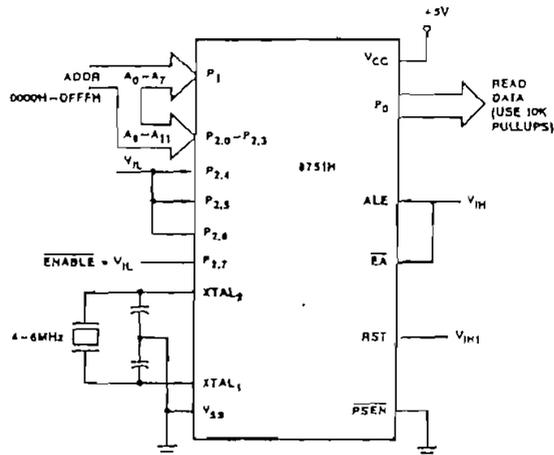
The Program Memory may be read out for verification purposes when the security bit has not been programmed. Reading the Program Memory may occur during or after programming of the EPROM. When the oscillator is running at 4-6MHz, the 8751H Program Memory address location to be read is applied to Port 1 and pins P_{2,0}-P_{2,3} of Port 2. Pins P_{2,4}-P_{2,6} and $\overline{\text{PSEN}}$ are held at TTL low (see Figure 6a). The Am9761H utilizes Port 1 and pins P_{2,0}-P_{2,4} to address the EPROM, while P_{2,5}-P_{2,6} and $\overline{\text{PSEN}}$ are held low (see Figure 6b).

The ALE/PROG and RST pins of both devices are held high (RST requires only 2.5V for high) and the EA/V_{PP} pin voltage can have any value from 2.0V to 21.5V as shown in Tables 2a and 2b.

Port 0 will then output the contents of the address location. External pullups are needed on Port 0 when verifying the 8751H and Am9761H EPROM.

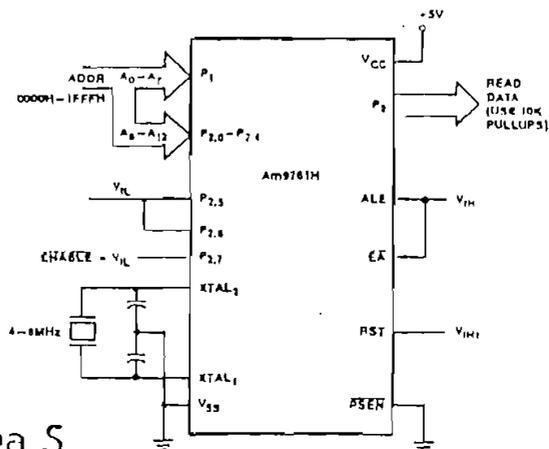
Note: Since V_{PP} can be held at 21V during program verification, the V_{PP} pin can be connected to a static 21V power supply for device programming and verification in the adaptive device programming technique (see Figures 7a and 7b).

Figure 6a. 8751H Conventional Program Verification



Q3694A-6

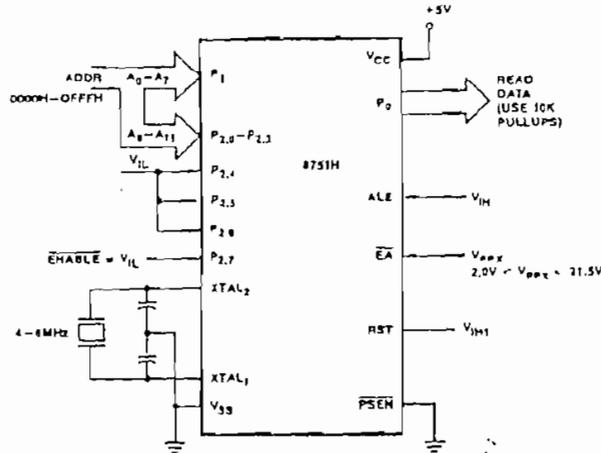
Figure 6b. Am9761H Conventional Program Verification



Ludwing Octioa S.

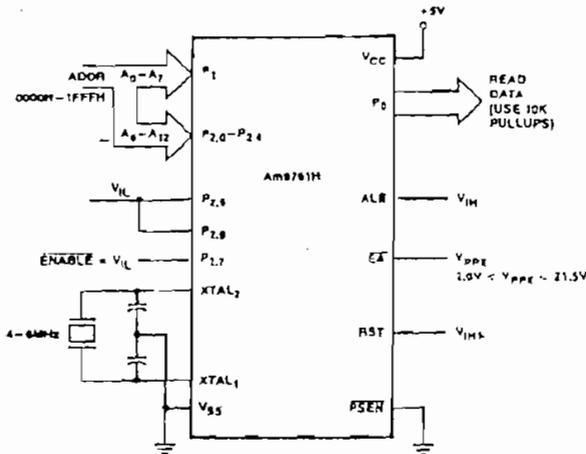
Q3694A-7

Figure 7a. 8751H Adaptive Program Verification



23896A-8

Figure 7b. Am9761H Adaptive Program Verification



03896A-8

Ludwing Ochoa S.

SECURITY OF THE EPROM

The 8751H/Am9761H incorporates a security bit, which when activated, prohibits all external readout of the on-chip EPROM contents. Figure 8 illustrates the security bit programming configuration for both the 8751H and Am9761H. To activate the security bit, the same setup is used as when programming the EPROM except that P_{2.6} is held high. Port 0, Port 1 and pins P_{2.0}-P_{2.3} may assume any state. V_{pp} should be at 21V and the ALE/PROG pin should be pulsed low for 50 msec. The logic states of the other pins are detailed in Tables 2a and 2b.

With the EPROM security bit programmed, retrieval of internal Program Memory cannot be achieved.

A secured program memory looks like a blank array of all ones and this property can be used to verify that the EPROM is secured. The programmed security bit also prohibits further device programming and the execution of external program memory.

Full functionality and programmability may be restored by erasing the EPROM and thus cleaning the security bit.

EPROM CHARACTERISTICS

TABLE 2a. EPROM PROGRAMMING MODES FOR THE 8751H

Mode	RST	PSEN	ALE	EA	P _{2,7}	P _{2,6}	P _{2,5}	P _{2,4}
Program	V _{IH1}	L	L*	V _{pp}	H	L	L	L
Inhibit	V _{IH1}	L	H	X	H	L	L	L
Verify	V _{IH1}	L	H	V _{ppX}	L	L	L	L
Security Set	V _{IH1}	L	L†	V _{pp}	H	H	L	X

Note: "H" = logic high for that pin
 "L" = logic low for that pin
 "X" = "don't care"
 "V_{pp}" = +21V ± 0.5V
 2.0V < "V_{ppX}" < 21.5V

*ALE is pulsed low for 1 msec in the programming loop of the adaptive programming algorithm and is pulsed low for 50 msec if conventional EPROM programming algorithm is used.

†ALE is pulsed low for 50 msec.

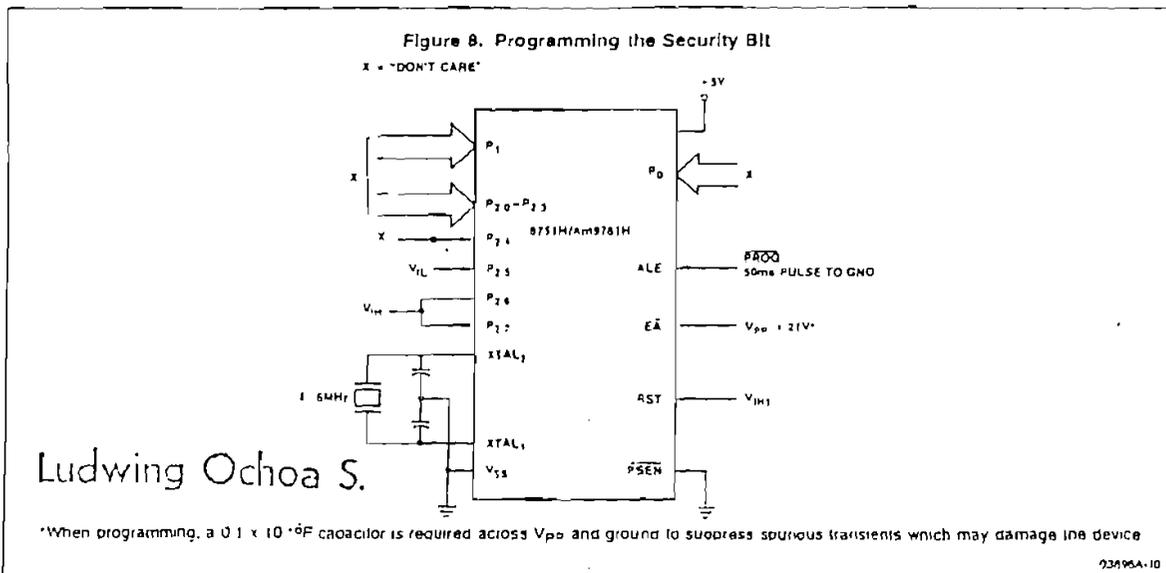
TABLE 2b. EPROM PROGRAMMING MODES FOR THE Am9761H

Mode	RST	PSEN	ALE	EA	P _{2,7}	P _{2,6}	P _{2,5}
Program	V _{IH1}	L	L*	V _{pp}	H	L	L
Inhibit	V _{IH1}	L	H	X	H	L	L
Verify	V _{IH1}	L	H	V _{ppX}	L	L	L
Security Set	V _{IH1}	L	L†	V _{pp}	H	H	L

Note: "H" = logic high for that pin
 "L" = logic low for that pin
 "X" = "don't care"
 "V_{pp}" = +21V ± 0.5V
 2.0V < "V_{ppX}" < 21.5V

*ALE is pulsed low for 1 msec in the programming loop of the adaptive programming algorithm and is pulsed low for 50 msec if conventional EPROM programming algorithm is used.

†ALE is pulsed low for 50 msec.



SILICON SIGNATURE VERIFICATION

AMD will support silicon signature verification for the 8751H/Am9761H. To ensure that the device can be programmed according to the adaptive EPROM programming algorithm, the manufacturer code and part code can be read from the device before any programming is done.

To read the silicon signature, set up the conditions as specified in Figures 9a and 9b. Note that P_{2,5} is now required to be a TTL high level. Read the first byte of the silicon signature by applying address 0000H to the device; the byte should be a 01H indicating AMD as the manufacturer. Then read the second byte of the silicon signature by applying address 0001H to the device; the byte should be 0DH indicating the AMD 8751H/Am9761H product family.

ERASURE CHARACTERISTICS

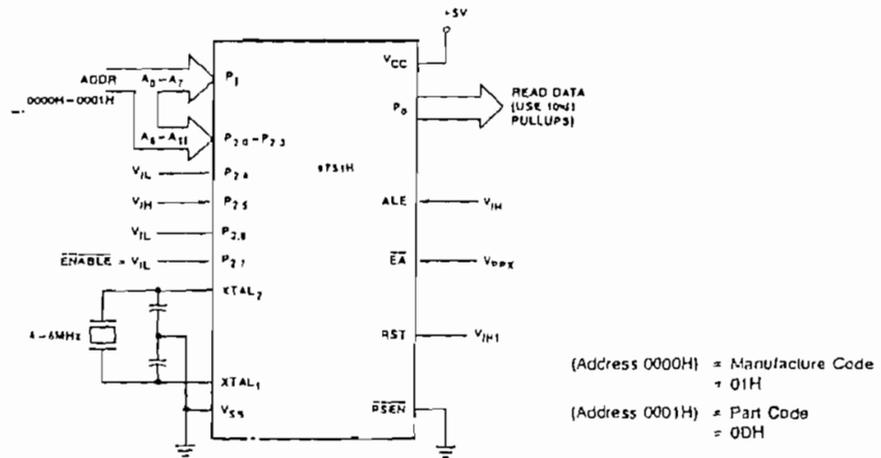
Light and other forms of electromagnetic radiation can lead to erasure of the EPROM when exposed for extended periods of time.

Wavelengths of light shorter than 4000 angstroms, such as sunlight or indoor fluorescent lighting, can ultimately cause inadvertent erasure and should, therefore, not be allowed to expose the EPROM for lengthy durations (approximately one week in sunlight or three years in room-level fluorescent lighting). It is suggested that the window be covered with an opaque label if an application is likely to subject the device to this type of radiation.

It is recommended that ultraviolet light (of 2537 angstroms) be used to a dose of at least 15 W-sec/cm² when erasing the EPROM. An ultraviolet lamp rated at 12,000 uW/cm² held one inch away for 20-30 minutes should be sufficient.

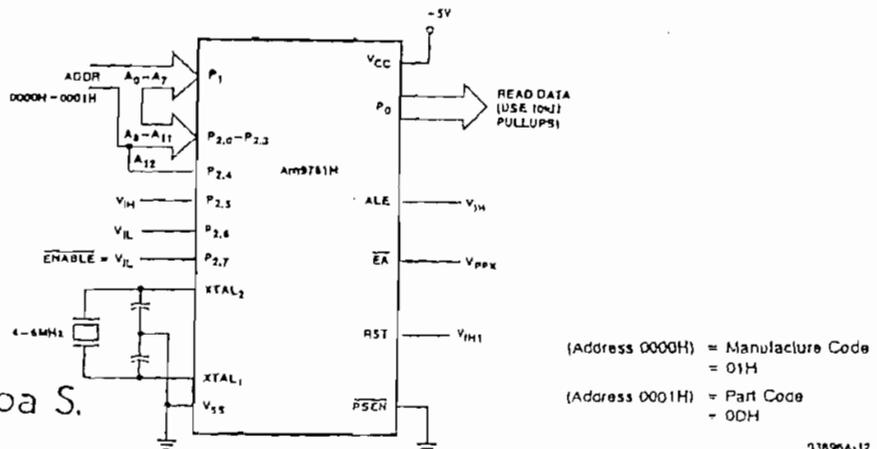
EPROM erasure leaves the Program Memory in an "all ones" state.

Figure 9a. 8751H Silicon Signature Verification Configuration



03896A-11

Figure 9b. Am9761H Silicon Signature Verification Configuration



03896A-17

Ludwing Ochoa S.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Ambient Temperature Under Bias 0 to +70°C
 Storage Temperature -65 to +150°C
 Voltage on EA/V_{PP} Pin to V_{SS} -0.5 to +21.5V
 Voltage on Any Other Pin to V_{SS} -0.5 to +7V
 Power Dissipation 2W

Stresses above those listed under ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS may cause permanent device failure. Functionality at or above these limits is not implied. Exposure to absolute maximum ratings for extended periods may affect device reliability.

DC CHARACTERISTICS Over Operating Range Unless Otherwise Specified

Parameter	Description	Test Conditions	Min	Max	Unit
V _{IL}	Input Low Voltage (Except \overline{EA})		-0.5	0.8	V
V _{IL1}	Input Low Voltage to \overline{EA}		-0.5	0.7	V
V _{IH}	Input High Voltage (Except XTAL ₂ , RST)		2.0	V _{CC} + 0.5	V
V _{IH1}	Input High Voltage to XTAL ₂ , RST	XTAL ₁ = V _{SS}	2.5	V _{CC} + 0.5	V
V _{OL}	Output Low Voltage (Ports 1, 2, 3) (See Note 1)	I _{OL} = 1.6mA		0.45	V
V _{OL1}	Output Low Voltage (Port 0, ALE, \overline{PSEN}) (See Note 1)	I _{OL} = 3.2mA I _{OL} = 2.4mA		0.60 0.45	V
V _{OH}	Output High Voltage (Ports 1, 2, 3)	I _{OH} = -80μA	2.4		V
V _{OH1}	Output High Voltage (Port 0 In External Bus Mode, ALE, \overline{PSEN})	I _{OH} = -400μA	2.4		V
I _{IL}	Logical 0 Input Current (Ports 1, 2, 3)	V _{IN} = 0.45V		-500	μA
I _{IL1}	Logical 0 Input Current (\overline{EA})	V _{IN} = 0.45V		-15	μA
I _{IL2}	Logical 0 Input Current (XTAL ₂)	V _{IN} = 0.45V		-3.2	mA
I _{LI}	Input Leakage Current (Port 0)	0.45 < V _{IN} < V _{CC}		±100	μA
I _{IH}	Logical 1 Input Current (\overline{EA})	V _{IN} = 2.4V		500	μA
I _{IH1}	Input Current to RST to Activate Reset	V _{IN} < (V _{CC} - 1.5V)		500	μA
I _{CC}	Power Supply Current	All Outputs Disconnected; EA = V _{CC}		250	mA
C _{IO}	Pin Capacitance	Test Freq = 1MHz		10	pF
I _{PD}	Power Down Current	V _{CC} = 0V, V _{PD} = 5V		10	mA

Note 1. Capacitive loading on Ports 0 and 2 may cause spurious noise pulses to be superimposed on the V_{OLs} of ALE and Ports 1 and 3. The noise is due to external bus capacitance discharging into the Port 0 and Port 2 pins when these pins make 1-to-0 transitions during bus operations. In the worst cases (capacitive loading ~ 100pF), the noise pulse on the ALE line may exceed 0.8V. In such cases it may be desirable to qualify ALE with a Schmitt Trigger, or use an address latch with a Schmitt Trigger STROBE input.

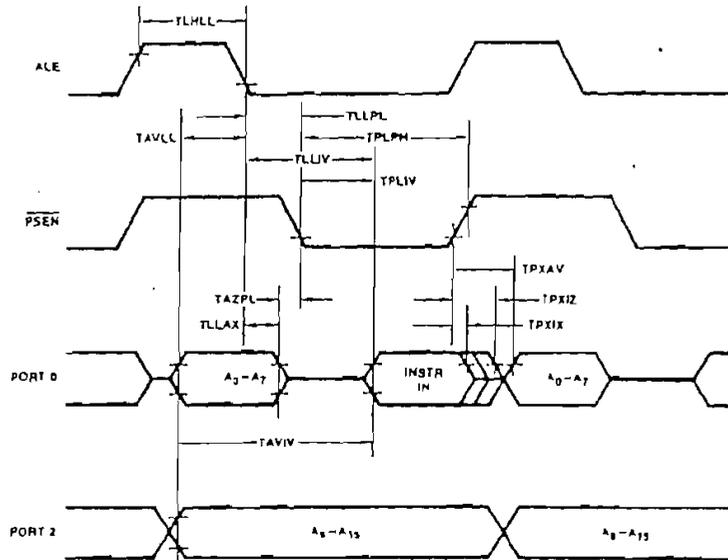
Ludwing Ochoa S.

AC CHARACTERISTICS Over Operating Range Unless Otherwise Specified, (Load Capacitance for Port 0, ALE, and $\overline{\text{PSEN}}$ = 100pF, Load Capacitance for All Other Outputs = 80pF)

EXTERNAL PROGRAM MEMORY CHARACTERISTICS

Parameter	Description	12MHz Osc		Variable Oscillator		Unit
		Min	Max	Min	Max	
1/TCLCL	Oscillator Frequency 8751H/Am9761H			1.2	12	MHz
TLHLL	ALE Pulse Width	127		2TCLCL - 40		ns
TAVLL	Address Valid to ALE Low	43		TCLCL - 40		ns
TLLAX	Address Hold After ALE Low	48		TCLCL - 35		ns
TLLIV	ALE Low to Valid Instr In		183		4TCLCL - 150	ns
TLLPL	ALE Low to $\overline{\text{PSEN}}$ Low	58		TCLCL - 25		ns
TPLPH	$\overline{\text{PSEN}}$ Pulse Width	190		3TCLCL - 60		ns
TPLIV	$\overline{\text{PSEN}}$ Low to Valid Instr In		100		3TCLCL - 150	ns
TPXIX	Input Instr Hold After $\overline{\text{PSEN}}$	0		0		ns
TPXIZ	Input Instr Float After $\overline{\text{PSEN}}$		63		TCLCL - 20	ns
TPXAV	$\overline{\text{PSEN}}$ to Address Valid	75		TCLCL - 8		ns
TAVIV	Address to Valid Instr In		267		5TCLCL - 150	ns
TAZPL	Addr Float to $\overline{\text{PSEN}}$ Low	0		0		ns

EXTERNAL PROGRAM MEMORY READ CYCLE

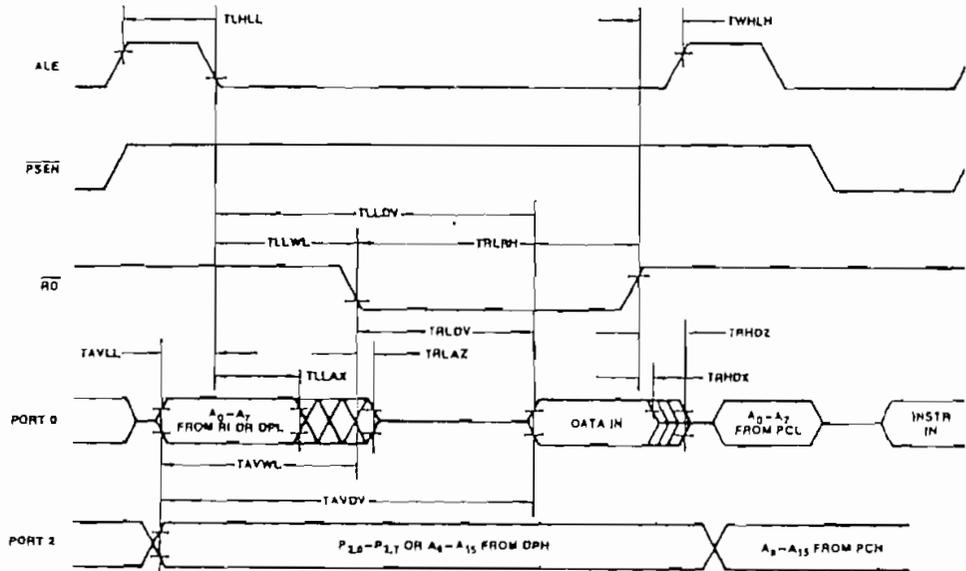


Ludwing Ochoa S.

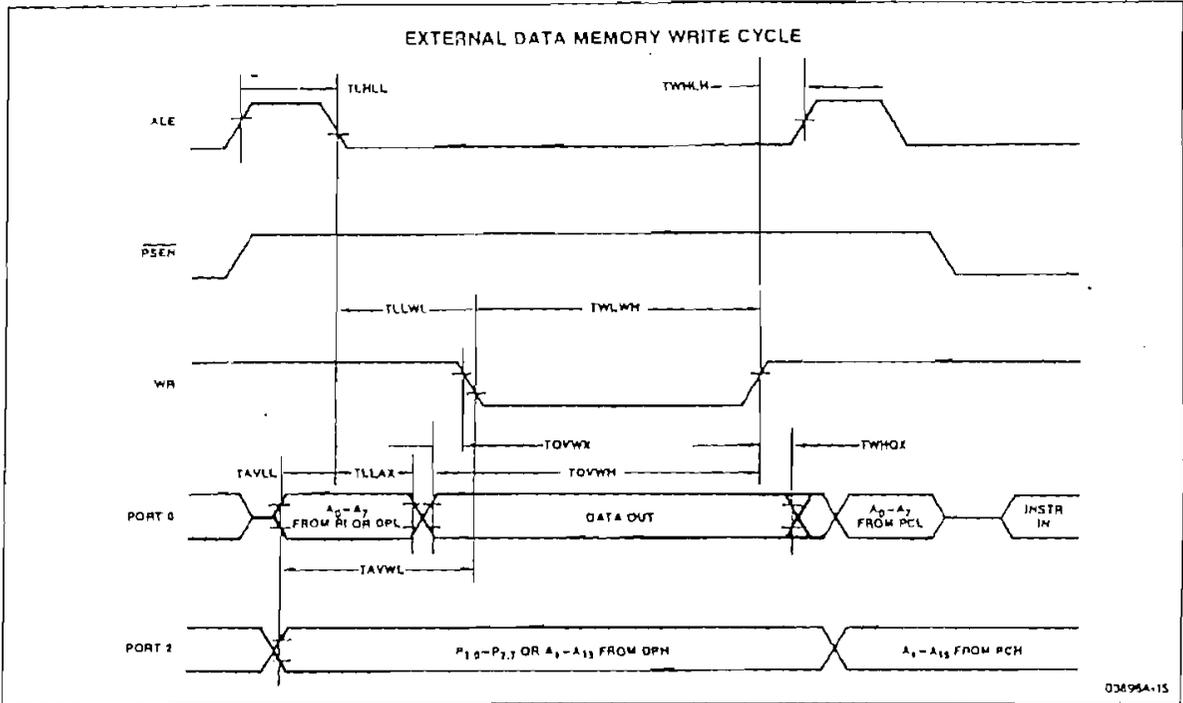
EXTERNAL DATA MEMORY CHARACTERISTICS

Parameter	Description	12MHz Osc		Variable Oscillator		Unit
		Min	Max	Min	Max	
TRLRH	\overline{RD} Pulse Width	400		6TCLCL - 100		ns
TWLWH	\overline{WR} Pulse Width	400		6TCLCL - 100		ns
TLLAX	Address Hold After ALE Low	48		TCLCL - 35		ns
TRLDV	\overline{RD} Low to Valid Data In		252		5TCLCL - 165	ns
TRHDX	Data Hold After \overline{RD}	0		0		ns
TRHDZ	Data Float After \overline{RD}		97		2TCLCL - 70	ns
TLODV	ALE Low to Valid Data In		517		8TCLCL - 150	ns
TAVDV	Address to Valid Data In		585		9TCLCL - 165	ns
TAVLL	Address Valid to ALE Low	43		TCLCL - 40		ns
TLLWL	ALE Low to \overline{RD} or \overline{WR} Low	200	300	3TCLCL - 50	3TCLCL + 50	ns
TAVWL	Address to \overline{RD} or \overline{WR} Low	203		4TCLCL - 130		ns
TOVWX	Data Valid to \overline{WR} Transition Low	13		TCLCL - 70		ns
TOVWH	Data Valid to \overline{WR} High	433		7TCLCL - 150		ns
TWHOX	Data Held After \overline{WR}	33		TCLCL - 50		ns
TRLAZ	Address Float to \overline{RD} Low	0		0		ns
TWHLH	\overline{RD} or \overline{WR} High to ALE High	33	133	TCLCL - 50	TCLCL + 50	ns

EXTERNAL DATA MEMORY READ CYCLE

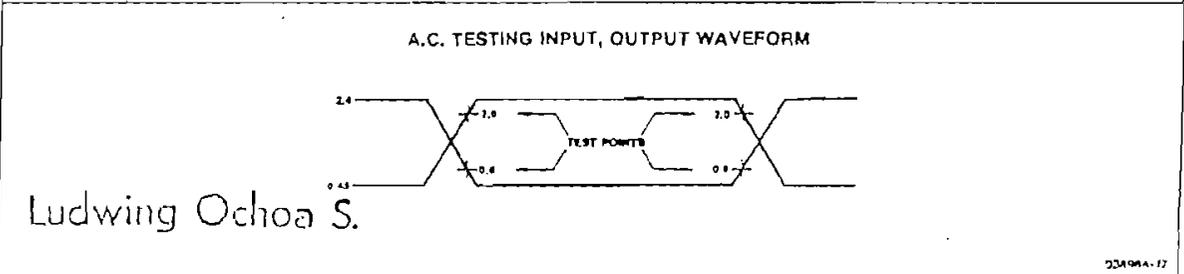
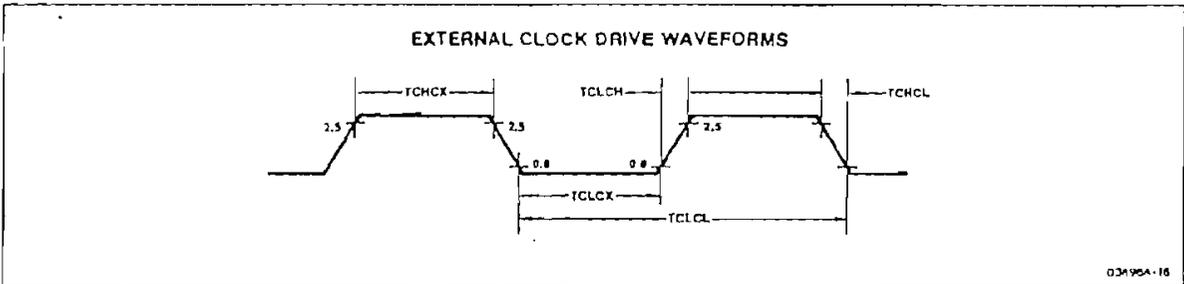


Ludwing Ochoa S.



EXTERNAL CLOCK DRIVE

Parameter	Description	Min	Max	Unit
1/TCLCL	Oscillator Frequency: 8751H/Am9761H	1.2	12	MHz
TCHCX	High Time	20		ns
TCLCX	Low Time	20		ns
TCLCH	Rise Time		20	ns
TCHCL	Fall Time		20	ns

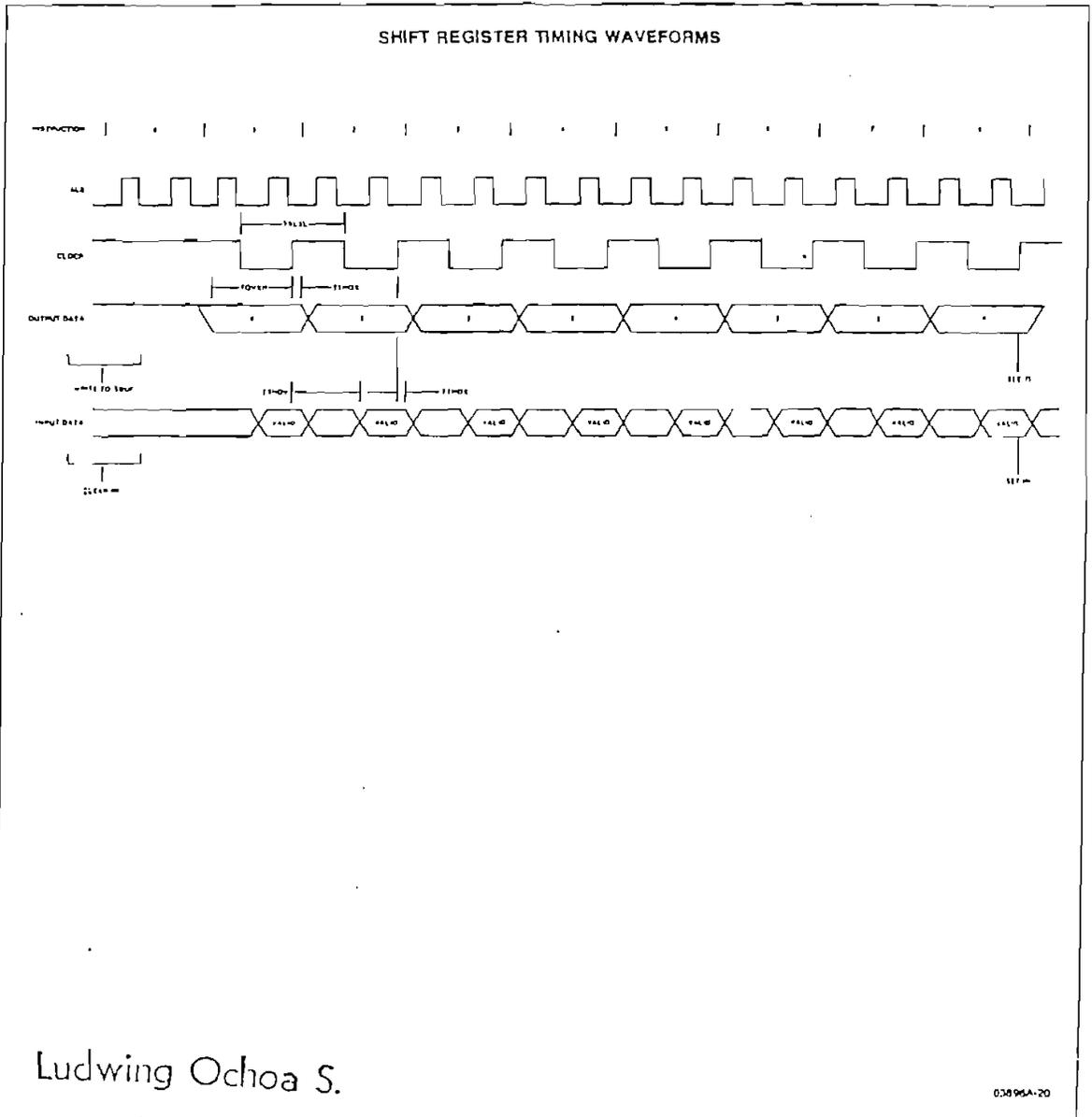


Ludwing Ochoa S.

SERIAL PORT TIMING – SHIFT REGISTER MODE

Parameter	Description (Note 1)	12MHz Osc		Variable Oscillator		Unit
		Min	Max	Min	Max	
TXLXL	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		12TCLCL		μ s
TQVXH	Output Data Setup to Clock Rising Edge	700		10TCLCL - 133		ns
TXHOX	Output Data Hold After Clock Rising Edge	50		2TCLCL - 117		ns
TXHDX	Input Data Hold After Clock Rising Edge	0		0		ns
TXHDV	Clock Rising Edge to Input Data Valid		700		10TCLCL - 133	ns

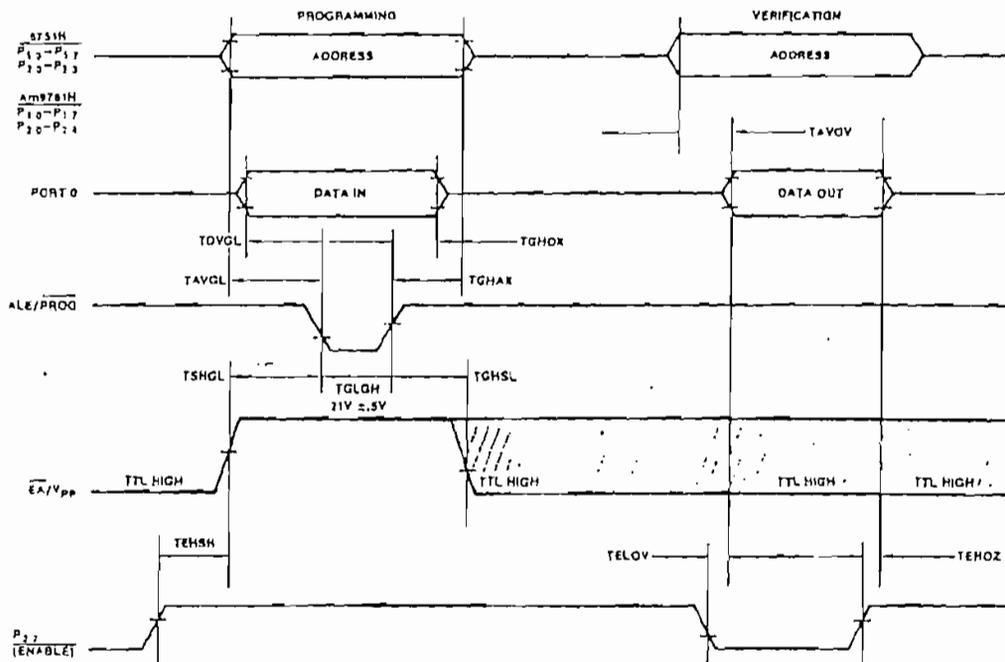
Note 1. Test Conditions: ($T_A = 0$ to $+70^\circ\text{C}$, $V_{CC} = +5\text{V} \pm 10\%$, $V_{SS} = 0\text{V}$, Load Capacitance = 80pF)



EPROM PROGRAMMING AND VERIFICATION CHARACTERISTICS ($T_A = 21$ to $+27^\circ\text{C}$, $V_{CC} = +5\text{V} \pm 10\%$, $V_{SS} = 0\text{V}$)

Parameter	Description	Min	Max	Unit
V_{PP}	Programming Supply Voltage	20.5	21.5	V
I_{PP}	Programming Supply Current		30	mA
$1/TCLCL$	Oscillator Frequency	4	6	MHz
TAVGL	Address Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	48TCLCL		
TGHAX	Address Hold After $\overline{\text{PROG}}$	48TCLCL		
TDVGL	Data Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	48TCLCL		
TGHDX	Data Hold After $\overline{\text{PROG}}$	48TCLCL		
TEHSH	$P_{2,7}$ (ENABLE) High to V_{PP}	48TCLCL		
TSHGL	V_{PP} Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	10		μsec
TGHSL	V_{PP} Hold after $\overline{\text{PROG}}$	10		μsec
TGLGH	$\overline{\text{PROG}}$ Width	45	55	msec
TAVOV	Address to Data Valid		48TCLCL	
TELOV	ENABLE Low to Data Valid		48TCLCL	
TEHOZ	Data Float After ENABLE	0	48TCLCL	

EPROM PROGRAMMING AND VERIFICATION WAVEFORMS



For programming conditions see Figure 5.

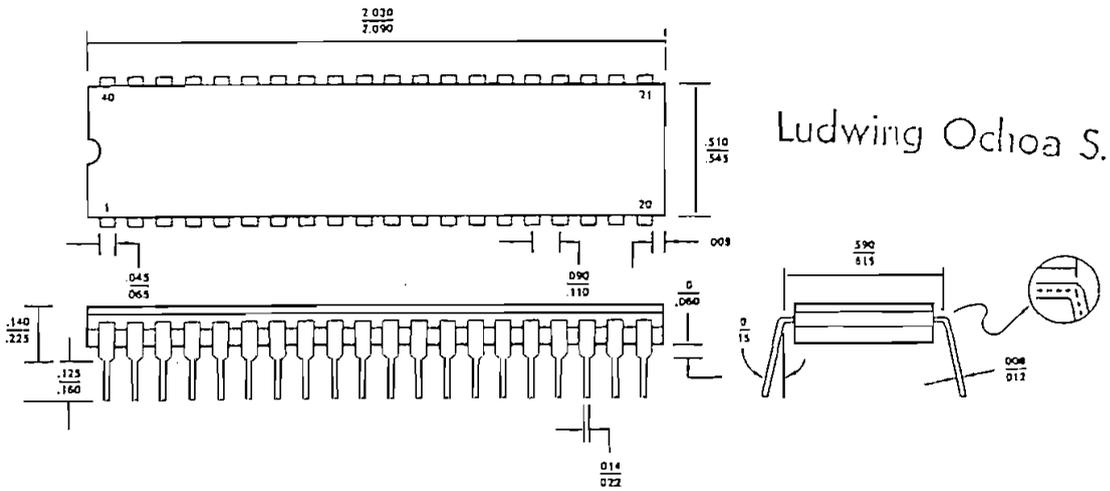
For verification conditions see Figure 7.

Ludwing Ochoa S.

DS980A-21

PHYSICAL DIMENSIONS
Dual In-Line

CD040-1



Ludwing Ochoa S.

TYPES SN54LS245, SN74LS245 OCTAL BUS TRANSCEIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS

OCTOBER 1976—REVISED APRIL 1985

- Bi-directional Bus Transceiver in a High-Density 20-Pin Package
- 3-State Outputs Drive Bus Lines Directly
- PNP Inputs Reduce D-C Loading on Bus Lines
- Hysteresis at Bus Inputs Improve Noise Margins
- Typical Propagation Delay Times, . . . Port-to-Port . . . 8 ns

TYPE	I _{OL} (SINK CURRENT)	I _{OH} (SOURCE CURRENT)
SN54LS245	12 mA	-12 mA
SN74LS245	24 mA	-15 mA

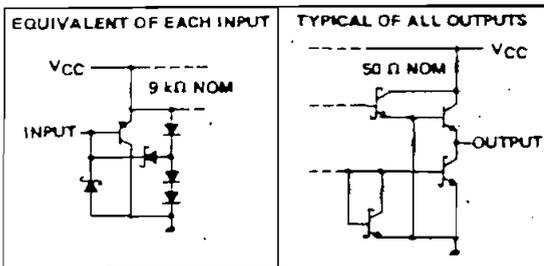
description

These octal bus transceivers are designed for asynchronous two-way communication between data buses. The control function implementation minimizes external timing requirements.

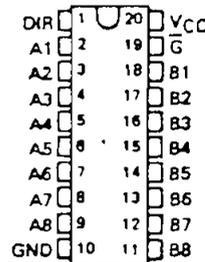
The devices allow data transmission from the A bus to the B bus or from the B bus to the A bus depending upon the logic level at the direction control (DIR) input. The enable input (G) can be used to disable the device so that the buses are effectively isolated.

The SN54LS245 is characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C. The SN74LS245 is characterized for operation from 0°C to 70°C.

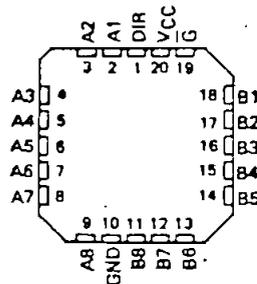
schematics of inputs and outputs



SN54LS245 ... J PACKAGE
SN74LS245 ... DW, J OR N PACKAGE
(TOP VIEW)



SN54LS245 ... FK PACKAGE
SN74LS245 ... FM PACKAGE
(TOP VIEW)



FUNCTION TABLE

ENABLE G	DIRECTION CONTROL DIR	OPERATION
L	L	B data to A bus
L	H	A data to B bus
H	X	Isolation

H = high level, L = low level, X = irrelevant

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 725012 • DALLAS, TEXAS 75265

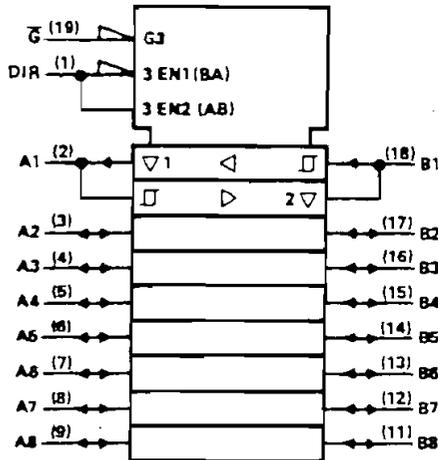
SN74LS245
8 OUTPUTS

REVISED APRIL 1985

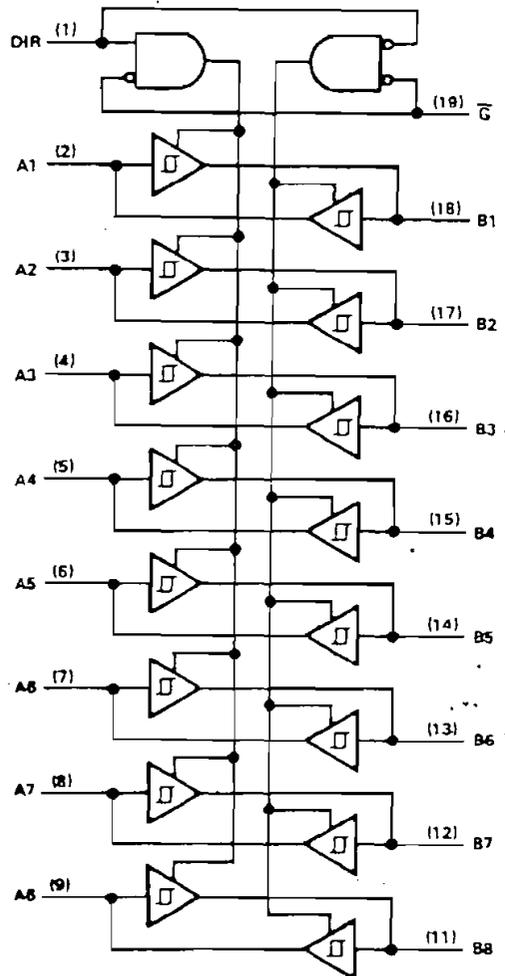
AGE

TYPES SN54LS245, SN74LS245
OCTAL BUS TRANSCEIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS

logic symbol



logic diagram (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	7 V
Off-state output voltage	5.5 V
Operating free-air temperature range: SN54LS*	-55°C to 125°C
SN74LS*	0°C to 70°C
Storage temperature range	-65°C to 150°C

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

TTL DEVICES

TEXAS
INSTRUMENTS

POST OFFICE BOX 279012 • DALLAS, TEXAS 75265

3-827

TYPES SN54LS245, SN74LS245 OCTAL BUS TRANSCEIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS

recommended operating conditions

PARAMETER	SN54LS245			SN74LS245			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}			-12			-15	mA
Low-level output current, I_{OL}			12			24	mA
Operating free-air temperature, T_A	-55		125	0		70	°C

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

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	SN54LS245			SN74LS245			UNIT
		MIN	TYP‡	MAX	MIN	TYP‡	MAX	
V_{IH} High-level input voltage		2			2			V
V_{IL} Low-level input voltage				0.7			0.8	V
V_{IK} Input clamp voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}$, $I_I = -18 \text{ mA}$			-1.5			-1.5	V
Hysteresis ($V_{T+} - V_{T-}$) A or B input	$V_{CC} = \text{MIN.}$	0.2	0.4		0.2	0.4		V
V_{OH} High-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}$, $I_{OH} = -3 \text{ mA}$	2.4	3.4		2.4	3.4		V
	$V_{IH} = 2 \text{ V.}$ $V_{IL} = V_{IL \text{ max}}$	2			2			V
V_{OL} Low-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}$, $I_{OL} = 12 \text{ mA}$			0.4			0.4	V
	$V_{IH} = 2 \text{ V.}$ $V_{IL} = V_{IL \text{ max}}$						0.5	V
I_{OZH} Off-state output current, high-level voltage applied	$V_{CC} = \text{MAX.}$, \bar{G} at 2 V			20			20	µA
I_{OZL} Off-state output current, low-level voltage applied	$V_{CC} = \text{MAX.}$, \bar{G} at 2 V			-200			-200	µA
I_I Input current at maximum input voltage	A or B			0.1			0.1	mA
	DIR or \bar{G}			0.1			0.1	mA
I_{IH} High-level input current	$V_{CC} = \text{MAX.}$, $V_{IH} = 2.7 \text{ V}$			20			20	µA
I_{IL} Low-level input current	$V_{CC} = \text{MAX.}$, $V_{IL} = 0.4 \text{ V}$			-0.2			-0.2	mA
I_{OS} Short-circuit output current††	$V_{CC} = \text{MAX.}$	-40	-225		-40	-225		mA
I_{CC} Supply current	Total, outputs high		48	70		48	70	mA
	Total, outputs low		62	90		62	90	mA
	Outputs at Hi-Z		64	95		64	95	mA

* For 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 the short-circuit should not exceed one second.

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

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
t_{PLH} Propagation delay time, low-to-high-level output	$C_L = 45 \text{ pF.}$ $R_L = 667 \Omega.$ See Note 2		8	12	ns
t_{PHL} Propagation delay time, high-to-low-level output			8	12	ns
t_{PZL} Output enable time to low level			27	40	ns
t_{PZH} Output enable time to high level			25	40	ns
t_{PLZ} Output disable time from low level		$C_L = 5 \text{ pF.}$ $R_L = 667 \Omega.$ See Note 2		15	25
t_{PHZ} Output disable time from high level			15	28	ns

NOTE 2: See General Information Section for load circuits and voltage waveforms



TTL DEVICES



National Semiconductor

Voltage Regulators

LM138/LM238/LM338 5 Amp Adjustable Power Regulators

General Description

The LM138/LM238/LM338 are adjustable 3-terminal positive voltage regulators capable of supplying in excess of 5A over a 1.2V to 32V output range. They are exceptionally easy to use and require only 2 resistors to set the output voltage. Careful circuit design has resulted in outstanding load and line regulation — comparable to many commercial power supplies. The LM138 family is supplied in a standard 3-lead transistor package.

A unique feature of the LM138 family is time-dependent current limiting. The current limit circuitry allows peak currents of up to 12A to be drawn from the regulator for short periods of time. This allows the LM138 to be used with heavy transient loads and speeds start-up under full-load conditions. Under sustained loading conditions, the current limit decreases to a safe value protecting the regulator. Also included on the chip are thermal overload protection and safe area protection for the power transistor. Overload protection remains functional even if the adjustment pin is accidentally disconnected.

Normally, no capacitors are needed unless the device is situated far from the input filter capacitors in which case an input bypass is needed. An optional output capacitor can be added to improve transient response. The adjustment terminal can be bypassed to achieve

very high ripple rejections ratios which are difficult to achieve with standard 3-terminal regulators.

Besides replacing fixed regulators or discrete designs, the LM138 is useful in a wide variety of other applications. Since the regulator is "floating" and sees only the input-to-output differential voltage, supplies of several hundred volts can be regulated as long as the maximum input to output differential is not exceeded.

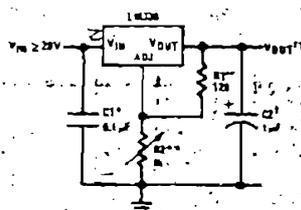
The LM138/LM238/LM338 are packaged in standard steel TO-3 transistor packages. The LM138 is rated for operation from -55°C to +150°C, the LM238 from -25°C to +150°C and the LM338 from 0°C to +125°C.

Features

- Guaranteed 7A peak output current
- Guaranteed 5A output current
- Adjustable output down to 1.2V
- Line regulation typically 0.005%/V
- Load regulation typically 0.1%
- Guaranteed thermal regulation
- Current limit constant with temperature
- 100% electrical burn-in in thermal limit
- Standard 3-lead transistor package

Typical Applications

1.2V-25V Adjustable Regulator



Optional—improves transient response. Output capacitors in the range of 1 μF to 1000 μF of aluminum or tantalum electrolytic are commonly used to provide improved output impedance and rejection of transients.

*Needed if device is far from filter capacitors.

$$V_{OUT} = 1.25V \left(1 + \frac{R2}{R1} \right)$$

** R1 = 240Ω for LM138 and LM238

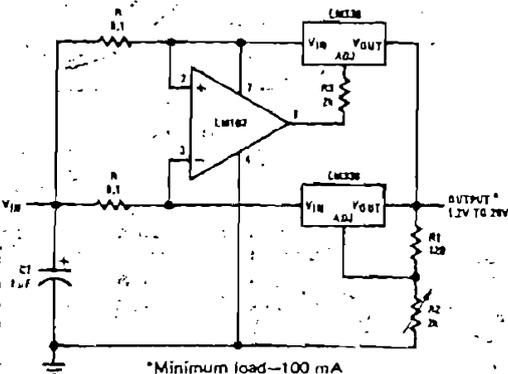
R1, R2 as an assembly can be ordered from

Bourns:

MIL part no. 7105A-AT2-502

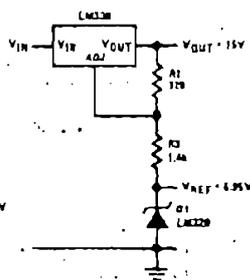
COMM part no. 7105A-AT7-502

10A Regulator



*Minimum load—100 mA

Regulator and Voltage Reference





Absolute Maximum Ratings

Power Dissipation	Internally limited
Input-Output Voltage Differential	35V
Operating Junction Temperature Range	
LM138	-55°C to +150°C
LM238	-25°C to +150°C
LM338	0°C to +125°C
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C

Preconditioning

Burn-In in Thermal Limit

All Devices 100%

Electrical Characteristics (Note 1)

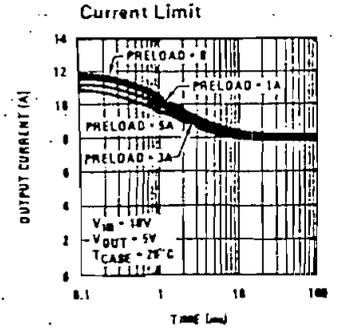
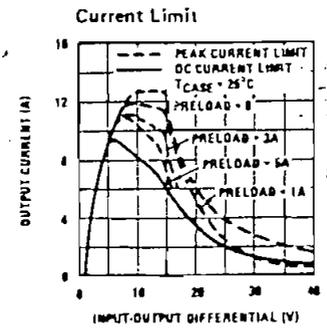
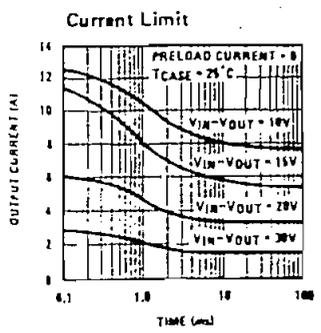
PARAMETER	CONDITIONS	LM138/LM238			LM338			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Line Regulation	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $3V \leq V_{IN} - V_{OUT} \leq 35V$, (Note 2)		0.005	0.01	0.005	0.03		%/V
Load Regulation	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $10\text{mA} \leq I_{OUT} \leq 5A$ $V_{OUT} \leq 5V$, (Note 2) $V_{OUT} \geq 5V$, (Note 2)		5	15	5	25		mV
			0.1	0.3	0.1	0.5		%
Thermal Regulation	Pulse = 20 ms		0.002	0.01	0.002	0.02		%/W
Adjustment Pin Current			45	100	45	100		μA
Adjustment Pin Current Change	$10\text{mA} \leq I_L \leq 5A$ $3V \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 35V$		0.2	5	0.2	5		μA
Reference Voltage	$3 \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 35V$, (Note 3) $10\text{mA} \leq I_{OUT} \leq 5A$, $P \leq 50W$	1.19	1.24	1.29	1.19	1.24	1.29	V
Line Regulation	$3V \leq V_{IN} - V_{OUT} \leq 35V$, (Note 2)		0.02	0.04	0.02	0.06		%/V
Load Regulation	$10\text{mA} \leq I_{OUT} \leq 5A$, (Note 2) $V_{OUT} \leq 5V$ $V_{OUT} \geq 5V$		20	30	20	50		mV
			0.3	0.6	0.3	1.0		%
Temperature Stability	$T_{MIN} \leq T_j \leq T_{MAX}$		1		1			%
Minimum Load Current	$V_{IN} - V_{OUT} = 35V$		3.5	5	3.5	10		mA
Current Limit	$V_{IN} - V_{OUT} \leq 10V$ DC 0.5 ms Peak $V_{IN} - V_{OUT} = 30V$	5.0	8		5.0	8		A
		7	12		7	12		A
RMS Output Noise, % of V_{OUT}	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $10\text{Hz} \leq f \leq 10\text{kHz}$					0.003		%
			60			60		dB
Ripple Rejection Ratio	$V_{OUT} = 10V$, $f = 120\text{Hz}$ $C_{ADJ} = 10\mu\text{F}$	60	75		60	75		dB
Long Term Stability	$T_A = 125^\circ\text{C}$		0.3	1	0.3	1		%
Thermal Resistance, Junction to Case	K Package			1.0		1.0		$^\circ\text{C}/\text{W}$

Note 1: Unless otherwise specified, these specifications apply $-55^\circ\text{C} \leq T_j \leq +150^\circ\text{C}$ for the LM138, $-25^\circ\text{C} \leq T_j \leq +150^\circ\text{C}$ for the LM238 and $0^\circ\text{C} \leq T_j \leq +125^\circ\text{C}$ for the LM338, $V_{IN} - V_{OUT} = 5V$ and $I_{OUT} = 2.5A$. Although power dissipation is internally limited, these specifications are applicable for power dissipations up to 50W.

Note 2: Regulation is measured at constant junction temperature. Changes in output voltage due to heating effects are taken into account separately by thermal regulation.

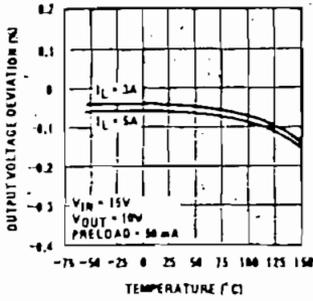
Note 3: Selected devices with tightened tolerance reference voltage available.

Typical Performance Characteristics

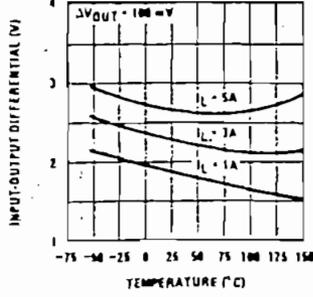


Typical Performance Characteristics (Continued)

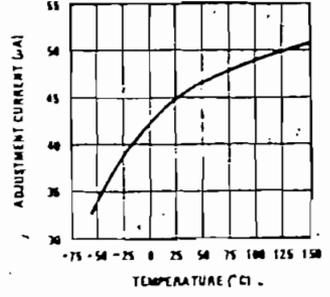
Load Regulation



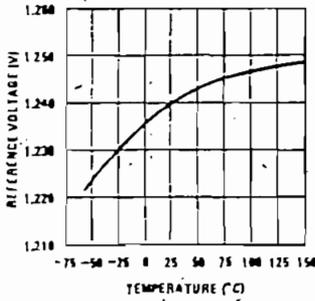
Dropout Voltage



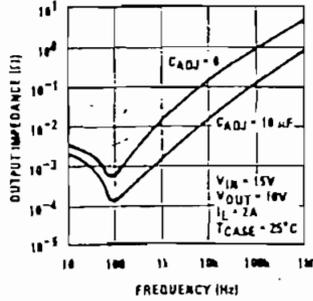
Adjustment Current



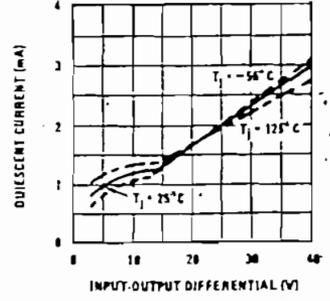
Temperature Stability



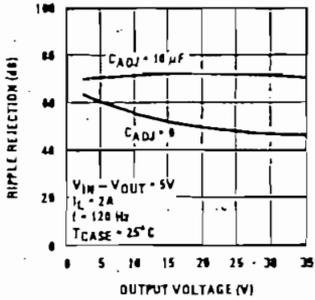
Output Impedance



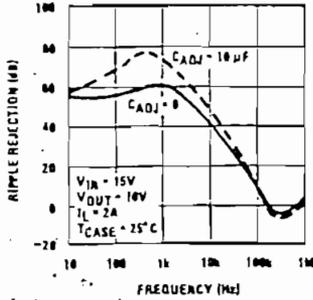
Minimum Operating Current



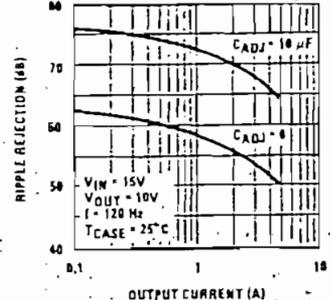
Ripple Rejection



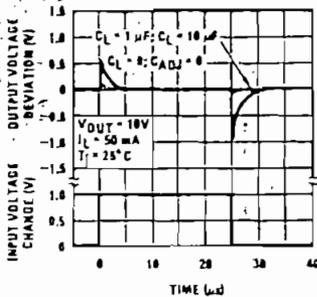
Ripple Rejection



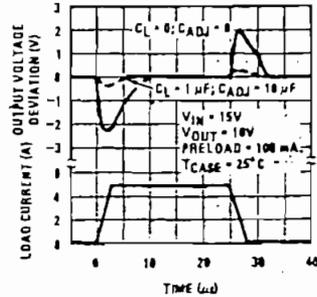
Ripple Rejection



Line Transient Response



Load Transient Response



Application Hints

In operation, the LM138 develops a nominal 1.25V reference voltage, V_{REF} , between the output and adjustment terminal. The reference voltage is impressed across program resistor R_1 and, since the voltage is constant, a constant current I_{ADJ} then flows through the output set resistor R_2 , giving an output voltage of

$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ} R_2.$$

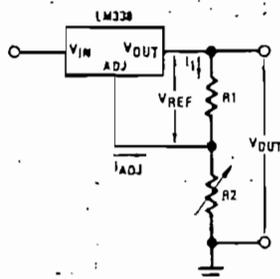


FIGURE 1

Since the 50 μ A current from the adjustment terminal represents an error term, the LM138 was designed to minimize I_{ADJ} and make it very constant with line and load changes. To do this, all quiescent operating current is returned to the output establishing a minimum load current requirement. If there is insufficient load on the output, the output will rise.

External Capacitors

An input bypass capacitor is recommended. A 0.1 μ F disc or 1 μ F solid tantalum on the input is suitable input bypassing for almost all applications. The device is more sensitive to the absence of input bypassing when adjustment or output capacitors are used but the above values will eliminate the possibility of problems.

The adjustment terminal can be bypassed to ground on the LM138 to improve ripple rejection. This bypass capacitor prevents ripple from being amplified as the output voltage is increased. With a 10 μ F bypass capacitor 75 dB ripple rejection is obtainable at any output level. Increases over 20 μ F do not appreciably improve the ripple rejection at frequencies above 120 Hz. If the bypass capacitor is used, it is sometimes necessary to include protection diodes to prevent the capacitor from discharging through internal low current paths and damaging the device.

In general, the best type of capacitors to use are solid tantalum. Solid tantalum capacitors have low impedance even at high frequencies. Depending upon capacitor construction, it takes about 25 μ F in aluminum electrolytic to equal 1 μ F solid tantalum at high frequencies. Ceramic capacitors are also good at high frequencies, but some types have a large decrease in capacitance at frequencies around 0.5 MHz. For this reason, 0.01 μ F disc may seem to work better than a 0.1 μ F disc as a bypass.

Although the LM138 is stable with no output capacitors, like any feedback circuit, certain values of external capacitance can cause excessive ringing. This occurs with values between 500 pF and 5000 pF. A 1 μ F solid tantalum (or 25 μ F aluminum electrolytic) on the output swamps this effect and insures stability.

Load Regulation

The LM138 is capable of providing extremely good load regulation but a few precautions are needed to obtain maximum performance. The current set resistor connected between the adjustment terminal and the output terminal (usually 240 Ω) should be tied directly to the output of the regulator rather than near the load. This eliminates line drops from appearing effectively in series with the reference and degrading regulation. For example, a 15V regulator with 0.05 Ω resistance between the regulator and load will have a load regulation due to line resistance of 0.05 Ω \times I_L . If the set resistor is connected near the load the effective line resistance will be 0.05 Ω (1 + R_2/R_1) or in this case, 11.5 times worse.

Figure 2 shows the effect of resistance between the regulator and 240 Ω set resistor.

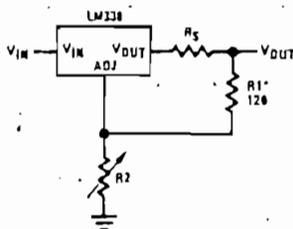


FIGURE 2: Regulator with Line Resistance in Output Lead

With the TO-3 package, it is easy to minimize the resistance from the case to the set resistor, by using 2 separate leads to the case. The ground of R_2 can be returned near the ground of the load to provide remote ground sensing and improve load regulation.

Protection Diodes

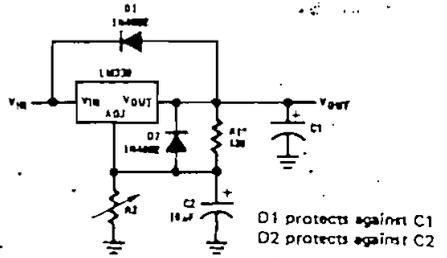
When external capacitors are used with any IC regulator it is sometimes necessary to add protection diodes to prevent the capacitors from discharging through low current points into the regulator. Most 20 μ F capacitors have low enough internal series resistance to deliver 20A spikes when shorted. Although the surge is short, there is enough energy to damage parts of the IC.

When an output capacitor is connected to a regulator and the input is shorted, the output capacitor will discharge into the output of the regulator. The discharge current depends on the value of the capacitor, the output voltage of the regulator, and the rate of decrease of V_{IN} . In the LM138 this discharge path is through a large junction that is able to sustain 25A surge with no problem. This is not true of other types of positive

Application Hints (Continued)

regulators. For output capacitors of 100 μF or less at output of 15V or less, there is no need to use diodes.

The bypass capacitor on the adjustment terminal can discharge through a low current junction. Discharge occurs when either the input or output is shorted. Internal to the LM138 is a 50Ω resistor which limits the peak discharge current. No protection is needed for output voltages of 25V or less and 10 μF capacitance. Figure 3 shows an LM138 with protection diodes included for use with outputs greater than 25V and high values of output capacitance.

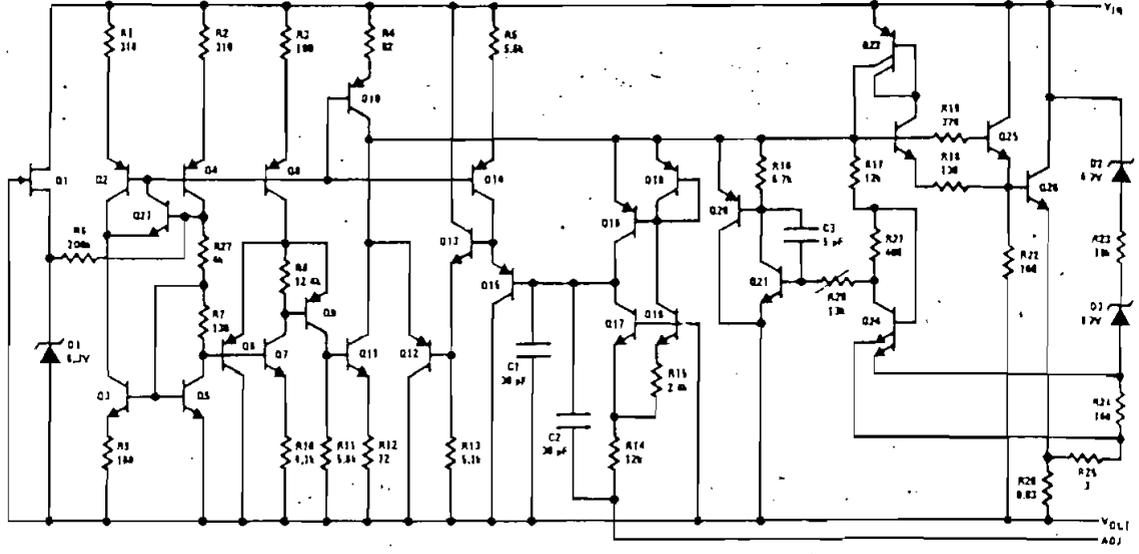


$$V_{OUT} = 1.25V \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + R_2 I_{ADJ}$$

*R1 = 240Ω for LM138 and LM238

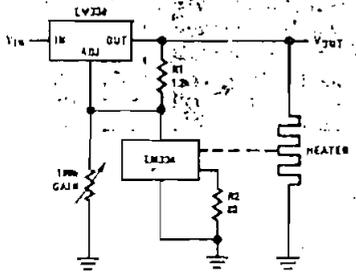
FIGURE 3. Regulator with Protection Diodes

Schematic Diagram

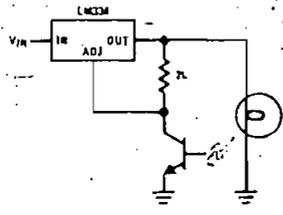


Typical Applications (Continued)

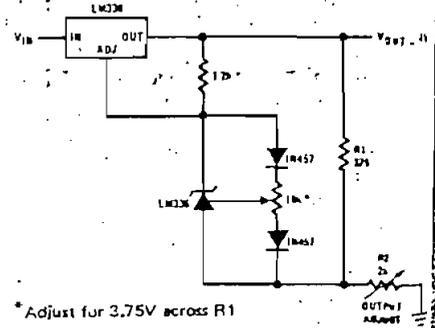
Temperature Controller



Light Controller



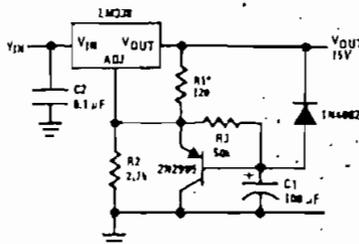
Precision Power Regulator with Low Temperature Coefficient



*Adjust for 3.75V across R1

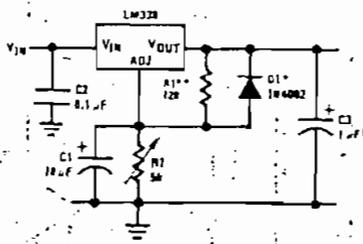
Typical Applications (Continued)

Slow Turn-ON 15V Regulator



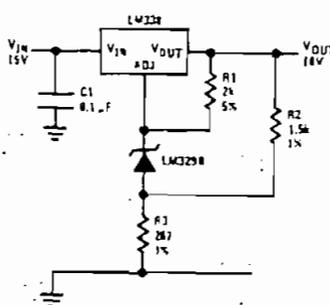
*R1 = 240Ω for LM138 and LM238

Adjustable Regulator with Improved Ripple Rejection

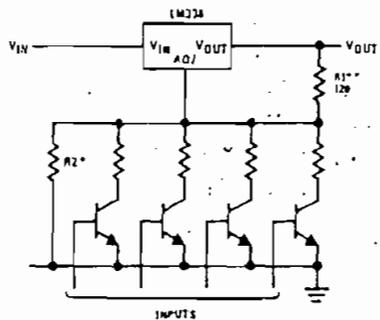


†Solid tantalum
*Discharges C1 if output is shorted to ground
**R1 = 240Ω for LM138 and LM238

High Stability 10V Regulator

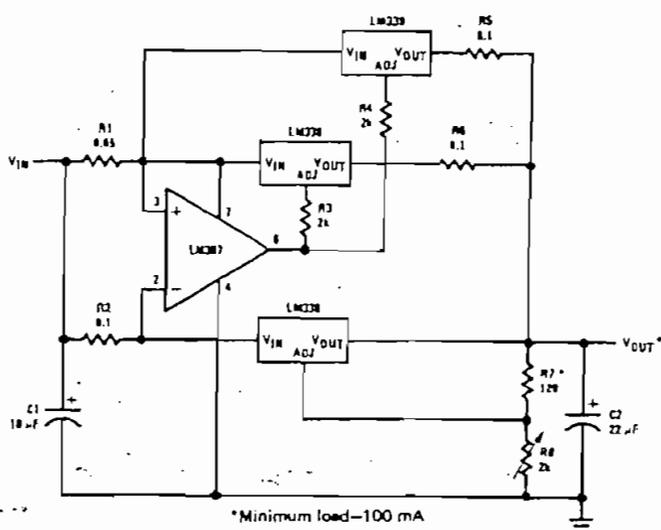


Digitally Selected Outputs



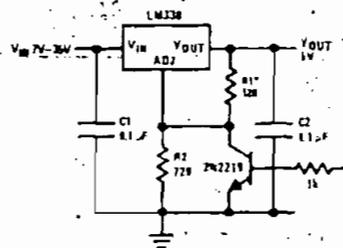
*Sets maximum V_{OUT}
**R1 = 240Ω for LM138 and LM238

15A Regulator



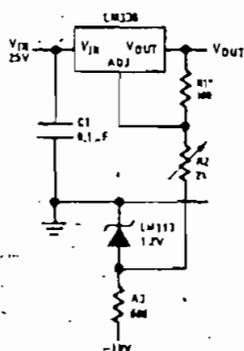
*Minimum load—100 mA

5V Logic Regulator with Electronic Shutdown**



*R1 = 240Ω for LM138 or LM238
**Minimum output ~ 1.2V

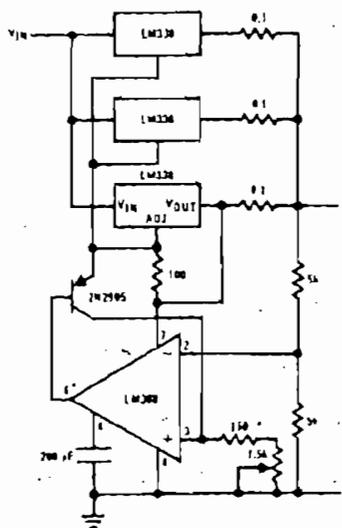
0 to 22V Regulator



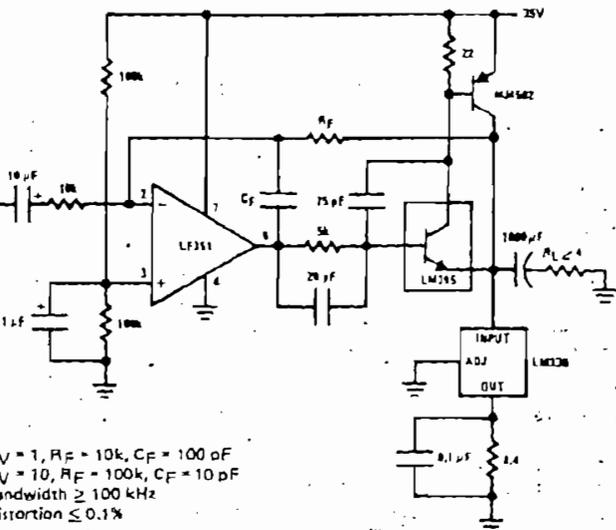
*R1=240Ω, R2=5k for LM138 and LM238

Typical Applications (Continued)

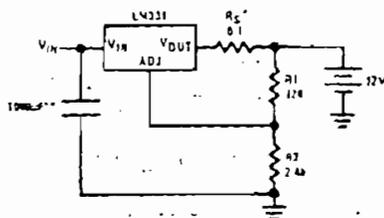
Adjustable 15A Regulator



Power Amplifier



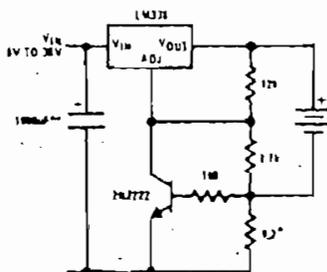
Simple 12V Battery Charger



* R_5 —sets output impedance of charger $Z_{OUT} = R_5 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$
 Use of R_5 allows low charging rates with fully charged battery.

**The 1000 μF is recommended to filter out input transients.

Current Limited 6V Charger

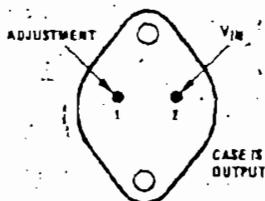


* Sets max charge current to 3A

**The 1000 μF is recommended to filter out input transients.

Connection Diagram

Metal Can Package



BOTTOM VIEW

Order Number
 LM138K STEEL
 LM238K STEEL
 LM338K STEEL
 See NS Package KO2A

ORIGINAL



MC7800 Series

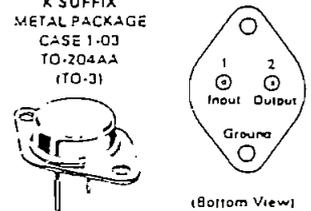
THREE-TERMINAL POSITIVE VOLTAGE REGULATORS

These voltage regulators are monolithic integrated circuits designed as fixed-voltage regulators for a wide variety of applications including local, on-card regulation. These regulators employ internal current limiting, thermal shutdown, and safe-area compensation. With adequate heatsinking they can deliver output currents in excess of 1.0 ampere. Although designed primarily as a fixed voltage regulator, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

- Output Current in Excess of 1.0 Ampere
- No External Components Required
- Internal Thermal Overload Protection
- Internal Short-Circuit Current Limiting
- Output Transistor Safe-Area Compensation
- Output Voltage Offered in 2% and 4% Tolerance

THREE-TERMINAL POSITIVE FIXED VOLTAGE REGULATORS SILICON MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUITS

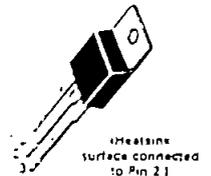
X SUFFIX
METAL PACKAGE
CASE 1-03
TO-204AA
(TO-3)



Pins 1 and 2 electrically isolated from case. Case is third electrical connection.

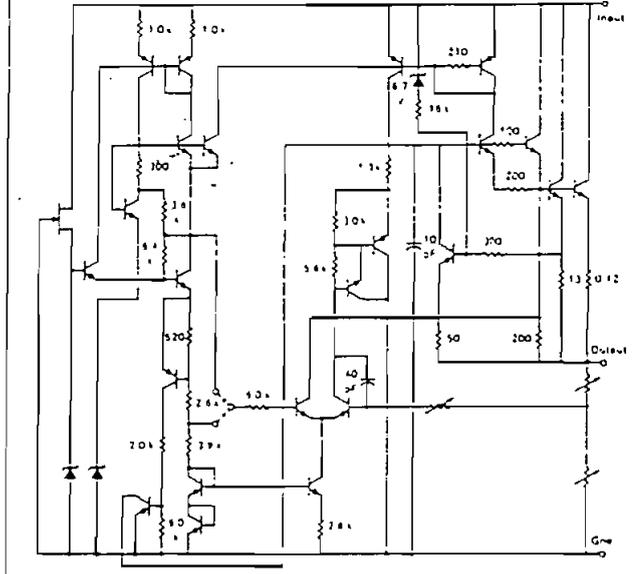
T SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 221A-03
TO-220AB

Pin 1: Input
Pin 2: Ground
Pin 3: Output



4

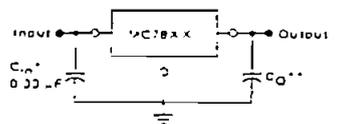
EQUIVALENT SCHEMATIC DIAGRAM



ORDERING INFORMATION

Device	Output Voltage Tolerance	Temperature Range	Package
MC78XXX	4%	-55 to +150°C	Metal Power
MC78XXAX	2%	-55 to +150°C	
MC78XXBK	4%	-40 to +125°C	Plastic Power
MC78XXCK	4%	0 to +125°C	
MC78XXACK	2%	-55 to +150°C	
MC78XXCT	4%	-55 to +150°C	
MC78XXACT	2%	-55 to +150°C	
MC78XXBT	4%	-40 to +125°C	

STANDARD APPLICATION



A common ground is required between the input and the output voltages. The input voltage must remain typically 2.0 V above the output voltage even during the low point on the input ripple voltage.

XX - these two digits of the type number indicate voltage.

* C_{in} is required if regulator is located an appreciable distance from power supply filter.

** C_O is not needed for stability, however, it does improve transient response.

TYPE NO./VOLTAGE

MC7805	5.0 Volts	MC7815	15 Volts
MC7806	6.0 Volts	MC7818	18 Volts
MC7808	8.0 Volts	MC7824	24 Volts
MC7812	12 Volts		

MC7800 Series

MC7805, B, C
ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{in} = 10\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $T_J = T_{Upper}$ to T_{Lower} [Note 1] unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	MC7805			MC7805B			MC7805C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage ($T_J = +25^\circ\text{C}$)	V_O	4.8	5.0	5.2	4.8	5.0	5.2	4.8	5.0	5.2	Vac
Output Voltage ($180\text{ mA} < I_O < 1.0\text{ A}$, $P_O < 13\text{ W}$, $7.0\text{ Vac} < V_{in} < 20\text{ Vac}$, $8.0\text{ Vac} < V_{in} < 20\text{ Vac}$)	V_O	—	—	—	—	—	—	4.75	5.0	5.25	Vac
Line Regulation ($T_J = +25^\circ\text{C}$, Note 2) $7.0\text{ Vac} < V_{in} < 25\text{ Vac}$, $8.0\text{ Vac} < V_{in} < 12\text{ Vac}$	ΔV_O	—	20	50	—	70	100	—	70	100	mV
Load Regulation ($T_J = +25^\circ\text{C}$, Note 2) $80\text{ mA} < I_O < 1.5\text{ A}$, $250\text{ mA} < I_O < 750\text{ mA}$	ΔV_O	—	25	100	—	40	100	—	40	100	mV
Quiescent Current ($T_J = +25^\circ\text{C}$)	I_Q	—	32	80	—	43	80	—	43	80	mA
Quiescent Current Change $7.0\text{ Vac} < V_{in} < 25\text{ Vac}$, $8.0\text{ Vac} < V_{in} < 25\text{ Vac}$, $5.0\text{ mA} < I_O < 1.0\text{ A}$	ΔI_Q	—	—	—	—	—	—	—	—	13	mA
Regulation Rejection $8.0\text{ Vac} < V_{in} < 18\text{ Vac}$, $f = 120\text{ Hz}$	RR	68	75	—	—	58	—	—	68	—	dB
Dropout Voltage ($I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = +25^\circ\text{C}$)	$V_{in} - V_O$	—	20	25	—	20	—	—	20	—	Vac
Output Noise Voltage ($f_A = +25^\circ\text{C}$) $10\text{ Hz} < f < 100\text{ kHz}$	V_n	—	10	40	—	10	—	—	10	—	μV V _O
Output Resistance ($f = 1.0\text{ kHz}$)	r_O	—	17	—	—	17	—	—	17	—	m Ω
Short-Circuit Current Limit ($T_J = +25^\circ\text{C}$) $V_{in} = 35\text{ Vac}$	I_{sc}	—	0.2	1.2	—	0.2	—	—	0.2	—	A
Peak Output Current ($T_J = +25^\circ\text{C}$)	I_{max}	13	25	33	—	22	—	—	22	—	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TCV_O	—	206	—	—	-11	—	—	-11	—	mV/ $^\circ\text{C}$

MC7805A, AC
ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{in} = 10\text{ V}$, $I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = T_{Upper}$ to T_{Lower} [Note 1] unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	MC7805A			MC7805AC			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage ($T_J = +25^\circ\text{C}$)	V_O	4.9	5.0	5.1	4.9	5.0	5.1	Vac
Output Voltage ($150\text{ mA} < I_O < 1.0\text{ A}$, $P_O < 15\text{ W}$, $7.5\text{ Vac} < V_{in} < 20\text{ Vac}$)	V_O	4.8	5.0	5.2	4.8	5.0	5.2	Vac
Line Regulation (Note 2) $7.5\text{ Vac} < V_{in} < 25\text{ Vac}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $8.0\text{ Vac} < V_{in} < 12\text{ Vac}$, $8.0\text{ Vac} < V_{in} < 12\text{ Vac}$, $T_J = +25^\circ\text{C}$, $7.7\text{ Vac} < V_{in} < 20\text{ Vac}$, $T_J = +25^\circ\text{C}$	ΔV_O	—	20	70	—	20	50	mV
Load Regulation (Note 2) $50\text{ mA} < I_O < 1.5\text{ A}$, $T_J = +25^\circ\text{C}$, $50\text{ mA} < I_O < 1.0\text{ A}$, $250\text{ mA} < I_O < 750\text{ mA}$, $T_J = +25^\circ\text{C}$, $250\text{ mA} < I_O < 750\text{ mA}$	ΔV_O	—	20	25	—	25	100	mV
Quiescent Current $T_J = +25^\circ\text{C}$	I_Q	—	32	50	—	43	80	mA
Quiescent Current Change $8.0\text{ Vac} < V_{in} < 25\text{ Vac}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $7.5\text{ Vac} < V_{in} < 20\text{ Vac}$, $T_J = +25^\circ\text{C}$, $5.0\text{ mA} < I_O < 1.0\text{ A}$	ΔI_Q	—	0.3	0.5	—	—	0.8	mA
Regulation Rejection $8.0\text{ Vac} < V_{in} < 18\text{ Vac}$, $f = 120\text{ Hz}$, $T_J = +25^\circ\text{C}$, $8.0\text{ Vac} < V_{in} < 18\text{ Vac}$, $f = 120\text{ Hz}$, $I_O = 500\text{ mA}$	RR	68	75	—	—	68	—	dB
Dropout Voltage ($I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = +25^\circ\text{C}$)	$V_{in} - V_O$	—	20	25	—	20	—	Vac
Output Noise Voltage ($f_A = +25^\circ\text{C}$) $10\text{ Hz} < f < 100\text{ kHz}$	V_n	—	10	40	—	10	—	μV V _O
Output Resistance ($f = 1.0\text{ kHz}$)	r_O	—	20	—	—	17	—	m Ω
Short-Circuit Current Limit ($T_J = +25^\circ\text{C}$) $V_{in} = 35\text{ Vac}$	I_{sc}	—	0.2	1.2	—	0.2	—	A
Peak Output Current ($T_J = +25^\circ\text{C}$)	I_{max}	13	25	33	—	22	—	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TCV_O	—	206	—	—	-11	—	mV/ $^\circ\text{C}$

NOTES: 1. $T_{Upper} = 55^\circ\text{C}$ for MC78XX, A; $T_{Lower} = -160^\circ\text{C}$ for MC78XX, A
 2. $T_{Upper} = 125^\circ\text{C}$ for MC78XXC, AC, B
 3. $T_{Upper} = 107^\circ\text{C}$ for MC78XXC, AC
 4. $T_{Upper} = 140^\circ\text{C}$ for MC78XXB

2. Load and line regulation are based on a constant junction temperature. Changes in r_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with 50% duty cycle is used.

MC7800 Series

MC7808, B, C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{in} = 11\text{ V}$, $I_Q = 500\text{ mA}$, $T_J = T_{typ}$ to T_{high} [Note 1] unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	MC7808			MC7808B			MC7808C			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage ($T_J = +25^\circ\text{C}$)	V_O	5.78	6.0	6.25	5.75	6.0	6.25	5.75	6.0	6.25	V _{DC}
Output Voltage 150 mA < I_Q < 1.0 A, P_D < 15 W 8.0 Vdc < V_{in} < 21 Vdc 9.0 Vdc < V_{in} < 21 Vdc	V_O	5.85	6.0	6.35	5.7	6.0	6.3	5.7	6.0	6.3	V _{DC}
Line Regulation ($T_J = +25^\circ\text{C}$, Note 2) 8.0 Vdc < V_{in} < 25 Vdc 9.0 Vdc < V_{in} < 13 Vdc	Reg _{line}	—	30	60	—	30	120	—	30	120	mV
Load Regulation ($T_J = +25^\circ\text{C}$, Note 2) 50 mA < I_Q < 1.5 A 250 mA < I_Q < 750 mA	Reg _{load}	—	27	100	—	43	170	—	43	120	mV
Quiescent Current ($T_J = +25^\circ\text{C}$)	I_Q	—	32	60	—	43	80	—	43	80	mA
Quiescent Current Change 8.0 Vdc < V_{in} < 25 Vdc 9.0 Vdc < V_{in} < 25 Vdc 50 mA < I_Q < 1.0 A	ΔI_Q	—	—	—	—	—	—	—	—	13	mA
Noise Rejection 9.0 Vdc < V_{in} < 19 Vdc, $f = 120\text{ Hz}$	RR	65	73	—	65	—	—	65	—	—	dB
Dropout Voltage ($I_Q = 1.0\text{ A}$, $T_J = +25^\circ\text{C}$)	$V_{in} - V_O$	—	2.0	2.5	—	2.0	—	—	2.0	—	V _{DC}
Output Noise Voltage ($f_A = +25^\circ\text{C}$) 50 Hz < f < 100 kHz	V_n	—	10	40	—	10	—	—	10	—	$\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$
Output Resistance ($f = 1.0\text{ kHz}$)	r_O	—	17	—	—	17	—	—	17	—	m Ω
Short-Circuit Current Limit ($I_A = +25^\circ\text{C}$) $V_{in} = 35\text{ Vdc}$	I_{sc}	—	0.2	1.2	—	0.2	—	—	0.2	—	A
Peak Output Current ($T_J = +25^\circ\text{C}$)	I_{max}	1.3	2.5	3.3	—	2.2	—	—	2.2	—	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TCV_O	—	+0.7	—	—	-0.6	—	—	-0.8	—	mV/ $^\circ\text{C}$

4

MC7808A, AC

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{in} = 11\text{ V}$, $I_Q = 1.0\text{ A}$, $T_J = T_{typ}$ to T_{high} [Note 1] unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	MC7808A			MC7808AC			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage ($T_J = +25^\circ\text{C}$)	V_O	5.88	6.0	6.12	5.88	6.0	6.12	V _{DC}
Output Voltage 50 mA < I_Q < 1.0 A, P_D < 15 W 8.5 Vdc < V_{in} < 21 Vdc	V_O	5.78	6.0	6.24	5.78	6.0	6.24	V _{DC}
Line Regulation (Note 2) 8.5 Vdc < V_{in} < 25 Vdc, $I_Q = 500\text{ mA}$ 9.0 Vdc < V_{in} < 13 Vdc 9.0 Vdc < V_{in} < 13 Vdc, $T_J = +25^\circ\text{C}$ 9.3 Vdc < V_{in} < 21 Vdc, $T_J = +25^\circ\text{C}$	Reg _{line}	—	30	11	—	30	60	mV
Load Regulation (Note 2) 50 mA < I_Q < 1.5 A, $T_J = +25^\circ\text{C}$ 50 mA < I_Q < 1.0 A 250 mA < I_Q < 750 mA, $T_J = +25^\circ\text{C}$ 250 mA < I_Q < 750 mA	Reg _{load}	—	+ 20	28	—	43	100	mV
Quiescent Current $T_J = +25^\circ\text{C}$	I_Q	—	—	50	—	—	60	mA
Quiescent Current Change 8.0 Vdc < V_{in} < 25 Vdc, $I_Q = 500\text{ mA}$ 8.8 Vdc < V_{in} < 21 Vdc, $T_J = +25^\circ\text{C}$ 50 mA < I_Q < 1.0 A	ΔI_Q	—	0.3	0.8	—	—	0.8	mA
Noise Rejection 8.0 Vdc < V_{in} < 19 Vdc, $f = 120\text{ Hz}$, $T_J = +25^\circ\text{C}$ 9.0 Vdc < V_{in} < 19 Vdc, $f = 120\text{ Hz}$, $I_Q = 500\text{ mA}$	RR	65	73	—	—	—	—	dB
Dropout Voltage ($I_Q = 1.0\text{ A}$, $T_J = +25^\circ\text{C}$)	$V_{in} - V_O$	—	2.0	2.5	—	2.0	—	V _{DC}
Output Noise Voltage ($f_A = +25^\circ\text{C}$) 10 Hz < f < 100 kHz	V_n	—	10	40	—	10	—	$\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$
Output Resistance ($f = 1.0\text{ kHz}$)	r_O	—	2.0	—	—	17	—	m Ω
Short-Circuit Current Limit ($I_A = +25^\circ\text{C}$) $V_{in} = 35\text{ Vdc}$	I_{sc}	—	0.2	1.2	—	0.2	—	A
Peak Output Current ($T_J = +25^\circ\text{C}$)	I_{max}	1.2	2.5	3.3	—	2.2	—	A
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	TCV_O	—	+0.7	—	—	-0.8	—	mV/ $^\circ\text{C}$

NOTES: 1. $T_{typ} = +25^\circ\text{C}$ for MC7808A, A
 $T_{typ} = +25^\circ\text{C}$ for MC7808AC, AC
 $T_{typ} = +25^\circ\text{C}$ for MC7808A, AC, B

2. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account. Laboratory pulse testing with low duty cycle is used.

MC7800 Series

TYPICAL CHARACTERISTICS (continued)
($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.)

FIGURE 7 — RIPPLE REJECTION AS A FUNCTION OF OUTPUT VOLTAGES (MC78XXC, AC)

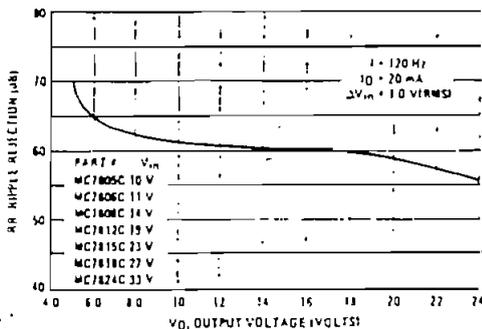


FIGURE 8 — RIPPLE REJECTION AS A FUNCTION OF FREQUENCY (MC78XXC, AC, A)

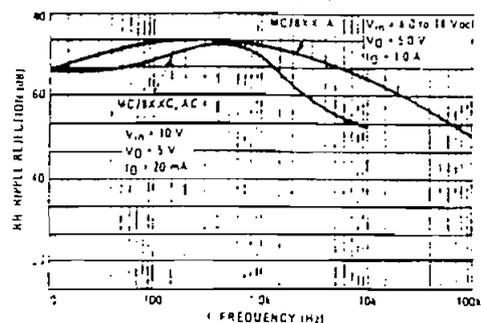


FIGURE 9 — OUTPUT VOLTAGE AS A FUNCTION OF JUNCTION TEMPERATURE (MC78XXC, AC, B)

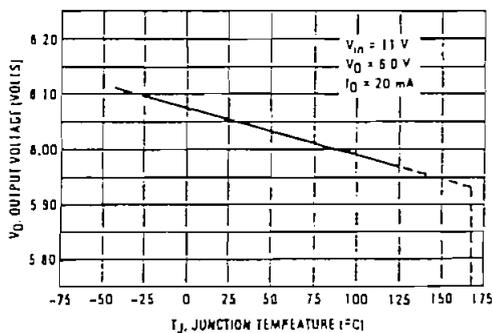


FIGURE 10 — OUTPUT IMPEDANCE AS A FUNCTION OF OUTPUT VOLTAGE (MC78XXC, AC)

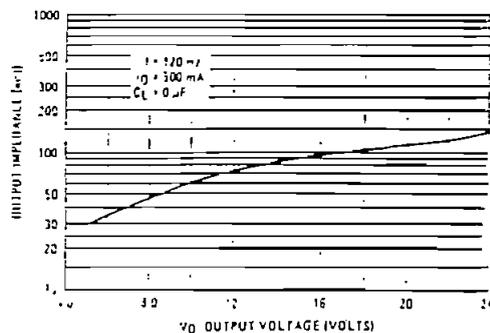


FIGURE 11 — QUIESCENT CURRENT AS A FUNCTION OF TEMPERATURE (MC78XXC, AC, B)

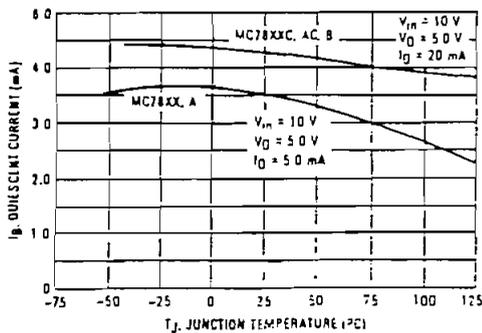
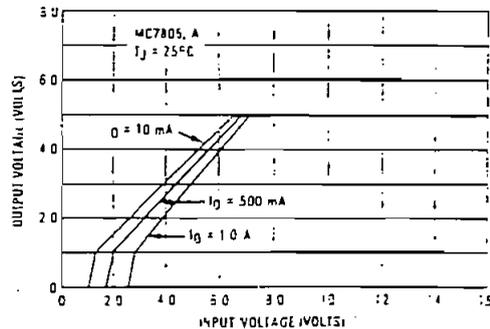


FIGURE 12 — DROPOUT CHARACTERISTICS (MC78XX, A)



4

MC7800 Series

APPLICATIONS INFORMATION

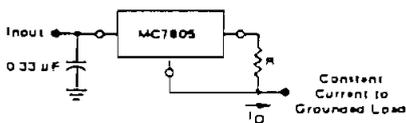
Design Considerations

The MC7800 Series of fixed voltage regulators are designed with Thermal Overload Protection that shuts down the circuit when subjected to an excessive power overload condition, Internal Short-Circuit Protection that limits the maximum current the circuit will pass, and Output Transistor Safe-Area Compensation that reduces the output short-circuit current as the voltage across the pass transistor is increased.

In many low current applications, compensation capacitors are not required. However, it is recommended that the regulator input be bypassed with a capacitor if the regulator is connected

to the power supply filter with long wire lengths, or if the output load capacitance is large. An input bypass capacitor should be selected to provide good high-frequency characteristics to insure stable operation under all load conditions. A 0.33 μF or larger tantalum, mylar, or other capacitor having low internal impedance at high frequencies should be chosen. The bypass capacitor should be mounted with the shortest possible leads directly across the regulator's input terminals. Normally good construction techniques should be used to minimize ground loops and lead resistance drops since the regulator has no external sense lead.

FIGURE 13 - CURRENT REGULATOR



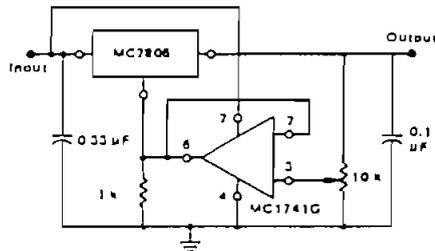
The MC7800 regulators can also be used as a current source when connected as above. In order to minimize dissipation the MC7805C is chosen in this application. Resistor R determines the current as follows:

$$I_O = \frac{5 \text{ V}}{R} \approx I_O$$

$$I_O \approx 15 \text{ mA over line and load changes}$$

For example, a 1-ampere current source would require R to be a 5-ohm, 10-W resistor and the output voltage compliance would be the input voltage less 7 volts.

FIGURE 14 - ADJUSTABLE OUTPUT REGULATOR

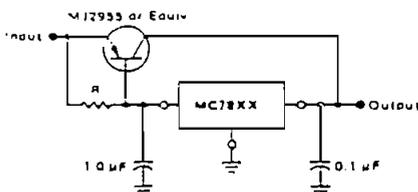


$$V_O: 7.0 \text{ V to } 20 \text{ V}$$

$$V_{IN}: V_O \geq 2.0 \text{ V}$$

The addition of an operational amplifier allows adjustment to higher or intermediate values while retaining regulation characteristics. The minimum voltage obtainable with this arrangement is 2.0 volts greater than the regulator voltage.

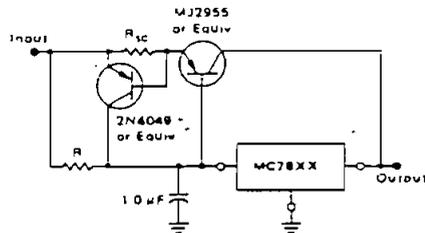
FIGURE 15 - CURRENT BOOST REGULATOR



XX = 2 digit of type number indicating voltage.

The MC7800 series can be current boosted with a PNP transistor. The MJ2955 provides current to 5.0 amperes. Resistor R in conjunction with the V_{BE} of the PNP determines when the pass transistor begins conducting; this circuit is not short-circuit proof. Input-output differential voltage minimum is increased by V_{BE} of the pass transistor.

FIGURE 16 - SHORT-CIRCUIT PROTECTION



XX = 2 digit of type number indicating voltage

The circuit of Figure 15 can be modified to provide swamy protection against short circuits by adding a short-circuit sense resistor, R_{sc} , and an additional PNP transistor. The current sensing PNP must be able to handle the short-circuit current of the three-terminal regulator. Therefore, a four-ampere diode power transistor is specified.