

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN DISPOSITIVO DE RASTREO SOLAR CON DOS GRADOS DE LIBERTAD

ING. LUDWING OCHOA S.
INGENIERO EN ELECTRONICA Y CONTROL
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

ING. MARCO BARRAGAN B.
MSc. EN INGENIERIA DE SISTEMAS
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

RESUMEN

En este trabajo se presentan las principales etapas del proyecto que consiste en el diseño y la construcción de un sistema de rastreo solar con dos grados de libertad, lo que permite al panel rastrear la luz virtualmente en cualquier dirección. Este sistema funciona sin problema sobre una superficie no estacionaria. Como ente manipulador de todo el sistema se usa un microcontrolador, éste recibe información de un grupo de foto-resistores, utilizados como sensores de luz, y como elemento final de actuación se usa motores de pasos. Además se usa obturadores que producen diferentes patrones de luz en los sensores de acuerdo a la posición de la luz con respecto al panel.

ABSTRACT

This paper presents the design and construction of a solar tracking system with two degree of freedom. The system has the capability to track a source of light in virtually any direction. This system works without any problem over a nonstationary surface. The handler of all this system is the microcontroller, it receives information from several photo-resistors which are used like light sensors. Stepper motors are used as actuators. In addition shutters are used to produce different patterns of light on the sensors according to the position of the light with respect to the panel.

1. INTRODUCCION

En la época actual, 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 un dispositivo de movimiento discreto, que facilita el acoplamiento con otros componentes electrónicos y es más compatible con técnicas de control digital modernas.

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

Este prototipo utiliza fotoresistencias, 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 aplicación inmediata es para obtener mayor eficiencia en cuanto a la captación de la energía radiante, para este propósito 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.

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.

2. DESCRIPCION DEL PROTOTIPO DISEÑADO PARTE MECANICA

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



FIGURA 1

El mecanismo superior (móvil), lo forma un soporte de acrílico (Ver figura 1), 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 del panel rastreador.

MOTOR DE PASOS: (Superior), éste 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: y **SENSORES DE FIN DE CARRERA:** (2) (Para rango de movimiento desde 0° a 180°).

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 sistema, puede moverse

libremente con respecto a un punto fijo en tierra.

Sobre la cara inferior de éste mecanismo se ha montado el segundo motor de pasos, 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, proporciona el movimiento al mecanismo superior, constituyéndose en un elemento muy importante del prototipo. Además se ha montado otros dos sensores de fin de carrera, con el fin de sensar las posiciones límites del mecanismo superior móvil. (Para rango de movimiento desde 0° a 360°).

Por último, se han acoplado dos fotosensores, los cuales son los encargados de sensar la cantidad de intensidad luminosa en el medio ambiente, la utilidad de estos sensores se explicará más adelante.

3. DESCRIPCION DEL DISEÑO DEL HARDWARE

Para entender mejor el diseño se explica a continuación el diagrama de bloques del sistema.

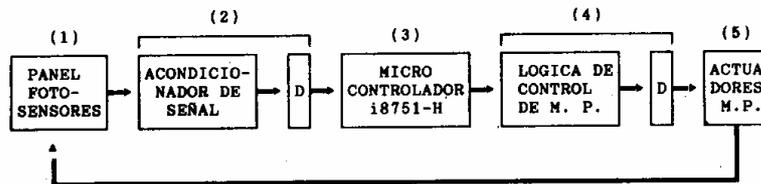


FIGURA 2

Donde: D = "Driver"
M.P. = Motores de Pasos.

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 pertenece 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 3.

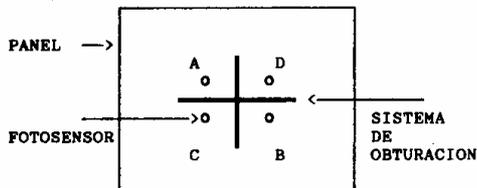


FIGURA 3

Donde: Sensores A y B, rastrea 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. 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.

El posicionamiento horizontal del panel y el control de todas las señales luminosas del sistema, también es supervisado por el microcontrolador.

A continuación se tiene el bloque número (4), el mismo que 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.

4. 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.

4.1 Interfaz entre los Sensores y el Microcontrolador

El circuito usado para convertir las condiciones de luz sombra en señales de nivel lógico +5 V y 0 V, comienzan con un divisor de voltaje que consiste de un resistor y un fotoresistor en serie con un resistor variable. (Ver figura 4, parte a) Este divisor de voltaje, cuyo punto intermedio está llamado como V_f (V_f' para el otro sensor), está conectado para dividir el suministro de +12 V DC y -12 V DC. 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 referencia V_c , el mismo que puede

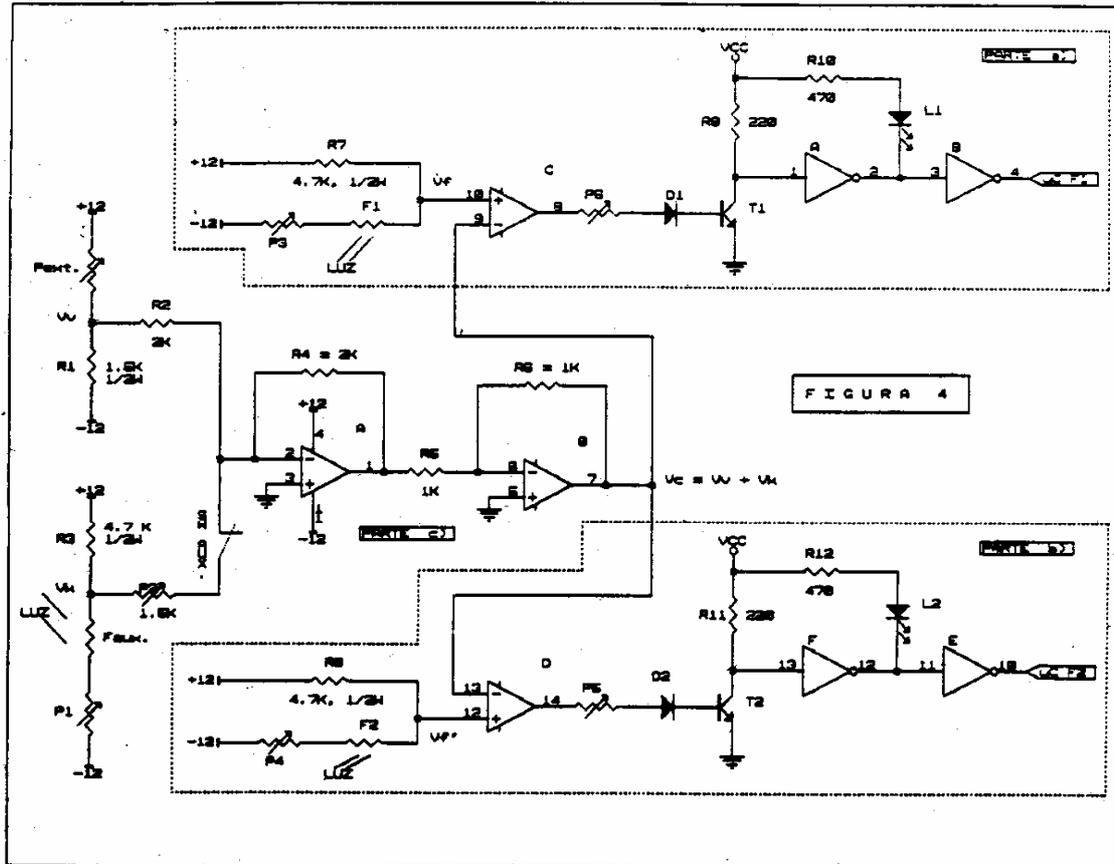


FIGURA 4

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 ésta 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.

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 4).

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 fotoreistencia. Todo lo anteriormente descrito es válido para un sensor en una dirección determinada, mientras que el sensor complementario posee el mismo diseño, como se puede observar en la figura 4 parte b.

En la figura 4 parte c, se observa el circuito generador del voltaje de referencia V_c , el cual se describirá a continuación.

Básicamente está formado por un sumador y un inversor. El sumador va ha sumar dos voltajes V_w y V_x , en donde V_w es la referencia escogida por el usuario de tal manera de hacer al sistema más ó menos sensible. Mientras que V_x 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 referencia 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 4), de ésta manera se tiene un control total de todas las magnitudes del circuito.

4.2 Etapa de Potencia

El circuito de la figura 5, muestra todas las conexiones entre el microcontrolador y los actuadores (Motores de Pasos).

AND. 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 darlington, 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, 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

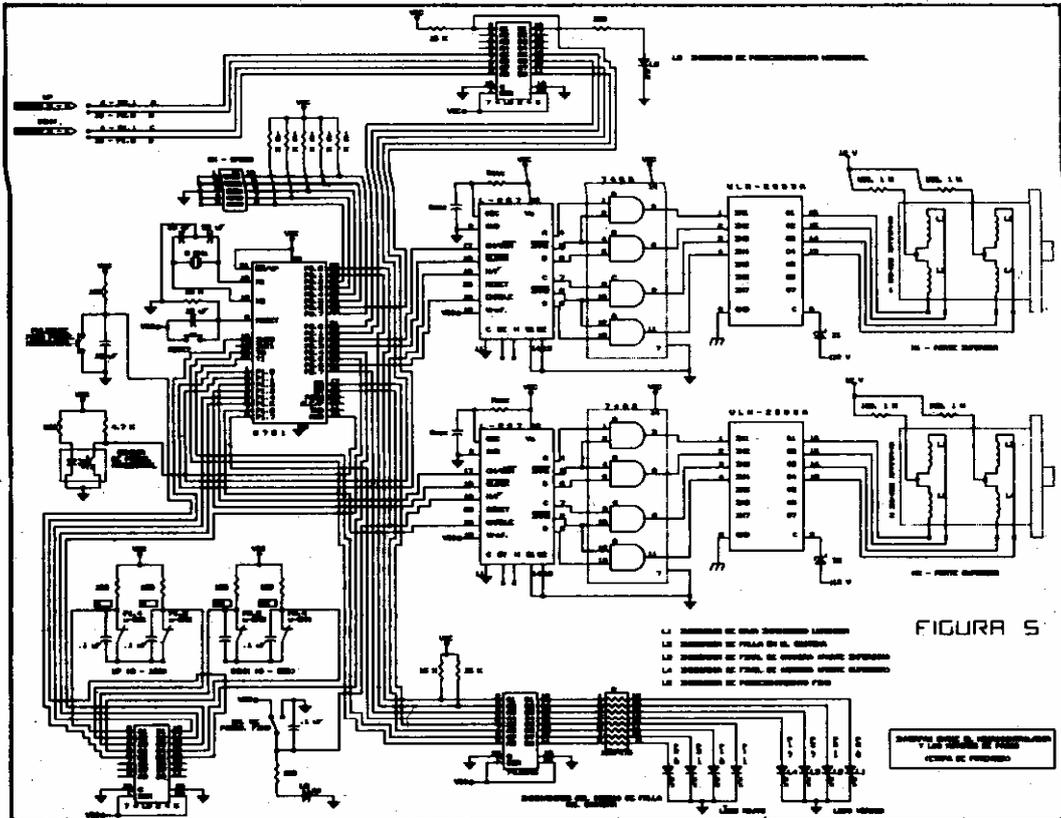


FIGURA 5

Como se puede ver, existe un acoplamiento directo entre el microcontrolador y los controladores de motores paso a paso, L-297, esto se lo hace debido a que éstos 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

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 Ω / 1 W, la misma que tiene como finalidad decrementar la constante de tiempo L/R del motor, permitiendo tiempos de encendido más rápidos, es decir se incrementa la velocidad de respuesta.

En la figura 5, 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, y también de las señales provenientes de los sensores de fin de carrera (Microswitch).

6. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA REALIZADO USANDO EL SET DE INSTRUCCIONES DEL MICROCONTROLADOR 8751

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 se puede 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 6 se muestra la relación entre las definiciones y la verdadera dirección del movimiento del panel.

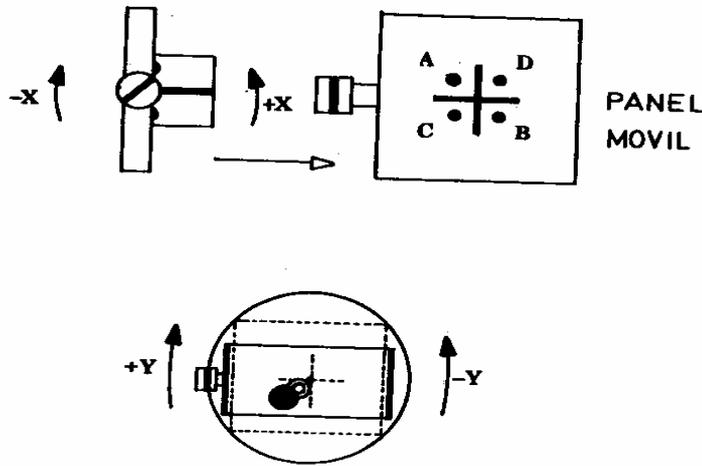


FIGURA 6

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

Las fotorestancias utilizadas como sensores, generan indirectamente las señales del error. Estas fotorestancias están montadas sobre el panel, separadas por un sistema de obturación bidireccional. Referirse a la figura 3.

Estos obturadores producen distintos patrones de luz en las fotorestancias 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 Nº 1).

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

Como observamos en la tabla Nº 1, existen 16 combinaciones posibles con un sistema de 4 fotorestancias. 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, éste 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).

5.1 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA PROPIAMENTE DICHO

El programa se basa en algunos conocimientos previos que los daremos en esta parte. A continuación se explicará brevemente la tabla Nº 1.

CODIGO 0 0 0 0 (C D A B)

Este código indica que todas las fotorestancias 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 fotorestancia "B", se encuentra totalmente iluminada, mientras que las otras no lo están, por tanto el movimiento debe

hacérselo en el sentido -Y (Ver figura 6), hasta que "C" también se ilumine, de tal manera de pasar al código 1001, cuyo sentido de giro se verá mas adelante.

CODIGO 0101 (C D A B)
Este código nos indica que tanto la fotoresistencia "D" como la "B", encuentran totalmente iluminadas, pero

TABLA Nº 1

	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

CODIGO 0010 (C D A B)
Este código indica que sólo la fotoresistencia "A", está iluminada totalmente, tomando como referencia la figura 6, el movimiento deberá ser en el sentido -Y, hasta que la fotoresistencia "D" se ilumine, pasando al código 0110.

CODIGO 0100 (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" sea iluminada también, de tal manera de conseguir el código 0110, el cual se explicará mas adelante.

CODIGO 1000 (C D A B)
Este código indica la iluminación total de la fotoresistencia "C", por tanto el movimiento será en el sentido +Y, hasta conseguir la iluminación de "B", de tal manera de pasar al código 1001.

CODIGO 0110 (C D A B)
Este código nos indica que las fotoresistencias "D" y "A", se encuentran totalmente iluminadas, por tanto el movimiento debe ser en el sentido +X (motor superior), de tal manera de conseguir la iluminación de todos los foto-sensores.

CODIGO 1001 (C D A B)
Este código nos indica que las fotoresistencias "C" y "B", se encuentran totalmente iluminadas, por tanto el movimiento debe ser en el sentido -X, de tal manera de conseguir la iluminación de todos los foto-sensores.

movimiento no va a ser tan simple determinar, ya que éste va a depender de la posición del panel. Para conocer posición del panel propiamente dicho, 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 será hasta conseguir otro código.

CODIGO 1010 (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 0111 (C D A B)
En este código sólo la fotoresistencia "C", no está totalmente iluminada, por 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 1011 (C D A B)
Aquí la fotoresistencia "D", no se encuentra totalmente iluminada, por 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, por tanto 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 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 fotosensores, es decir el panel se encuentra orientado directamente hacia el sol. En otras palabras, éste código determina una

señal de error igual a cero, de tal forma que el microcontrolador no proporciona movimiento a todo el sistema rastreador.

El diagrama de flujo No 1, muestra la secuencia que, en forma general tiene el programa.

En las siguientes líneas se va a explicar brevemente el programa.

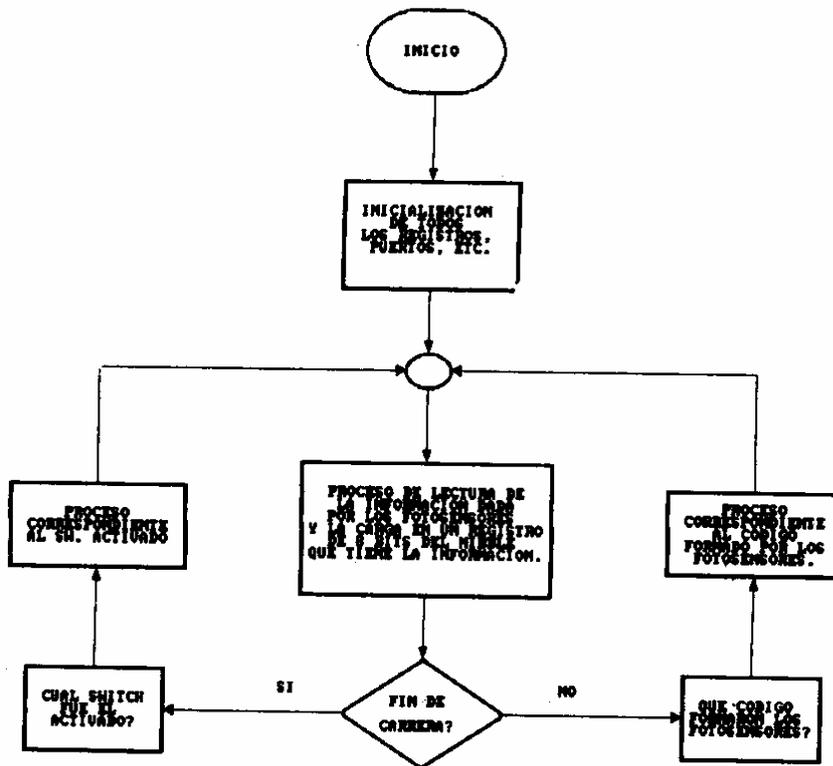
INICIALIZACION.- al principio del programa se realiza un proceso de inicialización, principalmente de las siguientes partes:

- 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 fotosensores, 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

DIAGRAMA DE FLUJO No. 1



por los "microswitch", éste código también se forma mediante la lectura y carga de la información suministrada por éstos "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 microswitch. Conocido ésto el microcontrolador actúa dependiendo del caso; a continuación se detallan estos casos:

FINALES DE CARRERA. - para detectar un fin de carrera el microcontrolador usa el código proporcionado por los "microswitch", éste código de 4 bits se forma mediante la lectura y carga de la información suministrada por éstos "µSW" en un registro del microcontrolador. La información cargada en un registro se compara con una tabla establecida en ROM correspondiente a los códigos de los microswitch, se determina cual es la información dada por los microswitch.

(Relativamente de baja velocidad), pues que sin este proceso se enredarían los cables provenientes del panel rotatorio, girar varias veces en el mismo sentido.

AB2: significa que el "µSW" 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 tienen 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 (P1.4) de la parte de arriba fué 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, ésta subrutina tiene un retardo de aproximadamente 5 segundos, tiempo que

TABLA Nº 2

ETIQUETA	CW		CCW		ESTADO 1 SWITCH ENCENDIDO 0 SWITCH APAGADO
	ARRIBA P1.5	P1.4	ABAJO P2.5	P2.4	
	0	0	0	0	SW OFF (SWITCH APAGADO)
AB1	0	0	0	1	ABAJO 1 (CCW)
AB2	0	0	1	0	ABAJO 2 (CW)
	0	0	1	1	FALLA
ARR1	0	1	0	0	ARRIBA 1 (CCW)
ABARR11	0	1	0	1	ABAJO 1, ARRIBA 1 (CCW)
ABARR21	0	1	1	0	ABAJO 2, ARRIBA 1 CCW,CW
	0	1	1	1	FALLA
ARR2	1	0	0	0	ARRIBA 2 (CW)
ABARR12	1	0	0	1	ABAJO 1, ARRIBA 2 CW,CCW
ABARR22	1	0	1	0	ABAJO 2, ARRIBA 2 (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

Conocido ésto el microcontrolador actúa dependiendo del caso; a continuación se detallan estos casos:

Las rutinas correspondientes a la tabla número 2, se explican a continuación:

AB1: significa que el "µSW" de la parte de abajo (inferior), fué pulsado, siendo el movimiento del eje principal en sentido antihorario (CCW), por tanto, el programa cambia de sentido de giro (CW), moviéndose 360° 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 (µSW). 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

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 "µSW", 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 permaneciera 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 fué pulsado siendo el

movimiento en sentido horario. Esta subrutina funciona en forma similar a la anterior, sino que únicamente cambian los sentidos de giro.

ABARRm: éste 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, 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 subrutina, 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".

6. 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; esto se lo debe hacer debido a la diferencia de energía radiante emitida por estos dos tipos de fuentes.

6.1 RESULTADOS AL USAR UNA FUENTE LUMINOSA DÉBIL (LÁMPARA)

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. Estos direccionadores son acoplados a cada fotoresistencia en el caso de rastreo solar.
- 2) Refiriéndose a la figura 3, 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 varía 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, esto 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 un pin perteneciente a uno de los puertos del microcontrolador (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 que el motor que estaba en movimiento siga 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.

6.2 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.
- 2) Refiriéndose a la figura 3, se puede explicar más fácilmente los ajustes necesarios para rastreo solar. En la figura 3 se muestra que los amplificadores operacionales de la parte a y b, 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 P3, P4, de tal forma que varíe V_f y V_f' respectivamente, ó variando V_c por medio de Pext. 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, es decir que cada foto-sensor debe 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. De todas maneras esta situación no impide que los objetivos

planteados al inicio de este proyecto se hayan cumplido.

Las siguientes fotografías muestran detalles del equipo construido, tanto del panel rastreador (Foto N° 1), como del circuito de control (Foto N° 2).



FOTO N° 1

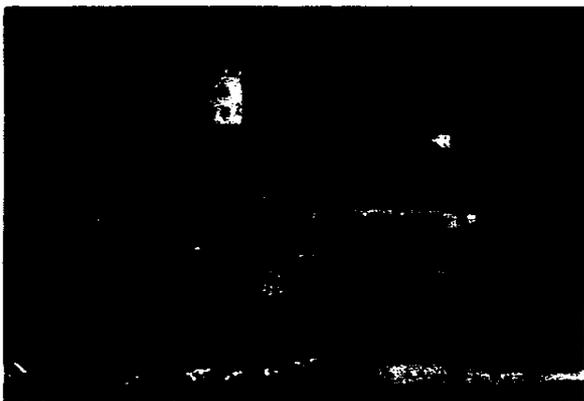


FOTO N° 2

7. 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 desperdiciada como es la solar. Esto se actualiza debido a la presente crisis que viven nuestros países.

- En la sección de rastreo se ha usado 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 seguimiento del sol.
 - 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 sea más exacto sin error acumulativo.
 - En la construcción del equipo se pudo comprobar las ventajas que presentan al trabajar con un microcontrolador, el cual presenta muchas bondades tales como: facilidad de programación, reducción notable del Hardware, etc.
 - En las pruebas realizadas con el equipo se comprobó que este tenía una mayor sensibilidad al rastrear una fuente luminosa débil que al rastrear una fuente como la solar. Sin embargo esta situación no evitó que los objetivos planteados se cumplan.
 - Adicionalmente se indica que en las pruebas del equipo se detectó un error de posicionamiento del panel rastreador, el cual es muy aceptable a las necesidades requeridas.
 - El equipo ha sido construido, tomando en cuenta futuras aplicaciones, en donde se necesite espacio y contactos disponibles. 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 más grande que el construido, 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.

8. RECOMENDACIONES

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 reducen significativamente el Hardware; así como también facilitan el diseño y relativamente son de fácil adquisición en el mercado, lo que no sucede con los motores de pasos.

9. BIBLIOGRAFIA

1. ANGULO J.M. & AVILES R., "Curso de Robotica", Paraninfo, Madrid, 22 Ed., 1985.
2. GRAEME JERALD G., "Applications of Operational Amplifiers", Mc Graw Hill, Kogakusha, 1973.
3. INTEL, "8-Bit Embedded Controller Handbook", Intel, Santa Clara CA., 1989.
4. NATIONAL SEMICONDUCTOR, "Voltage Regulator Handbook", National Semiconductor, 1982.
5. TEXAS INSTRUMENTS, "The TTL Data Book", 22 Vol, Texas Instruments Incorporated, Dallas T., 1985.
6. CONTROL SYSTEMS MAGAZINE, "Sun Tracking by Peak Power Positioning for Photovoltaic Concentrator Arrays", PRITCHARD D., III (N2 3, 1983), p.2-

7. CONTROL SYSTEMS MAGAZINE, "Microcomputer Speed Control of Stepper Motor", CHEN C.S., II (N2 1, 1982), p. 17 - 19.

8. STUDENT PAPERS, "Automatic Control Adapter for a Manual Star Tracking System", MILDREN W.J., 1987, p. 73 - 76.

9. OCHOA LUDWING, "Diseño y Construcción de un Dispositivo de Rastreo Solar con Dos Grados de Libertad", E.P.N., Quito, 1992.

10. BIOGRAFIAS



OCHOA LUDWING .- Obtuvo el título de Bachiller en Humanidades Modernas en el Colegio San Gabriel de Quito. Sus estudios superiores los realizó en la Escuela Politécnica Nacional, obteniendo el título de Ingeniero en Electrónica y Control en 1.992.

Actualmente presta sus servicios en INCO C. Ltda. como Ing. Supervisor del Proyecto "METRIMPEX" Gobierno de Hungría-Dinace.

BARRAGAN MARCO .- Obtuvo el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en la Escuela Politécnica Nacional en Enero de 1973. Master en Ciencias, especialidad Ingeniería de Sistemas, Universidad de Sao Paulo-Brasil, Diciembre de 1977. Profesor principal a tiempo completo en la Escuela Politécnica Nacional, área de Electrónica y Control.