

FACULTAD DE INGENIERÍA



DISEÑO, ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA SEGUIMIENTO SOLAR EN DOS EJES

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO
DE
INGENIERO ELECTRICISTA**

PRESENTADO POR:

**JOSÉ ISMARTH HERRERA MEDINA
NELSON GUSTAVO MOLINA PALMA**

**ASESOR:
ING. HÉCTOR RUBÉN CARIÁS JUAREZ**

**ENERO 2010
EL SALVADOR, CENTRO AMERICA**

UNIVERSIDAD DON BOSCO

**RECTOR
ING. FEDERICO MIGUEL HUGUET RIVERA**

**SECRETARIA GENERAL
INGA. YESENIA XIOMARA MARTÍNEZ**

**DECANO FACULTAD DE INGENIERIA
ING. ERNESTO GODOFREDO GIRÓN**

**ASESOR:
ING. HÉCTOR RUBÉN CARÍAS JUAREZ**

**LECTOR
ING. MOISÉS ROBERTO GUERRA**

**ADMINISTRADOR DEL PROCESO
ING. ERICK ALEXANDER BLANCO GUILLÉN**

FACULTAD DE INGENIERIA



EVALUACIÓN DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

DISEÑO, ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA SEGUIMIENTO SOLAR EN DOS EJES

ING. MOISES GUERRA
LECTOR

ING. HECTOR CARIAS
ASESOR

ING. ERICK BLANCO
ADMINISTRADOR

Contenido.

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS.....	3
General.....	3
Específicos.....	3
ALCANCES	4
LIMITACIONES.....	4
CAPITULO I. Marco teórico.....	5
1. Sistemas fotovoltaicos.....	5
1.1 ¿Qué es y cómo funciona un sistema fotovoltaico?	5
1.1.1 Paneles solares fotovoltaicos.	6
1.1.2 Las placas fotovoltaicas se dividen en:.....	6
1.2 ¿Cuál es la vida útil de un panel solar fotovoltaico?.....	7
1.3 Datos sobre la radiación en El Salvador.....	7
2. Clasificación de los sistemas solares fotovoltaicos.	7
2.1 Los sistemas fotovoltaicos pueden ser:	7
2.1.1 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red.....	7
2.1.2 Sistemas fotovoltaicos aislados de la red.....	8
3. Seguidores solares.	8
3.1 Coordenadas Geográficas.	8
3.2 Inclinación y orientación del panel solar fotovoltaico.....	9
3.2.1 Inclinación.....	9
3.2.2 Orientación.	10
3.3 Los husos horarios.....	10
4. Movimiento solar.....	11
4.1 Seguimiento del sol.....	11
4.2 Tipos de seguimiento del sol.....	12
4.3 Métodos de seguimiento.	12

5. Sistema de control.....	14
5.1 Motores de pasos.....	14
5.1.1 Tipos de motores.....	14
5.2 Sistemas del proyecto.....	15
5.2.1 Subsistemas de captación energética.....	15
5.2.2 Subsistema mecánico.....	15
5.2.3 Subsistema de control.....	16
CAPITULO II. Diseño del Sistema.....	17
6.1 Construcción del sistema de control.....	17
6.1.1 Circuito de control.....	17
6.1.2 Circuito electrónico de control.....	17
6.1.3 Comunicación de datos con el microcontrolador (16F877A).....	17
6.1.4 Etapa de potencia.....	18
6.1.5 Acondicionamiento de señal para medición.....	19
6.2 Secuencia de programación para microcontrolador (16F877A).....	21
6.2.1 Flujograma.....	21
CAPITULO III. Mediciones y Análisis de resultados.....	26
7.1 Datos medidos sin seguidor y con seguidor solar.....	26
7.2 Cálculo de energía para sistema sin seguimiento solar.....	30
7.3 Cálculo de energía para sistema con seguimiento solar.....	31
7.4 Análisis de los cálculos y resultados.....	32
7.4.1 Presupuesto del sistema seguidor.....	32
7.4.2 Cálculo de coste para el sistema actual.....	33
7.5 Fotografías del Proyecto.....	34
7.6 CONCLUSIONES.....	36
7.7 RECOMENDACIONES.....	37
BIBLIOGRAFÍA.....	38
ANEXOS.....	39

Anexo 1 Lógica del programa.....	40
Anexo 2 Datos de placa del panel solar.....	49
Anexo 3 Circuito electrónico completo del seguidor.....	50
Anexo 4 hoja técnica 16F877A, MAX232, L298 y LM324.....	51
Gráficos.	
7.1 W vs. t sin seguidor.....	29
7.2 W vs. t con seguidor.....	29
7.3 Grafico de aéreas sin seguidor.....	30
7.4 Grafico de aéreas con seguidor	31
Tablas.	
7.1 Mediciones.....	27
7.2 Mediciones sin seguidor.....	30
7.3 Calculo de aéreas sin seguidor.....	30
7.4 Mediciones con seguidor.....	31
7.5 Calculo de aéreas con seguidor.....	31
7.6 Costo adicional.....	32
Figuras.	
1.1 a Instalación sin inversor.....	5
1.1 a Instalación con inversor.....	6
1.2 Panel Fotovoltaico.....	6
1.3 Mapa radiación en El Salvador.....	7
3.1 Coordenadas geográficas.....	8
3.2 Husos horarios.....	11
4.3.1 Seguidor solar.....	13

4.3.2 C0600.....	13
5.1.1 Motor de imanes permanentes.....	14
5.1.2 Motor de reluctancia variable.....	14
5.1.3 Motor hibrido.....	15
5.2 Subsistema de control.....	16
6.2 MAX 232.....	18
6.3 L298.....	19
6.4 Amperímetro.....	19
6.5 Voltímetro.....	20
6.6 Flujo grama.....	21
7.5 a Circuito de control.....	34
7.5 b Motores del sistema.....	34
7.5 c Seguidor solar.....	35
7.5 d Seguidor solar.....	35

INTRODUCCIÓN

La necesidad de emplear nuevos métodos de generación de energía que sean de pequeño o nulo impacto ecológico ha dado como resultado el estudio de los métodos que emplean recursos renovables, uno de ellos es el aprovechamiento de la energía solar que es de elevada calidad energética y de insignificante impacto al ambiente además de ser inagotable a escala humana; sin embargo existen algunos problemas a la hora de dicho aprovechamiento: la energía llega a la tierra de manera dispersa y semialeatoria, estando sometida a ciclos día-noche y estaciones invierno-verano.

Debido a la enorme distancia que existe entre el sol y la tierra la Irradiación que llega a nuestro planeta es solo una pequeña parte de la potencia total emitida por el sol. En concreto, al planeta tierra llegan como valor medio $1367 \text{ (W/m}^2\text{)}^1$. Este valor de potencia radiante no es el valor que llega a la superficie de la tierra, pues la atmósfera atenúa a la radiación solar a través de fenómenos de reflexión, absorción y difusión ocasionados por las moléculas de aire, ozono vapor de agua y otros gases presentes en ella, por lo tanto la irradiancia en un plano horizontal ubicado sobre la superficie terrestre alcanza un valor máximo de $1000 \text{ (W/m}^2\text{)}^1$ durante el medio día en un día claro, es decir el valor máximo a aprovechar.

El aprovechamiento de la energía solar puede hacerse de dos maneras: por captación térmica y captación fotónica, por captación térmica es cuando la energía solar es interceptada por una superficie absorbente y se degrada apareciendo un efecto térmico, cuando es por captación fotónica la radiación solar es empleada de forma directa y esto origina energía fotovoltaica.

Mediante el efecto fotoeléctrico la energía de los corpúsculos constituyentes de la luz (fotones) se puede aprovechar para producir electricidad lo cual se hace con la ayuda de los llamados SFV (Sistemas Fotovoltaicos)² que se constituye por una serie de paneles encargados de captar la luz solar y convertirlas en energía que

1. VILLALTA, César. ENERGÍA FOTOVOLTAICA. Editorial PHONIX SonnenStrom AG. El Salvador, 2005.

2. MÉNDEZ MUÑIZ, Javier. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA. FC Editorial. España. 2008.

posteriormente puede ser almacenada para luego integrarla al consumo de las personas.

Al mencionar que la energía llega a la tierra de manera dispersa y semialeatoria, estando sometida a ciclos día-noche y estaciones invierno-verano, esto hace que los sistemas fotovoltaicos por sí solos se vuelvan poco eficientes debido a la variación de la cantidad de radiación captada por el sistema fotovoltaico causada por la trayectoria del sol en el transcurso del día, para minimizar dicho efecto y maximizar la eficiencia del sistema, se propone la integración de un sistema de seguimiento del sol.

El sistema de seguimiento propuesto consta de dos partes: una mecánica y un circuito electrónico de control; las que orientan al panel para lograr mayor incidencia de los rayos solares en el transcurso del día, esta idea hace mas eficiente al SFV³ ya que aumenta el aprovechamiento de la energía. El SFV² puede ser sujeto a pruebas comparándolo con otro sistema que no posea seguimiento solar, con esto se comprobará la diferencia en el aprovechamiento de la energía, durante el día las mediciones pueden compararse y mostrará diferencias claras en un solo día de prueba, la construcción de este modelo prototipo es explicada por cada etapa y se explica a lo largo del documento mostrando diagramas y la explicación de cada parte que conforme dichas etapa

OBJETIVOS

General

- Elaborar una propuesta de diseño y un prototipo de un sistema de seguimiento del sol en dos ejes, para trayectoria diaria y anual, con una parte electrónica y una mecánica en la aplicación, con el fin de verificar la optimización de energía que es aprovechada en un sistema de energía fotovoltaica.

Específicos

- Diseñar un sistema de seguimiento solar que pueda optimizar la captación de radiación solar, a fin de aumentar la cantidad de energía aprovechada, para un sistema fotovoltaico, que contenga una parte eléctrica que controle a una parte mecánica para movilizar un panel solar.
- Fabricar un prototipo con costos moderados, que no sobrepase la inversión inicial de un sistema de este tipo para una zona rural que se estima entre US\$ 800 y US\$ 1.000, en dos etapas electrónica y mecánica para un sistema de seguimiento del sol, aplicable a sistemas fotovoltaicos y concentradores para generación de energía eléctrica.
- Evaluar los resultados obtenidos para emitir conclusiones que permitan demostrar que los sistemas seguidores son un medio para incrementar la energía aprovechada para los sistemas nuevos y ya existentes.

ALCANCES

- El prototipo será capaz de seguir el sol en su trayectoria diaria y anual captando la mayor cantidad de energía, para ser aprovechada comprobándose con la medición de las variables eléctricas, voltaje, corriente y potencia.
- Dentro del proyecto se podrán realizar las mediciones directamente de la computadora ya que se ha incluido un circuito para un amperímetro y un voltímetro.
- El sistema de seguimiento será completamente automático a lo largo del día y del año, el ciclo no depende de un tiempo programado el reposicionamiento se logra por medio de finales de carrera y no requiere de mantenimiento a corto plazo únicamente de ser correctivo.

LIMITACIONES.

- El prototipo no se presentará completo ya que no constará de un circuito inversor ni de un banco de baterías por los costos de estos sistemas, por lo que el prototipo se presentará a nivel de medición con el fin de analizar los resultados para una posterior comparación.
- El análisis de los resultados se dará solo a nivel de comparación de variables ya que el tiempo de realización del proyecto permitió un análisis más profundo.
- En el prototipo se presenta una dificultad de balance por la forma de la estructura, cuando el panel esta posicionado para las primeras horas del día se pierde el balance y la estructura que soporta el panel sede por efecto del desplazamiento del centro de masas del conjunto de elementos que conforma el sistema.

CAPITULO I. Marco teórico.

1. Sistemas fotovoltaicos.

1.1 ¿Qué es y cómo funciona un sistema fotovoltaico?

Un sistema fotovoltaico es un dispositivo que, a partir de la radiación solar, produce energía eléctrica en condiciones de ser aprovechada por el hombre. El sistema consta de los siguientes elementos (Figura 1.1):

- Un generador solar, compuesto por un conjunto de paneles fotovoltaicos, que captan la radiación luminosa procedente del sol y la transforman en corriente continua a baja tensión (12 ó 24 V).
- Una batería o acumulador, que almacena la energía producida por el generador y permite disponer de corriente eléctrica fuera de las horas de luz o días nublados.
- Un controlador de carga, cuya función es evitar sobrecargas o descargas excesivas al acumulador, que le produciría daños irreversibles; y asegurar que el sistema trabaje siempre en el punto de máxima eficiencia.
- Un inversor (opcional), que transforma la corriente continua de 12 ó 24 V almacenada en la batería, en corriente alterna de 110 V.

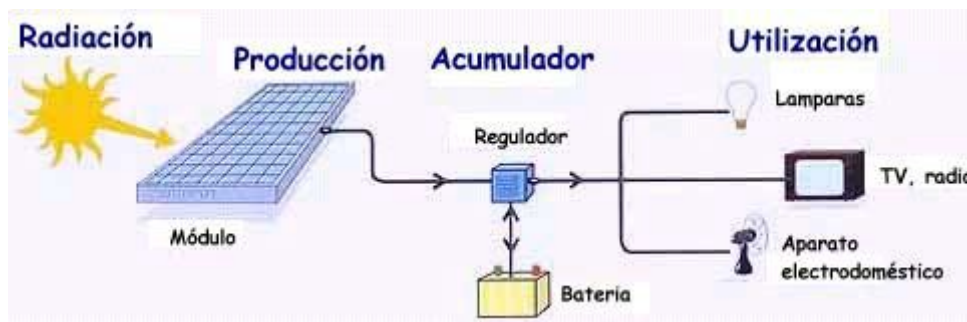


Figura 1.1a Una instalación solar fotovoltaica sin inversor, utilización a 12Vcc

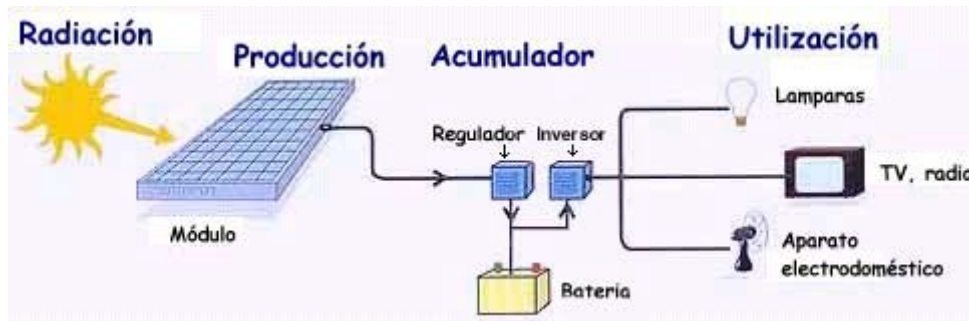


Figura 1.1b Una instalación solar fotovoltaica con inversor, utilización a 110Vca

Una vez almacenada la energía eléctrica en la batería hay dos opciones: sacar una línea directamente de éste para la instalación y utilizar lámparas y elementos de consumo de 12 ó 24 Vcc (figura 1.1a) o bien transformar la corriente continua en alterna de 110 V a través de un inversor (figura 1.1b).

Si en vez de un panel solar se instala un aerogenerador el sistema se denomina eólico. Si se instalan ambos será un sistema híbrido. En este caso cada uno debe llevar su propio controlador de carga⁴.

1.1.1 Paneles solares fotovoltaicos.

Los paneles fotovoltaicos o colectores solares fotovoltaicos están formados por un conjunto de celdas (células fotovoltaicas) que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos.



Figura 1.2

1.1.2 Las placas fotovoltaicas se dividen en:

Monocristalinas: se componen de secciones de un único cristal de silicio (reconocibles por su forma circular u octogonal, donde los 4 lados cortos, si se observa, se aprecia que son curvos, debido a que es una célula circular recortada).

Policristalinas: cuando están formadas por pequeñas partículas cristalizadas.

4. www.gstriatum.com/energiasolar/ Energía Solar. Actualización 2010

Amorfos: cuando el silicio no se ha cristalizado.

1.2 ¿Cuál es la vida útil de un panel solar fotovoltaico?

Teniendo en cuenta que el panel carece de partes móviles y que las celdas y los contactos van encapsulados en una resina sintética, se consigue una muy buena fiabilidad junto con una larga vida útil, del orden de 30 años⁵ o más. Además si una de las celdas falla, esto no afecta al funcionamiento de las demás, y la intensidad y voltaje producidos pueden ser fácilmente ajustados añadiendo o suprimiendo celdas.

1.3 Datos sobre la radiación en El Salvador.

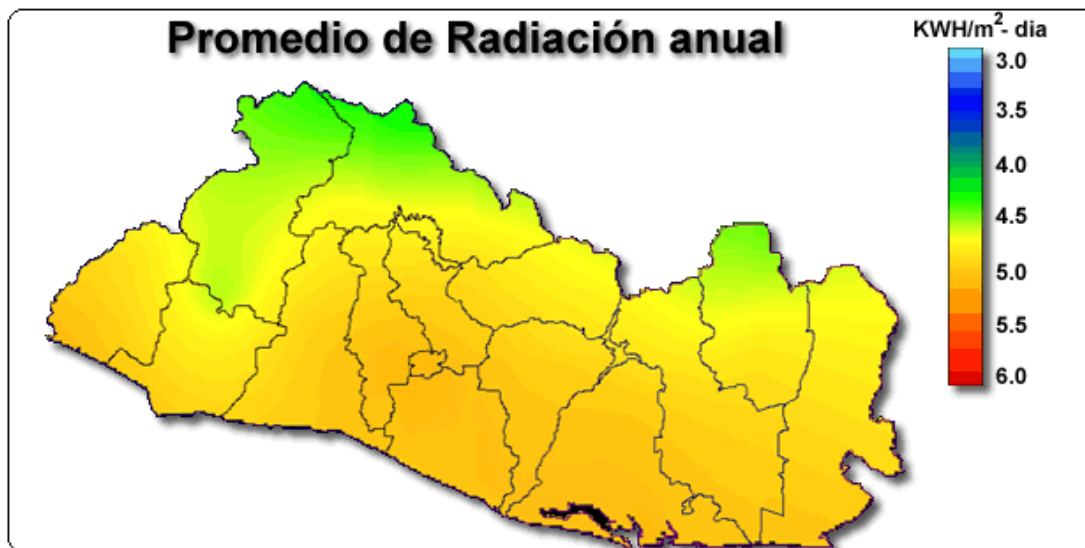


Figura 1.3

2. Clasificación de los sistemas solares fotovoltaicos.

2.1 Los sistemas fotovoltaicos pueden ser:

2.1.1 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red.

Este tipo de sistemas tienen por función inyectar a la red eléctrica convencional toda o parte de la energía eléctrica producida por el sol, el seguidor hará más eficiente la entrega de la energía pues aumenta la cantidad de luz que puede incidir sobre los paneles a lo largo del día y del año.

5. VILLALTA, César. ENERGÍA FOTOVOLTAICA. Editorial PHONIX SonnenStrom AG. El Salvador, 2005.

2.1.2 Sistemas fotovoltaicos aislados de la red.

Estos se utilizan para satisfacer total o parcialmente las necesidades de energía eléctrica en aquellos lugares en donde no existe red eléctrica convencional, la integración del seguidor solar puede incluso aumentar la oferta de energía para este tipo de instalaciones ya que a lo largo del día optimiza la cantidad de fotones recibidos por los paneles solares el proyecto es de este tipo según las características descritas.

3. Seguidores solares.

3.1 Coordenadas Geográficas.

Para averiguar la localización exacta de un punto de la superficie terrestre nos valemos de las denominadas coordenadas geográficas, la longitud y la latitud, halladas a partir de una red geográfica de líneas imaginarias llamadas meridianos y paralelos.

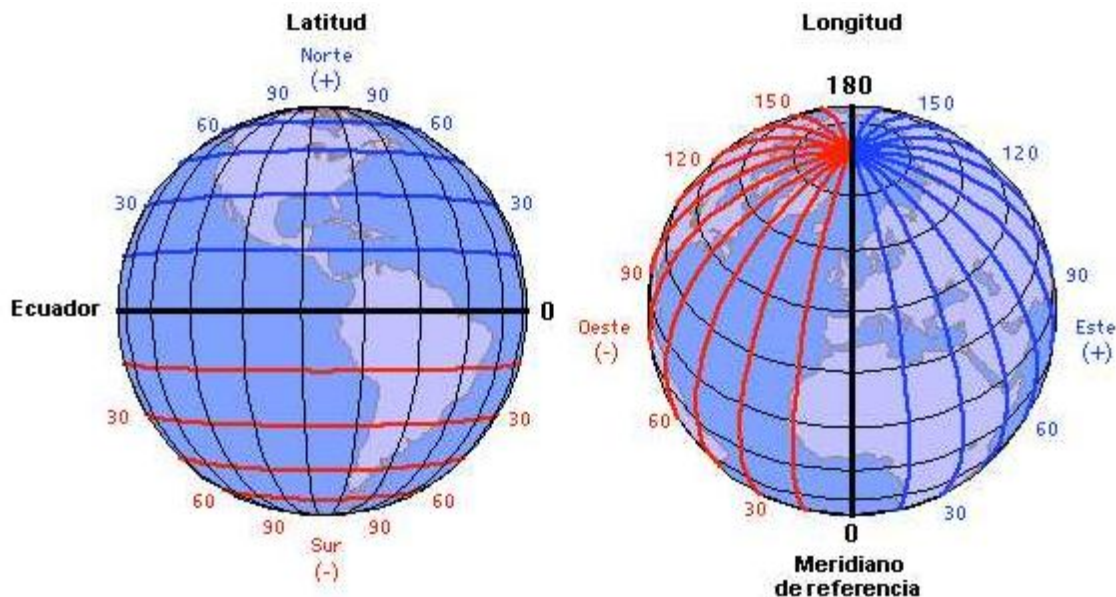


Figura 3.1 Meridianos y paralelos. (Tomada de: temasactuales.com)

3.2 Inclinación y orientación del panel solar fotovoltaico.

Cuando no se tiene un sistema de seguimiento, una solución estática puede resultar suficiente para algunas aplicaciones. Naturalmente, en este caso la energía colectada no es la máxima posible pero puede resultar aceptable si se da al colector una determinada orientación, la cual se puede variar con ajustes estacionales para conseguir algunas mejoras.

En los últimos años, en instalaciones residenciales se han utilizado paneles estáticos orientados e inclinados de acuerdo a la ubicación geográfica. En El Salvador existen instalaciones de este tipo, en colonias rurales de difícil acceso, en las cuales no hay líneas de alimentación cercanas; cuidando que el costo de los elementos de construcción y de implementación no rebase las expectativas de los consumidores a fin.

3.2.1 Inclinación.

La radiación solar que incide sobre un panel variara con el ángulo en que rayos solares hagan contacto con la superficie del panel, la captación de energía será máxima cuando la superficie del panel sea perpendicular a la radiación.

La inclinación de los rayos del sol respecto a la superficie horizontal es variable a lo largo del año (máxima en verano y mínima en invierno) y por tanto, en aquellas instalaciones cuyos paneles estén fijos, existirá un ángulo de inclinación que optimizará la colección de energía sobre una base anual. Es decir, conviene buscar el ángulo de inclinación de los paneles respecto al plano horizontal que hace máxima la potencia media anual recibida. En la mayoría de los casos este ángulo coincide con la latitud del lugar de la instalación. Normalmente se suele tomar un ángulo mayor, aproximadamente (15°) ⁶, en beneficio de una mayor captación durante el invierno, cuando la luminosidad disminuye, a costa de una peor captación en verano, cuando hay una mayor cantidad de luz.

Puede ocurrir que la instalación no vaya a usarse todo el año sino sólo en ciertas épocas. Así, si la instalación se va a usar preferentemente en verano conviene que la inclinación del colector sea menor que la latitud del lugar, aproximadamente en 15° .

3.2.2 Orientación.

Generalmente la orientación para los paneles solares fotovoltaicos es hacia el sur, debido a que la trayectoria del Sol, en movimiento, es de Este a Oeste es simétrica respecto de la posición que ocupa al mediodía y a que es precisamente en este momento cuando la captación de energía solar es máxima.

Las desviaciones hacia el Oeste o hacia el Este en un ángulo inferior a 30° hacen disminuir la radiación diaria recibida en un pequeño valor que se cifra en menos del 5%. Por el contrario, para ángulos superiores a este valor, las pérdidas en la irradiación captada son considerables.

En resumen, la orientación óptima de un colector es la que mira directamente hacia el Sur, pero si esto no es posible puede determinarse una variación aproximada de 15° . Círculo Polar Ártico y el Círculo Polar Antártico.

Al ser medidas angulares la latitud y la longitud se miden en grados. Sus valores máximos son: 90° de latitud Norte, 90° de latitud Sur, 180° de longitud Este y 180° de longitud Oeste.

3.3 Los husos horarios.

Todos los lugares de la Tierra que están en el mismo meridiano tienen la misma hora solar, ya que todos los puntos que atraviesa tienen al Sol en la vertical a medio día.

Como la circunferencia de la Tierra tiene un total de 360° y el día solar se divide en veinticuatro horas, la Tierra se puede dividir en veinticuatro franjas imaginarias de una hora, los denominados husos horarios. Por tanto, cada 15° de longitud hay una hora de diferencia, una más hacia el Este y una menos hacia el Oeste.

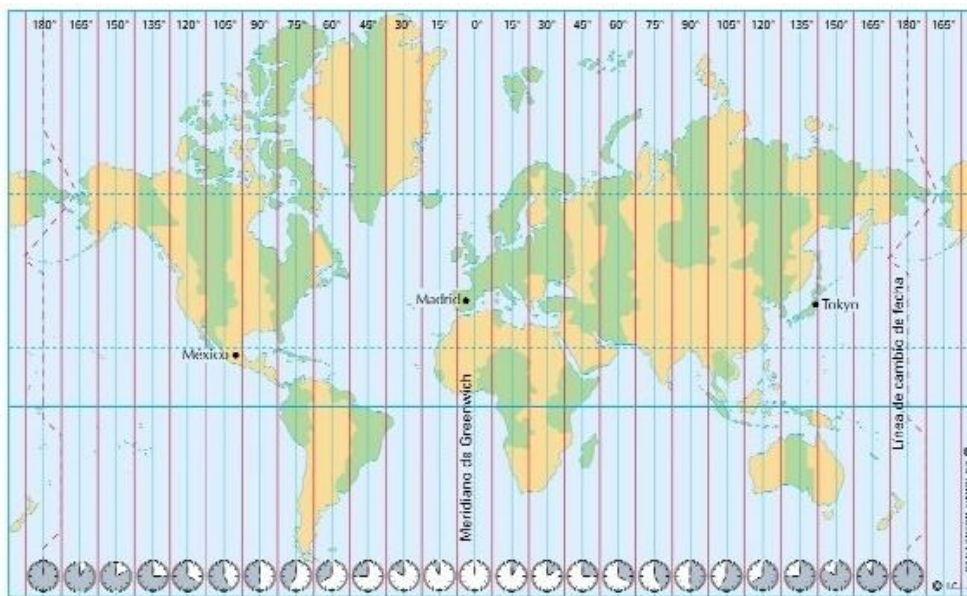


Figura 3.2. Husos horarios.

4. Movimiento solar.

4.1 Seguimiento del sol.

Para Maximizar la energía captada por los paneles solares fotovoltaicos se ha incluido un sistema de seguimiento del sol.

Utilizando el seguimiento, la energía total recibida en un día puede ser del orden de un 35%⁷ mayor que para el mismo colector estático. Aunque este rendimiento se ve reducido en los casos de frecuentes nublados y en todas aquellas condiciones climatológicas en las que la relación entre la energía recibida por radiación directa y la recibida por radiación difusa tienda a disminuir, el aumento de energía así conseguido compensa sobradamente en muchos casos prácticos el consumo de energía y el coste de los propios mecanismos de seguimiento.

7 .www.solener.com/pregunta.html.

4.2 Tipos de seguimiento del sol.

Los dos tipos de seguimiento que pueden llevarse a cabo son:

- ✓ Seguimiento Ecuatorial.

Consiste en el seguimiento de dos ejes paralelos a los de la tierra (N-S/E-O), donde el movimiento en Norte-Sur proporciona el movimiento diurno y el movimiento Este-Oeste proporciona el ángulo que se toma con respecto al eje polar.

- ✓ Seguimiento Acimutal.

Es uno de los más empleados, sobre todo cuando se trata de estructuras pasadas. Uno de los ejes es vertical y proporciona el seguimiento en acimut y el otro eje es horizontal y proporciona el seguimiento de altura. El seguimiento se realiza en los dos ejes.

4.3 Métodos de seguimiento.

El seguimiento se puede realizar por distintos métodos, como son:

4.3.1 Seguimiento por sensores.

Es el que permite la detección o medida que falta en el correcto ángulo entre la radiación solar y la superficie del panel solar, el cual debe ser de 90° para una mejor captación a continuación en la figura 4.3.1 se muestra el sistema construido para este proyecto.

La posición de los sensores y un separador de barrera entre los sensores como principio de comparación y búsqueda de la radiación, que debe de ser igual en un par de sensores.

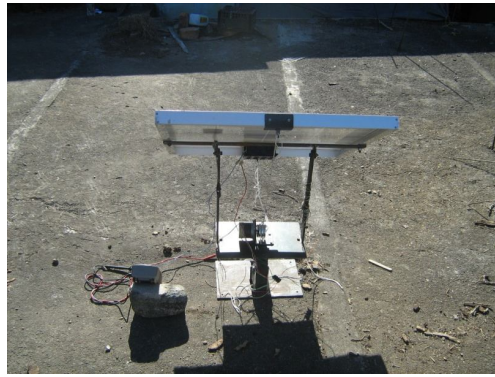


Figura 4.3.1

4.3.2 Seguimiento por reloj solar.

Este tipo de seguimiento está sujeto a la unidad de tiempo de 24 horas, variando su posición respecto al ciclo día de esta unidad, con un seguimiento efectivo de 12 horas, sin considerar cambios de condiciones climáticas repentinas debido a que no se apega a un estudio preliminar del clima.

Por ejemplo la figura 4.3.2 muestra el sistema C0600⁹ construido por Fadisol, que es muy innovador en su construcción porque utiliza un sistema motor posicionado por un temporizador y es compatible al control satelital para seguimiento.



Figura 4.3.2

4.3.3 Seguimiento por coordenadas calculadas.

Este tipo de seguimiento sigue la trayectoria del sol entre cada posición mediante el cálculo de sus coordenadas astronómicas, no precisa de la presencia de radiación, los sistemas coordenados son inmunes a los días nublados y otro tipo de circunstancia que puede producir errores; como por ejemplo: los destellos.

5. Sistema de control.

5.1 Tipos de motores.

Los motores paso a paso se clasifican según el tipo de rotor, en este sentido se habla de motores de imanes permanentes (PM)¹⁰, de motores de reluctancia variable y de motores híbridos.

5.1.1 Motores de imanes permanentes.

Están contruidos con un imán permanente en el rotor, que posee un determinado número de polos magnéticos. De las características del imán dependen las especificaciones del motor por lo que hace referencia al par. En este tipo de motores, la curva característica par frecuencia se puede aproximar a una recta en la figura 5.1.1 se muestra su contruccion.

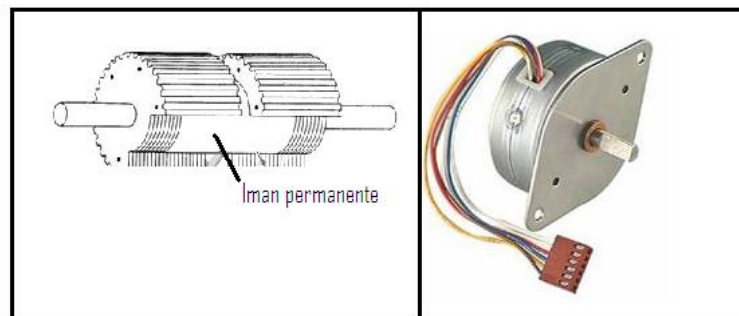


Figura 5.1.1

5.1.2 Motores de reluctancia variable.

Este tipo de motores se caracteriza porque el rotor es de hierro dulce laminado con varios dientes y el estator presenta un número de polos distinto que el número de dientes del rotor.

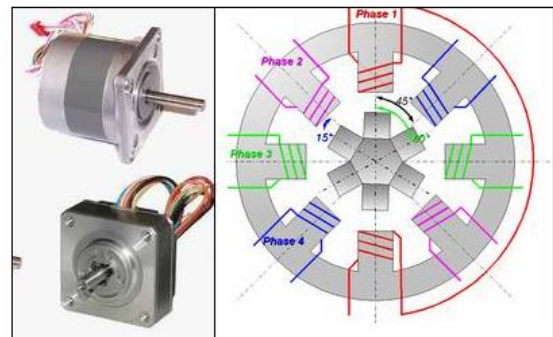


Figura 5.1.2

5.1.3 Motores híbridos.

El rotor está construido con un imán cilíndrico que se ha magnetizado en la dirección axial del motor, este imán se coloca entre dos piezas de hierro dulce que presentan varios dientes. En el estator se dispone generalmente de 4 pares de polos cuyo núcleo de hierro presenta una serie de estrías que permiten disponer de ángulos de paso pequeños.

Estos motores son capaces de proporcionar pares muy elevados y velocidades de giro altas. Debido a la presencia del imán en el rotor presentan un par de detención considerable al igual que los motores de imán permanente.

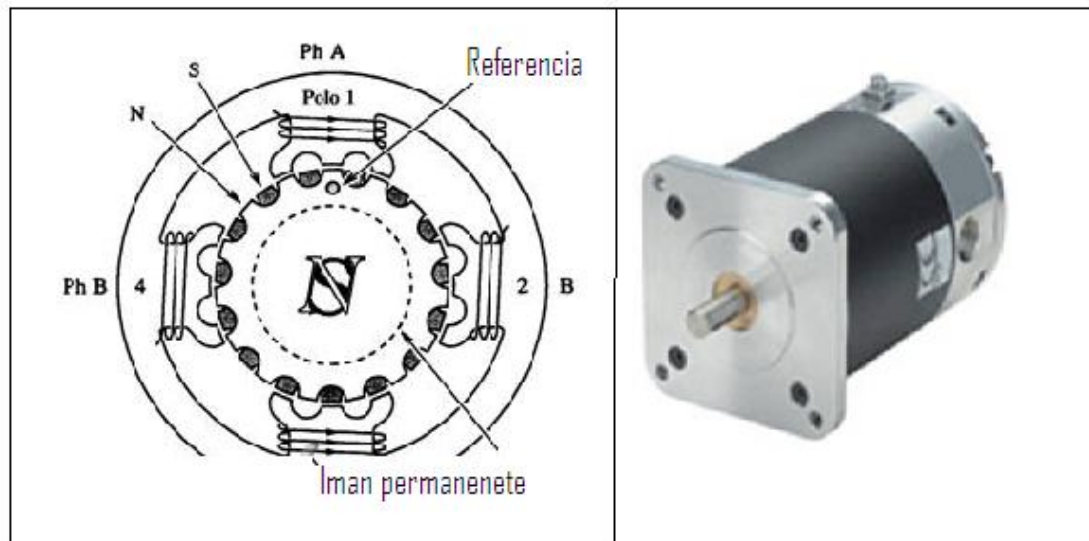


Figura 5.1.3

5.2 Sistemas del proyecto

5.2.1 Subsistemas de captación energética.

Está constituido por el panel fotovoltaico como medio receptor de la radiación solar, además como convertidor de la radiación a energía eléctrica que puede almacenar para uso inmediato o posterior.

5.2.2 Subsistema mecánico.

Compuesto por un arreglo de varillajes que permiten al seguidor moverse en dos diferentes ejes, según el movimiento diario y anual del sol, el varillaje transmite el

movimiento y la acción motora la realizan dos motores paso que responden a una parte de control según se requiere.

5.2.3 Subsistema de control.

Esta es la parte electrónica que toma el control de los movimientos en ambas direcciones, a su vez está conformada por cinco etapas las cuales se muestran en forma de diagrama en la figura siguiente:

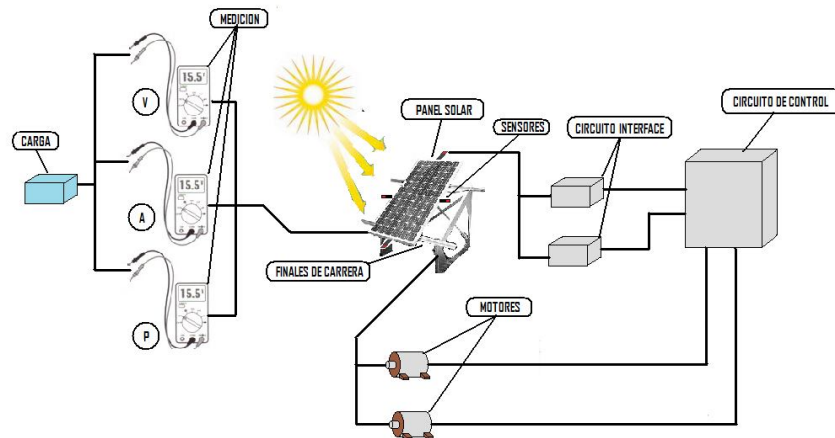


Figura 5.2.

- Los sensores: son de luz o de radiación, foto resistores con un circuito de comparación para reacondicionamiento de señal para el microcontrolador
- Un panel solar: pequeño para el prototipo.
- Dos finales de carrera: restringen el movimiento del sistema con una condición y ubicación.
- Circuito interface: arreglo resistencias y circuitos operacionales.
- Circuito de control: que debe realizar la parte más compleja de todo el subsistema pues en esta se realizará la conversión análogo-digital, contendrá un bloque de comparación y uno de toma de decisiones.
- Motores: La etapa de potencia con un arreglo de relés para el control de los motores según la dimensión de la parte mecánica.
- Medición: medición de parámetros voltaje y corriente.
- Carga: una carga pequeña para poder medir la corriente.

CAPITULO II. Diseño del Sistema

6.1 Construcción del sistema de control.

6.1.1 Circuito de control.

Para el diseño del circuito electrónico se utiliza un microcontrolador, para las funciones mas importantes como la recepción de señal de los foto sensores y el control de las salidas que le dan paso a los motores, para la configuración que se utiliza se realizó un prueba en que las señales de los sensores de luz se simularon con un par de resistencias variables para modificar el nivel de voltaje a la entrada de el controlador y crear un divisor de voltaje de forma que el controlador de la señal de salida respectiva para el funcionamiento de cada motor sin estar mecánicamente ubicados para pruebas de movimiento en la figura 6.1.1 se muestra el arreglo de resistencias descrito.

6.1.2 Circuito electrónico de control.

El funcionamiento del circuito de prueba se apega a lo que el diseño exige, por lo tanto esta configuración es la que se utiliza en el circuito definitivo y se le agrega la parte de potencia y acondicionamiento de señal para la medición.

6.1.3 Comunicación de datos con el microcontrolador (16F877A).

Para establecer la comunicación del controlador se configuró un MAX 232, este circuito permite la transmisión del programa a la memoria del controlador.

El MAX 232 internamente dispone de cuatro conversores de niveles TTL a bus standard rs232 para comunicación serie, entonces disponemos de cuatro salidas para comunicación con la PC, para que el integrado funcione de forma correcta se deben incluir los condensadores C7 y C8 en la figura 6.2 se muestra el arreglo.

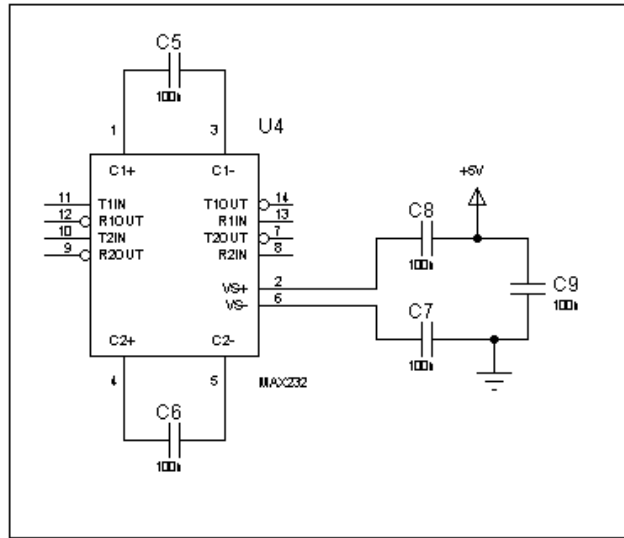


Figura 6.2. MAX 232

6.1.4 Etapa de potencia.

Esta etapa es la que recibe la señal del controlador para darle paso a los motores se configuró un L298 con 4 entradas y 4 salidas que mantienen el consumo de corriente de los motores el integrado posee una protección de sobre calentamiento que interrumpe su funcionamiento cuando activa internamente no posee diodos de protección para corrientes inversas causadas por los picos de tensión inversa causados por la bobinas de los motores por eso se coloca en el arreglo como se muestra en la figura 6.3

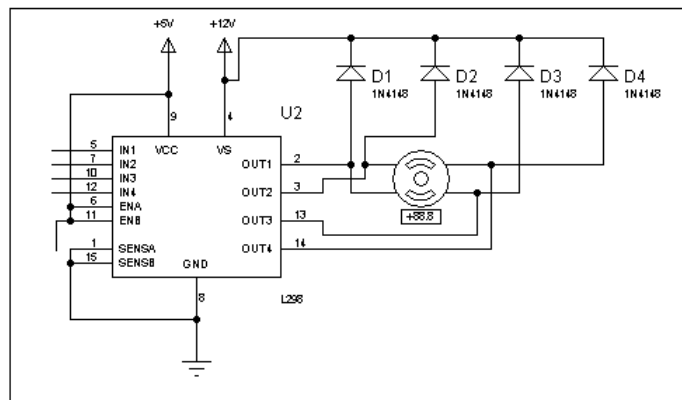


Figura 6.3. L298

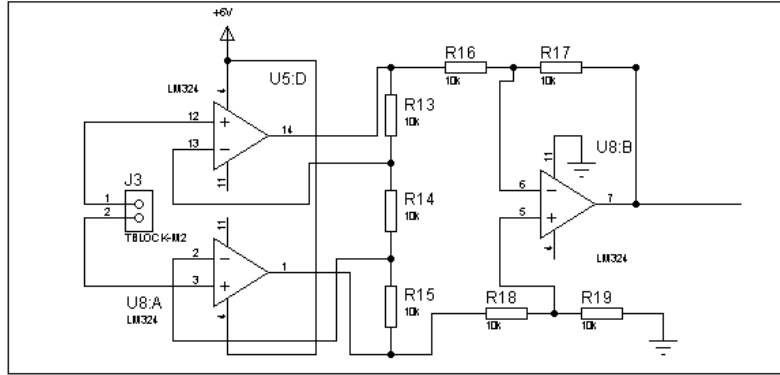
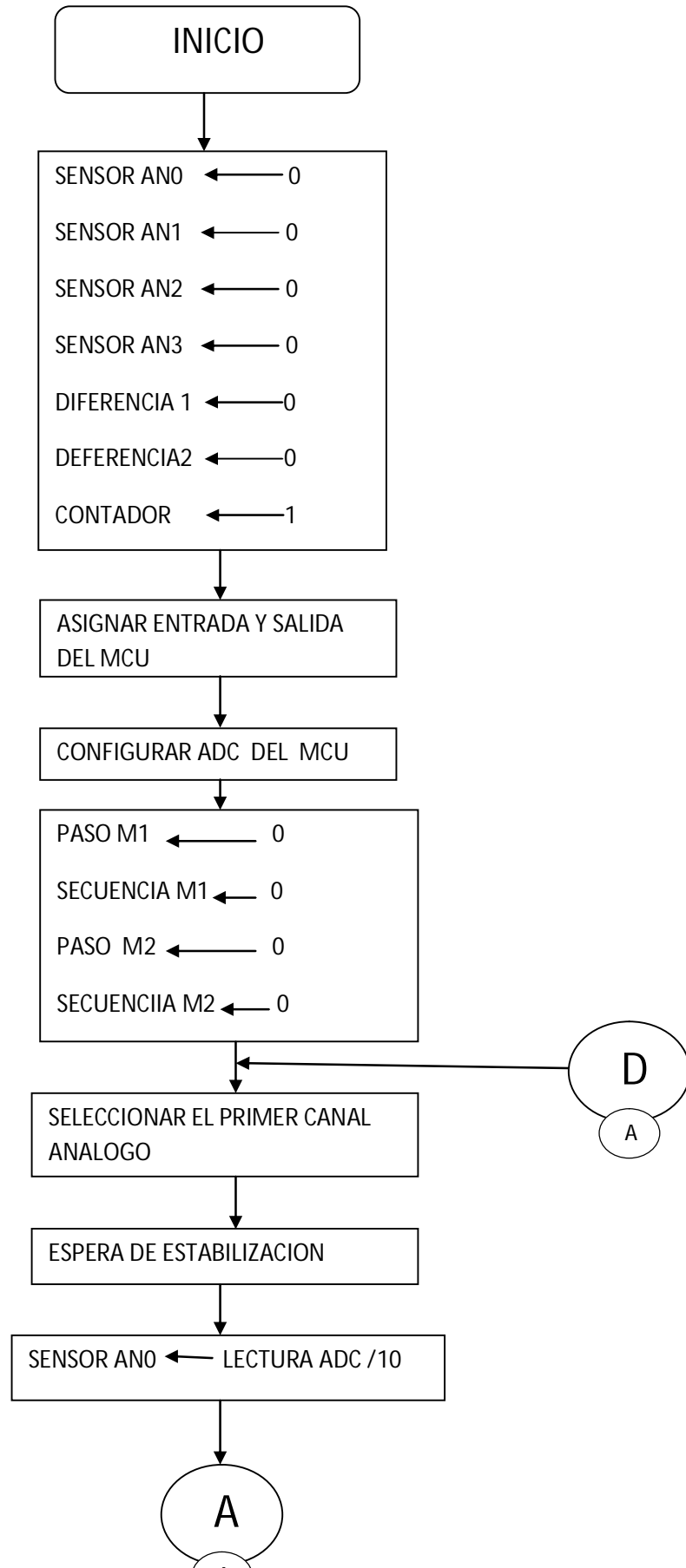
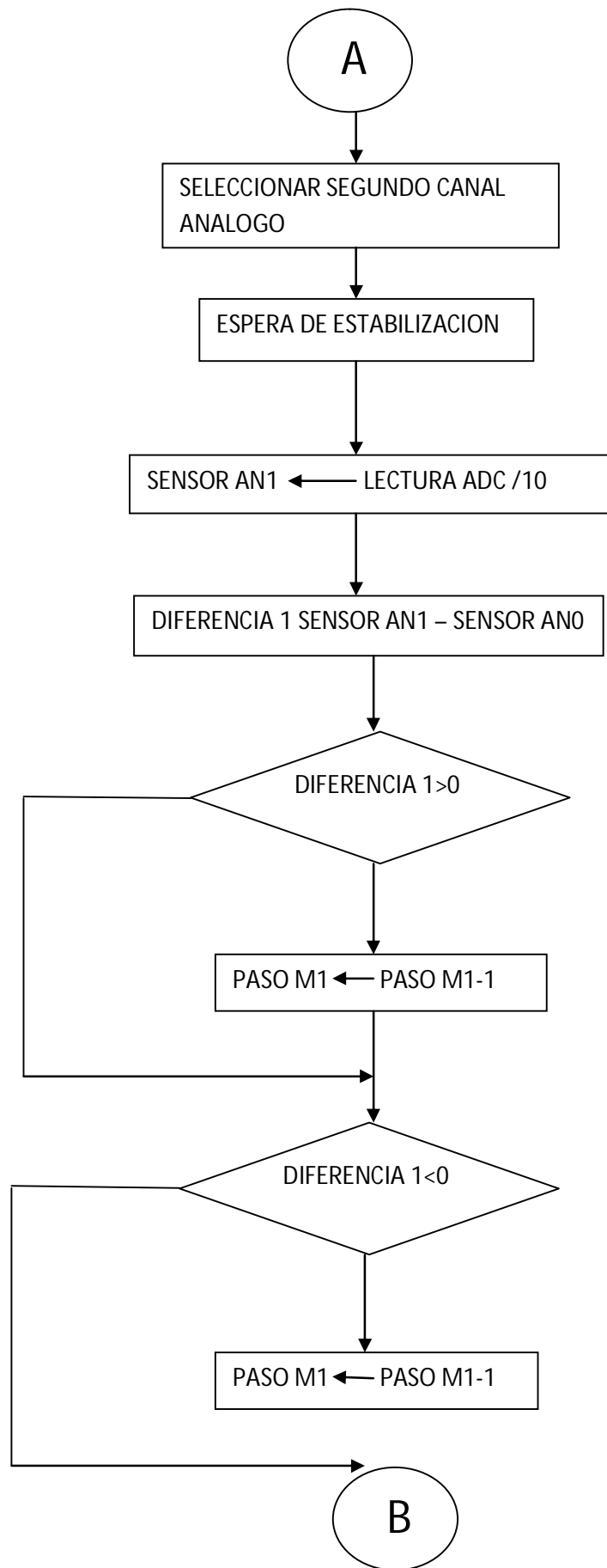


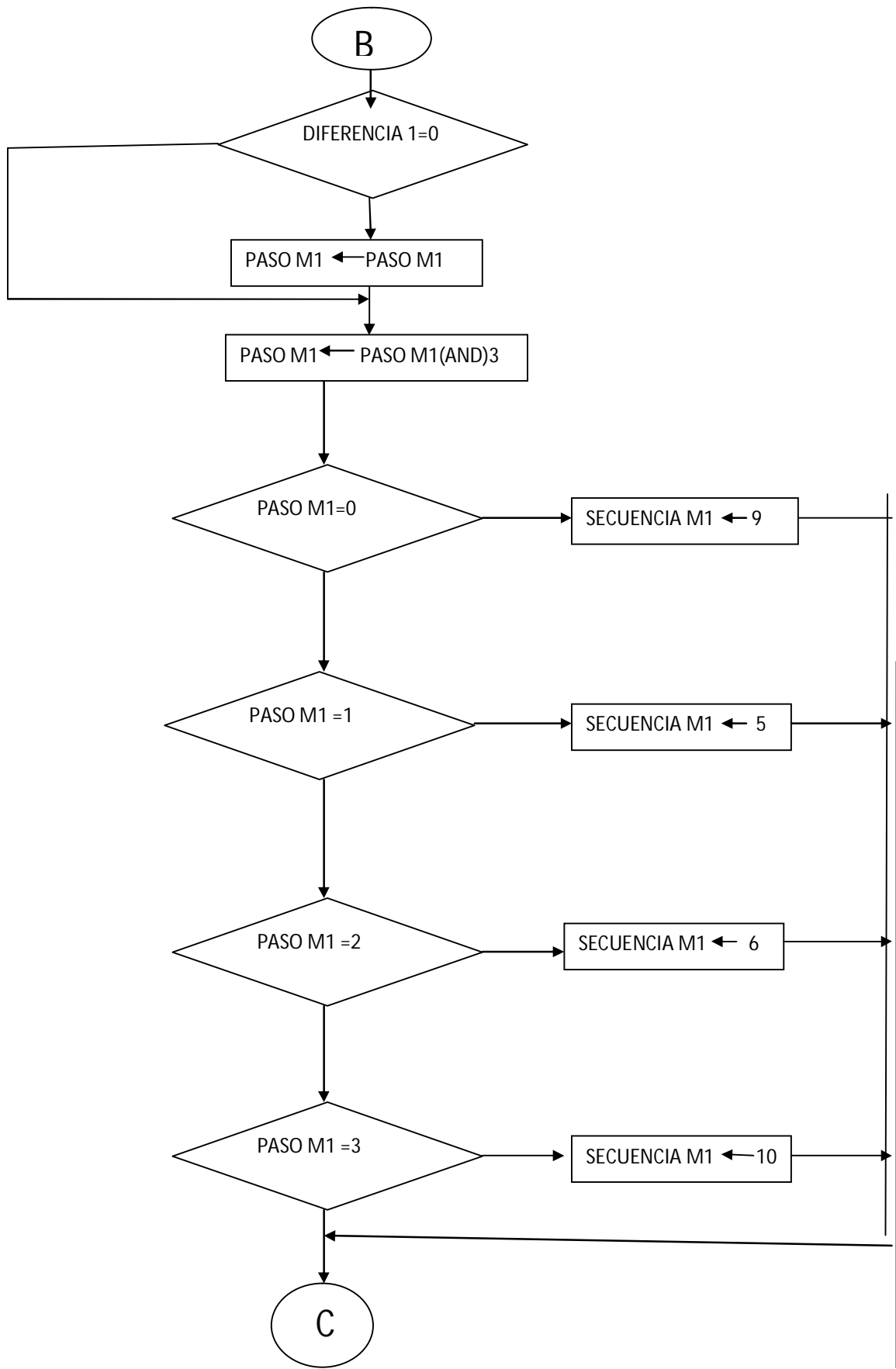
Figura 6.5. Voltímetro con LM324

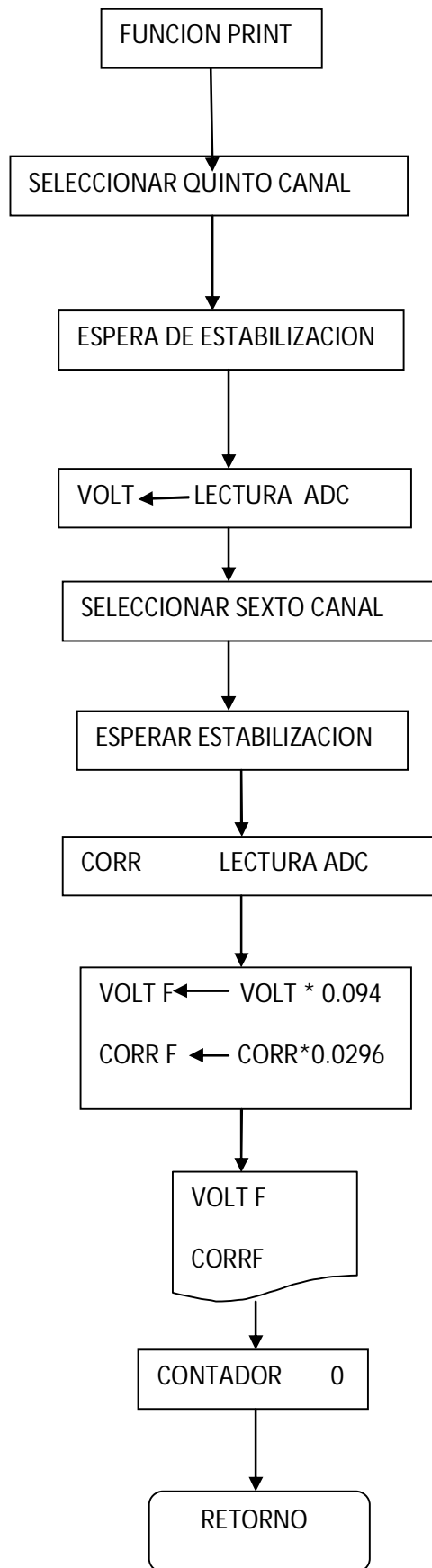
6.2 Secuencia de programación para microcontrolador (16F877A).

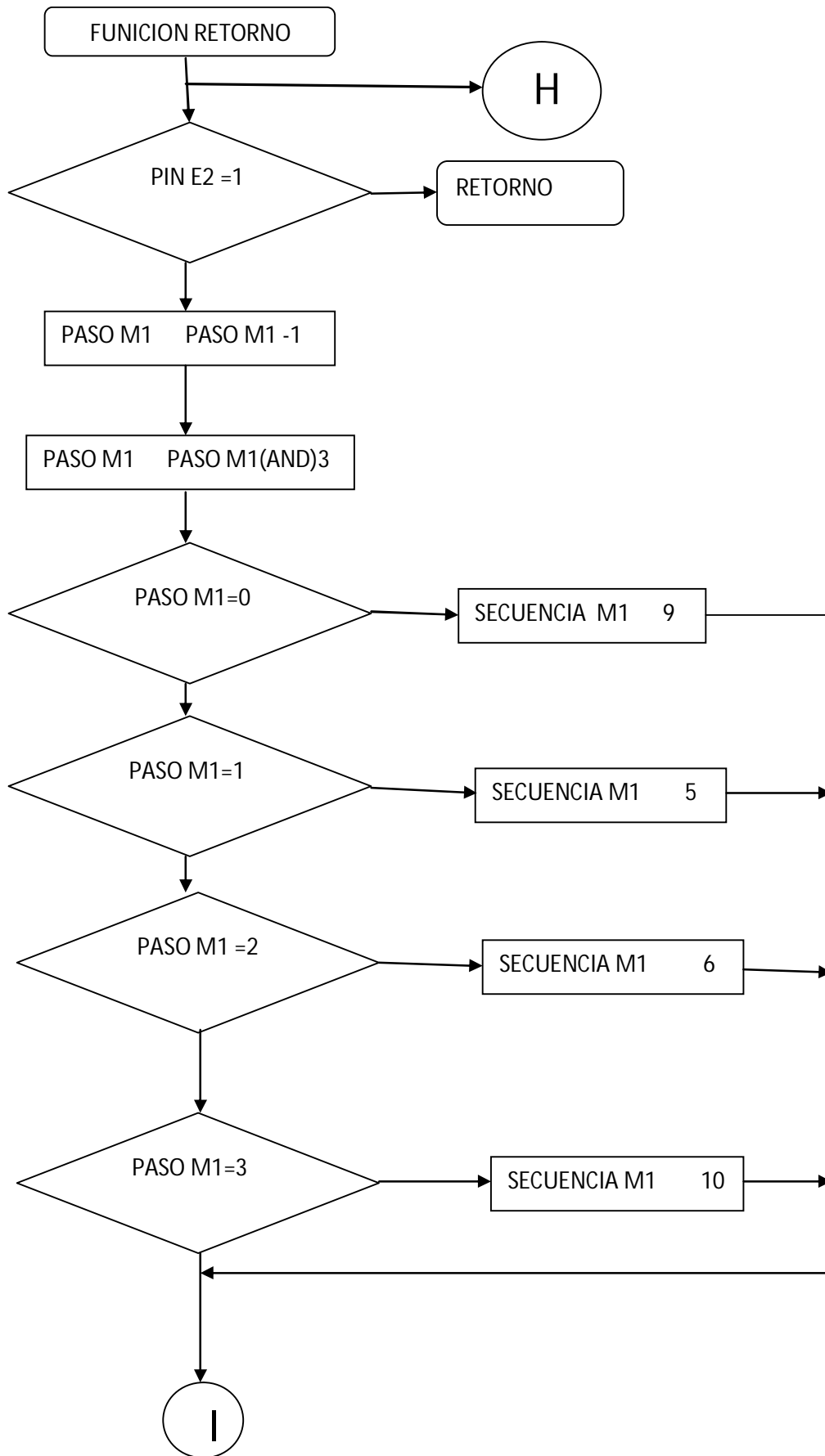
6.2.1 Flujograma











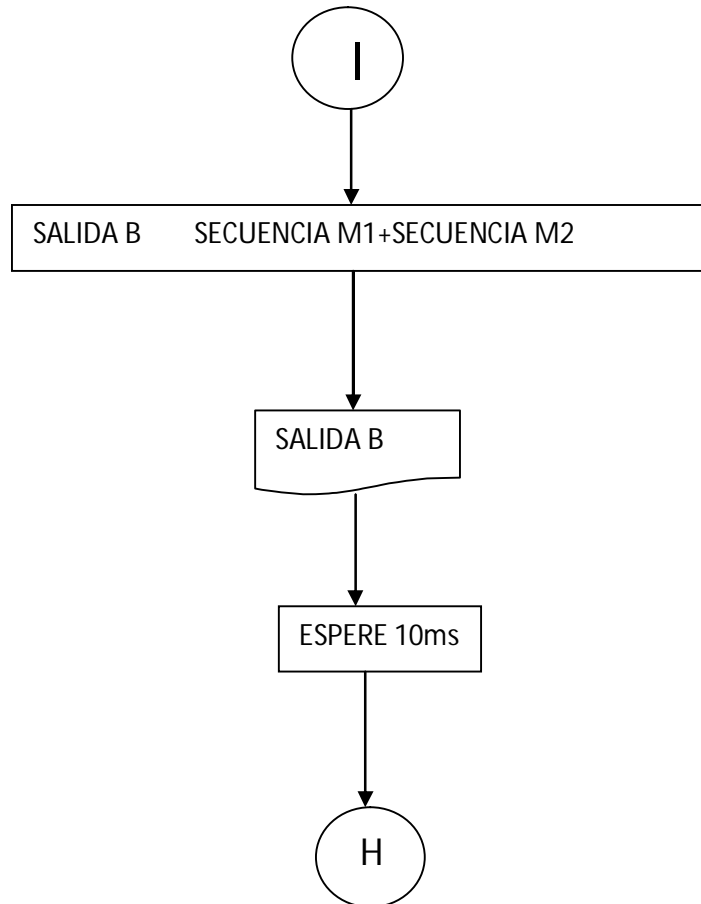


Figura 6.6. El código completo del programa puede verse en el Anexo, página 43.

CAPITULO III. Mediciones y Análisis de resultados.

7.1 Datos medidos sin seguidor y con seguidor solar.

La medición de la energía se hizo indirectamente al medir el voltaje y la corriente a lo largo del tiempo. En la tabla 7.1 se presentan los datos obtenidos en dos días consecutivos a partir de las 14:40 hasta las 15:45 horas.

La medición de corriente se realizó cada 10 minutos, debido a que cuando se conecta la carga al sistema se da un calentamiento por la falta de un bando de batería y por la misma carga que es netamente resistiva. Con estos datos se calculó la potencia requerida por la carga con la finalidad de hacer la comparación

de ambos sistemas en el mismo horario pero en días diferentes, aunque consecutivos.

Al utilizar el sistema completo con seguidor el movimiento en cada 10 minutos era de al menos un paso del motor, este valor depende de la velocidad del movimiento relativo que se da entre la tierra y el sol. Los datos de presentan en la tabla 7.1 con el calculo de la potencia de cada 10 minutos por la medición de la corriente.

Miércoles 06 Enero 2010				Jueves 07 Enero 2010		
Sin seguimiento.				Con seguimiento		
SIN CARGA		CON CARGA		SIN CARGA	CON CARGA	
HORA	VOLTAJE	CORRIENTE	POTENCIA	VOLTAJE	CORRIENTE	POTENCIA
	Voltios	Amperios	Watts	Voltios	Amperios	Watts
14:40	20.14	0.0421	0.847894	19.95	0.042	0.8379
14:45	19.89			19.92		
14:46	19.84					
14:47	19.79					
14:48	19.66					
14:49	19.6			19.94		
14:50	19.52	0.041	0.80032	19.93	0.0423	0.843039
14:51	19.48					
14:52	19.45					
14:53	19.4					
14:54	19.39			19.9		
14:55	19.39			19.89		
14:56	19.37					
14:57	19.34					
14:58	19.31					
14:59	19.34			19.89		
15:00	19.35	0.0409	0.791415	19.87	0.0421	0.836527
15:01	19.34					
15:02	19.33					
15:03	19.38					
15:04	19.36			19.93		
15:05	19.35			19.89		
15:06	19.33					
15:07	19.41					
15:08	19.42					
15:09	19.38			19.85		
15:10	19.38	0.0411	0.796518	19.8	0.042	0.8316
15:11	19.39					
15:12	19.37					
15:13	19.36					

15:14	19.35			19.83		
15:15	19.35			19.83		
15:16	19.34					
15:17	19.35					
15:18	19.38					
15:19	19.36			19.79		
15:20	19.34	0.0407	0.787138	19.7	0.0417	0.82149
15:21	19.36					
15:22	19.37					
15:23	19.37					
15:24	19.41			19.75		
15:25	19.43			19.71		
15:26	19.45					
15:27	19.48					
15:28	19.49					
15:29	19.46			19.74		
15:30	19.46	0.0413	0.803698	19.71	0.0419	0.825849
15:31	19.45					
15:32	19.47					
15:33	19.48					
15:34	19.45			19.77		
15:35	19.4			19.74		
15:36	19.42					
15:37	19.41					
15:38	19.41					
15:39	19.42			19.73		
15:40	19.4	0.0412	0.79928	19.71	0.0418	0.823878
15:41	19.41					
15:42	19.42					
15:43	19.43					
15:44	19.47			19.7		
15:45	19.53			19.69		

Tabla 7.1. Tabla de mediciones

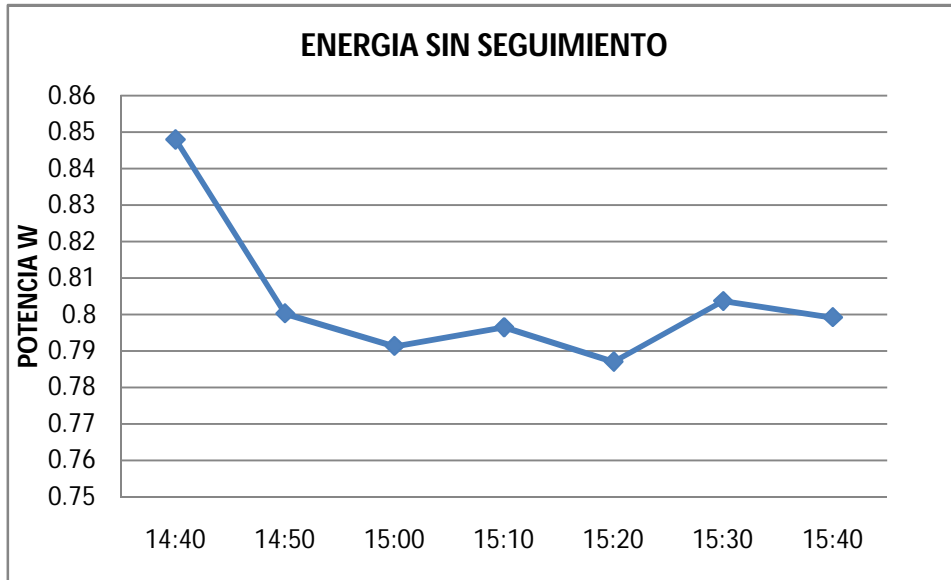


Figura 7.1. Gráfico de energía sin seguimiento (W vrs t).

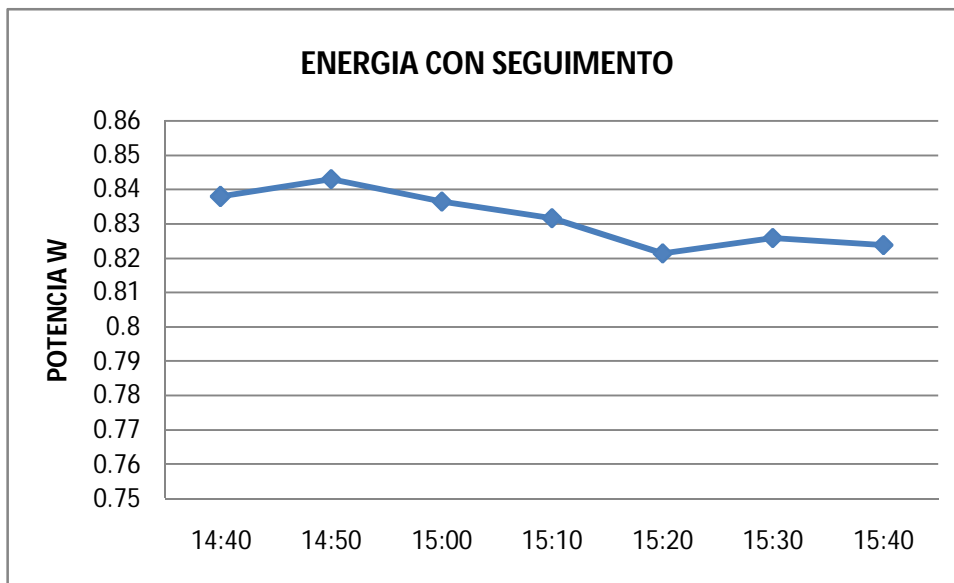


Figura 7.2. Gráfico de energía con seguimiento (W vrs t).

7.2 Cálculo de energía para sistema sin seguimiento solar.

Tabla 7.2. Tabla de mediciones

HORA	TIEMPO	VOLTAJE	CORRIENTE	POTENCIA
	Segundos	Voltios	Amperios	Watts
14:40	0	20.14	0.0421	0.8479
14:50	600	19.52	0.041	0.8003
15:00	1200	19.35	0.0409	0.7914
15:10	1800	19.38	0.0411	0.7965
15:20	2400	19.34	0.0407	0.7871
15:30	3000	19.46	0.0413	0.8037
15:40	3600	19.4	0.0412	0.7993

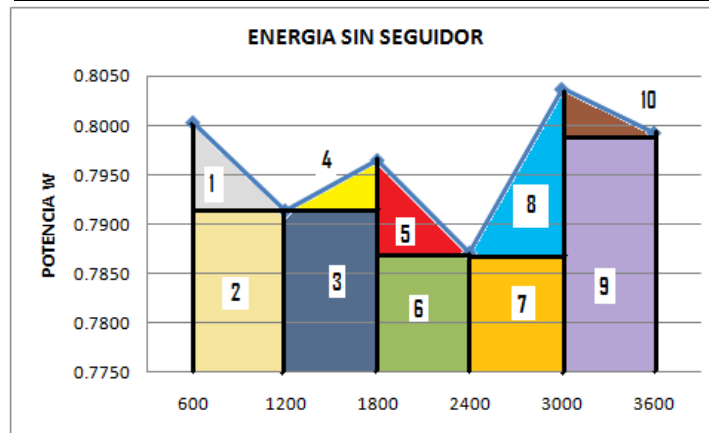


Figura 7.3. Gráfico según áreas para cálculo (W vrs t)

Tabla 7.3. Cálculo de energía según áreas

FIGURA	BASE	ALTURA	ENERGIA
	Segundos	Watts	Joule
1	600	0.0089	2.67
2	600	0.7914	474.84
3	600	0.7914	474.84
4	600	0.0051	1.53
5	600	0.0094	2.82
6	600	0.7871	472.26
7	600	0.7871	472.26
8	600	0.0166	4.98
9	600	0.7993	479.58
10	600	0.0044	1.32
ENERGIA TOTAL			2387.10

7.3 Cálculo de energía para sistema con seguimiento solar.

Tabla 7.4. Tabla de mediciones

HORA	TIEMPO	VOLTAJE	CORRIENTE	POTENCIA
	Segundos	Voltios	Amperios	Watts
14:40	0	19.95	0.042	0.838
14:50	600	19.93	0.0423	0.843
15:00	1200	19.87	0.0421	0.837
15:10	1800	19.8	0.042	0.832
15:20	2400	19.7	0.0417	0.821
15:30	3000	19.71	0.0419	0.826
15:40	3600	19.71	0.0418	0.824

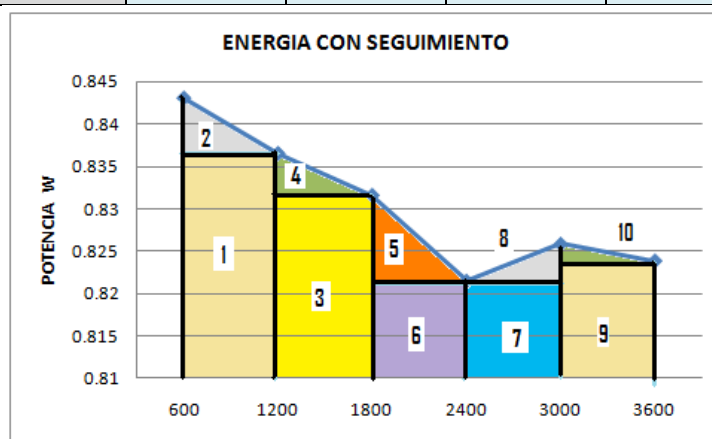


Figura 7.4. Gráfico según áreas para cálculo (W vrs t)

Tabla 7.5. Cálculo de energía según áreas

FIGURA	BASE	ALTURA	ENERGIA
	Segundos	Watts	Joule
1	600	0.837	502.20
2	600	0.006	1.80
3	600	0.832	499.20
4	600	0.005	1.50
5	600	0.011	3.30
6	600	0.821	492.60
7	600	0.821	492.60
8	600	0.005	1.50
9	600	0.824	494.40
10	600	0.002	0.60
ENERGIA TOTAL			2489.70

7.4 Análisis de los cálculos y resultados.

Los datos y los cálculos muestran que la energía generada por el panel solar, con el sistema de seguimiento integrado, es mayor debido a que la radiación que incide sobre el panel cuando se sigue el sol es constante por más tiempo, que cuando el sistema está orientado a 23° al sur.

La energía generada con el panel orientado a 23° es de 2387.10 Joule y con el sistema de seguimiento es de 2489.70 Joule aproximadamente un 5% más por cada hora, esto demuestra que se puede optimizar el uso de esta tecnología, si se utiliza para cargas más grandes y por tiempos más largos la diferencia puede crecer más aun.

Para el cálculo se graficó los valores de tiempo y potencia y se encontró el área bajo esa curva que equivale a la energía que se ha demandado del panel fotovoltaico, para la comparación de los datos y de esta forma demostrar que el sistema fotovoltaico puede ser optimizado con la introducción de un seguidor solar.

7.4.1 Presupuesto del sistema seguidor.

La introducción del sistema seguidor solar implica que el costo de un sistema completo se verá incrementado pero se pretende comprobar que es compensado con el incremento de la eficiencia recuperando la inversión inicial en un periodo de tiempo futuro; se estiman como gastos adicionales aproximados los siguientes:

Tabla 7.6. Costos adicionales.

Descripción	Costo unitario	Cantidad	Subtotal
Motores parte de control	\$50	2	\$100
Varillajes	\$200	1	\$200
Circuito electrónico de control	\$100	1	\$100
Total			\$400

Para comparar los datos de la tabla anterior tomaremos como ejemplo una casa con un consumo sobre lo establecido por el subsidio (99 KWH), la tarifa del kilo watts hora (KWH) es de aproximadamente \$0.1936, si en este lugar se consumen 6 KWH diarios la tarifa mensual asciende aproximadamente a \$36.00 lo que significa que al año se totaliza un valor de consumo de \$432.00 valor que sobrepasa el costo o inversión inicial del sistema de seguimiento.

7.4.2 Cálculo de coste para el sistema actual.

La energía fotovoltaica no es nueva en el país, data de hace varios años, pero a pesar de ello los costos aún siguen siendo elevados. Para instalar este sistema en una vivienda, se deben invertir entre 700 y 900⁹ dólares, aunque los costos se pueden recuperar en siete años; las plantas fotovoltaicas duran de 25 a 30 años.

Si totalizamos un costo para el sistema completo entre panel solar, acumulador, inversor, seguidor tendríamos que sumar la cantidad total detallada en tabla anterior mas la inversión que se tiene que hacer para utilizar los sistemas tradicionales de orientación, aproximadamente \$ 900.00, es decir \$1,300.00 que es un costo elevado en El Salvador.

La aplicación de estos sistemas en El Salvador se dan en zonas rurales donde el acceso es difícil y no hay líneas primarias cercanas, y un proyecto de electrificación no es posible por sus altos costos en materiales y la poca demanda, lo que no permitirá a la empresa recuperar la gran inversión monetaria. Por eso los sistemas fotovoltaicos representan una buena opción de forma que al hacerlos más eficientes se tiene un beneficio directo.

Si tomamos el caso real del panel utilizado para la prueba tendremos que:

P=54 Watts. Lo que sería en una hora:

$$54 \text{ W} * 3600 \text{ seg} = 194400 \text{ W} * \text{seg}.$$

$$\text{Es decir: } 194400 \text{ W} * \text{seg} * (1\text{kW}/1000\text{W}) * (1\text{h}/3600\text{seg}) = 0.054 \text{ KWH}$$

Lo que en 24 horas, entre generar y el acumulador, serian:

$$0.054 \text{ KWH} * 24 = 1.296 \text{ KWH diarios.}$$

Es el valor aproximado que el sistema con seguidor daría al mantener el voltaje constante durante todo el ciclo de día, para una orientación normal según las mediciones serian de un 5% menos aproximadamente por cada hora, restándole energía al valor inicial.

7.5 Fotografías del Proyecto

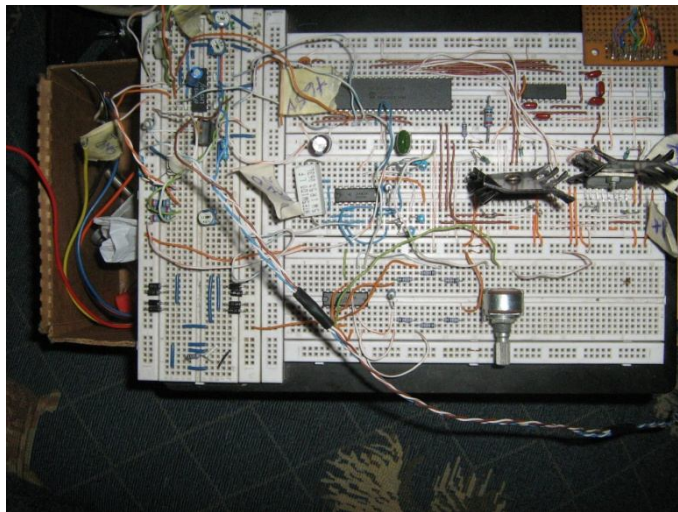


Figura 7.5.a Circuito Electrónico

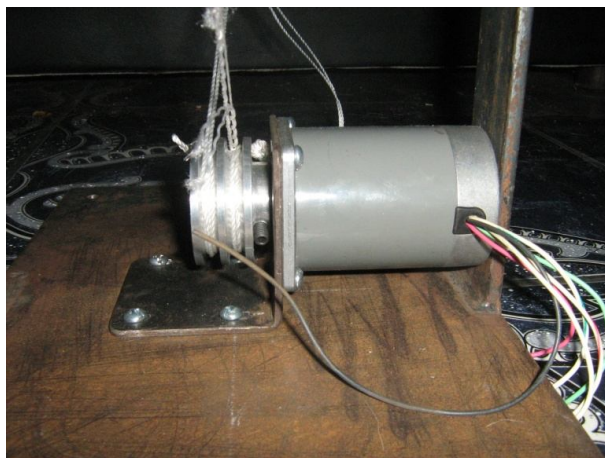


Figura 7.5.b Motores Eléctricos del Sistema



Figura 7.5.c Sistema de Seguimiento



Figura 7.5.d Sistema de Seguimiento

7.6 CONCLUSIONES.

1. Se elaboró un diseño y un prototipo de un sistema de seguimiento solar en dos ejes que sigue la trayectoria diaria y anual, logrado mediante un subsistema electrónico y uno mecánico coordinados, para optimizar la energía captada por el panel solar.
2. Con el sistema se logró comprobar que la energía que se capta con el seguidor es mayor que la que se obtiene con una orientación según la latitud del lugar de medición, con la ayuda de los cálculos se presentó en el documento, además, una comparación entre ambos sistemas en cuanto a la energía captada con una misma carga.
3. Se profundizó en el estudio del coste de un sistema de este tipo considerando cantidades reales por las mediciones y además se realizó un cálculo de recuperación de inversión para completar un detallado análisis de costos, que permite comprobar la conveniencia en la realización de proyectos a mayor escala.
4. Se pudo identificar un método para el procesamiento de los datos obtenidos y realizar cálculos para emitir conclusiones acertadas en la realización de proyectos en los que se aplique este concepto de seguimiento solar no solo para paneles fotovoltaicos sino también para concentradores solares fijando los gastos de operación como se realizó para el prototipo.
5. Se pudo solucionar la dificultad de pérdida de estabilidad de la estructura, en las primeras horas se ajustaron mecánicamente los pernos de la base móvil de tal forma que la potencia desarrollada por el motor fuera suficiente para mover el panel, pero que a la vez no se pierda el balance al quedar en la condición mencionada, la modificación fue la adecuada para solucionar el problema de estabilidad.

7.7 RECOMENDACIONES.

1. Con los debidos recursos económicos se podría mejorar la estructura que sostiene al sistema y fabricarse de aluminio para disminuir el peso sin afectar la estabilidad del mismo, esto elevará el costo de la estructura pero se debe tener cuidado con la inversión para que el tiempo de recuperación no sobrepase la vida útil de los materiales.
2. La elaboración de un prototipo más completo debería incluir el sistema con inversor y acumulador para una mejor prueba y análisis.
3. Se puede considerar la inclusión de motores de mayor capacidad lo que puede brindar mayor control y estabilidad al sistema mecánico.
4. Para los elementos de transmisión del movimiento, en el prototipo se utiliza cordel de nylon en las poleas porque el cable acerado utilizado anteriormente es muy rígido

BIBLIOGRAFÍA

- VILLALTA, César. **ENERGÍA FOTOVOLTAICA**. Editorial PHONIX SonnenStrom AG. El Salvador, 2005.
- MÉNDEZ MUÑIZ, Javier. **ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA**. FC Editorial. España. 2008.
- **MANUALES DE ENERGÍA RENOVABLES**. Editorial IDAE. 2007
- **MANUALES SOBRE ENERGIA RENOBABLES SOLAR VOLTAICA**. PNUD, GEF, BUN-CA 2007.
- www.gstriatum.com/energiasolar/ Energía Solar. Actualización 2010
- www.ComUnica.com. Informe Internacional de Nuevas Tecnologías. Actualización 2008.
- www.PNUD.com.sv/informe. Informe sobre Desarrollo Humano. Actualización 2008.
- www.victek.net. Energía Renovable. Actualización 2007.
- www.solartronic.com. Preguntas Frecuentes. Actualización 2007.
- www.noticiashoy.com. El diario de hoy tecnología en El Salvador
- www.micropap.com. Jesús Caum, 2006

ANEXOS.

ANEXOS.

Lógica del programa.

A continuación se presenta la lógica que sigue el programa diseñado para el control del circuito electrónico, la secuencia está explicada por línea de código.

```
//DIRECTIVAS DE PRECOMPILADOR
```

```
//Selección del procesador
```

```
#include <16F877A.h>
```

```
#device ADC=8 //Resultado de la conversión A/D en formato de 8 bits
```

```
//Selección de parámetros de configuración:
```

```
//Temporizador watchdog off
```

```
//Temporizador de encendido off
```

```
//Bajo voltaje de programación off
```

```
//Detección de bajo voltaje de alimentación off
```

```
//Protección de lectura de datos en memoria no volátil off
```

```
//Protección de lectura de memoria de programa off
```

```
#fuses NOWDT,NOPUT,XT,NOLVP,NOBROWNOUT,NOCPD,NOPROTECT
```

```
//Definir un reloj de 4MHz cada vez que se llama la función delay
```

```
#use delay(clock=400000)
```

```
#use fast_io(A) //Evita que se genere una modificación al TRISx cada vez que
```

```
#use fast_io(B) //se usa como entrada o salida. ADVERTENCIA: luego de usar
```

```
#use fast_io(C) //esta directiva las modificaciones al TRISx deben hacerse
```

```
#use fast_io(D) //MANUALMENTE con set_tris_x(valor hexa)
```

```
#use r232(baud=9600, xmit=PIN_C6, rc=PIN_C7)//Usar puerto serial del mcu o
USART
```

```
static int pasoM1, secuenciaM1, secuenciaM2, salidaB;
```

```
static int volt, corr;
```

```
static int16 contador;
```

```
static int voltf, corrf;
```

```
void funcionretorno(){
```

```
    while(input_state(pin_E2))
```

```
    {
```

```
        pasoM1=pasoM1-1; //control de secuencia
```

```
        pasoM1=pasoM1&0x03; //Mascara AND para dejar pasar los 2 LSB
```

```
        switch(pasoM1){
```

```
            //Valores que aplican para LA PARTE BAJA del byte a escribir al puerto
```

```
            //VALOR DE LA VAR DE CTRL VALOR DE LA SALIDA
```

```
            //0          0000 1001
```

```
            //1          0000 0101
```

```
            //2          0000 0110
```

```
            //3          0000 1010
```

```
            //...etc
```

```
                case 0: secuenciaM1=0x09;
```

```
                break;
```

```

    case 1: secuenciaM1=0x5;

    break;

    case 2: secuenciaM1=0x6;

    break;

    case 3: secuenciaM1=0xA;

    break;

} //del switch

salidaB=secuenciaM1+secuenciaM2;

output_d(salidaB);

}

}

funcionprint(){

    set_adc_channel(3);    //Seleccionar canal análogo

    delay_us(20);        //Tiempo de estabilización entre selección de canal

    volt=read_adc(); //Leer canal análogo

    set_adc_channel(4);    //Seleccionar canal análogo

    delay_us(20);        //Tiempo de estabilización entre selección de canal

    corr=read_adc(); //Leer canal análogo

    voltf=volt*0.094;

    corrf=corr*0.0196;

```

```

printf("Valores medidos V=%f I=%f\n\r",voltf,corrf);

contador=0;

}

void main(){

//DECLARACION E INICIALIZACIÓN DE VARIABLES

//Valores no signados de 8 bits

//Variables de almacenamiento de lectura de sensor y de estado para motores

int sensorAN1;

int sensorAN2, sensorAN3, pasoM2;

signed int diferencia1, diferencia2;//Diferencia entre las variables análogas,
puede

//ser negativa o positiva

contador=1;

set_tris_a(0xFF);//PORTA declarado como entrada

set_tris_d(0x00);//PORTD declarado como salida

set_tris_b(0x01);//PORTB declarado como salida, RB0=entrada

set_tris_e(0x07);//PORTE declarado como entrada

set_tris_c(0x80);//PORTC declarado como salida, RC7=entrada

setup_adc_ports(AN0_AN1_AN2_AN3_AN4_AN5);//Definir los canales análogos
a habilitar

```

```

//AN0 y AN1 son sensores de luz que registran el seguimiento diario (rotación)

//AN2 y AN3 son sensores de luz que registran el seguimiento anual (traslación)

//AN4 y AN5 sirven para medición de corriente y voltaje

setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL); //Reloj interno para el convertidor AD

pasoM1=0;

secuenciaM1=0;

pasoM2=0;

secuenciaM2=0;

while(TRUE){

    set_adc_channel(0); //Seleccionar canal análogo

    delay_us(20); //Tiempo de estabilización entre selección de canal

    sensorAN0=read_adc(); //Leer canal análogo

    set_adc_channel(1); //Seleccionar canal análogo

    delay_us(20); //Tiempo de estabilización entre selección de canal

    sensorAN1=read_adc(); //Leer sensor

    diferencia1=sensorAN1-sensorAN0; //Diferencia de los 2 valores

    if (diferencia1>0) //Si la diferencia es mayor que 0, incrementar

        pasoM1=pasoM1+1; //control de secuencia

    else if (diferencia1<0) //Si la diferencia es negativa, decrementar

```

```

    pasoM1=pasoM1-1; //control de secuencia

else //Para valores iguales, mantener valor de secuencia

    pasoM1=pasoM1;

    switch(pasoM1){

//Valores que aplican para LA PARTE BAJA del byte a escribir al puerto

//VALOR DE LA VAR DE CTRL VALOR DE LA SALIDA

//0          0000 1001

//1          0000 0101

//2          0000 0110

//3          0000 1010

//0          0000 1001

//...etc

        case 0: secuenciaM1=0x09;

        break;

        case 1: secuenciaM1=0x05;

        break;

        case 2: secuenciaM1=0x06;

        break;

        case 3: secuenciaM1=0x0A;

        break;

    }//del switch

```

```

set_adc_channel(2); //Seleccionar canal análogo

delay_us(20); //Tiempo de estabilizacion entre seleccion de canal

sensorAN2=read_adc(); //Leer canal análogo

set_adc_channel(3); //Seleccionar canal análogo

delay_us(20); //Tiempo de estabilizacion entre seleccion de canal

sensorAN3=read_adc(); //Leer sensor

diferencia2=sensorAN3-sensorAN2;//Diferencia de los 2 valores

if (diferencia2>0) //Si la diferencia es mayor que 0, incrementar
    pasoM2=pasoM2+1; //control de secuencia

else if (diferencia2<0) //Si la diferencia es negativa, decrementar
    pasoM2=pasoM2-1; //control de secuencia

else //Para valores iguales, mantener valor de secuencia
    pasoM2=pasoM2;

pasoM2=pasoM2&0x03; //Mascara AND para dejar pasar los 2 LSB

switch(pasoM2){

//Valores que aplican para LA PARTE BAJA del byte a escribir al puerto

//VALOR DE LA VAR DE CTRL VALOR DE LA SALIDA

//0          1001 0000

//1          0101 0000

//2          0110 0000

//3          1010 0000

```

```

//0          1001 0000

//...etc

    case 0: secuenciaM2=0x90;

    break;

    case 1: secuenciaM2=0x50;

    break;

    case 2: secuenciaM2=0x60;

    break;

    case 3: secuenciaM2=0xA0;

    break;

} //del switch

    salidaB=secuenciaM1+secuenciaM2;

    output_(salidaB);

    if (!input_state(E1))

        funcionretorno();

    else

        delay_ms(10);

        //Cada escritura a puerto se acompaña de un retraso

        //para no vencer la resp en freq de los motores

contador=contador+1;

```

```
//printf("Contador %Lu\n\r",contador);  
  
if (contador==10)  
    funcionprint();  
}  
}
```

Datos de Placa del Panel solar fotovoltaico

		Kyocera	
Fotovoltaic Module		Fire Rating	
Modelo: KC50T		Class C	
Serie: 0845AH0880			
Max sys. Volt 600V	Irradiance and cell temperature	1000 Wm-2 1.5 A 25°C	800 Wm-2 1.5 A 47°C
Series fuse 6A	Pmax	54 W	36 W
Mass 5.0 Kg	Vmax	17.4 V	15.3 V
Groups A B and C T4	I _{max}	3.11 A	2.49 A
St copper only 10-14 AWG	V _{cc}	21.7 V	***
Assem and insta for 90°C	I _{sc}	3.3 V	***
Made in Japan			