



INSTITUTO SUPERIOR MINERO  
METALURGICO DE MOA  
DR. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ

**Ingeniería Eléctrica**  
**Facultad: Metalurgia**  
**Electromecánica**

# *Trabajo de Diploma*

*En opción al Título de*

## *Ingeniero Eléctrico.*

**Título: Diseño de un sistema de seguimiento solar para la propuesta del Generador Solar Fotovoltaico del centro de red del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.**

Autor: Frank Alejandro Espinosa Salermo

Tutor: MSc. Oscar W. Peña Guilarte

Moa, Holguín  
Junio del 2013  
“Año 56 de la Revolución”

## DECLARACION DE AUTORIDAD

Yo Frank Alejandro Espinosa Salermo autor del trabajo de diploma “Diseño de un sistema de seguimiento solar para la propuesta del Generador Solar Fotovoltaico del centro de red del instituto superior minero metalúrgico de Moa.” certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero- Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, el cual podrá hacer uso del mismo para fines docentes, educativos e investigativos.

Para que así conste firmamos la presente a los \_\_\_\_ días del mes de \_\_\_\_ del año\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Frank Alejandro Espinosa Salermo

(Diplomante)

\_\_\_\_\_  
MSc. Oscar W. Peña Guilarte

(Tutor)



---

## AGRADECIMIENTOS

*A mis padres por sus consejos y bendiciones, cada herramienta y cada enseñanza que me han dado me han permitido desarrollarme y ser mejor persona cada día.*

*A mis familiares y amigos que han estado pendientes de mí, dando su apoyo aun sin pedírselo.*

*A mi esposa por su compañía, paciencia y apoyo incondicional.*

*A mis profesores por compartir sus conocimientos y experiencias.*

*A mi tutor M.Sc Oscar W. Peña Guilarte que con sus sugerencias, confianza y lucha para conmigo me guió a realizar este sueño.*

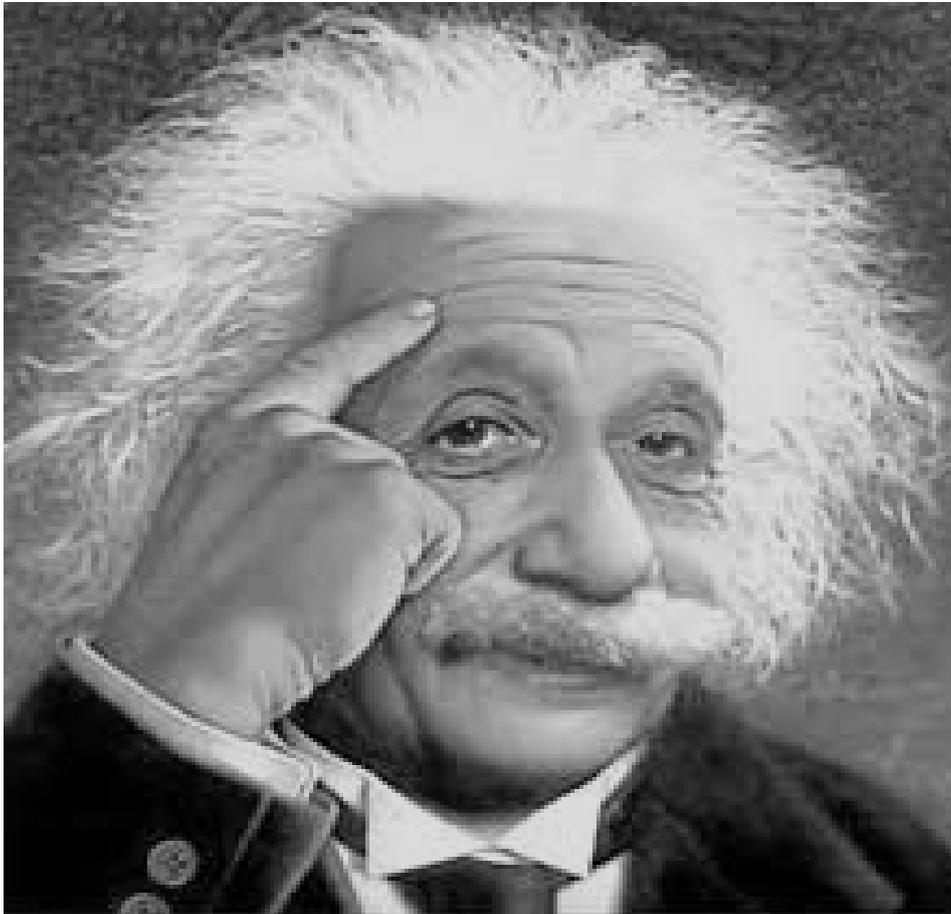
*Quiero agradecer de forma muy especial a todas las personas que de una o de otra forma me brindaron de su apoyo, paciencia y consejos para terminar de forma exitosa este proyecto.*

## DEDICATORIA

*Este trabajo está dedicado a mis padres por haberme brindado la dirección adecuada para formarme espiritual, humana y profesionalmente, a mis hermanos, a mi esposa, familiares, amigos y a quienes en todo momento me dieron su confianza y apoyo, valores que me impulsaron para finalizar una etapa más de mi carrera profesional.*

*Frank Alejandro Espinosa Salermo.*

## PENSAMIENTO



*Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.*

*Albert Einstein.*

## **Resumen**

En el presente trabajo se muestra el diseño de un seguidor solar fotovoltaico para la alimentación de energía eléctrica del centro de red del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Su desarrollo parte primeramente de un estudio de las características principales de los diferentes tipos de seguidores solares existentes, encontrados en los materiales bibliográficos consultados. Se realizó un diseño electrónico basado en la utilización de sensores de luz y el microcontrolador 87C752 para el control la posición y movimiento del panel solar. A través del uso del Proteus profesional 8.1 como herramienta de diseño y programación del microcontrolador, se realizó la simulación del sistema determinando los parámetros y características básicas de funcionamiento de los componentes electrónicos del seguidor solar. Además se desarrolló un análisis económico y medioambiental donde se apreciaron los valores reales de la inversión y las particulares del impacto ambiental del diseño propuesto.

## **SUMMARY**

In it work is shown the design of a solar photovoltaic follower for the feeding of electric power of the net center of the Higher Institute of Mining and Metallurgy of Moa. It development leaves firstly of a study of the main characteristics of the different types of existent solar followers, that was found in the bibliographical consulted materials. It was carried out an electronic design based on the use of sensors of light and the microcontroller 87C752 for the control of position and movement of the solar panel. Through the use of the professional Proteus 8.1 as design tool and programming of the microcontroller, was carried out the simulation of the system determining the parameters and characteristic basic of operation of the solar follower's electronic components. An economic and environmental analysis was also developed where the real values of the investment and the characteristics of the environmental impact of the proposal designed were appreciated.

## **Índice**

|                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Introducción General .....                                                           | 1   |
| Capítulo I: fundamento teórico sobre seguidores solares.....                         | 5   |
| 1.1 Antecedentes históricos.....                                                     | 5   |
| 1.2 Energía solar y su importancia. ....                                             | 7   |
| 1.2.1 Ventajas de la energía solar.....                                              | 9   |
| 1.2.2 Desventajas de la energía solar.....                                           | 9   |
| 1.2.1 Radiación solar.....                                                           | 10  |
| 1.3 Paneles solares fotovoltaicos. ....                                              | 11  |
| 1.4 Sistema solar fotovoltaico. ....                                                 | 12  |
| 1.4.1 Principales componentes de un sistema solar fotovoltaico. ....                 | 13  |
| 1.4.2 Producción del panel fotovoltaico en función de la orientación del mismo:..... | 14  |
| 1.5 Sistema de seguimiento solar.....                                                | 15  |
| 1.5.1 Seguidores solares.....                                                        | 16  |
| 1.5.2 Tipos de seguimiento del sol.....                                              | 16  |
| 1.5.3 Métodos de seguimiento: .....                                                  | 17  |
| 1.5.4 Clasificación de los seguidores solares:.....                                  | 17  |
| 1.6 Selección del tipo de seguidor. ....                                             | 20  |
| Capitulo II diseño y Propuesta del seguidor Solar.....                               | 21  |
| 2.1 Parámetros fundamentales en el diseño del seguidor. ....                         | 21  |
| 2.2 Diseño del seguidor solar. ....                                                  | 24  |
| 2.2.1 Diseño electrónico.....                                                        | 26  |
| 2.2.1.1 El PROTEUS como herramienta de diseño y simulación.....                      | 26  |
| 2.2.1.2 Bloque de sensores.....                                                      | 28  |
| 2.2.1.3 Bloque de comparación.....                                                   | 30  |
| 2.2.1.4 Bloque de control. ....                                                      | 31  |
| 2.2.1.5 Circuito del oscilador de frecuencia.....                                    | 33  |
|                                                                                      | VII |

---

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.1.6 Circuito de reset externo. ....                          | 33 |
| 2.2.1.7 Display de Cristal Líquido (LCD). ....                   | 34 |
| 2.2.1.8 Bloque de fuerza. ....                                   | 34 |
| 2.2.1.9 Fuente de alimentación. ....                             | 36 |
| 2.2.1.10 Circuito completo.....                                  | 37 |
| 2.2.1.11 Algoritmo a seguir para el desarrollo del programa..... | 38 |
| 2.3 Segunda etapa, diseño mecánico.....                          | 40 |
| 2.3.1 Estructura del seguidor solar.....                         | 40 |
| 2.3.3 Reductores de velocidad de Sin fín- corona.....            | 41 |
| 2.3.4 Chumaceras. ....                                           | 43 |
| 2.3.5 Base del seguidor solar.....                               | 43 |
| 2.3.6 Acople motor paso a paso – reductor.....                   | 43 |
| 2.3.7 Acople base del seguidor solar–eje del panel solar. ....   | 43 |
| Capítulo III valoración económica e impacto ambiental. ....      | 45 |
| 3.1 Valoración técnica .....                                     | 45 |
| 3.2 Valoración económica.....                                    | 45 |
| 3.3 Cálculo económico .....                                      | 47 |
| 3.4 Estudio de impacto ambiental.....                            | 48 |
| Conclusiones generales.....                                      | 50 |
| Recomendaciones.....                                             | 51 |
| Bibliografía .....                                               | 52 |
| Anexos .....                                                     | 53 |

## **INTRODUCCIÓN GENERAL**

El futuro energético del país es un tema de debate continuo dada la importancia que tiene para el desarrollo futuro de las nuevas generaciones. Últimamente, este debate viene muy centrado en torno al cambio climático y la repercusión que el mundo energético tiene en que se esté o no acentuando. A este respecto debe tenerse muy presente que las inversiones en generación eléctrica son de elevada cuantía y con plazos de recuperación de las mismas muy largos, por lo que las decisiones que se tomen hoy y en los venideros años van a condicionar en gran medida las características del parque generador disponible en el futuro.

La demanda de electricidad en los últimos años en el país presenta un crecimiento vertiginoso. Dentro de aproximadamente cincuenta años se necesitará el doble de electricidad de la que se produce actualmente. Todas las fuentes disponibles serán necesarias, junto con la concientización del ahorro de energía dentro de un desarrollo energético más sostenible(EcuRed, 2014b).

Durante siglos, tanto el hombre como los demás seres vivos han aprovechado la energía solar como fuente de vida y como una opción energética. Ya hace algún tiempo este concepto ha tenido un gran auge, debido al afán que se tiene de buscar fuentes de energía que no contaminen, que tenga las mismas ventajas de las actuales, pero que no destruya el medio ambiente. En conclusión energía limpia, con cero producción de desechos, alta eficiencia, bajos costos de producción y sin ningún riesgo(EcuRed, 2014a).

La energía solar se presenta como una alternativa importante ante el aumento del consumo energético del planeta, debido a que la cantidad de la energía del sol, que llega a la superficie de la tierra en un día es diez veces más que la energía total consumida en el planeta durante un año. A través del efecto fotovoltaico la energía contenida en la luz del sol puede ser convertida directamente en energía eléctrica(Montes, 2011).

Hay muchas aplicaciones para sistemas de energía solar, pero también hay muchas limitaciones a estas aplicaciones. El costo-beneficio es demasiado bajo para los sistemas de energía solar que se utilizan ampliamente para alimentar hogares, empresas, o incluso los productos individuales(Casaño, 2012). Los



sistemas de energía solar se utilizan como fuente principal de alimentación para una gran mayoría de los satélites que orbitan la tierra. Sin embargo el beneficio de utilizar la energía solar en el espacio es mucho mayor que el costo de implementación correspondiente. Hay amplias gamas de productos disponibles para el consumidor que funcionan con energía solar, pero pueden ser costosos o poco prácticos debido a sus limitaciones. Los sistemas de energía solar no son competitivos en el mercado porque los consumidores están familiarizados con productos prácticos, más convenientes que tienen fuentes de energía más comunes. Algunos productos de consumo son las radios, linternas, casas rodantes, sistemas de carga lenta, la iluminación solar al aire libre, los sistemas portátiles de carga, e incluso los sistemas caseros que pueden estar vinculados a la red eléctrica existente(Cárdenas, 2007).

Existen aplicaciones que se utilizan en lugares remotos, como casas o pequeñas comunidades que se encuentran alejadas de las redes eléctricas. Como resultado, el costo de instalar un sistema de energía solar es más barato que el costo de enviar las líneas de transmisión de la red eléctrica hasta esos lugares. Los sistemas solares como fuente de energía también son más convenientes en pequeñas aplicaciones como lo son en calculadoras, alumbrado público e incluso semáforos(Castañeda, 2010).

El principal problema con la tecnología de paneles fotovoltaicos es que la eficiencia de los sistemas de energía solar sigue siendo pobre, y los costos por kilowatt/hora (KW/h) no son competitivos, en la mayoría de los casos, contra fuentes de energía tradicionales (petróleo, geotermia, gas natural, carbón natural, etc.). Los paneles solares por si solos son bastante ineficientes en su capacidad para convertir la luz en energía eléctrica. Además, los reguladores de carga y otros dispositivos que conforman el sistema de energía solar también son algo ineficientes y costosos(Fuentevilla, 2012).

En muchas empresas se han tomado las energías renovables como una alternativa para energizar algunas áreas, contribuyendo en gran medida al ahorro de energía eléctrica, y por consiguiente tiene una repercusión en la economía de estas empresas y del país.



### **Situación Problemática.**

El Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa en ocasiones presenta altos índices de consumo energético y específicamente de electricidad, lo que afecta el plan que se le asigna, incidiendo negativamente en el cumplimiento del mismo.

En el presente trabajo se pretende hacer un estudio de un sistema de seguimiento solar en un eje para respaldar técnicamente la propuesta de un Generador Fotovoltaico para el Nodo Central de la Red del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. La energía solar fotovoltaica es un tipo de energía renovable que es una solución potencial al futuro de la situación actual de la institución.

### **Problema de la investigación:**

¿Cómo lograr una mayor eficiencia en el proceso de captación de energía solar de los paneles propuestos en el Generador Fotovoltaico para el Nodo Central de la Red del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa?

### **Objetivo General:**

Diseñar un sistema de seguimiento solar, que permita elevar el rendimiento del Generador Solar Fotovoltaico propuesto para el Nodo Central de la Red del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

### **Hipótesis:**

Si se diseña un sistema de seguimiento solar para el Generador Fotovoltaico propuesto para el Nodo Central de la Red del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa entonces se contribuiría a elevar la eficiencia del proceso de captación, favoreciendo así al ahorro de energía eléctrica en la institución.

### **Objeto de estudio:**

Generador Solar Fotovoltaico propuesto para el Nodo Central de la Red del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

### **Campo de acción:**

Sistema de seguimiento solar del Generador Solar Fotovoltaico propuesto en el Nodo Central de la Red del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.



---

**Objetivos específicos:**

- Investigar el estado de arte sobre sistemas fotovoltaicos y seguimiento solar que sirvan de base teórica de la investigación.
- Diseñar un sistema de seguimiento solar que mejore el proceso de captación de radiación solar, a fin de aumentar la cantidad de energía aprovechada, para un sistema fotovoltaico.
- Evaluar los resultados obtenidos para emitir conclusiones que permitan demostrar que los sistemas seguidores solares son un medio que incrementan la energía aprovechada en los generadores fotovoltaicos.

**Tareas a realizar:**

- Revisión bibliográfica del estado del arte vinculado con los Generadores Solares Fotovoltaicos y seguidores solares que sirvan como fundamento teórico de la investigación.
- Fundamentación de la propuesta del seguidor solar.
- Simulación del proceso utilizando el software Proteus.
- Valoración económica de la propuesta.

**Métodos de investigación:**

- Histórico-lógico.
- Análisis-síntesis.
- Inductivo-deductivo.
- Sistémico-estructural.
- Análisis documental clásico.
- Modelación-Simulación-Experimento.

## **CAPÍTULO I: FUNDAMENTO TEÓRICO SOBRE SEGUIDORES SOLARES.**

En este capítulo se plantean los aspectos teóricos y conceptuales relacionados con los Generadores Solares Fotovoltaicos y el sistema de seguimiento solar; las características de este tipo de tecnología, ventajas, y funciones de los mismos así como su desarrollo en distintas áreas económicas de este país.

### **1.1 Antecedentes históricos.**

La protección del medio ambiente es compromiso de todos: gobiernos, personas e industrias. Hoy día se puede observar un gran crecimiento, tanto en la producción de paneles solares cada vez más económicos como en la implementación de grandes plantas solares conectadas a la red eléctrica.

El efecto fotoeléctrico fue descubierto por el físico francés Alexander-Edmond Becquerel en (1839), cuyos estudios sobre el espectro solar, magnetismo, electricidad y óptica son el pilar científico de la energía fotovoltaica. El inventor norteamericano Charles Fritts (1883), construyó la primera celda solar con base en un semiconductor de Selenio (Montes) con una capa delgada de Oro (Au) obteniendo una eficiencia del 1%. En (1954), en los laboratorios Bell se experimentaba con semiconductores y accidentalmente se encontró que el silicio (Grassi) con algunas impurezas era muy sensible a la luz. Los resultados obtenidos contribuyeron a la producción comercial de paneles solares, lográndose una eficiencia del 6% (Fuentevilla, 2012).

En (1957), la ex-URSS lanzó su primer satélite espacial y un año después, en (1958), los Estados Unidos hicieron lo mismo. La primera nave espacial que usó paneles solares fue el satélite norteamericano Explorer I, lanzado en (1958). Este evento generó un gran interés en la producción y lanzamiento de satélites geoestacionarios (GEO) para el desarrollo de las telecomunicaciones, en los que la energía provendría de un dispositivo de captación de la luz solar. La llegada de la celda de Silicio dio inicio al desarrollo de nuevas tecnologías, principalmente orientadas a la búsqueda de paneles solares más eficientes (Fuentevilla, 2012).

Debido al tema de protección al medio ambiente y al rápido incremento del precio del petróleo, es un objetivo que se realicen esfuerzos universales e intentos de



buscar fuentes alternativas de energía. Entre ellas la energía solar es una fuente abundante de suministro y además libre de contaminación, por lo que la investigación sobre energía solar ha llamado mucho la atención. Las universidades del mundo han desarrollado dispositivos que utilizan energía solar a través de paneles solares, como pueden ser cargadores de baterías, vehículos que utilicen motores eléctricos para hacer crecer la demanda de estos paneles fotovoltaicos e incrementar la demanda; así como dispositivos para mejorar la eficiencia de dichos paneles solares, conocidos como sistemas de seguimiento solar.

La gran mayoría de los autores han basado sus diseños de seguidores solares en el uso de microcontroladores asistidos por computador, como es el trabajo desarrollado por (Gámez, 2013), donde mediante el uso del microcontrolador PIC 16F84, una tarjeta de adquisición de datos conectado a un computador y un driver L293 conectado a un motor de posicionamiento angular o motor paso a paso logra el control del dispositivo, logrando un posicionamiento eficaz del prototipo pero que presenta como principal desventaja la dependencia del computador para lograr un correcto funcionamiento, careciendo este sistema de autonomía.

En el sistema desarrollado por (Lanzuela, 2010) también se hace uso de un PIC16F877, un motor de corriente directa, un conjunto de poleas e hilos y cintas metálicas; para que con el uso de un computador lograr la medición de los datos externos al panel solar, como temperatura y posición del sol. Logrando el movimiento del mecanismo y el censado de otras variables externas, pero presentando también como principal desventaja la presencia imprescindible de un computador para su adecuado funcionamiento.

Otros autores han preferido diseñar dispositivos descartando el uso de microcontroladores para lograr una mayor autonomía del sistema de seguimiento solar, como se puede apreciar en el trabajo realizado por (Gutierrez, 2012). Donde con la utilización de fotosensores, un motor de corriente directa, un circuito de fuerza y la ayuda de un PLC logran el seguimiento de la trayectoria, presentando como principal inconveniente el costo de los componentes del sistema.



En el proyecto desarrollado por (Cuesta, 2002) el autor desarrolla un sistema de seguimiento solar mediante el uso de microcontrolador, una tarjeta de adquisición de datos y un motor de corriente directa logran el movimiento del dispositivo; mostrando como principal deficiencia el bajo rendimiento del sistema de seguimiento y la dependencia de un computador para su correcto funcionamiento.

El trabajo realizado por (Moreno, 2005) realiza el diseño y montaje de un seguidor solar cuyo mecanismo es totalmente mecánico, es decir que no utiliza dispositivos electrónicos. Este diseño presenta entre sus desventajas un control poco eficaz del mecanismo.

El presente trabajo pretende mostrar un diseño de un dispositivo en el cual se realiza una combinación de microcontroladores y fotosensores para lograr un posicionamiento lo más exacto posible de un sistema de seguimiento solar de un eje, con autonomía; sin el uso de computadores para el control del dispositivo.

## **1.2 Energía solar y su importancia.**

El Sol es y ha sido desde siempre la principal fuente de energía en la Tierra. Como fuente de energía se caracteriza por no ser contaminante, al contrario es en extremo limpia siendo además de acceso libre e ilimitado. Por lo que ante la búsqueda de nuevas fuentes de energía, la energía solar se convierte en una alternativa viable de cara a los problemas actuales de contaminación ambiental generalizada. En la figura #1 se muestra la energía emitida por el sol sobre la tierra (Rodríguez, 2013).

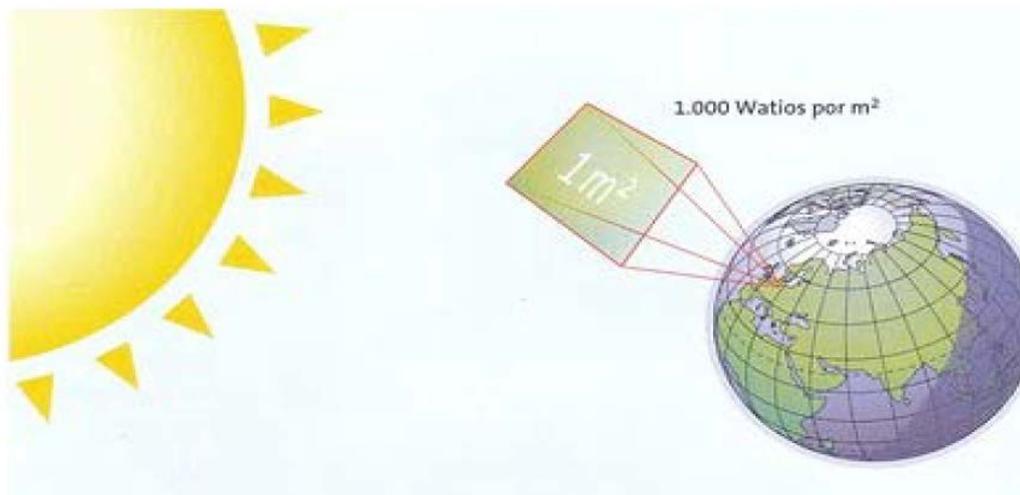


Figura #1. Energía que emite el sol sobre la tierra.



Esta estrella está en el origen de casi todas las energías renovables. El calentamiento de la tierra y del agua provoca las diferencias de presión que dan origen al viento, fuente de la energía eólica. La energía hidráulica también debe su existencia al Sol ya que este es el que provoca el ciclo del agua. En el proceso de fotosíntesis el Sol es un actor imprescindible; por lo tanto es necesario para la energía que utiliza la biomasa.

Además se puede generar energía directamente mediante la captación de la luz y el calor emitidos por los rayos del Sol. La energía solar es un tipo de energía de las conocidas como energía verde; aunque, al final de su vida útil, los paneles fotovoltaicos pueden suponer un residuo contaminante difícilmente reciclable a día de hoy. (Lanzuela, 2010).

Dentro de la generación de energía a partir de la radiación solar, hay varios subtipos. Las distintas tecnologías solares existentes (Rodríguez, 2013):

- Energía solar térmica: Utilizada para producir agua caliente para uso sanitario y calefacción.
- Energía solar fotovoltaica: Utilizada para la producción de electricidad mediante paneles fotovoltaicos que generan energía eléctrica a partir de la radiación solar.
- Energía solar termoeléctrica: Producción de electricidad mediante un ciclo termodinámico convencional a partir de un fluido calentado por la radiación solar a alta temperatura (aceite térmico)
- Energía solar híbrida: Combina la energía solar con otra energía. Según la energía con la que se combine es una hibridación renovable o fósil.
- Energía eólico-solar: Funciona con el aire calentado por el Sol, que sube por una chimenea donde están los generadores.

La energía solar se puede definir como la energía obtenida mediante la captación de luz y calor emitidos por el sol, los cuales son producidos por radiaciones nucleares en el interior del mismo y transmitidos en forma de ondas electromagnéticas a través del espacio (Duque, 2012).

La energía solar fotovoltaica consiste en la conversión directa de la luz solar en electricidad mediante un dispositivo electrónico denominado célula solar. Se basa en un fenómeno físico conocido como efecto fotoeléctrico, que se produce al incidir la luz sobre materiales semiconductores. De esta forma se genera un flujo de electrones en el interior del material, y la diferencia de potencial resultante se aprovecha de manera adecuada (Ortiz, 2012).

Los países menos desarrollados como es el caso de Cuba, son los que tienen urgencia inmediata de aplicar la energía solar, al no poseer los recursos naturales que suministran los combustibles fósiles, los cuales se ven obligados a importar, creando de esa manera una fuga de divisas, muy necesarias para su desarrollo.

### **1.2.1 Ventajas de la energía solar.**

La energía solar es una de las alternativas energéticas más importantes en la actualidad, esta ofrece una serie de ventajas tales como (Moreno, 2005):

- Utiliza recursos naturales inagotables: la luz del sol.
- Es una energía limpia que no genera emisiones de gases contaminantes ni otro tipo de residuos.
- Es una solución ideal para disponer de electricidad en zonas aisladas.
- Es la única energía renovable que puede instalarse a gran escala dentro de las zonas urbanas.
- En el caso de instalaciones conectadas a la red, hay subvenciones públicas y primas a la producción.
- Los paneles y la estructura de soporte pueden desmontarse al final de la vida útil, pudiendo reutilizarse.

### **1.2.2 Desventajas de la energía solar.**

Entre los inconvenientes no comparables con los de las fuentes de energías convencionales y más bien propias de las instalaciones y parques solares, se encuentran:



- El impacto visual de los parques solares, que suelen ocupar grandes superficies de captación.
- Sólo se produce energía mientras hay luz y depende del grado de insolación.
- El costo de las instalaciones es elevado, sobre todo si se compara con otro tipo de instalaciones que generen la misma potencia.
- El periodo de amortización de la inversión es largo, de unos diez años.
- El rendimiento es bastante bajo, debido a la baja eficiencia de las células solares, en muchos casos inferior al 40%.

### **1.2.1 Radiación solar.**

La radiación es la transferencia de energía por ondas electromagnéticas, que viajan a través del vacío y se producen directamente desde la fuente hacia afuera en todas las direcciones. Entonces la radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol, que no tienen la misma intensidad, sino que tienen una distribución espectral y se distribuyen desde el infrarrojo hasta el ultravioleta (Duque, 2012). En la figura # 2 se muestran los diferentes tipos de radiación solar, entre las que se encuentran:

- Dispersión
- Absorción
- Difusa
- Directa
- Reflejada(Albedo)

De estas la radiación directa es la que produce en los paneles solares un mayor rendimiento y ganancia de potencia.



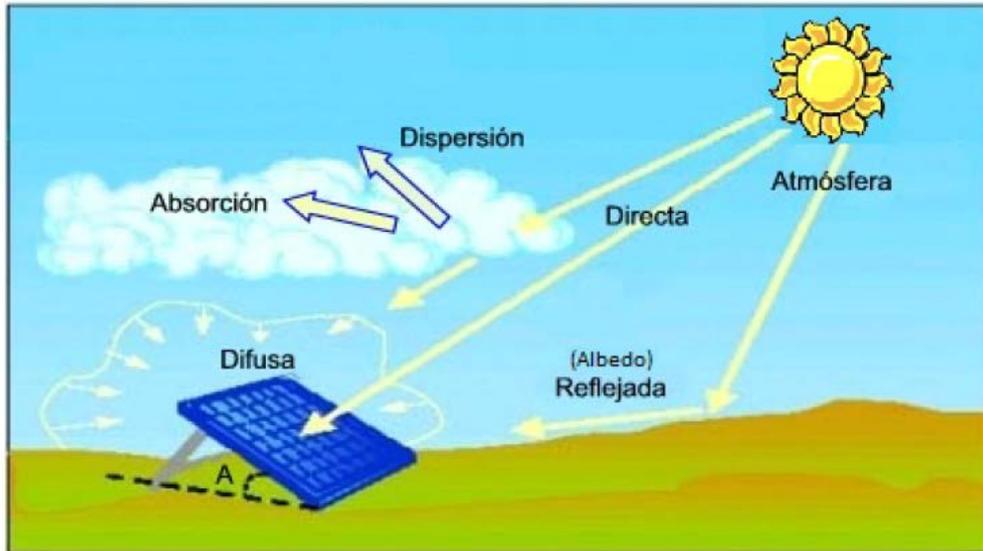


Figura #2. Tipos de radiación solar.

### 1.3 Paneles solares fotovoltaicos.

Los paneles solares fotovoltaicos son dispositivos que se encargan de transformar parte de la radiación solar que incide en ellos en energía eléctrica y sus principales componentes son las celdas de silicio. Los paneles fotovoltaicos están formados por numerosas celdas que convierten la luz en electricidad, las cuales comúnmente son llamadas celdas fotovoltaicas y dependen del efecto fotovoltaico para transformar la energía del sol y hacer que una corriente pase entre dos placas con cargas eléctricas opuestas (Castañeda, 2010). En la figura #3 se muestra un módulo fotovoltaico.

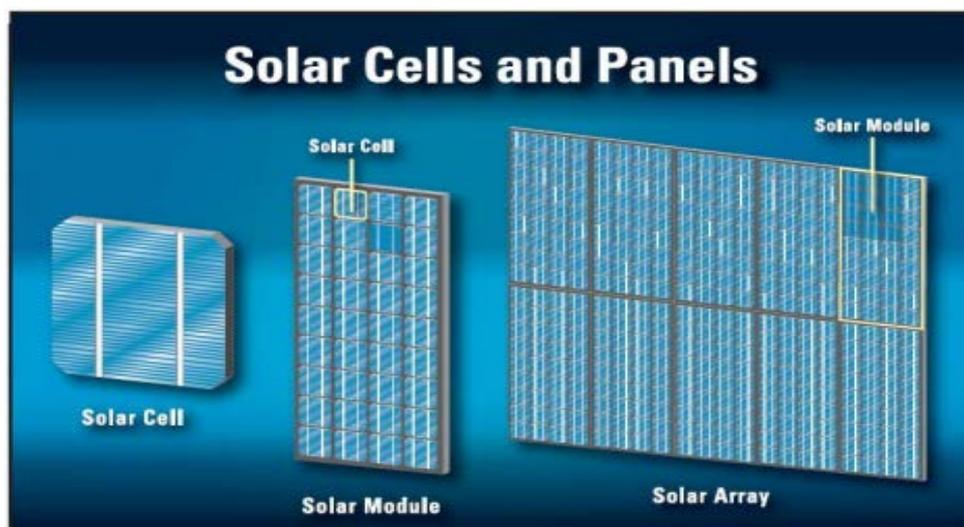


Figura #3. Módulo solar fotovoltaico.



La conversión de las celdas fotovoltaicas oscila entre el 8% y el 29% de eficiencia. Pese a lo anterior, ha habido una tendencia en la disminución del precio de los sistemas modernos de electrónica de potencia y las celdas fotovoltaicas, lo que indica buenas promesas para las nuevas instalaciones. El rendimiento de un sistema fotovoltaico se ve influenciado por su potencia máxima, los cambios de temperatura, la intensidad solar y la carga conectada.

Los sistemas de generación de energía basados en energía solar son hoy en día la solución más prometedora para requerimientos de baja y mediana potencia con la finalidad de reducir el consumo de energía producida por el petróleo y el gas. Sin embargo, la relación costo-beneficio de las celdas solares basadas en silicio es aún elevada y su eficiencia es baja, en comparación con otras fuentes de energía. Independientemente de la elección del tipo de celda solar, los módulos fotovoltaicos deben estar conectados a un sistema de conversión de energía, con el fin de gestionar la energía producida y proporcionar una interfaz adecuada a la carga como lo son convertidores electrónicos no lineales que operan en modo de conmutación (Montes, 2011).

Existen tres tipos de paneles fotovoltaicos:

- Monocristalino. Están formados en secciones con una barra de silicio perfectamente cristalizado en una sola pieza.
- Policristalino. Los materiales son semejantes a los monocristalinos, sin embargo el proceso de cristalización del silicio es diferente.
- Amorfo. Basados también en el silicio, pero a diferencia de los anteriores este material no sigue una estructura cristalina.

#### **1.4 Sistema solar 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. Los sistemas están integrados por los paneles solares encargados de la captación de energía y un conjunto de dispositivos cuya función es convertir la energía solar en energía eléctrica, acondicionando esta última a los requerimientos de una aplicación determinada (Mejía, 2005).

Las instalaciones fotovoltaicas pueden clasificarse atendiendo a su conexión a la red eléctrica de la siguiente forma:

- Instalaciones conectadas a la red eléctrica.
- Instalaciones aisladas de la red eléctrica.

#### **1.4.1 Principales componentes de un sistema solar fotovoltaico.**

- El elemento principal de energía que es el sol.
- Módulo, panel o arreglo de paneles solares.
- Estructura y cimientos del arreglo.
- Regulador de voltaje, típicamente un controlador de carga de batería(s).
- Batería de almacenamiento eléctrico y un recinto para las mismas.
- Un inversor de corriente continua (DC) a corriente alterna (AC) o un sistema acondicionado para la conversión de DC a AC para uso de equipos normalmente de 120Vac.

En la figura #4 se muestra un esquema de instalación de un sistema solar fotovoltaico.

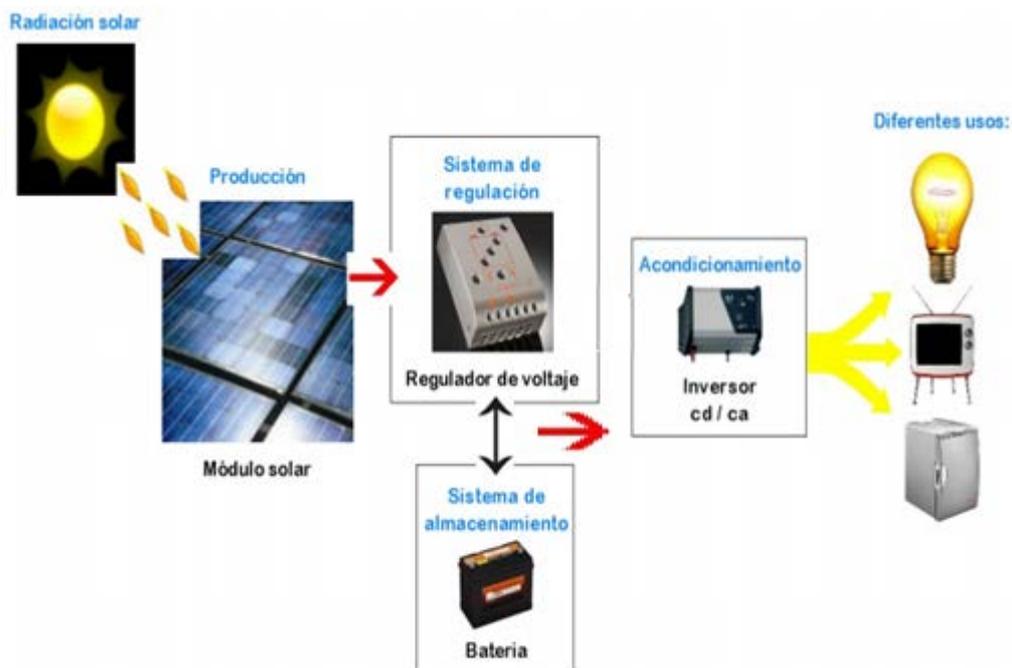


Figura #4. Esquema de instalación solar fotovoltaica.

Un sistema solar fotovoltaico no siempre consta de la totalidad de los elementos aquí descritos. Puede prescindir de uno o más de éstos, dependiendo del tiempo, época de operación, la naturaleza de los recursos energéticos disponibles en el lugar de la instalación, tipo y tamaño de las cargas a alimentar.

**La cantidad de energía que entrega un dispositivo fotovoltaico está determinado por:**

- El tipo y el área del material.
- La intensidad de la luz del sol.
- La longitud de onda de la luz del sol.

**1.4.2 Producción del panel fotovoltaico en función de la orientación del mismo:**

La producción de energía eléctrica de un panel fotovoltaico (Gámez, 2013), viene determinada por la siguiente expresión:

$$P = G \cdot \eta \cdot \eta_1 \cdot \text{sen}(a) \tag{1.1}$$

Dónde:

$P$  : Potencia del panel

$G$  : Potencia solar

$\eta$  : Rendimiento del panel

$\eta_1$  : Perdidas por temperatura

$a$  : Ángulo de incidencia de la radiación

En la figura #5 se puede observar la variación del ángulo de incidencia.



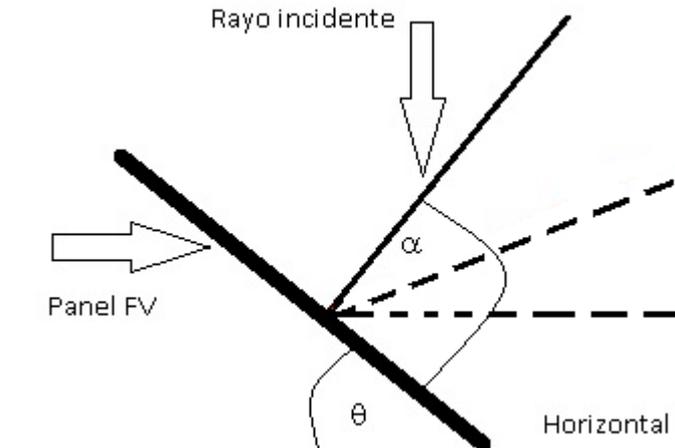


Figura #5, Variación del ángulo de incidencia.

Se puede deducir que la mayor potencia se obtiene cuando alfa es igual a 90 grados o está próximo a este, debido a que el  $\sin(90)$  es 1, de lo contrario el valor es menor que 1, orientando los paneles de forma correcta se obtendrá incrementos de potencia. Para poder garantizar la correcta colocación de los módulos solares atendiendo al ángulo de inclinación del sistema y captar la mayor radiación solar posible, necesaria para la generación de energía fotovoltaica, es de gran utilidad la utilización de paneles ubicados sobre seguidores solares (Pérez, 2010).

La potencia y orientación de la radiación solar varía según el día del año, la hora, las condiciones atmosféricas y la latitud del lugar de la posición del panel solar. Debido a estos cambios en la orientación, la energía solar obtenida por paneles situados sobre seguidores solares es un 30% superior a la obtenida por paneles fijos en un año (Villeda, 2011). El ángulo de incidencia de la luz solar tiene un papel relevante en la cantidad de energía recibida y, por tanto, en la eficacia del dispositivo tanto si es fotovoltaico como térmico.

### 1.5 Sistema de seguimiento solar.

Para poder aprovechar de manera eficiente la mayor cantidad de energía emitida por el sol, se han diseñado sistemas de seguimiento solar, debido al movimiento aparente que realiza el sol todos los días de este a oeste, rotación y un movimiento gradual que realiza en un año, traslación. Todos los seguidores solares incluyen mecanismos para orientar una placa colectora de forma que ésta permanezca lo más perpendicular posible a los rayos solares (Mejía, 2005).

### **1.5.1 Seguidores solares.**

La incidencia de los rayos solares sobre el plano de los paneles solares fotovoltaicos difiere de la perpendicularidad a lo largo del día y por lo tanto se ve reducida la eficiencia de los paneles solares. Es posible corregir esta situación utilizando un seguidor solar que oriente los paneles a la posición del Sol.

Los seguidores solares son dispositivos mecánicos que hacen que el panel o el colector, siga la trayectoria del sol durante el día (ver anexo # 1) y al final de este se reposicione para continuar con este movimiento al siguiente día. En resumen este dispositivo simula la propiedad que tienen los girasoles de realizar un moviendo de orientación hacia la luz del sol. Los paneles fotovoltaicos con seguimiento siguen el movimiento del sol, obteniendo un mayor rendimiento en comparación con los sistemas fotovoltaicos con paneles fijos, entre un 30 y un 34% más (Castañeda, 2010).

### **1.5.2 Tipos de seguimiento del sol.**

En este espacio se abordan algunas clasificaciones de seguidores solares existentes, para mostrar un marco teórico de referencia en el que para la realización de este trabajo.

Existen varios tipos de seguidores solares, así como las aplicaciones de los mismos, y las necesidades que obligan a elegir uno u otro prototipo(Gámez, 2013).

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



### **1.5.3 Métodos de seguimiento:**

El seguimiento solar se puede realizar mediante la utilización de distintas técnicas, como son:

- 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 eficiente captación.
- 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.
- 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.

En el anexo #2 se muestra un ejemplo de seguimiento por sensores y por coordenadas calculadas(Palma, 2010)

### **1.5.4 Clasificación de los seguidores solares:**

En el siguiente apartado se mostraran las distintas clasificaciones de los seguidores solares atendiendo a sus características particulares(Grassi, 2012).

#### **1.5.4.1 Clasificación atendiendo a su estructura:**

- Estructuras Fijas. Son las más robustas y flexibles del mercado y permiten adaptarse a cualquier tipo de terreno con desniveles superiores al 5%.
- Seguidores de un Eje. El seguidor solar estacional de un eje incrementa la producción de energía eléctrica en un 28% más respecto a una instalación fija.
- Seguidores a dos Ejes. Los seguidores a dos ejes permiten incrementar aproximadamente la eficiencia hasta un 35% la producción de energía eléctrica de los paneles solares fotovoltaicos.

#### **1.5.4.2 Clasificación por el dispositivo que realiza el movimiento:**

- Seguidores solares pasivos: Es un seguidor de un eje polar que carece de un control electrónico para su funcionamiento. Su funcionamiento se basa en el



cambio de densidad de un líquido de bajo punto de ebullición, regularmente freón.

- Seguidores solares activos: Este tipo de seguidores utiliza un control electrónico para ubicar la posición del Sol, este control se retroalimenta a base de sensores o por cálculos numéricos y utilizan algún actuador para realizar el movimiento del seguidor. En el mercado existen diferentes tipos de seguidores activos que se diferencian entre sí por el número de movimientos automáticos que realizan y el volumen de trabajo que pueden desarrollar.

Entre los tipos de seguidores activos se encuentran los siguientes:

- Seguidor solar de un eje, azimutal: El sistema gira sobre un eje vertical y la superficie de los módulos tiene una inclinación igual a la latitud del lugar para obtener un mejor rendimiento a lo largo del año.
- Seguidor solar de un eje, horizontal: El seguidor solar gira sobre un eje horizontal norte-sur, los módulos son colocados de manera paralela al eje de giro.
- Seguidor solar de un eje, polar: El seguidor solar gira sobre un eje orientado en dirección norte-sur y con una inclinación del eje igual a la latitud del lugar, los módulos se colocan paralelos al eje de giro, la velocidad de giro es de aproximadamente 15° por hora.
- Seguidor solar de dos ejes: El seguidor realiza dos movimientos automatizados para realizar el seguimiento en los dos ángulos que determinan la posición del Sol.

#### **1.5.4.3 Clasificación por el tipo de sistema fotovoltaico.**

Según el tipo de sistema fotovoltaico (Ortiz, 2012) encargado de la producción de energía, los seguidores se dividen en:

- Seguidores de sistemas fotovoltaicos concentrados: Son aquellos que requieren que la componente de luz directa esté concentrada en un punto específico.
- Seguidores de sistemas fotovoltaicos no concentrados: En este caso los paneles fotovoltaicos aceptan tanto la radiación directa como la difusa.

#### 1.5.4.4 Clasificación por los grados de libertad.

1. Seguidores de un solo eje: Estos sólo tienen un grado de libertad, es decir se mueven en un solo eje de rotación. Estos pueden ser:

- Polar.
- Azimutal (o vertical).
- Horizontal.

2. Seguidores de dos ejes: Estos tienen dos grados de libertad, es decir dos ejes de rotación. Entre los que se encuentran:

- Seguidor de dos ejes de inclinación (TIP-TILT).
- Seguidor de Azimut-Altitud.

Los seguidores de un eje y de dos ejes presentan características diferentes, que influyen en su producción de electricidad. En la tabla#1 se muestran las principales ventajas y desventajas que caracterizan a estos dispositivos (Lanzuela, 2010).

**Tabla # 1 .Ventajas y desventajas entre seguidores de uno y dos ejes.**

| VENTAJAS                                                                                 |                                                                                                                                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Un eje                                                                                   | Dos ejes                                                                                                                                      |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Menor costo</li></ul>                            | <ul style="list-style-type: none"><li>• Seguimiento solar más preciso.</li></ul>                                                              |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Simplicidad</li></ul>                            | <ul style="list-style-type: none"><li>• Incrementos de la producción en torno a cubiertas en un 35% con respecto a una planta fija.</li></ul> |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Posibilidad de adaptación a cubiertas.</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Generalmente dificultan el robo de paneles FV.</li></ul>                                              |
| Desventajas                                                                              |                                                                                                                                               |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Seguimiento solar impreciso.</li></ul>           | <ul style="list-style-type: none"><li>• Mayor costo</li></ul>                                                                                 |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Menor energía captada</li></ul>                  |                                                                                                                                               |



Como en el seguidor de dos ejes la superficie se mantiene siempre perpendicular a los rayos solares, es el que consigue un mayor aprovechamiento de la energía solar. Aunque la ganancia energética no depende sólo del tipo de seguidor, si no también depende en gran medida del emplazamiento, como se ha visto en el apartado anterior. Debido a que la mecánica de los seguidores de dos ejes es complicada, en algunas ocasiones, como en buena parte de las cubiertas, no resulta rentable teniendo en cuenta el incremento de energía obtenido, por lo que en esos casos es más común la utilización de seguidores solares de un eje (Castañeda, 2010).

### **1.6 Selección del tipo de seguidor.**

La mejor manera para elegir un tipo de seguidor es analizando su desempeño individual. No se encontró a nivel bibliográfico datos específicos sobre el rendimiento en campo de los diferentes tipos de seguidores. Por lo que la selección del seguidor a utilizar estuvo comprendida sobre las características de los aparatos antes mencionadas, su rendimiento, control y dificultad de instalación.

En el caso que este proyecto aborda, se optó por un seguidor solar activo de un eje del tipo azimutal. El término activo lo define el empleo de un motor eléctrico del tipo paso a paso y un circuito eléctrico de control del mecanismo. Se escogió la variante de un eje por ser más económica y sencilla en comparación con los seguidores de dos ejes y el tipo azimutal debido a que el movimiento del seguidor no es continuo en el tiempo sin embargo se logra la velocidad de 15 grados por hora o lo que es lo mismo 1 grado cada 4 minutos, reduciéndose el consumo al no estar el motor constante energizado.



## **CAPITULO II DISEÑO Y PROPUESTA DEL SEGUIDOR SOLAR.**

El estudio de la teoría inherente a los sistemas fotovoltaicos y seguidores solares sirve como base de diseño para determinar condiciones iniciales de diseño. El entendimiento de las ecuaciones que describen la generación de energía fotovoltaica permiten determinar de manera numérica un aproximado de la energía que se puede producir con el sistema instalado. El estudio de las causas del movimiento relativo del sol sirve para comprender su naturaleza, funcionamiento y características para soportar la selección y diseño del seguidor solar y su volumen de trabajo. La información sobre los seguidores solares comerciales establece un parámetro de partida en el diseño y explora las soluciones actuales a este problema.

### **2.1 Parámetros fundamentales en el diseño del seguidor.**

A la hora del diseño de un seguidor solar hay que conocer que:

- ✓ Se trata de un sistema que ha de trabajar durante más de 30 años.
- ✓ Ha de estar preparado para soportar fuertes vientos en repetidas ocasiones.
- ✓ Debe trabajar correctamente en márgenes de temperatura de -15 a 50°C
- ✓ Debe ser una instalación autónoma.
- ✓ Debe exigir el mínimo mantenimiento posible.
- ✓ Todo el sistema ha de estar preparado para soportar lluvia.
- ✓ Debe ser capaz de soportar el ambiente corrosivo de la localidad.

Otros elementos que deben ser conocidos en el diseño de un seguidor solar son:

- ✓ Acotación del ángulo de seguimiento.
- ✓ Latitud y Longitud del lugar de instalación.
- ✓ Ángulo de inclinación.

Existen además algunos otros parámetros que se toman en consideración principalmente para aquellos seguidores solares de dos ejes tales como: Ángulo de los trópicos y Ángulo de salida del Sol, los cuales ofrecen información sobre la orientación en el eje vertical.

### 1. Acotación del ángulo de seguimiento.

Idealmente un seguidor solar debería recorrer 180° a lo largo de un día, sin embargo este recorrido resulta impráctico debido a que las condiciones orográficas del terreno difícilmente permiten una visualización del plano horizontal completo, además la radiación solar en las primeras y últimas horas del día es reducida y deja de ser conveniente realizar el seguimiento, por lo que se hace necesario realizar una acotación de este ángulo.

El Sol se mueve 15 grados cada hora aproximadamente en el plano que contiene su trayectoria, el plano que dibuja la trayectoria del seguidor polar es igual al plano de la trayectoria del Sol, por lo que el seguidor solar se deberá moverse también 15° por hora. Como es imposible en este diseño alcanzar los 180° de seguimiento durante un día completo de 12 horas promedio, se dejaría un margen de error en la mañana y en la tarde de 15° por encima del horizonte, lo que significaría que teóricamente solo habría aproximadamente una hora tanto en la mañana como en la tarde que no habría seguimiento: luego del amanecer, y antes del anochecer, tal y como se muestra en la figura #6:



Figura # 6. Acotación del ángulo de seguimiento.

La distancia entre cada separación de la figura # 6 se obtiene dividiendo la distancia ideal en grados entre el número de horas que este comprende, es decir:

$$\text{Separacion} = \frac{180^\circ}{12 \text{ horas}} = 15^\circ \text{ por hora} \quad (2.1)$$

Entonces se tiene que el ángulo de seguimiento del sistema debe ser de  $180 - 15 \cdot 2 = 150^\circ$ .



## **2. Latitud.**

Representa la distancia angular existente entre un determinado punto de la superficie terrestre y el Ecuador, medida a lo largo del meridiano que pasa por ese punto (por el camino más corto). Se mide en grados, entre  $-90^\circ$  y  $90^\circ$ ; los valores negativos corresponden al hemisferio Sur y los positivos, al Norte.

En esta ocasión se tomará la latitud de Moa, Holguín, Cuba:  $20^\circ 39' 25''$  N.

## **3. Longitud.**

Expresa la distancia angular entre un punto determinado de la superficie terrestre y el meridiano que se tome como meridiano de origen, medida a lo largo de un paralelo (una circunferencia de latitud constante). Actualmente se emplea como origen el meridiano de Greenwich que se define como la semicircunferencia imaginaria que une los polos y pasa por el antiguo observatorio de Greenwich (Londres). Se expresa en grados, entre  $-180^\circ$  y  $180^\circ$ , siendo positivo hacia el Oeste.

En esta ocasión se tomará la longitud de Moa, Holguín, Cuba:  $74^\circ 56' 25''$  W.

En el anexo #3 se muestra una figura donde se representa la longitud y latitud (Palma, 2010)

## **4. Ángulo de inclinación.**

La colocación más favorable de las superficies captadoras de la radiación solar será aquella que, en función de la aplicación a que se destine el sistema capta la mayor cantidad de energía posible. Para el dimensionamiento de los captadores de los sistemas fototérmicos y fotovoltaicos se plantea que lo ideal es inclinarlos sobre la horizontal, con un ángulo igual a la latitud del lugar más  $10^\circ$ . De esta forma se obtiene el máximo rendimiento (Pérez, 2010).

Por lo tanto el ángulo de inclinación ( $\beta$ ) del sistema estará dado por la ecuación 2.2:

$$\beta = \text{latitud} + 10^\circ \quad (2.2)$$



Donde:

$\beta$ : ángulo de inclinación.

*latitud*: corresponde al valor de la latitud del lugar donde se va a instalar el GSF.

$$\beta = 20^\circ + 10^\circ = 30^\circ$$

El ángulo de inclinación del mecanismo será entonces igual a  $30^\circ$ , para el caso que corresponde a este proyecto.

## **2.2 Diseño del seguidor solar.**

Una vez conocidos los principales parámetros que determinan una adecuada orientación de los paneles solares en aras de hacerlos más eficientes en la captación de la energía solar, se puede continuar con la próxima etapa que consiste en diseñar las partes correspondiente al control del seguimiento solar y a su estructura mecánica.

Así pues, teniendo en cuenta que el tipo de seguidor seleccionado es el de un eje azimutal, se propone emplear un motor de paso a paso acoplado a un reductor del tipo tornillo sin fin con rueda dentada o corona para lograr el desplazamiento del panel fotovoltaico con precisión, fiabilidad y robustez, aprovechando las bondades que ofrecen cada uno de estos componentes los cuales serán detallados más adelante.

Para conseguir el mejor desempeño de los motores de paso a paso es necesario diseñar un circuito de control el cual tiene, dentro de las electrónicas, sus principales opciones: Un circuito puramente analógico resuelve aunque la interface tiende a ser grande y densa en componentes, con circuitos integrados de aplicación específica se logra un adecuado control del motor paso a paso pero los demás requerimientos de la aplicación se ven limitados por poco acceso a dichos circuitos específicos, el empleo de los microcontroladores para tales fines parece una de las opciones más acertadas, por el auge que han adquirido dichos dispositivos en el mercado internacional, por las diversas prestaciones en cualquier campo de la industria, su bajo costo y la flexibilidad de su programación lo colocan en un lugar privilegiado a la hora de decidir una elección, es precisamente por ello que se escoge para este trabajo el empleo del



microcontrolador 87C752 de Phillips para realizar el control de movimiento del seguidor solar propuesto.

Se proponen desarrollar las siguientes tareas:

1. El diseño y simulación del circuito de control del seguidor solar a base de microcontrolador.
2. Propuesta de diseño de la estructura mecánica.

La primera tarea presupone el empleo de algún software de simulación que permita validar los resultados de la propuesta, pero primeramente se debe tener una idea conceptual del circuito a diseñar. Los seguidores de un eje azimutales realizan el seguimiento del sol de este a oeste buscando la posición perpendicular del panel respecto al sol y aunque el desplazamiento por lógica implique un valor de 15 grados por hora no es necesariamente que sea continuo, con un desplazamiento de 1 grado cada 4 minutos se logra el objetivo deseado y se ahorra energía al motor no tener que estar energizado en todo momento, para conseguir mayor fiabilidad se propone el uso de sensores, tanto de luz, específicamente las resistencias detectoras de luz (LDR), como de posición para conocer los límites del sistema.

Un sistema ciego, para una aplicación relativamente lenta, en ocasiones trae desconfianza e incertidumbre sobre la correcta funcionalidad del mismo, para evitar tales descontentos se propone el empleo de un visualizador LCD (Liquid Crystal Display) que ofrezca informaciones sobre el estado de las diferentes variables que maneja el sistema. Por otro lado los motores de paso a paso son de tamaño variables y en la mayoría de los casos se requieren de un circuito intermedio que asuma la potencia que demandan los mismos. Cada uno de estos elementos es detalladamente explicado en los próximos epígrafes.

El seguidor propuesto, contempla una parte electrónica y otra estructural; pretende ser una solución en cuanto a costos de un sistema de generación de energía mediante paneles fotovoltaicos. Las premisas para el diseño del mismo fueron:

- Bajo costo.
- Estructura simple pero robusta.



- Electrónica simple y flexible con el mínimo de componentes.
- Fácil mantenimiento.

### **2.2.1 Diseño electrónico.**

El diseño electrónico se desarrolló con ayuda del software PROTEUS y consta de tres bloques fundamentales: bloque de sensores, bloque de control y bloque de fuerza. La figura # 7 muestra un diagrama básico del modelo propuesto, el cual consiste en adquirir información de los sensores para determinar desfasaje del seguidor con respecto al sol, así como para determinar los límites de posición, luego se procesa la información para poder tomar las decisiones adecuadas y actuar sobre el elemento de salida que permitirá reposicionar al módulo adecuadamente.

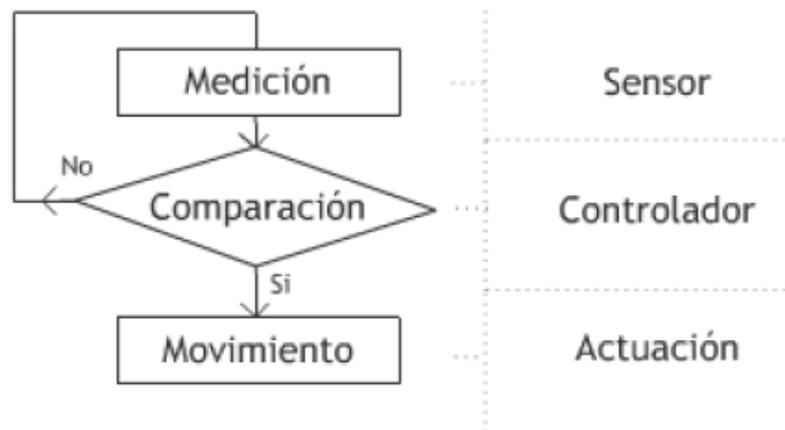


Figura # 7. Diagrama de operación del sistema.

#### **2.2.1.1 El PROTEUS como herramienta de diseño y simulación.**

El software de diseño y simulación PROTEUS es una herramienta útil para estudiantes y profesionales que desean acelerar y mejorar sus habilidades para el desarrollo de aplicaciones analógicas y digitales.

Este programa es una aplicación de diseño que se compone de tres módulos específicos:

- ISIS (Intelligent Schematic Input System): módulo de captura de esquemas.

- ARES (Advanced Routing Modelling): para la realización de circuitos impresos.
- VSM (Virtual System Modelling): el módulo de simulación virtual.

Este software permite el diseño de circuitos empleando un entorno gráfico en el cual es posible colocar los símbolos representativos de los componentes y realizar la simulación de su funcionamiento sin el riesgo de ocasionar daños a los circuitos.

La simulación puede incluir instrumentos de medición y la inclusión de gráficas que representan las señales obtenidas en la simulación.

Lo que más interés ha despertado para su elección es la capacidad de simular adecuadamente el funcionamiento de los microcontroladores más populares (PICs, ATMEL-AVR, MOTOROLA, INTEL, etc.), empleando el Sistema de Modelos Virtuales (VSM), dispone de herramientas para compilar y depurar programas en diversos lenguajes de programación tales como el C++, ensamblador, entre otros.

Proteus permite el diseño esquemático de circuitos conformado por microprocesadores y microcontroladores conectados con elementos electrónicos (fuentes, resistencias, capacitores, inductores, LEDs), dispositivos de entrada/salida (displays siete segmentos y LCD, teclados, botones), elementos electromecánicos (contactos, motores), circuitos integrados y otros componentes.

Luego de construir el circuito mediante una interfaz de dibujo esquemático, el usuario puede programar virtualmente los microcontroladores presentes en el circuito, y correr una completa simulación del mismo. Esto permite validar el diseño, corregir errores e introducir mejoras antes de implementar el circuito real en el Laboratorio.

La simulación de Proteus es interactiva, puesto que el usuario, mediante clicks del mouse sobre los dispositivos periféricos, puede cambiar el estado de las señales de entrada al micro y observar la respuesta de éste de acuerdo a su programación.



También tiene la capacidad de pasar el diseño a un programa integrado llamado ARES en el cual se puede llevar a cabo el desarrollo de placas de circuitos impresos.

### **2.2.1.2 Bloque de sensores.**

Como se ha mencionado anteriormente el circuito presenta dos sensores de luz ubicados en el panel solar, dispuestos de tal manera que sólo puedan proporcionar un valor de voltaje determinado cuando ambos están ubicados frente al Sol.

Este módulo es la primera etapa del sistema de control donde se adquieren las señales físicas, las mismas que serán transformadas en señales eléctricas de voltaje para ser llevados al módulo de control. El módulo está constituido por dos LDR que forman un circuito de divisor de voltaje. Este tipo de arreglos de LDR's se utilizan mayormente para uso en robótica, cuando es necesario que un dispositivo sea guiado por un haz de luz para un determinado fin. Pero también es utilizado en seguimiento solar, aunque para otras aplicaciones. De la figura #8 se desprende que la precisión de este tipo de arreglos depende de varios parámetros, por ejemplo las características propias de las LDR's, la separación entre ellas, el ancho del tabique, etc.

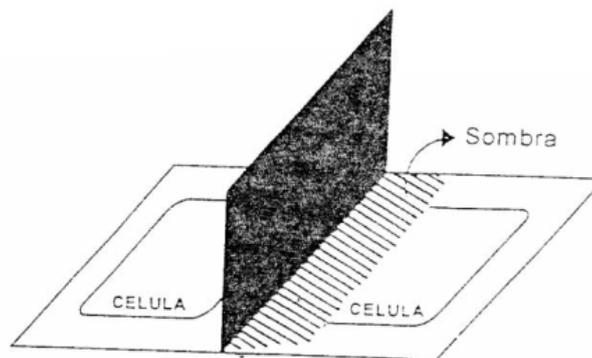


Figura # 8. Disposición de los sensores LDR's utilizados para captar la luz del Sol.

Entre más cerca estén las fotorresistencias del tabique, el sistema será más sensible, ya que una ligera variación en la posición del Sol hará sombra sobre alguna LDR; depende además de la altura del tabique, que al ser pequeño

disminuye la sensibilidad, puesto que la sombra es más pequeña. La sensibilidad no siempre es muy deseada pues ello implicaría oscilaciones permanentes en el sistema al tratar de buscar la posición óptima, lo cual estaría en contra del ahorro que se está proponiendo. Para ello las posiciones de los sensores LDR deben estar de manera tal que haya un margen de error de 1 grado respecto a la posición del sol, lo que daría un descanso al motor paso a paso.

Las características propias de las fotorresistencias pueden ser diferentes entre sí, y es necesario asegurarse de que ambas LDR's a utilizar sean lo más idénticas posible. Es recomendable sustituir las LDR's por otras que, no solamente sean iguales entre sí, sino que tengan valores altos (más de 50 k ohm). Además debe procurarse que la variación sea lo más lineal posible. La figura #9 muestra la representación de las LDR's en el PROTEUS.

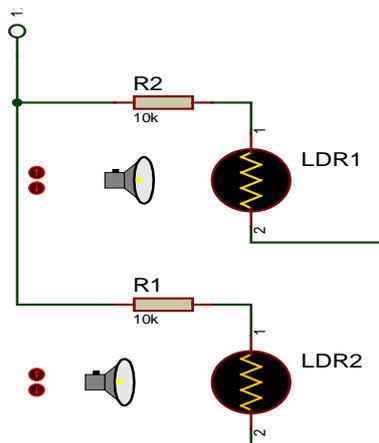


Figura #9. Sensores de luz LDR

También se dispone de dos sensores o límites de posición (FCI y FCD) Final de carrera Izquierda y Derecha respectivamente, los cuales indican que el seguidor solar ha llegado a alguno de los extremos y en este caso se utilizan para corregir errores en los ángulos calculados y para evitar que el panel se desplace más allá de los 150 grados previstos en la teoría conceptual del seguidor. En el simulador dichos límites fueron representados a través de los modelos de botones o pulsadores como se observa en la figura #10.



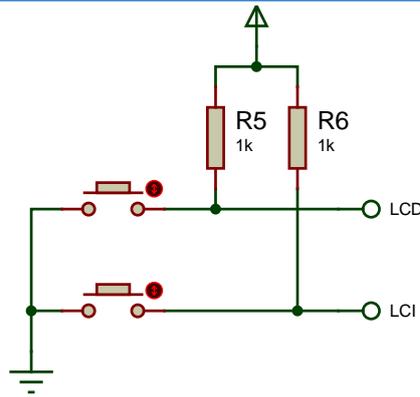


Figura #10. Límites izquierdo y derecho.

### 2.2.1.3 Bloque de comparación.

El circuito básico puede apreciarse en la figura #11. Por simple inspección, se puede observar que se trata de un comparador. Simplemente se esperará el momento en que las fotorresistencias se salgan del rango que se ha establecido con la red de resistencias fijas y activará un amplificador operacional que será la señal que pasará a amplificarse hasta poder enviar la señal adecuada al microcontrolador el cual será capaz de activar el motor en el sentido correcto según la programación establecida.

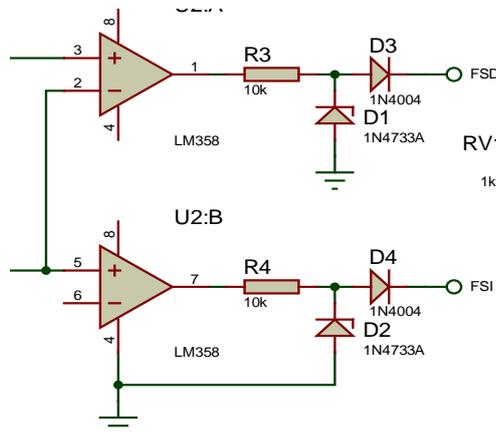


Figura #11. Modulo comparador.

La señal proveniente de las LDR's es introducida en dos comparadores simultáneamente, los cuales tienen configurado un valor cada uno de voltaje, es decir cada uno tiene un umbral, dentro del cual se debe encontrar el valor de



voltaje de las fotorresistencias. Si el valor de voltaje encontrado en medio de las LDR's está dentro del rango deseado comprendido entre los umbrales de voltaje mencionados, ambos comparadores estarán inactivos, es decir, tendrán en su salida un valor teórico de 0V.

El módulo comparador lo constituyen dos amplificadores operaciones que conforman el circuito integrado LM358, el cual se muestra en la figura #12.

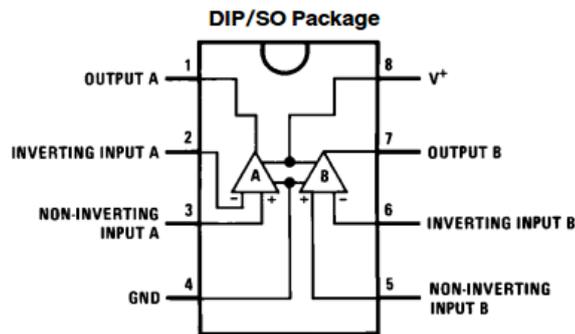


Figura #12. Circuito integrado LM358.

#### **2.2.1.4 Bloque de control.**

El cerebro del circuito de control lo constituye un microcontrolador 87C752, para las funciones más importantes como la recepción de señal de los fotosensores y el control de las salidas que le da paso al motor.

El microcontrolador, según la programación que se le ha introducido es el encargado de procesar las señales provenientes de los sensores y del comparador, ya sea 0 V a 5 V; y enviar la acción designada a módulo de fuerza. Se ha utilizado para la simulación en el software Proteus el micro 80c51 puesto que el que microcontrolador 87C752 que es el seleccionado para la implementación no dispone de modelo virtual dentro de los componentes de dicho software.

El microcontrolador 87C752, el cual se puede ver su distribución de pines en la figura #13, es basado en el núcleo del original 80C51 de Intel, el cual está dotado de varias funciones que lo hacen muy versátil. Mediante la adecuada codificación se pueden convertir señales analógicas a señales discretas, darles tratamiento mediante los puertos de entrada/salida y comunicarlo con una computadora personal (PC) vía RS-232.



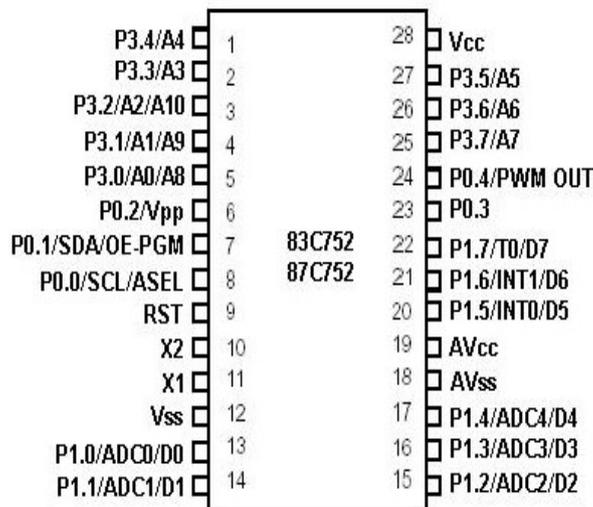


Figura # 13. Distribución de pines del microcontrolador 87C752.

### Principales características del microcontrolador 87C752

Es un micro muy versátil y entre sus principales características se encuentran las siguientes:

- Convertidor análogo a digital de 8 bits, con 5 canales de entrada.
- Salida / contador PWM de 8 bits
- Interface serial I<sup>2</sup>C
- Memoria de programa de 2K x 8bits
- Contador /temporizador auto recargable de 16 bits
- 21 líneas de entrada / salida
- 7 fuentes de interrupción
- Amplio rango de frecuencia del oscilador
- Bajo consumo de potencia
- Procesador Booleano

Quienes han tenido contacto con el microcontrolador 87C752, encontrarán que, además tiene ciertas ventajas, por ejemplo: 2048 posiciones de memoria de programa y 21 líneas de entrada / salida, el convertidor análogo a digital de 5 canales, la salida PWM y la interfaz serial I<sup>2</sup>C; además de las interrupciones asociadas



a estas. Tiene, también, un temporizador de vigilancia denominado timer 1 que está orientado para la generación de tiempos y monitoreo del bus I2C y cuando no se va a utilizar el bus puede servir como una base de tiempo fija.

### 2.2.1.5 Circuito del oscilador de frecuencia.

Como elemento fundamental en la tarjeta se tiene al microcontrolador 87C752 cuyas principales características fueron tratadas anteriormente. Para su funcionamiento, además de la alimentación, éste necesita de una señal de reloj que le servirá como base para la ejecución de las instrucciones y la generación de los tiempos internos: un oscilador que, básicamente, está formado por dos condensadores del orden de los pico Faradios (pF) conectados a los terminales X1 y X2 del MCU y un cristal de cuarzo que puede llegar a ser de hasta 40 MHz como máxima frecuencia que admite el MCU como se evidencia en la figura #14. Para este caso el cristal seleccionado fue de 12 MHz para cumplir con las exigencias de muestreo y para evitar muchos cálculos al realizar el proceso de transmisión.

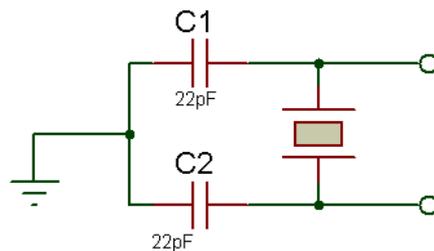


Figura # 14. Circuito oscilador del microcontrolador 87C752

### 2.2.1.6 Circuito de reset externo.

Todo MCU o sistema basado en microprocesadores necesita en algún momento ser reiniciado. Esto se logra dando un pulso positivo al pin RESET. El circuito puede verse en la figura #15.

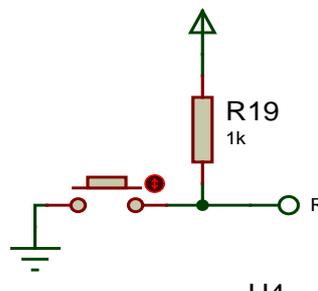


Figura #15. Reset externo



### 2.2.1.7 Display de Cristal Líquido (LCD).

Para la visualización de los estados de las diferentes variables de la aplicación se dispone de un LCD del tipo LM032L el cual tiene como característica que es de 2 líneas por 20 caracteres de longitud (2x20) y como la mayoría de los LCD son configurables para trabajar en diferentes modos dando opciones ya sea de economía de memoria de programa (Software) como economía de pines o (Hardware) que es el caso de este trabajo ya que el MCU 87C752 dispone solo de 21 líneas de entradas/salidas por lo que hay que trabajar el conexionado del LCD en el modo de 4 bits, utilizando solo 4 líneas del bus de datos además de las líneas de control.

El nombre de sus 14 terminales con su correspondiente número es mostrado en la figura #16. Los datos a visualizar y los comandos les llegan a través de los 4 pines menos significativos del puerto P3 del microcontrolador.

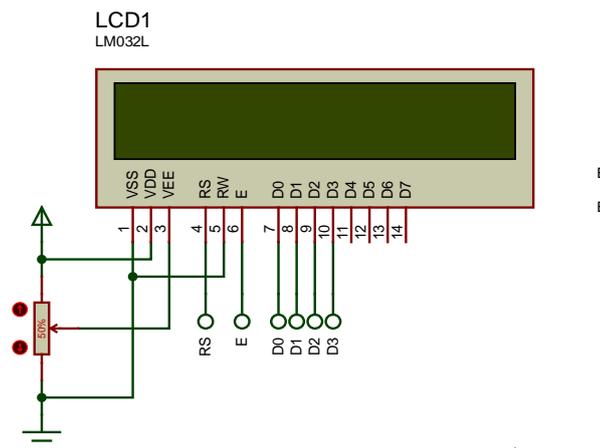


Figura #16. Display de cristal líquido

### 2.2.1.8 Bloque de fuerza.

Esta etapa del diseño electrónico comprende el circuito que va controlar el movimiento del eje del panel y por ende el que va consumir más carga. Este módulo recibe las señales de control del microcontrolador y activa los transistores para hacer los giros del motor paso a paso. Figura #17.



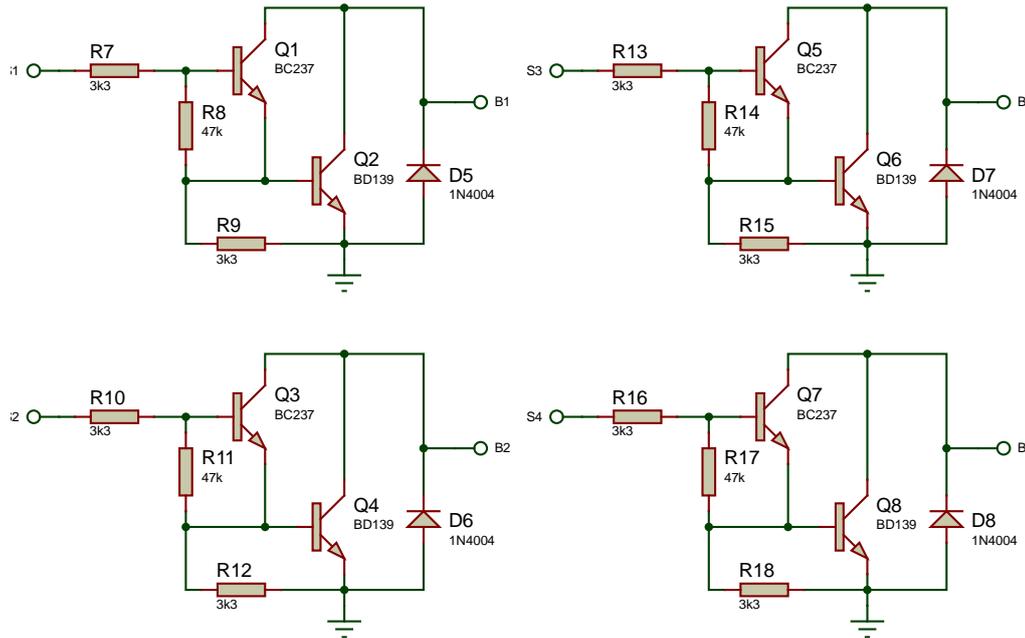


Figura #17. Módulo de fuerza.

Especificaciones del módulo de fuerza:

- Posee 4 transistores en configuración Darlington para darle una mayor sensibilidad a la señal proveniente del microcontrolador.
- Alimentación independiente para el motor de paso.
- Una red de resistencias para condicionar la señal que le es suministrada a los transistores.

### Conexión en Darlington

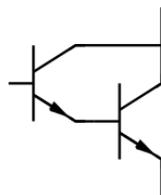


Figura #18. Conexión Darlington.

Se utilizó esta configuración (figura #18), para que el dispositivo sea capaz de proporcionar una gran ganancia de corriente. La ganancia total del Darlington es el producto de la ganancia de los transistores individuales. Un dispositivo típico tiene una ganancia en corriente de 1000 o superior. También tiene un mayor desplazamiento de fase en altas frecuencias que un único transistor, de ahí que

pueda convertirse fácilmente en inestable. La tensión base-emisor también es mayor, siendo la suma de ambas tensiones base-emisor, y para transistores de silicio es superior a 1.2V. La beta de un transistor o par Darlington se halla multiplicando las de los transistores individuales. La intensidad del colector se halla multiplicando la intensidad de la base por la beta total.

### **2.2.1.9 Fuente de alimentación.**

Todo circuito electrónico necesita de al menos una fuente de alimentación de CD, en el esquema propuesto se puede observar la presencia de varios dispositivos que se alimentan con 12 VCD ellos son los amplificadores operacionales LM358 y el motor de paso a paso, los cuales obtienen dicha energía directamente desde la batería o banco de batería propuesto en el GSF, sin embargo el resto no es compatible con ese nivel de tensión como lo es el MCU 87C752, para tales componentes se realizó una pequeña fuente de alimentación de 5 VCD basado en un estabilizador de tensión de 5 V el 78L05 y dos capacitores polarizados de 10 uF y 100 uF respectivamente conectados a la salida de la batería de 12 VCD de modo que esta tensión está dentro de las permisibles que admite el estabilizador 7805 en su entrada, proporcionando de esta manera una adecuada alimentación para todo el circuito. En la figura #19 se puede observar la configuración de la fuente de alimentación.

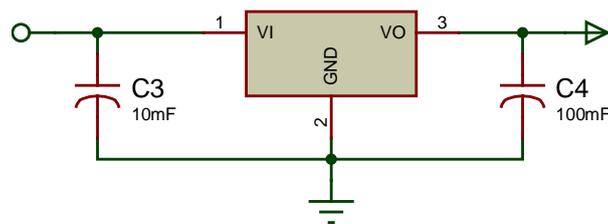


Figura #19. Esquema de la fuente.



### 2.2.1.10 Circuito completo

En la figura #20 se muestra como queda finalmente el diseño electrónico del seguidor.

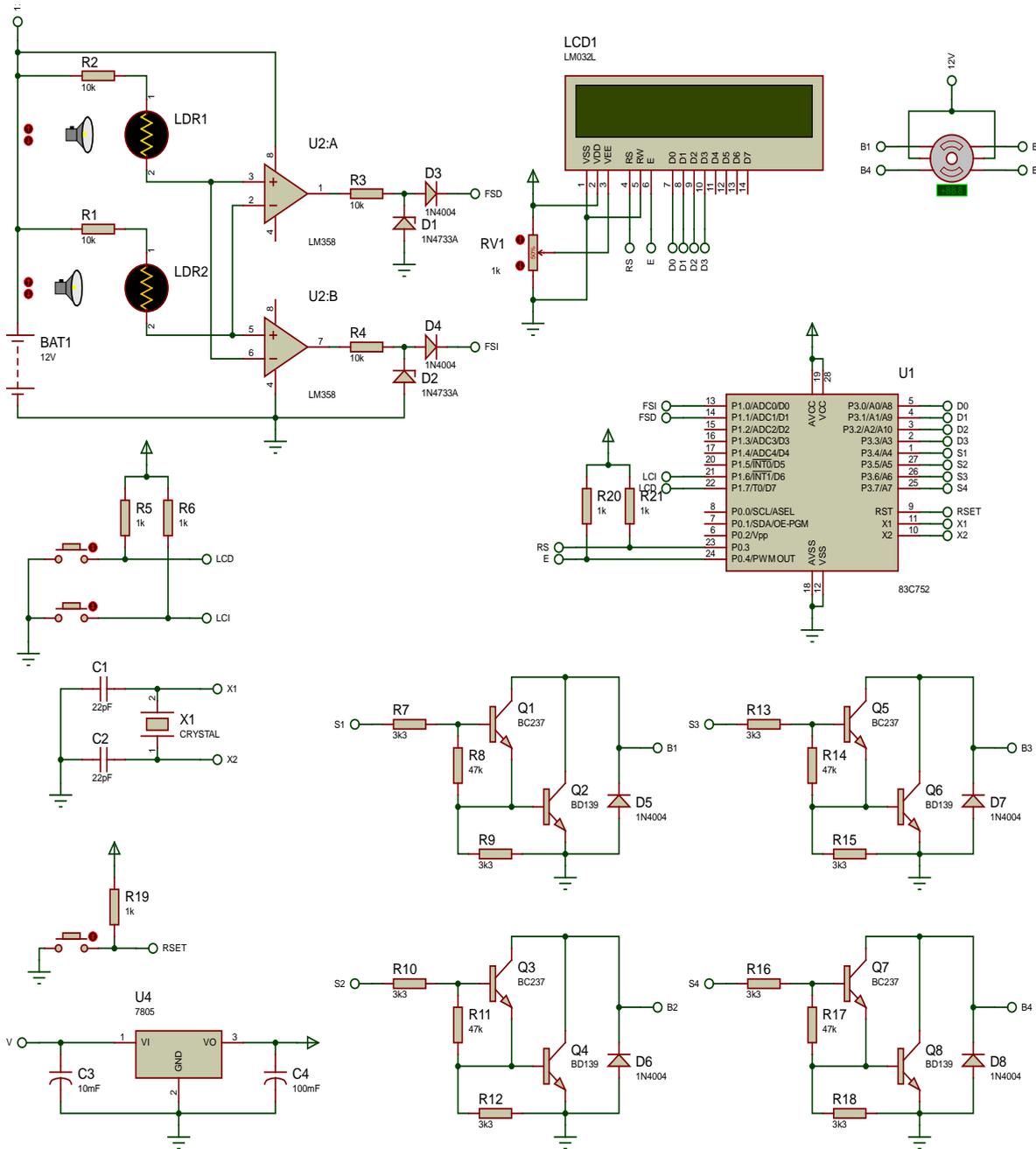


Figura #20. Circuito completo.

### **2.2.1.11 Algoritmo a seguir para el desarrollo del programa.**

En la figura #21 se muestra el diagrama de flujo del algoritmo a seguir para el desarrollo del programa principal en lenguaje ensamblador con el que contará el microcontrolador para el funcionamiento del sistema.

El procedimiento consiste básicamente en configurar los elementos de visualización y las variables de conteo para luego proceder con la lectura de los valores de los sensores de luz (LDR) los cuales se comparan y verifican si están dentro del rango establecido, en cuyo caso se espera por una demora de 4 min para luego repetir la acción, si por el contrario resulta de una diferencia mayor que lo establecido entonces se verifican los límites de final de carrera izquierda y derecha (LCI y LCD) para evitar mover el panel mas allá del rango establecido ( $15^{\circ} \div 165^{\circ}$ ), si los límites no están activados entonces se inicia el proceso de movimiento de  $1^{\circ}$  para luego volver al ciclo, siempre actualizando los valores de las variables y verificando los límites. Al llegar al final del recorrido ( $165^{\circ}$ ) se supone que el sol se encuentra en el horizonte en cuyo caso se espera por 1 hora más lo que permite aprovechar al máximo la luz solar para luego dar inicio a la reposición del panel a los valores iniciales y dejarlo listo para la salida del sol del día siguiente. Durante este proceso se van actualizando las variables y visualizándolas en el LCD.



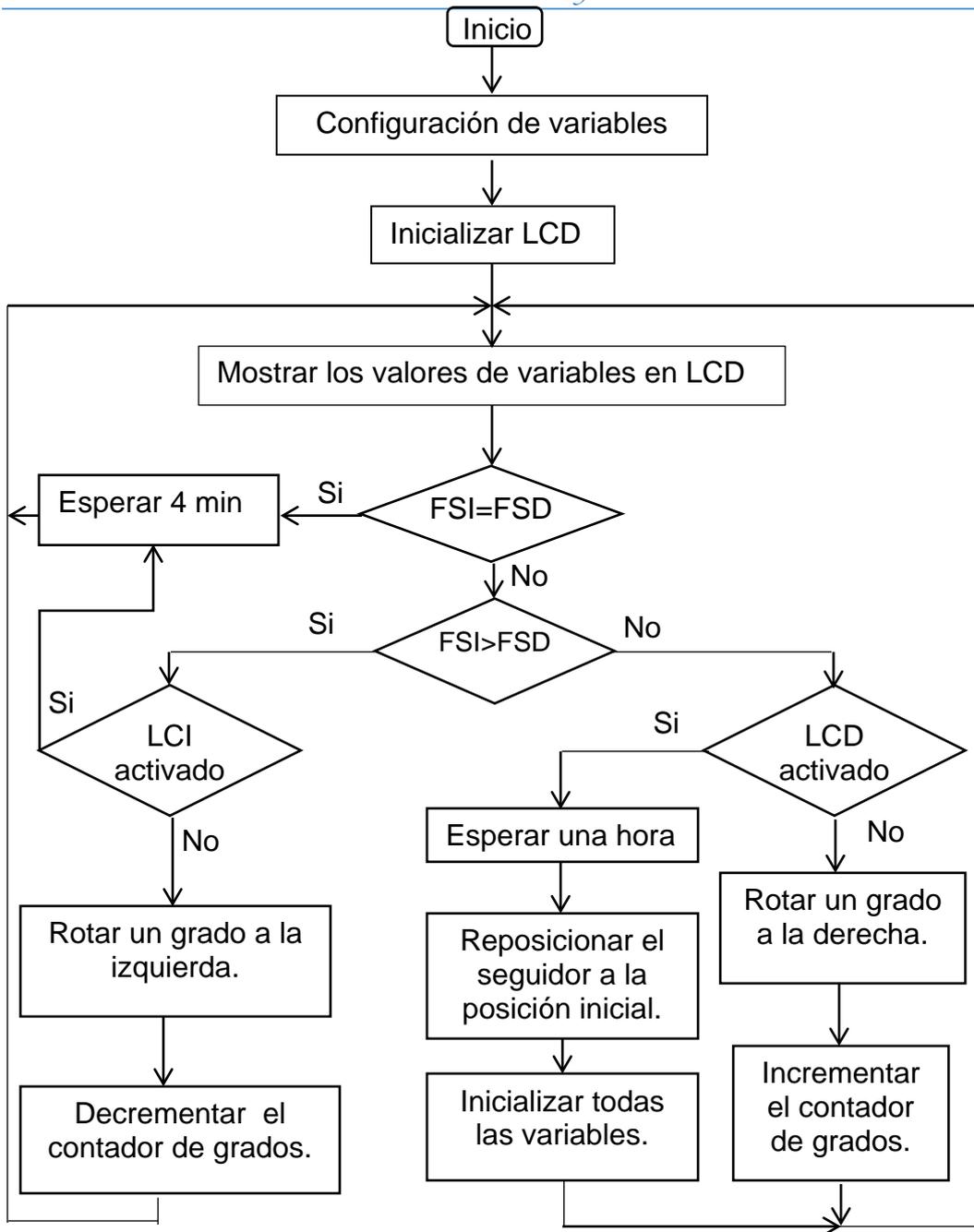


Figura #21. Diagrama de flujo del programa principal.

Donde:

FSI: fotosensor izquierdo.

FSD: fotosensor derecho.

LCI: límite de carrera izquierdo.

LCD: límite de carrera derecho.

El programa está formado además por varias subrutinas que en su conjunto permiten obtener un adecuado modelo del sistema propuesto lo cual es validado a través de la simulación efectuada en el PROTEUS, para ello se contó con varios elementos interactivos los cuales dan una apreciación muy cercana a la realidad, entre esos elementos se encuentran: EL display LCD, el Motor Paso a Paso, los botones simulando los límites, también se dispuso de modelos interactivos de las LDR y claramente del microcontrolador. El programa se muestra en el anexo #4.

### **2.3 Segunda etapa, diseño mecánico.**

Para el diseño mecánico se debe tener en cuenta que el movimiento debe ser excesivamente lento debido al pequeño recorrido que realizará durante todo el día, es por eso que se hizo uso de una caja reductora, para disminuir su velocidad a 1 rpm. Entre los componentes de la estructura mecánica encontramos:

#### **2.3.1 Estructura del seguidor solar.**

El seguidor solar planteado en este proyecto está diseñado para realizar un movimiento siguiendo la orientación del sol de este a oeste, ya que este es el movimiento más significativo durante el día y por ende se optimizará de mejor manera la captación de energía solar. En la figura #22 se puede observar un diseño de la estructura mecánica que soportará el sistema de seguimiento.

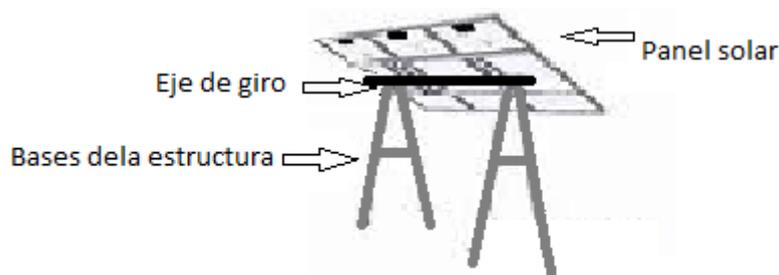


Figura #22. Estructura del seguidor.

Las dimensiones de la estructura se pueden proyectar en función de las dimensiones del panel solar.

#### **2.3.2 Motor paso a paso**

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos, por lo que es incluido en el diseño del mecanismo de seguimiento. La característica principal de estos motores es el



hecho de poder moverlos un paso a la vez, por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde  $90^\circ$  hasta pequeños movimientos de tan solo  $1.8^\circ$ , es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso ( $90^\circ$ ) y 200 para el segundo caso ( $1.8^\circ$ ), para completar un giro completo de  $360^\circ$ . Estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición o bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas están energizadas, el motor estará estacionado en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas. En la figura #22 se muestra un ejemplo de motor de paso.



Figura #23. Motor paso a paso.

### **2.3.3 Reductores de velocidad de Sin fin- corona.**

Es quizás el tipo de reductor de velocidad más sencillo, se compone de una corona dentada, normalmente de bronce en cuyo centro se ha embutido un eje de acero (eje lento), esta corona se encuentra en contacto permanente con un husillo de acero en forma de tornillo sin-fin. Una vuelta del tornillo sin fin provoca el avance de un diente de la corona y en consecuencia la reducción de velocidad. La figura #24 muestra un reductor del tipo sin fin –corona.



Figura #24. Reductor sin fin – corona.

La reducción de velocidad de un sinfín- corona se calcula con el producto del número de dientes de la corona por el número de entradas del tornillo sin fin. O



sea dicho de otra manera la relación de transformación (Rt) está dada por la ecuación 2.3.

$$Rt = \frac{N_2}{N_1} = \frac{e_1}{Z_2} \quad (2.3)$$

Donde:

N1 y N2: Son los números de vueltas de la rueda motriz y de la rueda conducida respectivamente.

e1: Número de entrada del tornillo sin fin.

Z<sub>2</sub>: es el Número de dientes de la corona.

El reductor seleccionado consiste en un tornillo sin fin de una sola entrada y una corona de 18 dientes, lo que al sustituir estos valores en la ecuación # resulta que la relación de transmisión es de:

$$Rt = \frac{1}{18}$$

Lo que indica que el tornillo tiene que dar 18 vueltas para que la rueda dentada gire una vuelta sobre su eje. Igualmente con Rt se puede determinar el desplazamiento angular que hay que lograr en el tornillo sin fin para provocar un desplazamiento de 1 grado en la corona, esto sale de la siguiente ecuación:

$$Rt = \frac{N_2}{N_1} = \frac{\varphi_2}{\varphi_1} \quad (2.4)$$

$$\varphi_1 = \varphi_2 \frac{N_1}{N_2} = 1^\circ * \frac{18}{1} = 18^\circ \quad (2.5)$$

A pesar que todas las tendencias de ingeniería lo consideran obsoleto por sus grandes defectos que son, el bajo rendimiento energético y la irreversibilidad, es el tipo de reductor de velocidad más usado y comercializado en todo el mundo y precisamente la irreversibilidad lejos de ser un defecto para este proyecto es una ventaja pues implica que bajo ningún concepto la carga puede mover al motor de paso a paso lo que permite dejar de alimentar al motor de manera continua.

Conociendo que el movimiento relativo del sol de este a oeste es de 15°/h, ésta es la velocidad que debe lograr el seguidor propuesto. Por tal motivo y con la idea de reducir el consumo de energía, el seguidor se moverá 1° cada 4 minutos que es la misma velocidad de movimiento del sol, pero en este caso no se realizará de

forma continua sino cada 4 minutos. Para conseguir este desplazamiento el tornillo sin fin deberá girar 18° cuyo valor resulta en un número entero de pasos que debe dar el motor paso a paso ya que el seleccionado es de 200 pasos/vuelta que resulta en 1.8° por paso, por tanto el cálculo es como sigue:

$$\# \text{ de pasos} = \frac{\varphi}{\text{°/pasos}} = \frac{18^{\circ}}{1.8^{\circ}/\text{paso}} = 10 \text{ pasos} \quad (2.6)$$

### **2.3.4 Chumaceras.**

Permite el soporte para la rotación de un eje, está compuesto de una parte rotativa y una fija, el cuerpo de la chumacera puede estar construido de los siguientes materiales: plástico, aluminio, acero y acero inoxidable.

### **2.3.5 Base del seguidor solar.**

La base de la estructura está elaborada de hierro, con ángulos y cuadrados de 1 pulgada para la ubicación de los equipos del sistema fotovoltaico.

### **2.3.6 Acople motor paso a paso – reductor**

Están acoplados mediante una platina con un ángulo de 45 grados, que sirven como soporte para la caja reductora y el motor de paso, y a su vez unen los ejes del motor y el orificio de la caja reductora.

### **2.3.7 Acople base del seguidor solar–eje del panel solar.**

La chumacera es el elemento que une el eje que mueve el motor con la base del seguidor solar ya que posee internamente rodamientos que permite el movimiento del eje del panel y a su vez estar unido a la base del seguidor solar. Figura 21

El circuito electrónico mostrado anteriormente, luego de ser diseñado se simuló y probó su funcionamiento en el seguimiento del Sol mediante el software Proteus. Es importante recalcar que el circuito está diseñado para poder funcionar con un voltaje de 12V DC, que es lo ideal, puesto que en este sistema fotovoltaico cuenta con ese voltaje. El circuito integrado LM358 funciona perfectamente con este voltaje. El circuito seguidor no requiere de ninguna fuente externa, sino que se alimenta del sistema, por lo que es autónomo. Igualmente, el motor utilizado es de

ese mismo voltaje, así que no es necesario preocuparse por adaptarse más al sistema de lo que ya está. Aparte de la toma de energía que hace este circuito del sistema fotovoltaico, no se encuentran eléctricamente conectados de ninguna otra manera, así que la operación de uno es independiente del otro, a excepción de la dependencia energética del seguidor.

## **CAPÍTULO III VALORACION ECONOMICA E IMPACTO AMBIENTAL.**

Una valoración económica eficiente permite analizar las posibilidades reales de una inversión, evaluar los costes de la técnica e implementar su ahorro; por lo que actualmente es primordial que todo profesional tenga conocimientos que le permitan escoger, no solo las variantes más eficientes sino también las más económicas. Esta es la razón que hace imprescindible el análisis técnico-económico de cada proyecto a ejecutar. El desarrollo de este capítulo trae consigo este propósito y para eso se toman los precios estándares en el mercado mundial de los dispositivos utilizados y los salarios por hora de un diseñador y un técnico electrónico respectivamente. Se aborda, además, el impacto social del trabajo con la finalidad de evaluar los resultados obtenidos.

### **3.1 Valoración técnica**

Desde el punto de vista técnico, se propuso el diseño de un sistema de seguimiento solar para el posicionamiento del Generador Solar Fotovoltaico del centro de red del instituto superior minero metalúrgico de Moa. Para esto fue utilizado el microcontrolador 87C752 con la función de llevar a cabo casi la totalidad de las funciones especiales del mecanismo. Un conjunto de fotosensores para la rectificación de la posición del sol mediante el comparador de potencial. Además de la tarjeta de fuerza que es utilizada para dar el movimiento al motor de paso en función de lo orientado por el microcontrolador.

### **3.2 Valoración económica**

Para la valoración económica primeramente se analizará el valor de cada uno de los componentes necesarios para la construcción del seguidor. La siguiente tabla muestra el nombre, cantidad y precios por unidad y total de cada uno de dichos dispositivos en el mercado internacional en usd.



Tabla #2. Elementos usados en el seguidor solar.

| <b>Nombres de los componentes</b>     | <b>Cantidad</b> | <b>Precio por Unidad</b> | <b>Precio Total</b> |
|---------------------------------------|-----------------|--------------------------|---------------------|
| Amplificador Operacional LM358N       | 1               | 0.36                     | 0.36                |
| Base p/cto integrado de 8 pines       | 1               | 2                        | 2                   |
| Base p/cto integrado de 28 pines      | 1               | 3.5                      | 3.5                 |
| Diodos                                | 6               | 0.056                    | 0.34                |
| Fotosensores(LDR)                     | 2               | 0.67                     | 1.34                |
| Diodo zener                           | 2               | 0.07                     | 1.14                |
| Cristal de 4 MHz                      | 1               | 1.10                     | 1.10                |
| Condensador                           | 2               | 0.19                     | 0.38                |
| Microcontrolador 87c752               | 1               | 7                        | 7                   |
| Motor de posicionamiento anular (PaP) | 1               | 25.2                     | 25.2                |
| Placa de impreso virgen               | 1               | 1.30                     | 1.30                |
| Caja reductora sinfín                 | 1               | 30                       | 30                  |
| Chumaceras(cojinetes)                 | 2               | 0.80                     | 1.60                |
| Resistencias de 3.3K                  | 8               | 0.10                     | 0.8                 |
| Resistencia de 10K                    | 2               | 0.30                     | 0.6                 |
| Resistencia de 4.7K                   | 4               | 0.10                     | 0.4                 |
| Eje                                   | 1               | 2                        | 2                   |
| Transistor                            | 8               | 0.27                     | 2.16                |
| Estructura                            | 1               | 4                        | 4                   |
| <b>Total</b>                          |                 |                          | 85.22               |



### **3.3 Cálculo económico**

Para lograr diseñar y construir este seguidor, es necesario un diseñador y un técnico electrónico; obteniendo; cada uno, un salario en moneda nacional de \$1.71 y \$1.21 por hora respectivamente. Teniendo en cuenta que ambos emplean 4 y 8 horas en el diseño y montaje del módulo y sumándole el precio de los componentes que integran el mismo se puede determinar el costo total de la instalación del sistema por la siguiente formula:

$$Ct = PC + Sd \cdot Hd + Se \cdot he \quad (3.1)$$

Dónde:

Ct - Costo total

PC- Precio total de los componentes

Sd y Se- Salario por hora del diseñador y el técnico electrónico respectivamente.

Sustituyendo en la formula anterior se calcula que el costo total es de: \$101.74 usd.

Teniendo en cuenta que la mayoría de los componentes (electrónicos y estructurales) utilizados en el diseño se pueden localizar en el instituto, por lo que pueden ser reciclados y que la construcción del dispositivo puede llevarse a cabo en el centro por la simplicidad del mecanismo es evidente que la construcción de un dispositivo de seguimiento solar con las características del diseño propuesto representa un evidente ahorro de capital y se demuestra la factibilidad e importancia en el aspecto económico del proyecto mostrado.

Además como ya se explicó anteriormente los sistemas de seguimiento solar producen un incremento de un 30% o más en los paneles solares y sus elementos electrónicos presentan un consumo muy pequeño, de poco significado para el sistema.

El la siguiente tabla se muestran los consumos de los principales componentes eléctricos del seguidor solar, los cuales comparado con la potencia producida por el panel evidencia la viabilidad de los seguidores solares de un eje.



Tabla #3. Consumo de los componentes del seguidor solar.

| <b>Componentes principales del seguidor solar.</b> | <b>Consumo (mW).</b> |
|----------------------------------------------------|----------------------|
| Display LCD                                        | 15                   |
| Microcontrolador 87C752                            | 55                   |
| Circuito integrado LM358                           | 120                  |
| Motor paso a paso                                  | 1.2                  |
| <b>Total</b>                                       | <b>1.39 W</b>        |

### **3.4 Estudio de impacto ambiental.**

La simplicidad del prototipo y del tipo de materiales empleados en su instalación y durante su uso permite un fácil y adecuado cumplimiento de la normativa de tratamiento de residuos medioambientales.

#### **Fase de construcción:**

Durante la construcción del prototipo se utiliza material reciclado para la estructura, de fácil adquisición.

#### **Fase de utilización:**

Durante la utilización del prototipo se consumirá energía eléctrica proveniente del generador solar (para mover el motor) para que el seguidor sea más eficaz ecológicamente hablando.

La mayoría de los beneficios medioambientales de un generador solar se dan al evitar el impacto ambiental negativo de las fuentes de energía que se substituyen. Aunque no parece necesario hacer un desarrollo argumental extenso sobre las ventajas de estas soluciones desde el punto de vista medioambiental, puede recordarse que las instalaciones solares en general tienen las siguientes características:

- ✓ Son limpias y silenciosas y tienen una larga vida útil (que requiere muy poco mantenimiento).



- ✓ La generación, el almacenamiento y el consumo pueden darse en el mismo punto, por lo que no es necesario disponer ningún sistema de transporte aparte del propio sistema de distribución.
- ✓ La energía captada es transformada y utilizada directamente, por lo que no se necesitan transformaciones intermedias.

La principal ventaja de la generación solar es la reducción de emisiones a la atmósfera de CO<sub>2</sub> respecto a las habituales fuentes de energía utilizadas (principalmente, la fósil).

Como factor negativo debe considerarse el impacto visual del prototipo, algo que, dado los lugares para los que está ideada su construcción (extensiones planas en zonas rurales o industriales, principalmente), no debería representar demasiado problema.

#### **Fase de desmonte:**

Al final de la vida útil del seguidor, se deberán reciclar todos los elementos que lo conforman. Los elementos metálicos se transformarán en chatarra, los compuestos y sintéticos (cojinetes de teflón, lentes) se transformarán en masa de moldeo por reciclado químico, el hormigón se demolerá y se llevará al vertedero más cercano y las piezas eléctricas (motores, controlador) se reciclarán como piezas especiales.



## **CONCLUSIONES GENERALES**

- Los materiales bibliográficos consultados sirvieron de base para el fundamento teórico de la investigación, además permitió vislumbrar el estado del arte sobre los seguidores solares tanto nacional como internacionalmente.
- Tanto el diseño esquemático en el Proteus, como los resultados de las simulaciones del circuito electrónico a base del microcontrolador 87C752 demostraron que es posible la implementación de este proyecto en el sistema de respaldo de energía del nodo central del ISMM a base de GSF.
- La selección adecuada de los modelos de cada uno de los componentes del circuito de control en el Proteus, así como las simulaciones efectuadas permitieron determinar los valores óptimos de selección y ajustes de algunos componentes.
- El algoritmo implementado constituyó una guía fundamental para el desarrollo eficiente del programa en lenguaje ensamblador para el MCU 87C752.
- El sistema propuesto resultó una alternativa económica y ambientalmente factible para su implementación en los diferentes sitios del país que disponen de GSF fijos.



## **RECOMENDACIONES**

- Implementar el sistema propuesto en este trabajo de diploma sobre la base de los resultados obtenidos y la validación económica y ambiental demostrada.
- Profundizar en el estudio de la estructura mecánica que soporta al seguidor solar desde el punto de vista de la resistencia de los materiales.
- Desarrollar una maqueta experimental didáctica de un seguidor solar fotovoltaico que permita realizar algunas prácticas multidisciplinarias y adquirir las habilidades requeridas.



## BIBLIOGRAFÍA

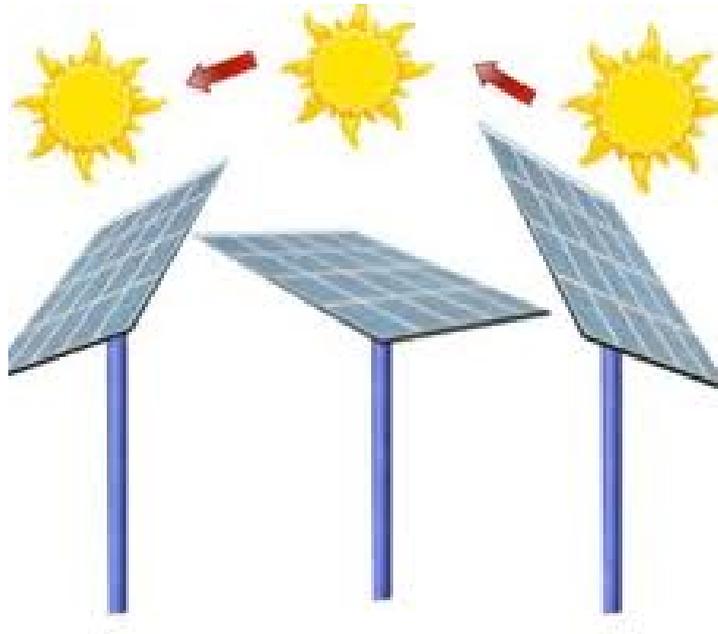
### Referencias bibliográficas

- Cárdenas, A. J. M. (2007). *Placa solar con movimiento solitario al sol controlada mediante procesador.*
- Casaño, C. d. I. C. (2012). Seguidor solar adaptativo basado en un controlador lógico programable para paneles fotovoltaicos. .
- Castañeda, H. M. (2010). *Diseño de un seguidor solar para eficientar la captacion de la energia solar en los paneles fotovoltaicos.*
- EcuRed. (2014a). Energía solar en Cuba.
- EcuRed. (2014b). Fuentes de energía renovables en Cuba.
- Fuentevilla, J. S. (2012). *Diseño y cnstruccion de un sistema de seguimiento fotovoltaico.*
- Gámez, M. B. G. (2013). *Diseño de un sistema de seguimiento solar de un eje para el aprovechaminto de la energia solar en sistemas fotovoltaicos*
- Grassi, F. (2012). *Diseño de un seguidor solar de dos ejes parametrizado por PC.*
- Lanzuela, C. P. (2010). *Seguidor solar ligero para cubiertas.*
- Mejia, A. E. (2005). *Diseño e implementacion de un seguidor solar para la optimizacion de un sistema fotovoltaico.*
- Montes, J. (2011). Produccion de hidrogeno a partir de energia solar.
- Moreno, O. E. H. (2005). *Diseño y construcción de un seguidor mecánica para un potabilida solar parabólico.*
- Ortiz, E. V. (2012). *Huerta fotovoltaica de 1.2MW, con seguimiento solar y conexion a red en Sevilla.*
- Palma, N. G. M. (2010). *Diseño, análisis e implantacion de un sistema de control para seguimiento solar en dos ejes.*
- Pérez, L. B. (2010). Influencia del ángulo de inclinación de una superficie captadora solar sobre la radiacion incidente.
- Rodríguez, C. R. (2013). *Diseño del control digital solar para la medicion de radiacion solar directa en Bogotá.*
- Villeda, G. (2011). *Seguidor solar de dos ejes para un horno solar.*



## **ANEXOS**

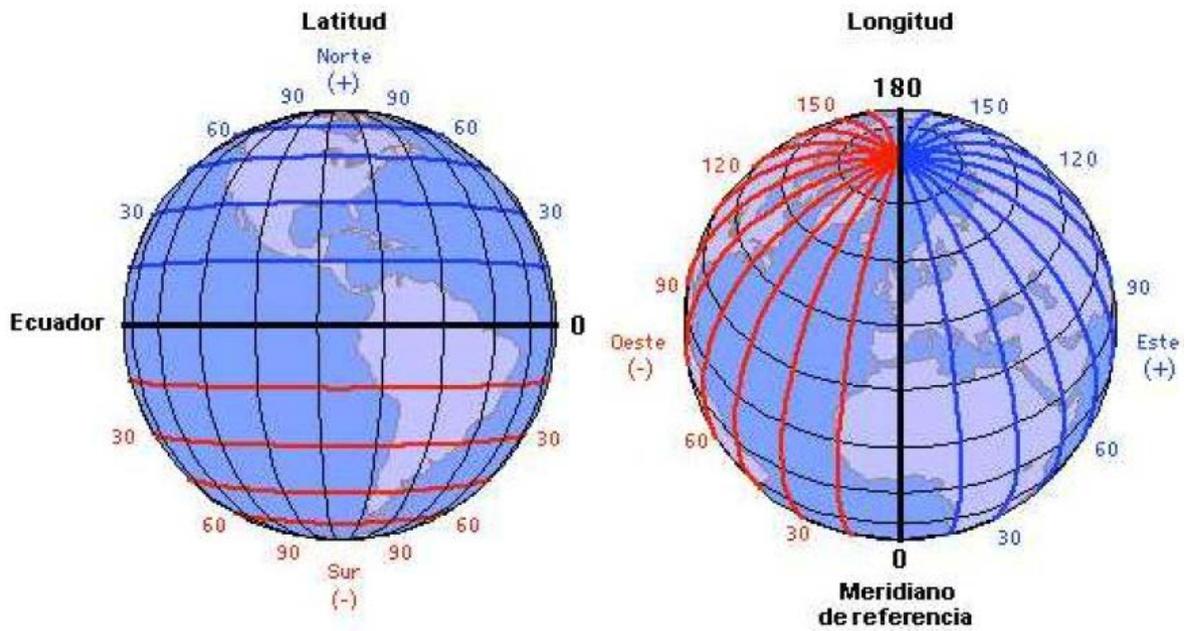
### **Anexo #1. Movimiento de un seguidor solar.**



**Anexo # 2. Seguimiento por sensores y por coordenadas calculadas.**



**Anexo #3. Representación de la latitud y longitud.**



**Anexo # 4. Programación completa del microcontrolador.**

ASEM-51 V1.3  
PAGE 1

Copyright (c) 2002 by W.W. Heinz

MCS-51 Family Macro Assembler A S E M - 5 1 V 1.3

```
=====
Source File: Seguidor.asm
Object File: Seguidor.hex
List File: Seguidor.lst
```

Line | Addr Code Source

1:

```
;=====
```

```
=====
```

```
2: ; SEGUIDOR SOLAR A BASE DEL MCU-87C752
3: ; CLOCK: 12 MHz
4: ;
5: ; Created: lun jun 9 2014
6: ; Processor: 87C752
7: ; Compiler: ASEM-51 (Proteus)
8:
```

```
;=====
```

```
=====
```

```
9:
10: $MOD752
11: $INCLUDE (8051.MCU)
12: 1 ; 87C752 processor definition file
13: 1 ; =====
14: 1
15: 1 N 80 P0 DATA 080H
16: 1 N 81 SP DATA 081H
17: 1 N 82 DPL DATA 082H
18: 1 N 83 DPH DATA 083H
19: 1 N 87 PCONDATA 087H
20: 1 N 88 TCONDATA 088H
21: 1 N 89 TMODDATA 089H
22: 1 N 8A TL0 DATA 08AH
23: 1 N 8B TL1 DATA 08BH
24: 1 N 8C TH0 DATA 08CH
25: 1 N 8D TH1 DATA 08DH
26: 1 N 90 P1 DATA 090H
27: 1 N 98 SCONDATA 098H
28: 1 N 99 SBUF DATA 099H
29: 1 N A0 P2 DATA 0A0H
30: 1 N A8 IE DATA 0A8H
31: 1 N B0 P3 DATA 0B0H
32: 1 N B8 IP DATA 0B8H
```



|       |   |      |       |      |      |
|-------|---|------|-------|------|------|
| 33: 1 | N | D0   | PSW   | DATA | 0D0H |
| 34: 1 | N | E0   | ACC   | DATA | 0E0H |
| 35: 1 | N | F0   | B     | DATA | 0F0H |
| 36: 1 |   |      |       |      |      |
| 37: 1 | N | 88   | IT0   | BIT  | 088H |
| 38: 1 | N | 89   | IE0   | BIT  | 089H |
| 39: 1 | N | 8A   | IT1   | BIT  | 08AH |
| 40: 1 | N | 8B   | IE1   | BIT  | 08BH |
| 41: 1 | N | 8C   | TR0   | BIT  | 08CH |
| 42: 1 | N | 8D   | TF0   | BIT  | 08DH |
| 43: 1 | N | 8E   | TR1   | BIT  | 08EH |
| 44: 1 | N | 8F   | TF1   | BIT  | 08FH |
| 45: 1 | N | 98   | RI    | BIT  | 098H |
| 46: 1 | N | 99   | TI    | BIT  | 099H |
| 47: 1 | N | 9A   | RB8   | BIT  | 09AH |
| 48: 1 | N | 9B   | TB8   | BIT  | 09BH |
| 49: 1 | N | 9C   | REN   | BIT  | 09CH |
| 50: 1 | N | 9D   | SM2   | BIT  | 09DH |
| 51: 1 | N | 9E   | SM1   | BIT  | 09EH |
| 52: 1 | N | 9F   | SM0   | BIT  | 09FH |
| 53: 1 | N | A8   | EX0   | BIT  | 0A8H |
| 54: 1 | N | A9   | ET0   | BIT  | 0A9H |
| 55: 1 | N | AA   | EX1   | BIT  | 0AAH |
| 56: 1 | N | AB   | ET1   | BIT  | 0ABH |
| 57: 1 | N | AC   | ES    | BIT  | 0ACH |
| 58: 1 | N | AF   | EA    | BIT  | 0AFH |
| 59: 1 | N | B0   | RXD   | BIT  | 0B0H |
| 60: 1 | N | B1   | TXD   | BIT  | 0B1H |
| 61: 1 | N | B2   | INT0  | BIT  | 0B2H |
| 62: 1 | N | B3   | INT1  | BIT  | 0B3H |
| 63: 1 | N | B4   | T0    | BIT  | 0B4H |
| 64: 1 | N | B5   | T1    | BIT  | 0B5H |
| 65: 1 | N | B6   | WR    | BIT  | 0B6H |
| 66: 1 | N | B7   | RD    | BIT  | 0B7H |
| 67: 1 | N | B8   | PX0   | BIT  | 0B8H |
| 68: 1 | N | B9   | PT0   | BIT  | 0B9H |
| 69: 1 | N | BA   | PX1   | BIT  | 0BAH |
| 70: 1 | N | BB   | PT1   | BIT  | 0BBH |
| 71: 1 | N | BC   | PS    | BIT  | 0BCH |
| 72: 1 | N | D0   | P     | BIT  | 0D0H |
| 73: 1 | N | D2   | OV    | BIT  | 0D2H |
| 74: 1 | N | D3   | RS0   | BIT  | 0D3H |
| 75: 1 | N | D4   | RS1   | BIT  | 0D4H |
| 76: 1 | N | D5   | F0    | BIT  | 0D5H |
| 77: 1 | N | D6   | AC    | BIT  | 0D6H |
| 78: 1 | N | D7   | CY    | BIT  | 0D7H |
| 79: 1 |   |      |       |      |      |
| 80: 1 | N | 0000 | RESET | CODE | 000H |
| 81: 1 | N | 0003 | EXTI0 | CODE | 003H |



```
82: 1      N   000B  TIMER0   CODE00BH
83: 1      N   0013  EXTI1   CODE013H
84: 1      N   001B  TIMER1   CODE01BH
85: 1      N   0023  SINT    CODE023H
86:
87:
```

```
=====
88:                ; DEFINITIONS
89:
```

```
=====
90:      N   0000  ADC_CH0  EQU      0
91:      N   0001  ADC_CH1  EQU      1
92:      B   0084  RS      EQU    P0.4
93:      B   0085  EN      EQU    P0.5
94:      B   0090  FSI      EQU    P1.0
95:      B   0091  FSD      EQU    P1.1
96:      B   0096  FCI      EQU    P1.6
97:      B   0097  FCD      EQU    P1.7
98:      D   00B0  B_DATOS EQU    P3
99:
100:     N   0080  LINE1   EQU    128
101:     N   00C0  LINE2   EQU    192
102:     N   0001  R1B0   EQU     1
103:
```

```
=====
104:                ; VARIABLES
105:
```

```
=====
106:     N    33  CNT_Step  DATA    33H
107:     N    34  Mot_Value DATA    34H
108:     N    35  CNT_SEG   DATA    35H
109:     N    36  CNT_MIN   DATA    36H
110:     N    37  CNT_HRA   DATA    37H
111:     N    38  CNT_GDO   DATA    38H
112:     N    39  FSI_VALUE DATA    39H
113:     N    3A  FSD_VALUE DATA    3AH
114:     N    3B  DIG1     DATA    3BH
115:     N    3C  DIG2     DATA    3CH
116:     N    3D  DIG3     DATA    3DH
117:     N    3E  C_DATA   DATA    3EH
118:     N    3F  TEMP     DATA    3FH
119:
120:
```



```
121:                ; RESET and INTERRUPT VECTORS
122:
;=====
=====
123:
124:                ; Reset Vector
125:      N   0000    org 0000h
126: 0000 02 01 00    jmp  Start
127:
128:
;=====
=====
129:                ; CODE SEGMENT
130:
;=====
=====
131:
132:      N   0100    org 0100h
133: 0100                Start:
134:
135: 0100 75 34 11      MOV      Mot_Value,#11H
136:
137: 0103 90 00 28      MOV  DPTR,#40
138: 0106 51 8A      ACALL  wtms
139:
140: 0108 12 01 86      CALL  lcd_init
141:
142: 010B 74 01      MOV  A,#1      ; CLEAR DISPLAY
143: 010D 31 A0      ACALL  wrt_cmd
144:
145: 010F 74 80      MOV  A,#LINE1      ;      DDRAM
ADDRESS (LINE 1 POS. 1)
146: 0111 31 A0      ACALL  wrt_cmd
147:
148: 0113 90 02 F5      MOV  DPTR,#TEXT01      ; DATA
SHOW
149: 0116 31 EC      ACALL  LCD_sendstring
150:
151: 0118 74 C0      MOV  A,#LINE2      ;      DDRAM
ADDRESS (LINE 2 POS. 1)
152: 011A 31 A0      ACALL  wrt_cmd
153:
154: 011C 90 03 09      MOV  DPTR,#TEXT02      ; DATA
SHOW
155: 011F 31 EC      ACALL  LCD_sendstring
156:
157: 0121 90 03 E8      MOV      DPTR,#1000
158: 0124 51 8A      ACALL  wtms
159:
```



```

160: 0126          inicio:
161: 012675 37 10      MOV          CNT_HRA,#16
162:
163: 012974 01          MOV          A,#1          ; CLEAR DISPLAY
164: 012B31 A0          ACALL        wrt_cmd
165:
166: 012D74 80          MOV          A,#LINE1          ; DDRAM
ADDRESS (LINE 1 POS. 1)
167: 012F31 A0          ACALL        wrt_cmd
168:
169: 013190 03 1E      MOV          DPTR,#TEXT03      ; DATA
SHOW
170: 013431 EC          ACALL        LCD_sendstring
171:
172: 0136E5 90          MOV          A,P1
173: 013854 01          ANL          A,#1
174:                   ;          MOV          A,#ADC_CH0
175:                   ;          ACALL        ADCONV
176: 013AF5 39          MOV          FSI_VALUE,A
177:
178: 013CE5 90          MOV          A,P1
179: 013E54 02          ANL          A,#2
180: 014003            RR          A
181:                   ;          MOV          A,#ADC_CH1
182:                   ;          ACALL        ADCONV
183: 0141F5 3A          MOV          FSD_VALUE,A
184:
185: 0143          MOSTRAR:
186: 014331 F6          ACALL        SHOW_VALUE
187:
188: 0145E5 90          MOV          A,P1
189: 014754 01          ANL          A,#1
190:                   ;          MOV          A,#ADC_CH0
191:                   ;          ACALL        ADCONV
192: 0149F5 39          MOV          FSI_VALUE,A
193:
194: 014BE5 90          MOV          A,P1
195: 014D54 02          ANL          A,#2
196: 014F03            RR          A
197:                   ;          MOV          A,#ADC_CH1
198:                   ;          ACALL        ADCONV
199: 0150F5 3A          MOV          FSD_VALUE,A
200:
201: 0152B5 39 04      CJNE        A,FSI_VALUE,verif_dif
202: 015531 C4          espera:    ACALL        wait_4min
203: 015780 EA          SJMP        MOSTRAR
204:
205: 0159          verif_dif:
206: 015950 09          JNC          pos_atrazo

```



```
207: 015BE5 39          MOV      A,FSI_VALUE
      ;posible adelanto
208: 015D95 3A          SUBB A, FSD_VALUE
209: 015FB4 19 09       CJNE A, #25,verif_porcentaje ;verificar
si esta dentro del 10%
210: 0162 80 F1          SJMP espera
211:
212: 0164                pos_atrazo:
213: 0164 95 39          SUBB A,FSI_VALUE
214: 0166 B4 19 0B       CJNE A, #25,verif_porcentaje1 ;verificar
si esta dentro del 10%
215: 0169 80 EA          SJMP espera
216:
217: 016B                verif_porcentaje:
218: 016B 40 E8          JC      espera
      ;diferencia < 10%
219: 016D 30 96 E5       JNB     FCI,espera ;diferencia
> 10%, seguidor adelantado, hay que atrazar 1 grado si límite izquierdo no
activado
220: 0170 51 39          ACALL   Rotar_grado_Left
221: 0172 80 CF          SJMP MOSTRAR
222:
223: 0174                verif_porcentaje1:
224: 0174 40 DF          JC      espera
      ;diferencia < 10%
225: 0176 30 97 04       JNB     FCD,espera_1Hora
      ;diferencia > 10%, seguidor atrazado, hay que adelantar 1 grado si límite
derecho no activado
226: 0179 51 58          ACALL   Rotar_grado_Rigth
227: 017B 80 C6          SJMP MOSTRAR
228:
229: 017D                espera_1Hora:
230: 017D D5 37 C3       DJNZ CNT_HRA, MOSTRAR
231:
232: 0180 51 77          ACALL   Reposicionar
233:
234: 0182 80 A2          SJMP inicio
235:
236: 0184                Loop:
237: 0184 80 FE          SJMP Loop
238:
239:                ; Inicializa el LCD
240:                ;*****
241: 0186                lcd_init:
242: 0186 74 28          MOV     A, #28H ; LCD SET FUNCTION, DL = 4
BIT, N = 2 LINES, F = 5x8 00101000
243: 0188 12 01 A0       CALL   wrt_cmd
244:
```



```
245: 018B74 0E      MOV    A,#0EH ; LCD DISPLAY & CURSOR ON,
NO BLINKING
246: 018D12 01 A0    CALL   wrt_cmd
247:
248: 019074 06      MOV    A,#06H ; LCD CURSOR DIRECTION,
INCREMENTAL, NO DISPLAY SHIFT
249: 019212 01 A0    CALL   wrt_cmd
250:
251: 019574 14      MOV    A,#14H ; CURSOR MOVE TO RIGHT
252: 019712 01 A0    CALL   wrt_cmd
253:
254: 019A74 01      MOV    A,#1H ; CLEAR LCD
255: 019C12 01 A0    CALL   wrt_cmd
256:
257: 019F22          RET
258:
259: 01A0          wrt_cmd:
260: 01A0C0 01      PUSH   R1B0
261: 01A279 02      MOV    R1,#2
262: 01A4F5 3F      MOV    TEMP,A
263: 01A654 0F      cmd_2: ANL   A,#0FH
264: 01A8C2 84      CLR    RS ;CMD WR ON
265: 01AA      D2 85      SETB  EN ;EN ON
266: 01AC      F5 B0      MOV   B_DATOS,A ;SEND
DATA
267: 01AE      C2 85      CLR   EN ;EN OFF
268: 01B012 01 BB    CALL  DEMORA
269: 01B3E5 3F      MOV   A,TEMP
270: 01B5C4          SWAP  A
271: 01B6D9 EE      DJNZ  R1,cmd_2
272: 01B8D0 01      POP   R1B0
273: 01BA      22          RET
274:
275:          ;demora
276: 01BB          DEMORA:
277: 01BB      7F 05      MOV   R7,#5
278: 01BD      7E FF      DIR1: MOV   R6,#255
279: 01BFDE FE      DJNZ  R6,$
280: 01C1DF FA      DJNZ  R7,DIR1
281: 01C322          RET
282:
283:          ;espera de 4 minutos
284: 01C4          wait_4min:
285: 01C475 36 04    MOV   CNT_MIN,#4
286: 01C790 EA 60    lazo: MOV   DPTR,#60000
287: 01CA      51 8A      ACALL          wtms
288: 01CC      31 F6      ACALL          Show_Value
289: 01CE      D5 36 F6    DJNZ  CNT_MIN,lazo
290: 01D122          RET
```



```
291:
292:           ;imprime un caracter en el LCD
293: 01D2           LCD_sendchar:
294: 01D2C0 01           PUSH  R1B0
295: 01D479 02           MOV   R1,#2
296: 01D6F5 3F           MOV   TEMP,A
297: 01D854 0F           chr_2:           ANL  A,#0FH
298: 01DA           D2 84           SETB RS           ;DATA WR ON
299: 01DC           D2 85           SETB EN           ;EN ON
300: 01DE           F5 B0           MOV   B_DATOS,A
301: 01E0C2 85           CLR   EN           ;EN OFF
302: 01E231 BB           CALL DEMORA
303: 01E4E5 3F           MOV   A,TEMP
304: 01E6C4           SWAP  A
305: 01E7D9 EF           DJNZ  R1,chr_2
306: 01E9D0 01           POP   R1B0
307: 01EB           22           RET
308:
309:           ;imprime una cadena de caracteres en el LCD
310: 01EC           LCD_sendstring:
311: 01EC           E4           CLR   A
312: 01ED           93           MOVC  A,@A + DPTR
313: 01EE           60 05           JZ    FIN
314: 01F031 D2           ACALL LCD_sendchar
315: 01F2A3           INC   DPTR
316: 01F380 F7           JMP   LCD_SENDSTRING
317: 01F5           FIN:
318: 01F522           RET
319:
320:           ;Muestra los valores de las variables en el
LCD(Orientación en Grados, Límite FCI, Fotosensor FSI,
Fotosensor FSD y Límite FCD)
321: 01F6           Show_Value:
322: 01F674 C0           MOV   A,#LINE2 ; DDRAM ADDRESS (LINE 2
POS. 1)
323: 01F831 A0           ACALL wrt_cmd
324:
325: 01FAE5 38           MOV   A,CNT_GDO
326: 01FC           51 A1           ACALL PRT_Data
327:
328: 01FE74 C6           MOV   A,#LINE2 + 6 ; DDRAM ADDRESS
(LINE 2 POS. 6)
329: 020031 A0           ACALL wrt_cmd
330:
331: 020230 96 07           JNB   FCI,FCI_activo
332: 020590 03 36           MOV   DPTR,#MSG_OFF
333: 020831 EC           ACALL LCD_sendstring
334: 020A80 05           SJMP next_value
335:
```



```
336: 020C          FCI_activo:
337: 020C90 03 33   MOV      DPTR,#MSG_ON
338: 020F31 EC      ACALL   LCD_sendstring
339:
340: 0211          next_value:
341: 021174 CA      MOV     A,#LINE2 + 10 ; DDRAM
ADDRESS (LINE 2 POS. 10)
342: 021331 A0      ACALL   wrt_cmd
343:
344: 0215E5 39      MOV     A,FSI_VALUE
345: 021751 A1      ACALL   PRT_Data
346:
347: 021974 CE      MOV     A,#LINE2 + 14 ; DDRAM
ADDRESS (LINE 2 POS. 14)
348: 021B31 A0      ACALL   wrt_cmd
349:
350: 021DE5 3A      MOV     A,FSD_VALUE
351: 021F51 A1      ACALL   PRT_Data
352:
353: 022174 D2      MOV     A,#LINE2 + 18 ; DDRAM
ADDRESS (LINE 2 POS. 18)
354: 022331 A0      ACALL   wrt_cmd
355:
356: 0225E5 39      MOV     A,FSI_VALUE
357: 022751 A1      ACALL   PRT_Data
358:
359: 022930 97 07   JNB     FCD,FCD_activo
360: 022C90 03 36   MOV     DPTR,#MSG_OFF
361: 022F31 EC      ACALL   LCD_sendstring
362: 023180 05      SJMP   return
363:
364: 0233          FCD_activo:
365: 023390 03 33   MOV     DPTR,#MSG_ON
366: 023631 EC      ACALL   LCD_sendstring
367:
368: 0238          return:
369: 023822        RET
370:
371: 0239          Rotar_grado_Left:
372: 023975 33 0A   MOV     CNT_Step,#10
373: 023CE5 34      MOV     A,Mot_Value
374: 023EF5 B0      next:   MOV     B_DATOS,A
375: 0240F5 34      MOV     Mot_Value,A
376: 024223        RL     A
377: 024330 96 0B   JNB     FCI,Fin_carr_lzq
378: 024631 BB      ACALL   DEMORA
379: 0248D5 33 F3   DJNZ   CNT_Step,next
380: 024B75 B0 00   MOV     B_DATOS,#0
381: 024E15 38      DEC     CNT_GDO
```



```
382: 0250 22          RET
383: 0251          Fin_carr_lzq:
384: 0251 75 B0 00    MOV          B_DATOS,#0
385: 0254 75 38 0F    MOV          CNT_GDO,#15
; 15 GRADO, POSICIÓN INICIAL
386: 0257 22          RET
387:
388: 0258          Rotar_grado_Rigth:
389: 0258 75 33 0A    MOV          CNT_Step,#10
390: 025BE5 34        MOV          A,Mot_Value
391: 025DF5 B0        next1:      MOV          B_DATOS,A
392: 025FF5 34        MOV          Mot_Value,A
393: 0261 03          RR          A
394: 0262 30 97 0B    JNB         FCD,Fin_carr_Der
395: 0265 31 BB        ACALL        DEMORA
396: 0267 D5 33 F3    DJNZ CNT_Step,next1
397: 026A75 B0 00    MOV          B_DATOS,#0
398: 026D05 38        INC          CNT_GDO
399: 026F 22          RET
400: 0270          Fin_carr_Der:
401: 0270 75 B0 00    MOV          B_DATOS,#0
402: 0273 75 38 A5    MOV          CNT_GDO,#165
; 165 GRADO, POSICIÓN FINAL
403: 0276 22          RET
404:
405: 0277          Reposicionar:
406: 0277 E5 34        MOV          A,Mot_Value
407: 0279 F5 B0        next2:      MOV          B_DATOS,A
408: 027BF5 34        MOV          Mot_Value,A
409: 027D23          RL          A
410: 027E31 BB        ACALL        DEMORA
411: 0280 20 96 F6    JB          FCI,next2
412: 0283 75 B0 00    MOV          B_DATOS,#0
413: 0286 75 38 0F    MOV          CNT_GDO,#15
; 15 GRADO, POSICIÓN INICIAL
414: 0289 22          RET
415:
416:
417:          ;Lee los canales del ADC
418:          ADCConv:  ORL          A,#28h          ;Add control bits
to channel #.
419:          MOV          ADCON,A          ;Start
conversion.
420:          ADC_1:  MOV          A,ADCON
421:          JNB         ACC.4,ADC_1          ;Wait for
conversion complete.
422:          MOV          A,ADAT          ;Read A/D.
423:          RET
424:
```



```
425:                                ;Espera por el número de milisegundos en DPTR
426: 028A63 82 FF    wtms: xrl DPL,#0FFh    ;Can't do DEC DPTR, so do
the loop by forming 2's complement
427: 028D63 83 FF                                xrl DPH,#0FFh    ;and    incrementing
instead.
428: 0290 A3                                inc DPTR
429: 0291 7F 02    wtms0:                mov R7,#2    ;1000    ticks    before
overflow = 1ms at 12MHz Clock
430: 0293 7E F6    wtms1:                mov R6,#246
431: 0295 DE FE    wtms2:                djnz R6,wtms2
432: 0297 DF FA                                djnz R7,wtms1
433: 0299 A3                                inc DPTR
434: 029AE5 82                                mov A,DPL
435: 029C45 83                                orl A,DPH
436: 029E70 F1                                jnz wtms0
437: 02A022                                ret
438:
439:                                ;imprimir dado
440: 02A1                                PRT_Data:
441: 02A151 BC                                acall convertir
442: 02A3E5 3D                                mov A,Dig3
443: 02A590 02 EB                                mov DPTR,#Tabla1
444: 02A893                                movc A,@A + DPTR
445: 02A931 D2                                acall LCD_sendchar
446: 02AB    E5 3C                                mov A,Dig2
447: 02AD    90 02 EB                                mov DPTR,#Tabla1
448: 02B093                                movc A,@A + DPTR
449: 02B131 D2                                acall LCD_sendchar
450: 02B3E5 3B                                mov A,Dig1
451: 02B590 02 EB                                mov DPTR,#Tabla1
452: 02B893                                movc A,@A + DPTR
453: 02B931 D2                                acall LCD_sendchar
454: 02BB    22                                ret
455:
456:                                ;Convierte los datos exadecimales a decimales para su
visualización
457: 02BC                                Convertir:
458: 02BC    F5 3E                                mov C_DATA,a
459: 02BE    B4 64 0D                                cjne A,#100,dif1
460: 02C1                                lg_My1:
461: 02C1E5 3E                                mov A,C_DATA
462: 02C375 F0 64                                mov B,#100
463: 02C684                                div AB
464: 02C7F5 3D                                mov Dig3,A
465: 02C9E5 F0                                mov A,B
466: 02CB    51 E1                                acall Div_10
467: 02CD    22                                ret
468:
469: 02CE                                dif1:
```



```
470: 02CE      50 F1          jnc Ig_My1
471: 02D075 3D 00          mov Dig3,#0
472: 02D3B4 0A 03          cjne A,#10,dif2
473: 02D6              Ig_My2:
474: 02D651 E1          acall Div_10
475: 02D822          ret
476:
477: 02D9              dif2:
478: 02D950 FB          jnc Ig_My2
479: 02DB      75 3C 00      mov Dig2,#0
480: 02DE      F5 3B          mov Dig1,A
481: 02E022          ret
482:
483: 02E1              Div_10:
484: 02E175 F0 0A      mov B,#10
485: 02E484          div AB
486: 02E5F5 3C          mov Dig2,A
487: 02E785 F0 3B      mov Dig1,B
488: 02EA      22          ret
489:
490: 02EB      30          Tabla1: db '0'
491: 02EC      31          db '1'
492: 02ED      32          db '2'
493: 02EE      33          db '3'
494: 02EF34          db '4'
495: 02F035          db '5'
496: 02F136          db '6'
497: 02F237          db '7'
498: 02F338          db '8'
499: 02F439          db '9'
500:
501: 02F553 45 47 55 texto1: DB 'SEGUIDOR SOLAR ISMM'
    02F949 44 4F 52
    02FD      20 53 4F 4C
    0301 41 52 20 49
    0305 53 4D 4D
502: 0308 00          DB 0
503: 0309 46 52 41 4E texto2: DB 'FRANK A. ESPINOSA S.'
    030D4B 20 41 2E
    0311 20 45 53 50
    0315 49 4E 4F 53
    0319 41 20 53 2E
504: 031D00          DB 0
505: 031E47 52 44 4F texto3: DB 'GRDO FCI FSI FSD FCD'
    0322 20 46 43 49
    0326 20 46 53 49
    032A20 46 53 44
    032E20 46 43 44
506: 0332 00          DB 0
```



```
507: 0333 4F 4E      MSG_ON: DB 'ON'  
508: 0335 00          DB    0  
509: 0336 4F 46 46  MSG_OFF: DB 'OFF'  
510: 0339 00          DB    0  
511:  
512:  
513:
```

```
=====
```

```
514:                      END
```

