

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**Implementación de seguidor solar en dos ejes
para el Sistema Fotovoltaico de la Escuela de
Ingeniería Eléctrica de la UES.**

PRESENTADO POR:

DOMINGO HERIBERTO GUARDADO GUTIÉRREZ

VÍCTOR EULISES RIVERA CHÁVEZ

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, MAYO DE 2012.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

DIRECTOR :

ING. JOSÉ WILBER CALDERÓN URRUTIA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Título :

**Implementación de seguidor solar en dos ejes
para el Sistema Fotovoltaico de la Escuela de
Ingeniería Eléctrica de la UES.**

Presentado por :

DOMINGO HERIBERTO GUARDADO GUTIÉRREZ

VÍCTOR EULISES RIVERA CHÁVEZ

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director :

ING. JORGE ALBERTO ZETINO CHICAS

San Salvador, mayo de 2012

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director :

ING. JORGE ALBERTO ZETINO CHICAS

AGRADECIMIENTOS

Antes de nadie le agradezco al creador por haberme permitido vivir y llegar hasta estas instancias de mi vida, El ha sido mi fortaleza, el brazo que me ha guiado y confortado en todos los momentos difíciles de este camino.

Agradezco a mis padres porque ellos han sido la base fundamental en la construcción de mi vida, tanto moral como económicamente, han sembrado conmigo y ahora cosecharemos juntos, a ellos les debo esto que ahora tengo. A mi demás familia, que de una u otra forma siempre me han ayudado, han apoyado todos mis sueños, les agradezco mucho.

Agradezco de corazón a personas que han sido de mucho apoyo en todo este sueño que estoy viviendo, a mis amigos y amigas que en todo momento he podido encontrarlos, y más cuando he estado en dificultades personales y económicas, más me han demostrado su amistad incondicional.

También, agradezco a las personas que directa o indirectamente han puesto un granito de arena para construir este hermoso castillo. Sin mencionar ni un solo nombre, sé que todos y cada uno de ellos sabrán cual es su lugar no en esta redacción, sino, en mi corazón. Gracias a todos.

Domingo Heriberto Guardado Gutiérrez

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haber hecho que lo imposible, fuera posible.

A mi madre, Gloria Ibel Rivera, y a mi familia; por haber ayudado a que lo posible, se hiciera realidad.

A mis compañeros, amigos, profesores, y a todas y cada una de las personas que colaboraron directa o indirectamente de forma técnica, moral o económica a que este trabajo se llevara a cabo.

Víctor Rivera

PREFACIO

Nadie ignora que la mayoría de las fuentes de energía normalmente utilizadas para satisfacer las necesidades humanas han sufrido un desgaste irreversible en las últimas décadas. El incontenible crecimiento poblacional, el uso inconsciente de los recursos disponibles de todo tipo, y el surgimiento de “nuevas necesidades” principalmente alimentadas por las políticas nacionales e internacionales de las naciones más desarrolladas y “más civilizadas” del mundo, ha anunciado con anticipación que tales actitudes llevan el rumbo del panorama energético a una inevitable escasez de recursos.

A pesar de lo evidentemente insostenible que es el recurso energético más cotizado hoy, como lo es el combustible fósil, y más propiamente, el petróleo, pocas naciones se han mostrado tan interesadas en el asunto a tal grado de intentar cambiar la situación de carencia de energía. Estas pocas naciones, instituciones y personas han mostrado que es posible cambiar el panorama con sólo cambiar la actitud de consumo irracional de energía y buscar alternativas como la energía del sol, el mar, el calor de la tierra, y el viento; además de la de los ríos que por ahora es muy utilizada.

No es significativa la cantidad de energía eléctrica que se produce en el mundo a partir de fuentes renovables, pero cada Watt-hora que se produce de esta manera, es significativo considerando el hecho de que aminoramos la decadencia de los recursos energéticos; asimismo, cada tonelada de dióxido de carbono que deja de lanzarse al aire y a la atmósfera, compensa cada dólar invertido en proyectos de energía renovable.

Pretendemos pues, no en gran escala, pero partiendo de ideas realmente brillantes de todo el mundo, mostrar que aquí, en un rincón del planeta particularmente afectado por la contaminación ambiental, la carencia de fuentes energéticas sostenibles y un uso desmedido e irracional de los recursos; es posible cambiar la situación que hasta ahora es lamentable. Un seguidor solar para un solo panel solar puede no ser la solución del problema energético de todo un país, de una región, de una ciudad, y posiblemente ni siquiera de una sola vivienda; pero los resultados de nuestro estudio pretenden sembrar una idea, y sin importar lo pequeña que sea, esperar que de fruto, tal vez no hoy, ni mañana, pero si un día mientras aun se esté a tiempo.

OBJETIVOS

Objetivo general

Establecer comparaciones entre la energía producida por un sistema fotovoltaico fijo orientado hacia el Sur, a 14° de inclinación y ubicado en San Salvador; con un sistema de igual capacidad, pero con seguimiento solar.

Objetivos específicos

- Diseñar, construir e implementar un seguidor solar, de dos ejes, para un panel del sistema fotovoltaico de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la UES.
- Hacer una comparación en términos de eficiencia y economía, la producción de un sistema fotovoltaico que permanece estático con uno de igual capacidad con seguimiento solar.
- Evaluar el rendimiento de la instalación fotovoltaica luego de la implementación del seguidor solar, y estimar el tiempo de recuperación de inversión para sistemas de este tipo en El Salvador.

CONTENIDO

Capítulo 1 : EL MOVIMIENTO SOLAR.....	1
1.1 Introducción	1
1.2 El movimiento diurno.....	1
1.3 La bóveda celeste	2
1.4 Horizonte.....	2
1.5 Cénit y nadir	3
1.6 Polos celestes y ecuador celeste.	4
1.7 El movimiento anual	5
1.8 Coordenadas acimutales.....	8
1.9 Coordenadas ecuatoriales.....	9
1.10 Consideraciones de seguimiento solar	10
1.11 Tipos de seguidores.....	11
1.11.1 Clasificación por el dispositivo que realiza el movimiento.....	12
1.11.2 Clasificación por el tipo de sistema fotovoltaico	12
1.11.3 Clasificación por los grados de libertad	14
1.12 Selección del tipo de seguidor.....	15
1.13 Conclusiones del capítulo.....	16
Capítulo 2 : DISEÑO ELECTRÓNICO DEL SEGUIDOR SOLAR DE 2 EJES.....	19
2.1 Introducción	19
2.2 Diseño electrónico del seguidor solar	20
2.2.1 Sensores.....	20
2.2.2 Circuito electrónico.....	22
2.2.3 Circuito de histéresis	24
2.2.4 Tipo de control	26
2.2.5 Circuito completo.....	26
2.2.6 Etapa de media potencia.....	28
2.2.7 Protecciones del circuito seguidor.....	29
2.3 Proceso de construcción de circuitos electrónicos	30
2.3.1 Materiales utilizados	30
2.4 Esquema eléctrico de control manual.....	31
2.5 Conclusiones del capítulo.....	32

Capítulo 3 : DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PARTE MECÁNICA	34
3.1 Introducción	34
3.2 Construcción de la parte mecánica	34
3.2.1 Requerimientos de diseño	34
3.2.2 Diseño de la base mono-poste	37
3.2.3 Diseño de la plataforma.....	39
3.2.4 Cálculo de los extremos de los movimientos de latitud y longitud de la plataforma.	42
3.2.4.1 Movimiento de longitud	42
3.2.4.2 Movimiento de latitud	47
3.3 Conclusiones del capítulo.....	53
Capítulo 4 : CONTROL AUTOMÁTICO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO MÓVIL	54
4.1 Introducción	54
4.2 Requerimientos del sistema.....	54
4.2.1 Relé programable ZEN.....	57
4.2.2 Descripción del relé programable ZEN adquirido	57
4.2.3 Funciones principales utilizadas.....	60
4.2.4 Edición del programa	63
4.3 Conclusiones del capítulo.....	69
Capítulo 5 : EVALUACIÓN DE RESULTADOS	71
5.1 Monitoreo de datos.....	71
5.2 Calibración de piranómetros.	76
5.3 Resultados obtenidos.....	78
5.3.1 Datos de Irradiancia.	78
5.3.2 Datos de insolación diaria.	81
5.3.3 Datos eléctricos	87
5.4 Conclusiones del capítulo.....	90
Capítulo 6 : PROYECCIONES	92
6.1 Introducción	92
6.2 Costo de materiales utilizados.....	92
6.3 Rendimiento económico del sistema móvil.....	92
6.4 Implementación de estructura para más paneles	94
6.5 Conclusiones del capítulo.....	96

CONCLUSIONES GENERALES	97
ANEXO A: MANUAL DE USUARIO	99
MODOS DE OPERACIÓN	99
MODO AUTOMÁTICO	99
MODO MANUAL	101
ANEXO B: MATERIALES.....	104
PARTE MECÁNICA.....	104
PARTE DE CONTROL.....	104
PARTE ELECTRÓNICA	105
ANEXO C: MANUAL DE MANTENIMIENTO	106
ANEXO D: HOJAS DE DATOS	113

Lista de figuras

Figura 1.1 Movimiento aparente del Sol al Norte y al Sur del ecuador	2
Figura 1.2 Esfera celeste y horizonte	3
Figura 1.3 Ubicación del horizonte, el Cénit y el Nadir.	3
Figura 1.4 Izquierda: proyección del ecuador y los polos de la tierra en la esfera celeste . Derecha: inclinación de la eclíptica respecto al ecuador celeste	4
Figura 1.5 Ubicación del polo Norte celeste para una latitud de 13°N.....	5
Figura 1.6 Posición de la tierra en la eclíptica en 4 momentos distintos del año.....	6
Figura 1.7 La inclinación del plano de la eclíptica y el eje de rotación de la tierra es constante.	6
Figura 1.8 Movimiento de los astros en el día y en el año.	7
Figura 1.9 Mapa mundial en que se muestra sombreada en rosado el área intertropical	8
Figura 1.10 Coordenadas acimutales.	9
Figura 1.11 Coordenadas ecuatoriales	10
Figura 1.12 Círculos ecuatorial, tropicales y polares.....	11
Figura 1.13 Relación de Potencia incidente y ángulo de inclinación	13
Figura 1.14 Pérdidas de potencia directa por mala orientación de paneles solares.	13
Figura 1.15 Movimiento en dos ejes de un seguidor solar con eje primario horizontal.	15
Figura 1.16 Actuador giratorio.	16
Figura 1.17 Actuador lineal (utilizado)	16
Figura 1.18 Límites en la declinación del Sol a lo largo del año para un observador en nuestra latitud.	17
Figura 2.1 Esquema básico del seguidor solar	19
Figura 2.2 Diagrama de bloques correspondiente al seguidor solar a implementar	20
Figura 2.3 Disposición de los sensores LDR's utilizados para captar la luz del Sol.	21
Figura 2.4 Valores experimentales del comportamiento de varias LDR's en función de la irradiación en W/m^2	22
Figura 2.5 Diagrama básico del circuito seguidor que muestra la disposición de las LDR's, los amplificadores y el circuito H.	22
Figura 2.6 Circuito seguidor simulado en TINA.	23
Figura 2.7 Detalle de conexión de los relés en configuración tipo H.	24
Figura 2.8 Circuito básico de histéresis.	25
Figura 2.9 Circuitos de histéresis implementados en el seguidor solar.	25
Figura 2.10 Diagrama representativo del circuito de ON-OFF con BANDA MUERTA	26
Figura 2.11 Circuito completo simulado en TINA. Los operacionales se encuentran en un solo circuito integrado. Los LDR no van en la placa de circuito impreso, tampoco el potenciómetro que los regula.	27
Figura 2.12 Aspecto físico de los circuitos seguidores. A la izquierda: el seguidor del movimiento Este-Oeste. Derecha: seguidor del movimiento Norte-Sur.....	28
Figura 2.13 (a) Relé de 12V utilizado. (b) Diagrama de pistas para el relé y sus conectores (ISIS)...	28
Figura 2.14 Circuito de relés y fusibles.....	29
Figura 2.15 Esquema eléctrico del control manual del seguidor solar.	32

Figura 3.1 Silueta de movimientos requeridos para el panel fotovoltaico	35
Figura 3.2 fenómenos atmosféricos: terremotos y huracanes	35
Figura 3.3 Tecnología de concentración de insolación Solar.	36
Figura 3.4 Ejemplo de estructura mono-poste.	36
Figura 3.5 Brazo Eléctrico Extensible.	36
Figura 3.6 (a) Los seguidores de punto luminoso no solo se utilizan para seguimiento solar (b) Algunas fórmulas para seguimiento con programación astronómica.	37
Figura 3.7 Diseño de estructura mono-poste del seguidor solar activo.	38
Figura 3.8 Estructura resultante tipo mono-poste.....	39
Figura 3.9 Medidas físicas del panel fotovoltaico.	39
Figura 3.10 Descripción de diseño a implementar para la plataforma.	40
Figura 3.11 Descripción de movimientos de la plataforma.	41
Figura 3.12 Plataforma diseñada para el panel fotovoltaico.	42
Figura 3.13 Descripción en horas de los movimientos requeridos por el sistema.	43
Figura 3.14 Movimiento estimado para el panel durante un día.	43
Figura 3.15 Forma resultante del movimiento diario del panel.	44
Figura 3.16 Máximo alcance del sistema diseñado para seguidor solar y error por Mal direccionamiento del mismo.	45
Figura 3.17 Panel Horizontal con medidas (obtenidas anteriormente).	46
Figura 3.18 Inclinación Máxima del panel en movimiento del Día.	47
Figura 3.19 Triangulo Rectángulo Resultante de la máxima inclinación del panel en el día.	47
Figura 3.20 Límites de movimiento Norte-Sur.	48
Figura 3.21 Descripción de medidas para ubicación requerida para el soporte superior	49
Figura 3.22 Forma obtenida de dividir en dos triángulos la figura 3.21.	49
Figura 3.23 Medidas de ubicación de los Brazos eléctricos en la estructura.....	51
Figura 3.24 Estructura provisional para pruebas sobre el edificio de la Biblioteca del área de ingenierías y arquitectura UES.	52
Figura 3.25 Ubicación final de la estructura mecánica sobre el edificio de la EIE-UES.....	52
Figura 4.1 Encendido y apagado automático.	55
Figura 4.2 Auto-posicionamiento diario.....	55
Figura 4.3 Relé ZEN programable para referencia de hora.....	56
Figura 4.4 Diagrama de tiempo de pulsos programado.	56
Figura 4.5 Imagen de Relé ZEN OMRON utilizado.	57
Figura 4.6 Descripción del relé programable	58
Figura 4.7 Descripción técnica del Relé	59
Figura 4.8 Comunicación entre una PC y el ZEN.	59
Figura 4.9 Comandos Básicos De Programación	60
Figura 4.10 Diagrama de tiempo del temporizador semanal de uso normal.	62
Figura 4.11 Descripción de temporizador semanal de operación normal.	62
Figura 4.12 Diagrama de tiempo de temporizador doble.	62

Figura 4.13 Diagrama de Tiempo de temporizador Doble.	63
Figura 4.14 Descripción de programación del temporizador doble.	63
Figura 4.15 Línea de comandos principal para encendido y apagado diario.	63
Figura 4.16 Línea de comandos principal completa.	64
Figura 4.17 Línea de comandos principal extendida.	65
Figura 4.18 Línea de comandos para auto posicionamientos diario.	66
Figura 4.19 Línea de comandos para temporizador Doble.	66
Figura 4.20 Programa completo que controlará al sistema FV Móvil.	67
Figura 4.21 Pantalla de presentación de simulador Logo Soft Comfort	69
Figura 5.1 Esquema de medición implementado en la instalación fotovoltaica aislada.	71
Figura 5.2 Keithley Startup Software [tomada del mismo programa]	74
Figura 5.3 Rangos de precisión del datalogger KEITHLEY 2700.	74
Figura 5.4 Esquema de conexión tanto del sistema fijo como del móvil.	75
Figura 5.5 Irradiancia medida panel fijo vs panel móvil. 30 de marzo al 4 de abril de 2012	79
Figura 5.6 Irradiancia medida panel fijo vs panel móvil. 5 al 9 de abril de 2012	79
Figura 5.7 Mediciones de irradiación del 10 al 13 de abril de 2012	80
Figura 5.8 Mediciones de irradiación del 16 al 23 de abril de 2012	80
Figura 5.9 Mediciones de irradiación del 23 al 29 de abril de 2012	80
Figura 5.10 Mediciones de irradiación del 2 al 7 de mayo de 2012.	81
Figura 5.11 Mediciones de irradiación del 7 al 10 de mayo de 2012.	81
Figura 5.12 Mapa de radiación solar para el mes de abril según promedio de varios años.	83
Figura 5.13 Mapa de radiación solar mes de mayo según promedio de varios años.	84
Figura 5.14 Grafica de irradiación en sistema fijo y en sistema móvil en día soleado. Las unidades son W/m^2	85
Figura 5.15 Graficas de irradiancia tanto del panel fijo como del móvil el 3 de abril de 2012.	86
Figura 5.16 Gráfica de irradiancias para el día más nublado monitoreado. 15 de mayo de 2012 ...	86
Figura 5.17 Comparación parámetros eléctricos día soleado. Se muestra en voltios y Amp DC.	87
Figura 5.18 Voltaje de la carga en el controlador.	88
Figura 5.19 Voltaje en las cargas (44 Watts). 30 de marzo al 3 de abril	88
Figura 5.20 Voltaje en las cargas (44 Watts). 4 al 9 de abril	89
Figura 5.21 Voltaje de paneles (carga de 44 Watts). 30 de marzo al 3 de abril.	89
Figura 5.22 Voltaje de paneles (carga de 44 Watts). 4 al 9 de abril.	89
Figura 5.23 Corrientes de los paneles (carga de 44 Watts). 30 de marzo al 3 de abril.	90
Figura 5.24 Corrientes de los paneles (carga de 44 Watts). 4 al 9 de abril.	90
Figura 6.1 Ejemplo aproximado de construcción de estructura para 6 paneles con seguidor.	94

Lista de tablas

Tabla 2.1 Lista de materiales utilizados para el circuito analógico	31
Tabla 3.1 Pérdidas de potencia directa por mal direccionamiento del panel solar.....	45
Tabla 5.1 Elementos utilizados en la instalación fotovoltaica y en la medición	71
Tabla 5.2 Niveles máximos de señal de entrada para el modulo KEITHLEY 7700.	75
Tabla 5.3 Descripción de los canales monitoreados.	76
Tabla 5.4 Mediciones realizadas para calibración de piranómetros.	77
Tabla 5.5 Valores de Insolación diaria del mes de abril.	81
Tabla 5.6 Valores de Insolación diaria del mes de mayo.	82
Tabla 5.7 Datos estadísticos obtenidos de las mediciones en los meses de abril y mayo 2012.....	84

Capítulo 1 : EL MOVIMIENTO SOLAR

1.1 Introducción

Es estrictamente necesario para tener una comprensión amplia de lo que un seguidor solar debe hacer, conocer antes no solamente el lugar que ocupará en el planeta, es decir sus coordenadas terrestres, sino también el movimiento al que está sometido, por encontrarse en un planeta que no está inmóvil, sino que gira y se desplaza de varias maneras a través del espacio sideral. Todo cuanto existe en el universo, está sujeto a las leyes de la dinámica celeste: los planetas, las estrellas, las galaxias... todo en constante movimiento, desde la creación del universo hasta que el mismo desaparezca.

Tomaremos en cuenta para nuestro estudio, aquellos movimientos en los que se ve envuelto nuestro planeta, La Tierra, con respecto a nuestra estrella más cercana, el Sol, y de la cual depende toda la vida que existe. Es bastante fácil suponer los movimientos de La tierra alrededor de su eje y alrededor del Sol, pero cuando tenemos que precisar las coordenadas celestes en que se encontrará el Sol respecto a nuestro plano terrestre en un momento específico del año, entonces es necesario recurrir a un análisis más profundo del tema.

De manera que estudiaremos algunos conceptos relacionados con la posición y el movimiento de La Tierra y de los astros durante el año.

1.2 El movimiento diurno.

Sabemos que La Tierra gira alrededor de su propio eje en 23 h 56 m 4 s, y durante el cual observamos un movimiento relativo de los astros alrededor de La Tierra, movimiento que en realidad lo efectúa La Tierra y no el cielo ni los astros, como aparenta ser.

Se le llama movimiento diurno a aquel movimiento aparente de la esfera celeste observado en el transcurso de un día. Es un movimiento en sentido horario mirando hacia el Sur, y sentido antihorario mirando hacia el Norte. Es importante tomar en cuenta el movimiento de los astros y de la esfera celeste alrededor de La Tierra, a pesar de ser aparente, pues se nos facilita la comprensión de la posición de los astros respecto a nosotros, debido a que nos encontramos en La Tierra. Igualmente, si nos encontráramos en la Luna, en el Sol, o en cualquier otro planeta, sería más fácil relativizar los movimientos respecto a dichos cuerpos celestes para analizarlos.

El Sol, sale por el Este y se pone por el Oeste. Esto es cierto en todo el planeta, pero se aprecia diferente en diferentes lugares del mismo. Por ejemplo en el hemisferio Norte se aprecia como un movimiento horario, mientras que en el hemisferio Sur como un movimiento antihorario (dependiendo de la latitud específica y el día del año).

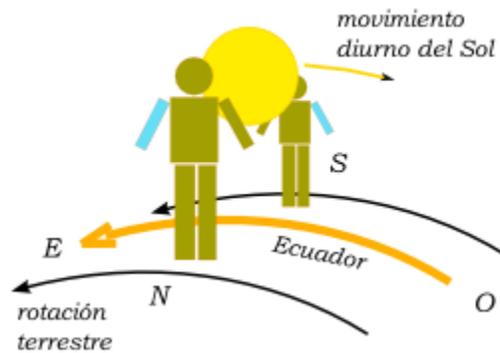


Figura 1.1 Movimiento aparente del Sol al Norte y al Sur del ecuador [1]

1.3 La bóveda celeste

Antes que existieran muchos de los avances tecnológicos en materia de astronomía que hoy en día nos han facilitado el medir distancias entre los cuerpos celestes, se creía que el cielo era una esfera gigante, y que el Sol y los astros estaban sobre ella, y además que La Tierra estaba al centro de esta singular esfera. Aunque ahora sabemos que eso es completamente falso, tenemos la sensación de que los astros y todos los cuerpos celestes giran alrededor de La Tierra.

Uno no puede saber por simple observación a qué distancia se encuentra el Sol, por ejemplo, y si la Luna se encuentra más lejos o más cerca que el Sol de La Tierra. Por esta limitante con la que contamos, a nosotros nos podría parecer que todos los astros están a la misma distancia, alejados con un mismo radio de nuestra Tierra, es decir en una esfera, la cual a su vez está girando alrededor nuestro. A esta esfera se le denomina esfera celeste, y comprende todos los cuerpos celestes, es decir, todos los cuerpos que podemos observar por sobre nuestro horizonte, en algún momento del día o de la noche, y que están alrededor nuestro.

1.4 Horizonte.

El tamaño de La Tierra no es importante, en relación al tamaño de la esfera celeste, así que para establecer el sistema de coordenadas que estudiaremos, el radio de la tierra es despreciable y no se toma en cuenta, de tal manera que en cualquier lugar de la tierra que nos encontremos, podemos considerar que nos encontramos en el centro de la esfera celeste.

Así que, en cualquier lugar que nos encontremos, solamente podremos ver la mitad de esta esfera, puesto que el plano en el que nos encontramos limita nuestra visión. El horizonte es, pues, la línea que parece separar el cielo de la tierra, o del agua si nos encontramos en el mar. En el cielo, el horizonte astronómico, es el círculo cortado sobre la esfera celeste por un plano tangente a La Tierra, situado en el lugar donde este el observador.

En la figura 1.2 es evidente que para efectos prácticos, es lo mismo que el plano sea tangente a La Tierra o que pase por el centro de la misma, así que siempre divisaremos la mitad de la esfera celeste, que es inmensamente grande, respecto a las distancias terrestres.

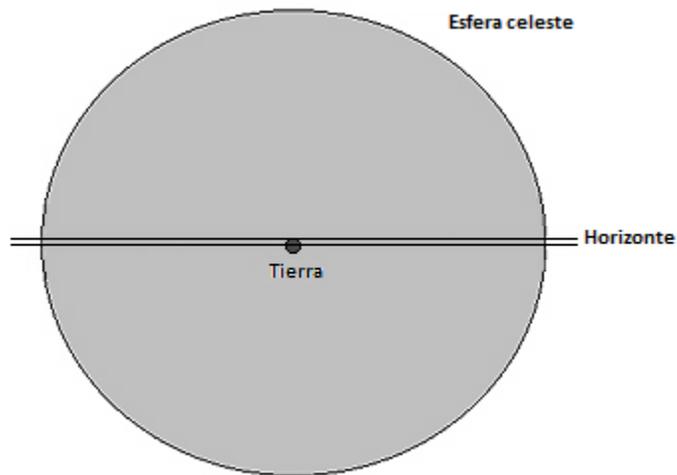


Figura 1.2 Esfera celeste y horizonte [2]

1.5 Cénit y nadir

El cénit es aquel punto de la esfera celeste que está justo sobre la cabeza del observador, es decir es perpendicular al plano horizontal tangente al punto terrestre donde se encuentra el mismo. El cénit es un punto fijo respecto al plano horizontal, pero no en la bóveda celeste, puesto que a distintas horas, distintos cuerpos celestes estarán en el cénit de un determinado lugar del planeta.

El nadir es el punto opuesto al cénit, es decir, el que está justo debajo de nuestros pies, al centro de la mitad de la esfera celeste que no podemos ver.

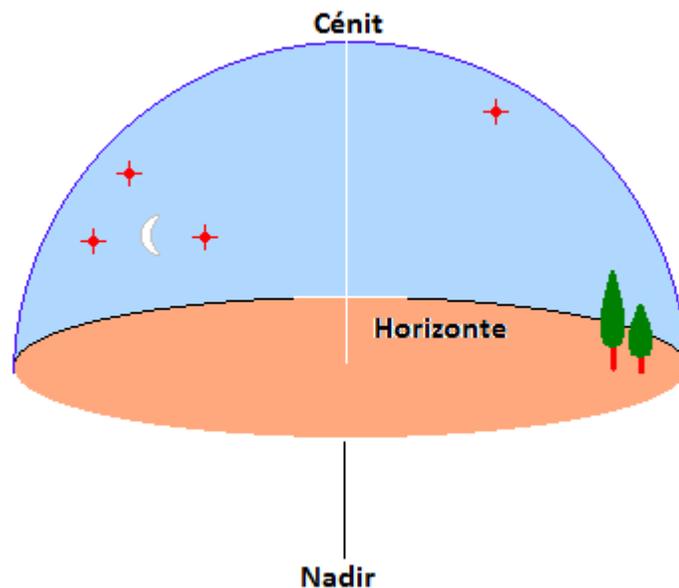


Figura 1.3 Ubicación del horizonte, el Cénit y el Nadir.[3]

Las estrellas circumpolares son aquellas que para una determinada latitud, son visibles en todo momento, es decir, nunca quedan por debajo del horizonte. Es evidente entonces que entre más cerca estemos de los polos, más estrellas circumpolares habrán en nuestra bóveda celeste. Las demás estrellas, incluido el Sol, sólo podemos verlos en un lapso del día, es decir podemos ver solo una parte del círculo que describen alrededor de La Tierra, cortando el horizonte en dos puntos.

El Sol, y todos los cuerpos celestes, salen por el Este por un punto llamado Orto, y se ocultan por el Oeste, por otro punto llamado Ocaso. En algunas regiones del mundo El Sol puede permanecer todo el día en el cielo, o todo el día oculto, según la época del año. Estas regiones son los Círculos Polares: el Círculo Polar Ártico, en el Norte; y el Círculo Polar Antártico, al Sur.

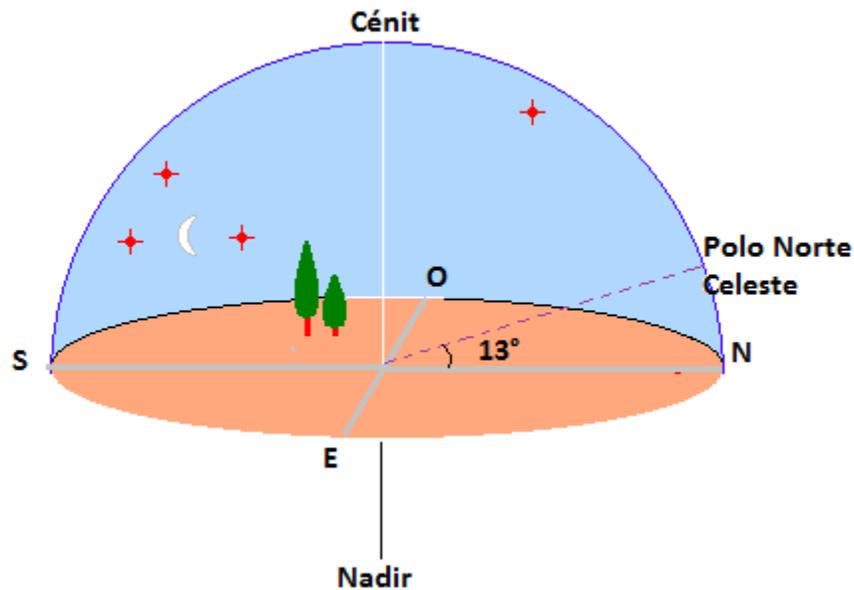


Figura 1.5 Ubicación del polo Norte celeste para una latitud de 13°N. [Elaboración propia]

1.7 El movimiento anual

Sabemos que La Tierra, además de girar sobre su propio eje, denotando así los días y las noches, gira alrededor del Sol, denotando así, los años. A este movimiento se le llama traslación. La forma de la trayectoria de La Tierra alrededor del Sol puede considerarse circular, aunque en realidad es una elipse. La órbita de la tierra, es decir esta circunferencia de giro alrededor del Sol es completamente plana; y el plano que contiene la órbita de La Tierra se le llama plano orbital o también es conocida como eclíptica.

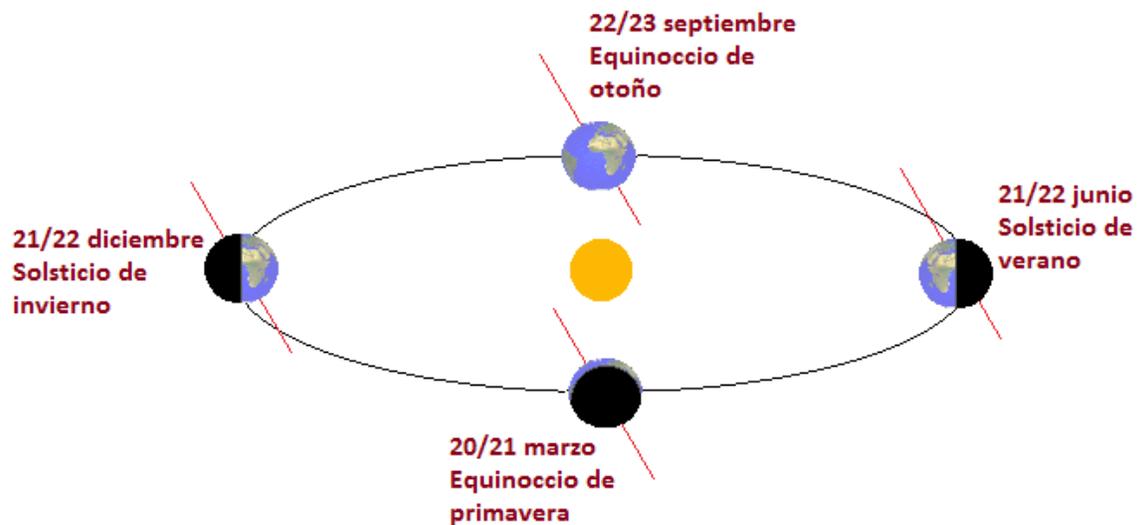


Figura 1.6 Posición de la tierra en la eclíptica en 4 momentos distintos del año.[6]

La eclíptica es a su vez, la trayectoria que el Sol sigue a lo largo del año a través de la bóveda celeste. Pero entendemos que este movimiento es aparente, y que en realidad es La Tierra la que realiza el movimiento contrario. Este movimiento anual del Sol es muy lento, pues recorre 360° en un año, con un promedio de menos de un grado por día. El plano de la eclíptica mantiene un ángulo constante en relación al eje de rotación de la tierra, de aproximadamente 23.45° o $23^\circ 26'$ el cual es el mismo en todo el año, y provoca que al cambiar la posición del planeta a lo largo de la eclíptica sucedan las diferentes estaciones en los hemisferios.

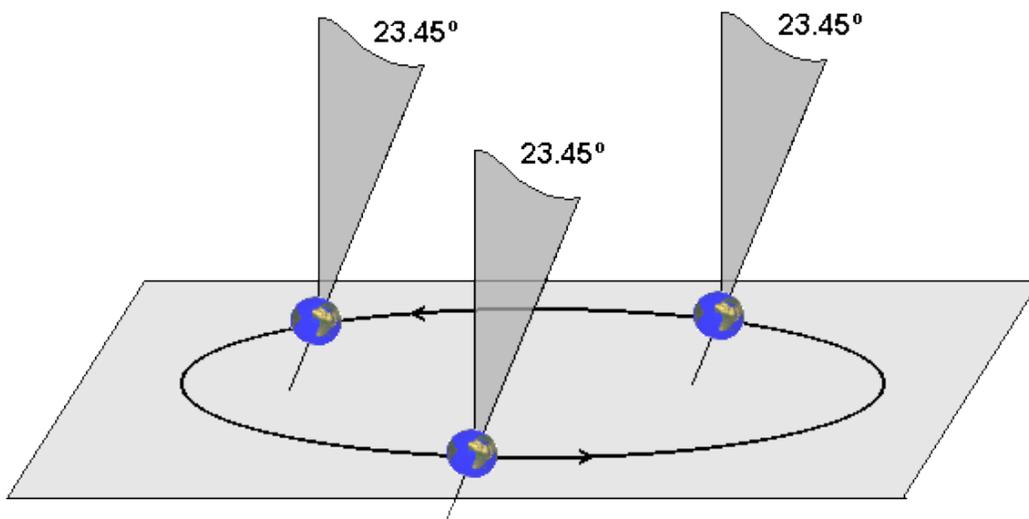


Figura 1.7 La inclinación del plano de la eclíptica y el eje de rotación de la tierra es constante. [7]

Es de suponer que si el Sol, por su parte, tiene un movimiento diurno común con los demás astros, y uno propio, diferente de los demás, el movimiento diurno varía según las épocas del año.

En el equinoccio de primavera el 21 ó 22 de marzo, el Sol sale por el Este exactamente y asimismo se oculta por el Oeste, recorriendo el ecuador celeste, siendo entonces su declinación de cero grados. Ese día, el Sol aparece 12 horas sobre el horizonte. (En la figura 1.8, punto 3)

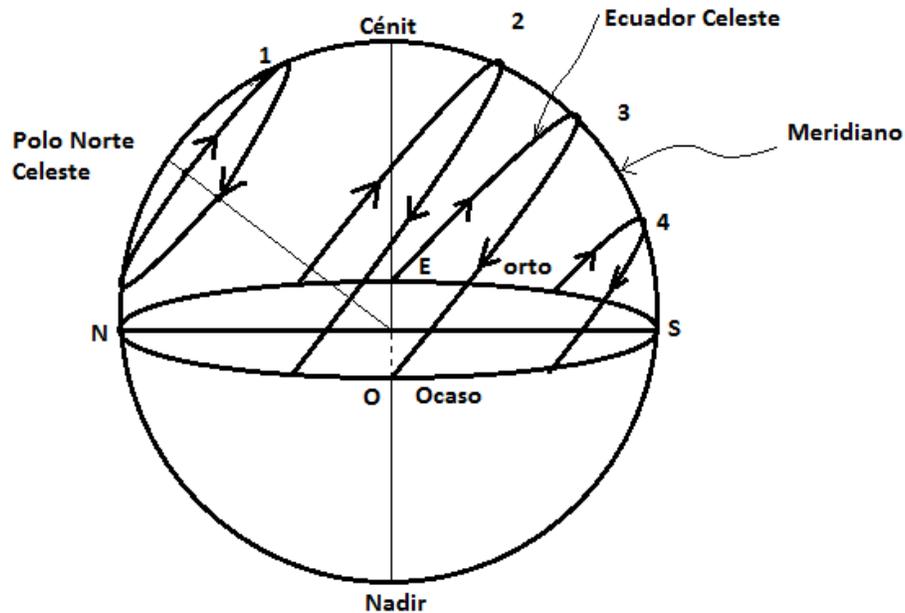


Figura 1.8 Movimiento de los astros en el día y en el año. [8]

Si nos encontramos en el hemisferio Norte, como es nuestro caso a 13.7° N, los días siguientes a este hasta el solsticio de verano, el Sol saldrá y se ocultará un poco más al Norte de los puntos cardinales Este y Oeste respectivamente. Además tendrá su punto de culminación más alto. Culminación es el paso de cualquier astro por el meridiano del lugar. En estos días, se puede observar más de la mitad de la circunferencia que describe el Sol sobre el horizonte, dándole al día una duración de más de doce horas. (Punto 2 de la figura 1.8)

El solsticio de verano, el 21 ó 22 de junio el eje de rotación de La Tierra tiene el mayor ángulo de inclinación hacia el Norte, alcanzando el plano de la eclíptica una declinación de 23.45° , que es la latitud del trópico de Cáncer, por lo que los observadores que están en esta latitud tienen el Sol exactamente en su cénit. Además los que están más al Norte de esta latitud, observan al Sol en este día, con la mayor altura del año, aunque no llega a estar en el cénit jamás. Para los que se encuentran entre el ecuador y el trópico de Cáncer, el día que el Sol pasa por su cénit, es un día entre el 21 ó 22 de marzo y el 21 ó 22 de junio. Por ejemplo, para El Salvador, a 13.7° N el Sol pasa por nuestro cénit aproximadamente el 26 de abril, que es cuando la declinación del plano de la eclíptica tiene ese ángulo respecto al ecuador.

Luego, en el equinoccio de otoño, el 22 ó 23 de septiembre vuelve a pasar por el ecuador, esta vez hacia el hemisferio Sur. Durante los siguientes 6 meses la trayectoria que seguirá el

Sol durante el día ira desde un punto en el horizonte entre el Este y el Sur, siguiendo una trayectoria paralela al ecuador, y poniéndose en un punto entre el Oeste y el Sur. El arco descrito en el cielo será menos de la mitad de la circunferencia, de manera que el día dura menos de 12 horas, es decir, dura menos que la noche.

El solsticio de invierno, el 21 ó 22 de diciembre el Sol se encuentra en su máxima trayectoria hacia el Sur, es decir el plano de la eclíptica esta a -23.45° respecto al ecuador. (En la figura 1.8, punto 4)

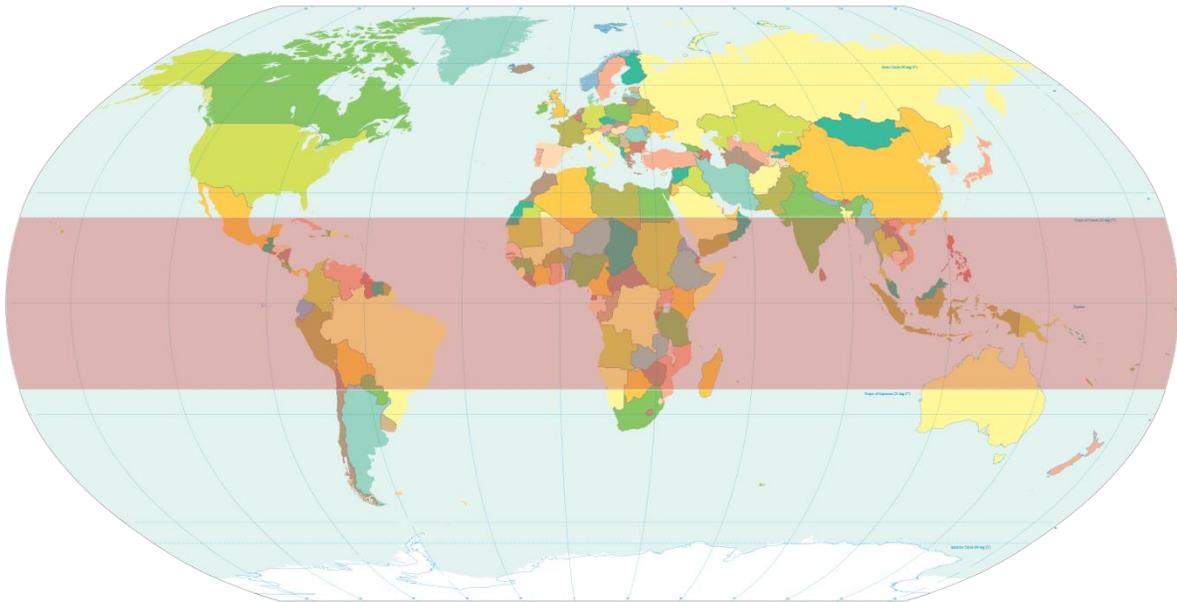


Figura 1.9 Mapa mundial en que se muestra sombreada en rosado el área intertropical, donde el Sol se encuentra en el cénit al menos una vez al año. [9]

1.8 Coordenadas acimutales

Cualquier objeto en el cielo puede ser ubicado mediante un sistema de coordenadas celestes destinado para facilitar la comprensión del movimiento de los astros en el cielo. Posiblemente el sistema de coordenadas más fácil de entender es el sistema de coordenadas acimutal.

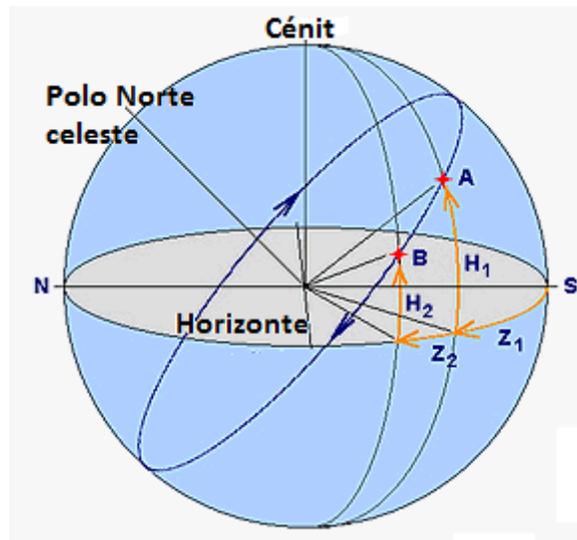


Figura 1.10 Coordenadas acimutales.[10]

Las referencias del sistema de coordenadas acimutales son el cénit y el horizonte. Observemos la estrella denominada A en la figura 1.10, si hacemos pasar un círculo en la bóveda celeste que pase por el cénit y por la estrella, dicho círculo cortará el horizonte en un punto determinado, como se ve en la figura. Si medimos el ángulo Z_1 que hay desde el Sur con ese punto, a lo largo del horizonte estaremos obteniendo la primera coordenada, el acimut, que se mide en el sentido de las agujas del reloj. Así que el ángulo acimut del Oeste es de 90° , el del Norte 180° y el del Este 270° . El acimut, desde luego, va desde 0° hasta 359° .

La otra coordenada es la elevación (H_1 en la figura 1.10), y es aquel ángulo que forma la estrella con el horizonte. Este siempre se mide a partir del horizonte hasta la estrella. De esta manera, la elevación de un punto en el horizonte es de 0° y la del cénit de 90° , que es la máxima elevación posible.

De la misma figura 1.10 se puede observar una dificultad, y es que al cambiar de posición la estrella, esto puede ser con el paso de unos minutos, por ejemplo, han cambiado también ambas coordenadas, tanto el acimut como la elevación. Además, como estas coordenadas están ligadas con el cénit y el horizonte del observador, son diferentes para una misma estrella en un mismo momento, si se observa de distintos lugares.

1.9 Coordenadas ecuatoriales

La necesidad de optar por un sistema de coordenadas en las que estas se mantengan fijas para cualquier objeto fijo de la bóveda celeste sin importar el momento ni el lugar ha obligado a optar en algunos casos de estudio por las coordenadas ecuatoriales, que son sin lugar a dudas, menos intuitivas que las anteriores.

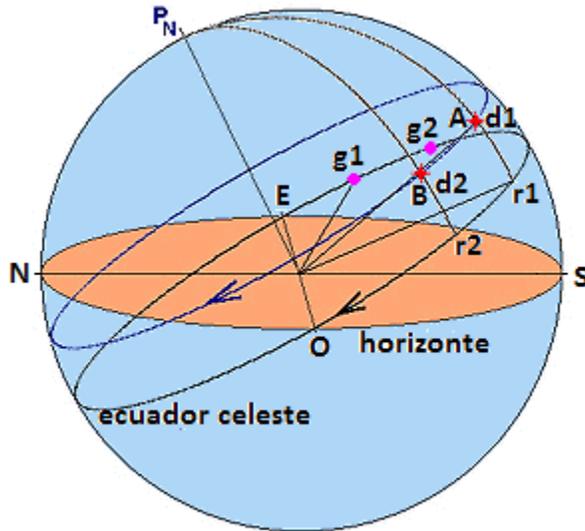


Figura 1.11 Coordenadas ecuatoriales [11]

En la figura 1.11 se muestra la esfera celeste vista por un observador en una latitud intermedia entre el polo Norte y el ecuador. Todos los astros en el cielo, giran en trayectorias paralelas al ecuador celeste, así que si tenemos una estrella que sigue la trayectoria que va desde el punto A hasta el punto B, en el sentido indicado. Pongamos arbitrariamente un punto en el ecuador celeste que sirva de referencia, al cual llamaremos $g1$.

Tracemos luego, un círculo que pase por el polo norte celeste P_N y por la estrella en la posición $d1$. Este círculo cortara al ecuador celeste en un punto que denominamos $r1$; entonces podemos medir el ángulo que forma el punto $g1$ y $r1$, al cual se le denomina **ascensión recta**, y se mide en sentido antihorario, partiendo de $g1$. La otra coordenada la tomamos midiendo el ángulo que forma el punto $r1$, con la estrella en la posición $d1$; este ángulo es la **declinación**, y se considera positiva desde el ecuador hasta el polo Norte celeste y negativa desde el ecuador hasta el polo Sur celeste.

Estos ángulos nos dan la posición de la estrella. La ventaja de este sistema de coordenadas, es que las coordenadas ecuatoriales de una estrella son siempre las mismas sin importar el momento en que estemos observándola y tampoco el lugar donde se encuentra el observador. Si la estrella se desplaza del punto A al B, también la referencia, que es el punto fijo $g1$, se habrá movido hacia la posición $g2$, y los ángulos no cambiarán en absoluto.

1.10 Consideraciones de seguimiento solar

Luego de estudiar la dinámica celeste de los astros, hay que concretar en lo que necesitamos conocer y manejar a fin de diseñar y construir un seguidor solar adecuado a estas circunstancias.

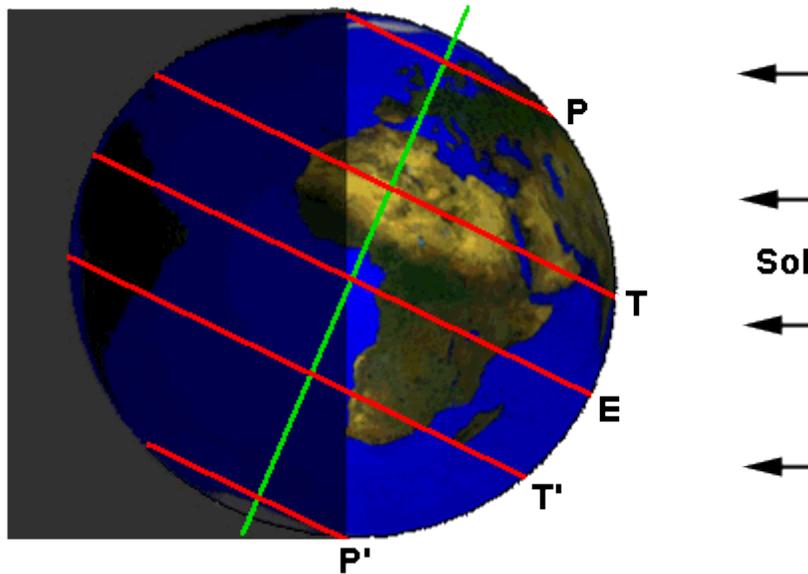


Figura 1.12 Círculos ecuatorial, tropicales y polares.

Definiremos entonces los principales círculos del globo terráqueo, como se muestran en la figura 1.12. Los círculos marcados por las letras P y P' corresponden respectivamente a los círculos polares ártico (en el polo Norte) y antártico (en el polo Sur). En estas regiones el Sol no se oculta en todo el día, en una época de año, mientras que en otra época no sale sobre el horizonte; en situaciones alternadas entre ambos polos.

Las líneas demarcadas por las letras T y T' son los trópicos, siendo el Trópico de Cáncer, en el Norte una línea imaginaria a 23.45°N , mientras que al Sur se encuentra el Trópico de Capricornio, a una latitud de 23.45°S . Estos círculos denotan los límites tanto al Norte como al Sur del ecuador hasta donde el Sol pasa por el cenit al mediodía; el solsticio de verano, el 21 ó 22 de junio, el Sol se encuentra justo en el cenit al mediodía en el trópico de Cáncer, mientras que en el Sur, en el trópico de Capricornio, dicho suceso sucede en el solsticio de invierno, en el 21 ó 22 de diciembre. Más hacia el Norte, o más hacia el Sur de estas líneas respectivamente, el Sol jamás llegará a estar en el cenit del observador en ninguna época del año. Finalmente, la línea E demarca el ecuador, punto en el cual el Sol pasará por el cenit en ambos equinoccios.

A excepción de los círculos polares, en las demás regiones del mundo, la variación que presenta la posición del Sol a mediodía es de unos 47° , ubicándose más al Norte en el 21 ó 22 de junio, y más al Sur el 21 ó 22 de diciembre; esto en cuanto a coordenadas “Norte-Sur” se refiere. Claro está que si nos referimos a las coordenadas “Este-Oeste” el Sol siempre sale y se pone con una altura de cero grados sobre el horizonte, lo que significa que recorre 180° en ese sentido.

1.11 Tipos de seguidores

En este pequeño espacio mencionaremos brevemente algunos tipos de seguidores existentes, para mostrar nuestro marco de referencia en el que pretendemos abrirnos paso con nuestro trabajo. Existen varios tipos de seguidores solares, así como las aplicaciones de los mismos, y las necesidades que obligan a elegir uno u otro tipo.

1.11.1 Clasificación por el dispositivo que realiza el movimiento

Según el dispositivo que proporciona el movimiento existen dos tipos básicos de seguidores:

Seguidor activo: aquel que utiliza motores eléctricos, brazos electromecánicos con engranajes o tornillos sin fin, los cuales son controlados por un circuito electrónico. Este tipo de seguidor debe estar energizado ya sea por una fuente externa al sistema FV o por el mismo, convirtiendo al seguidor en “autónomo”. Se debe considerar que la energía en el panel solar debe ser suficiente para energizar el seguidor, de lo contrario, no podrá orientarse.

Seguidor pasivo: aquel que usa un gas comprimido de bajo punto de ebullición, el cual es conducido hacia un lado o hacia otro, según sea calentado por la luz solar incrementando la presión en el gas, provocando que el seguidor se mueva en respuesta a ese desbalance. Como es un tipo de seguimiento impreciso no puede utilizarse para sistemas concentrados, pero sí en sistemas fotovoltaicos no concentrados.

1.11.2 Clasificación por el tipo de sistema fotovoltaico

Según el tipo de sistema fotovoltaico 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, y por lo tanto debe estar orientado con mucha precisión, arrojando pérdidas en caso contrario. Los seguidores de este tipo orientan ya sea el sistema o un espejo o conjunto de espejos para que la luz recibida sea enfocada en un colector fotovoltaico. La precisión requerida en este caso va desde un máximo de 2° hasta un mínimo de 0.1° para entregar el 90% de la potencia nominal de salida.

Seguidores de sistemas fotovoltaicos no concentrados. En el caso de los paneles fotovoltaicos aceptan tanto la luz directa como la difusa, de manera que en estos casos no requieren gran precisión para entregar una potencia aceptable, como en el caso anteriormente explicado. El seguimiento en estos tipos de sistemas se usa para minimizar el ángulo de incidencia entre la luz incidente y la normal de los paneles, para producir la mayor cantidad de energía. La precisión requerida puede intuirse entonces que no es tan grande, ya que a partir de la figura 1.13, se puede deducir que la potencia recibida por el panel está afectada por el coseno del ángulo entre la normal del panel y el rayo incidente.

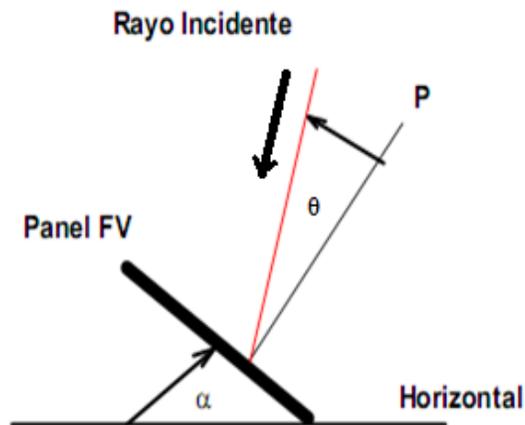


Figura 1.13 Relación de Potencia incidente y ángulo de inclinación

Además de las pérdidas por la mala orientación del panel existen aquellas que son por suciedad, temperatura, viento (debido al enfriamiento), conectar paneles diferentes, espectro solar, caídas óhmicas del cableado, rendimiento propio del panel, de la batería, del inversor, etc. Pero para nosotros, es importante únicamente reducir las pérdidas por mala orientación del panel, ya que poco o nada se puede hacer en los demás casos.

Es lógico pensar que los parámetros propios del panel no está en nuestras manos cambiarlos a gusto nuestro, pues ya son inherentes al sistema, por ejemplo la eficiencia propia del panel solar. Nos preocupa solamente la inclinación del panel, puesto que sabemos que la inclinación del panel respecto al rayo incidente de luz, afecta a la potencia de salida del panel solar, y por lo tanto, al rendimiento del sistema.

Dicho de otra manera, las pérdidas provenientes de una mala orientación, pueden expresarse solamente con la función $\cos\theta$, siendo θ el ángulo entre la normal del panel solar y el rayo incidente. La figura 1.14 muestra entonces el comportamiento de la eficiencia de un SFV en función de este ángulo de desorientación.

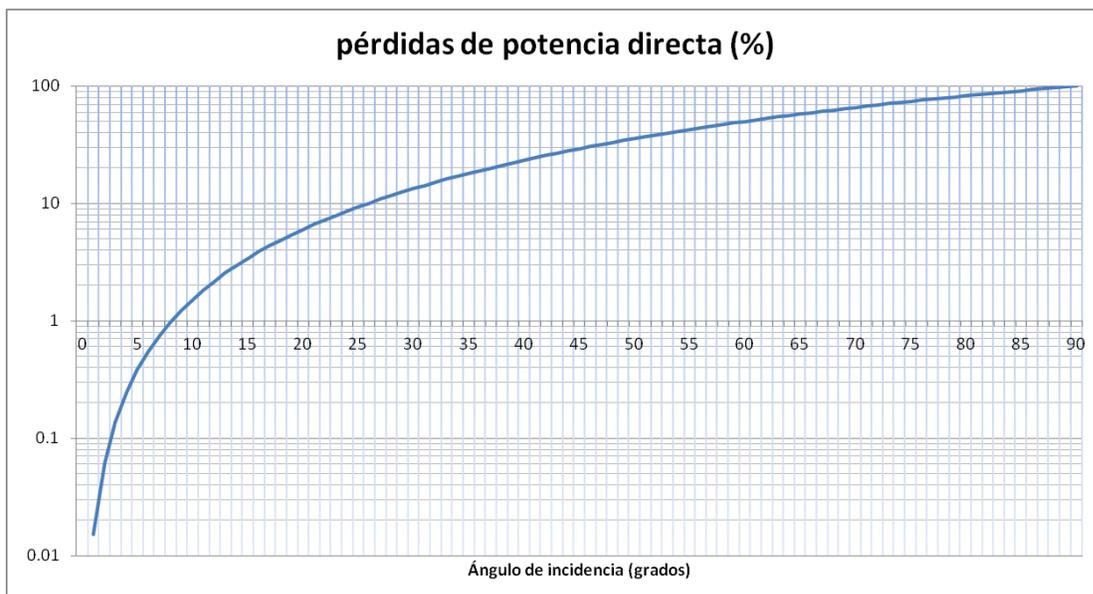


Figura 1.14 Pérdidas de potencia directa por mala orientación de paneles solares. [Elaboración propia]

1.11.3 Clasificación por los grados de libertad

Por los **grados de libertad** de los seguidores estos se clasifican en:

Seguidores de un solo eje.

Estos sólo tienen un grado de libertad, es decir se mueven en un solo eje de rotación. Hay varios tipos de seguidores de un solo eje, que explicamos brevemente a continuación.

Un solo eje horizontal. Este tipo de seguidor tiene el eje horizontal respecto al suelo. En este caso, el eje horizontal está orientado Norte-Sur, y a lo largo del día los paneles horizontales girarán sobre este eje, siguiendo el movimiento aparente del Sol. Este tipo de seguidor es aceptable en latitudes cercanas al ecuador.

Un solo eje vertical. En este caso el eje está vertical respecto al suelo. En latitudes lejanas al ecuador son recomendables este tipo de seguidores. Los paneles suelen estar orientados con un ángulo respecto al eje de rotación, y cuando giran forman un cono alrededor del eje.

Un solo eje inclinado. Los seguidores de un solo eje que no sea ni vertical ni horizontal, es un seguidor de eje inclinado. Los paneles están inclinados con la misma inclinación del eje, y cuando giran forman un cilindro alrededor de este eje. Una variación de este tipo de seguidor es la que tiene la inclinación igual a la latitud donde se encuentra la instalación, con una orientación de su eje de polo a polo. Es decir que apunte a un polo celeste, simulando con su movimiento el de La Tierra, solo que en sentido contrario.

Seguidores de dos ejes.

Estos tienen dos grados de libertad, es decir dos ejes de rotación. Estos ejes están típicamente perpendiculares el uno del otro. El eje primario es el que está fijo respecto a La Tierra, y el otro eje, que está referenciado al eje primario se llama eje secundario.

Hay varios tipos de seguidores de dos ejes. Estos son los más comunes:

Seguidor de dos ejes de inclinación (TIP-TILT). Este tipo de seguidores tienen su eje primario horizontal respecto a la tierra. El eje secundario es perpendicular al primario. Los ejes de rotación de este tipo de seguidor están típicamente alineados con el Norte magnético o con algún paralelo Este-Oeste. Uno de los ejes permite orientar al panel en su posición Norte-Sur y el otro en la posición Este-Oeste que se encuentre el Sol en el cielo.

Seguidor de Acimut-Altitud. Este tipo de seguidor tiene su eje primario vertical respecto al suelo. El eje secundario es perpendicular al primario. Este tipo de seguidor de dos ejes es el más implementado debido a su sencillez en la estructura, además que no requiere estar a gran altura por sobre el suelo; esto es especialmente importante en el caso de tratarse de grandes instalaciones. Este tipo de seguidor ubica a los paneles solares frente al Sol girando alrededor de su eje vertical un ángulo conocido como Acimut, y elevando la inclinación de los paneles a la Altitud a la que se encuentra el Sol.

1.12 Selección del tipo de seguidor

Hemos seleccionado, de los tipos mencionados anteriormente, el seguidor solar que implementaremos obedeciendo a diferentes razones. Primeramente, se eligió construir el seguidor activo, es decir, que incluyera motores para realizar los movimientos. Esta elección obedece sin mayor explicación a que era el tipo de seguidor en el cual podríamos aplicar nuestros conocimientos sobre electricidad. Además, necesitábamos comprobar que era factible la construcción de un seguidor de dos ejes funcional en nuestra Escuela.

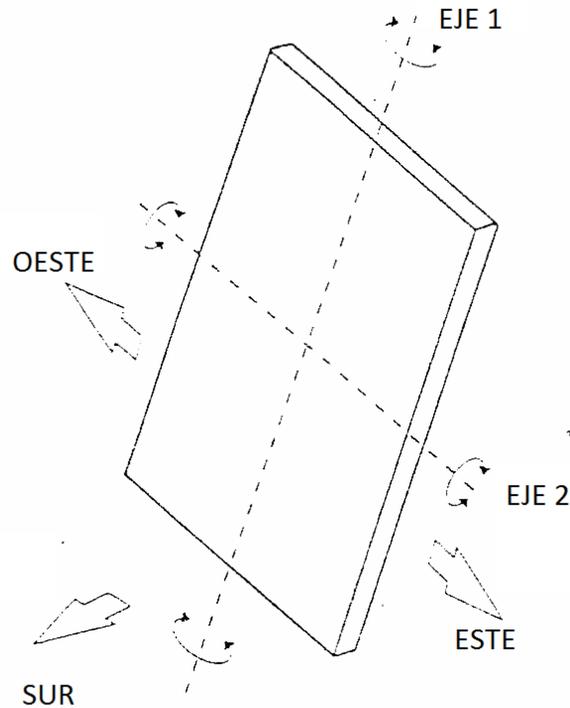


Figura 1.15 Movimiento en dos ejes de un seguidor solar con eje primario horizontal. [12]

Otro factor importante, y posiblemente el más importante, es que nuestro seguidor solar es de tipo “TIP-TILT” (ladeo-inclinación), es decir que no tiene un eje primario vertical, sino horizontal (figura 1.15). La diferencia principal respecto al otro tipo de seguidor de dos ejes es que en nuestro caso, se puede tener un buen seguimiento con sólo utilizar uno de los movimientos en un día, ya que la declinación del Sol no varía mucho en un solo día. Además una de las consideraciones tomadas era los tipos de actuadores (motores) requeridos; ya que en el caso de un seguidor de tipo Acimut-Altitud era imperativo utilizar un tipo de actuador giratorio (figura 1.16) que además de ser más caro que los que hemos utilizados, suponía tomar algunas medidas en la construcción del soporte de más precisión y resistencia, además de estudiar la estructura a implementar de manera más profunda que requiere conocimientos y habilidades más propias de otra disciplina de ingeniería, como lo es la Mecánica.



Figura 1.16 Actuador giratorio. [13]



Figura 1.17 Actuador lineal (utilizado)

1.13 Conclusiones del capítulo

Hemos definido los parámetros necesarios, o al menos el lector tendrá una pista de ellos, a fin de que sean la base para el diseño apropiado de nuestro seguidor solar de dos ejes. Estos dos ejes mencionados serán, pues, uno horizontal, de Este a Oeste, el cual nos ubicará nuestro panel solar en la **declinación** que tenga el Sol respecto al ecuador celeste en su trayectoria anual; y otro eje inclinado con orientación Norte-Sur, que tendrá la inclinación correspondiente a la declinación respectiva del Sol, y orientará a nuestro panel solar en el ángulo paralelo al ecuador celeste sobre su trayectoria diaria.

Intentaremos pues, diseñar nuestro seguidor de manera que pueda satisfacer los 47° en movimiento Norte-Sur, y lo más posible en el sentido Este-Oeste, ya que consideramos que construir un sistema de seguimiento del Sol con un rango de 180° , es decir que pueda seguir al Sol grado a grado desde que sale hasta que se oculta, es prácticamente imposible, con nuestro tipo de seguidor que vamos a implementar (Ladeo-Inclinación).

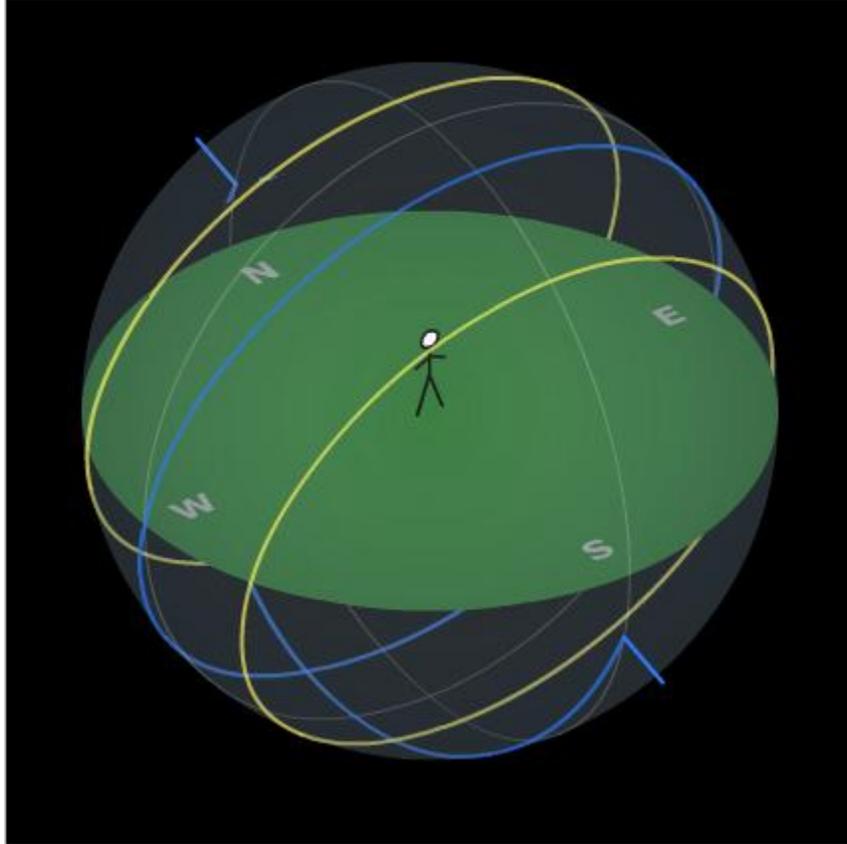


Figura 1.18 Las líneas amarillas muestran los límites en la declinación del Sol a lo largo del año para un observador en nuestra latitud. Estos límites están a 37.15° de nuestro cenit al Sur y el otro a 9.75° al Norte. [14]

REFERENCIAS DEL CAPITULO

[1] AUTOR: Francisco Javier Blanco González País: ESPAÑA (Kingdom of Spain) IMAGEN: el movimiento diario del Sol según la posición del observador.

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Movimiento_diurno-Sol.png

[2] [3] Fundació Observatori Esteve Duran. <http://www.astrogea.org/coordenada/ficha1.htm>

[4] The Celestial Sphere, divided by celestial equator and celestial poles. From Nasa.gov.

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Esfera_celeste.png?uselang=es

[5] [6] Fundació Observatori Esteve Duran. <http://www.astrogea.org/coordenada/ficha3.htm>

[8] Nombre de la imagen: Anual1.jpg <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anual1.jpg>

[9] World map with the torrid zone highlighted. Derived via Inkscape, which is itself public domain. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:World_map_torrid.svg?uselang=es

[10] [11] Fundació Observatori Esteve Duran. <http://www.astrogea.org/coordenada/ficha5.htm>

[12] CENSOLAR (Centro de Estudios de Energía Solar) Progenza, 1993. Instalaciones de Energía solar. Tomo 5: Sistemas de conversión eléctrica. Pág. 32. Fig 56

[13] <http://socarebearing.en.made-in-china.com/product/AMDmBqgbaeUx/China-Worm-Gear-Slew-Drive-System.html>

[14] Tomada de Sun Motions Demonstrator. University of Nebraska-Lincoln
<http://astro.unl.edu/classaction/animations/coordsmotion/sunmotions.html>

Capítulo 2 : DISEÑO ELECTRÓNICO DEL SEGUIDOR SOLAR DE 2 EJES

2.1 Introducción

Nuestro diseño de seguidor consistirá en un circuito analógico capaz de detectar el desbalance luminoso entre dos fotorresistencias ubicadas en la misma posición que el panel solar, de manera que cuando estas no estén orientadas hacia el Sol, el circuito pueda activar un motor que actúe sobre la estructura del panel solar para orientarlo hacia el Sol y corregir dicho desbalance. La figura 1.1 muestra un esquema básico del funcionamiento del sistema. El PLC mostrado solamente se utiliza para activar y desactivar periódicamente el circuito comparador, que es el que detecta desbalance de luz entre las LDR's y activa el motor en el sentido correspondiente.

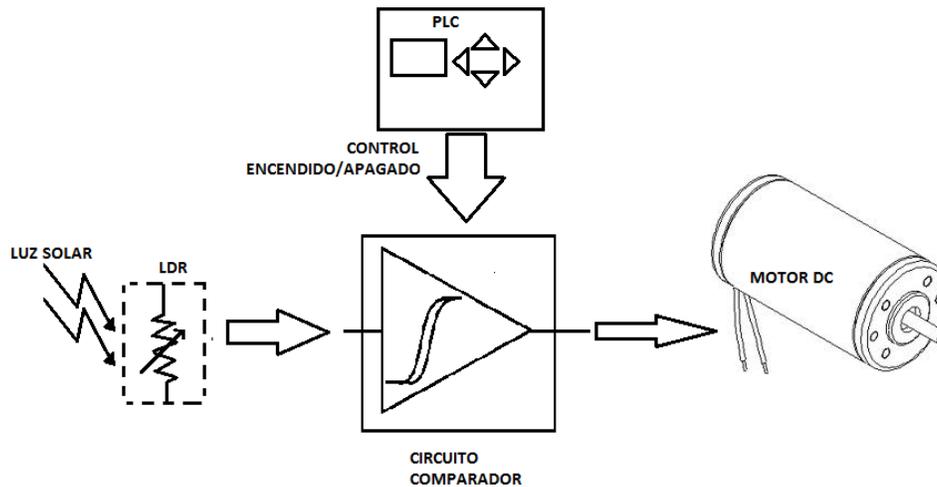


Figura 2.1 Esquema básico del seguidor solar

Iniciamos describiendo la parte electrónica de nuestro diseño de seguidor, puesto que fue la primera en ser implementada y probada, aunque antes de eso se tuvieron consideraciones respecto a la parte mecánica del mismo. Está muy claro que deben estar correspondidos ambos diseños, y ajustados a la medida del otro, de otro modo la operación del sistema se vería afectada, limitada o bien completamente suprimida.

Como se determinó en el capítulo anterior, basta con que logremos situar nuestro panel solar a lo largo del día en su trayectoria paralela al ecuador celeste, en un rango lo más cercano posible a 180° ; por otro lado, recordemos los límites de la declinación del Sol alrededor del ecuador celeste, es decir unos 47° , los cuales tienen su centro en el ecuador celeste, que para nosotros, en nuestra latitud a 13.7°N se encuentra a ese mismo ángulo respecto del cénit.

2.2 Diseño electrónico del seguidor solar

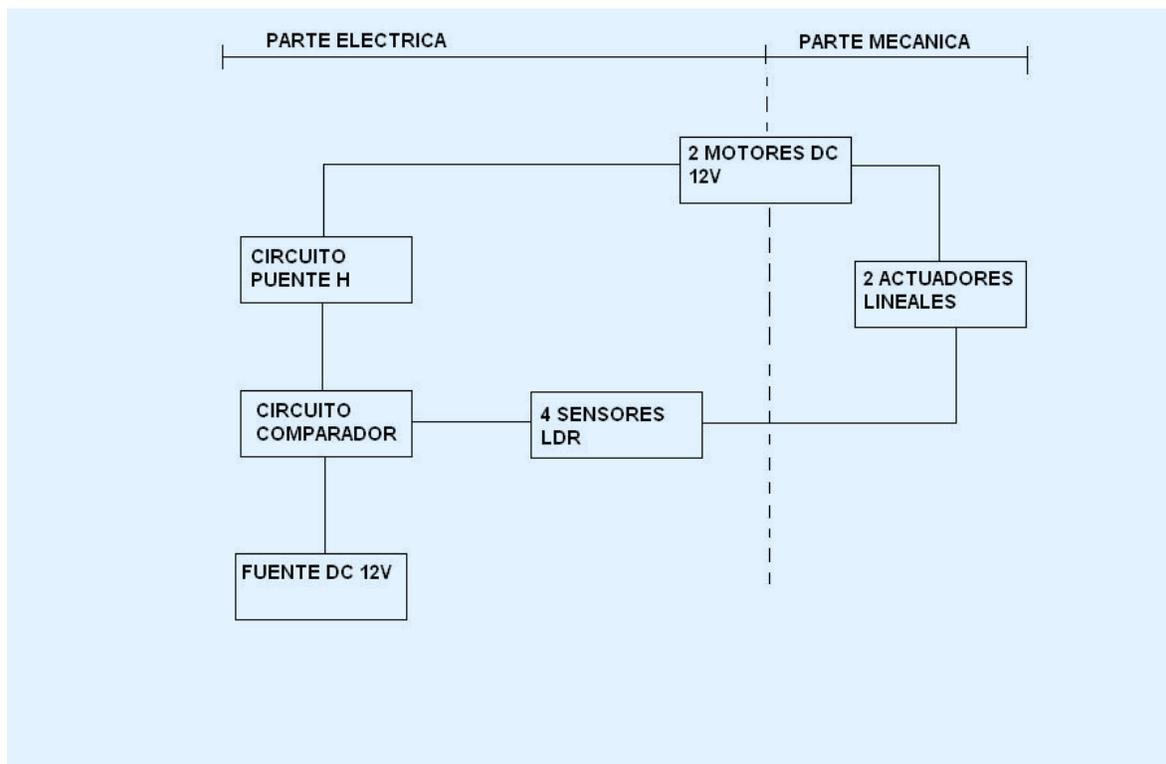


Figura 2.2 Diagrama de bloques correspondiente al seguidor solar a implementar [Elaboración propia]

2.2.1 Sensores

Nuestro diseño consistió en primer lugar de un circuito electrónico capaz de tomar decisiones básicas a partir de algunas variables de entrada. El circuito comparador, como lo hemos llamado, evaluará las variables y enviará un valor de salida acorde a la entrada. Hemos mencionado anteriormente que el circuito estará basado en sensores de luz ubicados en el panel solar, dispuestos de tal manera que sólo puedan proporcionar un valor de voltaje determinado estando ubicados ambos frente al Sol, el resto será trabajo del circuito.

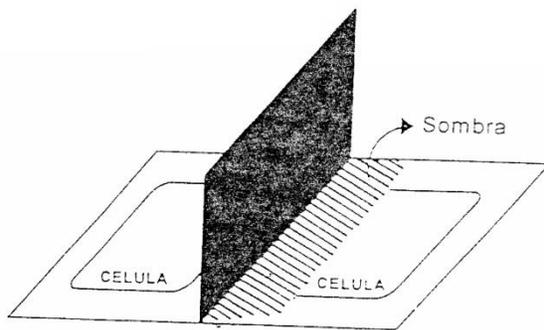


Figura 2.3 Disposición de los sensores LDR's utilizados para captar la luz del Sol. [1]

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 las figuras 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.

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; pero depende además de la altura del tabique, que al ser pequeño disminuye la sensibilidad, puesto que la sombra es más pequeña. La longitud del tabique no es muy importante ni su anchura, simplemente limitarán el "horizonte" de las LDR's, para que no tomen luz de debajo de ellas. El modelo de disposición de las LDR's se muestra en la figura 2.3.

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. Se estudiaron y obtuvieron en el laboratorio las características resistencia-irradiación para varias fotorresistencias, mostrándose los resultados en la figura 2.4. Las LDR's más recomendables son los que poseen una resistencia más alta.

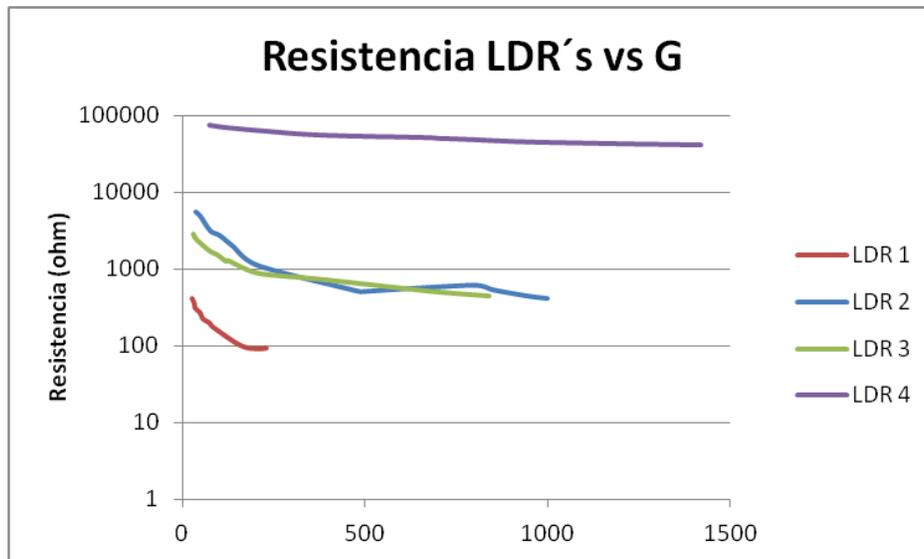


Figura 2.4 Valores experimentales del comportamiento de varias LDR's en función de la irradiación en W/m2. [Elaboración propia]

Es recomendable sustituir las LDR's por otras que, no solamente sean iguales (lo más posible) entre sí, sino que tengan valores altos (más de 50 k-ohm). Además debe procurar que la variación sea lo más lineal posible. En la figura 1.3, un ejemplo es la LDR 4 en la grafica, que tiene un comportamiento bastante lineal, y valores entre los 50 y los 70 k-ohm. A 1000 W/m2 muestra una resistencia de unos 45 k-ohm. Mientras que la LDR 2 presenta una resistencia a dicha irradiación de unos 400 ohm, similar a la LDR 3. Finalmente, la LDR 1 es un ejemplo del peor de los casos. Nunca debe intentar utilizar este tipo de fotorresistencias en el circuito seguidor; pueden quemarse y dañar el circuito.

2.2.2 Circuito electrónico

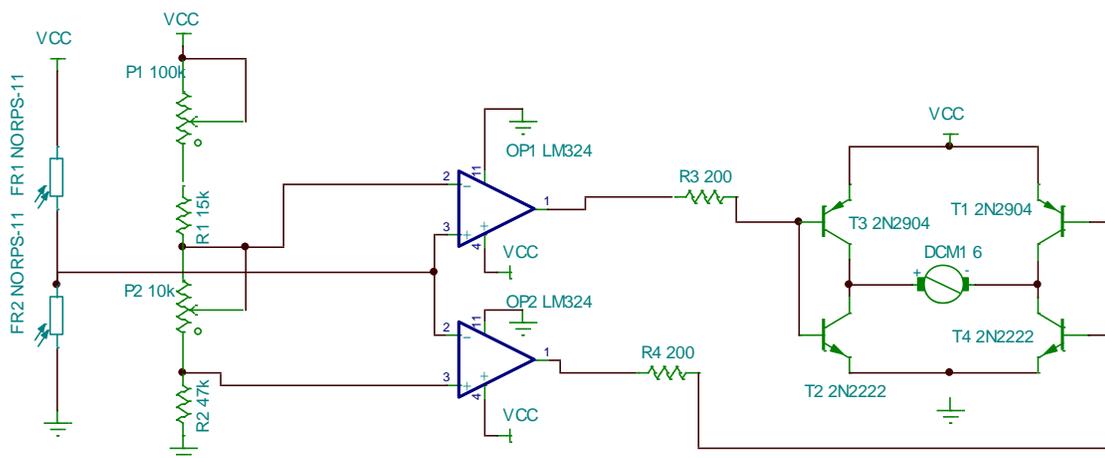


Figura 2.5 Diagrama básico del circuito seguidor que muestra la disposición de las LDR's, los amplificadores y el circuito H. [Elaboración propia]

El circuito básico puede apreciarse en la figura 2.5. Por simple inspección, vemos que se trata de un comparador. Simplemente se esperará el momento en que en el nodo que une las fotorresistencias se salga del rango que le hemos establecido con la red de resistencias fijas y variables, y activará un amplificador operacional que será la señal que pasará a amplificarse hasta ser capaz de activar el motor en el sentido correcto.

En realidad no se ha implementado el circuito tal y como se muestra en la figura, sino que solamente es el “resumen” del mismo, ya que el circuito verdadero es un poco más complejo y además lo que falta le agrega detalles que, aunque importantes, son secundarios. De igual forma, no se han utilizado transistores para energizar el motor, tal como se muestra, sino que en lugar de ellos se han utilizado relés. A pesar de esta diferencia la configuración H es la misma, y se simplifica un poco cuando consideramos que los contactos que se energizan al mismo tiempo, pueden tener una sola bobina en el relé.

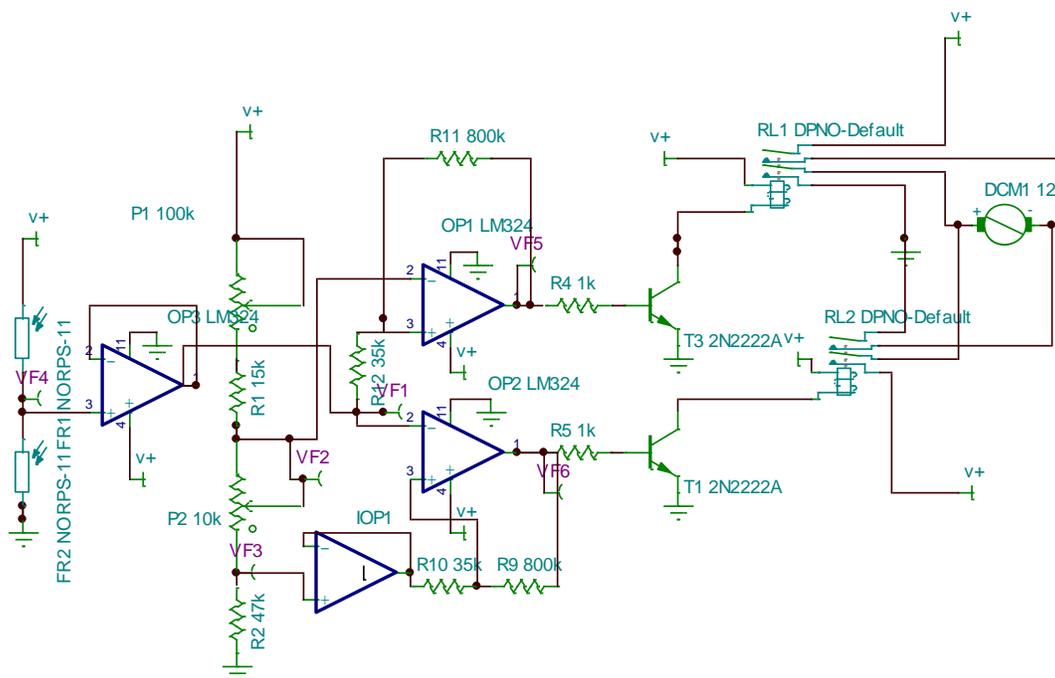


Figura 2.6 Circuito seguidor simulado en TINA. [Elaboración propia]

Una simulación del circuito implementado se muestra en la figura 2.6, aunque en realidad algunos componentes no se muestran, para no complicar más el análisis que pretendemos dar a entender fácilmente. 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 apagados, es decir, tendrán en su salida un valor teórico de 0V. Los transistores 2N2222 estarán apagados, por estar en configuración emisor común con emisor a tierra. De esta manera, también los relés estarán apagados y por ende el motor.

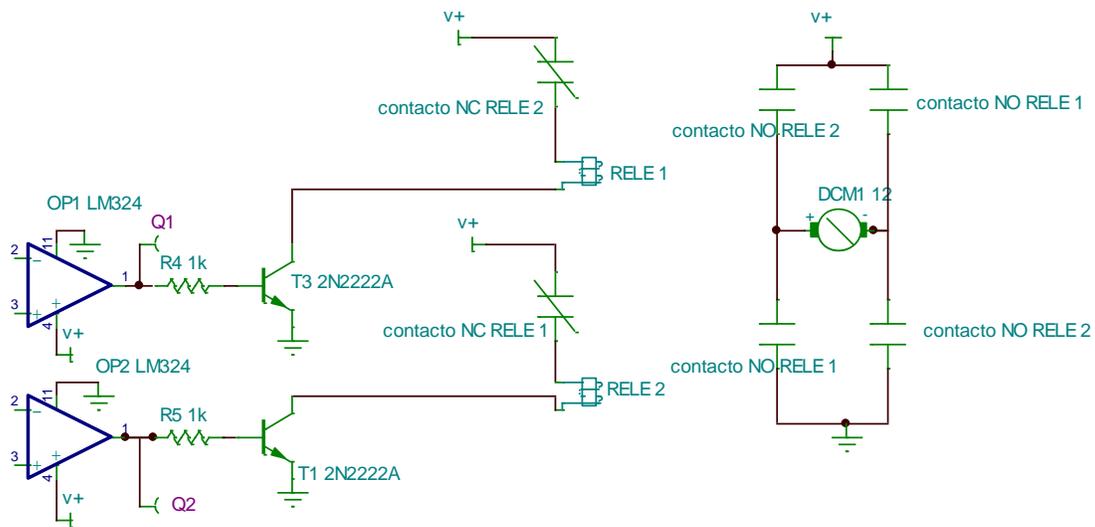


Figura 2.7 Detalle de conexión de los relés en configuración tipo H. [Elaboración propia]

En otro caso, si el valor de voltaje del nodo común de las fotorresistencias (marcado en la figura 2.6 como VF4) sobrepasará el umbral de voltaje superior, el comparador correspondiente, que es Q1 en la figura 2.7, cambiará su estado de salida de bajo a alto, provocando que la base del transistor correspondiente tenga un voltaje suficiente para activarlo. Este transistor, a su vez, conduce la corriente necesaria para cerrar la bobina del relé, que cierra dos contactos independientes eléctricamente a fin de darle movimiento al motor en un sentido determinado.

Si el valor de voltaje del nodo común de las LDR's en lugar de superar el umbral superior, se encontrara por debajo del umbral inferior, el comparador Q2, que tiene en su terminal de entrada no inversora dicho umbral, detectará entre sus entradas una diferencia de potencial positiva, así que su salida la pondrá en alto, provocando que ahora otro transistor se active, y este a su vez activa la bobina del otro relé. La configuración H en que se disponen los contactos de los relés permite que el motor DC gire en un sentido o en el otro.

Cabe mencionar además, que el que exista un rango de voltaje dentro del cual se tolerará el voltaje de entrada proveniente de los sensores evita que las salidas de los operacionales se activen al mismo tiempo, lo que provocaría un cortocircuito en el circuito H.

2.2.3 Circuito de histéresis

Una parte importante y distintiva de este circuito es el tipo de control que deberá tener sobre el motor. Tal y como lo plantea la explicación anterior, el circuito controla al motor con una acción ENCENDIDO-APAGADO; pero no se ha explicado totalmente. Una simple red de resistencias agrega una funcionalidad muy interesante a este circuito, ya que si no, podría presentar un problema muy serio de inestabilidad.

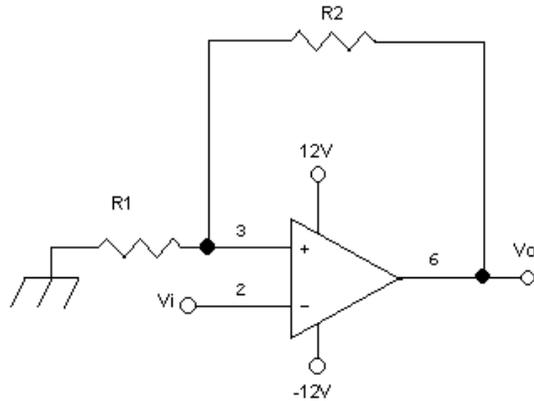


Figura 2.8 Circuito básico de histéresis.

Esta red sencilla (figura 2.8) de resistencias permite que el circuito tenga una banda que evitará tener un solo umbral para el cambio de encendido a apagado y viceversa; sino que habrá un margen necesario a fin de que el circuito pueda tolerar un rango de voltaje arriba y debajo del umbral establecido por la red de resistencias fijas. No solamente hay una manera de conectar este circuito, como es nuestro caso, puesto que necesitábamos que en un caso el voltaje fijo estuviera en la entrada inversora del operacional, pero en el otro caso debía estar en la entrada no inversora; de cualquier manera el circuito permite ser conectado de las dos maneras.

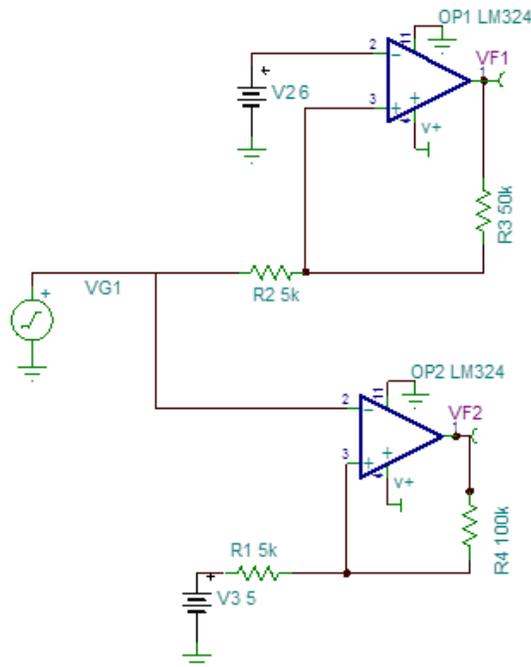


Figura 2.9 Circuitos de histéresis implementados en el seguidor solar. [Elaboración propia]

Hay algunas consideraciones que se deben tomar en cuenta cuando hay que utilizar una u otra configuración y la más importante es la corriente que se puede requerir. Si se trata de

una fuente de señal como se indica en la figura 2.9, no hay ningún problema, pues la fuente puede suplir cualquier corriente sin modificar su voltaje, que es lo que nos interesa. Pero si el voltaje que estamos comparando con alguna referencia, proviene de una red de resistencias, como es el caso que hemos implementado, el extraer alguna cantidad de corriente, por pequeña que sea, puede hacer modificar el voltaje en el nodo que nos interesa. En nuestro caso, se probó el circuito de esa manera obteniéndose malos resultados, de manera que la solución estuvo en utilizar un búfer, es decir una configuración de amplificador operacional seguidor, para no tener problemas de caídas de voltaje.

2.2.4 Tipo de control

El tipo de control ahora configurado es el de ENCENDIDO-APAGADO con BANDA MUERTA, y es mostrado en la figura 2.10. La banda muerta de la que hablamos denotará la precisión del circuito, puesto que entre más ancha sea, los pasos de los motores serán más largos; pero no sólo tiene que ver con eso, sino que puede ser tan angosta como el resto del circuito lo permita. Al ser un circuito de control automático de lazo cerrado, se entiende que se ha de realimentar con la señal proveniente de los sensores ubicados en el panel solar. Si la banda muerta es demasiado angosta, el movimiento en el panel debido a su inercia no estará acorde a la capacidad de respuesta del sistema. Hay que comprender que el sistema mecánico también tendrá su banda muerta, aunque no intencionalmente, y perjudicará el funcionamiento de todo el sistema.

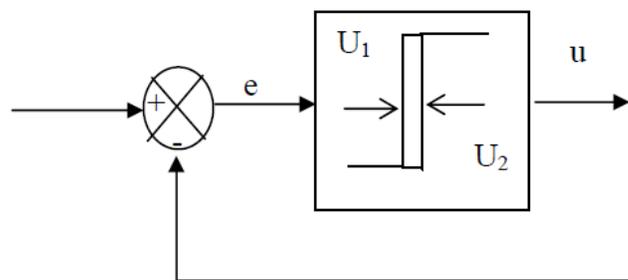


Figura 2.10 Diagrama representativo del circuito de ON-OFF con BANDA MUERTA [2]

Con esto en mente, se concluye que el circuito electrónico puede variar su precisión, pero como el sistema mecánico tiene sus propios límites en la precisión del movimiento, estos límites son los de todo el sistema, como el eslabón más débil de una cadena. Aun así, el circuito contiene potenciómetros en esta red de histéresis, en caso que sea necesario ajustar la precisión.

2.2.5 Circuito completo

Así, el circuito casi completo, trazado en TINA, se muestra en la figura 2.11, en donde se ha tratado de mostrar además, la configuración H de los relés, así como la disposición del motor y su funcionamiento. Las LDR's están representadas por fotorresistencias, aunque su operación no es del todo correspondiente como las verdaderas, sino que las simulaciones

que se han realizado han sido para probar el circuito, no las LDR's; ya que, como es de suponer, en el programa no se puede simular el movimiento del Sol en el día.

El circuito implementado físicamente se muestra en la figura 2.12 (izquierda), que hace el seguimiento en el movimiento Este-Oeste; es idéntico al que hace el otro movimiento (Norte-Sur), mostrado en la misma figura (derecha), con la diferencia que este último posee un interruptor para apagarlo en caso de no requerir el seguimiento en ese movimiento.

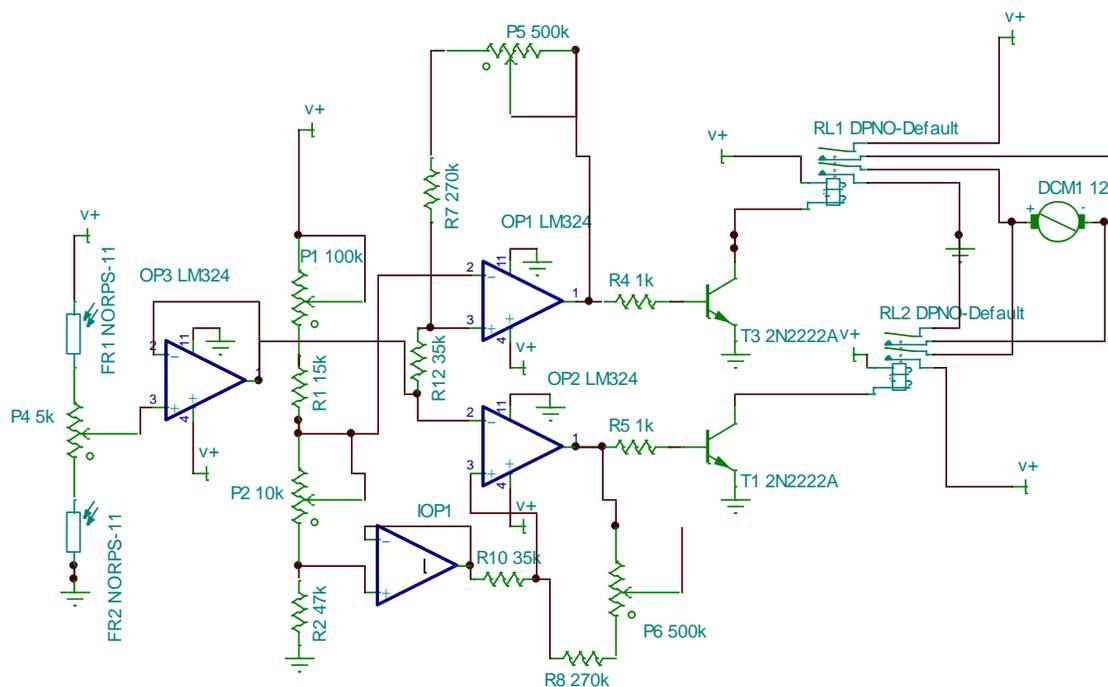


Figura 2.11 Circuito completo simulado en TINA. Los operacionales se encuentran en un solo circuito integrado. Los LDR no van en la placa de circuito impreso, tampoco el potenciómetro que los regula.
[Elaboración propia]

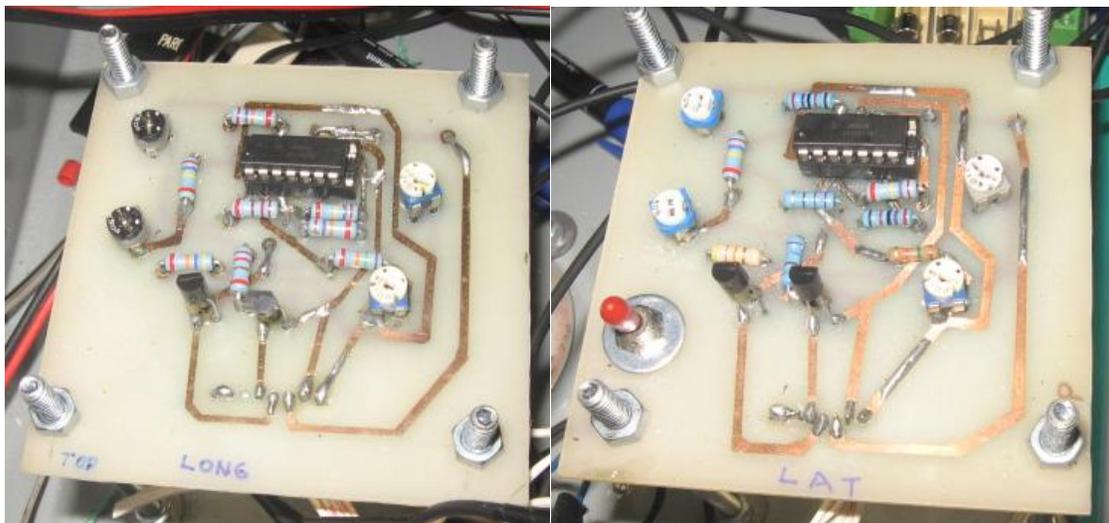


Figura 2.12 Aspecto físico de los circuitos seguidores. A la izquierda: el seguidor del movimiento Este-Oeste. Derecha: seguidor del movimiento Norte-Sur

2.2.6 Etapa de media potencia

En este breve apartado acabamos de aclarar que los relés no están incluidos en la tarjeta impresa anteriormente mencionada, sino en otra aparte, debido al tamaño de los mismos y el espacio que necesitan en una tarjeta impresa. Además como manejan corrientes más elevadas hemos preferido que tengan su propio espacio en una tarjeta aparte, por no mencionar la cantidad de cables que se le deben conectar y sus calibres, que hace necesario un mayor espacio.

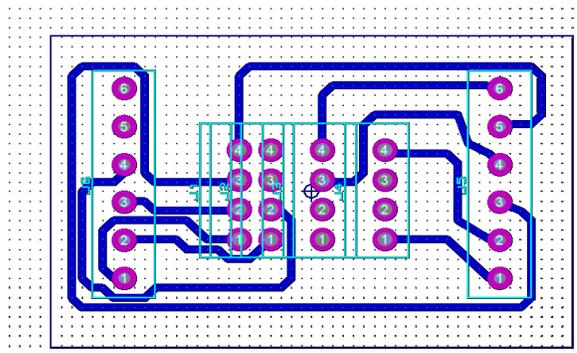


Figura 2.13 (a) Relé de 12V utilizado. (b) Diagrama de pistas para el relé y sus conectores (ISIS)

El tipo de relé utilizado (figura 2.13 (a)), a fin de que quede adaptado completamente al sistema donde se va a utilizar, es de 12V DC (la bobina), y requiere unos 100 mA para funcionar bien. Posee 4 contactos NO y 4 NC con un común. El diagrama de la figura 2.13 (b) se elaboró en PROTHEUS ISIS, aunque en realidad al ser un diagrama sencillo se puede hacer a mano, como en nuestro caso, así lo hicimos. Además, las pistas se hicieron

más gruesas de lo que aparecen en la figura, ya que necesitan conducir un máximo de 2 Amp. En la tableta con las pistas de cobre, este diagrama se repite 4 veces, puesto que cada motor requiere 2 relés para realizar el movimiento hacia una dirección o hacia otra.

Hemos aprovechado los contactos NC para hacer un enclavamiento eléctrico entre los relés de un mismo motor, ya que si ambos, por alguna razón, se activaran simultáneamente, provocarían un cortocircuito, así que se precisa que sólo uno de ellos pueda funcionar a la vez. En la figura 2.15 se muestra este enclavamiento que excluye a un relé de funcionar si el otro se activa; así que, ya sea por accidente o por intención, no se puede provocar un cortocircuito en esta parte del sistema eléctrico.

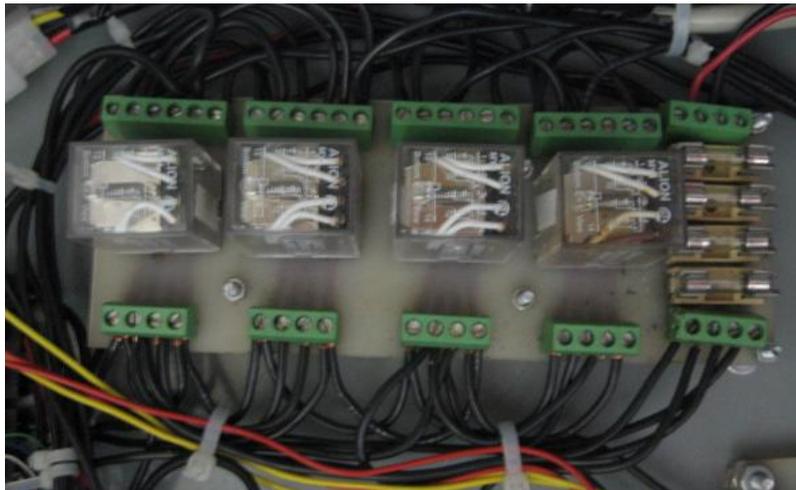


Figura 2.14 Circuito de relés y fusibles.

2.2.7 Protecciones del circuito seguidor.

Como todo circuito eléctrico conectado a una fuente debe tener sus protecciones adecuadas. En nuestro caso hemos instalado fusibles a fin de cortar el paso de corrientes en posibles fallas en distintas partes del circuito. Los circuitos analógicos están protegidos por un fusible de 250 mA, pues el circuito por sí solo no consume más de 3 mA entre las dos tabletas de circuito analógico, incluyendo los LDR's.

Cada motor está protegido por un fusible de 4 A, pues su corriente nominal, según el fabricante es de 4.8 A, pero experimentalmente hemos obtenido mediciones en la corriente de los motores de un máximo de 2 A, de manera que justificamos el valor del fusible instalado.

El fusible principal, que puede interrumpir la corriente a todo el circuito completo, es de 6 A. se deben cambiar los fusibles quemados por otros del mismo tamaño y valor, ya que así se protege al circuito de sufrir perturbaciones en el voltaje debido a cortocircuitos. Los cortocircuitos pueden darse en caso de realizar mantenimientos ya sea dentro o fuera de la

caja donde está ubicado el circuito completo; así que se recomienda desconectar el circuito antes de hacer cualquier reparación, revisión o mantenimiento en el sistema. De cualquier manera, en ocasiones puede ser necesario tener el circuito energizado para realizar algún tipo de mantenimiento, en cuyo caso recomendamos tener precaución al tocar los bornes de fusibles, relés, o cualquier parte metálica del circuito que pueda estar energizada, con desarmadores o puntas de prueba metálicas, ya que puede ocasionar un cortocircuito y dañar parte del circuito o elementos.

No hay voltajes peligrosos para las personas en el circuito seguidor, ni aun en el SFV móvil; pero debe tener cuidado con los cortocircuitos, ya que grandes cantidades de corriente pueden ocasionar sobrecalentamiento de conductores y hasta un incendio, principalmente si se trata de una falla en el bus de la batería. Recomendamos que los circuitos con baterías tengan un fusible directamente en el borne de la batería para evitar siniestros de este tipo.

2.3 Proceso de construcción de circuitos electrónicos

Nuestro trabajo, además de teórico, tuvo que contener fases de implementación real, es decir en las cuales se fabricaron las partes visibles de nuestra tesis. La primera parte visible en fabricar fueron los circuitos electrónicos, que una vez diseñados y simulados en computadora debían ser implementados y probados en el mundo real. El método de implementación de los circuitos no fue el más sofisticado, atendiendo a las condiciones económicas de ese momento, además del interés en mostrar que no era un requisito indispensable el recurrir a talleres electrónicos especializados de empresas ni de otras universidades o colegios, al ser factible la obtención de una calidad aceptable, o al menos funcional en el desarrollo de este tipo de circuitos en nuestra Escuela o en nuestra casa.

2.3.1 Materiales utilizados

Se listan los materiales necesarios para la fabricación de 1 circuito electrónico para 1 solo movimiento del seguidor.

Los materiales mencionados en la tabla 2.1 son los que se necesitan para construir los dos circuitos analógicos, los cuales está en color negro. En color azul se muestran los necesarios para el mini-circuito que contiene los dos potenciómetros para regular las LDR. Y por último los color rojo son los necesarios para el circuito de los relés y fusibles. El pequeño circuito que contiene un potenciómetro para regular el desbalance entre los pares de LDR's de cada circuito comparador se agregó después de haber fabricado el circuito anterior, de manera que tuvo que quedar fuera de la tarjeta de circuito principal.

Tabla 2.1 Lista de materiales utilizados para el circuito analógico

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Tableta de fibra 2 caras de cobre 5x8''	1
Comparador LM324	2
Socket 14 pines	2
Resistencia 47k ½ Watt	2
Resistencia 15k ½ Watt	2
Resistencia 220 ohm ½ Watt	4
Potenciómetro 10k	2
Potenciómetro 100k	2
Resistencia 270k ½ Watt	4
Resistencia 27k ½ Watt	4
Potenciómetro 500k	4
Bornera 5 pines para circuito impreso	2
Potenciómetro 1k	2
Bornera 3 pines para circuito impreso	2
Tableta de fibra 1 cara de cobre 5x8''	1
Relés 12V 4NC + 4NO	4
Bornera 4 pines para circuito impreso	6
Bornera 6 pines para circuito impreso	4
Portafusible pequeño para circuito impreso	4
Fusible 250mA	1
Fusible 4A	2
Fusible 6A	1
Caja de conexiones 18''x12''x6''	1
Otros	

2.4 Esquema eléctrico de control manual

No nos hemos detenido a mencionar los demás elementos existentes en el sistema seguidor, aparte del contenido de nuestros circuitos electrónicos ya mencionados; pero ahora es tiempo de completar el diseño mostrando más claramente como esta interconectado todo este sistema, para lo cual nos auxiliaremos de un diagrama de control, mostrado en la figura 2.15.

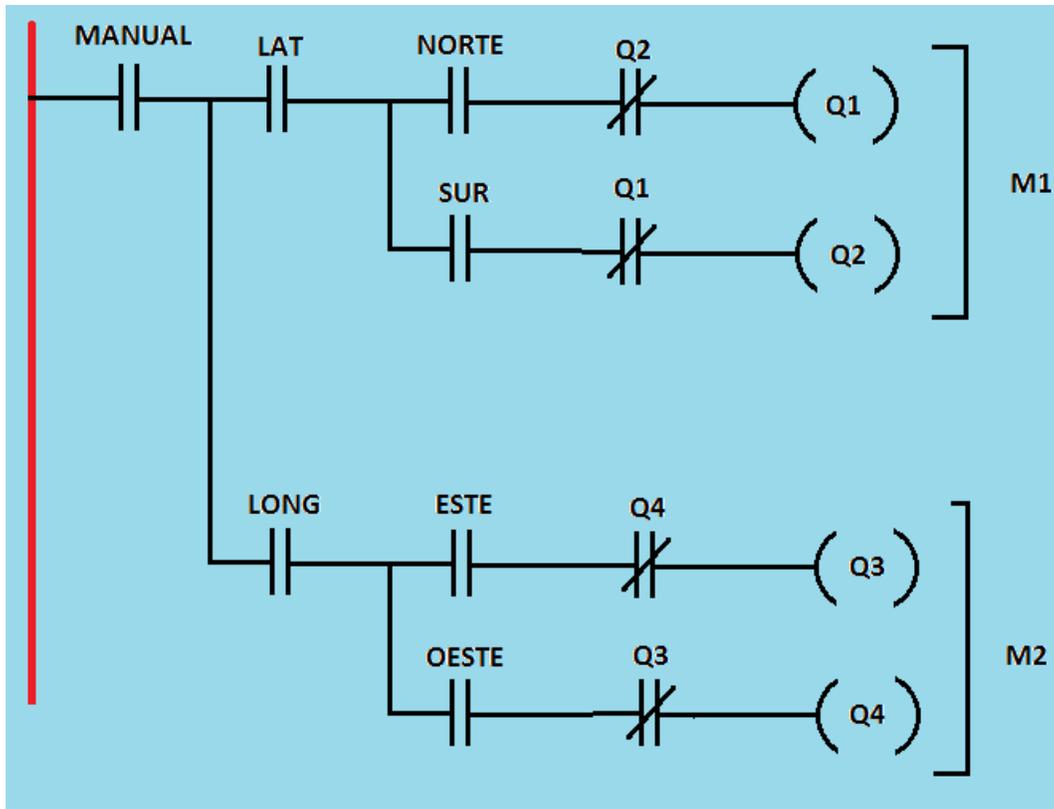


Figura 2.15 Esquema eléctrico del control manual del seguidor solar. Las salidas aquí representadas NO CORRESPONDEN con las homónimas del esquema de control automático en el capítulo 4. [Elaboración propia]

2.5 Conclusiones del capítulo

El circuito electrónico mostrado anteriormente, luego de ser diseñado se implementó y probó su funcionamiento en el seguimiento del Sol en espacio abierto, y de algún haz de luz en un lugar bajo techo. Es importante recalcar que el circuito está diseñado para poder funcionar con un voltaje de 12V DC (en configuración de una sola fuente), que es lo ideal, puesto que en nuestro sistema fotovoltaico aislado contamos con ese voltaje. El circuito integrado LM324 [3] funciona perfectamente con este voltaje, con la condición de que sólo podrá utilizarse en configuración de una sola fuente, es decir, no es posible la configuración bipolar.

Nuestro circuito seguidor no requiere de ninguna fuente externa, sino que se alimenta del sistema aislado, por lo que es autónomo. Igualmente, los motores utilizados son 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 aislado, 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.

REFERENCIAS DEL CAPITULO

[1] CENSOLAR (Centro de Estudios de Energía Solar) Progenssa, 1993 Instalaciones de Energía Solar. Tomo 5: Sistemas de conversión eléctrica. Pág. 33. Fig. 57

[2] Fernando Núñez Enríquez. Control de movimiento empleando Labview, un enfoque didáctico. Capitulo 1 pág. 11. Universidad de las Américas Puebla (México).

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/nunez_e_f/

[3] El LM324 es un cuádruple amplificador operacional de baja potencia.

Capítulo 3 : DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PARTE MECÁNICA

3.1 Introducción

Este capítulo comprende desde el diseño de las estructuras, problemas encontrados y ejecución de los diseños hasta las modificaciones que se le han tenido que hacer a la estructura de nuestro seguidor solar.

Comenzaremos este capítulo por mencionar algunos de los requerimientos mecánicos que el sistema debe de cumplir. Entre ellos veremos algunos fenómenos que también afectarán el funcionamiento mecánico de este sistema a diseñar.

También, se tomarán decisiones que darán forma a la estructura a construir, por ejemplo, si el diseño será mono-poste y no de carrusel, si será de movimiento lineal o de movimiento lineal-circular, entre otras decisiones.

Así mismo, hay criterios que evaluar de la parte eléctrica que afectarán directamente el diseño que tendrá la estructura, por mencionar algunos ejemplos podríamos decir que los accionadores serán motores eléctricos o del tipo activo, que se trabajará con un diseño de seguidor de punto luminoso y no del tipo de programación astronómica, entre otros.

Todos estos criterios serán tomados en cuenta para el diseño y posterior construcción de nuestro seguidor solar para el SFV de la Escuela de ingeniería eléctrica de la UES.

3.2 Construcción de la parte mecánica

Tomaremos en cuenta algunas de las secciones anteriores para elaborar la parte mecánica del seguidor solar, en especial, el capítulo donde se expone la teoría respecto al tema, por ejemplo, el movimiento del Sol durante las diferentes épocas del año, los límites que este debe tener para su movimiento, la orientación adecuada para optimización de energía del mismo (en cuanto a largo o ancho del panel), entre otras consideraciones.

A continuación, se ilustran los criterios más importantes que se han tomado en cuenta para la construcción de la estructura mecánica.

3.2.1 Requerimientos de diseño

- Se necesita que se mueva en dos ejes, es decir, que posea movimiento hacia dos direcciones de forma lineal (del tipo de doble inclinación), perpendicularmente opuestas, tal y como lo ilustra la figura 3.1.

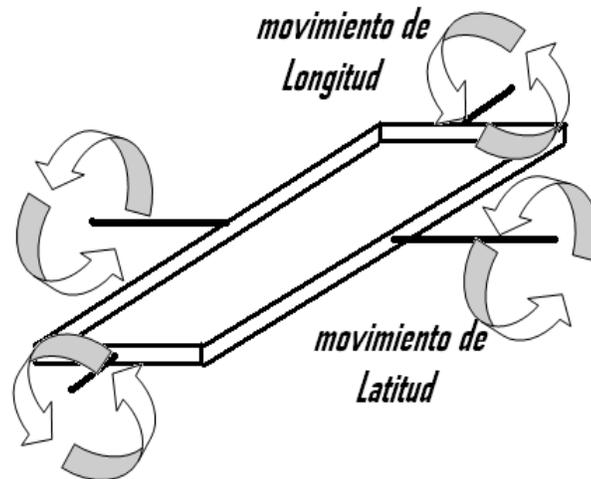


Figura 3.1 Silueta de movimientos requeridos para el panel fotovoltaico [Elaboración propia]

- Se estará expuesto a fenómenos atmosféricos impredecibles, es decir, vientos leves y fuertes, terremotos de incierta magnitud, lluvias de impredecible fuerza, granizadas, calor, etc. Como los que se muestran en la figura 3.2. Así pues, debe de ser suficientemente fuerte para soportar estos fenómenos naturales.

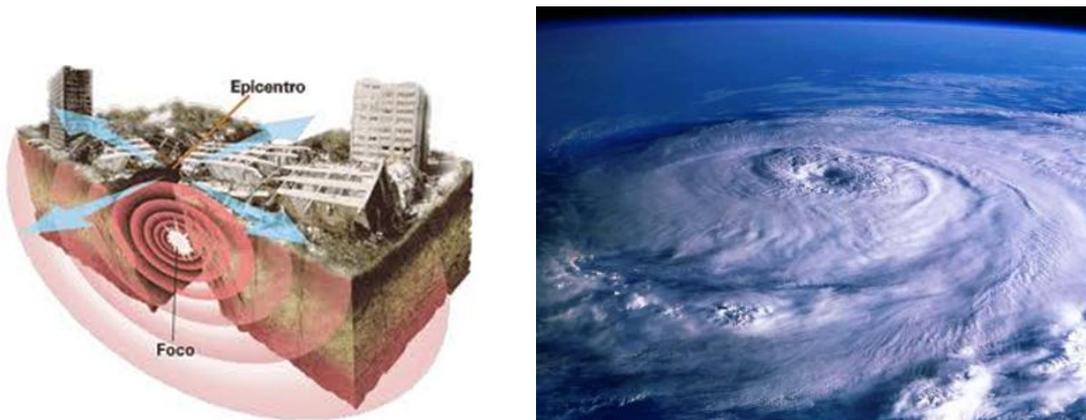


Figura 3.2 fenómenos atmosféricos: terremotos [1] y huracanes[2]

- Deberá soportar peso aproximado de 50 libras (del panel Fotovoltaico). Importante para elegir el material de construcción.
- Será un sistema no concentrado, es decir, no usará tecnología concentradora de insolación solar como lo muestra la figura 3.3. Por lo tanto, será la plataforma la que se moverá sin espejos móviles.

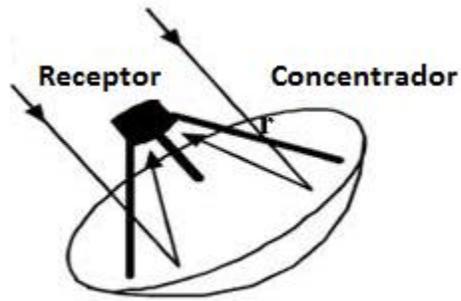


Figura 3.3 Tecnología de concentración de insulación Solar. [3]

- Su base la tendrá en un mono-poste y no en tipo carrusel, es decir un único apoyo central, un ejemplo de este diseño se muestra en la figura 3.4.



Figura 3.4 Ejemplo de estructura mono-poste.

- La plataforma se moverá por medio de motores tipo brazos eléctricos, como lo muestra la **figura 3.5**. Es decir será un seguidor activo.



Figura 3.5 Brazo Eléctrico Extensible.

- Además sobre la plataforma se tendrán que colocar los sensores de luz (LDR) porque se tratará de un seguidor de punto luminoso y no de programación astronómica, la **figura 3.6** muestra una ilustración de estos tipos de tecnologías.



(a)

$$\delta = 23.45 \sin\left(\frac{360}{365} [d_n + 284]\right)$$

$$\begin{aligned} \cos \theta_z &= \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega \\ &= \sin \alpha \end{aligned}$$

$$\cos \psi = \frac{\sin \alpha \sin \varphi + \sin \delta}{\cos \alpha \cos \varphi}$$

(b)

Figura 3.6 (a) Los seguidores de punto luminoso no solo se utilizan para seguimiento solar (b) Algunas fórmulas para seguimiento con programación astronómica.

En base a los requerimientos anteriormente presentados se decidió dividir en dos partes el diseño de la estructura mecánica. En la primera, se diseñará la base mono-poste, y a continuación, la plataforma que contendrá al panel solar fotovoltaico.

3.2.2 Diseño de la base mono-poste

Esta se hará como lo indica la figura 3.7, con una base mono-poste de tubo galvanizado de 2.5 pulgadas de diámetro y unas estructuras laterales hechas de ángulo de 2x2 pulgadas, que servirán como base para los motores eléctricos encargados de los movimientos de latitud y longitud.

En la parte superior de la figura 3.7 se observa una especie de pasador que enlazará esta estructura con la plataforma, la cual se diseñará en la próxima sección de este capítulo.

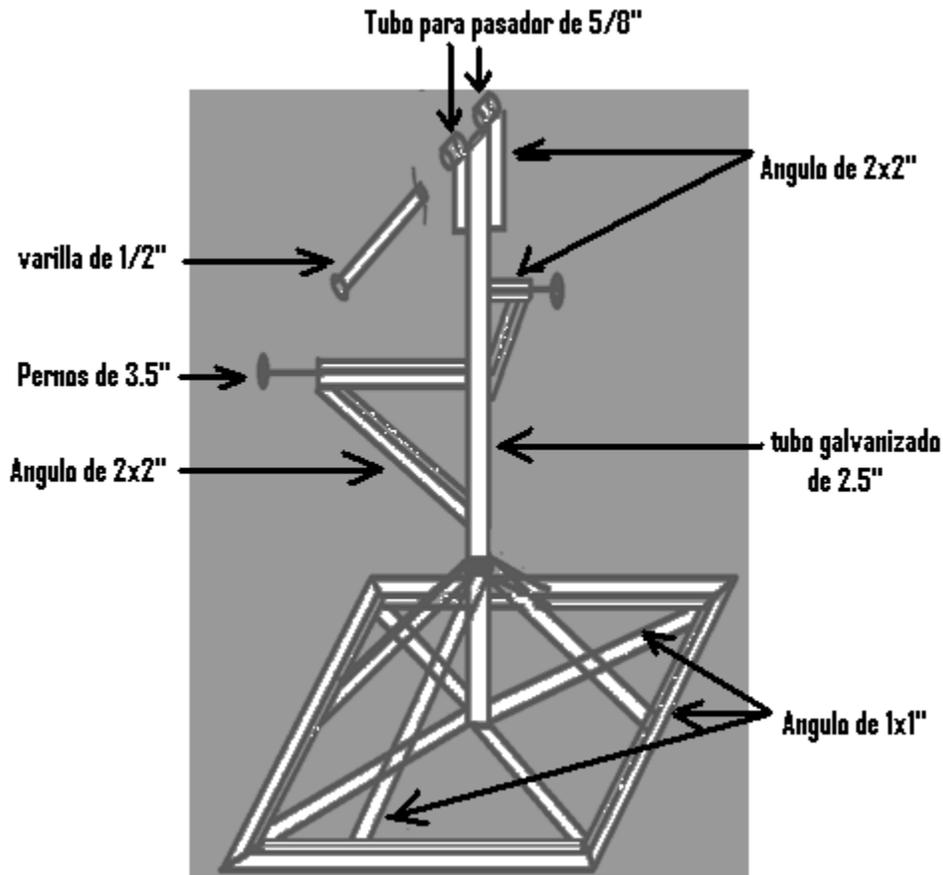


Figura 3.7 Diseño de estructura mono-poste del seguidor solar activo. [Elaboración propia]

Este diseño se ha pensado para cuando se esté en la etapa de prueba, operando en el edificio de la biblioteca de la FIA, por eso es que en la **figura 3.7** se observa una base cuadrada con soportes hacia los lados hecha de ángulo de 1x1 pulgadas, de esta forma será anclada en el concreto mientras pasa la etapa de prueba.

Luego de verificar su correcto funcionamiento, se le quitará la estructura cuadrada de la base y se anclará en el techo de la Escuela de ingeniería eléctrica de la UES. Se utilizarán anclas de 3/4 de pulgada para tal propósito.

Las Unión de las partes se harán con soldadura eléctrica.

Resultado: La figura 3.8 muestra la estructura que se ejecutó para esta sección de la construcción de la base mono-poste.



Figura 3.8 Estructura resultante tipo mono-poste.

3.2.3 Diseño de la plataforma

En esta sección, diseñaremos la plataforma que contendrá al panel fotovoltaico sujetado a la base diseñada en la sección anterior.

Como ya se ha analizado antes, en la figura 3.1 se tiene un requerimiento importante de este diseño, el cual es el movimiento en ambos ejes que debe de realizar la plataforma, además de otros a considerar.

Algo muy importante que se debe de considerar son las medidas que tiene el panel en cuanto a su ancho y largo, además de su espesor. La imagen 3.9 nos muestra éstas especificaciones físicas del panel.

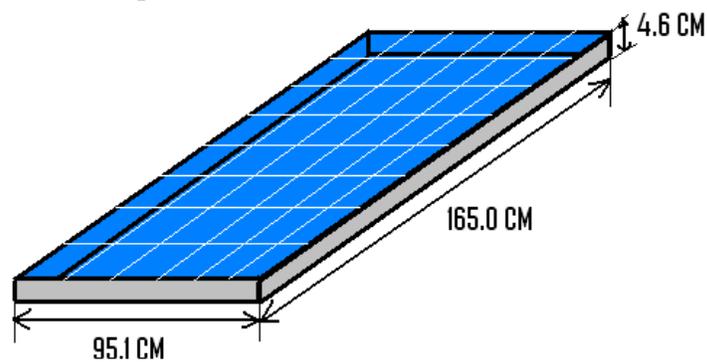


Figura 3.9 Medidas físicas del panel fotovoltaico.

Con estas especificaciones y los requisitos anteriores se puede tener un bosquejo de la estructura a diseñar. La figura 3.10 es el diseño que se ha pensado implementar para el caso, en esta figura también se detallan los materiales utilizados para esta estructura.

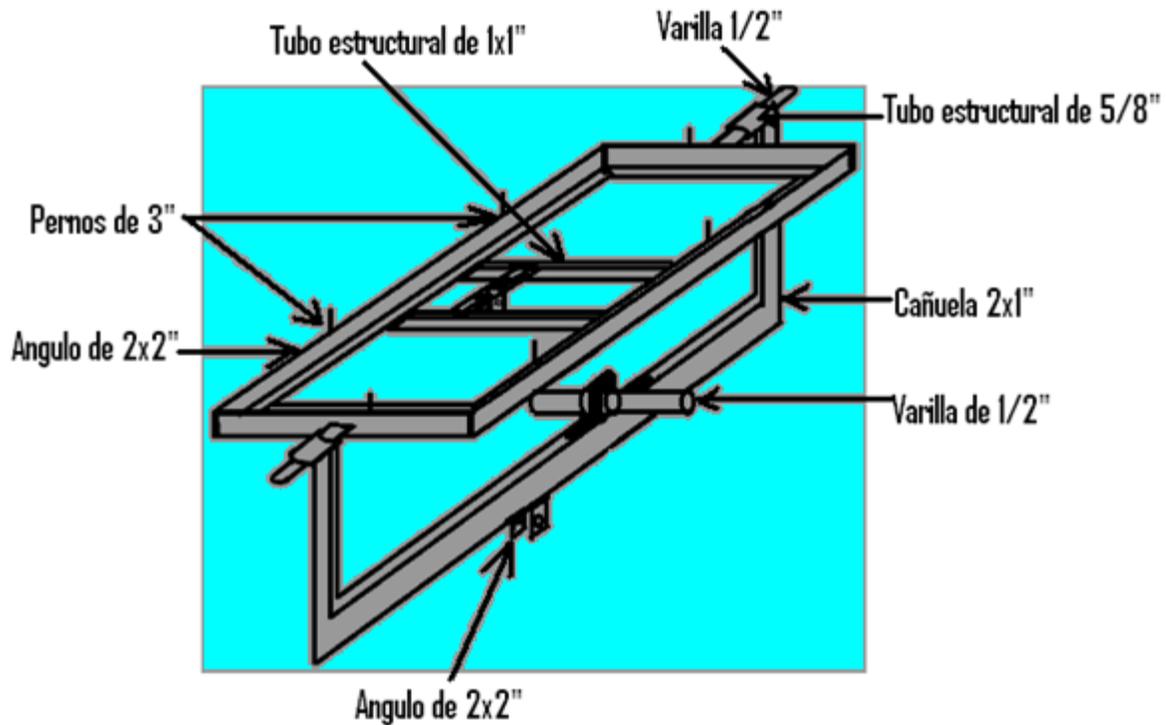
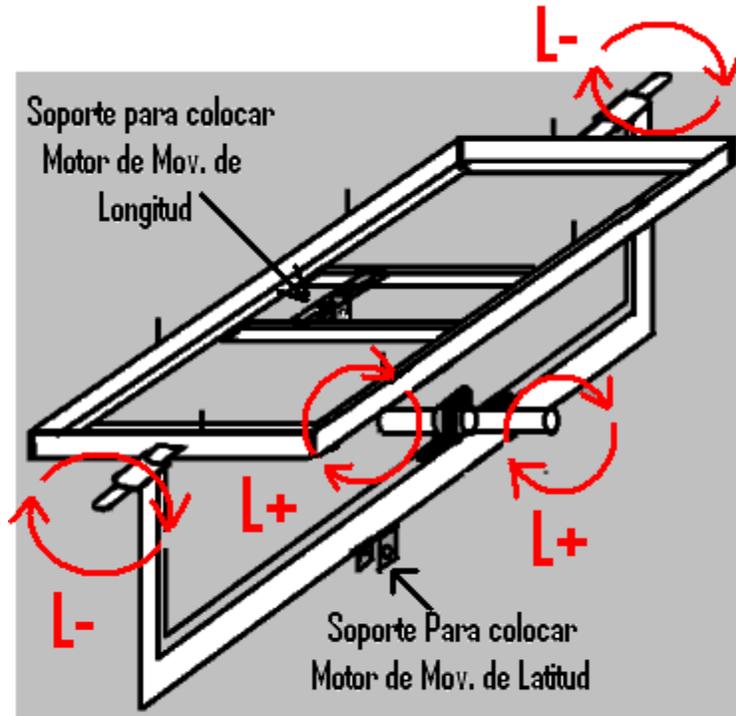


Figura 3.10 Descripción de diseño a implementar para la plataforma. [Elaboración propia]

Los movimientos de la estructura son hechos bajo los ejes de los extremos a lo largo de la plataforma, tal y como lo indica la figura 3.11. El movimiento de Latitud, indicado con las flechas de color rojo con el símbolo 1+ gira en los dos sentidos una distancia que se calculará en la otra sección siguiente. El movimiento de Longitud, indicado con las flechas de color rojo con el símbolo 1- gira también en los dos sentidos, y al igual al movimiento de Latitud, será calculado en la sección siguiente.



L+ = Ejes Para Movimiento de latitud
 L- = Ejes Para Movimiento de Longitud

Figura 3.11 Descripción de movimientos de la plataforma. [Elaboración propia]

Además, en la figura 3.11 se describen los soportes de donde se unirá los motores o brazos eléctricos a la plataforma del panel. Tal y como se observa en la figura 3.11 los ejes del movimiento de Longitud están centrados aproximadamente en el centro de masa de la estructura, y no así el movimiento de latitud. Esto es debido a que solo uno podría ubicarse cerca de este punto, y como ha sido pensado en base a que el movimiento de Longitud se hará todo los días de extremo a extremo y no así con el movimiento de latitud que se hará aproximadamente 0.1 grados por día, por eso se diseñó de esta forma.

La estructura de la plataforma implementada se muestra en la figura 3.12.



Figura 3.12 Plataforma diseñada para el panel fotovoltaico.

3.2.4 Cálculo de los extremos de los movimientos de latitud y longitud de la plataforma.

Debido a que los brazos eléctricos que moverán nuestro panel tienen la limitante que solo pueden expandirse 12 pulgadas o un pie de distancia máxima, regulado por unos finales de carreras internos de dichos motores. Entonces, es preciso definir las limitantes de los movimientos que se realizarán por estos durante el día y durante un año según sea el caso.

3.2.4.1 Movimiento de longitud

El Movimiento de longitud es el que el panel hará todos los días desde la salida del Sol en el Este, hasta la puesta del Sol en el Oeste. Idealmente sería de 180 grados completos, pero realmente no será así. Esto es debido a lo que se mencionó anteriormente de las limitantes de expansión de los motores eléctricos.

Quizá uno de los puntos más importantes en este capítulo es la ubicación de los brazos eléctricos en la estructura. Acerca de eso se trata a continuación.

3.2.4.1.1 Ubicación del brazo eléctrico Este-Oeste

Para esto debemos de retomar algunos datos importantes tales como los mencionados a continuación.

- Extensión Solo del brazo Eléctrico (cambio de longitud): 12 pulgadas
- Latitud en nuestra región de 13.7° desde el cenit hacia el Sur.
- Longitud del brazo a medio extender (unido a la Base del motor): $25 \frac{3}{4}$ pulgadas.

En el caso del movimiento Este-Oeste se tomó la decisión de que (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 3.13**.



Figura 3.13 Descripción en horas de los movimientos requeridos por el sistema. [Elaboración propia]

La distancia entre cada separación en la figura 3.13 se obtiene dividiendo la distancia ideal en grados entre el número de horas que este comprende, es decir;

$$\text{Separación} = 180^\circ / 12 \text{ horas} = 15^\circ \text{ por hora.}$$

Entonces se tiene que el Ángulo de seguimiento es de $180 - 15 * 2 = 150^\circ$. La figura 3.14 muestra más detallada la forma obtenida.

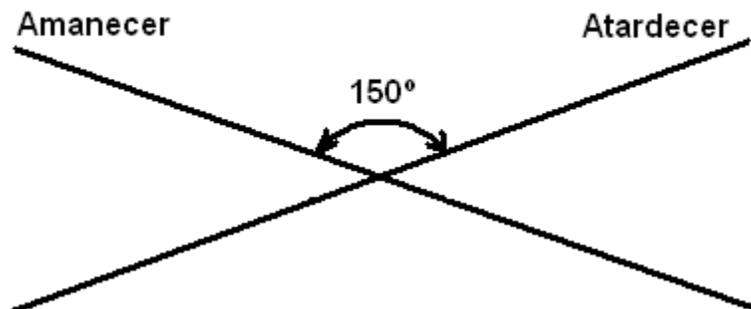


Figura 3.14 Movimiento estimado para el panel durante un día.

Así, por medio de un triángulo, resolvemos en la figura 3.15 la incógnita existente.

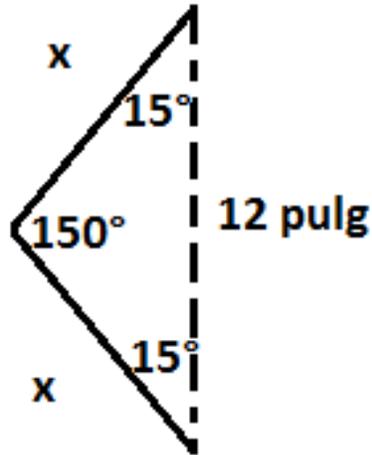


Figura 3.15 Forma resultante del movimiento diario del panel.

La línea punteada representa el brazo mecánico y la variable “X” la distancia a la que se va a poner del eje de giro.

Entonces, Mediante la ley de los senos para triángulos oblicuángulos se resuelve de la siguiente forma:

$$\frac{A}{\sin(\alpha)} = \frac{B}{\sin(\beta)}$$

$$\frac{12}{\sin(150^\circ)} = \frac{x}{\sin(15^\circ)}$$

$$x = 6.2 \text{ pulg}$$

La figura 3.16 muestra el alcance real y preciso que alcanza el seguidor Solar diseñado durante un día completo. Las franjas en azul muestran un seguimiento exacto y las franjas en Rojo una porción de error en cuanto a direccionamiento máximo respecto a la última ubicación en los extremos del panel, la cual se detalla en porcentaje en la tabla 3.1.

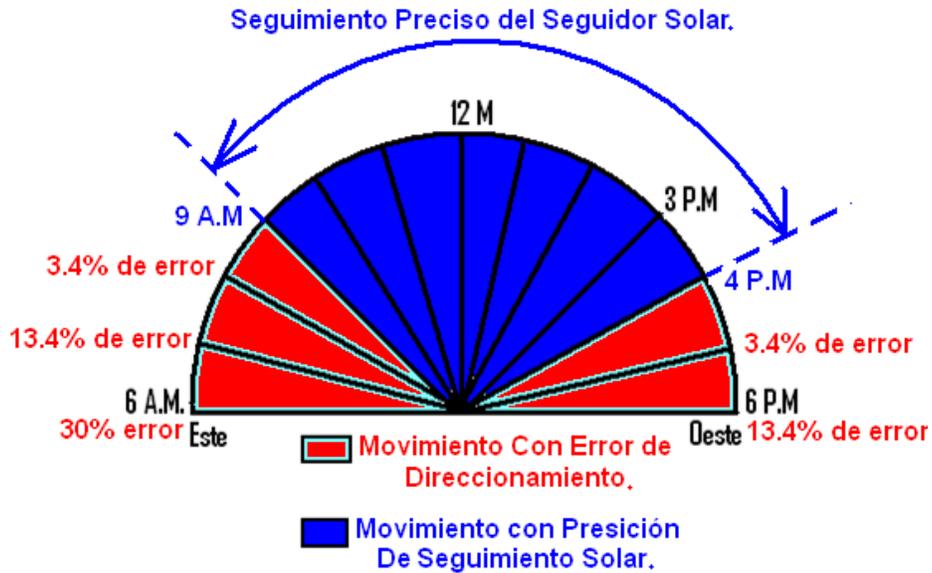


Figura 3.16 Máximo alcance del sistema diseñado para seguidor solar y error por Mal direccionamiento del mismo. [Elaboración Propia]

Tabla 3.1 Pérdidas de potencia directa por mal direccionamiento del panel solar.

Angulo θ	Pérdidas=1-cos(θ) %	Angulo θ	Pérdidas=1-cos(θ) %
0°	0%	15°	3.4%
1°	0.015%	30°	13.4%
3°	0.14%	45°	30%
8°	1%	60°	>50%
23.4°	8.3%	75°	>75%

3.2.4.1.2 Ubicación del soporte superior del panel.

La figura 3.17 muestra la descripción de las medidas obtenidas cuando el panel está en su ubicación horizontal, en ella se muestra otro cálculo más que hay que hacer como es el del soporte superior. Para ello se retoman medidas presentadas anteriormente, como la longitud media del brazo eléctrico a medio extender y la recién calculada distancia del brazo eléctrico a la base principal.

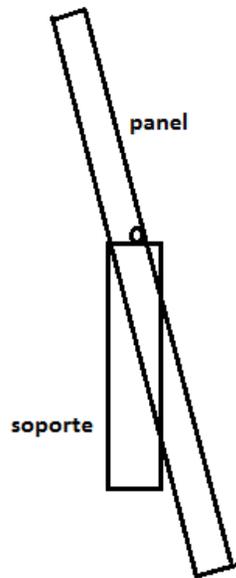


Figura 3.18 Inclinación Máxima del panel en movimiento del Día. [Elaboración propia]

En la figura 3.18 se observa que la mayor inclinación del panel depende de la estructura y de lo alto del soporte. Que aproximando a un triángulo rectángulo obtenemos la figura 3.19.

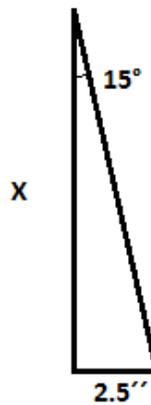


Figura 3.19 Triángulo Rectángulo Resultante de la máxima inclinación del panel en el día.

Donde “X” Es la altura del soporte y la distancia aproximada del extremo inferior del soporte (del centro) hasta el centro del marco es de unos 2.5''. Este cálculo es aproximadamente el siguiente.

$$\frac{2.5}{x} = \tan 15^\circ$$

$$x = 9.3''$$

Donde 15° es lo que el Sol se mueve por cada hora reloj.

Es decir, que la altura del soporte principal del panel es de 9.3 pulgadas medidas desde la parte superior.

3.2.4.2 Movimiento de latitud

Este movimiento lo realizará durante todo el año moviéndose una distancia aproximada de 0.11° por día. El recorrido (D) de extremo a extremo que este movimiento debe hacer se obtiene con la siguiente fórmula:

$$D = 2 \times 23.45^\circ \text{ (declinación solar)}$$

$$D = 46.9^\circ$$

Ahora bien, falta definir los movimientos hacia el Norte y hacia el Sur que tendrá la estructura, la cual si estuviésemos sobre el ecuador tendríamos que fueran iguales, es decir 23.45° hacia el Sur e igual hacia el Norte, pero como no es así, debido a nuestra ubicación en el globo terrestre, la calculamos en las siguientes formulas.

MN: Declinación Solar – Latitud del Lugar

MS: Declinación Solar + Latitud del Lugar

Donde:

MN: Movimiento al Norte

MS: Movimiento al Sur

Declinación Solar = 23.45°

Latitud del lugar = 13.7°

Entonces;

$$\text{MN: } 23.45^\circ - 13.7^\circ$$

$$\text{MN: } 9.75^\circ$$

$$\text{MS: } 23.45^\circ + 13.7^\circ$$

$$\text{MS: } 37.15^\circ$$

Estos ángulos se han definido a partir del cénit hacia el Norte y hacia el Sur.

Otra vez necesitaremos un triángulo para resolver este problema. En las figuras 3.20 se muestra el triángulo obtenido con estos límites obtenidos.

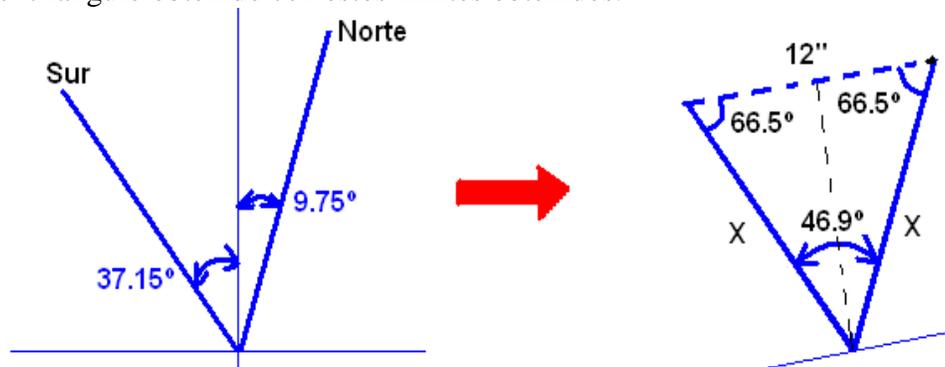


Figura 3.20 Límites de movimiento Norte-Sur. [Elaboración propia]

Ahora bien, Mediante la ley de los senos para triángulos se resuelve de la siguiente forma:

$$\frac{12}{\sin(47^\circ)} = \frac{x}{\sin(66.5^\circ)}$$

$$x = 15 \text{ pulg}$$

Luego para posicionar el brazo lo ubicamos tomando como referencia el punto medio del recorrido, en donde se procura que el brazo realice una fuerza perpendicular al panel solar. En la figura 3.20 se describe esta ubicación requerida con los datos ya descritos anteriormente.

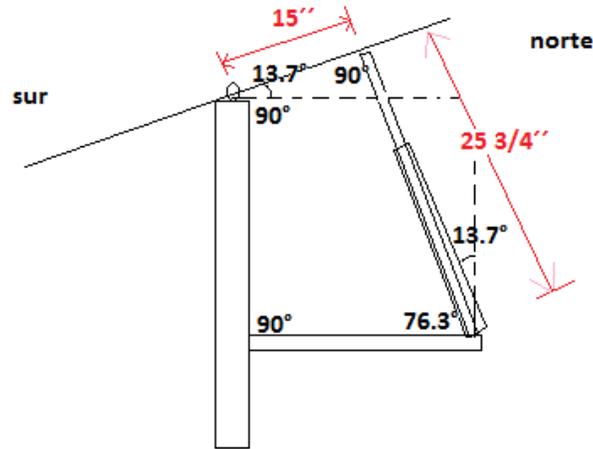


Figura 3.21 Descripción de medidas para ubicación requerida para el soporte superior [Elaboración propia]

Para resolver el polígono mostrado en la figura 3.21 lo dividimos en dos triángulos, tal y como se muestra en la figura 3.22.

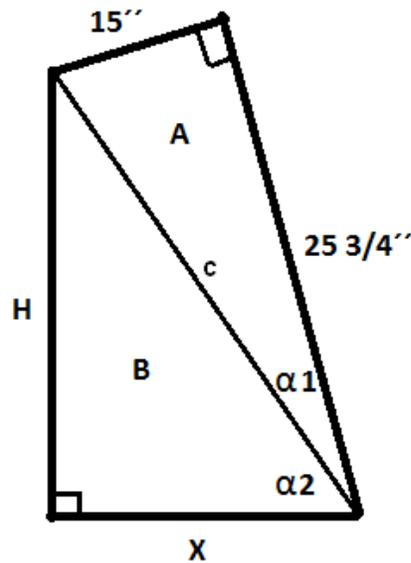


Figura 3.22 Forma obtenida de dividir en dos triángulos la figura 3.21.

Como ambos triángulos son rectángulos, la solución de cada uno es fácil. Los Trabajaremos por triángulos separados con nombres de A y B según lo muestra la figura 3.22.

Solución Para el triángulo A:

Nos interesa el valor de la hipotenusa:

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Entonces

$$c = \sqrt{15^2 + \left(25\frac{3}{4}\right)^2}$$
$$c = 29.8 \text{ pulgadas}$$

Además, el ángulo $\alpha 1$ se obtiene:

$$\alpha 1 = \sin^{-1} \frac{15}{25\frac{3}{4}}$$

$$\alpha 1 = 35.63^\circ$$

De la figura 3.22 podemos deducir que:

$$\alpha 2 = 76.3^\circ - 35.63^\circ$$

$$\alpha 2 = 40.67^\circ$$

Y resolvemos a continuación el otro triángulo rectángulo, a partir del dato obtenido en el triángulo A.

Solución Para el triángulo B:

La altura a la que se ubicará el soporte para el brazo es: (desde arriba hacia abajo)

$$\sin \alpha 2 = \frac{H}{c}$$
$$H = 29.8'' \sin 40.67^\circ$$

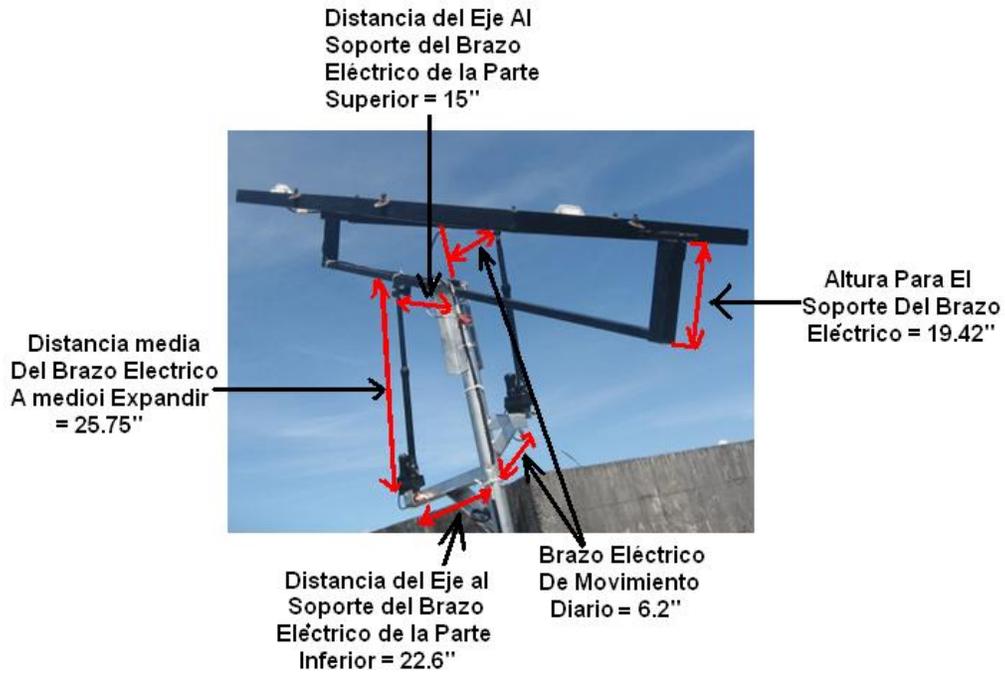
$$H = 19.42''$$

Mientras que la longitud del soporte para el brazo es:

$$X = 29.8'' \cos 40.67^\circ$$

$$X = 22.6''$$

En la imagen de la figura 3.23 se muestra las medidas obtenidas en la estructura final diseñada e implementada en este capítulo.



Las estructuras finales para esta sección tanto para las pruebas sobre el edificio de la biblioteca de la FIA-UES así como para la ubicación final de la estructura sobre el edificio de la Escuela de ingeniería eléctrica de la UES se muestran en la figura 3.24 y figura 3.25 respectivamente.



Figura 3.24 Estructura provisional para pruebas sobre el edificio de la Biblioteca del área de ingenierías y arquitectura UES.



Figura 3.25 Ubicación final de la estructura mecánica sobre el edificio de la EIE-UES

3.3 Conclusiones del capítulo

- La estructura diseñada e implementada cumple con los requisitos planteados al inicio de este capítulo en los ámbitos requeridos, es decir, en la parte mecánica, eléctrica, electrónica y de potencia.
- Las horas de uso del sistema se ve limitado por los brazos eléctricos utilizados, aunque la parte mecánica se haya diseñado para un giro total de unos 150°, no los alcanzará en este prototipo de seguidor solar fotovoltaico.
- Para obtener un seguimiento solar completo, es decir, desde el amanecer hasta el atardecer es necesario la utilización de brazos eléctricos de mayor longitud, y además, se tendrían que reubicar la posición idónea de estos motores respecto a la estructura diseñada. La estructura no sufriría modificaciones adicionales a las mencionadas.
- Los errores en los que incurre el sistema por mal direccionamiento del sistema fotovoltaico móvil durante la mañana y el atardecer, es decir, las horas fuera del alcance del sistema que muestra la figura 3.16 son muy bajas, y podrían ser hasta cierto punto despreciadas.

REFERENCIAS DEL CAPITULO

[1] Fundación Azul Ambientalistas: Terremotos.
<http://www.azulambientalistas.org/terremotos.html>

[2] Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y la Media Luna Roja. Preparativos para la temporada de Huracanes 2012.
http://cruzroja.org/temp_site/restaurado/images/stories/abril/huracan.jpg

[3] Energía solar concentrada aplicada a la producción de hidrógeno (1ª parte).
<http://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2011/06/01/131220>

Capítulo 4 : CONTROL AUTOMÁTICO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO MÓVIL

4.1 Introducción

Debido a la necesidad que el sistema fotovoltaico móvil que se está diseñando posea la capacidad de ser independiente y autónomo en sus controles de mando diario e instantáneo, se diseñará en este capítulo el automatismo que se encargará de darle al sistema la capacidad requerida para este tipo de inteligencia automática.

De acuerdo a esto, se ha pensado en colocar un Relé programable ZEN (OMRON), debido a que este posee la capacidad para controlar los tiempos, acciones y órdenes del sistema, además de ser un dispositivo compacto, confiable, sencillo de programar y de bajo consumo energético.

Primeramente, se definirá en este capítulo, cuales son los requerimientos que exige el sistema y con estos parámetros se definirá los comandos virtuales a programar en el Relé, así también, se definirán los controles físicos que tendrá el sistema en forma automática.

Se detallarán paso a paso como se programa el Relé programable, las funciones principales que este utiliza y las funciones especiales a utilizar para lograr la independencia de este sistema.

Al final de este capítulo obtendremos algunas conclusiones precisas y recomendaciones de uso para este sistema.

4.2 Requerimientos del sistema

A continuación se presentan los requerimientos más importantes del sistema por los que se diseñará el sistema automático, a cada uno se le dará la importancia debida y la solución adecuada.

- I. **“Encendido y apagado automático y ajustable fácilmente”**. Todos los días el sistema debe de ser capaz de dar un pulso para el encendido diario, además se incluirán dos encendidos más a horas estratégicas para que éste se encienda en el transcurso del día siempre y cuando esté en modo automático. En la figura 3.1 se ilustran los controles que se han pensado para esta necesidad.

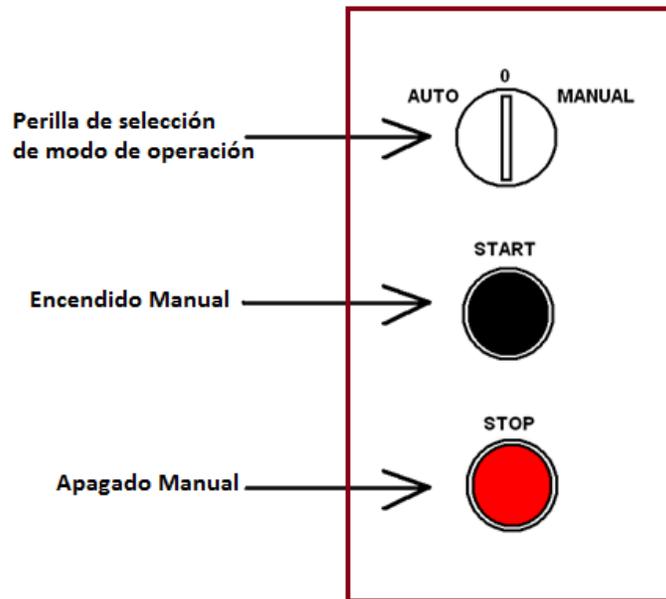


Figura 4.1 Encendido y apagado automático. [Elaboración propia]

- II. **“Auto-posicionamiento diario (a) (según se defina)”**. Todos los días el sistema deberá de posicionarse adecuadamente para esperar la salida del Sol desde el Este, es decir, como el sistema terminará el día orientado hacia el Oeste y ahí se quedará hasta que el sistema lo Auto-posicione correctamente esperando la nueva salida del Sol al próximo día. La figura 3.2 ilustra este movimiento requerido por el sistema móvil.



Figura 4.2 Auto-posicionamiento diario.

- III. **“Auto-posicionamiento diario (b) (según se defina)”**. Al igual que el literal anterior, el sistema también estará preparado para Auto-posicionarse por las tarde hacia el Oeste, esto es a favor de ayuda de las LDR's, Es decir, ya que si a estas fotorresistencias les da el Sol por el lado de atrás (que ocurriría si el sistema ha pasado apagado por la mañana) podría darse el caso que ninguna encontrara el verdadero punto luminoso, entonces el sistema se orientará hacia

el Oeste para que estas queden de frente al Sol por las tardes y así encontrar el punto de máxima insolación.

- IV. **“Referencia de hora y fecha.”** El sistema también requiere una referencia de Hora y Fecha para tener autonomía e inteligencia virtual de operación correcta de acuerdo a las necesidades presentadas anteriormente. El Relé ZEN posee esta ventaja la cual será aprovechada para suplir esta necesidad, la figura 3.3 ilustra este dispositivo.

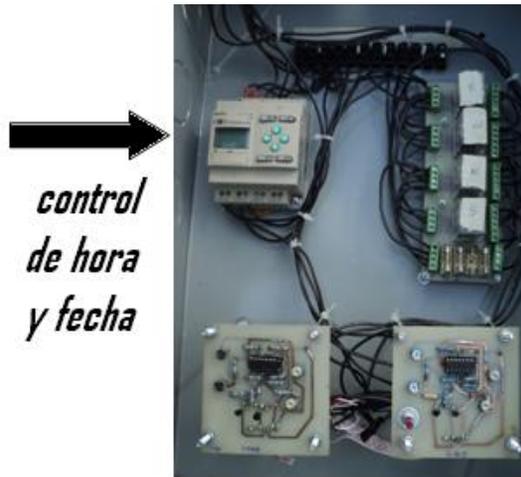


Figura 4.3 Relé ZEN programable para referencia de hora.

- V. **“Control inteligente del sistema por pulsos.”** El sistema trabajará por un sistema de impulsos, es decir que la parte de control de fuerza estará energizada solo cierta parte de tiempo para actualizar su posición con respecto al Sol y luego se desenergizará un tiempo, de esta forma, se ahorrará energía de consumo por el sistema de Relés de fuerza para los motores. El Sistema pasará 4 minutos con 50 segundos apagado y solo 10 segundos encendido para actualizar su posición con respecto al Sol. En la figura 4.4 se muestra un diagrama de tiempo donde se describe este proceso de operación.

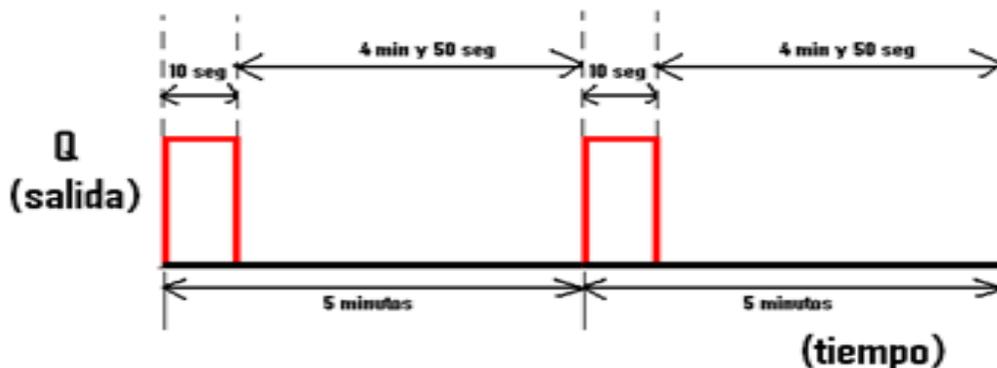


Figura 4.4 Diagrama de tiempo de pulsos programado. [Elaboración propia]

Para obtener todas estas ventajas y solventar las necesidades anteriormente presentadas se pensó en colocar un dispositivo ya mencionado que se detalla en la siguiente sección.

4.2.1 Relé programable ZEN

Este es un dispositivo inteligente capaz de almacenar programas en su memoria virtual específica para tal función, posee entradas y salidas según el modelo que se adquiera y funciones básicas y especiales bajo el mismo criterio mencionado. Este se muestra en la figura 4.5.



Figura 4.5 Imagen de Relé ZEN OMRON utilizado.

Para nuestro caso se describirá a continuación el modelo adquirido para realizar las funciones requeridas.

4.2.2 Descripción del relé programable ZEN adquirido

En la figura 4.6 se muestra la descripción física del Relé ZEN programable utilizado para los propósitos mencionados en los literales anteriores.

Donde:

- ✓ **Alimentador DC:** Puede alimentarse desde 12 VDC Hasta 24 VDC con un consumo Promedio de 4 Watts.
- ✓ **Entrada Común:** Sirve como referencia para todas las entradas Físicas del Relé.

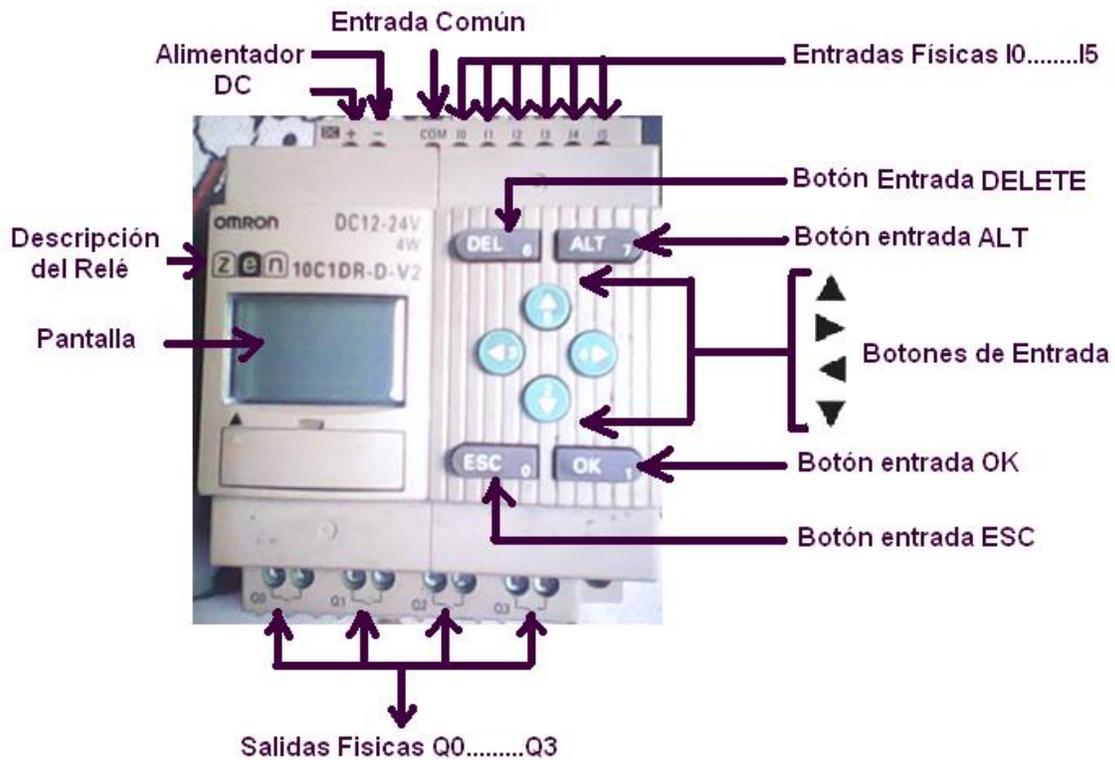


Figura 4.6 Descripción del relé programable

- ✓ **Entradas Físicas I0.....I5:** Sirven Para intercomunicar la parte física del sistema con la parte virtual del Programa.
- ✓ **Botón de entrada DELETE:** Elimina lo seleccionado.
- ✓ **Botón de entrada ALT:** Enlaza comandos y para Doble Función.
- ✓ **Botes de entrada:** Son para movimientos virtuales en el Relé.
- ✓ **Botón de entrada OK:** Afirmación.
- ✓ **Botón de entrada ESC:** Retrocede o salida.
- ✓ **Salidas Físicas Q0.....Q3:** Ejecutan las ordenes Programadas en el Relé.
- ✓ **Pantalla:** Transductor Visual.
- ✓ **Descripción del Relé:** Describe todo lo anterior, para nuestro caso lo presenta las figuras 4.7.

CPU Units

ZEN- C - -V2
 1 2 3 4 5

1. Number of I/O points

10: 6 inputs and 4 outputs (See note.)

20: 12 inputs and 8 outputs

2. Type classifier

1: Standard LCD type with display

2: LED type without display

3: Economy type with display
(Expansion I/O Units cannot be connected.)

4: Communications type with display

3. Input type

A: AC input

D: DC input

4. Output type

R: Relay

T: Transistor

5. Supply voltage

A: AC power supply

D: DC power supply

Note: The Communications-type CPU Unit has 6 inputs and 3 outputs.

Figura 4.7 Descripción técnica del Relé [1]

El PLC que hemos utilizado es el **ZEN 10C1DR-D-V2**, lo cual quiere decir que nuestro Relé posee diez entradas/salidas; (6 entradas y 4 salidas), es del tipo estándar con pantalla tipo LCD, se energiza con Voltaje DC en las entradas Físicas, es de salida tipo Relé y Finalmente, el voltaje de Suministro es Tipo DC (de 12 a 24 VDC).

4.2.2.1 Programación del ZEN

Existen dos formas de comunicarse con el ZEN o Relé programable a la hora de editar un programa; de forma manual o por medio de un intermediario, una PC.

Logicamente, la forma más amigable de programación es la segunda mencionada, la figura 4.8 es una muestra de este enlace de comunicación.

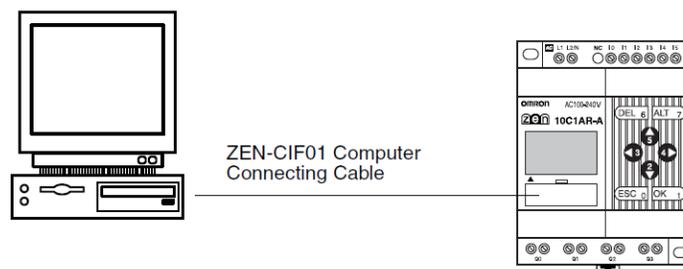


Figura 4.8 Comunicación entre una PC y el ZEN. [2]

Pero tal y como se muestra en la figura 4.8, es necesario la utilización de un cable especial de comunicación entre los dispositivos, con el cual no contamos en este momento, así que la forma de programación será del tipo manual.

4.2.2.2 Programación manual del ZEN

Primero describiremos algunas funciones básicas utilizadas y luego algunas funciones especiales con las cuales iremos formando nuestro programa, el cual se detallará paso a paso su edición.

4.2.2.2.1 Comandos Básicos De Programación

Estos son accionadores que intercomunican al Relé con las entradas ó las salidas y enlazan cada orden de forma que se ejecuta la secuencia deseada según sea programado. La figura 4.9 muestra los comandos básicos utilizados en nuestro programa.



Figura 4.9 Comandos Básicos De Programación

Estos comandos enlazan las funciones principales que se mostrarán a continuación.

4.2.3 Funciones principales utilizadas

Las principales funciones utilizadas son las que se presentan a continuación:

- I. M# = Salidas Virtuales (No Físicas).
- II. @# = Temporizador Semanal.
- III. TT# = Temporizador Generador de Pulsos

4.2.3.1 Salidas Virtuales

Las salidas virtuales, o más bien llamados, bits de trabajo, son para situaciones en las que se necesita ejecutar una acción intermedia entre el programa y una salida Física reteniendo las ordenes anteriormente dadas al sistema.

En nuestro caso, será útil para establecer el generador de impulsos y los controles de entrada, es decir, primeramente el programa ejecutará las ordenes de los controles de entrada y estas serán almacenadas, por así decirlo, en una salida virtual, la cual será procesada por el temporizador doble de pulsos posteriormente en la línea de comandos.

4.2.3.1.1 Temporizadores

El ZEN tiene integrados dos tipos de temporizadores; 16 temporizadores normales y 8 temporizadores de retención.

Temporizadores Normales

El valor actual temporizado se pondrá a cero cuando el temporizador pase del modo RUN al modo STOP, o bien al desconectar (OFF) la alimentación. Este tipo de temporizador tiene cinco modos de operación, que dependerán de la selección de función adicional a utilizar en el sistema.

Temporizadores de retención

El valor actual temporizado será retenido cuando el temporizador pase del modo RUN al modo STOP, o bien al desconectar (OFF) la alimentación. La temporización continuará cuando la entrada de disparo vuelva a ponerse en ON. Durante la desconexión del temporizador también se retendrá el estado ON del bit de temporizador.

Esta función es compatible solamente con temporizadores de retención de retardo a ON.

4.2.3.1.2 Temporizador Semanal

Para los temporizadores semanales es posible seleccionar entre tres formas de operación, que varían en función de la configuración del día de la semana, hora y tiempo de salida, a continuación se muestra en la figura 4.10 la forma de operación típica del temporizador, que por cierto, será la utilizada en nuestro caso.

En la figura 4.10 se ilustra el ejemplo de cómo el temporizador semanal (@) se pone en ON todos los días desde el martes hasta el viernes entre las horas de las 8:15 am hasta las 5:30 pm, todo esto, programado por el usuario.

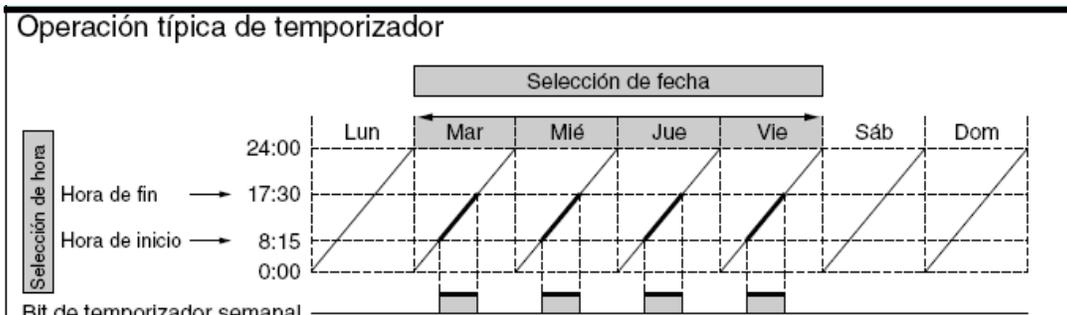


Figura 4.10 Diagrama de tiempo del temporizador semanal de uso normal. [3]

La figura 4.11 se muestra detalladamente la función en la pantalla del Relé cuando la forma de programación se hace manualmente.

Operación normal (N)

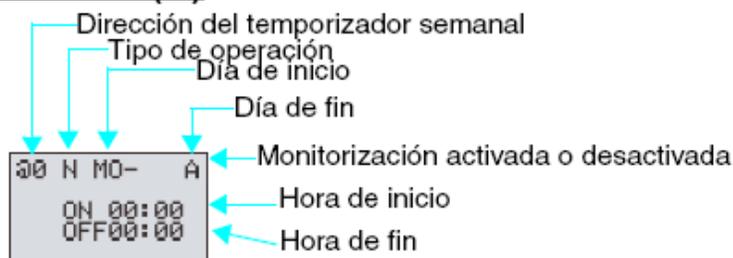


Figura 4.11 Descripción de temporizador semanal de operación normal. [4]

4.2.3.1.3 Temporizador doble o de pulsos.

Se pone repetidamente en ON y OFF en los intervalos configurados cuando la entrada de disparo está en ON. Los tiempos en ON y en OFF pueden configurarse por separado por el usuario. Los diagramas de tiempo correspondiente a este tipo de temporizador se muestran en las figuras 4.12 y 4.13 para esta aplicación.

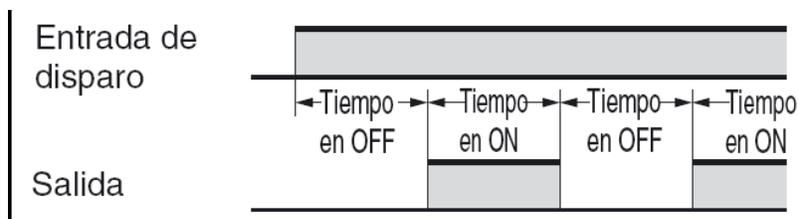


Figura 4.12 Diagrama de tiempo de temporizador doble. [5]

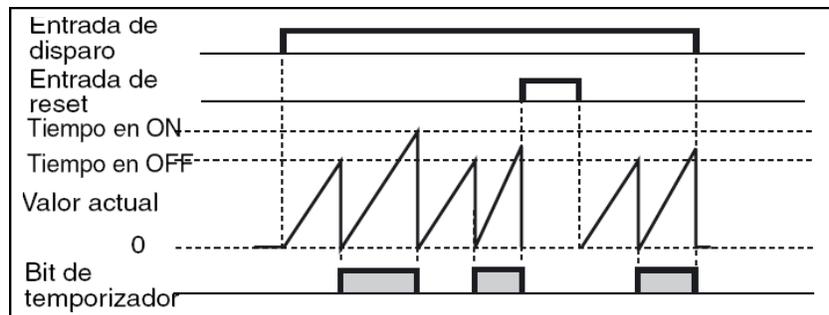


Figura 4.13 Diagrama de Tiempo de temporizador Doble. [6]

En la pantalla del ZEN se observará algo parecido a la figura 4.14 cuando se esté programando los parámetros para el uso de este tipo de temporizador.

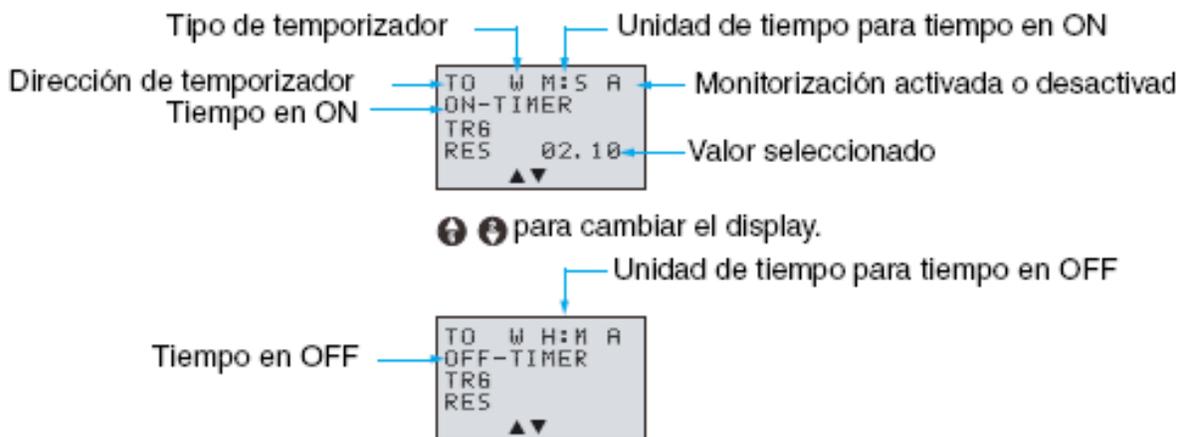


Figura 4.14 Descripción de programación del temporizador doble. [7]

4.2.4 Edición del programa

Para explicar mejor la edición del programa se llevará esta sección por partes, cada una se detallará la simbología utilizada y una breve explicación de cada uno de las partes editadas.

4.2.4.1 Parte I: línea de comandos principal.

Primeramente es necesario programar el encendido y apagado del sistema normalmente, el cual se hará por medio de la línea de comandos presentada en la figura 4.15.



Figura 4.15 Línea de comandos principal para encendido y apagado diario.[Elaboración propia]

Donde:

- I0: Es la entrada Start.
- I1: Es la entrada Stop.
- @0: Temporizador que controla el tiempo de operación durante el día.
- M0: Salida Virtual.

Explicación de Operación: El temporizador @0 se habilitará mientras sea el tiempo de operación del sistema durante el día que se le configure y si el Stop, que es un contacto normalmente cerrado Físicamente (contrario al contacto virtual) está en su posición normal, solo espera un pulso del Start para iniciar su operación. El Contacto abierto M0 enclava al sistema y funcionará mientras los demás contactos estén en operación correcta.

4.2.4.2 Parte II: línea de comandos principal con arrancadores diarios automáticos.

Ahora bien, por la necesidad que el sistema encienda a cualquier hora del día (en caso que estuviese apagado) se ha pensado en colocar tres temporizadores semanales en horas estratégicas durante el día, estos comandos son agregados a la figura 4.15 en la figura 4.16.

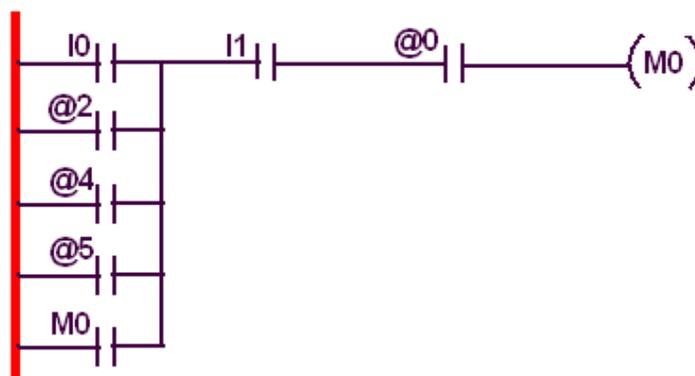


Figura 4.16 Línea de comandos principal completa. [Elaboración propia]

Donde:

- @2: Arrancador semanal programado de lunes a domingo a las 9: 00 am.
- @4: Arrancador semanal programado de lunes a domingo a las 11: 00 am.
- @5: Arrancador semanal programado de lunes a domingo a las 2: 00 pm.

Explicación de operación: Además del Start I0 manual, ahora tiene los Temporizadores semanales @2 (a las 9:00 AM), @4 (a las 11:00 AM) y @5 (a las 2:00 PM) que son pulsos que sirven como Starts para el sistema; su duración es de 1 minuto, luego el sistema se queda enclavado por medio de M0 tal y como lo muestra la figura 4.15.

4.2.4.3 Parte III: Extensión de línea de comandos principal completa

Ahora bien, también el sistema debe de obedecer otra entrada, es decir, la perilla de control automático también es un requisito para que el sistema funcione en esta forma de operación automática, debido a esto se ha colocado otra línea de comandos que se muestra en la figura 4.17.

Cabe mencionar en este momento que las extensiones y demás líneas de comandos no se agregan en una sola porque cada línea de comandos es limitada a cuatro elementos por línea, es de ahí la necesidad suplida por los bits de trabajo (tipo M#) para retener ordenes de una línea y trasladarla hacia otra.



Figura 4.17 Línea de comandos principal extendida. [Elaboración propia]

Donde:

- M0: Salida virtual que recoge las ordenes anteriores.
- I2: Perilla De control Automático / Manual
- M2: Salida Virtual de Protección Contra corto circuito.
- M1: Salida Virtual.

Explicación de operación: El modo en que opera esta línea de programación es similar a las anteriores, M0 recoge las órdenes de las líneas anteriores, y entonces, si I2 está en la posición de automático y M2 está en la posición normal entonces M1 se energizará. M2 funciona como un modo de seguridad, por cual, como se verá más adelante, protege al sistema de potencia contra un movimiento doble al mismo tiempo, que en su caso, podría ocasionar un corto circuito en el sistema de potencia.

Nota:

Observar que ésta línea de comandos no tiene enclavamiento. Esto se debe a que obedece al enclavamiento de la línea anterior, es decir de M0, por lo cual, si M0 está enclavado, este también permanecerá así, y si éste fuera des-energizado por uno de sus órdenes de entrada, así mismo, M1 obedecerá esta orden deteniendo su operación virtual.

4.2.4.4 Parte IV: Auto-posicionamientos diario (Este y Oeste).

Lo siguiente era diseñar el automatismo para los auto-posicionamientos diarios, el cual se define con la línea de comandos de la figura 4.18.

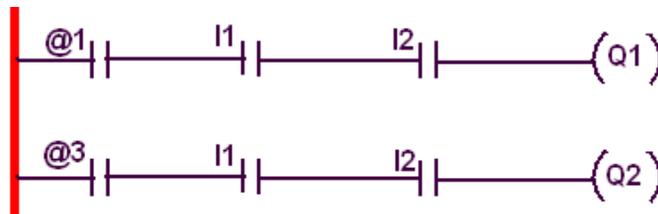


Figura 4.18 Línea de comandos para auto posicionamientos diario. [Elaboración propia]

Donde:

- @1: Temporizador semanal para posicionamiento Hacia el Este.
- @3: Temporizador semanal para posicionamiento Hacia el Oeste.
- I1 e I2: Los antes descritos.
- Q1: Salida Física que Orienta al sistema Hacia el Este.
- Q2: Salida Física que Orienta al sistema Hacia el Oeste.

Explicación de operación: Los Temporizadores Semanales @1 y @3 se programarán para que se activen a las horas configuradas para su auto-posicionamiento siempre y cuando el Stop y la perilla de control automático estén en la posición correcta (tentativamente será @1 a las 6:30 pm y @2 a las 1:59 pm).

4.2.4.5 Parte V: Automatismo para Temporizador Doble o de Impulsos.

Por último, se necesita programar un temporizador doble para que éste tenga la capacidad de ahorrar energía alternando el tiempo de pagado y encendido del sistema de potencia. Las líneas de comandos presentadas en la figura 4.19 son las encargadas de realizar esta función requerida.

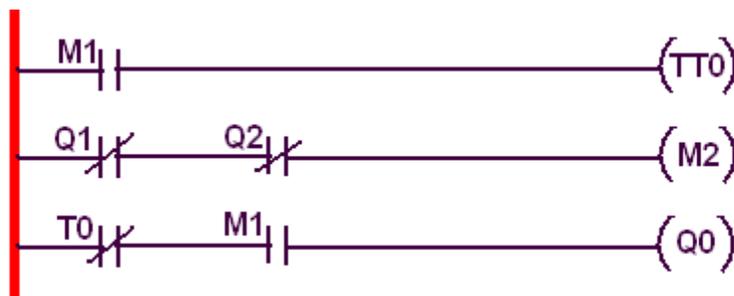


Figura 4.19 Línea de comandos para temporizador Doble. [elaboración propia]

Donde:

- M1: Lo anteriormente descrito.
- TT0 y T0: Temporizador Doble (de On / Off programable)
- Q1 y Q2: Lo antes descrito.
- M2: Salida Virtual.

- Q0: Salida Física que ejecuta las ordenes del sistema.

Explicación de operación: M1 recoge las líneas anteriores de mando y si todo está correctamente posicionado energiza al Temporizador doble TT0 el cual está configurado para que opere 10 segundos en Off y 4 Minutos con 50 segundos en On, los cuales, se ven invertidos debido al contacto normalmente cerrado de T0 en la línea de comandos de la figura 4.19, la razón de esto es porque el temporizador comienza en el modo Off primero, de esta forma, se logra que el sistema en el inicio de ser energizado opere por 10 segundos y luego espere 4 minutos con 50 segundos para activarse nuevamente, y así periódicamente en adelante.

4.2.4.6 Parte VI: Programa final de sistema automático.

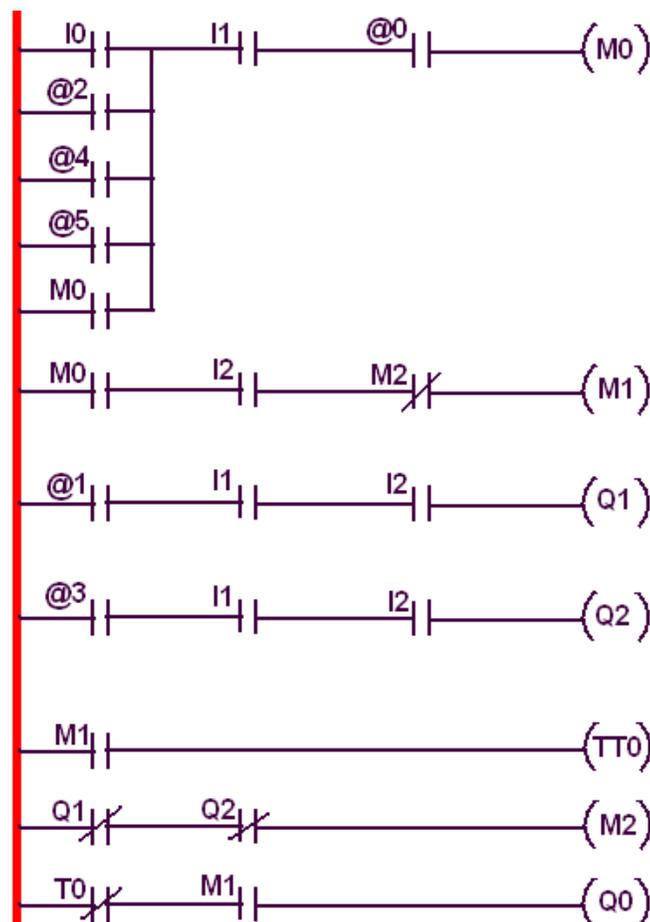


Figura 4.20 Programa completo que controlará al sistema FV Móvil. [Elaboración propia]

La figura 4.20 recoge todas las líneas de comando anteriores y las presenta en una sola imagen tal y como está programada en el Relé ZEN utilizado como cerebro del sistema automático para esta proyecto.

Nota:

La línea roja en el extremo izquierdo significa la señal de voltaje o de energización del sistema. Así, en el programa de simulación que se presentara más adelante cada vez que uno de los comandos está activo, aparece entre sus terminales una línea roja similar a la mostrada en la figura 4.20. En la pantalla del logo, como carece de colores, solo se vuelve más gruesa o negritas las líneas de comandos que se encuentran energizadas cuando se está observando al Relé en modo de operación en tiempo real.

La descripción de los comandos escritos en este programa se presenta a continuación:

Descripción del Programa Controlador del Sistema

Entradas Físicas del Relé

I0: Start
I1: Stop
I2: Perilla de Auto / Manual

Temporizadores semanales virtuales

@0: On / Off Diario (controla la hora de operación)
@1: Reset Diario (Habilita Posicionamiento Hacia el Este)
@2: }
@4: } Arrancadores diarios (Por si estuviese apagado)
@5: }
@3: Orientacion Por la tarde (posicionamiento Hacia el Oeste)

Salidas Virtuales del Relé

M0: }
M1: } Salidas Virtuales (No Físicas)
M2: }

Generador De Pulsos

TT0 y T0: Temporizador Tipo Pulso.

Salida física del Relé

Q0: Controla El Sistema
Q1: Controla La orientación Hacia el Este
Q2: Controla La orientación Hacia el Oeste

Todas y cada una de las funciones escritas en estas líneas de comandos fueron probadas anteriormente a la ejecución en un software llamado LOGO SOFT COMFORT de la

empresa SIEMENS. En la figura 4.21 se muestra la pantalla de presentación de este simulador mencionado.



Figura 4.21 Pantalla de presentación de simulador Logo Soft Comfort

Este simulador puede ser de mucha ayuda en caso de querer practicar algún programa que se esté diseñando y que no se tiene la seguridad que funcione correctamente.

4.3 Conclusiones del capítulo

El programa diseñado satisface las necesidades que se plantearon al inicio de este capítulo. Cada línea de comandos ha sido diseñada de acuerdo a las necesidades surgidas antes y durante la ejecución del mismo. La forma más sencilla de programación para un Relé programable o ZEN, o comúnmente llamado “LOGO” es de manera virtual con una PC debido a la forma amigable de los simuladores tal y como el presentado al final de este capítulo, además que se puede simular el funcionamiento del programa antes de llevarlo a la práctica.

El programa diseñado está abierto a modificaciones futuras para mejorar su operación. Claro que es necesaria la debida autorización y el entendimiento completo de manipulación del mismo para este propósito. El sistema es autónomo, es decir, no necesita supervisión diaria para su funcionamiento correcto normal, sino más bien, debido a la confiabilidad que el sistema presenta se puede verificar su funcionamiento en un tiempo prolongado.

REFERENCIAS DEL CAPITULO

- [1] Hoja de datos Relé Programable ZEN. Pag 1.
- [2] ZEN SOFT01-V4 ZEN Support Software Operation Manual. Pág. 59
- [3] Relé programable ZEN. Manual de operacion. Pág. 81
- [4] Relé programable ZEN. Manual de operacion. Pág. 83
- [5] [6] Relé programable ZEN. Manual de operacion. Pág. 75
- [7] Relé programable ZEN. Manual de operacion. Pág. 76

Capítulo 5 : EVALUACIÓN DE RESULTADOS

5.1 Monitoreo de datos

La instalación fotovoltaica aislada de la Escuela de Ingeniería Eléctrica será objeto de nuestro estudio en este capítulo. Esta instalación cuenta con 2 paneles fotovoltaicos policristalinos de 200W cada uno; de los cuales uno ha sido utilizado para proporcionarle el seguimiento solar. Cada uno de estos paneles fotovoltaicos será conectado por separado con un controlador de carga PHOCOS CX-40, que a su vez estarán conectados independientemente con dos baterías de 6V en serie; y estarán alimentando por separado una carga de 11 – 44 Watts cada uno. La medición se efectuará sobre las variables de voltaje y corriente tanto de ambos paneles como de las cargas. Así también se monitoreará la irradiancia solar en ambos paneles, ubicando un piranómetro en cada panel. El esquema de las mediciones en esta instalación fotovoltaica se muestra en la figura 5.1.

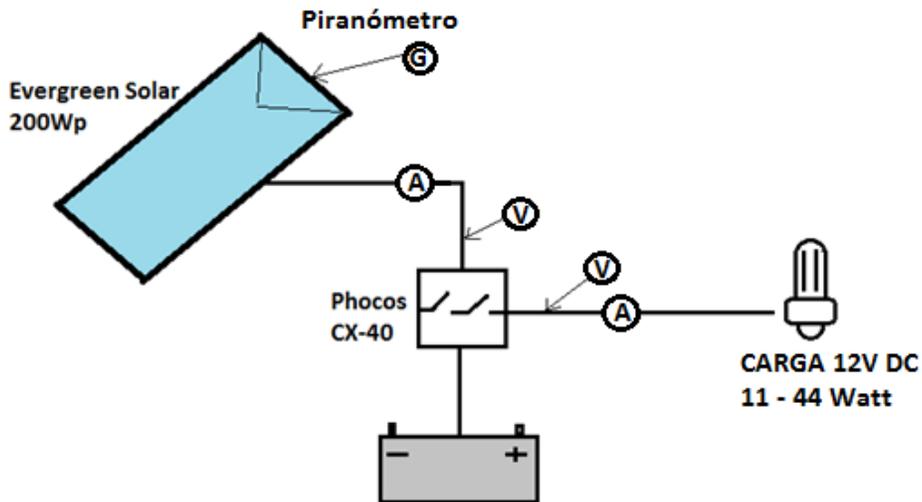


Figura 5.1 Esquema de medición implementado en la instalación fotovoltaica aislada. [Elaboración propia]

Los equipos de medición y los elementos de la instalación fotovoltaica que se estudiaron se muestran en la tabla 5.1

Tabla 5.1 Elementos utilizados en la instalación fotovoltaica y en la medición

ELEMENTOS UTILIZADOS	FOTOGRAFÍA
Panel Evergreen Solar 200W (uno fijo y uno con seguimiento solar)	

Controlador de carga PHOCOS CX-40 (uno para el sistema fijo y uno para el sistema móvil)



CFL 12V DC 11W (4 para cada sistema)



Baterías de 12V (2 de 6V en serie para cada sistema)



Autómatas C16 en cables de paneles y cargas. (independientes el sistema fijo y el móvil)



Amperímetros analógicos (2 para los paneles y 2 para las cargas). Además de proporcionar una medida instantánea de la corriente DC, son útiles para monitorear dicha corriente por medio de un datalogger, al presentar un voltaje en sus terminales proporcional al valor de la corriente.



Cuchillas con fusibles 80 A (una para cada sistema)



Tomacorrientes superficiales (12V DC, uno para cada sistema)



Datalogger KEITHLEY 2700 con módulo 7700 de 20 canales.



Computadora con el software KEITHLEY instalado.



El sistema de seguimiento solar fue monitoreado 6 semanas junto con el sistema fotovoltaico fijo, permitiendo hacer una justa comparación de los parámetros que nos interesan, como lo son irradiación solar, producción de los paneles, etc. Durante este tiempo, un datalogger KEITHLEY 2700 se instaló en el laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas, junto con una computadora que extraía los datos constantemente, a fin de evitar pérdidas de los mismos.

El software utilizado fue el programa KEITHLEY STARTUP SOFTWARE, de KEITHLEY INSTRUMENTS ® (figura 5.2), el cual requiere la computadora operando todo el tiempo y conectada mediante el puerto serial RS232 con conectores DB-9. Fue necesario descargar el programa a utilizar debido a que la computadora empleada cuenta con un sistema operativo Microsoft Windows 98, sistema en el cual no se puede instalar el software que acompaña al datalogger en su CD, puesto que requiere un sistema operativo más reciente. Además, debido a los problemas de corte de energía, se vio en la necesidad de conectar un UPS tanto a la PC como al equipo.

Como se ha utilizado el modulo 7700 que acompaña al datalogger para monitorear más de un canal, los valores máximos de medición se ven afectados. La tabla 5.2 muestra los máximos valores de voltajes y corrientes para el modulo 7700.

Tabla 5.2 Niveles máximos de señal de entrada para el modulo KEITHLEY 7700. [2]

Canal de entrada	Nivel de señal máximo
Canales 1-20	300V DC o RMS, 1A conmutado, 60W, 125 VA máximo.
Canales 21-22	60V DC o RMS, 3A conmutado, 60W, 125 VA máximo.

Es necesario antes de utilizar este programa, configurar la lista de canales a monitorear, así como el parámetro que nos interesa, sino hacemos esto corremos el riesgo de tomar las mediciones que vienen por defecto, las cuales son para medir corriente, lo que puede ocasionar un cortocircuito en el equipo y en el sistema, provocando que se dañe la tarjeta del multiplexor.

Se instalaron ambos sistemas, el fijo y el móvil, con igual carga de alumbrado (focos 12V DC) y 2 baterías de 6V en serie cada uno. Los paneles son iguales (200W) y del mismo tipo. El esquema que muestra la forma de interconexión de los dispositivos es como sigue:

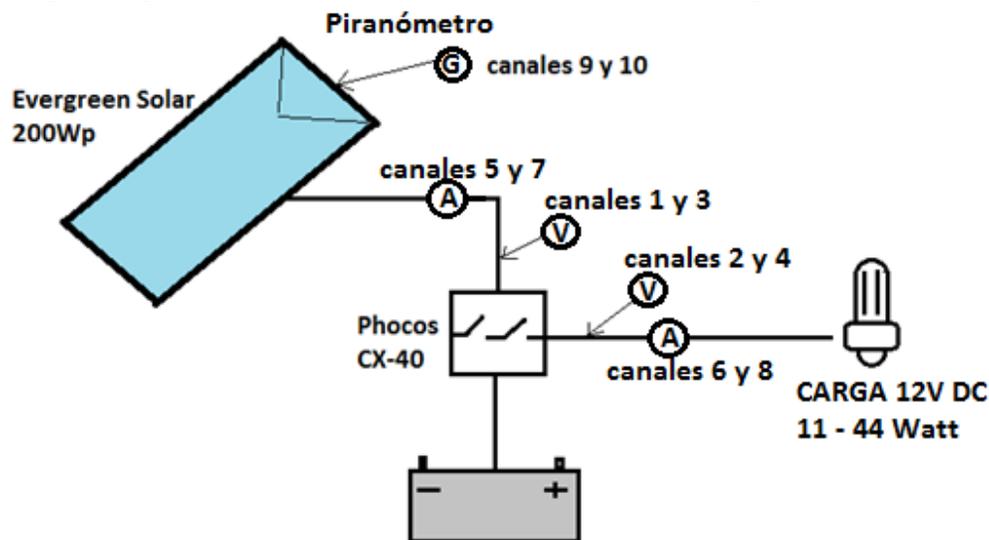


Figura 5.4 Esquema de conexión tanto del sistema fijo como del móvil. Ambos están conectados igual, con cargas independientes. Se muestran los canales respectivos en el datalogger. En cada caso, el primer número corresponde al sistema fijo y el segundo al móvil. [Elaboración propia]

En nuestro caso se monitoreó el comportamiento de 10 variables eléctricas, que describimos en la siguiente tabla:

Tabla 5.3 Descripción de los canales monitoreados. [Elaboración propia]

N° de Canal (en el multiplexor)	Variable monitoreada.	Constante de interpretación *
1	Voltaje de panel fijo	1 V/V
2	Voltaje de carga de panel fijo	1 V/V
3	Voltaje de panel móvil	1 V/V
4	Voltaje de carga de panel móvil	1 V/V
5	Corriente de panel fijo	0.0026456 V/A **
6	Corriente de carga de panel fijo	0.0027635 V/A **
7	Corriente de panel móvil	0.0026964 V/A **
8	Corriente de carga de panel móvil	0.0026962 V/A **
9	Voltaje de piranómetro fijo	10.306 $\mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$.
10	Voltaje de piranómetro móvil	10.656 $\mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$

* Dado que las corrientes que necesitábamos monitorear excedían los 3A máximo que se pueden medir con el datalogger, optamos por utilizar las resistencias shunt de los amperímetros analógicos usados para mostrar la corriente en tiempo real tanto de los paneles como de las cargas, convirtiendo la corriente en voltajes pequeños DC, para luego convertir nuevamente los datos en corrientes DC con la resistencia en ohm de dichas resistencias.

En el caso de los piranómetro, la constante de calibración certificada es de $10\mu \frac{\text{V}}{\frac{\text{W}}{\text{m}^2}}$, pero la constante utilizada para nuestros cálculos se obtuvo experimentalmente.

**Estos valores son de resistencia (ohm) de los amperímetros, obtenida experimentalmente tomando mediciones de voltaje y corriente con Multímetros.

5.2 Calibración de piranómetros.

Se realizó una medición de irradiación solar a fin de determinar la constante de calibración experimental de los piranómetros utilizados. Para este fin fue necesario utilizar el piranómetro patrón proporcionado por la EIE y realizar mediciones paralelas con los piranómetros empleados en el registro.

El proceso duró una hora, durante la cual los 2 piranómetros utilizados en nuestro monitoreo se dispusieron para tomar mediciones de irradiación al mismo tiempo y en el mismo lugar y posición que el piranómetro patrón, registrando los valores de voltaje con voltímetros separados. Una de las consideraciones básicas es que debe ser en un lugar lo más despejado posible a fin de no arrojar sombras sobre los dispositivos ni reflejos provenientes de paredes, árboles, rótulos, etc. Se eligió una ubicación para este fin un predio cercano de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, al Norte de la misma. Los piranómetros se instalaron en una superficie horizontal, para medir la irradiancia global.

Durante una hora se tomaron mediciones de los 3 dispositivos, cada minuto. Esta medición se realizó entre las 9:25 y las 10:25 el día viernes 4 de mayo de 2012, con el cielo nublado.

Tabla 5.4 Mediciones realizadas para calibración de piranómetros. [Elaboración propia]

Voltaje piranómetro #3	Voltaje piranómetro #4	Voltaje piranómetro patrón	Constante de calibración #3	Constante de calibración #4
2.8	2.9	3.3	1.10303E-05	1.14242E-05
2.8	2.8	3.3	1.10303E-05	1.10303E-05
2.8	2.8	3.3	1.10303E-05	1.10303E-05
2.8	2.9	3.4	1.07059E-05	1.10882E-05
2.9	2.9	3.4	1.10882E-05	1.10882E-05
2.8	2.9	3.5	1.04000E-05	1.07714E-05
3	3	3.5	1.11429E-05	1.11429E-05
3	3	3.5	1.11429E-05	1.11429E-05
3	3	3.6	1.08333E-05	1.08333E-05
2.9	3	3.6	1.04722E-05	1.08333E-05
3	3	3.6	1.08333E-05	1.08333E-05
3	3	3.6	1.08333E-05	1.08333E-05
3	3	3.6	1.08333E-05	1.08333E-05
3.1	3.1	3.6	1.11944E-05	1.11944E-05
3.1	3.1	3.6	1.11944E-05	1.11944E-05
3.1	3.1	3.7	1.08919E-05	1.08919E-05
3	3.1	3.8	1.02632E-05	1.06053E-05
3.2	3.2	3.8	1.09474E-05	1.09474E-05
3	3.2	3.9	1.00000E-05	1.06667E-05
3.2	3.2	3.9	1.06667E-05	1.06667E-05
3.3	3.3	3.9	1.10000E-05	1.10000E-05
3.3	3.3	3.9	1.10000E-05	1.10000E-05
3.3	3.3	3.9	1.10000E-05	1.10000E-05
3.3	3.3	3.9	1.10000E-05	1.10000E-05
2.9	3.2	4	9.42500E-06	1.04000E-05
2.9	3.2	4	9.42500E-06	1.04000E-05
3	3.2	4	9.75000E-06	1.04000E-05
3.1	3.2	4	1.00750E-05	1.04000E-05
3.4	3.4	4	1.10500E-05	1.10500E-05
3	3.2	4.1	9.51220E-06	1.01463E-05
3	3.2	4.1	9.51220E-06	1.01463E-05
3	3.3	4.1	9.51220E-06	1.04634E-05
3.1	3.3	4.1	9.82927E-06	1.04634E-05
3.2	3.4	4.1	1.01463E-05	1.07805E-05
3	3.3	4.2	9.28571E-06	1.02143E-05
3.1	3.3	4.2	9.59524E-06	1.02143E-05
3.1	3.3	4.2	9.59524E-06	1.02143E-05
3.2	3.4	4.2	9.90476E-06	1.05238E-05

3.5	3.5	4.2	1.08333E-05	1.08333E-05
3.2	3.4	4.3	9.67442E-06	1.02791E-05
3.5	3.6	4.3	1.05814E-05	1.08837E-05
3.3	3.5	4.4	9.75000E-06	1.03409E-05
3.4	3.6	4.4	1.00455E-05	1.06364E-05
3.4	3.6	4.4	1.00455E-05	1.06364E-05
3.4	3.6	4.4	1.00455E-05	1.06364E-05
3.6	3.7	4.4	1.06364E-05	1.09318E-05
3.4	3.5	4.5	9.82222E-06	1.01111E-05
3.9	3.9	4.7	1.07872E-05	1.07872E-05
4.3	4.3	5.2	1.07500E-05	1.07500E-05
4.7	5	6.3	9.69841E-06	1.03175E-05
4.8	5.1	6.4	9.75000E-06	1.03594E-05
5	5.2	6.7	9.70149E-06	1.00896E-05
5.7	5.7	7	1.05857E-05	1.05857E-05
5.4	5.7	7	1.00286E-05	1.05857E-05
6.1	6.4	8.1	9.79012E-06	1.02716E-05
7.1	7.2	8.8	1.04886E-05	1.06364E-05
8.7	9.4	12.5	9.04800E-06	9.77600E-06
10	10.5	13.3	9.77444E-06	1.02632E-05
10.1	10.9	13.8	9.51449E-06	1.02681E-05
11.5	12.3	15.2	9.83553E-06	1.05197E-05
promedio			1.03057E-05	1.06561E-05

Una vez realizadas las mediciones y contando con la constante de calibración del piranómetro patrón, la cual es de 13uV/W/m2 simplemente se calculó para cada lectura su valor de constante de calibración con la siguiente fórmula:

$$ctex = \frac{Vx}{Vxpat} (cte_pat)$$

Donde:

Ctex= valor de la constante para una medición “x”

Vx= valor del voltaje obtenido en la medición “x” con el piranómetro a calibrar

Vxpat= valor de voltaje obtenido en la medición “x” con el piranómetro patrón

Cte_pat= constante de calibración del piranómetro patrón.

Esta fórmula se deduce del hecho de que a partir de una lectura del voltaje del piranómetro patrón podemos obtener mediante su constante, el valor de la irradiación global real. Luego, como esta irradiación es la misma obtenida con el piranómetro a calibrar, y corresponde con el voltaje obtenido por este último, simplemente calculamos la razón entre el voltaje obtenido y la irradiación real.

5.3 Resultados obtenidos.

5.3.1 Datos de Irradiancia.

Luego de realizar mediciones de irradiación tanto en el panel fijo como en el que cuenta con seguidor solar, presentaremos los resultados obtenidos de forma gráfica. Es impráctico

presentar aquí las tablas de resultados obtenidos por su tamaño, así que presentamos las graficas generadas en una hoja electrónica, tomando en cuenta las constantes de calibración de los piranómetros ya mencionadas y calculadas anteriormente.

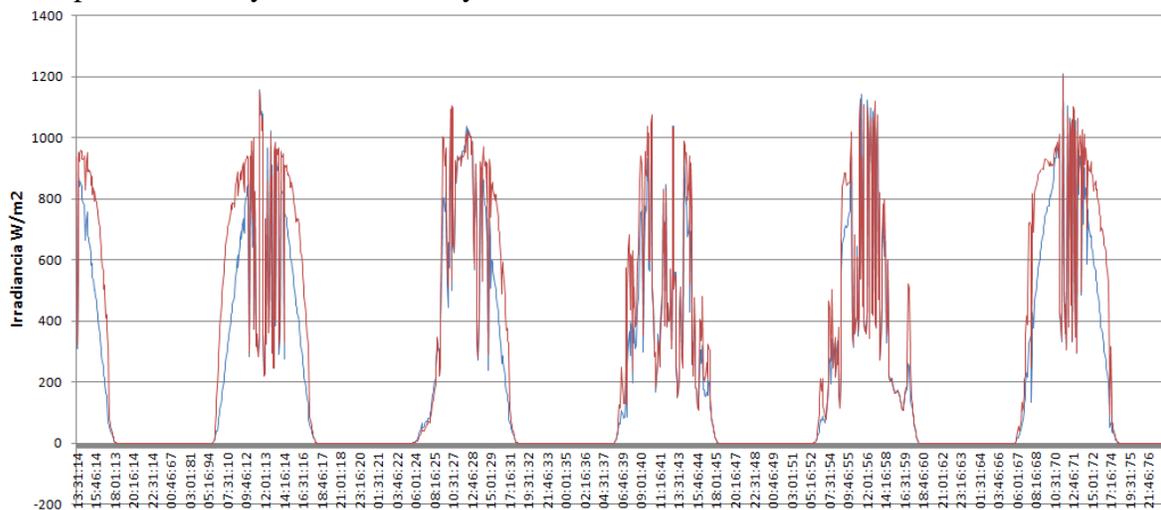


Figura 5.5 Irradiancia medida panel fijo vs panel móvil. 30 de marzo al 4 de abril de 2012

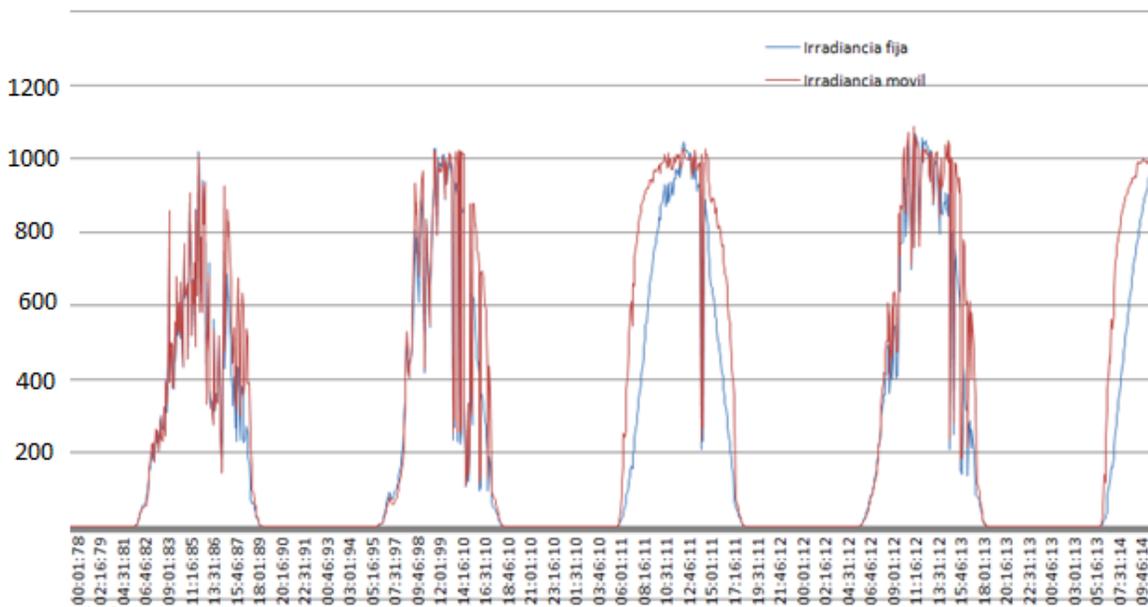


Figura 5.6 Irradiancia medida panel fijo vs panel móvil. 5 al 9 de abril de 2012

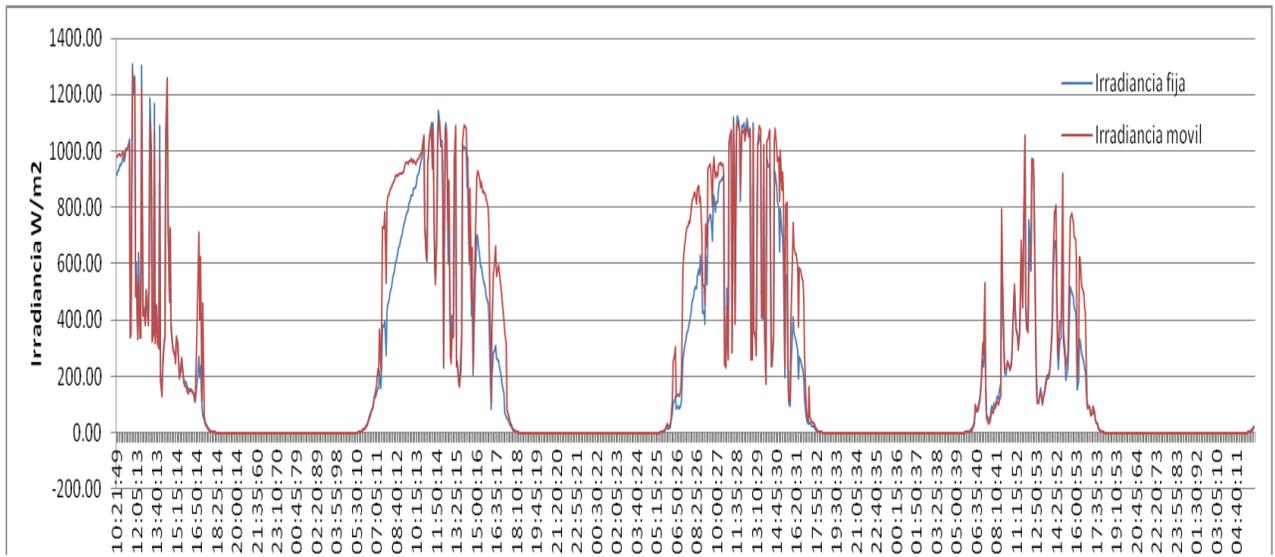


Figura 5.7 Mediciones de irradiación del 10 al 13 de abril de 2012

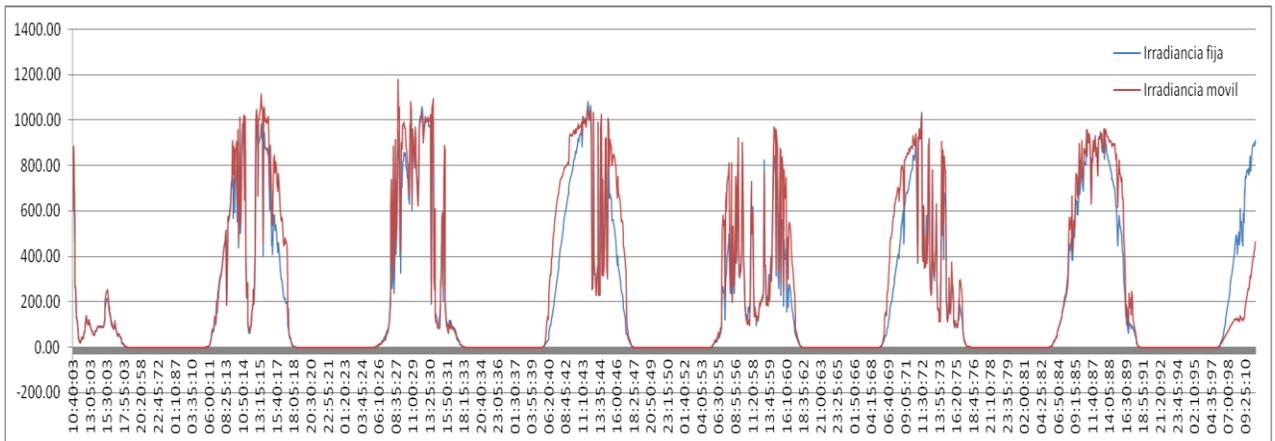


Figura 5.8 Mediciones de irradiación del 16 al 23 de abril de 2012

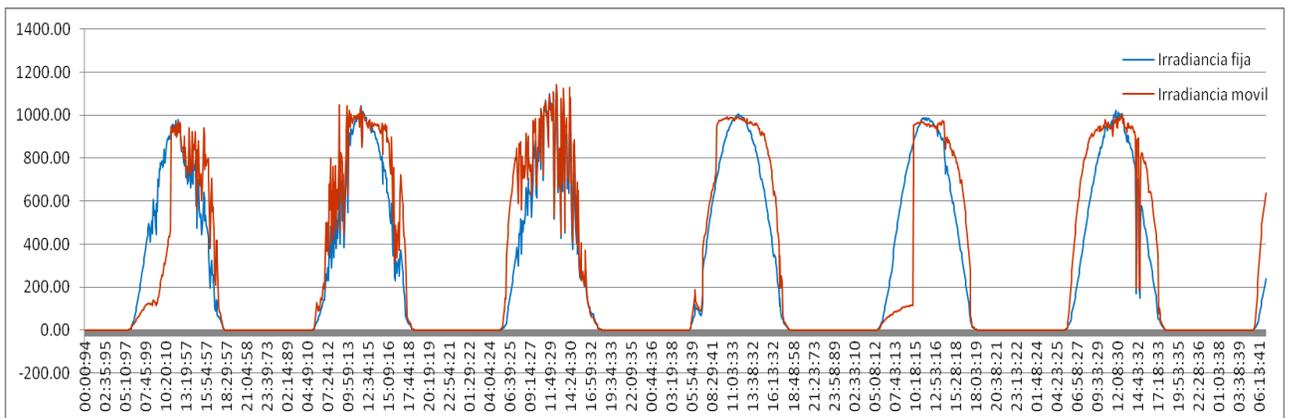


Figura 5.9 Mediciones de irradiación del 23 al 29 de abril de 2012

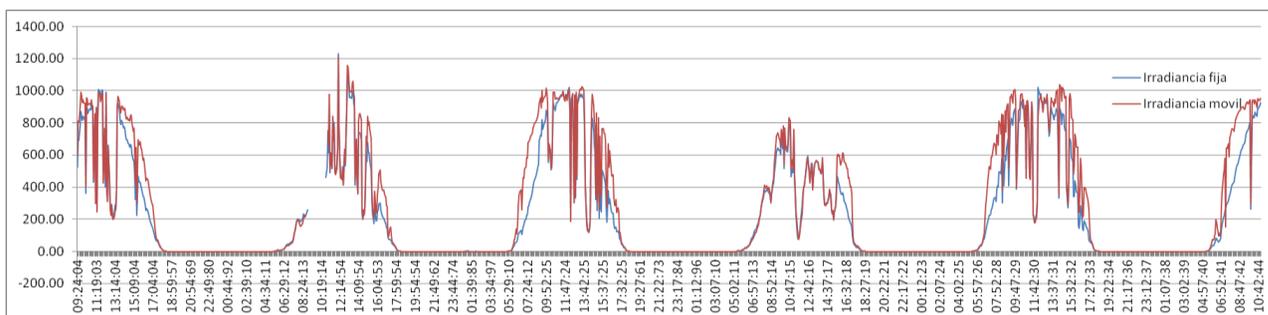


Figura 5.10 Mediciones de irradiación del 2 al 7 de mayo de 2012

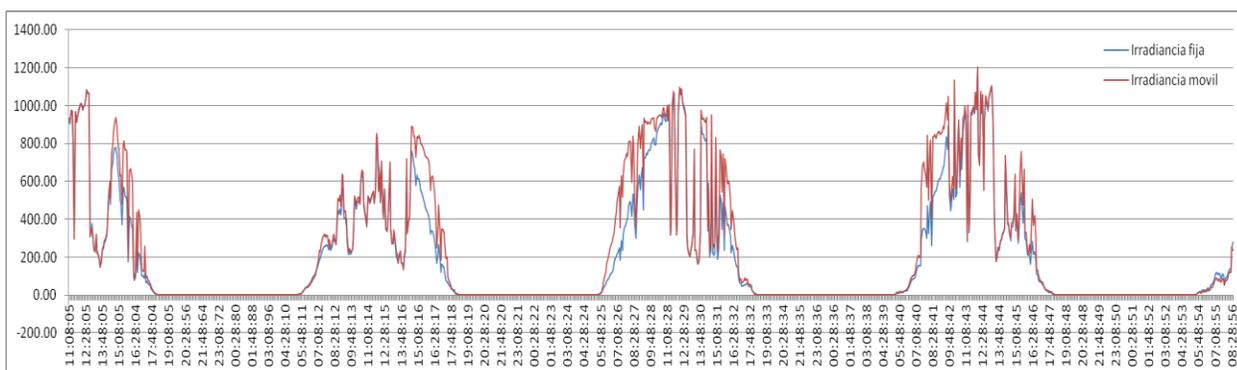


Figura 5.11 Mediciones de irradiación del 7 al 10 de mayo de 2012

5.3.2 Datos de insolación diaria.

Tabla 5.5 Valores de Insolación diaria del mes de abril.

Insolación diaria mes de abril *** Wh/m ²				
Observación	fecha	Insolación panel fijo	Insolación panel móvil	incremento
Parcial**	30-mar	2002.137685	2891.212364	44.4%
	31-mar	5792.111625	7638.273802	31.9%
	01-abr	5885.313768	6760.085598	14.9%
	02-abr	4653.476419	5406.873588	16.2%
	03-abr	4722.810763	5155.709663	9.2%
	04-abr	6326.763663	8041.703111	27.1%
	05-abr	4657.637373	5117.115131	9.9%
	06-abr	5498.086722	6169.052572	12.2%
	07-abr	7096.148491	9420.893436	32.8%
Parcial**	08-abr	6735.337804	7675.174819	14.0%
Parcial**	10-abr	3525.513542	3655.42279	3.7%
	11-abr	6329.971226	7809.848377	23.4%
	12-abr	6218.847238	7559.668172	21.6%
	13-abr	2873.947961	3301.144567	14.9%
Falla	23-abr	6254.420378	5439.401029	-13.0%

	24-abr	6936.13436	8290.581156	19.5%
	25-abr	6526.147277	7926.221649	21.5%
	26-abr	7256.669145	8547.25605	17.8%
Falla	27-abr	7184.481878	6536.452214	-9.0%
	28-abr	6973.285634	8936.228917	28.1%
Parcial**	29-abr	153.6008258	534.6782408	248.1%
Promedio*		5849.823444	7072.043719	20.9%

*El valor promedio diario solo toma en cuenta las mediciones en días completos y sin fallas.

**parcial: día monitoreado parcialmente. Falla: error en seguidor.

*** Debido a fallas en el suministro eléctrico, no se efectuó el monitoreo durante todos los días.

Para el caso del mes de abril, hemos percibido un incremento en la irradiación diaria promedio del 20.9% en el panel móvil en relación con el panel fijo. Es notorio que para días nublados el incremento en la insolación solar utilizando el seguidor es menor que en días soleados. El mayor incremento percibido fue del 32% para el día 7 de abril (igualmente el 31 de marzo), que fue un día soleado, mientras que el menor incremento (bajo operación normal) fue el día 3 de abril, del 9%; fue un día muy nublado.

Tabla 5.6 Valores de Insolación diaria del mes de mayo.

Insolación diaria mes de mayo en Wh/m²				
observación	fecha	Insolación panel fijo	insolación panel móvil	incremento
Parcial**	02-may	4625.82	5330.03	15.2%
Parcial**	03-may	3675.19	4035.20	9.8%
	04-may	5786.11	7248.12	25.3%
	05-may	4140.00	4612.81	11.4%
	06-may	6279.23	7706.36	22.7%
	07-may	5661.86	6987.84	23.4%
	08-may	4151.25	4891.53	17.8%
	09-may	5543.04	6817.30	23.0%
	10-may	5474.54	6382.52	16.6%
Parcial**	11-may	3534.48	3897.69	10.3%
	12-may	5815.82	6682.48	14.9%
	13-may	5162.33	5496.87	6.5%
	14-may	6396.78	7843.18	22.6%
	15-may	3321.56	3431.45	3.3%
Parcial**	16-may	610.64	697.99	14.3%
promedio mayo *		5248.412602	6190.950574	18%

*El valor promedio diario solo toma en cuenta las mediciones en días completos.

**parcial: día monitoreado parcialmente.

En las mediciones realizadas el mes de mayo experimentamos un incremento en la insolación diaria promedio del panel móvil del 18% respecto del panel fijo. La mayor diferencia se muestra el día 4 de mayo con el 25% mientras que la menor es de aproximadamente el 3% el 15 de mayo. Para estos cálculos hemos omitido los valores correspondientes a días monitoreados parcialmente, o que por motivos de mantenimiento o revisión se obtuvieron valores falsos, como el caso del 3 de mayo, en el que se desconectaron los piranómetros para realizar la calibración.

Es necesario hacer un monitoreo durante al menos un año completo para poder evaluar el incremento por mes y el promedio en el año; a partir de esto se pueden desarrollar análisis económicos con el incremento de producción anual.

Para hacer una comparación rápida con mediciones de insolación para el mes de abril encontramos el siguiente mapa de radiación solar en El Salvador para ese mes, de hace algunos años. La figura 5.12 muestra que para San Salvador hay valores de hasta 5.9 kWh/m², dato que es congruente con nuestra medición para ese mes de 5.95 kWh/m².

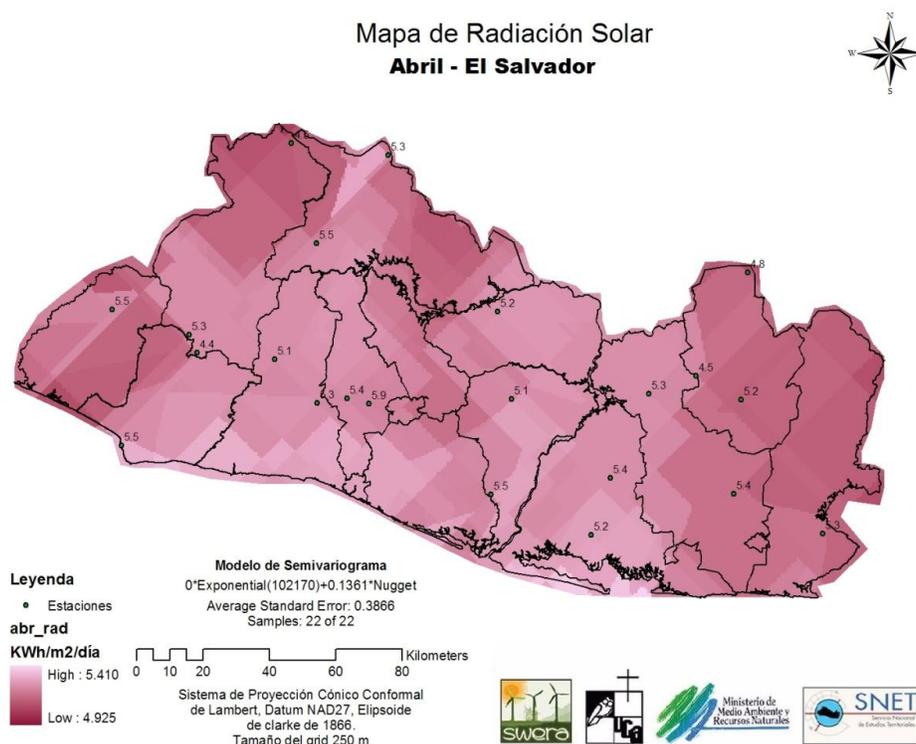


Figura 5.12 Mapa de radiación solar para el mes de abril según promedio de varios años. [3]

En el caso del mes de mayo, aunque con pocas mediciones podemos dar un estimado de la cantidad de insolación promedio que no esté tan alejada de otras mediciones, como lo

extraemos de la figura 5.13; el valor de insolación según la figura esta en el máximo nivel para San Salvador, que se interpreta un máximo de casi 5 kWh/m², comparado con nuestro dato (preliminar) de 5.29 kWh/m² se percibe que es un dato congruente. Hemos comparado estas mediciones de instituciones externas con las obtenidas con el piranómetro fijo, ya que en su caso se trata de mediciones fijas horizontales.

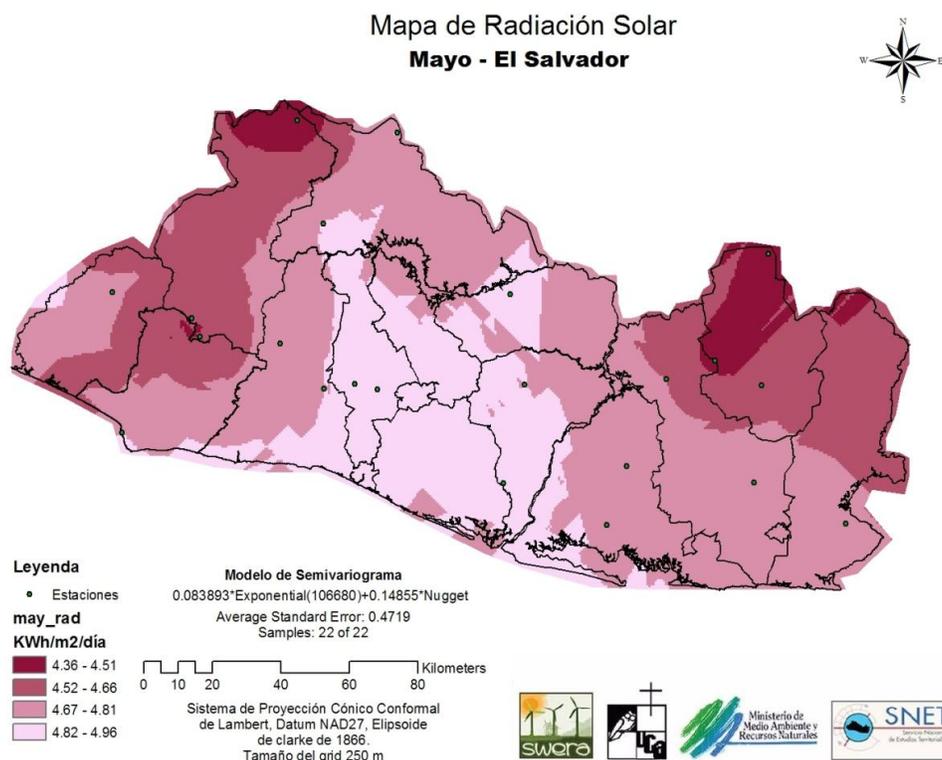


Figura 5.13 Mapa de radiación solar mes de mayo según promedio de varios años. [4]

Los datos importantes que podemos extraer de estas tablas anteriores son los siguientes:

Tabla 5.7 Datos estadísticos obtenidos de las mediciones en los meses de abril y mayo 2012.

Parámetro	Sistema fijo	Sistema móvil	Incremento %
Insolación diaria promedio abril Wh/m²	5849	7072	20.9%
Insolación diaria promedio mayo Wh/m²	5248	6190	18%
Máxima insolación abril Wh/m² *	7256	9420	29.8%
Máxima insolación mayo Wh/m² *	6396	7843	22.6%
Mínima insolación abril Wh/m²	2873	3301	15%
Mínima insolación mayo Wh/m²	3321	3431	3.3%
Horas Sol pico abril Hrs	5.85	7.07	20.9%
Horas Sol pico mayo Hrs	5.25	6.19	18%

*Los valores para el sistema fijo y para el móvil no corresponden al mismo día.

Es fácil ver a partir de los datos de irradiación que en los días nublados el incremento es mayor en la captación de la luz solar con el seguidor solar respecto al panel fijo; esto es porque un seguidor procura obtener la mayor cantidad de energía solar directa. En los días nublados, esta componente de la luz solar es significativamente menor, y la luz obtenida por los paneles proviene de toda la bóveda celeste, es decir, es difusa. En la figura 5.14 apreciamos que para el día 7 de abril se produjo un día soleado, obteniendo una mayor ganancia de insolación el panel con seguidor solar.

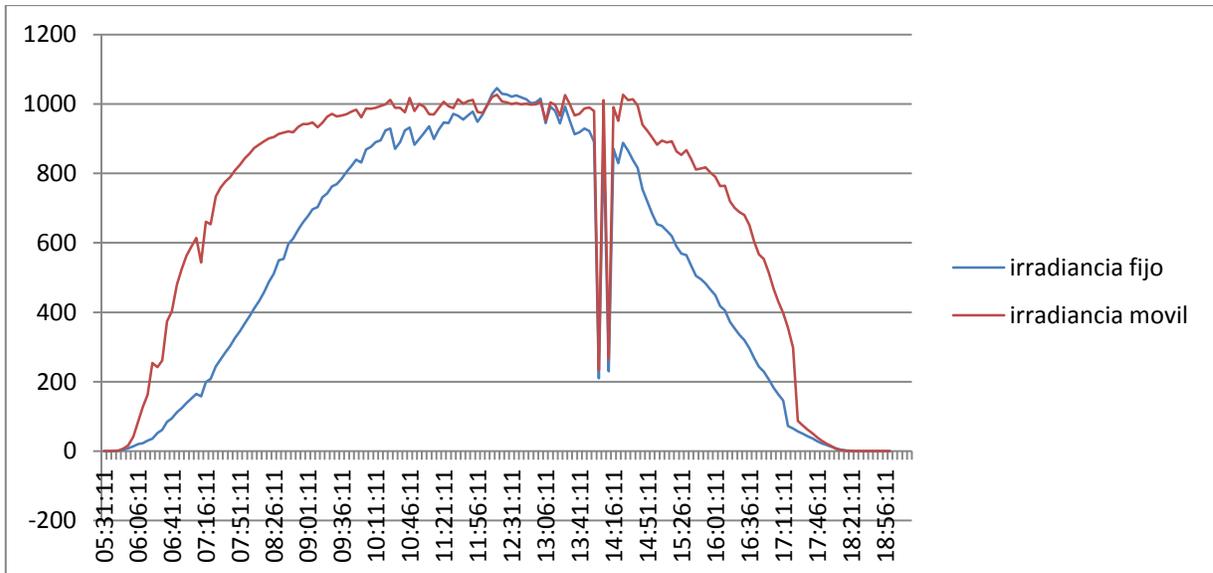


Figura 5.14 Grafica de irradiación en sistema fijo y en sistema móvil en día soleado. Las unidades son W/m².

Por otro lado, en un día nublado, como lo han sido prácticamente el resto de los días de la medición, se aprecia un pequeño incremento en la insolación. Veamos por ejemplo la grafica correspondiente al 3 de abril, donde apreciamos un incremento mínimo en operación normal del seguidor (sin fallas) en la figura 5.15. Este día muestra una menor diferencia entre la insolación adquirida por ambos paneles, aunque no precisamente es del día más nublado, ya que este último corresponde al día 15 de mayo, y su gráfica la podemos observar en la figura 5.16.

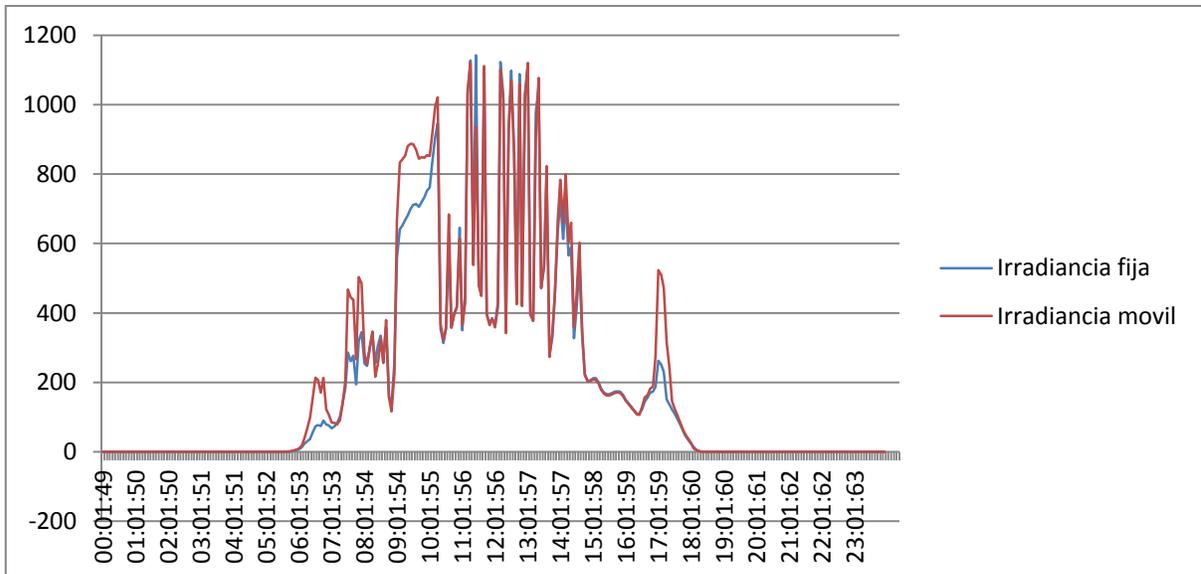


Figura 5.15 Graficas de irradiancia tanto del panel fijo como del móvil el 3 de abril de 2012.

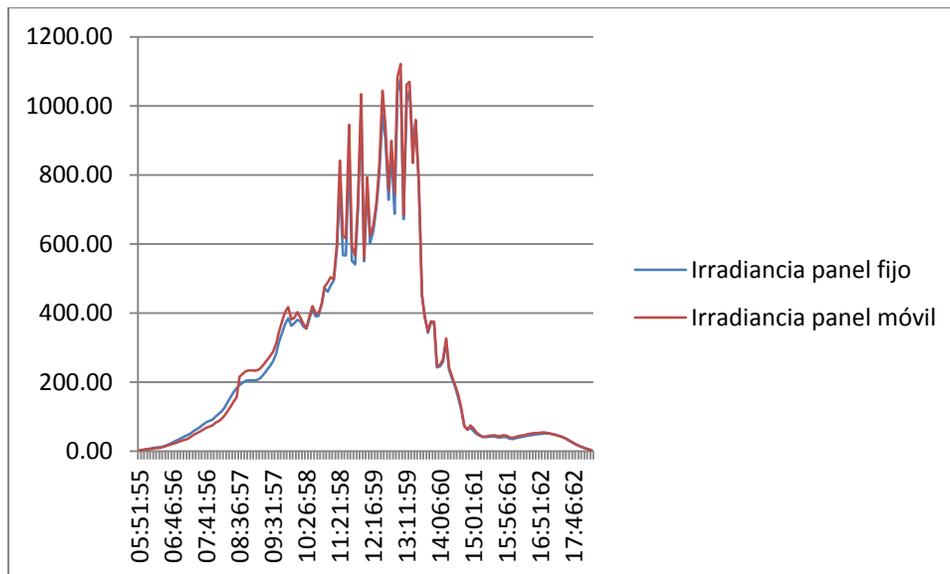


Figura 5.16 Gráfica de irradiancias para el día más nublado monitoreado. 15 de mayo de 2012

Es muy probable que los valores de insolación solar sean diferentes en otras épocas del año y que la diferencia entre la captación entre ambos sistemas sea mayor o menor. Cuando el Sol está muy al Sur o muy al Norte, como en el caso de los solsticios la diferencia entre la recepción solar debe ser mayor, mientras que en el caso de los equinoccios, la diferencia debe ser la mínima. Y así, los días o meses cercanos a estas fechas estarán entonces así de afectados por la declinación del Sol, mostrándose los resultados en la producción de los paneles solares.

5.3.3 Datos eléctricos

Algunos otros parámetros interesantes relativos al comportamiento de los sistemas fotovoltaicos estudiados son acerca de los ciclos de carga y descarga de baterías, y producción de paneles. Hemos hablado hasta este momento solamente de la disponibilidad de energía que tienen los paneles solares, mostrando la irradiación instantánea en el día para cada uno. Ahora, brevemente, observemos el comportamiento eléctrico de ambos sistemas para un día soleado (7-abril).

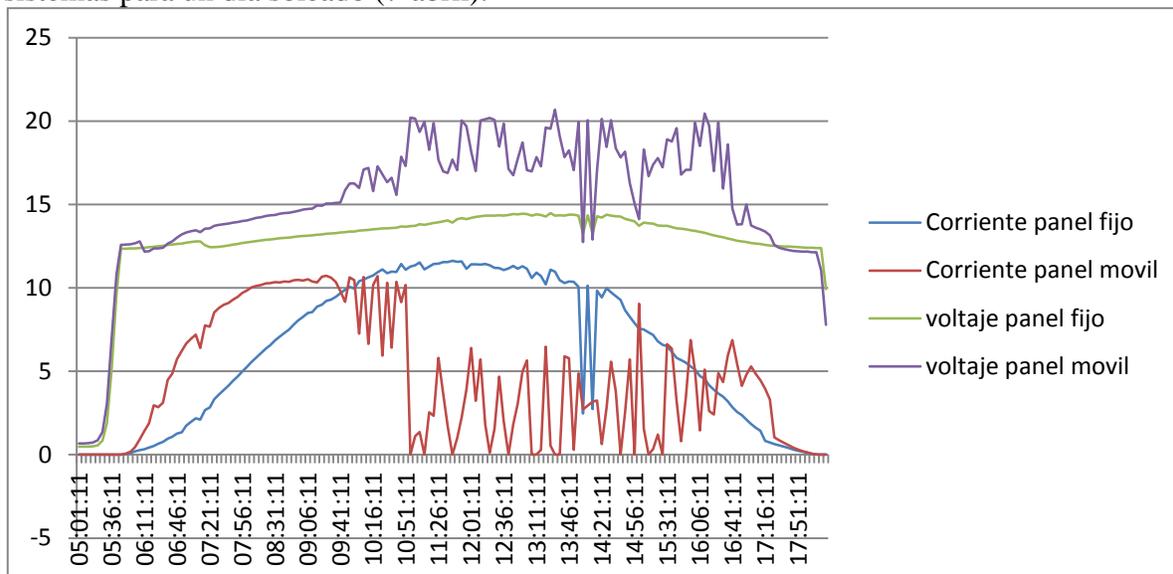


Figura 5.17 Comparación parámetros eléctricos día soleado. Se muestra en voltios y amperios DC.

En la figura 5.18 se ha representado lo que sucede en el ciclo de carga de la batería. Hay que recordar que ambos sistemas tienen una carga (gasto) constante e igual, (con la excepción que el seguidor también es carga para el sistema móvil) y la corriente de los paneles es tanto para la carga de alumbrado como para la carga de la batería.

Para el sistema móvil es fácil ver que desde el amanecer hasta aproximadamente las 10:30 de la mañana el panel solar se encuentra inyectando corriente al sistema, para alimentar la carga (focos + batería) respectiva, y a partir de esa hora, como la batería ya está cargada entra en periodos de descanso momentáneos durante el resto del día. En el caso del sistema fijo, inyecta la mayor cantidad de corriente de que dispone el panel solar a la carga (focos + batería), durante todo el día, y a pesar de esto la batería no alcanza la carga completa, como se puede deducir de la grafica de voltajes de las baterías. El voltaje de la batería es prácticamente el mismo que el de la carga, según se experimento en unas simples mediciones.

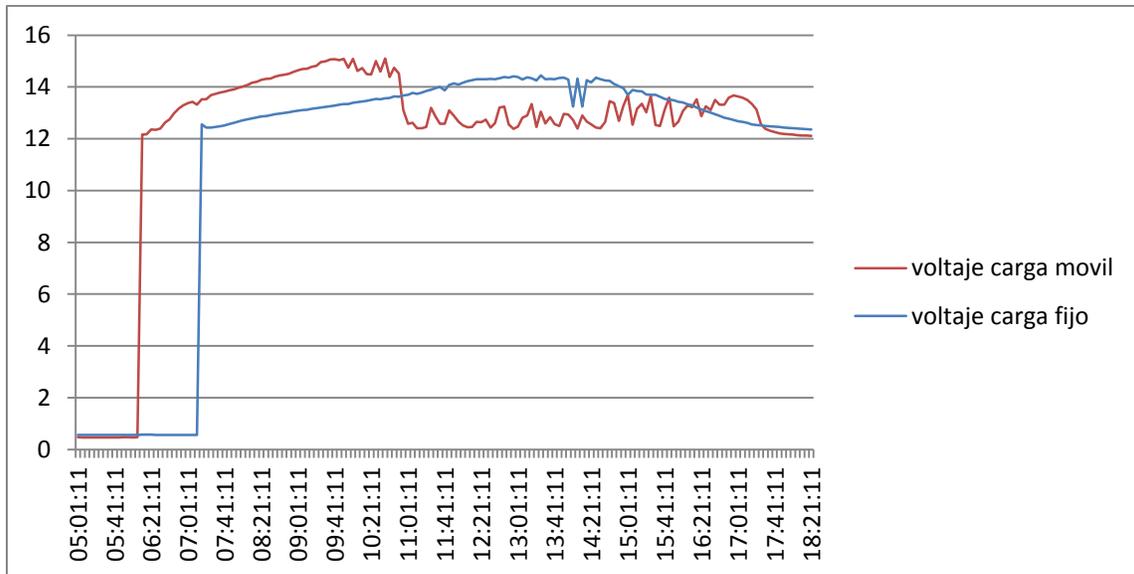


Figura 5.18 Voltaje de la carga en el controlador.

Hemos mostrado para este día detalladamente su comportamiento en cuanto a alimentación de cargas y baterías por parte de los paneles solares, pero este comportamiento no solo se observó este día, sino en todos aquellos que tuvieron suficiente Sol como para cargar completamente las baterías, al menos la del panel móvil; esto se puede apreciar en las figuras 5.19 hasta la figura 24.

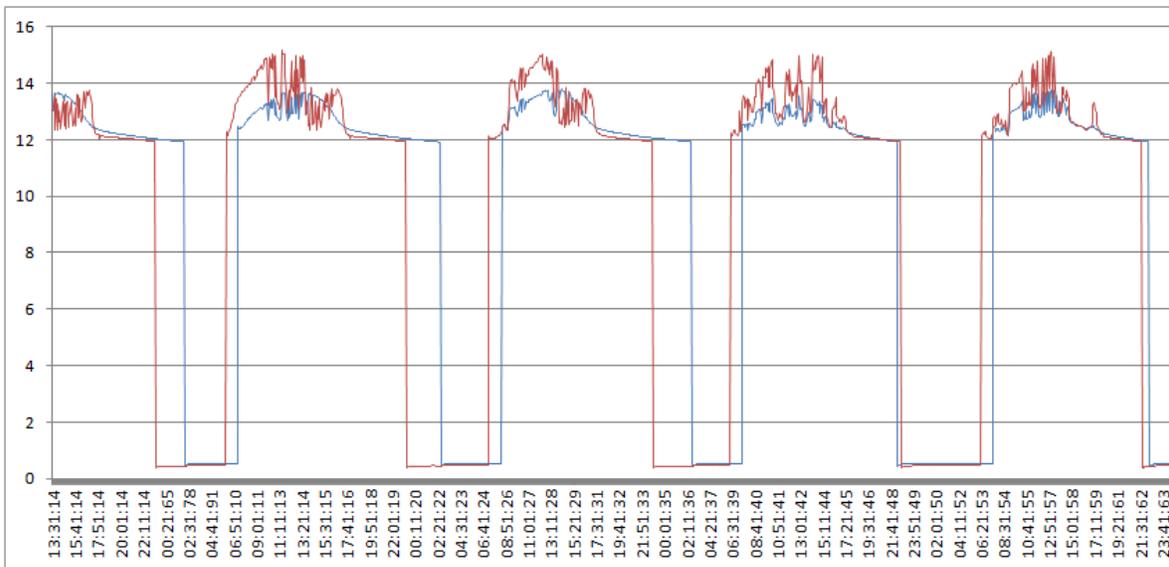


Figura 5.19 Voltaje en las cargas (44 Watts). 30 de marzo al 3 de abril

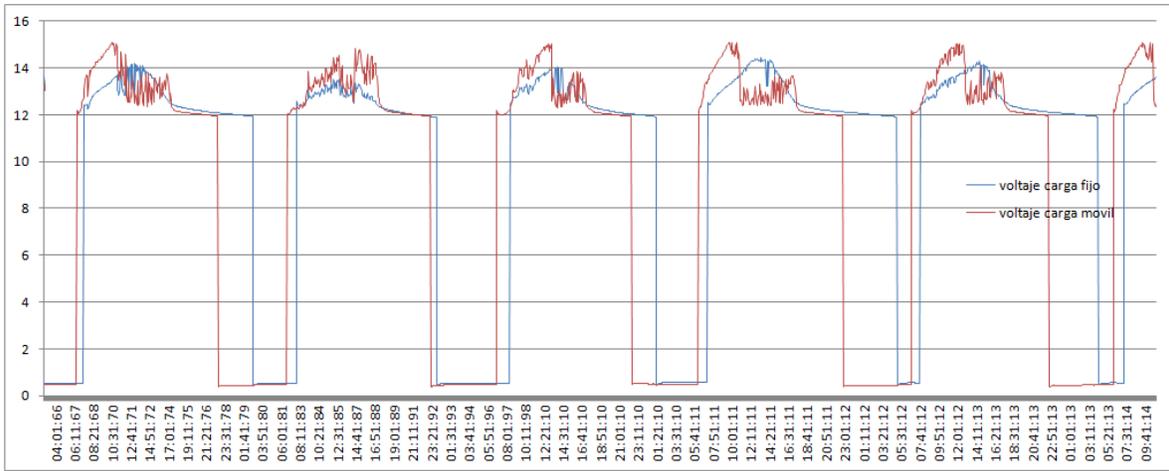


Figura 5.20 Voltaje en las cargas (44 Watts). 4 al 9 de abril

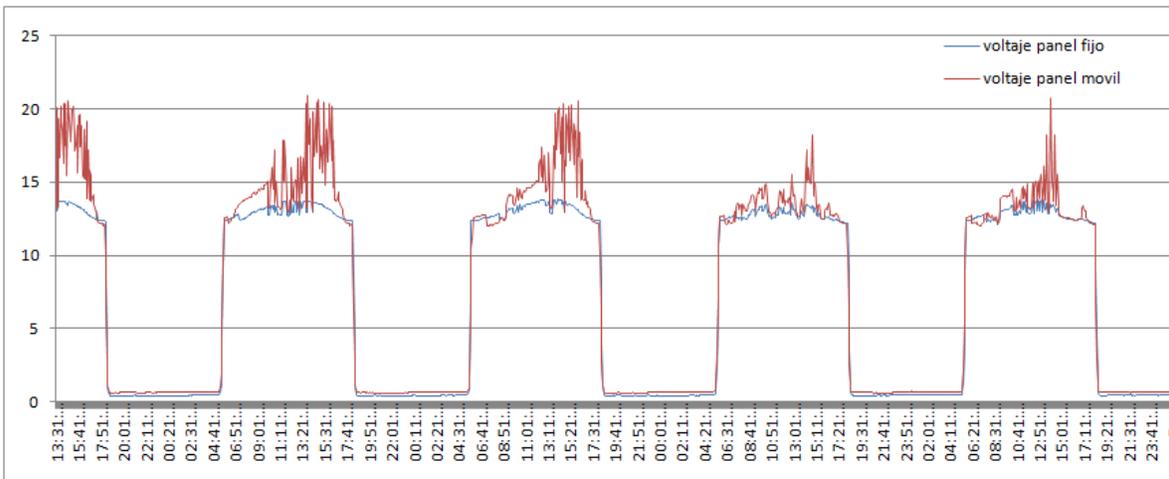


Figura 5.21 Voltaje de paneles (carga de 44 Watts). 30 de marzo al 3 de abril

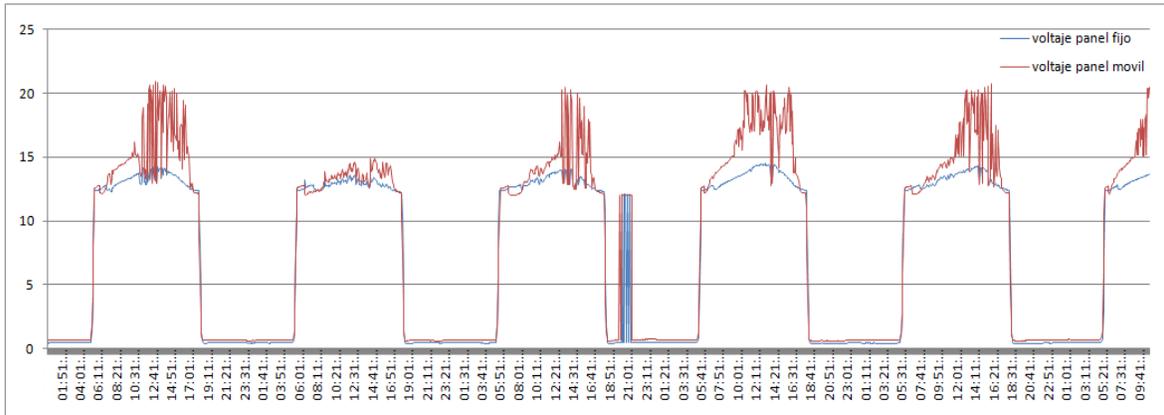


Figura 5.22 Voltaje de paneles (carga de 44 Watts). 4 al 9 de abril.

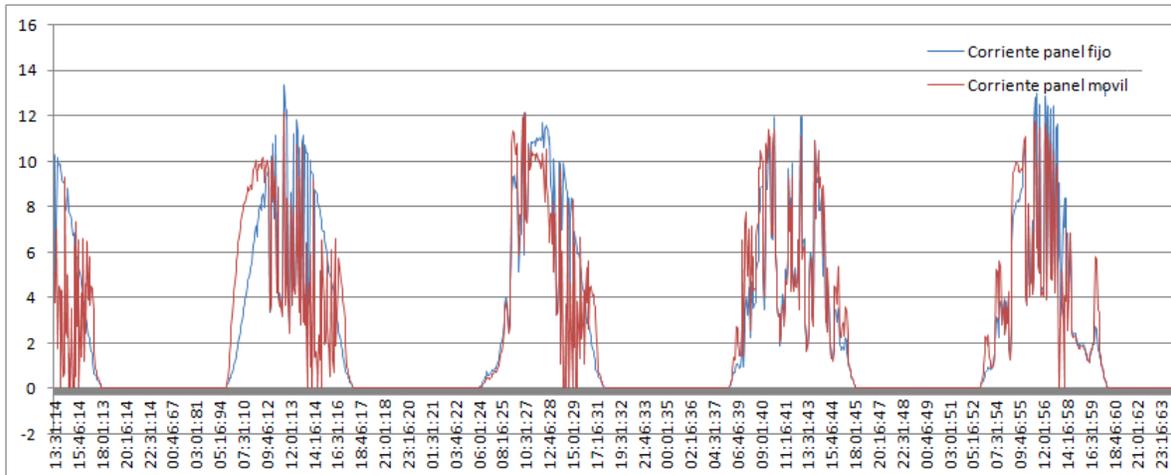


Figura 5.23 Corrientes de los paneles (carga de 44 Watts). 30 de marzo al 3 de abril

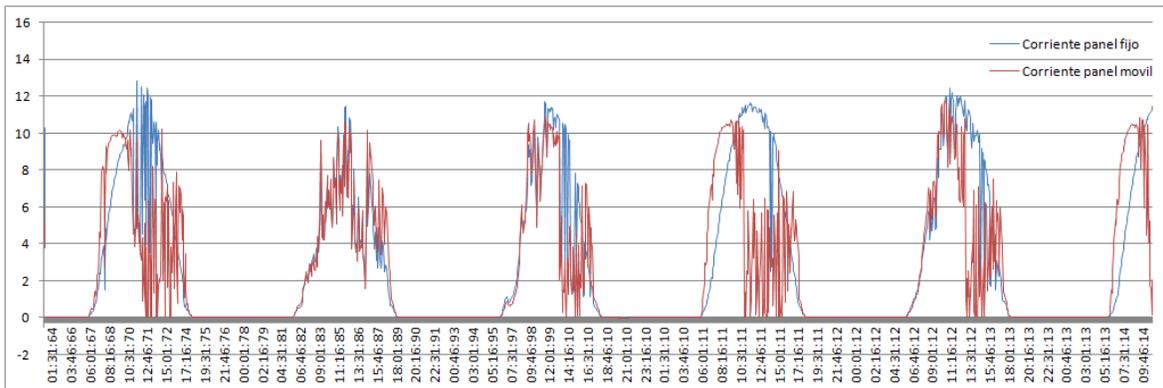


Figura 5.24 Corrientes de los paneles (carga de 44 Watts). 4 al 9 de abril.

5.4 Conclusiones del capítulo

Hemos observado el comportamiento del sistema SFV móvil paralelamente con el SFV fijo, y dado cuenta que aquella hipótesis que teníamos en mente de que si el seguidor solar en dos ejes funcionaria o no, se ha mostrado cierta ante nuestros ojos. Primeramente, el sistema FV con seguidor ha demostrado tener mayor eficiencia que el SFV fijo, debido a que mayor energía es recibida por el panel solar móvil. En nuestro caso, el parámetro más importante en observar fue la insolación, la cual diariamente mostraba una diferencia entre ambas mediciones (del piranómetro fijo y del móvil), logrando obtener un máximo del 32% de incremento y un promedio de 19% aproximadamente.

Como se desprende de la figura 5.14, el sistema móvil es más eficiente que el fijo en el sentido de que necesita menos tiempo para cargar la batería correspondiente que el sistema fijo, debido a la cantidad de luz solar que recibe en la mañana, cuando el panel fijo recibe menor energía; este comportamiento no es exclusivo de ese día. Tanto el sistema fijo como

el móvil fueron probados con la misma carga, consistente en focos fluorescentes de 12 V DC y 11 Watts cada uno, y por lo tanto hemos apreciado su eficiencia en el aprovechamiento que hace de la energía solar recibida; no hemos medido su eficiencia en función de la carga que alimentan porque es la misma cantidad de focos en cada sistema.

El incremento en la irradiancia percibida por un panel solar en movimiento respecto a uno fijo, es mayor en los días soleados, alcanzando un máximo del 32% en nuestro experimento. Un incremento menor se produce en días nublados, y en nuestro experimento fue un mínimo de 3.3%.

REFERENCIAS DEL CAPÍTULO

[1] Models 2700, 2701, 2750 Multimeter/Data Acquisition/Switch System Datasheet. Pag 4

[2] Models 2700, 2701, 2750 Multimeter/Data Acquisition/Switch System Datasheet. Pág. 17

[3] [4] Proyecto SWERA El Salvador. Mapas de radiación solar. Consultado en mayo de 2012

<http://gis.uca.edu.sv/swera/mapas1.html>

Capítulo 6 : PROYECCIONES

6.1 Introducción

En este capítulo final pretendemos hacer un cálculo relacionado con la viabilidad de la implementación de seguidores solares del tipo que se ha implementado según nuestros resultados obtenidos experimentalmente. Como nuestro SFV disponible es pequeño, el seguidor construido es pequeño, y obtuvimos resultados en esa escala; pero si proyectamos nuestra visión hacia lo grande podemos tener una idea de los resultados que se podrían obtener al implementar este tipo de proyectos en el futuro, en instalaciones más grandes.

IMPORTANTE: Es necesario aclarar que este es un cálculo aproximado de los costos y los tiempos de recuperación, y para tener valores más concretos y reales, es imperativo realizar un estudio mecánico y económico mucho más amplio sobre el tema, además de un monitoreo de nuestro sistema durante por lo menos un año.

6.2 Costo de materiales utilizados

En el anexo B se muestran las listas de materiales utilizados en la implementación de este seguidor que hemos construido, asimismo el coste de los mismos. Es necesario mencionar que hemos utilizado algunos elementos en el seguidor solar, no precisamente porque sean los ideales para tal fin, sino porque eran con los que contábamos en ese momento. Un ejemplo es el PLC OMRON, el cual fácilmente se puede sustituir por un timer, que haría la misma función que el PLC, con un costo menor. Para efecto de nuestras proyecciones, hemos supuesto que se utiliza un timer en lugar del PLC.

El costo total de los materiales utilizados en la parte electrónica (tabla B-3) y de control (tabla B-2) del seguidor solar es de \$244.41

Para la parte mecánica, la lista de materiales que hemos utilizado para nuestro seguidor de un solo panel de 200W la mostramos en la tabla B-1, y el costo total de los mismos es de \$362.4

En total, podemos decir que en materiales para el seguidor solar son necesarios unos \$600 aproximadamente, pero si suponemos que en lugar de un PLC se utiliza un timer el costo se reduciría a \$525 aproximadamente.

6.3 Rendimiento económico del sistema móvil

Obviamente, no es muy lógico construir un seguidor para un solo panel solar, puesto que la relación costo-beneficio puede no ser la deseada. Hemos visto que en promedio incrementamos en una Hora Sol Pico el rendimiento del sistema, en cuanto a insolación.

De manera que para nuestro panel solar de 200W significa que tenemos un incremento diario en energía de

$$\Delta E = 200W * 1HSP$$

$$\Delta E = 200WH/dia$$

ΔE : incremento de energia

En un mes, entonces el incremento en la energía puede ser de

$$\Delta E = 30 * 200Wh = 6kWh$$

Si pensamos en que el sistema puede estar conectado a la red de CAESS, por ejemplo, estaría reduciendo nuestro consumo energético en aproximadamente 6kWh mensuales adicionales a los que ya se reducen debido al uso del panel solar en su estado fijo. Como el precio del kilowatt-hora en dicha empresa es de \$0.20 significa, en nuestro caso, que nos estaríamos ahorrando \$1.2 mensuales o \$14.4 anuales.

Con estos datos, evidentemente nos damos cuenta que no es viable construir un seguidor solar de este tipo para un solo panel solar, ya que nos indica que el periodo de recuperación de la inversión es de aproximadamente:

$$T_{rec} = \frac{\$525}{\frac{\$14.4}{anual}} = 36.45 \text{ años}$$

No es necesario tanto cálculo para concluir que no es viable implementar un seguidor solar para un solo panel de esta capacidad.

Antes de proyectar la construcción de este seguidor para una estructura más grande, podemos mencionar un dato interesante, y se trata del rendimiento de este mismo seguidor, pero de un solo eje. Hemos comprobado que si apagamos el seguimiento Norte-Sur la eficiencia del sistema puede considerarse casi igual que con dos ejes. Suponiendo que en lugar de un seguidor de dos ejes, construimos uno de un solo eje, pudiendo modificar su declinación manualmente (un par de veces al año) y ahorrándonos el costo algunos elementos, principalmente del brazo electromecánico, entonces podemos retomar los cálculos.

$$T_{rec} = \frac{\$415}{\frac{\$14.4}{anual}} = 28.8 \text{ años}$$

Este dato no deja de ser interesante a pesar de que aun nos dice que es inviable este seguidor para un solo panel.

6.4 Implementación de estructura para más paneles

Es necesario realizar un estudio mecánico y económico muy amplio para verificar la viabilidad de la construcción de este tipo de seguidores con más de un panel solar. Sin embargo, con nuestros moderados conocimientos en cuanto a mecánica hemos decidido efectuar un cálculo aproximado en relación a dicha construcción. Un ejemplo de la construcción aproximado se muestra en la figura 6.1.

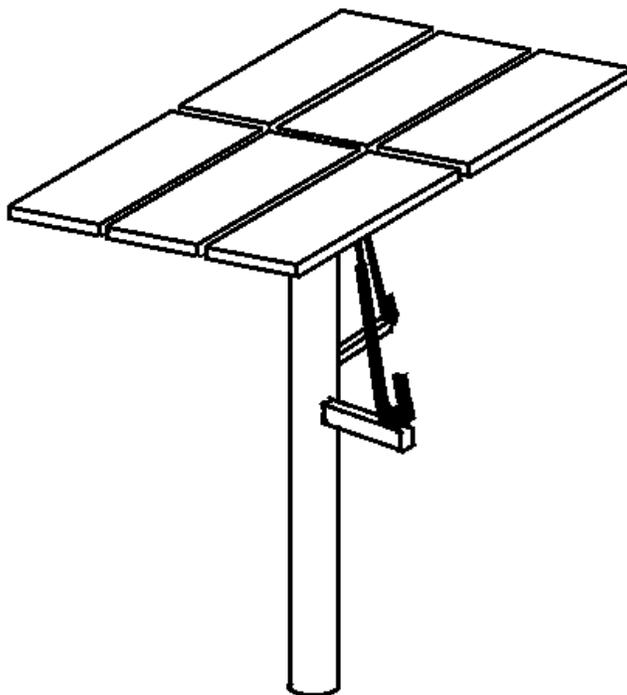


Figura 6.1 Ejemplo aproximado de construcción de estructura para 6 paneles con seguidor. [Elaboración propia]

- **6 paneles de 200W**

Potencia de 6 paneles:

$$P = 6 \times 200W = 1.2kWp$$

Incremento de energía diaria y mensual:

$$\Delta E = 1.2kW * 1HSP = 1.2kWh/dia$$

$$1.2kWh * 30 = 36kWh/mes$$

Ahorro mensual:

$$36kWh * \$0.2 = \frac{\$7.2}{mes}$$

Ahorro anual:

$$\$7.2 * 12 = \$86.4/año$$

Tiempo de recuperación:

Estimando que como la estructura debe ser un poco más grande, el costo total se incrementará en aproximadamente en un 20%.

$$\frac{\$630}{\$86.4} = 7.3 \text{ años}$$

- **10 paneles de 200W**

Potencia con 10 paneles de 200W:

$$10 * 200W = 2kWp$$

Incremento en producción de energía diario:

$$\Delta E = 2kW * 1HSP = 2kWh/dia$$

Incremento mensual y anual:

$$2kWh * 30 = 60 kWh/mes$$

$$60kWh * 12 = 720kWh/año$$

Ahorro anual

$$720kWh * \$0.2 = \$144$$

El costo de una estructura para esta cantidad de paneles lógicamente sería mayor que el que hemos mostrado anteriormente, ya que los motores (brazos electromecánicos) deben ser más grandes y soportar mayor carga.

Hemos estimado, consultando precios de actuadores con el doble de longitud y fuerza que los que hemos utilizado, además de incrementar o duplicar algunos materiales necesarios para la parte mecánica y de soporte, que el costo total (parte electrónica, mecánica y de control) rondaría los \$843 para esta dimensión de seguidor. Cabe mencionar aquí, que la parte electrónica y de control, no necesita ningún cambio en absoluto, independientemente de la dimensión del seguidor o la cantidad de paneles solares a mover.

$$\text{Costo total} = \$843$$

Entonces, para recuperar esta inversión, son necesarios $\frac{\$843}{\$144/año} = 5.9 \text{ años}$

Consideramos que es viable la construcción de este tipo de seguidores solares con una cantidad considerable de paneles que ronde los 15.7 m^2 de área, con una potencia de alrededor de 2kW.

$$\text{Area de panel} = 0.951m \times 165m = 1.57m^2.$$

$$\text{Area de conjunto de 6 paneles} = 1.57 * 6 = 9.42 \text{ m}^2$$

$$\text{Area de conjunto de 10 paneles} = 1.57 * 10 = 15.7 \text{ m}^2$$

Aunque existe la posibilidad de que estos tipos de seguidor sean implementados para una instalación más grande, hay ciertas limitantes en cuanto a los dispositivos motrices disponibles en el mercado. Hemos descubierto que este tipo de actuadores como el que hemos utilizado, se encuentran en longitudes de hasta 40 pulgadas; además hay que tener en cuenta las consideraciones de fuerza necesaria, algo que requiere un estudio mecánico muy profundo, que esta fuera de nuestra especialidad.

6.5 Conclusiones del capítulo

Es necesario hacer un estudio económico más profundo relacionado con la implementación de este tipo de seguidor solar en El Salvador a fin de tener datos que sirvan de referencia para posibles futuras inversiones. Además se requiere de un análisis mecánico de la estructura para determinar la viabilidad de implementar estructuras más grandes con el tipo de actuadores que hemos utilizado.

Estimamos que la implementación de un seguidor solar de este tipo para una estructura de 6 paneles de 200W como los existentes en la Escuela de Ingeniería Eléctrica, con los materiales o similares a los que hemos utilizado, podría tener un costo de alrededor de \$630 y un periodo de recuperación de unos 7 años.

CONCLUSIONES GENERALES

Al finalizar nuestro estudio relacionado con la implementación de un seguidor solar en dos ejes para un panel solar fotovoltaico concluimos primeramente que el dispositivo seguidor es funcional tanto en su parte de control y electrónica, como en su parte mecánica. Los resultados muestran que este tipo de seguidor puede incrementar el rendimiento del panel solar al efectuar el seguimiento diario.

Se efectuaron mediciones de irradiación solar diaria durante 6 semanas en los meses de abril y mayo de 2012 tanto del sistema fijo como del sistema con seguimiento, y se logró obtener un incremento medio de aproximadamente el 20% en las mediciones de insolación por parte del sistema con seguimiento solar, con respecto al sistema fijo a 14° de inclinación orientado al Sur.

El incremento máximo en la insolación por parte del sistema con seguimiento solar se percibe en aquellos días completamente soleados, en los cuales se obtuvieron valores de hasta el 32% de incremento respecto al sistema fijo. En los días con nubosidad alta se percibe un incremento reducido en la insolación, ya que casi no se percibe radiación directa en esos días, que es la que aprovechan mayormente los sistemas con seguidor solar.

Es necesario efectuar mediciones de irradiancia durante al menos un año a fin de obtener datos de insolación diaria para los demás meses y el promedio anual. Estos datos pueden servir para calcular más precisamente el beneficio económico potencial relacionado con la implementación de este tipo de seguidor solar.

Todas las partes del sistema de seguimiento solar pueden ser mejoradas en cuanto a diseño e implementación, en especial la estructura mecánica, puesto que es en nuestro caso la que aporta más limitantes al movimiento del panel solar. Un estudio mecánico muy profundo se hace necesario a fin de diseñar e implementar este tipo de seguidor para soportar más paneles solares.

BIBLIOGRAFÍA

- Instalaciones de Energía Solar. CENSOLAR (Centro de Estudios de Energía Solar) Progenza, 1993.
- Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. Antonio Luque & Steven Hegedus. Wiley Editorial, 2003.
- Wind & Solar Power Systems. Design, Analysis and Operation. Mukund R. Patel. Taylor & Francis Group, 2006.
- Sitio Oficial de *Fundació Observatori Esteve Duran*
<http://www.astrogea.org/foed/index_cast.htm> consultado en mayo 2012.
- *Solar Tracker*. <http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_tracker> consultado en mayo de 2012.
- *Proyecto SWERA - EL SALVADOR*
<http://gis.uca.edu.sv/swera/datos_solares_radiacion.html>
Consultado en mayo de 2012.

ANEXO A: MANUAL DE USUARIO

Aviso: no intente ajustar los controles internos del seguidor solar sin antes leer y entender el manual de usuario. Ajustar los controles de forma equivocada puede provocar que el sistema sea inestable, que no funcione apropiadamente, o que deje de funcionar. Además puede provocar un gasto innecesario de energía.

MODOS DE OPERACIÓN

El sistema de seguimiento solar diseñado está pensado para funcionar en el modo AUTOMÁTICO, que permite activar y desactivar el circuito electrónico durante el día, y desactivarlo durante la noche. Además podrá encenderse luego de haberlo apagado manualmente por algún tiempo, para realizar algún tipo de mantenimiento o prueba.

❖ MODO AUTOMÁTICO

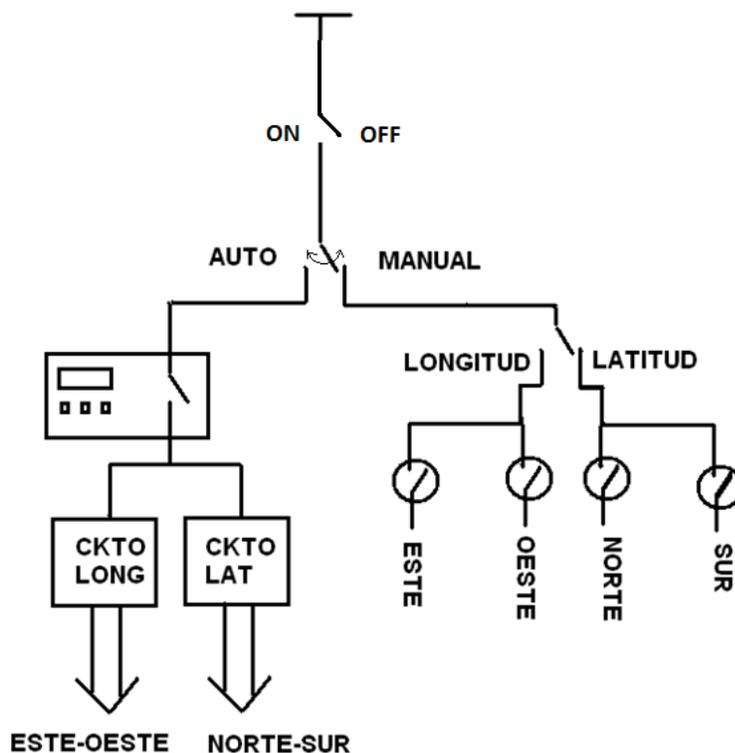


Figura A.1 Esquema de Operación del sistema seguidor [Elaboración propia]

Cuando el sistema está en modo automático, es decir la perilla correspondiente se encuentra en AUTO, el control del sistema se le entrega al controlador lógico programable (PLC), el cual está habilitado para activar los circuitos electrónicos analógicos correspondientes que controlen la posición del panel. El PLC cuenta con un reloj de tiempo real que le permite controlar el encendido y apagado de dichos circuitos, pudiéndose ejecutarse periódicamente según se desee.

- **Encendido – apagado del circuito**

La imagen A.1 muestra el esquema básico de cómo es el control dentro del circuito seguidor. Primeramente se cuenta con una perilla principal, ubicada al centro de las tres en el panel de control, que permite energizar o desenergizar el circuito completo.



Figura A.2 Perilla de energizado

Para energizar el circuito completo, gire la perilla en sentido horario. La luz verde “indicador ON-OFF” se encenderá, mostrando que hay energía en el circuito y puede comenzar a utilizarse en cualquier modo de operación. Si el indicador de “ON-OFF” no se enciende, gire la perilla en sentido contrario y verifique la conexión de entrada al circuito seguidor, así como la polaridad que sea la correcta. Verifique además que los fusibles estén buenos, y en la posición correcta, si le es posible abrir la caja del panel de control. También debe verificar que no haya cables sueltos, ya que pueden provocar cortocircuitos. **¡NUNCA CONECTE VOLTAJES AC AL EQUIPO EN NINGUNA DE SUS PARTES, PUEDEN DAÑARLO!**

- **Seleccionar modo automático**

Luego de energizar el circuito (indicador correspondiente encendido) gire la perilla (MANUAL-AUTO) a la posición AUTO, así el sistema estará listo para operar en modo automático. Además, si se encuentra entre las 8:30 y las 17:00 el PLC activará el circuito seguidor e iniciará la operación de posicionarse, según la posición del Sol.

- **Iniciar modo automático.**

Si por alguna razón ha detenido anteriormente la operación del seguidor con el botón STOP, debe iniciar la operación en modo automático presionando el botón START, a la izquierda en el panel de control. Inmediatamente el PLC iniciará su operación de encendido y apagado periódico del circuito seguidor. El indicador correspondiente (operación automática) se encenderá por el lapso programado (10 seg), tiempo durante el cual se efectuara la primera ubicación del panel solar en el día; y luego se apagará. El indicador de operación automática se encenderá cada 5 minutos durante 10 segundos, que indica que en ese momento el circuito seguidor está activo, y detectando si hay un cambio en la orientación del Sol en ese momento para activar los motores.

El PLC tiene programado un lapso de operación diario desde las 8:30 hasta las 17:00 hrs, tiempo durante el cual puede activar y desactivar el circuito seguidor, en modo automático. Además tiene programado arrancadores, ya que diariamente se apaga al finalizar este lapso de tiempo, y necesita un arrancador para iniciar de nuevo el modo automático. Al inicio de este lapso tiene programado un arrancador, y otros 2 más a las 11:00 a.m. y a la 1:00 p.m. en caso que por algún motivo se haya apagado en algún momento y no esté ninguna persona presente para iniciarlo.

- **Detener modo automático**

Presione STOP (botón rojo) para detener el modo automático en cualquier momento. Esto detendrá la operación de activar-desactivar el circuito seguidor en modo automático. Puede detener la operación momentáneamente para realizar algún tipo de mantenimiento en la estructura de soporte, en los cables del panel solar o próximos a él, para evitar ser golpeados por el mismo. Si desea detener la operación del seguidor por un largo periodo, por ejemplo un día o más, apague el circuito completo girando la perilla de energizado a la posición OFF, ya que si no lo hace, el circuito volverá a activarse con alguno de los arrancadores propios mencionados anteriormente.

En resumen: para la operación en modo automático:

1. Energice el circuito con la perilla de encendido – apagado.
2. Seleccione modo automático con la perilla manual – automático.
3. Presione START. (sino, el PLC lo hará por si solo con uno de los arrancadores propios. [8:30 a.m., 10:00 a.m., 1:00 p.m.]
4. Si quiere detener la operación automática, presione STOP (botón rojo).

❖ MODO MANUAL

La operación en modo manual tiene como fin el ubicar el panel solar en una ubicación específica a fin de realizar algún mantenimiento en el soporte del panel solar o en el propio panel solar. También puede necesitarse este modo de operación para poner a funcionar el seguidor en un solo movimiento, este-Oeste; y apagar el movimiento Norte-Sur, ubicándolo en una declinación específica.

Para operación en modo manual:

1. Energice el circuito con la perilla de encendido – apagado.
2. Seleccione modo manual con la perilla manual – automático.
3. Seleccione con la perilla longitud – latitud el tipo de movimiento que desea realizar.
4. Presione los botones de orientación (color verde) para energizar el motor correspondiente al movimiento que desea.

Si eligió el tipo de movimiento “LONGITUD” los botones de orientación del panel (color verde) sirven para mover el panel solar hacia el ESTE, el botón superior; y hacia el OESTE, el inferior. No existe peligro en presionar ambos botones a la vez.

Si eligió el tipo de movimiento “LATITUD” los botones de orientación del panel (color verde) sirven para mover el panel solar hacia el NORTE, el botón superior; y hacia el SUR, el inferior.

Ambos brazos electromecánicos tienen interruptores de finales de carrera que interrumpen la corriente en los motores cuando se alcanza uno de los extremos del recorrido del brazo, ya sea extendido o recogido, por lo que no requiere tener este cuidado desde el panel de control, en ninguno de los modos de operación.

En el modo manual, aunque el PLC está energizado, no es posible activarlo presionando el botón de arranque (START) ya que requiere que se encuentre la perilla en modo automático para ejecutar tal operación.

DESCRIPCIÓN DE CONTROLES DEL PANEL DE CONTROL.

Botones y controles	Descripción
	Perilla de selección de modo de operación. AUTO: modo automático MANUAL: modo manual 0: ningún modo.
	Perilla de energizado. ON: energizar el sistema seguidor OFF: desconectar todo el sistema seguidor.
	Perilla de selección de tipo de movimiento. LONGITUD: movimiento ESTE-OESTE LATITUD: movimiento NORTE-SUR 0: ninguno movimiento.
	Botón START. Arrancador de modo automático.
	Botón STOP. Detiene el modo automático.
	Botón ESTE-NORTE En movimiento de LONGITUD: Actuador hacia el ESTE. En movimiento de LATITUD: Actuador hacia el NORTE.

	<p>Botón OESTE-SUR En movimiento de LONGITUD: Actuador hacia el OESTE. En movimiento de LATITUD: Actuador hacia el SUR.</p>
	<p>Indicador ON/OFF Encendido: indica que el sistema esta energizado. Apagado: indica que el sistema no tiene voltaje de alimentación.</p>
	<p>Indicador OPERACIÓN AUTO Encendido: indica el momento en que el PLC ha energizado el circuito analógico seguidor y habilita los motores para moverse. (no permanece todo el tiempo encendido, aunque se esté en modo automático activado)</p>

Tabla A.1 Descripción de perillas y botoneras del panel de control.

ANEXO B: MATERIALES

PARTE MECÁNICA			
cantidad	descripción	precio unit	precio
2	Angulo 2'' x 2'' 6 metros	33.00	66.00
2	Tubo galvanizado 2.5'' diámetro interno mto	5.00	10.00
1	Angulo 1'' x 1'' mto	1.67	1.67
4.5	Tubo estructural 1'' x 1'' mto	2.00	9.00
1	Varilla 1/2'' de diámetro mto	12.50	12.50
1	Tubo pasador de 5/8'' mto	2.83	2.83
4	Perno 3.5'' x 5/16'' de diámetro	0.22	0.88
4	arandela plana + arandela de presión + tuerca 5/16	0.11	0.44
6	Perno 3'' x 1/4''	0.14	0.84
6	arandela de presión + arandela plana + tuerca 1/4	0.09	0.54
2	Rodos para portón de reja con agujero de 1/2''	5.15	10.30
10	Anclas metálicas 1/2'' con perno 1/4''	0.50	5.00
6	Anclas metálicas 3/4'' con perno 1/2''	1.00	6.00
20	Cinchos plásticos 8''	0.07	1.40
2	brazo electromecánico 12'' 200 lb	110.00	220.00
	otros materiales		15.00
total parte mecánica			\$ 362.40

Tabla B-1. Materiales utilizados en la parte mecánica.

PARTE DE CONTROL			
Cantidad	Descripción	precio unit	precio
2	Botoneras verde	11.45	22.90
2	Botoneras tipo pulsadores	12.00	24.00
1	PLC OMRON ZEN	105.00	105.00
1	Perilla ON-OFF	12.00	12.00
2	Perilla 3 posiciones	12.00	24.00
2	LED 12V color verde	0.70	1.40
2	LED 12v color azul	0.70	1.40
2	LED 12V color rojo	0.70	1.40
Total parte de control			\$ 192.10

Tabla B-2 Materiales utilizados en la parte de control

PARTE ELECTRÓNICA

Cantidad	Descripción *	Precio unit	Precio
1	Tableta de fibra cobreada doble cara 5x8''	2.38	2.38
2	LM324	1.10	2.20
2	Socket 14 pines	0.70	1.40
2	Resistencia 47k	0.25	0.50
2	Resistencia 15k	0.25	0.50
4	Resistencia 220 ohm	0.25	1.00
2	Potenciómetro 10k	0.35	0.70
2	Potenciómetro 100k	0.35	0.70
4	Resistencia 270k	0.25	1.00
4	Resistencia 27k	0.25	1.00
2	Potenciómetro 500k	0.35	0.70
2	Bornera 5 pines para circuito impreso	0.15	0.30
2	Potenciómetro 1k	0.35	0.70
2	Bornera 3 pines para circuito impreso	0.10	0.20
1	Tableta de fibra 1 cara de cobre 5x8''	1.45	1.45
4	Relés 12V 4NC + 4NO	2.94	11.76
6	Bornera 4 pines para circuito impreso	0.15	0.90
4	Bornera 6 pines para circuito impreso	0.18	0.72
4	Portafusible pequeño para circuito impreso	0.25	1.00
1	Fusible 250 mA	0.15	0.15
2	Fusible 4 Amp	0.15	0.30
1	Fusible 6 Amp	0.25	0.25
8	perno 3/16 x 6''	0.10	0.80
1	Caja de conexiones 18'' x 12'' x 6''	16.00	16.00
	otros materiales	5.00	5.00
total parte electrónica			\$ 52.31

Tabla B-3 Materiales utilizados en la parte electrónica.

*todas las resistencias son de ½ Watt

ANEXO C: MANUAL DE MANTENIMIENTO

En general, nuestro sistema de seguidor solar requiere poco mantenimiento para su normal operación. Básicamente, requiere las mismas atenciones que los sistemas fotovoltaicos aislados, tanto en sus partes eléctricas como mecánicas, sabiendo que en gran parte están sometidas a la intemperie.

Recomendamos realizar una supervisión semanal de la estructura móvil, para verificar su estado y funcionamiento. Es necesario observar detalles como tuercas flojas o piezas que hagan ruido (además de los motores) debido al movimiento de la estructura. En temporada de vientos, es particularmente importante verificar el correcto estado de las partes que comprenden ejes, chumaceras, y cualquier parte que sirva para transmitir el movimiento.

ENGRASE DE EJES Y CHUMACERAS

Eje principal

Es recomendable realizar por lo menos cada 6 meses un engrase del eje principal que sostiene el marco del panel solar, y sus chumaceras correspondientes. En la figura C.1 se muestra una fotografía de las piezas mencionadas.

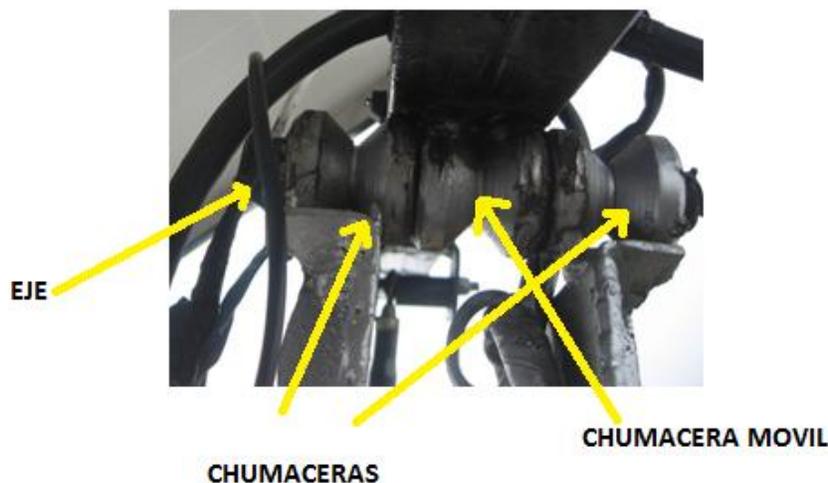


Figura C.1 Chumaceras y eje principal

El procedimiento para el engrase de estas piezas requiere de la participación de 2 personas como mínimo; además debe procurarse no efectuar ningún mantenimiento en esta estructura cuando hay vientos, pues podrían hacer caer la estructura o a las personas.

1. El panel solar debe estar en una posición en la cual se facilite el acceso a estas piezas. Recomendamos que sea en una posición horizontal, para lo que será necesario operar manualmente los motores desde el panel de control. No debe quitar los brazos electromecánicos para realizar este engrase, pues le ayudarán a sostener el panel solar mientras quita el eje.
2. Retire el seguro del eje principal.

3. Empuje hacia arriba la estructura del lado Sur, como se muestra en la figura C.2 para aflojar el eje.



Figura C.2 Para aflojar el eje es necesario aplicar una fuerza indicada por la flecha.

4. Extraiga el eje, y una vez fuera engráselo suficiente e introduzca grasa en la chumacera por donde lo introducirá. Puede levantar también un poco más la estructura para engrasar parcialmente los laterales de las chumaceras, en este caso debe tener sumo cuidado, trate de no sacar completamente la chumacera central de entre las chumaceras laterales, pues al no estar sostenida por ellas, puede perder el control de la estructura superior. No deje de sostener la estructura en ningún momento mientras el eje no esté en su sitio.
5. Introduzca nuevamente el eje principal y coloque el seguro en el extremo.

Ejes laterales

Los ejes en los extremos del marco que sostiene al panel solar deben ser engrasados cada 3 meses, puesto que son sometidos a la intemperie aun más que el eje principal. En este caso el engrase se limita a aplicar la grasa con una especie de pequeña paleta cuyo extremo pueda introducirse entre el eje y la chumacera correspondiente o con cualquier otro aplicador que sirva para tal objeto, a fin de engrasar la parte que presenta fricción durante el movimiento. La figura C.3 muestra uno de los ejes laterales sobre los que gira el panel solar en su movimiento Este-Oeste.



Figura C.3 Eje lateral

Es posible también realizar un mejor engrase de estas piezas, pero requiere desarmar el soporte que sostiene al marco del panel, lo que implica mayor dificultad y tiempo, y requiere de más de 2 personas. Sin embargo, si se desea desmontar por esta o por alguna otra razón el marco del panel, el procedimiento a seguir debe ser el siguiente:

1. Coloque el panel en posición horizontal utilizando el panel de control de seguidor.
2. Desconecte todos los cables conectados al panel solar y a las fotorresistencias. Estas tienen conectores de fácil conexión y desconexión. Será necesario además cortar los cinchos que sujetan los cables al marco.
3. Quite el perno que une al brazo electromecánico con el marco del panel. (ubicado hacia el Este) (Figura C.4)



Figura C.4 Unión de brazo mecánico con marco del panel

4. Quite los pernos que sostienen la chumacera del lado Norte (figura C.5). En este momento el marco del panel solar está libre y listo para ser removido. Sostenga el marco mientras quita la chumacera. Luego desplace el marco hacia el Norte hasta sacar completamente el eje del lado Sur de la chumacera fija, y retírelo hasta donde

lo ubicará para realizar cualquier otro mantenimiento del panel. de esta manera puede engrasar mejor las chumaceras y ejes laterales.



Figura C.5 Extremo norte que muestra los pernos de la chumacera removible.

5. Cuando haya terminado con el engrase de estas piezas realice el mismo procedimiento anterior pero en reversa a fin de armar la estructura nuevamente. Primero introduzca el eje correspondiente en la chumacera del lado Sur. Coloque la chumacera del otro extremo y coloque los pernos con tuercas de seguridad.
6. Vuelva a acoplar el brazo electromecánico al marco del panel.
7. Conecte todos los cables al panel y los conectores de las fotorresistencias. Coloque cinchos plásticos nuevamente.

Extremos de brazos electromecánicos.

Es necesario aplicar grasa también en los acoplamientos mecánicos ubicados en los extremos de los brazos electromecánicos, pues están sometidos a fricción. Para tal fin, basta con quitar el eje (perno) de dicha pieza y engrasarlo mientras se sostiene el marco del panel o la estructura superior, dependiendo de cual brazo esté engrasando. Se recomienda que realice este engrase pieza por pieza, sin quitar del todo los brazos, sino solamente un extremo a la vez, mientras sostiene las piezas sueltas. En la figura C.6 se muestran estas piezas a engrasar.



Figura C.6 Acoplamientos de brazos electromecánicos.

LIMPIEZA DE ACRÍLICO DE FOTORRESISTENCIAS.

Las fotorresistencias están cubiertas por un protector de acrílico transparente (figura C.7) que con el tiempo puede opacarse debido a que está sometido a la luz solar, polvo, agua, y la presencia de insectos y aves. Es recomendable hacer una limpieza externa de este protector cada 6 meses o cuando se observe alguna mancha o polvo sobre la superficie del acrílico. En días de lluvia el acrílico puede humedecerse por dentro debido a la baja temperatura, en cuyo caso la luz solar evaporará dicha humedad sin mayor problema.



Figura C.7 Protector de LDR's

En caso de ser necesario, puede quitar el acrílico removiendo los tornillos golosos de la parte inferior, y desconectando las LDR's. Despegue la parte superior de este protector para realizar una limpieza interior del acrílico, o para cambiar las LDR's. Vuelva a pegar el acrílico sin sellarlo completamente y coloque nuevamente los tornillos.

CAMBIO DE FOTORRESISTENCIAS

Puede ser necesario con el tiempo sustituir las LDR's por otras, en cuyo caso recomendamos utilizar los valores adecuados que explicamos en el capítulo 2, de alrededor de $50k\Omega$ en adelante.

- Para realizar este cambio de fotorresistencias simplemente desconecte el cable correspondiente a las LDR's que va a sustituir, luego quite el acrílico completo y luego despegue la parte superior para dejar visibles las fotorresistencias. Utilice cables delgados para unir a los extremos de las LDR's para que no ocupen mucho espacio debajo del trozo de cartón al que están sujetas.
- Ubique las fotorresistencias a la misma distancia del tabique y de preferencia lo más cerca posible de éste. Verifique que ambas queden completamente horizontales y fijas en su lugar.
- Suelde nuevamente el conector de las LDR's a sus respectivos cables, teniendo cuidado en no intercambiarlos.

- Vuelva a ubicar nuevamente el acrílico con las fotorresistencias en su lugar y sujételo con los tornillos.

Luego de un cambio de LDR's puede ser necesario ajustar el potenciómetro correspondiente en el circuito electrónico del seguidor, para lo cual se requiere la participación de dos personas ubicadas una en el panel de control y otra observando las LDR's recién cambiadas.

- Con las fotorresistencias ya ubicadas y conectadas en su lugar, encienda el seguidor solar en modo automático.
- Verifique que realice el seguimiento adecuado del Sol. Si no es así, puede deberse a dos posibles situaciones:
 - Si realiza un movimiento hacia el Sol pero no lo suficiente como para posicionarse de frente al mismo, o hace un movimiento mayor de tal manera que se pasa de la posición deseada; puede ajustar el potenciómetro correspondiente en el circuito seguidor, que es uno de los mostrados en la figura C.8. En este caso basta con ajustar dicho potenciómetro mientras se observa el comportamiento del seguidor, hasta que el error de posicionamiento sea mínimo o nulo.
 - Si el movimiento que realiza es contrario al deseado (por ejemplo, si el Sol está al Este y se mueve hacia el Oeste), entonces puede ser que haya conectado mal los cables de las LDR's al conector. En este caso debe revisar dicha conexión.

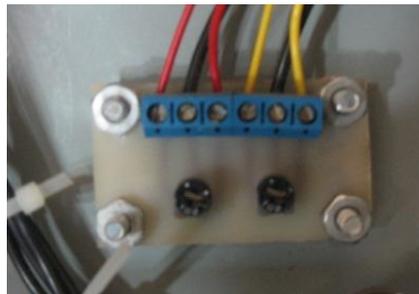


Figura C.8 Potenciómetros de ajuste de LDR's

Una prueba básica del funcionamiento correcto en modo automático de las fotorresistencias es tapar un lado del protector de las LDR's a fin de hacerle sombra a una de ellas, en cuyo caso el panel solar debe moverse en hacia el lado opuesto que le hemos tapado. Si lo hace en sentido contrario, las LDR's no están correctamente conectadas.

FUSIBLES

El sistema del seguidor solar cuenta con 4 fusibles mostrados en la figura C.9, que corresponden a los fusibles de protección de los motores, de los circuitos analógicos y un fusible de protección principal.



Figura C.9 Fusibles del circuito seguidor

Sustituya los fusibles dañados por otros del mismo valor. Estos fusibles tienen los valores siguientes:

Descripción	Capacidad	Cantidad
Fusible de protección principal	6 Amp	1
Fusible de circuitos analógicos	250mA	1
Fusible de motores	4 Amp	2

OTROS MANTENIMIENTOS

Además de los procedimientos especificados en este manual, deben seguirse aquellas recomendaciones para los sistemas fotovoltaicos para mantener en buen estado la instalación. Debe realizar limpieza del panel solar periódicamente, además de revisar los conectores de sus cables. Cerciórese que la base este firmemente fija sobre el concreto y que no presenta movimiento alguno en esta parte. Todas las anclas deben estar firmes y apretadas.

La base metálica, así como los soportes de los brazos electromecánicos y el marco que sostiene al panel solar deben ser sometidos a una mano de pintura según estime conveniente, para evitar corrosión en la estructura. Utilice pernos, tuercas y arandelas inoxidable para sustituir los que ya están.

ANEXO D: HOJAS DE DATOS

D.1 DATALOGGER KEITHLEY 2700 (Parcial)

KEITHLEY

TECHNICAL DATA



MODEL 2700
**MULTIMETER/
DATA ACQUISITION SYSTEM**



Table of Contents

3	Overview
3	Front and Rear Panel Views
3	Measurement Ranges
4	Measurement Control Module Capabilities
4	Module Capabilities Overview
5	Module Combination Selector Guide
5	Channel Configuration Capabilities
6	Scanning Capabilities
7	Triggering and I/O Capabilities
7	Trigger Sources
8	Alarm Limits
8	On-board Data Storage
9	Saving/Recalling a Setup
9	Power Failure Recovery
9	Channel Monitor
9	Measurement Performance
10	Filtering
10	Line Cycle Synchronization
10	NPLC
10	Offset Compensation
11	Temperature Measurements
12	Model 2700 Free Software
13	Calibration
14	Model 2700 Specifications
17	Switch/Control Module Specifications

Introduction

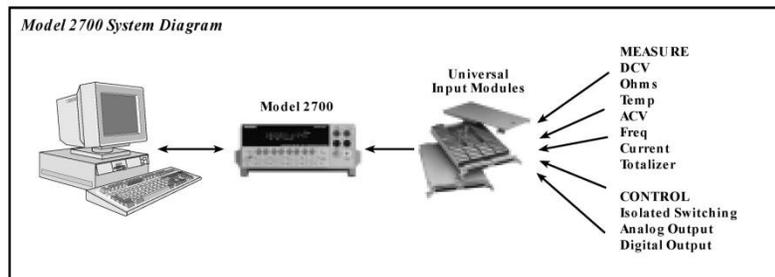
The Model 2700 6½-digit Multimeter/Data Acquisition system blends Keithley's high performance DMM technology, our switching expertise, and our data acquisition knowledge into a compact, affordable, easy-to-use package. This technical data sheet provides a comprehensive overview of the system and includes complete detailed specifications.

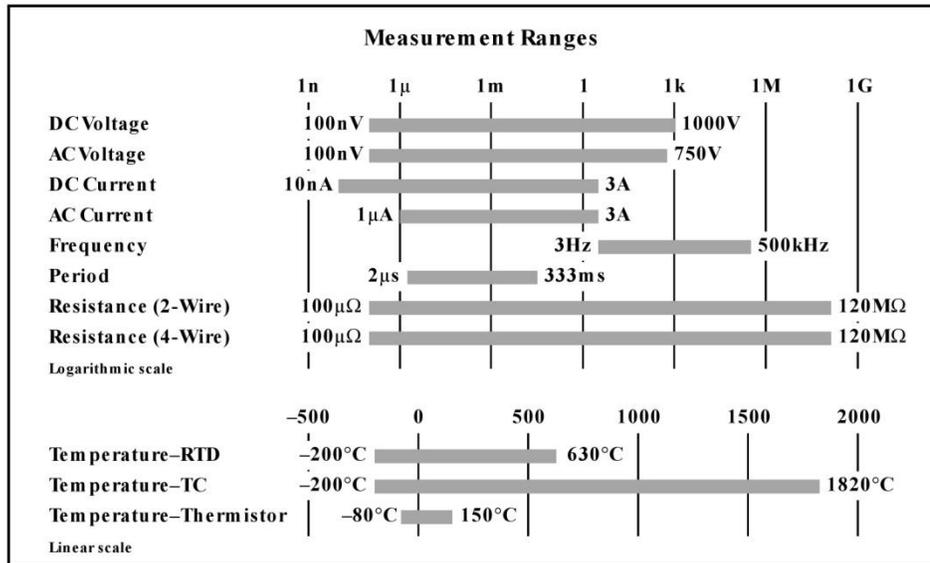
The Model 2700 Multimeter/Data Acquisition System consists of the 2700 mainframe and a choice of five switch/control modules. The two-slot mainframe allows two different types of multiplexer or control modules to operate simultaneously. Input modules can be mixed or matched to provide a broad range of measurement, acquisition, and control capabilities.

The Model 2700 provides up to 80 channels of multiplexed measurement and control. Each channel can be configured independently. Settings can be configured via the computer controller (over GPIB or RS-232) or the front panel of the Model 2700 mainframe.

The Model 2700's ActiveX-based start-up software, Xlinx, enables users to configure the system, log multiple channels of data in real-time, troubleshoot any given channel, and send data directly to Excel or disk. Configuration is done in the familiar Windows "point-and-click" environment; therefore, there's no need to program or write lines of code.

If you have any questions after reviewing this information, please contact your local Keithley representative or call one of our Applications Engineers at 1-800-552-1115 (U.S. only). Check Keithley's website (www.keithley.com) for the names and numbers of representatives around the world.





Measurement/Control Module Capabilities

The flexibility to mix and match measurement/control modules in a single half-rack mainframe simplifies configuring Model 2700-based systems for a wide range of applications. Each module offers a different combination of capabilities, such as number of channels, speed, etc. Before selecting a module, it's critical to analyze the needs of the application carefully and consider future requirements for expansion.

Module Capabilities Overview

	7700	7702	7703	7705	7706
DC Volts	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
DC Current	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Temperature					
T/C w/ Automatic CJC	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
T/C w/ External CJC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
RTD	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Thermistor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Resistance (2- or 4-wire)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Continuity	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
AC Volts	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
AC Current	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Frequency	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Event Counter/ Totalizer					<input type="checkbox"/>
Signal Routing				<input type="checkbox"/>	
Digital Output					<input type="checkbox"/>
Analog Output					<input type="checkbox"/>

- The 7700, 7702, 7703, and 7706 modules can be used to measure a variety of electrical and physical parameters.
- The 7703 module is designed for making high-speed, multi-point measurements.
- The 7705 is designed for signal routing and control within the test system.
- The 7706 combines capabilities for multi-function, multi-point testing with I/O control functions.

Module Combination Selector Guide

This selector guide may prove helpful in identifying the best combination of modules for a specific application. Install up to two modules at a time in the 2700 mainframe or use the 2700 as a stand-alone instrument or as part of a larger ATE system.

	Analog Input	Analog Output	Digital Input	Digital Output	Isolated Switch	Event Counter/ Totalizer
2700	1	-	2	5	-	-
2700 + 7700	22	-	2	5	-	-
2700 + 7700 + 7700	44	-	2	5	-	-
2700 + 7700 + 7702	64	-	2	5	-	-
2700 + 7700 + 7705	22	-	2	5	40	-
2700 + 7700 + 7706	42	2	2	21	-	1
2700 + 7702	42	-	2	5	-	-
2700 + 7702 + 7702	84	-	2	5	-	-
2700 + 7702 + 7705	42	-	2	5	40	-
2700 + 7702 + 7706	60	2	2	21	-	1
2700 + 7703	32	-	2	5	-	-
2700 + 7703 + 7703	64	-	2	5	-	-
2700 + 7703 + 7705	32	-	2	5	40	-
2700 + 7703 + 7706	52	2	2	21	-	1
2700 + 7706	20	2	2	21	-	1
2700 + 7706 + 7706	40	4	2	37	-	2
2700 + 7706 + 7705	20	2	2	21	40	1

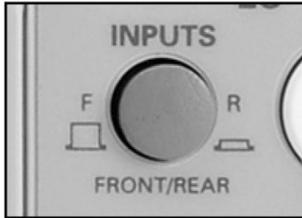
Refer to pages 17–22 for detailed specifications on all switch/control modules.

Channel Configuration Capabilities

- **Measurement functions:** The 2700 can measure many different parameters: DC voltage, DC current, AC voltage, AC current, 2-wire Ω , 4-wire Ω , temperature (using thermocouples, RTDs, and thermistors), frequency, period, and continuity.
- **Math functions:** A variety of math functions are available at the push of a button, including channel average and ratio, $mX+b$ scaling, min, max, average and standard deviation.
- **Measurement setup:** Each channel can be configured independently for making measurements. Selectable channel parameters include:

• Speed	• Ratio calculation	• Offset compensation
• Range	• Individual 'm' and 'b' values in $mX+b$ format	• CJC type
• Resolution	• Channel Averaging	• Thermistor type
• Number of power line cycles (NPLC)	• Hi-Low limits	• Thermocouple type
• Math functions to be displayed	• Resistance measurement method (2- or 4-wire)	• RTD type

Channel Configuration Capabilities (cont.)



- **DUT-to-modules connections:** The 2700 makes it easy to connect the device under test to the measurement/control modules. The 7703 and 7705 modules use 50-pin “D-sub” input connectors for secure, quick connections. These connectors are especially convenient for connecting/disconnecting for calibration or rack installation. When greater connection flexibility is required, the oversize screw-terminal connectors simplify setup by eliminating the need to handle small connectors. The standard wires used are 20AWG.
- **Mainframe-to-modules connection:** Secure screws connect the mainframe to the modules. At power-up, the mainframe detects any attached modules automatically, which minimizes set-up time. All signals are routed internally from module to mainframe.
- **Front/rear switch:** The Model 2700’s front inputs are used for manual probing and troubleshooting. A switch on the front panel makes it easy to shift between the front and rear inputs. This eases setting up the equipment and speeds verifying proper setup and connections prior to automating the measurement.

Scanning Capabilities

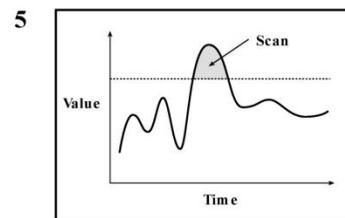
- **Scan count:** The Model 2700 can be programmed to run a given number of scans (n) on all the available channels and to record readings for each channel. The instrument also allows programming the type of trigger used to initiate each scan. (Refer to page 7 for more information on triggering.)
- **Scan interval:** The user can set the interval after which each succeeding scan will begin. Scan intervals can be set anywhere from 0 to 99 hours in increments of 10ms.
- **Scan sequence/omitting channels:** In addition to scanning in numerical sequence, the Model 2700 can be programmed to skip any channels that are not required for a particular test. This avoids recording irrelevant data and speeds the data acquisition process. This makes scanning both faster and more flexible.
- **Ratio (DCV only):** The instrument can calculate and display the ratio of measurements of paired channels. Ratios can only be determined for specific channel pairs, depending upon the input module used. For example, channel pairs on the Model 7702 include Channels 1 and 21, Channels 2 and 22, etc. Hi/Lo limits are fully supported.
- **Channel Average (DCV and thermocouple only):** The instrument can calculate and display the average of two channel measurements. As with ratio calculations, only paired channels can be averaged. Hi/Lo limits are fully supported.
- **Open Sense Line Indication.** The Model 2700 can alert the user if there is a disconnection on any channel or the relay on the scanner card fails. In this case, the front panel display will show “OVERFLOW.” Therefore, the Model 2700 does not need other equipment or calibration to inspect the broken connection or failed relay on the scanner card. In addition, the Model 2700 will not erroneously pass a failed test.

Triggering & I/O Capabilities

Trigger sources

Any of the following sources can be used for triggering a reading or scan sequence:

1. Immediate: The 2700 self-triggers automatically. This default method is the simplest way to take a measurement on a single channel.
2. An external trigger is received via the Trigger Link connector. Triggering through Trigger Link is very precise (0.5msec trigger latency) and provides tight timing control for synchronization in larger systems. Therefore, measurements can be taken at a precise time with very little uncertainty. This capability can be valuable when optimizing coordination with other system instruments, such as the Model 7002 switch mainframe or Model 2400 SourceMeter® instrument in larger ATE applications.
3. A bus trigger is received (GET or *TRG) on GPIB or *TRG on RS-232.
4. Manual: Use of front panel TRIG key.
5. Analog trigger: A display reading on a particular channel can be programmed as an analog trigger. A scan sequence is started whenever such a reading is reached [programmed for either a greater than (>) or less than (<) condition as a trigger]. In other words, this feature can be used to initiate a scan sequence based on some external factor, such as a temperature, rising above a pre-set limit. After scanning all the configured channels on the instrument, the instrument then returns to the channel that acted as the analog trigger, and checks for the reading to be in conditional limits. Depending on the limits and current reading, the instrument decides whether to start the next scan. Only the data of interest are acquired, eliminating the need to spend hours searching through reams of normal readings to find anomalous data.
6. Digital trigger: Two digital inputs (TTL-level) are standard on the 2700 main frame— one to serve as a trigger input and one to serve as a hardware interlock. The digital trigger is logical “and”-ed with the interlock. The interlock is default true. Therefore, the digital trigger input would be recognized for triggering only when the digital trigger and the interlock are both true. Thus, the interlock provides the user with a controlling mechanism for recognizing the digital trigger if necessary.



Alarm Limits

The Model 2700's digital output lines can trigger external alarms without the need for a PC connection. The instrument can be programmed to provide alarms when any pre-set limits are breached. Limits can be applied to all measurement functions except continuity, which has its own alarm beeper. The limit test is performed after "mX+b" and math operations.

- **Limit types:** Each channel has four independently programmable limits, each of which can be assigned a value. These are:
 1. Limit1 High (for example, 1% higher than the expected reading)
 2. Limit1 Low (for example, 1% less than the expected reading)
 3. Limit2 High (for example, 5% higher than the expected reading)
 4. Limit2 Low (for example, 5% less than the expected reading)

The outputs can be positive or negative true, pulse, or fixed level. Pulse widths are programmable.

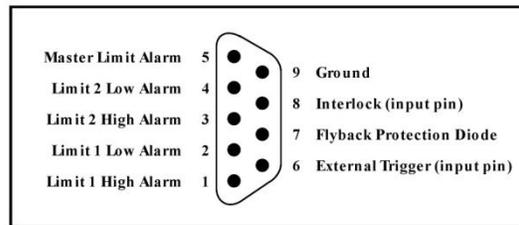
Master Limit: In addition to these limit alarms, a master limit is provided. It is logically "or"-ed with the four limits and is active every time any of the other limits are breached.

Each of the alarm limits and the master alarm is mapped to a specific output pin on the 9-pin male connector that handles the output of that alarm limit.

Capabilities

- 100mA sink (output).
- TTL level outputs (no external supply is needed).
- Open collector output up to 24V with external supply.
- Ability to trigger or start a scan by connecting to one of the digital input lines.

Structure of the 9-Pin Male Connector



Additional digital output capabilities of the 7706. The All-in-One I/O Module adds 16 channels of digital output for control and actuation purposes. Refer to page 19 for more information.

On-board Data Storage

- **Buffer size and type:** The 2700 has a 55,000-point non-volatile "read and transmit" memory (in other words, the buffer can be emptied while it is being filled.) The buffer can be configured in "wrap around" mode for recording readings continuously for long periods. There is no need to stop taking data, reset the instrument, or change memory cards. The wrap around memory can be configured to issue a Service Request. Typically, an SRQ is issued after every 27,500 readings, when the buffer is half full. (Or, if desired, the memory can be configured to issue an SRQ when the buffer is one-quarter-full, three-quarters-full, or full). At this time, the instrument can be requested to download the readings acquired prior to the SRQ (first reading in is first reading out), while it continues to record further readings in the buffer. Therefore, recording and retrieving readings take place simultaneously. When the readings fill up the last memory locations of the buffer, the instrument returns to the beginning of the buffer and starts writing in the locations emptied by the previous download.
- **Timestamp:** The readings in the memory can be timestamped to trace the progress of a test. The time can be configured as either:
 - Real time: The actual calendar day and time.
 - Relative Time: Time is relative to the first reading stored in the buffer.

SWITCH/CONTROL MODULE SPECIFICATIONS

Model 7700 20-Channel Differential Multiplexer w/Automatic CJC

Features

- 20 channels for general-purpose measurements, plus two channels to measure current.
- 2- or 4-wire measurement.
- Oversize screw terminal connection blocks are standard for easier connections.
- Automatic CJC sensors on the scanner card mean there are no other accessories are required to make thermocouple temperature measurements.
- 300V, 1A capacity for voltage channels; 60W, 125VA.
- 3A capacity for current channels.

GENERAL

20 CHANNELS: 20 channels of 2-pole relay input. All channels configurable to 4-pole.

2 CHANNELS: 2 channels of current only input.

RELAY TYPE: Latching electromechanical.

ACTUATION TIME: <3ms.

CAPABILITIES

CHANNELS 1-20: Multiplex one of 20 2-pole or one of 10 4-pole signals into DMM.

CHANNELS 21-22: Multiplex one of 2 2-pole current signals into DMM.

INPUTS

MAXIMUM SIGNAL LEVEL:

Channels (1-20): 300V DC or rms, 1A switched, 60W, 125VA maximum.

Channels (21-22): 60V DC or 30V rms, 3A switched, 60W, 125VA maximum.

CONTACT LIFE (typ): >10⁸ operations at max signal level.
>10⁸ operations cold switching.

CONTACT RESISTANCE: <1Ω at end of contact life.

CONTACT POTENTIAL: <±500nV typical per contact, 1μV max.
<±500nV typical per contact pair, 1μV max.

OFFSET CURRENT: <100pA.

CONNECTOR TYPE: Screw terminal, #20 AWG wire size.

ISOLATION BETWEEN ANY TWO TERMINALS: >10¹⁰Ω, <100pF

ISOLATION BETWEEN ANY TERMINAL AND EARTH: >10¹⁰Ω, <200pF

CROSS TALK (10MHz, 50Ω Load): <-40dB.

INSERTION LOSS (50Ω Source, 50Ω Load): <0.1dB below 1MHz.
<3dB below 2MHz.

COMMON MODE VOLTAGE: 300V between any terminal and chassis.

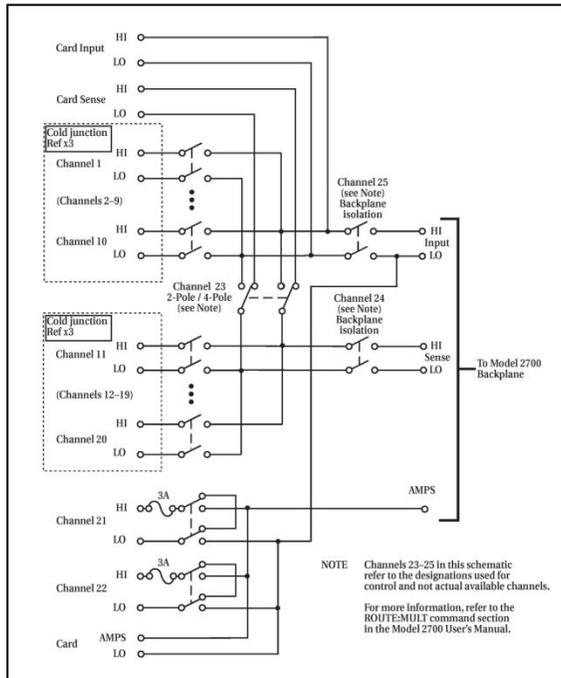
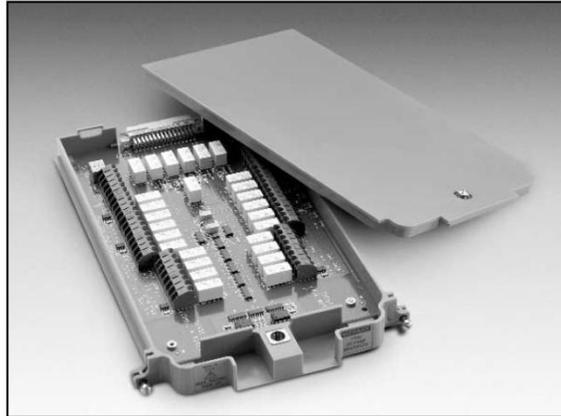
T/C COLD JUNCTION: 1.0°C (18°-28°C Mainframe Temp)
1.5°C (0°-18°C & 28°-50°C Mainframe Temp).

ENVIRONMENTAL:

OPERATING ENVIRONMENT: Specified for 0°C to 50°C.
Specified to 80% R.H. at 35°C.

STORAGE ENVIRONMENT: -25°C to 65°C.

WEIGHT: 0.45kg (1 lb).



D.3 CONTROLADOR PHOCOS CX-40

Datasheet_CX_ENG

Final Version



CX10, CX20, CX40

Solar Charge Controller with LCD Display



- Battery State-of-Charge display LCD
- Charge and discharge status display
- Acoustic load disconnect pre-warning
- Load status indication
- Choose between 5 load disconnect algorithms
- boost/absorption/float PWM-regulation (series type)
- Integrated temperature compensation
- Covered terminals (up to 16mm² wire size)
- Full solid-state protection

The CX series is a sophisticated solar charge controller family with exceptional features in this price range. Beside a perfect PWM regulation with integrated temperature compensation the controllers provide extraordinary display, programming and safety functions.

The battery state of charge is clearly displayed with a bar chart, as well as energy flows from and to the battery and the load status (e.g. overload, load short circuit). The deep discharge protection function can be set up to three different modes: voltage controlled, SOC controlled or adaptive (fuzzy logic).

Acoustic warnings are built in, also A programmable nightlight function.

As an accessory we can provide an Excess Energy Management output to control special Phocos appliances like the SF solar refrigerators/coolers.

The compact case design is prepared for DIN rail mounting (mounting device available as an accessory).

TYPE	CX10	CX20	CX40
Charge current max.	10A	20A	40A
Load current max.	10A	20A	40A
System voltage	12/24V	12/24V	12/24V
Self power consumption	<4mA	<4mA	<4mA
Dimensions (wxhxd)	92x93x38mm	92x93x38mm	92x93x38mm
Type of protection	IP22	IP22	IP22

20081026
Subject to change without notice

www.phocos.com

Phocos AG, Germany
info@phocos.com

Phocos China Ltd., China
info-china@phocos.com

Phocos India Solar Pvt. Ltd., India
info-india@phocos.com

Phocos Latin America S.R.L, Bolivia
Info-latinamerica@phocos.com

Phocos Rep. Office Australia, Australia
Info-australia@phocos.com

Phocos Rep. Office Brazil, Brazil
Info-brazil@phocos.com

Phocos Rep. Office Eastern Africa, Kenya
Info-easternafrica@phocos.com

Phocos Eastern Europe S.R.L., Romania
Info-easterneurope@phocos.com

Phocos SEA Pte Ltd, Singapore
Info-sea@phocos.com

Phocos Rep. Office South Africa
Info-sadc@phocos.com

Phocos Tunisia
Info-magreb@phocos.com

Phocos USA
Info-usa@phocos.com

D.4 PANEL SOLAR EVERGREEN SOLAR 200W



ES-A Series Photovoltaic Modules

* Pending

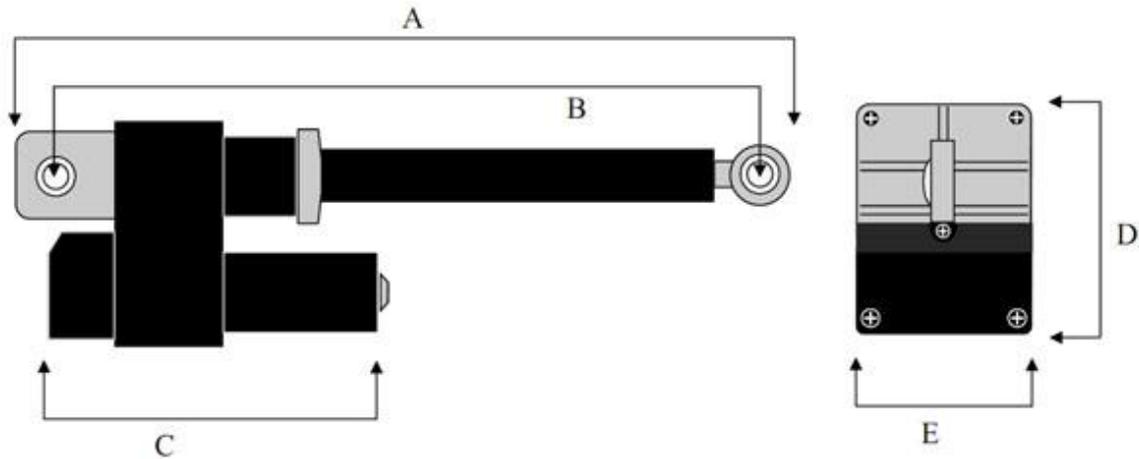
Valid from 1st August 2008

Module Type	Units	ES-A-190	ES-A-195	ES-A-200	ES-A-205	ES-A-210
Variants		Non-Core	Non-Core	Core	Core	Core
Made in USA		ES-A-190-fa2	ES-A-195-fa2	ES-A-200-fa2	ES-A-205-fa2	ES-A-210-fa2
Warranty						
Product workmanship	[Years]	5	5	5	5	5
Limited power	[Years, % of Pmp, min]	10, 90%, 25, 80%	10, 90%, 25, 80%	10, 90%, 25, 80%	10, 90%, 25, 80%	10, 90%, 25, 80%
Certificates						
Design	-	IEC 61215 Ed 2				
Safety	-	IEC 61730 Class A				
	-	DIN V VDE V 0126-5				
	-	UL 1703 (ETL Listed)				
	-	UL 4703 (PV-WIRE)				
	-	UL Fire Safety Class C				
	-	EU Safety Class 2				
	-	CE	CE	CE	CE	CE
Packaging	-	ISTA 2B				
Cell Characteristics						
Number cells	[no.]	114	114	114	114	114
Cell type	-	Poly-crystalline	Poly-crystalline	Poly-crystalline	Poly-crystalline	Poly-crystalline
Cell country of origin	-	USA	USA	USA	USA	USA
Cell dimensions	[mm]	150x80	150x80	150x80	150x80	150x80
Electrical Characteristics STC						
Rated power (Pr)	[W]	190	195	200	205	210
Tolerance on rated power	[W]	-0 / + 5W				
Maximum power (Pmax)	[W]	194.99	199.99	204.99	209.99	214.99
Minimum power (Pmin)	[W]	190.00	195.00	200.00	205.00	210.00
Peak power voltage (Vmp)	[V]	17.4	17.8	18.1	18.4	18.7
Open circuit voltage (Voc)	[V]	22.0	22.3	22.5	22.8	23.1
Peak power current (Imp)	[A]	10.92	10.96	11.05	11.15	11.23
Short circuit current (Isc)	[A]	11.80	11.90	12.00	12.10	12.20
Series fuse rating	[A]	20	20	20	20	20
Module efficiency	[%]	12.1	12.4	12.7	13.1	13.4
Cell efficiency	[%]	13.9	14.3	14.6	15.0	15.4
CEC PTC rating	-	171.3	175.9	180.6	185.2	189.8
Mechanical Specifications Module						
Outside Dimensions	[mm]/[in]	0.951 x 1.650 / 37.5 x 65.0				
Depth (including junction box)	[mm]/[in]	46 / 1.8	46 / 1.8	46 / 1.8	46 / 1.8	46 / 1.8
Weight	[kg]/[lb]	18.6 / 41	18.6 / 41	18.6 / 41	18.6 / 41	18.6 / 41
Cable type	-	Universal / PV-WIRE				
Cable lengths (both same length)	[m]/[in]	1.070 / 42.1	1.070 / 42.1	1.070 / 42.1	1.070 / 42.1	1.070 / 42.1
Cable gauge	[mm2]/[AWG]	6 / 10	6 / 10	6 / 10	6 / 10	6 / 10
Plug type (Multi-Contact)	-	Type 4, clickable				
Frame type	-	Screwless, double walled				
Packaging Specifications						
Packaging configuration	-	28 / pallet				
Module orientation	-	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal
Packaging dimensions [W:L:H]	[m]/[in]	1.02:1.70:1.77 / 40.67:69.75	1.02:1.70:1.77 / 40.67:69.75	1.02:1.70:1.77 / 40.67:69.75	1.02:1.70:1.77 / 40.67:69.75	1.02:1.70:1.77 / 40.67:69.75
Packaging weight	[kg]/[lb]	580 / 1255	580 / 1255	580 / 1255	580 / 1255	580 / 1255
Electrical Characteristics NOCT						
Temperature (Tnoct)	[degC]	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8
Peak power (Pmax)	[W]	139.1	142.7	146.4	150.1	153.7
Peak power voltage (Vmp)	[V]	16.3	16.5	16.7	16.8	17.0
Open circuit voltage (Voc)	[V]	20.0	20.3	20.5	20.7	21.0
Peak power current (Imp)	[A]	8.54	8.65	8.76	8.93	9.04
Short circuit current (Isc)	[A]	9.44	9.52	9.60	9.68	9.76
Data at low irradiance						
Reduction in efficiency	[%]	0	0	0	0	0
Temperature coefficients						
Peak power (Pp)	[%/degC]	-0.45	-0.45	-0.45	-0.45	-0.45
	[W/degC]	-0.86	-0.88	-0.90	-0.92	-0.95
Peak power voltage (Vp)	[%/degC]	-0.43	-0.43	-0.43	-0.43	-0.43
	[mV/degC]	-74.8	-76.5	-77.8	-79.1	-80.4
Open circuit voltage (Voc)	[%/degC]	-0.32	-0.32	-0.32	-0.32	-0.32
	[mV/degC]	-70.4	-71.4	-72.0	-73.0	-73.9
Peak current (Ip)	[%/degC]	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02
	[mA/degC]	-1.7	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8
Short circuit current (Isc)	[%/degC]	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003
	[mA/degC]	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
Maximum System Voltage						
Max. system voltage (UL, V _{syst. max})	[V]	600	600	600	600	600
Max. system voltage (SC2, V _{eyst. max})	[V]	1000	1000	1000	1000	1000

D.5 ACTUADOR LINEAL

This actuator has a "Static Load" rating of 200 lbs. This is the weight that the structure can support. The "Dynamic Load" rating is 112 lbs. This is the weight that the device can push, pull or lift.

- Built-in adjustable limit switch allows for custom run times
- 10:1 Gear Ratio for fast operation
- Built in clutch prevents damage from overextension
- High torque motor
- Permanently lubricated sealed shaft
- Contracted Length: 19 3/4" (50.16 cm)
- Fully Extended Length: 31 3/4" (80.65 cm)
- Travel speed: .354 inches/sec (9mm/sec) at 50% load
- Mounting hole diameter: 5/16"
- Max draw: 4.8 amps
- 12V DC
- 20% duty
- Weather resistant



Part No.	Travel Length	A (Min)	A (Max)	B (Min)	B (Max)	C	D	E
LAD2	2 in.	11 in.	13 in.	9.5 in.	11.5 in.	5.5 in.	4.875 in.	2.25 in.
LAD4	4 in.	13 in.	17 in.	11.5 in.	15.5 in.	5.5 in.	4.875 in.	2.25 in.
LAD6	6 in.	15 in.	21 in.	13.5 in.	19.5 in.	5.5 in.	4.875 in.	2.25 in.
LAD8	8 in.	17 in.	25 in.	15.5 in.	23.5 in.	5.5 in.	4.875 in.	2.25 in.
LAD10	10 in.	19 in.	29 in.	17.5 in.	27.5 in.	5.5 in.	4.875 in.	2.25 in.
LAD12	12 in.	21 in.	33 in.	19.5 in.	31.5 in.	5.5 in.	4.875 in.	2.25 in.
LADKIT-1	Wiring, switch & relay kit for linear actuators							
LADKIT-2	Remote control wiring & switch kit for linear actuators							
LADKIT-3	"One-Touch" Wiring & Switch Kit for Linear Actuators							
LADKIT-4	"One-Touch" Remote Control Kit for Linear Actuators							
LAD-BRK	Stainless steel mounting bracket kit for linear actuators							